



**Yoğun Su Tüketilen Endüstrilerde Bütünleşik
İleri Oksidasyon/Membran Filtrasyon Sistemi ile
Su Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi**

Program Kodu: 1003

**Proje No: 113Y352
113Y369**

**Proje Yöneticisi:
Doç. Dr. Coşkun AYDINER**

**Proje Yürütücüsü:
Yrd. Doç. Dr. Esra CAN DOĞAN**

Araştırmacılar:

**Prof. Dr. Nevim GENÇ
Doç. Dr. H. Cengiz YATMAZ
Doç. Dr. Ayla ARSLAN
Yrd. Doç. Dr. Berna KIRIL MERT**

Danışmanlar:

**Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKÇI
Dr. Sönmez DAĞLI**

ÖNSÖZ

Dünya genelindeki endüstriyel gelişmeler, sektörel su tüketimlerinin artmasına ve endüstriyel su kirlenmesi problemlerinin yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Ülkemizde kişi başına su tüketimi 1650-1700 m³/yıl civarında olup, bugün ki nüfus artış hızı ve kalkınma verileri ışığında 2025-2030 yılları arasında su fakiri (<1500 m³/kişi.yıl) ülke durumuna düşeceğimiz konunun uzmanları tarafından ortaya konmaktadır.

Ülkemizdeki sanayi tesislerinin sayı ve üretim çeşitliliklerinin artması, endüstriyel su taleplerini önemli seviyelerde arttırmaktadır. Su kaynaklarımızın ve çevrenin sürdürülebilir olarak korunmasının sağlanmasının yanı sıra sanayicimizin ulusal ve uluslararası pazarlarda yüksek rekabet gücüne sahip olabilmeleri hususu beraberce değerlendirildiğinde, yüksek miktarlarda su tüketen sanayi kollarında ürün maliyetleri içerisinde önemli girdiler oluşturan “su tarifesi” payının düşürülmesine gerek bulunduğu da bilinmektedir.

Yukarıda bahsi geçen hususlar ortaya koymaktadır ki; yüksek hacimlerde atıksu üretilen endüstriyel tesislerde, proste yeniden kullanım amacıyla atıksudan suyun geri kazanıldığı, bu sayede su kaynaklarımızın etkin korunarak beraberinde endüstriyel üretim maliyetlerinin azaltıldığı arıtma uygulamaları geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Sadece Ülkemizi değil aynı zamanda birçok gelişmekte olan ve gelişmiş Dünya ülkesini yakından ilgilendiren bu durum, ilgili endüstrilerde atıksu arıtımına ve endüstriyel su geri kazanımına yönelik bütünleşik teknolojilerin geliştirilerek, çevre korumaya dayalı yenilikçi, ekonomik ve uygulanabilir su ve atıksu yönetimi yaklaşımlarının hayata geçirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu proje çalışmasının temel amacı, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi çerçevesinde, yoğun su tüketimine sahip kâğıt ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksulardan yüksek su geri kazanım oranlarında (tercihen >%90) üretim proseslerinde yeniden kullanılabilir kalitede suyun geri kazanılması ve arıtma tesisinde üretilen membran konsantrelerinin hacimsel/kütlesel yüklerinin azaltılmasının sağlanarak; temiz su kaynaklarının korunmasına katkı sağlayan ve tekno-ekonomik olarak başarıyla uygulanabilir teknolojik esaslı yenilikçi endüstriyel arıtma sistemlerinin geliştirilmesidir.

Proje kapsamında iki farklı entegre arıtma kombinasyonu, yoğun su tüketilen endüstrilerin başında gelen kâğıt ve tekstil endüstrileri atıksularına ayrı ayrı uygulanmıştır. I. Kombinasyon (K1), kâğıt ve tekstil atıksuları için yenilikçi nitelikte olan ve teknik ve ekonomik açıdan “II. Kombinasyon’a (K2) göre” daha etkin işletim performansı beklenen İOP/batık ultrafiltrasyon (UF) ve sonrasında nanofiltrasyon (NF) ve/veya ters osmoz (TO) ([İOP/UF]/NF ve/veya TO) (3 farklı seçenekteki ^{1.1}[İOP/UF]/NF_{sıkı}, ^{1.2}[İOP/UF]/TO ve ^{1.3}[İOP/UF]/NF_{gevşek}/TO) kullanılan entegre membran sistemi olup, sistemde NF ve/veya TO çıkışlarından temiz su elde edilerek

konsantre akım yükünün azaltılması esasına dayanmaktadır. Arzu edilen çıkış suyu kalitesinin basınç sürücülü $NF_{sıkı}$, ve TO ile sağlanamadığı işletimlerde, projenin B planı uyarınca, membran distilasyon (MD) prosesinin kullanıldığı durum da ayrıca söz konusudur. Nitekim bahsi geçen 3 yenilikçi K1 sistemi tekstil atıksuları için proje amacına ulaşılmasını sağlamışken, kağıt atıksuyunda arzu edilir kalitede su geri kazanımına ve konsantre akım minimizasyonuna, bu prosesler yerine, tek kademedeki MD prosesinin kullanıldığı yenilikçi arıtma sistemi bütününde ulaşılabilmektedir. K1'deki teknik ve ekonomik etkinliklerin kıyaslanabilmesi için II. Kombinasyon (K2) olarak tanımlanan etkinliği literatürden bilinen arıtma sistemlerinin proje kapsamında işletimleri ayrıca yerine getirilerek, hedef atıksular için bu sistemlerin sahadaki tekno-ekonomik etkinlikleri de ayrıca belirlenmiştir. Bu bağlamda, kâğıt ve tekstil endüstrileri için proses suyu elde edildiği literatürden bilinen sırasıyla $^{II.1}NF_{gevşek}/NF_{sıkı}$ (Gönder et al., 2011) ve $^{II.2}UF/NF_{sıkı}/TO$ (Vergili et al., 2012) sistemlerindeki membran konsantrelerinin, bu proje kapsamında geliştirilen yenilikçi İOP/UF hibrit reaktörde arıtımlarının yapılarak, konsantre atık yüklerinin azaltıldığı ve daha ekonomik nihai konsantre atık bertarafı uygulamalarının sağlandığı işletimler yerine getirilmiştir.

Proje çalışmaları genelinde; (i)–Kağıt ve tekstil atıksularının, projede önerilen (*[İOP/UF]/NF ve/veya TO esaslı (B planı uyarınca kağıt için MD) 3 (B planı dahiliyle 4) farklı seçenek*) membran sistem konfigürasyonlarında kesikli şartlardaki arıtımları için; önerilen (K1) sistemlerdeki sırasıyla optimum proses işletme şartlarının ve uygun ticari membran türlerinin tespiti yapılmıştır, (ii)–Kesikli şartlarda önerilen kombinasyondaki elde edilen en iyi işletme şartlarındaki arıtma seçeneklerinin sürekli şartlarda işletimlerinin sağlanarak, çıkış suyu kalitesini bozacak limit işletimler esasında, en düşük hacimlerde membran konsantresinin eldesi amacıyla en yüksek proses suyu geri kazanım oranlarının tespiti yerine getirilmiştir (Proje önerisi gereği, kağıt için NF/NF ve tekstil için UF/NF/TO'daki konsantre akımların İOP/UF ile arıtılarak konsantre arıtımı ve yönetimi yapılan kombinasyonlara ait (K2) sistemlerin uzun süreli işletimlerinde sadece en uygun membran türünün tespiti yapılmıştır.). (iii)–Önerilen ve etkinliği bilinen sistemlerde uzun süreli işletim şartları altında oluşan nihai membran konsantrelerinin kalite analizlerinin ve tehlike sınıflamalarının yapılarak, bertaraf edilme yöntemlerinin (insinerasyon, düzenli depolama, katılaştırma, merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisine verme) kıyaslamalı olarak değerlendirilmeleri üzerinden, nihai proses akış şemalarının teşkilinde kullanılacak sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarj yaklaşımlarını esas alan nihai konsantre atık bertaraf yöntemleri belirlenmiştir. (iv)–Önerilen ve etkinliği bilinen arıtma sistemlerinin uzun süreli işletimlerine dayalı belirlenmiş işletim performanslarının, kütle dengesi uyarınca gerçek ölçeğe benzeştirilmesi (simülasyonları) suretiyle her bir arıtma senaryosu için saha ölçeğindeki arıtma tesisi tasarımları yapılmış ve proses akış şemaları

teşkil edilmiştir. (v)–Sıfır (nihai konsantrenin tesis dışı insinerasyon ünitesinde yakılarak kalan inert kısmın endüstriyel düzenli depolanması) ve sıfıra yakın (nihai konsantrenin merkezi atıksu arıtma verileriyle daha fazla arıtılmaları sonrasında kanala ya da alıcı ortama deşarj) sıvı deşarj yaklaşımlarıyla farklılaşan ilk yatırım maliyeti (\$), su geri kazanımından sağlanan ekonomik faydayı içermeyen toplam net yatırım maliyeti (yatırım maliyeti ile işletme maliyetinin %7 yıllık faiz değeri üzerinden bugünkü toplam net değeri, (\$/20 yıl tesis ömrü)) ve birim arıtma maliyeti (\$/m³) parametrelerine dayalı maliyet analizleri üzerinden, geliştirilmiş her bir arıtma sisteminin saha ölçekteki ekonomik performansları ayrı ayrı belirlenmiştir. (vi)–Elde edilen tüm tekno-ekonomik sonuçlar ışığında, konsantre yönetimi içerikli önerilen (K1) ve etkinliği bilinen (K2) bütünleşik membran sistemlerinin; saha ölçek tasarım ve maliyet analiz çalışmaları sırasında belirlenmiş temel tasarım parametreleri (atık çekim sayısı (1/yıl) ve İOP/UF hacimsel su oranı) kullanılarak, geliştirilen teknolojik çözümlerin teknik ve maliyet açısından diğer yoğun su tüketilen endüstriyel atıksuların arıtımlarına uygulanabilmesine yaygınlaştırılabilmesine yönelik potansiyelleri değerlendirilerek ortaya konmuştur.

Projede gerçekleştirilen laboratuvar ve Ar-Ge çalışmaları, toplam 11 lisansüstü bursiyerinin araştırma çalışmalarında görev almasına ve mühendislik bilgi ve yeteneklerini, laboratuvar araştırmaları merkezli ileri oksidasyon ve membran teknolojileri esaslı ileri atıksu arıtma uygulamaları özelinde geliştirmelerine imkân sağlamıştır. Bu projeden akademik eser olarak; birisi Katar'da, ikisi Sırbistan'daki sempozyumda olmak üzere toplam 3 adet uluslararası bildiri sunulmuştur. ULAKBİM'de taranan yurtiçi bilimsel dergide 1 adet araştırma makalesinin yayımlanmıştır. SCI kapsamındaki dergilerde 7 bilimsel makalenin daha yayımlanması planlanmaktadır. Bu sayede, toplamda 11 adet bilimsel yayın üretilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, projede görev alan 3 bursiyerin yüksek lisans tezleri bu proje kapsamında tamamlanmıştır. Projede görevli 3 bursiyerin daha yüksek lisans tezleri proje çıktıları üzerinden hazırlık aşamasında olup, projeden toplamda 6 adet lisansüstü tez çalışması tamamlanmış olacaktır. Bunların yanı sıra, yenilikçi bir hibrit proses ve bu prosese dayalı yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma sistemlerinin geliştirilmesi üzerine 2 ulusal ve 2 uluslararası olmak üzere, toplam 4 adet patent başvurusu gerçekleştirilmiştir.

Bu proje tekstil atıksuyu için 113Y352 ve kâğıt atıksuyu için 113Y369 no'lu projelerle, "TÜBİTAK-1003: Öncelikli Alanlar Ar-Ge Projelerini Destekleme Programı" kapsamında ÇAYDAG tarafından desteklenmiştir. Proje çalışanları, desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

Doç.Dr. Coşkun AYDINER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xliv
ABSTRACT.....	xlvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Projenin Amacı.....	1
1.2 Projenin Kapsamı.....	2
1.3 Proje Çalışma Takvimi.....	4
1.4 Projenin Özgün Değeri.....	6
1.5 Projeden Beklenen Yaygın Etki/Katma Değer.....	7
2. GENEL BİLGİLER.....	10
2.1 Ülkemizde Endüstriyel Su Kullanımları, İhtiyaçlar ve Gereksinimler.....	10
2.2 Tekstil ve Kağıt Endüstrisi Atıksuları için Durum Değerlendirmeleri.....	10
2.2.1 Arıtma Yöntemleri.....	12
2.2.1.1 Basınç Sürücülü Membran Prosesler (MP) ile Arıtma.....	12
2.2.1.2 İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP) ile Arıtma.....	12
2.2.1.3 Bütünleşik İOP/MP Hibrit Sistemi ile Arıtma.....	13
2.2.1.4 Membran Distilasyon (MD) Sistemi ile Arıtma.....	14
2.3 Membran Konsantreleri Yönetimi.....	16
2.3.1 Genel Prensipler (tanım, oluşum, kısıtlayıcı faktörler ve ihtiyaç).....	16
2.3.2 Yönetim Metotları (başlıca uygulamalar).....	16
2.3.3 Membran Konsantreleri Yönetiminde Karşılaşılan Genel Zorluklar (özellik, maliyet ve çevre).....	17
2.3.4 Endüstriyel Membran Konsantrelerinin Bertaraf (hacim, maliyet ve yaygınlaştırılmama) Problemleri.....	17
2.3.5 Ülkemizdeki Mer'i Mevzuat ve Mevcut Durum Değerlendirmesi.....	19
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	21
3.1 Analitik Yöntemler.....	21
3.2 Kullanılan Membranlar ve Özellikleri.....	21
3.3 Tekstil ve Kağıt Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu.....	25
3.4 Su Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi.....	25
3.5 Deneysel Düzenekler.....	29
3.5.1 Kesikli İşletimli Sistemler.....	29
3.5.1.1 İOP/batık UF hibrit sistemi.....	29
3.5.1.2 Basınç Sürücülü Membran Filtrasyon Sistemi.....	31

3.5.2	Sürekli İşletimli Sistemler	33
3.5.2.1	İOP/batık UF hibrit sistemi.....	33
✓	Lab pilot ölçek İOP/batık UF hibrit prosesi ölçek büyütme prosedürü	35
3.5.2.2	Basınç Sürücülü Membran Filtrasyon Sistemi	37
3.5.3	Membran Distilasyon Sistemi	38
3.6	Kesikli İşletimli Deneylerde Deneysel Tasarım Yöntem ve Esasları	39
3.6.1	Deneysel Tasarım Yöntemi	39
3.6.2	İOP/Batık UF Hibrit Proses Deneylerinin Tasarımı	40
3.6.3	Basınç Sürücülü Membran Proseslerin (NF ve TO) Deneylerinin Tasarımı	46
3.7	Sistemlerin Sürekli Şartlar Altında İşletim Esasları.....	48
3.7.1	Lab Pilot Ölçek “İOP/Batık UF Proses”inin Sürekli İşletim Esasları	49
3.7.2	Lab Pilot Ölçek “Basınç Sürücülü Membran Proses” Sistemlerinin Sürekli İşletim Esasları	57
3.7.2.1	Etkinliği Bilinen Sistemlerdeki Basınç Sürücülü Membran Prosesler	57
3.7.2.2	Önerilen Sistemlerdeki Basınç ve Sıcaklık Sürücülü Membran Prosesler.....	58
3.8	Proses Performans Hesaplamaları	61
3.9	Konsantre Yönetimi	61
3.10	Saha Ölçek Tasarımlar ve Maliyet Analizleri.....	64
3.10.1	Saha Ölçek Tasarım Esasları.....	64
3.10.2	Maliyet Analizleri ve Ekonomik Değerlendirmeler	70
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	74
4.1	Kesikli İşletimli Deneyler	74
4.1.1	Etkinliği Bilinen Sistem Deneyleri	74
4.1.1.1	Tekstil atıksularının basınç sürücülü membran filtrasyon sistemi ile arıtımı	74
4.1.1.2	Kağıt atıksularının basınç sürücülü membran filtrasyon sistemi ile arıtımı	79
4.1.2	Önerilen Sistem Deneyleri.....	83
4.1.2.1	İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtım.....	83
✓	Tekstil atıksularının arıtımı	83
	-Fenton/batık UF deneyleri.....	83
	-Fenton prosesinin deneysel performansı	83
	-Batık UF prosesinin deneysel performansı.....	84
	-Fenton/batık UF hibrit prosesinin deneysel performansı	99
	-Fenton/batık UF hibrit proses performansının optimizasyonu.....	106
	-Foto-Fenton/batık UF deneyleri	110
	-Foto-Fenton prosesinin deneysel performansı	112
	-Batık UF prosesinin deneysel performansı.....	126
	-Foto-Fenton/batık UF hibrit prosesinin deneysel performansı	147
	-Foto-Fenton/batık UF hibrit proses performansının optimizasyonu	163
✓	Kağıt atıksularının arıtımı	176
	-Fenton/batık UF deneyleri.....	176
	-Fenton prosesinin deneysel performansı	176
	-Batık UF prosesinin deneysel performansı	184
	-Fenton/batık UF hibrit prosesinin deneysel performansı	192
	-Fenton/batık UF hibrit proses performansının optimizasyonu.....	198

-Foto-Fenton/batık UF deneyleri	205
-Foto-Fenton prosesinin deneysel performansı	205
-Batık UF prosesin deneysel performansı	219
-Foto-Fenton/batık UF hibrit prosesinin deneysel performansı	240
-Foto-Fenton/batık UF hibrit proses performansının optimizasyonu	256
4.1.2.2 İOP/batık UF sonrası basınç sürücülü membran proseslerle arıtım	266
✓ Tekstil atıksularının arıtımı	266
✓ Kağıt atıksularının arıtımı	278
4.2 Sürekli İşletimli Deneyler.....	292
4.2.1 Etkinliği Bilinen Sistem Deneyleri	292
4.2.1.1 Tekstil atıksularının basınç sürücülü membran filtrasyon sistemleri ile arıtımı ..	292
✓ Oluşan membran konsantrinin İOP/batık UF prosesi ile arıtımı.....	292
4.2.1.2 Kağıt atıksularının basınç sürücülü membran filtrasyon sistemleri ile arıtımı	293
✓ Oluşan konsantrinin İOP/batık UF prosesi ile arıtımı	303
4.2.2 Önerilen Sistem Deneyleri.....	306
4.2.2.1 Tekstil atıksularının arıtımı	307
✓ {İOP/UF}/[NF _{sıkı}] sistemi	307
-{Fenton/UF}/[NF _{sıkı}] sistemi	307
-{UVA-Fenton/UF}/[NF _{sıkı}] sistemi.....	311
-{UVC-Fenton/UF}/[NF _{sıkı}] sistemi.....	315
✓ {İOP/UF}/[TO] sistemi.....	323
-{Fenton/UF}/[TO] sistemi	323
-{UVA-Fenton/UF}/[TO] sistemi	326
-{UVC-Fenton/UF}/[TO] sistemi.....	329
✓ {İOP/UF}/[NF _{gevşek} /TO] sistemi	338
-{Fenton/UF}/[NF _{gevşek} /TO] sistemi.....	338
-{UVA-Fenton/UF}/[NF _{gevşek} /TO] sistemi	341
-{UVC-Fenton/UF}/[NF _{gevşek} /TO] sistemi	345
4.2.2.2 Kağıt Atıksularının Arıtımı	354
✓ {Fenton/UF}/[MP] sistemleri	354
✓ {İOP/UF}/[MD] sistemleri	358
-{Fenton/UF}/[MD] sistemi	358
-{UVA-Fenton/UF}/[MD] sistemi	362
-{UVC-Fenton/UF}/[MD] sistemi	365
4.3 Şahit İşletim Deneyleri	374
4.3.1 Tekstil Endüstrisi Nihai Konsantr Atıksuları	374
4.3.2 Kağıt Endüstrisi Nihai Konsantr Atıksuları	378
4.4 Konsantr Yönetimi: Analizler, Sınıflandırma ve Değerlendirmeler	383
4.5 Saha Ölçek Tasarımlar ve Maliyet Analizleri	391
4.5.1 Tekstil Atıksuyu	391
4.5.1.1 Etkinliği bilinen arıtma sistemleri ([UF/NF _{sıkı} /TO])	391
✓ [UF/NF _{sıkı} /TO] sistemi	391

✓	[UF/NF _{sıki} /TO]/{İOP/UF} sistemi.....	392
✓	[UF-{{İOP/UF}}]/[NF _{sıki} /TO] sistemi.....	392
✓	Sistemlerin ekonomik performansları ve maliyet analizleri.....	394
4.5.1.2	Önerilen arıtma sistemleri ({{İOP/UF}} sonrası basınçlı membran prosesler).....	410
✓	İOP/UF}/[NF _{sıki}]sistemi.....	410
✓	Sistemlerin ekonomik performansları ve maliyet analizleri.....	417
4.5.2	Kağıt Atıksuyu	432
4.5.2.1	Etkinliği bilinen arıtma sistemleri ([NF _{gevşek} /NF _{sıki}])	432
✓	[NF _{gevşek} /NF _{sıki}] sistemi.....	432
✓	[NF _{gevşek} /NF _{sıki}]/{{İOP/UF}}sistemi.....	433
✓	Sistemlerin ekonomik performansları ve maliyet analizleri.....	435
4.5.2.2	Önerilen arıtma sistemleri ({{İOP/UF}}/[MD] sistemi)	444
✓	Sistemlerin ekonomik performansları ve maliyet analizleri.....	448
4.5.3	Geliştirilen Teknolojik Çözümler için Sektörel Değerlendirmeler	456
4.5.3.1	Hedef endüstriyel atıksular (tekstil ve kâğıt) için değerlendirmeler.....	456
4.5.3.2	Yoğun su tüketilen endüstriyel atıksular geneli için değerlendirmeler	466
✓	I. Teknolojik çözüm grubu – “konvansiyonel esaslı yenilikçi teknolojik uygulamalar”	468
✓	II. Teknolojik çözüm grubu – “yenilikçi teknolojik uygulamalar”	479
4.5.4	Geliştirilen Teknolojik Çözümlerin Endüstride Saha Ölçek Tercih Edilebilirlikleri	493
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER		501
KAYNAKLAR		518

EKLER:

- EK-1: Etkinliği Bilinen Sistemlerin Nihai Konsantre Atık Analizleri Raporu
- EK-2: Önerilen Yenilikçi Sistemlerin Nihai Konsantre Atık Analizleri Raporu
- EK-3: Piyasa Araştırmasına Dayalı Nihai Konsantre Atık Bertaraf Fiyat Teklifleri
- EK-4: Tüm Sistemlere Ait Saha Ölçek Maliyet Analiz Raporları

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1	Proje iş-zaman çizelgesi.....	5
Tablo 3.1	Tekstil ve kâğıt endüstrisi atıksularında sürekli deneylerde izlenen parametreler	22
Tablo 3.2	Deneylerde kullanılan basınç sürücülü membranların (UF, $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, TO) genel özellikleri.....	23
Tablo 3.3	Kullanılan MD membranlarının genel özellikleri (Narcı, 2015)	25
Tablo 3.4	Tekstil ve kâğıt endüstrisi atıksularının karakterizasyonu	26
Tablo 3.5	Kesikli (tezgah-üstü ölçek) ve sürekli (pilot ölçek) İOP/batık UF hibrit reaktörleri için ölçek büyütme oranları.....	35
Tablo 3.6	Kesikli (tezgah-üstü ölçek) ve sürekli (pilot ölçek) İOP/batık UF hibrit reaktörleri için lamba sayısı, toplam güç değerleri, su çekim ve havalandırma hızları	36
Tablo 3.7	Kesikli işletimli İOP/batık UF hibrit proseste Taguchi tasarım deneyleri değişkenleri ve seviyeleri	40
Tablo 3.8	İOP/batık UF hibrit reaktörde Fenton destekli ileri oksidasyon için değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_{32} 4^6$)	42
Tablo 3.9	İOP/batık UF hibrit reaktörde foto-Fenton destekli ileri oksidasyon için değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_{32} 2^1 \times 4^7$).....	43
Tablo 3.10	Fenton destekli batık UF'li İOP/UF hibrit proseste deneysel arıtım için uygulanmış değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_{32} 4^8$)	44
Tablo 3.11	Foto-Fenton destekli batık UF'li İOP/UF hibrit proseste deneysel arıtım için uygulanmış değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_{32} 2^1 \times 4^9$).....	45
Tablo 3.12	Önerilen İOP/MP sistemleri için kesikli işletimli membran filtrasyon deneylerinin Taguchi tasarım değişkenleri ve seviyeleri	47
Tablo 3.13	Önerilen İOP/MP sistemlerinin kesikli işletimli membran filtrasyon deneyleri için değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_8 2^1 \times 4^3$).....	48
Tablo 3.14	Sürekli (pilot ölçek) İOP/batık UF hibrit reaktörleri optimum işletme şartları	50
Tablo 3.15	Tekstil endüstrisi atıksularının {İOP/UF}/[$NF_{\text{sıkı}}$] sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantrasyon bertarafı lab pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları.....	51
Tablo 3.16	Tekstil endüstrisi atıksularının {İOP/UF}/[TO] sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantrasyon bertarafı lab pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları	52

Tablo 3.17	Tekstil endüstrisi atıksularının {İOP/UF}/[NF _{gevşek} /TO] sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre arıtımı pilot pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları.....	53
Tablo 3.18	Kağıt endüstrisi atıksularının Fenton destekli {İOP/UF}/[MD] sisteminde uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları.....	54
Tablo 3.19	Kağıt endüstrisi atıksularının foto-Fenton (UVA) destekli {İOP/UF}/[MD] sisteminde uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları.....	55
Tablo 3.20	Kağıt endüstrisi atıksularının foto-Fenton (UVC) destekli {İOP/UF}/[MD] sisteminde uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları.....	56
Tablo 3.21	Tekstil ve kâğıt endüstrisi atıksularının önerilen sistemlerle uzun süreli arıtımlarındaki tur (konsantre geri devri) ve toplam ardışık işletim sayıları.....	57
Tablo 3.22	Önerilen sistemlerdeki basınç ve sıcaklık sürücülü membran proseslerin sürekli işletim şartları.....	59
Tablo 3.23	Kâğıt ve tekstil endüstrilerinde yeniden kullanım suyu için literatür değerleri.....	60
Tablo 3.24	Bütünleşik İOP/MP kombinasyonlarında üretilen konsantre atıklardaki testler ve analiz yöntemleri.....	62
Tablo 3.25	Tekstil ve kağıt atıksularından su geri kazanımı ve membran konsantreleri yönetiminde gerçek ölçege benzeştirilmiş sistem senaryolarının proses ve teknoloji içerikleri ile proses kodlamaları ve su geri kazanım oranları.....	69
Tablo 3.26	Yatırım, işletme ve toplam maliyet bileşenlerini hesaplama denklemleri.....	71
Tablo 3.27	Hedef endüstriyel atıksulardan saha ölçek etkinliği bilinen ve önerilen sistemlerle su geri kazanımı ve konsantre yönetimi uygulamalarına ilişkin birim maliyetler ..	71
Tablo 3.28	Membranların satın alma-bertaraf maliyetleri, kullanım ömürleri ve membran proseslerin elektrik sarfiyatları.....	72
Tablo 3.29	LED UV lambaların satın alma-bertaraf maliyetleri, kullanım ömürleri ve elektrik sarfiyatları.....	72
Tablo 4.1	UH050/NF270/LFC-3 membranları sırasında işletilen UF/NF _{sıkı} /TO bütünleşik sistemiyle tekstil atıksuyunun filtrasyon performansları ve çıkış suyu kalitesi.....	78
Tablo 4.2	MPF-36/ESNA-1 membranları sırasında işletilen NF _{gevşek} /NF _{sıkı} bütünleşik sistemiyle kâğıt atıksuyunun filtrasyon performansları ve çıkış suyu kalitesi.....	82
Tablo 4.3	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesıyla arıtımında İO prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2 ¹ ×4 ⁶) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar.....	86
Tablo 4.4	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesıyla arıtımında UF prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2 ¹ ×4 ⁸) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar.....	87
Tablo 4.5	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesıyla arıtımında TOK ve KOİ giderim verimleri (%).....	88

Tablo 4.6	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörün performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları	89
Tablo 4.7	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörü için proses performans parametrelerine ait model denklemleri	90
Tablo 4.8	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları	93
Tablo 4.9	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametrelerine ait model denklemleri	94
Tablo 4.10	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için lineer modelin (Model I) ANOVA analiz sonuçları	101
Tablo 4.11	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için model denklemleri.....	102
Tablo 4.12	İOP/batık UF hibrit sistemde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımı için belirlenmiş optimum proses işletme şartları	106
Tablo 4.13	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İO prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_{32} 2^1 \times 4^8$) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar	113
Tablo 4.14	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UF prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_{32} 2^1 \times 4^{10}$) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar	114
Tablo 4.15	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK ve KOİ giderim verimleri (%)	115
Tablo 4.16	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörün performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları.....	116
Tablo 4.17	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörü için proses performans parametrelerine ait model denklemleri.....	117
Tablo 4.18	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları	127
Tablo 4.19	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametrelerine ait model denklemleri.....	128
Tablo 4.20	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için lineer modelin (Model I) ANOVA sonuçları	149
Tablo 4.21	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için model denklemleri.....	150

Tablo 4.22 İOP/batık UF hibrit proseste tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımı için belirlenmiş optimum proses işletme şartları	166
Tablo 4.23 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İO prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_{32} 2^1 \times 4^6$) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar	177
Tablo 4.24 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında UF prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_{32} 2^1 \times 4^8$) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar	178
Tablo 4.25 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK ve KOİ giderim verimleri (%)	179
Tablo 4.26 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörün performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları	180
Tablo 4.27 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörü için proses performans parametrelerine ait model denklemleri	181
Tablo 4.28 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları	186
Tablo 4.29 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametrelerine ait model denklemleri	187
Tablo 4.30 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için lineer modelin (Model I) ANOVA analiz sonuçları	193
Tablo 4.31 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için model denklemleri.....	194
Tablo 4.32 İOP/batık UF hibrit sistemde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımı için belirlenmiş optimum proses işletme şartları.....	199
Tablo 4.33 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İO prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_{32} 2^1 \times 4^8$) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar	206
Tablo 4.34 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UF prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_{32} 2^1 \times 4^{10}$) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar	207
Tablo 4.35 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK ve KOİ giderim verimleri (%)	208
Tablo 4.36 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörün performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları	209
Tablo 4.37 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörü için proses performans parametrelerine ait model denklemleri	210

Tablo 4.38	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları	220
Tablo 4.39	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametrelerine ait model denklemleri	221
Tablo 4.40	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için lineer modelin (Model I) ANOVA analiz sonuçları	241
Tablo 4.41	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için model denklemleri.....	242
Tablo 4.42	İOP/batık UF hibrit proseste kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımı için belirlenmiş optimum proses işletme şartları.....	257
Tablo 4.43	Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UV-A, UV-C) prosesleri ile ardışık arıtımı sonucunda elde edilen analiz sonuçları	268
Tablo 4.44	Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası $NF_{\text{gevşek}}$ membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	270
Tablo 4.45	Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası $NF_{\text{sıkı}}$ membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	271
Tablo 4.46	Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası $NF_{\text{gevşek}}/TO$ filtrasyonunda TO membran için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	272
Tablo 4.47	Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası TO membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	273
Tablo 4.48	Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (foto-Fenton (UVA-365) prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 konfiigürasyonları ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	276
Tablo 4.49	Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (foto-Fenton (UVC-254) prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 konfiigürasyonları ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	277
Tablo 4.50	Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) prosesleri ile ardışık arıtımı sonucunda elde edilen analiz sonuçları.....	280

Tablo 4.51 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası $NF_{gevşek}$ membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	282
Tablo 4.52 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası $NF_{sıkı}$ membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	283
Tablo 4.53 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası $NF_{gevşek}/TO$ filtrasyonunda TO membran için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	284
Tablo 4.54 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası TO membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	285
Tablo 4.55 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (foto-Fenton (UVA-365) prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası CK3001, NF270, CK3001/BW30 ve BW30 membran konfigürasyonları ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	290
Tablo 4.56 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (foto-Fenton (UVC-254) prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası CK3001, NF270, CK3001/BW30 ve BW30 membran konfigürasyonları ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar	291
Tablo 4.57 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle UF prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları.	295
Tablo 4.58 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle $NF_{sıkı}$ prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları.	296
Tablo 4.59 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle TO prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları.	297
Tablo 4.60 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen sistemlerde membran konsantre karışımının İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) prosesleri ile ardışık arıtımı	298
Tablo 4.61 Kağıt atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle $NF_{gevşek}$ prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları.	301
Tablo 4.62 Kağıt atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle $NF_{sıkı}$ prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları.	302
Tablo 4.63 Kağıt endüstrisi atıksularının etkinliği bilinen sistemlerde membran konsantre karışımının İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UV-A, UV-C) prosesleri ile ardışık arıtımı	304
Tablo 4.64 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {İOP/UF}/[$NF_{sıkı}$] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri.....	320

Tablo 4.65	Sürekli işletimli önerilen UVA Foto-Fenton destekli {İOP/UF}/[NF _{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri	321
Tablo 4.66	Sürekli işletimli önerilen UVC Foto-Fenton destekli {İOP/UF}/[NF _{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri	322
Tablo 4.67	Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim	335
Tablo 4.68	Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim	336
Tablo 4.69	Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim	337
Tablo 4.70	Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[NF _{gevşek} -TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim	351
Tablo 4.71	Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF _{gevşek} -TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim	352
Tablo 4.72	Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF _{gevşek} /TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim	353
Tablo 4.73	Önerilen (a)-,{Fenton/UF}/[NF _{sıkı}] (b)-,{Fenton/UF}/[TO] ve (c)-,{Fenton/UF}/[NF _{gevşek} /TO] sistemlerinde farklı konsantr etme oranlarında çıkış suyu TOK, KOİ ve TÇK değerleri, toplam verimleri ve membran süzüntü akıları	356
Tablo 4.74	(a)-,{Fenton/UF}/[TO/MD] (b) {Fenton/UF}/[MD] sistemlerinde farklı konsantr etme oranlarında, çıkış suyu TOK, KOİ ve TÇK değerleri, toplam verimleri ve membran süzüntü akıları	357
Tablo 4.75	Sürekli işletimli önerilen {Fenton/batık UF}/[MD] ile bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim	371
Tablo 4.76	Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/batık UF}/[MD] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim	372
Tablo 4.77	Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/batık UF}/[MD] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim	373
Tablo 4.78	Tekstil atıksularının etkinliği bilinen sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantr akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrlerinde analiz/içerik belirleme sonuçları ..	385
Tablo 4.79	Tekstil atıksularının önerilen sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantr akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrlerinde analiz/içerik belirleme sonuçları	386
Tablo 4.80	Tekstil atıksularının etkinliği bilinen sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantr akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrlerinde tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri	387
Tablo 4.81	Kağıt atıksularının etkinliği bilinen sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantr akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrlerinde analiz/içerik belirleme sonuçları ..	388

Tablo 4.82	Tekstil atıksularının etkinliği bilinen sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri.....	389
Tablo 4.83	Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi	471
Tablo 4.84	Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel $[NF_{gevşek}/NF_{sıkl}]/\{İOP/UF\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi	474
Tablo 4.85	Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi	477
Tablo 4.86	Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel $\{İOP/UF\}/[NF_{sıkl}]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi.....	482
Tablo 4.87	Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel $\{İOP/UF\}/[TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi.....	485
Tablo 4.88	Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel $\{İOP/UF\}/[MD]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi.....	488
Tablo 4.89	Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel $\{İOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi	491

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1	KOI-H ₂ O ₂ ilişki grafiği	21
Şekil 3.2	Önerilen yenilikçi İOP/MP entegre endüstriyel atıksu arıtma (su geri kazanma ve konsantrasyon hacmi/yükü azaltma) sistemi genel proses akış şeması	27
Şekil 3.3	Önerilen İOP/MP sistemi için 3 farklı işletim seçeneği:	27
Şekil 3.4	Literatürden etkinlikleri bilinen ve ortak konsantrasyonlarda hacim ve yük azaltımı için İOP ile donatılmış endüstriyel su geri kazanma ve konsantrasyon yönetim sistemi genel proses akış şemaları ((a)-Kâğıt endüstrisi atıksuları için NF _{gevşek} /NF _{sıkı} bütünleşik membran sistemi [NF _{gevşek} / NF _{sıkı}] / {İOP/UF} ve (b)-Tekstil endüstrisi atıksuları için UF/NF _{sıkı} /TO bütünleşik membran sistemi [UF/NF _{sıkı} /TO] / {İOP/UF})	28
Şekil 3.5	Kâğıt atıksuyu için “B Planı” çerçevesinde uygulanan hibrit İOP/UF’e entegre MD sisteminin genel proses akış şeması	29
Şekil 3.6	Kesikli İOP/batık UF hibrit reaktörü (a) UVC-254 lambalarla donatılmış genel görünüm (b) UVA-365 lambalarla donatılmış genel görünüm (c) batık UF membran modülünün yakından görünümü	30
Şekil 3.7	Kesikli hibrit İOP/batık UF reaktörde lamba sayısına bağlı ışık şiddeti değişimleri	31
Şekil 3.8	Etkinliği bilinen kesikli işletimli tezgâh-üstü basınç sürücülü membran sistemler ((a)-Gebze Teknik Üniversitesi ve (b)-Kocaeli Üniversitesi)	32
Şekil 3.9	Pilot ölçek sürekli işletimli İOP/batık UF hibrit reaktörü ((a) UVC-254 lambalarla donatılmış genel görünüm (b) Sistem otomasyon ünitesi, (c) UVA-365 lambalara ait dış reaktör donanımının genel görünümü, (d) Batık UF membran modülünün yakın görünümü)	34
Şekil 3.10	Sürekli işletimli İOP/batık UF hibrit reaktöründe lamba sayısına bağlı ışık şiddeti değişimleri	37
Şekil 3.11	Etkinliği bilinen sürekli işletimli pilot ölçek basınç sürücülü membran sistemler ((a)-Gebze Teknik Üniversitesi ve (b)-Kocaeli Üniversitesi)	37
Şekil 3.12	MD prosesi çalışma düzeneği (a-şematik gösterim, b-fotoğraf)	38
Şekil 3.13	Proje çalışmasında uygulanan deneysel tasarım yöntemi	39
Şekil 3.14	Geliştirilen yenilikçi teknolojik çözümlerin hedef tekstil ve kâğıt atıksularına saha ölçeğinde uygulamalarında günlük atık çekim debilerinin hesabı için, konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemlerdeki İOP reaktörü hidrolik bekletme süresine bağlı İOP reaktörü tasarım hacmi değişimleri ((a)-Konvansiyonel esaslı yenilikçi teknolojik uygulamalar, (b)-Geliştirilen yenilikçi teknolojik uygulamalar).....	68
Şekil 4.1	UF/NF _{sıkı} /TO membran sistemiyle tekstil atıksuyunun filtrasyonunda UF membranlarına ait filtrasyon performansları	75
Şekil 4.2	UF/NF _{sıkı} /TO membran sistemiyle tekstil atıksuyunun filtrasyonunda NF _{sıkı} membranlarına ait filtrasyon performansları	75
Şekil 4.3	UF/NF _{sıkı} /TO membran sistemiyle tekstil atıksuyunun filtrasyonunda TO membranlarına ait filtrasyon performansları	76
Şekil 4.4	UF/NF _{sıkı} /TO membran filtrasyonunda UF membranlarına ait süzüntü akıları	76

Şekil 4.5	UF/NF _{sıkı} /TO membran filtrasyonunda NF _{sıkı} membranlarına ait süzüntü akıları..77
Şekil 4.6	UF/NF _{sıkı} /TO membran filtrasyonunda TO membranlarına ait süzüntü akıları77
Şekil 4.7	NF _{gevşek} /NF _{sıkı} membran sistemiyle kâğıt atıksuyunun filtrasyonunda NF _{gevşek} membranlarına ait filtrasyon performansları80
Şekil 4.8	NF _{gevşek} /NF _{sıkı} membran sistemiyle kâğıt atıksuyunun filtrasyonunda NF _{sıkı} membranlarına ait filtrasyon performansları80
Şekil 4.9	NF _{gevşek} /NF _{sıkı} membran filtrasyonunda NF _{gevşek} membranlarına ait süzüntü akıları81
Şekil 4.10	NF _{gevşek} /NF _{sıkı} membran filtrasyonunda NF _{sıkı} membranlarına ait süzüntü akıları 81
Şekil 4.11	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarına göre pH (a), E _i (b), TÇK (c) ve SO ₄ ²⁻ (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H ₂ O ₂ /TOK ve H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....91
Şekil 4.12	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarına göre TOK (a), KOİ (b), renk (c) ve Cl ⁻ (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H ₂ O ₂ /TOK ve H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....92
Şekil 4.13	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre TOK giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, v _H ve v _{SÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....95
Şekil 4.14	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre KOİ giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, v _H ve v _{SÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....96
Şekil 4.15	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre süzüntü akısı (J, L/m ² .sa) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, v _H ve v _{SÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....97
Şekil 4.16	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesinde UH050 membranı için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarına göre pH (a), E _i (b), TÇK (c) ve SO ₄ ²⁻ (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H ₂ O ₂ /TOK ve H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....98
Şekil 4.17	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesinde UH050 membranı için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl ⁻ (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte,

	eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....	99
Şekil 4.18	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre TOK giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, vH ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)	103
Şekil 4.19	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre KOİ giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, vH ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)	104
Şekil 4.20	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre süzüntü akısı ($J, L/m^2 \cdot sa$) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, vH ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)	105
Şekil 4.21	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için model ve deneysel performans sonuçları	107
Şekil 4.22	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için model ve deneysel performans sonuçları	107
Şekil 4.23	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen TOK ve KOİ giderim verimleri ve çıkış suyunda H_2O_2 konsantrasyonu	108
Şekil 4.24	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen TOK ve KOİ giderim verimleri ve çıkış suyunda H_2O_2 konsantrasyonu	108
Şekil 4.25	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında her iki optimum işletme deneyi için zamana karşı değişen UF süzüntü akısı	110
Şekil 4.26	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları.....	111
Şekil 4.27	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları.....	111
Şekil 4.28	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....	118
Şekil 4.29	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b)	

- değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)..... 119
- Şekil 4.30 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)..... 120
- Şekil 4.31 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TOK (a) ve KOI (b) giderim verimi (%) grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)..... 121
- Şekil 4.32 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)..... 122
- Şekil 4.33 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)..... 123
- Şekil 4.34 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)..... 124
- Şekil 4.35 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre TOK (a) ve KOI (b) giderim verimi (%) grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)..... 125
- Şekil 4.36 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)..... 129

- Şekil 4.37 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , vH ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)130
- Şekil 4.38 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, $v_{SÇ}$ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)131
- Şekil 4.39 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , vH ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)132
- Şekil 4.40 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, $v_{SÇ}$ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)133
- Şekil 4.41 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , vH ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)134
- Şekil 4.42 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, $v_{SÇ}$ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)135
- Şekil 4.43 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , vH ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)136
- Şekil 4.44 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m^2 -sa) grafikleri (t, T, pH, vH, $v_{SÇ}$ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)....137

- Şekil 4.45 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı ($J, L/m^2 \cdot sa$) grafikleri ($t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+}, v_H$ ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.).....138
- Şekil 4.46 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı ($J, L/m^2 \cdot sa$) grafikleri ($t, T, pH, v_H, v_{SÇ}$ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)139
- Şekil 4.47 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı ($J, L/m^2 \cdot sa$) grafikleri ($t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+}, v_H$ ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)140
- Şekil 4.48 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)141
- Şekil 4.49 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.142
- Şekil 4.50 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)143
- Şekil 4.51 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses

- parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....144
- Şekil 4.52 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2 /TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....145
- Şekil 4.53 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2 /TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....146
- Şekil 4.54 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)151
- Şekil 4.55 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)152
- Şekil 4.56 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)153
- Şekil 4.57 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)154
- Şekil 4.58 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)155
- Şekil 4.59 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının

- KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)156
- Şekil 4.60 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC-254 (I) ve UVA-365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)157
- Şekil 4.61 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC-254 (I) ve UVA-365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)158
- Şekil 4.62 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC-254 (I) ve UVA-365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m^2 -sa) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)159
- Şekil 4.63 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC-254 (I) ve UVA-365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m^2 -sa) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)160
- Şekil 4.64 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC-254 (I) ve UVA-365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m^2 -sa) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)161
- Şekil 4.65 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC-254 (I) ve UVA-365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m^2 -sa) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)162
- Şekil 4.66 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 1 için model ve deneysel performans sonuçları.....167
- Şekil 4.67 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 2 için model ve deneysel performans sonuçları.....167
- Şekil 4.68 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 3 için model ve deneysel performans sonuçları.....168
- Şekil 4.69 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 4 için model ve deneysel performans sonuçları.....168

Şekil 4.70	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen TOK ve KOİ giderim verimleri ve çıkış suyunda H ₂ O ₂ konsantrasyonu	169
Şekil 4.71	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen TOK ve KOİ giderim verimleri ve çıkış suyunda H ₂ O ₂ konsantrasyonu	169
Şekil 4.72	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 3 için zamana karşı değişen TOK ve KOİ giderim verimleri ve çıkış suyunda H ₂ O ₂ konsantrasyonu	170
Şekil 4.73	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 4 için zamana karşı değişen TOK ve KOİ giderim verimleri ve çıkış suyunda H ₂ O ₂ konsantrasyonu	170
Şekil 4.74	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları	171
Şekil 4.75	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları	171
Şekil 4.76	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 3 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları	172
Şekil 4.77	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 4 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları	172
Şekil 4.78	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında her bir optimum işletme deneyi için zamana karşı değişen UF süzüntü akıları	173
Şekil 4.79	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında aynı atıksuyla işletilen OD3 ve 21 no'lu tekrar deneyine ait performans sonuçları	174
Şekil 4.80	Fenton ve foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunu optimum arıtım performansları	175
Şekil 4.81	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarına göre pH (a), E _h (b), TÇK (c) ve SO ₄ ²⁻ 12 (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H ₂ O ₂ /TOK ve H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)	182
Şekil 4.82	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarına göre TOK (a), KOİ (b), renk (c) ve Cl ⁻ (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H ₂ O ₂ /TOK ve H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)	183

- Şekil 4.83 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre TOK giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....188
- Şekil 4.84 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre KOİ giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....189
- Şekil 4.85 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre süzüntü akısı (J, L/m^2 -sa) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....190
- Şekil 4.86 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesinde UH050 membranı için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a), E_i (b), TÇK (c) ve SO_4^{2-} (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....191
- Şekil 4.87 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesinde UH050 membranı için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....192
- Şekil 4.88 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre TOK giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)195
- Şekil 4.89 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre KOİ giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)196
- Şekil 4.90 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre süzüntü akısı (J, L/m^2 -sa) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....197
- Şekil 4.91 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için model ve deneysel performans sonuçları.....200

Şekil 4.92	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için model ve deneysel performans sonuçları	200
Şekil 4.93	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H ₂ O ₂ konsantrasyonu	201
Şekil 4.94	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H ₂ O ₂ konsantrasyonu	201
Şekil 4.95	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında her iki optimum işletme deneyi için zamana karşı değişen UF süzüntü akısı	203
Şekil 4.96	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları	203
Şekil 4.97	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen demir konsantrasyonları	204
Şekil 4.98	İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında aynı atıksuyla işletilen OD1 ve 21 no'lu tekrar deneyine ait performans sonuçları	204
Şekil 4.99	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarına göre pH (a) ve E _i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H ₂ O ₂ /TOK ve H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....	211
Şekil 4.100	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarına göre TÇK (a) ve SO ₄ ²⁻ (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H ₂ O ₂ /TOK ve H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....	212
Şekil 4.101	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl ⁻ (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H ₂ O ₂ /TOK ve H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....	213
Şekil 4.102	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve Fe ²⁺ konsantrasyonlarına göre TOK (a) ve KOI (b) giderim verimi (%) grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H ₂ O ₂ /TOK ve H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....	214
Şekil 4.103	İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H ₂ O ₂ ve ışık şiddetine (I _s) göre pH (a) ve E _i (b) değişim grafikleri	

- (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve $I_{\text{ş}}$ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....215
- Şekil 4.104 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_{\text{ş}}$) göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve $I_{\text{ş}}$ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....216
- Şekil 4.105 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_{\text{ş}}$) göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve $I_{\text{ş}}$ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....217
- Şekil 4.106 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_{\text{ş}}$) göre TOK (a) ve KOI (b) giderim verimi (%) grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve $I_{\text{ş}}$ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....218
- Şekil 4.107 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve $I_{\text{ş}}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)222
- Şekil 4.108 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_{\text{ş}}$) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)223
- Şekil 4.109 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve $I_{\text{ş}}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)224
- Şekil 4.110 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_{\text{ş}}$) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)225
- Şekil 4.111 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için

- TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve $I_ş$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)226
- Şekil 4.112 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_ş$) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)227
- Şekil 4.113 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve $I_ş$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)228
- Şekil 4.114 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_ş$) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)229
- Şekil 4.115 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı ($J, L/m^2\text{-sa}$) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve $I_ş$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)230
- Şekil 4.116 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_ş$) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı ($J, L/m^2\text{-sa}$) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)231
- Şekil 4.117 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı ($J, L/m^2\text{-sa}$) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve $I_ş$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)232
- Şekil 4.118 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_ş$) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı ($J, L/m^2\text{-sa}$) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)233
- Şekil 4.119 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+}

- konsantrasyonlarına göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....234
- Şekil 4.120 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....235
- Şekil 4.121 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....236
- Şekil 4.122 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_{λ}) göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve I_{λ} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....237
- Şekil 4.123 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_{λ}) göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve I_{λ} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....238
- Şekil 4.124 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_{λ}) göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve I_{λ} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....239
- Şekil 4.125 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve I_{λ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.).....244

- Şekil 4.126 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_{λ}) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{S\check{C}}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)245
- Şekil 4.127 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{S\check{C}}$ ve I_{λ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)246
- Şekil 4.128 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_{λ}) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{S\check{C}}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)247
- Şekil 4.129 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{S\check{C}}$ ve I_{λ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)248
- Şekil 4.130 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_{λ}) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{S\check{C}}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)249
- Şekil 4.131 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{S\check{C}}$ ve I_{λ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)250
- Şekil 4.132 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_{λ}) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{S\check{C}}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)251
- Şekil 4.133 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J , $L/m^2 \cdot sa$) grafikleri (t, T, pH, v_H , $v_{S\check{C}}$ ve I_{λ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)252
- Şekil 4.134 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_{λ}) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J , $L/m^2 \cdot sa$) grafikleri (t, T, pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{S\check{C}}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)253

Şekil 4.135 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı (J , $L/m^2 \cdot sa$) grafikleri (t , T , pH , v_H , $v_{SÇ}$ ve $I_{ş}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)	254
Şekil 4.136 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_{ş}$) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı (J , $L/m^2 \cdot sa$) grafikleri (t , T , pH , H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)	255
Şekil 4.137 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 1 için model ve deneysel performans sonuçları	258
Şekil 4.138 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 2 için model ve deneysel performans sonuçları	258
Şekil 4.139 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H_2O_2 konsantrasyonu.....	259
Şekil 4.140 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H_2O_2 konsantrasyonu.....	259
Şekil 4.141 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları.....	260
Şekil 4.142 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları.....	260
Şekil 4.143 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında her bir optimum işletme deneyi için zamana karşı değişen UF süzüntü akıları .	261
Şekil 4.144 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Foto-Fenton prosesiyle arıtımında aynı atıksuyla işletilen OD1 ve 21 no'lu tekrar deneyine ait performans sonuçları	263
Şekil 4.145 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Foto-Fenton prosesiyle arıtımında aynı atıksuyla işletilen OD2 ve 27 no'lu tekrar deneyine ait performans sonuçları	264
Şekil 4.146 Fenton ve foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun optimum arıtım performansları	265
Şekil 4.147 Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımında Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) proseslerinde kullanılan UH050, UV150 ve UH050 membranlarına ait süzüntü akıları	267
Şekil 4.148 Tekstil atıksularının önerilen İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UV-A, UV-C) prosesleri ile arıtımı sonucunda elde edilen arıtım performansları.....	267

Şekil 4.149	Tekstil atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde Fenton prosesi sonrasında elde edilen süzüntü akımlarında en uygun bulunan $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$ ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri	274
Şekil 4.150	Tekstil atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde foto-Fenton (UVA-365) prosesi sonrasında elde edilen süzüntü akımlarında en uygun bulunan $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$ ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri.....	274
Şekil 4.151	Tekstil atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde foto-Fenton (UVC-254) prosesi sonrasında elde edilen süzüntü akımlarında en uygun bulunan $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$ ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri.....	275
Şekil 4.152	Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımında Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) proseslerinde kullanılan UH050, UP020,UH050 membranlarına ait süzüntü akıları.....	279
Şekil 4.153	Kağıt atıksularının önerilen İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) prosesleri ile arıtımı sonucunda elde edilen arıtım performansları	281
Şekil 4.154	Kağıt atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde Fenton prosesi sonrasında elde edilensüzüntü akımlarında en uygun bulunan $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$ ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri.....	287
Şekil 4.155	Kağıt atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde foto-Fenton (UVA-365) prosesi sonrasında elde edilensüzüntü akımlarında en uygun bulunan $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$ ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri	288
Şekil 4.156	Kağıt atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde foto-Fenton (UVC-254) prosesi sonrasında elde edilensüzüntü akımlarında en uygun bulunan $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$ ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri.....	288
Şekil 4.157	Tekstil atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle sürekli şartlarda filtrasyonunda UF, $NF_{\text{sıkı}}$ ve TO membranlarına ait süzüntü akıları	294
Şekil 4.158	Tekstil atıksularının etkinliği bilinen sistemlerde karışık konsantrelerinin tezgah üstü İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımında UF membranlara ait süzüntü akıları	299
Şekil 4.159	Tekstil atıksularının etkinliği bilinen UF/ $NF_{\text{sıkı}}/TO$ prosesi ile arıtımı sonucunda elde edilen karışık konsantrelerin tezgah üstü İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımı performansları	299
Şekil 4.160	Kağıt atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle sürekli şartlarda filtrasyonunda $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$ membranlarına ait süzüntü akıları	300
Şekil 4.161	Kağıt atıksularının etkinliği bilinen sistemlerde karışık konsantrelerin tezgah üstü İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımında UF membranlara ait süzüntü akıları	305
Şekil 4.162	Kağıt atıksularının etkinliği bilinen $NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$ membran konfigürasyonu ile arıtımı sonucunda elde edilen karışık konsantrelerin tezgah üstü İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımı performansları	306
Şekil 4.163	Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/ $[NF_{\text{sıkı}}]$ bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, Fenton, Fenton/UF sonuçlarını, sağ eksen; $NF_{\text{sıkı}}$ sonuçlarını vermektedir.).....	309
Şekil 4.164	Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/ $[NF_{\text{sıkı}}]$ bütünleşik membran sisteminde toplam Fe değişimleri	310

Şekil 4.165 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[NF _{sıki}] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansları	310
Şekil 4.166 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[NF _{sıki}] bütünleşik membran sisteminde akı değişimleri	310
Şekil 4.167 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF _{sıki}] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, UVA-Fenton, UVA-Fenton/UF sonuçlarını, sağ eksen; NF _{sıki} sonuçlarını vermektedir.)	313
Şekil 4.168 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF _{sıki}] bütünleşik membran sisteminde toplam Fe değişimi	314
Şekil 4.169 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF _{sıki}] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansları	314
Şekil 4.170 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF _{sıki}] bütünleşik membran sisteminde akı değişimleri	314
Şekil 4.171 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF _{sıki}] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sağ eksen; Ham, UVC-Fenton, UVC-Fenton/UF sonuçlarını, sol eksen; NF _{sıki} sonuçlarını vermektedir.)	316
Şekil 4.172 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF _{sıki}] bütünleşik membran sisteminde toplam Fe değişimleri	317
Şekil 4.173 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF _{sıki}] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansları	317
Şekil 4.174 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF _{sıki}] bütünleşik membran sisteminde akı değişimleri	317
Şekil 4.175 Sürekli işletimli önerilen (a) {Fenton/UF}/[NF _{sıki}] (b) {UVA-Fenton/UF}/[NF _{sıki}] (c) {UVC-Fenton/UF}/[NF _{sıki}] sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları	319
Şekil 4.176 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, İOP, İOP+UF sonuçlarını, sağ eksen; TO sonuçlarını vermektedir.)	324
Şekil 4.177 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi	325
Şekil 4.178 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı	325
Şekil 4.179 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi	325
Şekil 4.180 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde (a)pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, İOP, İOP+UF sonuçlarını, sağ eksen; TO sonuçlarını vermektedir.)	327
Şekil 4.181 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi	328
Şekil 4.182 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı	328

Şekil 4.183 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi	328
Şekil 4.184 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, İOP, İOP+UF sonuçlarını, sağ eksen; TO sonuçlarını vermektedir.).....	331
Şekil 4.185 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi.....	332
Şekil 4.186 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı	332
Şekil 4.187 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi	332
Şekil 4.188 Sürekli işletimli önerilen (a) {Fenton/UF}/[TO] (b) {UVA-Fenton/UF}/[TO] (c) {UVC-Fenton/UF}/[TO] sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları.....	333
Şekil 4.189 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/batık UF}/[NF _{gevşek} -TO] entegre bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, İOP, İOP/UF sonuçlarını, sağ eksen; NF _{gevşek} , TO sonuçlarını vermektedir.).....	339
Şekil 4.190 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {Fenton/batık UF}/[NF _{gevşek} -TO] bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi.....	340
Şekil 4.191 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {Fenton/batık UF}/[NF _{gevşek} -TO] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı	340
Şekil 4.192 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {Fenton/UF}/[NF _{gevşek} -TO] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi	340
Şekil 4.193 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVA-Fenton/batık UF}/[NF _{gevşek} -TO] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) Ei, (d) TÇK, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sağ eksen; Ham, İOP, İOP/UF sonuçlarını, sol eksen; NF _{gevşek} , TO sonuçlarını vermektedir.).....	343
Şekil 4.194 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli UVA/UF- NF _{gevşek} -TO bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi.....	344
Şekil 4.195 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli UVA/UF-NF _{gevşek} -TO bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı	344
Şekil 4.196 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli UVA/UF-NF _{gevşek} -TO bütünleşik membran sisteminde akı değişimi	344
Şekil 4.197 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/batık UF}/[NF _{gevşek} -TO] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) Ei, (d) TÇK, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sağ eksen; Ham, İOP, İOP/UF sonuçlarını, sol eksen; NF _{gevşek} , TO sonuçlarını vermektedir.).....	347
Şekil 4.198 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/batık UF}/[NF _{gevşek} -TO] bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi.....	348
Şekil 4.199 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/batık UF}/[NF _{gevşek} -TO] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı	348

Şekil 4.200 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/batık UF}/[NF _{gevşek} -TO] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi	348
Şekil 4.201 Sürekli işletimli önerilen (a) {Fenton/UF}/[NF _{gevşek} -TO] (b) {UVA-Fenton/UF}/[NF _{gevşek} -TO] (c) {UVC-Fenton/UF}/[NF _{gevşek} -TO] sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları.....	350
Şekil 4.202 Kâğıt atıksuyunun {Fenton/batık UF}/[MP ve/veya MD] bütünleşik sistemler ile arıtım performansları	358
Şekil 4.203 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[MD] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, Fenton, Fenton/UF sonuçlarını, sağ eksen; MD sonuçlarını vermektedir.).....	360
Şekil 4.204 Sürekli işletimli önerilen{Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde Top-Fe değişimi.....	361
Şekil 4.205 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı	361
Şekil 4.206 Sürekli işletimli önerilen{Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde akı değişimi.....	361
Şekil 4.207 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri(Sol eksen; Ham, İOP, İOP/UF sonuçlarını, sağ eksen; MD sonuçlarını	363
Şekil 4.208 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi.....	364
Şekil 4.209Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı	364
Şekil 4.210 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde akı değişimi	364
Şekil 4.211 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, İOP, İOP/UF sonuçlarını, sağ eksen; MD sonuçlarını	366
Şekil 4.212 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi.....	367
Şekil 4.213 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı	367
Şekil 4.214 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[MD] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi	367
Şekil 4.215 Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri.....	375
Şekil 4.216 Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen toplam Fe değerleri	376
Şekil 4.217 Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı organik madde giderim performansları	376
Şekil 4.218 Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen UF süzüntü suyu akı değerleri.....	377

Şekil 4.219	Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen akı değişimleri	377
Şekil 4.220	Kağıt endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri.....	380
Şekil 4.221	Kağıt endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen toplam Fe değişimleri	381
Şekil 4.222	Kağıt endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı organik madde giderim performansları	381
Şekil 4.223	Kağıt endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen UF süzüntü suyu akı değerleri.....	382
Şekil 4.224	Kağıt endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen UF süzüntü suyu akı değişimi.....	382
Şekil 4.225	[UF/NF _{sıklı} /TO] sistemi proses akış şeması.....	391
Şekil 4.226.	[UF/NF _{sıklı} /TO] sistemi günlük proses çalışma düzeni	392
Şekil 4.227.	[UF/NF _{sıklı} /TO]/{[OP/UF]} sistemi proses akış şeması	392
Şekil 4.228	[UF-{[OP/UF]}/[NF _{sıklı} /TO] sistemi proses akış şeması	392
Şekil 4.229.	[UF/NF _{sıklı} /TO]/{[OP/UF]} ve [UF-{[OP/UF]}/[NF _{sıklı} /TO] sistemlerinin günlük proses çalışma düzenleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC).....	393
Şekil 4.230	Tekstil atıksuyu için gerçek ölçeğe benzeştirilmiş etkinliği bilinen sistemlerde, İOP reaktöründen çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantre atık debisinin reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)	395
Şekil 4.231	Tekstil atıksuyu için gerçek ölçeğe benzeştirilmiş etkinliği bilinen sistemlerde, sistemdeki su geri kazanım oranlarının reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC).....	396
Şekil 4.232.	Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton destekli konsantre arıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m ³)).....	397
Şekil 4.233	Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVA destekli konsantre arıtmalı ve doğalgaz ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m ³)).....	398
Şekil 4.234	Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVA destekli konsantre arıtmalı ve atıl ısı ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m ³)).....	399
Şekil 4.235	Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVC destekli konsantre arıtmalı ve doğalgaz ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su	

	geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....	400
Şekil 4.236	Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVC destekli konsantre arıtmalı ve atıl ısı ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....	401
Şekil 4.237	Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton destekli konsantre arıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....	402
Şekil 4.238	Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVA destekli konsantre arıtmalı ve doğalgaz ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)) .	403
Şekil 4.239	Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVA destekli konsantre arıtmalı ve atıl ısı ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....	404
Şekil 4.240	Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVC destekli konsantre arıtmalı ve doğalgaz ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)) .	405
Şekil 4.241	Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVC destekli konsantre arıtmalı ve atıl ısı ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....	406
Şekil 4.242	Sıfır sıvı deşarjında Fenton destekli konvansiyonel sistemlerdeki atık çekim sayısına bağlı işletme maliyet bileşenleri ve değerleri ($\$/yıl$) ($[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ 'te yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ 'da yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))	407
Şekil 4.243	Sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli konvansiyonel sistemlerdeki atık çekim sayısına bağlı işletme maliyet bileşenleri ve değerleri ($\$/yıl$) ($[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ 'te yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ 'da yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))	408
Şekil 4.244	$\{İOP/UF\}/[NF_{sıkl}]$ sistemi proses akış şeması.....	411
Şekil 4.245	$\{İOP/UF\}/[TO]$ sistemi proses akış şeması.....	411
Şekil 4.246	$\{İOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ sistemi proses akış şeması	411

Şekil 4.247 {İOP/UF}/[NF _{sıki}] ve {İOP/UF}/[TO] sistemlerinin günlük proses çalışma düzenleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)	412
Şekil 4.248 {İOP/UF}/[NF _{gevşek}]/[TO] sisteminin günlük proses çalışma düzenleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC).....	413
Şekil 4.249 Tekstil atıksuyu için gerçek ölçüğe benzeştirilmiş önerilen sistemlerde, İOP reaktöründen çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantre atık debisinin reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)	415
Şekil 4.250 Tekstil atıksuyu için gerçek ölçüğe benzeştirilmiş önerilen sistemlerde, sistemdeki su geri kazanım oranlarının reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)	416
Şekil 4.251 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton destekli önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m ³)).....	418
Şekil 4.252 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVA destekli doğalgaz ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m ³))	419
Şekil 4.253 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVA destekli atıl ısı ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m ³))	420
Şekil 4.254 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVC destekli doğalgaz ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m ³))	421
Şekil 4.255 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVC destekli atıl ısı ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m ³))	422
Şekil 4.256.Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton destekli önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m ³))	423
Şekil 4.257 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVA destekli doğalgaz ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m ³))	424

Şekil 4.258 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVA destekli atıl ısı ısıtılmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))	425
Şekil 4.259 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVC destekli doğalgaz ısıtılmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))	426
Şekil 4.260 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVC destekli atıl ısı ısıtılmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))	427
Şekil 4.261 Sıvı deşarjı yaklaşımına ve atık çekim sayısına bağlı Fenton destekli önerilen $\{ \dot{I}OP/UF \} / [NF_{sıki}]$ sisteminin işletme maliyet bileşenleri ve değerleri ($\$/yıl$) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d)).....	428
Şekil 4.262 Sıvı deşarjı yaklaşımına ve atık çekim sayısına bağlı Fenton destekli önerilen $\{ \dot{I}OP/UF \} / [TO]$ sisteminin işletme maliyet bileşenleri ve değerleri ($\$/yıl$) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d)).....	429
Şekil 4.263 Sıvı deşarjı yaklaşımına ve atık çekim sayısına bağlı Fenton destekli önerilen $\{ \dot{I}OP/UF \} / [NF_{gevşek} / TO]$ sisteminin işletme maliyet bileşenleri ve değerleri ($\$/yıl$) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d)).....	430
Şekil 4.264 $[NF_{gevşek} / NF_{sıki}]$ sistemi proses akış şeması	433
Şekil 4.265. $[NF_{gevşek} / NF_{sıki}]$ sistemi günlük proses çalışma düzeni	433
Şekil 4.266 Doğal gaz ısıtılmalı $[NF_{gevşek} / NF_{sıki}] / \{ \dot{I}OP/UF \}$ sistemi proses akış şeması	433
Şekil 4.267 $[NF_{gevşek} / NF_{sıki}] / \{ \dot{I}OP/UF \}$ sisteminin günlük proses çalışma düzenleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC).....	434
Şekil 4.268 Kağıt atıksuyu için gerçek ölçeğe benzeştirilmiş etkinliği bilinen sistemlerde, $\dot{I}OP$ reaktöründen çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantre atık debisinin reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri	436
Şekil 4.269 Kağıt atıksuyu için gerçek ölçeğe benzeştirilmiş etkinliği bilinen sistemlerde, sistemdeki su geri kazanım oranlarının reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri	436
Şekil 4.270 Sıfır sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli konsantre arıtımlı ve doğalgaz ısıtılmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))	437

- Şekil 4.271 Sıfır sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli konsantre arıtımlı ve atıl ısı ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....438
- Şekil 4.272 Sıfıra yakın sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli konsantre arıtımlı ve doğalgaz ısıtmalı etkinliği bilinen sistemlerin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))439
- Şekil 4.273 Sıfıra yakın sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli konsantre arıtımlı ve atıl ısı ısıtmalı etkinliği bilinen sistemlerin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))440
- Şekil 4.274 Fenton destekli ve doğal gaz ısıtmalı konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{[İOP/UF]$ sisteminin atık çekim sayısına bağlı işletme maliyet bileşenleri ve değerleri ($\$/yıl$) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d)).....441
- Şekil 4.275 Fenton destekli ve atıl ısı ısıtmalı konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{[İOP/UF]$ sisteminin atık çekim sayısına bağlı işletme maliyet bileşenleri ve değerleri ($\$/yıl$) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d)).....442
- Şekil 4.276 $\{[İOP/UF]/[MD]$ sistemi proses akış şeması445
- Şekil 4.277 $\{[İOP/UF]/[MD]$ sisteminin günlük proses çalışma düzenleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)446
- Şekil 4.278 Kağıt atıksuyu için gerçek ölçeğe benzeştirilmiş önerilen sistemlerde, İOP reaktöründen çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantre atık debisinin reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)447
- Şekil 4.279 Kağıt atıksuyu için gerçek ölçeğe benzeştirilmiş önerilen sistemlerde, sistemdeki su geri kazanım oranlarının reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)447
- Şekil 4.280 Sıfır sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli ve doğalgaz ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))449
- Şekil 4.281. Sıfır sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli ve atıl ısı ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....450

- Şekil 4.282 Sıfıra yakın sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli ve doğalgaz ısıtımali önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrte bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağılı değışen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....451
- Şekil 4.283 Sıfıra yakın sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli ve atıl ısı ısıtımali önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrte bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağılı değışen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....452
- Şekil 4.284 Fenton destekli ve doğalgaz ısıtımali önerilen $\{[OP/UF]/[MD]\}$ sisteminin atık çekim sayısına bağılı işletme maliyet bileşenleri ve değıerleri ($\$/yıl$) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d)).....453
- Şekil 4.285 Fenton destekli ve atıl ısı ısıtımali önerilen $\{[OP/UF]/[MD]\}$ sisteminin atık çekim sayısına bağılı işletme maliyet bileşenleri ve değıerleri ($\$/yıl$) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d)).454
- Şekil 4.286 Tekstil atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli ve ortak konsantrte arıtımali konvansiyonel $[UF/NF_{sıkı}/TO]/\{[OP/UF]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim işlemi sayısına ve İOP reaktörünün hidroluk bekletme süresine bağılı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))458
- Şekil 4.287 Tekstil atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli ve UF konsantrtesi arıtımali konvansiyonel $[UF-\{[OP/UF]\}/[NF_{sıkı}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidroluk bekletme süresine bağılı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))459
- Şekil 4.288 Tekstil atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{[OP/UF]/[NF_{sıkı}]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidroluk bekletme süresine bağılı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))460
- Şekil 4.289 Tekstil atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{[OP/UF]/[TO]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidroluk bekletme süresine bağılı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))461
- Şekil 4.290 Tekstil atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{[OP/UF]/[NF_{gevşek}/TO]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidroluk bekletme süresine bağılı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-

- İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)462
- Şekil 4.291 Kağıt atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli ve ortak konsantr arıtımlı konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{[İOP/UF]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))463
- Şekil 4.292 Kağıt atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{[İOP/UF]/[MD]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))464
- Şekil 4.293 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantr arıtımlı konvansiyonel $[UF/NF_{\text{sıkı}}/TO]/\{[İOP/UF]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))469
- Şekil 4.294 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantr arıtımlı konvansiyonel $[UF/NF_{\text{sıkı}}/TO]/\{[İOP/UF]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))470
- Şekil 4.295 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantr arıtımlı konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{[İOP/UF]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)), (*: tekstil atıksuyuna eşdeğer organik kirlilik içeriği)472
- Şekil 4.296 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantr arıtımlı konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{[İOP/UF]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)), (*: tekstil atıksuyuna eşdeğer organik kirlilik içeriği)473
- Şekil 4.297 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve UF proste konsantr arıtımlı konvansiyonel $[UF-\{[İOP/UF]\}]/[NF_{\text{sıkı}}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))475

- Şekil 4.298 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve UF proste konsantre arıtmalı konvansiyonel $[UF - \{IOP/UF\}]/[NF_{sık}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....476
- Şekil 4.299 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[NF_{sık}]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))480
- Şekil 4.300 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[NF_{sık}]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....481
- Şekil 4.301 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))483
- Şekil 4.302 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))....484
- Şekil 4.303 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[MD]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....486
- Şekil 4.304 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[MD]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....487
- Şekil 4.305 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))489

- Şekil 4.306 Tekstil ve kağıt atıksuları için sifıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)).....490
- Şekil 4.307 Bütünleşik ileri oksidasyon/membran filtrasyonu yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma, proses suyu geri kazanma ve konsantre yönetimi sistemlerinin, rölatif düşük organik kirlilik içerikli (KOI=1000 mg/L eşdeğeri) atıksularının sifır sıvı deşarjıyla konsantre atık bertarafı uygulamasındaki saha ölçek tekno-ekonomik performansları (*: Atıl ısı kullanılarak atıksu ısıtma ihtiyacı karşılanır.).....495
- Şekil 4.308 Bütünleşik ileri oksidasyon/membran filtrasyonu yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma, proses suyu geri kazanma ve konsantre yönetimi sistemlerinin, rölatif düşük organik kirlilik içerikli (KOI=1000 mg/L eşdeğeri) atıksularının sifıra yakın sıvı deşarjıyla konsantre atık bertarafı uygulamasındaki saha ölçek tekno-ekonomik performansları (*: Atıl ısı kullanılarak atıksu ısıtma ihtiyacı karşılanır.)496
- Şekil 4.309 Bütünleşik ileri oksidasyon/membran filtrasyonu yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma, proses suyu geri kazanma ve konsantre yönetimi sistemlerinin, rölatif yüksek organik kirlilik içerikli (KOI=2000 mg/L eşdeğeri) atıksularının sifır sıvı deşarjıyla konsantre atık bertarafı uygulamasındaki saha ölçek tekno-ekonomik performansları (*: Atıl ısı kullanılarak atıksu ısıtma ihtiyacı karşılanır.).....497
- Şekil 4.310 Bütünleşik ileri oksidasyon/membran filtrasyonu yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma, proses suyu geri kazanma ve konsantre yönetimi sistemlerinin, rölatif yüksek organik kirlilik içerikli (KOI=2000 mg/L eşdeğeri) atıksularının sifıra yakın sıvı deşarjıyla konsantre atık bertarafı uygulamasındaki saha ölçek tekno-ekonomik performansları (*: Atıl ısı kullanılarak atıksu ısıtma ihtiyacı karşılanır.)498

ÖZET

Bu proje çalışmasında, ileri oksidasyon/batık ultrafiltrasyon (İOP/UF) hibrit prosesine dayalı geliştirilen konvansiyonel esaslı etkinliği bilinen ve önerilen yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma sistemlerinin; yoğun su tüketimli kâğıt ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksulardan yüksek oranda kaliteli proses suyu geri kazanımının ve oluşan membran konsantresi atık yüklerinin azaltılarak konsantre yönetiminin sağlandığı bütünleşik su yönetimi uygulamaları için, teknolojik olarak sahada başarıyla uygulanabilirlik ve ekonomik olarak da mali tercih edilebilirliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Laboratuvar arıtım çalışmalarıyla, hibrit İOP/UF prosesinin tekstil ve kâğıt atıksuları için optimum işletim şartları belirlenmiş; her bir atıksu için etkinliği bilinen ve önerilen sistemlerin pilot ölçek kararlı hal işletim performansları tespit edilmiştir. Konvansiyonel basınç sürücülü membran sistemlerde her bir atıksu çeşidi ve önerilen sistemlerde (İOP/UF sonrası $NF_{sıkı}$, TO ve $NF_{gevşek}/TO$) sadece tekstil atıksuyu için hedeflenen yeniden kullanım suyu kalitelerinin sağlandığı işletimler yerine getirilmiştir. Kâğıt atıksuyu için, önerilen sistemlerle etkin su geri kazanımı sağlanamamış; İOP/UF sonrasında membran distilasyon uygulaması hedef çıkış suyunun üretildiği teknolojik çözüm olmuştur. Yenilikçi çözümlerin işletimleri, İOP/UF'te "*konsantre+ham atıksu*"yun eşzamanlı arıtmaları altında, herhangi bir atık oluşturmaksızın gerçekleştirilmiştir.

Membran konsantrelerinin, sıfır/sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca sahada bertarafının yapılacağı yönetimleri üzerinden, saha ölçek benzeştirmeler gerçekleştirilmiş ve gerçek ölçek maliyetler tahmin edilmiştir. En ekonomik çözüm olan sıfıra yakın deşarjda, 1000 mg KOİ/L eşdeğeri atıksular için; konvansiyonel esaslı yenilikçi uygulamalarda (konsantrelerin İOP/UF ile arıtıldığı) 1,8 \$/m³ ve geliştirilen yenilikçi uygulamalarda 0,6 \$/m³ geri kazanım suyu ile, endüstriyel atıksulardan su geri kazanımı/konsantre yönetiminin sahada oldukça tercih edilir ortalama birim maliyetlerdedir. 1000 mg KOİ/L eşdeğeri üzeri atıksular için, geliştirilen sistemlerin konvansiyonel arıtma sonrası ileri arıtma uygulamasıyla, sahada tekno-ekonomik tercih edilebilir olacağı ayrıca değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, yoğun su tüketilen endüstriler için geliştirilen teknolojik çözümlerin hayata geçirilmesiyle, Ülkemiz ve Dünya genelinde su kirlenmesi problemlerinin azaltılmasına ve temiz su kaynaklarının ve çevrenin sürdürülebilir korunmasına önemli katkılar sağlanacak; saha ölçek kurulum ve endüstriyel işletimler sayesinde yeni yatırım ve istihdamlara katkı sağlanmış olacaktır.

ABSTRACT

In this project work; it is aimed to determine the technologically field applicability and the economically financial feasibility of the conventional-based activity-known and proposed innovative industrial wastewater treatment systems developed based on the advanced oxidation/submerged ultrafiltration (AOP/UF) hybrid process for integrated water management applications provided, by recovery of high quality process water from wastewater generated from intensive water-consuming paper and textile industries, and by enabling concentrate management through decreasing the waste loads of membrane concentrates.

With laboratory treatment studies, optimal operating conditions for textile and paper wastewaters of the hybrid AOP/UF process have been determined; the pilot scale steady state operation performances of the known and proposed systems for each wastewater have been established. In conventional pressure-driven membrane systems for each wastewater type and the proposed systems only for textile wastewater (NF_{tight} , TO and NF_{loose} /TO after AOP/UF), the operations supplying the reuse water qualities targeted have been carried out. Effective water recovery for paper wastewater has not been achieved with systems recommended; membrane distillation application after AOP/UF has been the technological solution to produce the target effluent. The operations of the innovative solutions were realized under simultaneous treatments of "*concentrate+raw wastewater*" in AOP/UF without any waste.

Field scale simulations have been carried out and real scale costs have been estimated through the management of membrane concentrates under the zero/near zero liquid discharge to manage site disposal. For the most economical solution, near zero discharge, 1000 mg KOI/L equivalent wastewaters; the average unit costs of water recycling from industrial wastewater/concentrate management are highly preferable with the conventional innovative applications (concentrates treated with AOP/UF) at \$ 1.8/m³ and the developed innovative applications at \$ 0.6/m³ of reuse water. For equivalent wastewaters having >1000 mg COD/L, the developed systems will also be evaluated to be techno-economical in the field, with advanced treatment after conventional treatment.

As a result, with the realization of the technological solutions developed for intensive water-consuming industries, significant contributions will be made to reducing the problems of water pollution in our country and worldwide, and in the sustainable protection of clean water resources and environment; Field scale installation and industrial operations will contribute to new investment and employments.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Ülkemizde Endüstriyel Su Kullanımları, İhtiyaçlar ve Gereksinimler

Dünya genelinde endüstriyel gelişmeler, sektörde su tüketiminin artmasına ve endüstriyel su kirlenmesi problemlerinin yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Nüfus, iklim, coğrafya gibi faktörler altında açığa çıkan su kıtlığı problemleri de, özellikle su fakiri ülkelerde hızla artan temiz su ihtiyacının karşılanması problemini beraberinde getirmektedir.

Ülkemizde kişi başına su tüketimi 1650-1700 m³/yıl civarında olup, bugün ki nüfus artış hızı ve kalkınma verileri ışığında 2025-2030 yılları arasında su fakiri (<1500 m³/kişi.yıl) ülke durumuna düşeceğimiz konunun uzmanları tarafından iyi bilinen ve dikkatlice takip edilen bir gerçektir. Bunun yanı sıra, Ülkemizdeki sanayi tesislerinin sayısı ve faaliyet çeşitliliklerinin artması ile endüstriyel su taleplerinin arttığı da iyi bilinmektedir. Ayrıca, sanayicimizin ulusal ve uluslararası pazarlarda yüksek rekabet gücüne sahip olabilmeleri hususu dikkate alındığında, yüksek miktarlarda su tüketen sanayi kollarında ürün maliyetleri içerisinde önemli girdiler oluşturmaya başlamış “su tarifesi” payının düşürülmesine de ihtiyaç bulunmaktadır. Zira böyle bir ihtiyacın varlığı, yoğun su tüketimine haiz endüstrilerdeki bazı üst düzey yöneticiler/sanayiciler/sektör temsilcileri tarafından da ifade edilmektedir.

Yukarıda bahsi geçen hususlar ortaya koymaktadır ki; Yüksek hacimlerde atıksu üretilen endüstriyel tesislerde, proseste yeniden kullanım amacıyla atıksudan suyun geri kazanıldığı, bu sayede su kaynaklarımızın etkin korunarak beraberinde endüstriyel üretim maliyetlerinin azaltıldığı arıtma uygulamaları geliştirilmesine ihtiyaç/gerek bulunmaktadır. Sadece Ülkemizi değil aynı zamanda birçok Dünya ülkesini de yakından ilgilendiren bu durumun varlığı, ilgili endüstrilerde su teminine ve atıksu arıtımına yönelik bütünlük teknolojilerin geliştirilerek, çevre korumaya dayalı yenilikçi, ekonomik ve uygulanabilir su ve atıksu yönetimi yaklaşımlarının hayata geçirilmesini gerekli kılmaktadır.

2.2 Tekstil ve Kağıt Endüstrisi Atıksuları için Durum Değerlendirmeleri

Projede yoğun su tüketilen endüstriyel atıksular için temsil edici sanayi dalları olarak tekstil ve kağıt endüstrileri seçilmiştir. Bunun başlıca sebeplerinden biri, bu tesislerin yaygın işletimleridir. Diğerleri ise, yoğun su tüketimli sektörler arasında bu atıksuların birbirlerine yakın seviyelerde kirlilik ihtiva etme durumlarıdır. Bu sayede, proje amaç ve hedeflerine ulaşılması halinde, önerilen ve bilinen bütünlük sistem konfigürasyonlarının diğer yoğun su tüketimli endüstriyel atıksular için hangi etkinliklerde uygulanıp uygulanamayacağı değerlendirilmesinin daha kolay yapılabilmesi öngörülmektedir.

Tekstil ve kağıt endüstrilerinde yüksek su tüketimi ve atıksu oluşumu, bu sektörlerde, su geri kazanımı ve atık azaltımı esaslı su ve atıksu yönetimi uygulamalarının geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu endüstrilerde 1000-5000 m³/gün arasında su tüketimi söz konusu olup, Türkiye genelinde sadece tekstil üretim faaliyetlerinden yılda yaklaşık 150 milyon ton atıksu oluştuğu bilinmektedir. Bu atıksular genel olarak yüksek renk, değişken pH, AKM, toksisite, KOİ ve düşük biyo-parçalanabilirlikli organikler ile yüksek konsantrasyonlarda Na⁺, Cl⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻ gibi inorganikler içermektedir. Bu atıksuların birbirlerine yakın değerlerdeki genel karakteristikleri, KOİ: 1000-2000 mg/L, TOK: 500-800 mg/L, pH: 6-8, iletkenlik: 1000-2000 µS/cm, TÇM: 800-1500 mg/L şeklindedir (Pérez vd., 2002; Çapar vd., 2006; Kritikos vd. 2007; Xu vd., 2007; Gönder vd., 2011; Emna Ellouze, 2012).

Tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularının konvansiyonel arıtma sistemleriyle arıtılması, bazı şartlarda kötü kalitede çıkış suyu üretilmesine, etkili arıtma şartlarında dahi düşük oranlarda su geri kazanımına, ancak yüksek miktarlarda ve/veya bertarafı zor veya maliyetli arıtma çamurları oluşumuna neden olmaktadır (Perez vd., 2002a; Perez vd., 2002b; Santoz Ramos vd., 2009; Gönder vd., 2011). Bu atıksuların deşarj kalitesini ve proses suyu olarak yeniden kullanımını iyileştirmek için mutlaka ileri arıtıma ihtiyaç duyulmaktadır (Gönder vd., 2011).

Tekstil ve kağıt atıksularında etkin su ve atıksu yönetiminde tercih edilen teknolojilerin başında İOP (özellikle Fenton ve foto-Fenton) (Perez vd., 2002a; Perez vd., 2002b; Çatalkaya ve Kargı, 2007; Jamil vd., 2011; Vilar vd., 2011; Guimaraes vd., 2012; Lucas vd., 2012) ve MP (özellikle basınç sürücülü) gelmektedir (Pizzihini vd., 2005; Çapar vd., 2006; Bes-Pia vd., 2009; Ciputra vd., 2010; Gönder vd., 2012; Negaresh vd., 2012; Vergili vd., 2012). Bu iki prosesin bir arada kullanılarak su geri kazanımı ve konsantre atık azaltımının yapıldığı az sayıda literatür çalışması bulunmaktadır (Grzechulska-Domszel vd., 2009; Feng vd., 2010; Hermosilla vd., 2012). Ancak proseslerin hibrit/entegre bütünlükteki farklı kombinasyonlarının hedef atıksulara uygulandığı, saha ölçeğindeki uygulanabilirlik maliyetlerinin araştırılarak belirlendiği, etkin su geri kazanımının yanı sıra nihai konsantre yönetimi esaslarının da ortaya konduğu bütüncül bir AR-GE çalışması literatürde yer almamaktadır.

Bu projedeki teknolojik uygulamalar, önerilen bütünleşik ileri oksidasyon prosesi/membran proses (İOP/MP) sistemi ile tekstil ve kâğıt endüstrisi atıksularının, ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) prosesleriyle entegre olarak, [İOP/UF]/NF ve/veya TO esaslı [İOP/UF]/NF_{sıkı}, [İOP/UF]/TO ve [İOP/UF]/NF_{gevşek}/TO'dan ibaret 3 farklı bütünleşik uygulama seçeneği ile arıtımını içermektedir. Buna ilave olarak, Literatürden bu atıksular için etkinliği bilinen sırasıyla UF/NF/TO ve NF/NF sistemlerinde konsantrelerin İOP/UF yenilikçi hibrit sistemde arıtılarak su geri kazanımı ve konsantre minimizasyonu da yapılarak; etkinliği

bilinen ve önerilen yenilikçi sistemlerin sahada tekno-ekonomik uygulanabilirlikleri beraberce değerlendirilmektedir. Ancak, kağıt atıksuları için $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$ ve TO deneylerinde geri kazanılan suyun kalitesi açısından istenilen performanslara ulaşamadığından, proje önerisinin “*B Planı*” gereğince, İOP/UF sonrası membran distilasyon (MD) prosesinin uygulandığı bir başka yenilikçi teknolojik sistem kullanılarak projenin bu atıksu için beklenen hedefleri sağlanması yoluna gidilmiş; bu sayede proje önerisine ait tüm amaç ve hedeflerin, projenin içerik ve niteliğine birebir uygun olarak bütünüyle yerine getirilmesi sağlanmıştır.

2.2.1 Arıtma Yöntemleri

2.2.1.1 Basınç Sürücülü Membran Prosesler (MP) ile Arıtma

Basınç sürücülü membran proseslerin tek adımda işletildiği uygulamalarda, arzu edilir kalitede çıkış suyu eldesi bakımından mutlak bir başarı sağlanamamaktadır (Moravia vd., 2013). Buna karşın, bu proseslerle gerçekleştirilen entegre arıtma sistemi uygulamalarında, her bir adımdaki membran proseste azami % 80-90'lık su geri kazanımı ile işletim sağlanabilmekte; Bu da, 3 adımlı bir membran sistem bütününde atıksu debisinin yaklaşık %27-50'sine (iki adımda yaygın olarak % 19-36'sına) varabilen oranlarda konsantre atık akımının oluşumuna neden olmaktadır (Pérez-Gonzalez vd., 2012).

Oluşan konsantrelerin kalitelerinin ve özellikle de hacimsel miktarlarının, bu atıkların bertaraf seçeneklerini kısıtlaması sebebiyle, proses işletme maliyetlerinin arttığı bilinmektedir (Pérez-Gonzalez vd., 2012; Vergili vd., 2012). Bunun neticesinde ise, basınç sürücülü membranlar ile hedef endüstrilerde su geri kazanımı ve konsantre yönetiminin bir arada etkin düzeyde sağlanamaması durumuyla karşılaşılmaktadır.

2.2.1.2 İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP) ile Arıtma

İOP, atıksudaki organik karbonu parçalamak için foto ışınlama, katalizör ilavesi, termal giriş ve ultrases nüfuzu gibi şartlar altında H_2O_2 ve ozon gibi güçlü oksidantların varlığında gerçekleştirilen bir kimyasal arıtma prosesidir (Xu vd., 2007). Proseste etkin organik giderim performansı elde edilebilmesi avantajına karşın, yüksek enerji ve/veya kimyasal madde tüketimi bütün İOP'lerin teknolojik uygulamalarının önünde genel bir problem olarak durmaktadır.

H_2O_2 ile homojen katalizör Fe^{+2} arasındaki elektron transferine bağlı olarak gerçekleşen Fenton prosesi, atıksuların arıtılmasında katalitik oksidasyon metodu olarak kullanılmaktadır (Çatalkaya ve Kargı, 2007). Fenton reaksiyonlarıyla organik kirleticilerin parçalanma hızı ışık kaynağı olduğu durumlarda artmaktadır. Foto-Fenton reaksiyonlarının 400 nm'ye yakın dalga boylarındaki işletimlerinin, diğer İOP'ne kıyasla daha düşük enerji tüketimine ihtiyaç duyduğu ayrıca bilinmektedir (Pérez vd., 2002a; Demirci, 2007). Ancak, Fenton prosesi geniş pH

aralığında işletilebilmesine karşın, foto-Fenton prosesi pH'a bağlı olarak genelde asidik pH şartlarında en iyi işletim performansı sunmaktadır (Çatalkaya ve Kargı, 2007; Jamil vd., 2011).

2.2.1.3 Bütünleşik İOP/MP Hibrit Sistemi ile Arıtma

İOP'nin membran sisteminden önce kullanılması membran üzerinde oluşan kirlilik yükünü azaltmaktadır. Fenton prosesleri, kompleks ekipman ihtiyacı ile sıcaklık ve basınç gibi ekterm şartlar gerektirmediğinden, basit bir reaktörde gerçekleştirilebilmektedir. Buna karşın ozona ve ışığa bağlı prosesler, ozon üretim cihazları ve UV kaynağına olan ihtiyaç nedeniyle biraz daha işletimi zor olan prosesler olarak öne çıkmaktadır (Moravia vd., 2013).

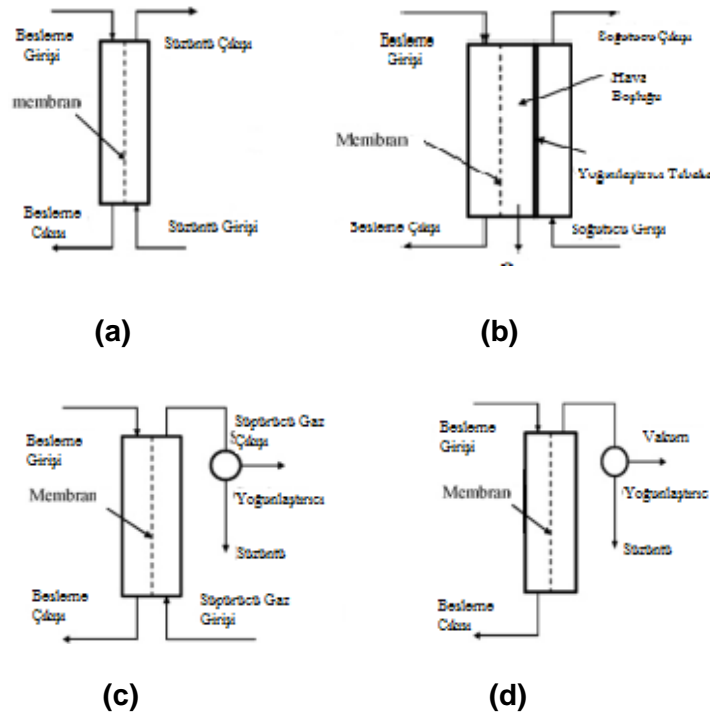
Diğer İOP'ne kıyasla Fenton-Membran entegre arıtma sistemi, pratikte birçok avantajlar taşımaktadır. Mikrofiltrasyon (MF) kullanılması İOP sırasında oluşan çamurun ayrılması için çöktürme işlemini elimine ederek arıtma süresini kısaltmaktadır. Fenton-MF ile NF kombinasyonundan oluşan bütünleşik atıksu arıtma yaklaşımı ise, sulardan kirleticilerin uzaklaştırılmasında daha da etkili olmaktadır. Çünkü bu yaklaşım çıkış standartları için kılavuz olmaya fırsat veren tamamlayıcı bir arıtım yaklaşımı olarak görülmekte ve gerekli tesis kurulum alanı ihtiyacının azlığından dolayı maliyetlerin oldukça düşmesi beklenmektedir. Ayrıca Fenton prosesi membranda tıkanmayı minimize etmeye katkı sağlamakta olup, oksidasyon sırasında, koagülasyonları sonucunda kolloidlerin membran porlarından nüfuzunun azaldığı da bilinmektedir (Moravia vd., 2013).

Yukarıda verilen literatür bilgileri ışığında, projeye konu endüstrilere ait atıksuların arıtımında kullanılan İOP'lerinden, Fenton ($Fe^{+2}+H_2O_2$) ve foto-Fenton ($UVA/UVC+[Fe^{+2}+H_2O_2]$) yöntemlerinin KOİ, TOK ve renk giderimi için en etkili prosesler olduğu ve bu proseslerin yüksek tuzluluk içeren sularda dahi (13.6 mS/cm iletkenlik, 382 mg/L ÇOK ve 1020 mg/L KOİ değerlerinde) yüksek mineralizasyon (%89) ve renk giderimi (%98) sağlayabildiği bilinmektedir (Vilar vd., 2011). Fakat bu sistemlerin tek başlarına kullanıldıklarında işletme maliyetleri çok yüksek olmakla birlikte, proste düşük miktarda da olsa oluşan çamur için ilave ayırma işlemine gerek bulunmaktadır. Bu sebeple, İOP'nin membran proseslerle bir arada kullanılmasıyla; hem İOP performansında düşüş olmaksızın işletim sağlanabildiği hem de sinerjik verim artışı ile işletme maliyetlerinin azaltılabildiğinden hareketle, membran konsantreleri yüklerinin azaltılarak konsantrelerin etkin yönetilebilirliği açısından önemli bir bütünleşik uygulama avantajının sağlanacağı kanaatine ulaşılmaktadır. Düşük membran kirlenmesine imkan sağlaması da ayrı bir fayda olarak değerlendirildiğinde, avantajları ve dezavantajları birbirlerini karşılayan etkin iki prosesin hibrit ve entegre kombinasyonda bir arada kullanılması düşüncesi, bu projenin kuramsal yaklaşımının yenilikçi yönünü oluşturan en temel unsur olmaktadır.

2.2.1.4 Membran Distilasyon (MD) Sistemi ile Arıtma

Membran distilasyonu, sürücü kuvveti sıcaklık olan bir membran prosesi çeşididir. Membran distilasyonunda mikro gözenekli hidrofobik membran yardımıyla sıcak ve soğuk su akışı birbirinden ayrılır. Hidrofobik yapıdaki membran, sıvı haldeki su akışının gözeneklerden geçmesini engellerken su buharının geçmesine izin verir. Sıcaklık farkı ile su buharının membran üzerinden geçmesi ve soğuk yüzey ya da alan üzerinde yoğunlaşması sağlanarak buhar basıncı farkı meydana gelir. Sonuç olarak, uçucu olmayan bileşenlerin sürüklenmesine veya su buharına karışmasına izin verilmeyerek, geleneksel distilasyonun aksine çok yüksek saflıkta süzüntü/distilat elde edilir (Charcosset, 2008).

MD proste süzüntü toplama çeşidi, membran kütle transferi ve sürücü kuvvet uygulama şekillerinde gösterdiği farklılıklar sayesinde çeşitli yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir. Proses yapılandırmasına bağlı olarak, 4 çeşit MD sistemi bulunmaktadır. Bunlar; direkt temas membran distilasyonu (DTMD), hava geçişli membran distilasyonu (HGMD), süpürücü gaz membran distilasyonu (SGMD) ve vakum membran distilasyonundan (VMD) oluşmaktadır (Şekil 2.1) (Lei vd., 2005).



Şekil 2.1 Farklı MD teknolojisinin şematik gösterimi, DTMD (a), HGMD (b), SGMD (c), VMD (d)

Bu projede de kağıt atıksularının ve membran konsantresinin İOP/UF hibrit proste ortaken arıtmaları sonrasında proses suyu geri kazanımı amacıyla kullanılan direkt temas membran

distilasyonu (DTMD) konfigürasyonunda, iki ayrı hazne mikro gözenekli bir membran aracılığıyla ayrılır. Yüksek sıcaklıktaki besleme akımı ve düşük sıcaklıktaki süzüntü akımı iki haznedan birbirlerine aynı veya çapraz olacak şekilde bir akış gösterir. Besleme tarafında sıvı-buhar ara yüzeyi içinde, daha fazla uçucu olan bileşenler buharlaşır ve membrandan süzüntü tarafındaki sıvı-buhar ara yüzeyine geçerek yoğunlaşır. Burada “*direkt temas*”, haznelerdeki besleme ve süzüntü akımlarının membranla doğrudan temasını ifade eder. DTMD laboratuvar içinde montaj kolaylığı ve diğer MD konfigürasyonlarına göre yeterli düzeyde ve rölatif daha yüksek akıya sahip olmasından dolayı 4 MD teknolojisi arasında en kapsamlı ve en çok çalışılan konfigürasyon çeşididir. Bununla birlikte, endüstriyel bazda düşünüldüğünde, DTMD uygulamasının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan ilki, DTMD’lerde, soğutma haznesindeki süzüntü akısının membranla direkt temas halinde olmasından dolayı ısı kaybı diğer konfigürasyonlara göre daha fazladır. Bu yüzden DTMD’lerde termal etkinlik diğerlerine oranla daha küçüktür. Bu da maliyeti arttıran önemli faktör olmaktadır. İkinci olarak işletimin çalıştırılmasında soğutma haznesi üzerinden akış gerçekleşirken, membranla direkt temasını sağlamak için önceden yeterli seviyede süzüntü sıvısı hazırlanmalıdır. İkinci adımda yeterli süzüntü sıvısı hazırlanarak soğutma odasına beslenir ve membranla doğrudan temas edecek şekliyle işletimi sağlar. Son olarak, yoğunlaşma, soğutma haznesinde sıvı ile karışık olduğundan dolayı, membranda sızıntı veya ıslanmayı tespit etmek kolay değildir.

DTMD, deniz suyu desalinasyonu, yeraltı sularının ve/veya acı suların arıtılması, endüstriyel proses suyunun ıslahı, kirletici suyun mikro kirleticilerinin uzaklaştırılması, meyve suyu konsantrasyonu ve kimyasal ürünlerin üretilmesi için kademeli olarak tercih edilen bir teknoloji haline gelmiştir. DTMD, harici bir kondenser (yoğunlaştırıcı) gerektirmediğinden ve su bazlı uygulamalar için daha uygun olduğundan diğer MD tekniklerinden daha fazla dikkat çekmektedir (Ashoor vd.,2016). Literatürde, tuzsuzlaştırma sürecine ek olarak, DTMD'nin tekstil atıksuyu, radyoaktif madde ve farmasotik içeren atıksular, hastane atıksuları ve zeytin değirmeni atıksuları gibi endüstriyel atıksuların arıtımı için potansiyeli araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, DTMD teknolojisinin, yüksek kaliteli su üretme veya genel üretim maliyetlerini düşürebilen konsantre çözeltinin yeniden kullanılmasına izin verme potansiyellerinden dolayı geleneksel filtrasyon yöntemlerine önemli bir alternatif olduğunu ortaya konmaktadır (Mokhtar vd., 2015).

2.3 Membran Konsantreleri Yönetimi

2.3.1 Genel Prensipler (tanım, oluşum, kısıtlayıcı faktörler ve ihtiyaç)

Membran konsantreleri, suyun/atıksuyun membrandan geçirilmesi suretiyle ortaya çıkan, daha yoğun içerikleri sebebiyle çoğu zaman yeniden kullanımları pek mümkün olmayan ve daha fazla arıtıma ihtiyaç gösteren sular/atıksulardır.

Basınç sürücülü membran proseslerin (mikrofiltrasyon (MF), UF, NF ya da TO) ardışık seri proses kombinasyonlarıyla bütünleşik bir membran arıtma sisteminde kullanılmaları, sistemin arıtılmış su çıkış hattında rölatif olarak düşük su geri kazanım oranıyla işletimlere sebep olmaktadır. Bu da, bertaraf zorunluluğu olan fakat yüksek hacim ve kirletici içerikleri sebebiyle de bertarafı zor olan membran konsantreleri oluşumuna neden olmaktadır.

Membran proseslerle çeşitli endüstriyel atıksuların su ve ürün kazanımı odaklı saha ölçeğinde arıtımlarında, bertarafı zor olan konsantre akımlarla sıkça karşılaşmaktadır. Bu atıkların yönetim süreçleri, membran kirlenmesi olayları ile beraber, bütünleşik membran uygulamalarının yaygınlaşmasının önünde duran en temel tekno-ekonomik kısıtlayıcı faktördür. Nitekim, daha yüksek oranlarla su geri kazanımının hedeflendiği uygulamalarda, artan enerji sarfiyatlarına bağlı artan işletme maliyetleri ile eş zamanlı olarak, membranın kitletici giderme verimi (rejeksiyon) performansında önemli düşüşlerle karşılaşabilmektedir (Bruggen vd., 2003; Setki vd., 2006). Bu olumsuzlukların varlığı, saha uygulamaları bazında, mali yönden etkili ve çevresel olarak sürdürülebilir membran konsantreleri yönetim metot ve/veya uygulamalarının geliştirilmesi ihtiyacını beraberinde getirmektedir.

2.3.2 Yönetim Metotları (başlıca uygulamalar)

Dünya genelinde membran proseslerin evsel ve endüstriyel atıksu uygulamalarında kullanılan yaygın konsantre yönetim metodları:

- (i)–yeniden kullanma (konsantre gıda, gübre, yakıt vb.)
- (ii)–daha fazla arıtma (aktif çamur, fiziko-kimyasal (oksidasyon, adsorpsiyon-iyon değiştirme vb.), evaporasyon vd.)
- (iii)–doğrudan veya dolaylı yüzeysel su kaynaklarına deşarj (örn.; kanalizasyon şebekesiyle dolaylı deşarj),
- (iv)–doğrudan veya dolaylı yeraltı sularına deşarj (sulama, evaporasyon havuzu, derin kuyu deşarjı),
- (v)–arazide depolama (ön arıtma sonrası sıvı veya katı atık olarak), ve

(vi)–sıfır sıvı deşarjı uygulamaları (düzenli depolama ve insinerasyon)'dır (Bruggen vd., 2003; Mickley, 2006).

Bunların yanı sıra, ileri osmoz ve membran distilasyon gibi yenilikçi proseslerle konsantre akımlarında daha fazla konsantre etmeye dayalı hacim azaltımı uygulamaları da, yeni gelişen konsantre yönetim uygulamaları arasında yerini almaktadır (Setki vd., 2006).

2.3.3 Membran Konsantreleri Yönetiminde Karşılaşılan Genel Zorluklar (özgünlük, maliyet ve çevre)

Konsantre yönetim sorunlarının artan membran uygulamalarıyla artmakta olduğu bilinen bir gerçektir. Zira, membranlarla arıtma uygulamasının özgünlüğüne bağlı olarak, teknik, ekonomik ve çevresel bütünlükte uygun konsantre bertaraf metodu geliştirilmesinin çok zor olduğu Mickley (2006) tarafından ifade edilmektedir. Bu noktada, artan konsantre bertaraf maliyetlerine bağlı olarak ortaya çıkan membran arıtma sistemi işletme maliyetlerindeki artışların, azımsanmayacak seviyelere ulaştığının da ayrıca dikkate alınması gerekmektedir (Mickley, 2006; Pamela vd., 2009).

Membran konsantrelerinin nihai bertarafı için her ne kadar pratikte çok sayıda metodun varlığı söz konusu ise de, konsantre yönetiminde mutlak bir çevre koruma etkinliğinden söz etmek tam anlamıyla mümkün ol(a)mamaktadır. Membran konsantre akımlarının çoğunlukla yüksek konsantrasyonlarda birçok farklı kirleticiyi içinde barındırıyor olmaları, alıcı ortama deşarj noktaları ve yakın çevresinde yoğun kirlenme baskısı oluşturmalarına neden olmaktadır. Örneğin; Dünya genelinde çok yaygın uygulaması bilinen TO prosesi ile deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini durumunda (Dünya geneli deniz suyundan temiz su üretim kapasitesinin yaklaşık % 50'sinden fazlası TO ile yapılmaktadır); yüksek tuzluluk ve çeşitli arıtma kimyasalları içerikli deniz suyu konsantre akımları, ağırlıklı olarak tekrar deniz ortamına deşarj edilmekte, bu da deşarj ortamı ve yakın çevresindeki deniz ekolojisi ve biyotası üzerinde çevresel olumsuzluklar meydana getirmektedir (Greenlee vd., 2009).

2.3.4 Endüstriyel Membran Konsantrelerinin Bertaraf (hacim, maliyet ve yaygınlaştırılmama) Problemleri

Endüstriyel membran konsantrelerinin bertarafında yukarıda sayılan metotlar, arıtılacak atıksuya özgün olarak kullanılmakla birlikte;

(i)–düzenli depolama yapmak,

(ii)–insinerasyonla yakmak ya da

(iii)–merkezi bir atıksu arıtma tesisine vermek

suretiyle bertaraf etme seçenekleri, Ülkemizde yaygın kabul görmüş başlıca uygulamalardır. Ancak endüstride bu tür bertaraf yöntemleri, genellikle, düşük/çok düşük hacimli membran konsantrelerine uygulanmaktadır. Yoğun su tüketiminin söz konusu olduğu endüstriler için ise, sadece Ülkemiz için değil aynı zamanda Dünya geneli için, daha etkin çevre korumaya odaklanmış yenilikçi konsantre yönetim yaklaşımlarının geliştirilmesine ve etkin bir şekilde pratiğe dönüştürülmesine ihtiyaç bulunmaktadır ki; projeye konu atıksu grubundan tekstil sanayi atıksuyu için bu uygulamanın, en iyi şekliyle sıfır sıvı deşarjı yaklaşımı ile sağlanabileceği, metodolojisi ve teknolojisiyle birlikte ilk olarak 2004 yılında önerilmiştir (Bruggen vd., 2004). Ancak, her ne kadar tekstil sanayinde bazı işletim şartları altında oluşan membran konsantreleri boyama prosesinde yeniden kullanılabilenekte ise de, konsantredeki boyaların zamanla suda hidrolize olmaları; bu akımlarla, sürekli şartlarda kaliteli ürün boyaması yapılmasını engelleyerek, uygulamanın sektör genelinde yaygınlaştırılmasını kısıtlamaktadır (Bruggen vd., 2003; Bruggen vd., 2004).

Sıfır sıvı deşarjı, membran proseslerle endüstriyel atıksulardan su geri kazanımında mevcut en iyi endüstriyel atıksu yönetimi yaklaşımı olmakla birlikte, bu yaklaşımın yaygınlaştırılmasının önündeki en önemli engel konsantre yönetimi problemidir. Membran konsantrelerinin bütüncül yönetimi olmaksızın endüstriyel su geri kazanımının yapıldığı membran uygulamalarında, atıksu debisinin yaklaşık %27-50'sine (yaygın olarak % 19-36) varabilen oranlarda konsantre atık oluşmaktadır (Pérez-Gonzalez vd., 2012). Bununla birlikte, oluşan konsantre akımlarda membran distilasyon (MD) yenilikçi prosesi ile hacim azaltımı yapılmak suretiyle bu oran, % 5-10 değerlerine kadar azaltılabilmektedir. Ancak MD prosesinin henüz daha gelişen bir teknoloji olması ve saha uygulamalarına yönelik pilot ölçekli araştırmalar ağırlıklı günümüz durumu, bu tür yenilikçi uygulamaların yaygınlaşmasının önünde bugün için engel olarak durmaktadır (Vergili vd., 2012).

Tekstil boyama atıksuyunun ¹UF/sıkı NF-²Gevşek NF/Sıkı NF ile ³Gevşek NF/TO-⁴UF/sıkı NF/TO membran sistemleriyle su geri kazanımı amaçlı arıtıldığı uygulama örneğinde, entegre membranların birleştirilmiş konsantre akımlarının MD arıtmaya tabi tutulması halinde, bütünleşik membran arıtma tesisinin 15 yıllık ömrü için ne kar ne zarar noktasındaki maliyetleri, sırasıyla ¹78-²76 ile ³43-⁴36 \$/m³ MD konsantre'dir (Vergili vd., 2012). Ayrıca, tekstil endüstrisi başta olmak üzere tehlikeli atık sınıfına giren konsantrelerin insinerasyon maliyetlerinin çok yüksek olması (kesin bir değer verilememekle birlikte literatürde insinerasyon prosesleri üzerine yapılmış bir çok çalışmadan genel olarak tespit edilmiş değerler üzerinden 30-150 \$/m³ membran konsantresi; Türkiye'deki uygulamalarda ise, kâğıt ve tekstil atıksuyu konsantresinin (boyama atıksuyu olsun ya da olmasın) tonu başına vergi hariç, sırasıyla, 150-200 (tehlikesiz atık grubuna giriyor olması sebebiyle) ve 400-500 TL

(tehlikeli atık grubunda bulunuyor olması sebebiyle)) da dikkate alındığında; Yoğun su tüketen sanayilerde sıfır sıvı deşarjı odaklı su geri kazanımı ve konsantre yönetiminin gerçek ölçek uygulanabilirliklerinin, mali ölçütler açısından oldukça kısıtlanıyor olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu husus, hem çevrenin en üst düzeyde korunabilmesi hem de asgari maliyetlerde teknolojik uygulamaların geliştirilmesi kesişiminin (yüksek fayda/maliyet) eşzamanlı sağlanamayacağı algısını oluşturmaktadır.

Yukarıda bahsi geçen endüstriyel membran konsantreleri yönetimi sorunlarına ilişkin hususların ve sıfır sıvı deşarjındaki günümüz düşük fayda/maliyet durumunun varlığı altında;

“(i)–Basınç sürücülü membran prosesler kullanılarak, yoğun su tüketilen endüstrilere ait atıksulardan yüksek miktarlarda ve iyi kalitede su geri kazanımıyla birlikte asgari konsantre hacmi üretimini eşzamanlı olarak hedefleyen araştırma/geliştirme çalışmalarının, pratikte sorun çözmeye odaklı ve yenilikçi içeriklere haiz niteliklerde yürütülmesi gerektiği, ve

(ii)–Teknik ve ekonomik gerekleri beraberce karşılayan yenilikçi su/atıksu yönetim yaklaşım(lar)ıyla da, sıfır sıvı deşarjının etkin olarak uygulanabilmesi ve yaygınlaştırılmasının araştırıldığı içerik ve esastaki bir bilimsel AR-GE çalışmasında ise, membran proseslere ilave ve hedef atıksu grubu için uygulamadaki etkinliği bilinen bir konsantre arıtım prosesine ihtiyaç bulunduğudur.”

Bu proje kapsamında geliştirilen hibrit reaktör ve bu reaktörün hem etkinliği literatürden bilinen konvansiyonel basınç sürücülü membran proses konsantrelerinin arıtımına hem de bu projeye Dünya’da ilk kez önerilen yenilikçi işletim haliyle ilk arıtma adımında ham atıksu ve membran konsantrelerinin ortaklaşa bu hibrit proses kullanılarak arıtılıp sonrasında da membran proseslerle su geri kazanımının sağlandığı yenilikçi bütünlük arıtma sistemleri uygulamalarıyla; ileri oksidasyon prosesi odağında sürekli işletim şartları altında düşük membran kirlenmesi eğilimiyle (yüksek su akısı-rölatif daha düşük yatırım ve işletme maliyeti) ve asgari konsantre atık oluşumu altında membran proseslerle hibrit ve entegre bütünlükteki sahada ekonomik uygulanabilen arıtma sistemlerinin teknolojik ispatı gerçekleştirilmiştir.

2.3.5 Ülkemizdeki Mer’i Mevzuat ve Mevcut Durum Değerlendirmesi

Endüstriyel membran konsantre atıklarının yönetimi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı’nın 2011 yılında yayımladığı “*Alıcı Ortam Kalitesi Açısından Membran Konsantre Akımlarının Yönetimi Tebliği*”nin Madde 11-3. Bendi altında, “*Konsantre akımlarının her türlü su kaynağına doğrudan deşarjının yapılamayacağı, arıtma tesislerine deşarj edilebileceği, arıtma tesisinin olmadığı durumda ise ileri arıtım sonrası alıcı ortam kriterlerine uyarak deşarj edilebileceği*”

şeklinde yapılmaktadır. Tebliğde belirtilen endüstriyel konsantre bertaraf metotlarına göre Ülkemizde;

- Su tarifesi düşük illerde faaliyette bulunan ve atıksularını bağlı buldukları sanayi bölgeleri içerisindeki konvansiyonel merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisinde artabilen yoğun su tüketen endüstriler için kısmen sorun olmaz bir atıksu yönetiminin sağlanabildiği bilinmekte ise de (Örneğin Tekirdağ İli); Sanayi kuruluşunda üretim kapasitesi artırımına bağlı oluşan atıksu miktarındaki artış, merkezi arıtma kapasitesinin doluluğu sebebiyle fazladan oluşan kuruluş atıksularının merkezi arıtma tesisinde arıtılmaması, bu sebeple de kuruluş bünyesinde fazladan miktar için yeni arıtma tesisi kurulması gereksinimi ve bu arıtma maliyetlerinin de merkezi arıtma maliyetlerine kıyasla çok yüksek kalması ve
- Su tarifesinin yüksek olduğu ve/veya sanayi bölgesinde de bulunsa merkezi arıtma tesisi olmayan ve yerüstü ve özellikle yeraltı su kaynaklarından çok yüksek miktarlarda su çekimi ve tüketiminin söz konusu olduğu endüstrilere yönelik (Örneğin İstanbul ve Bursa İli) herhangi bir tedbir alınmaması,

durumlarında zaman içerisinde faaliyet bölgeleri genelinde önemli çevresel zayıflıkların ortaya çıkacağı durumlara karşılaşılmaması kaçınılmaz gözükmektedir.

Yüksek miktarlarda ve iyi kalitede proses suyu eldesi için pratikte en iyi arıtma uygulaması olduğu bilinen entegre basınç sürücülü membran proseslerle yoğun su tüketen endüstrilere ait atıksuların arıtılmalarıyla; mer'i mevzuatımızın ilgili hükmü gereğince uygulamada dikkate alınması gereken seviyelerde yüksek konsantre hacimleri ile karşılaşılabileceği açıktır. Bunun da, bazı illerimizde ciddi konsantre bertaraf problemlerini beraberinde getirmesi beklenmektedir. Bu durum tekstil ve kâğıt atıksuları özelinde değerlendirildiğinde ise, teknik ve ekonomik bütünlüğe haiz bir membran konsantreleri bertarafı ve yönetimi yaklaşımının ivedilikle hayata geçirilmesi gerektiği sonucuna bizi ulaştırmaktadır. Zira, kâğıt ve tekstil endüstrileri atıksularının bütünleşik membran arıtma sistemleri ile, daha yüksek miktarlarda proses suyu geri kazanımı ve daha düşük üretim maliyetlerinde arıtılmak istendiği sektördeki bazı temsilcilerden de bilinmektedir. Ancak, yüksek konsantre bertaraf maliyetlerinin bu yatırımları ekonomik olarak yapılamaz hale getirmesinden dolayı sanayiciler, planladıkları yatırımlarını ertelemek zorunda kalmakta, bu sebeple sürdürülebilir çevre koruma esnasındaki bu yönlü talepler endüstride yaygın uygulama bulamamaktadır.

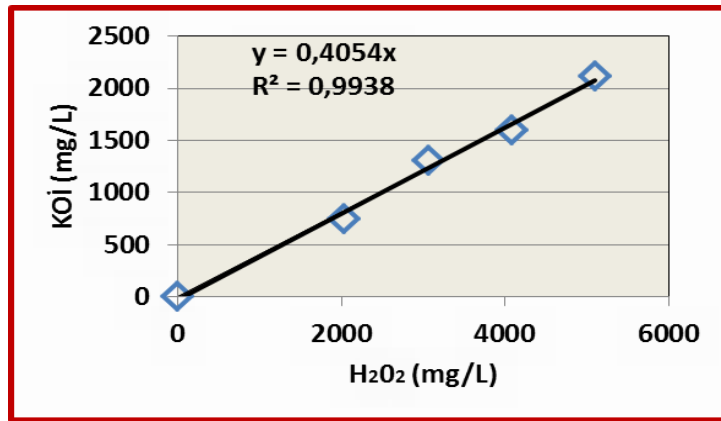
3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Analitik Yöntemler

Yaygın işletimleri ve yakın seviyelerde kirlilik ihtiva etme durumları sebebiyle bu projeye konu olarak seçilmiş kâğıt ve tekstil endüstrisi atıksuları, birbirlerine yakın değerlerde kirlilik seviyelerine sahip bulunmakta olup genel karakteristiklerinin, KOİ: 1000-2000 mg/L, TOK: 500-800 mg/L, pH: 6-8, iletkenlik: 1000-2000 μ S/cm, TÇM: 800-1500 mg/L değerlerinde olduğu literatürden bilinmektedir (Pérez vd., 2002a; Pérez vd., 2002b; Çapar vd., 2006; Kritikos vd., 2007; Xu vd., 2007; Gönder vd., 2011; Ellouze vd., 2012).

Proje kapsamında deneysel çalışma sonuçlarının izlenmesi, kesikli ve sürekli işletimli deneyler için farklı içerikte gerçekleştirilmiştir. Kesikli işletim şartlarında, tekstil ve kâğıt atıksularının her birinde ve tüm prosesler için performans izlemeleri, pH, iletkenlik, toplam çözünmüş katılar (TÇK), toplam organik karbon (TOK), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk, klorür, toplam demir ve sülfat olmak üzere toplam 9 su kalitesi parametresi üzerinden yapılmıştır. Sürekli işletim şartlarında izlenen parametreler, ölçüm yöntemleri de dâhil olmak üzere, her bir atıksu ve işletim prosesi için Tablo 3.1’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

KOİ analizlerinde, kalıntı hidrojen peroksitten kaynaklanan girişimleri belirlemek amacıyla Şekil 3.1’de verilen KOİ-H₂O₂ ilişki denklemi belirlenmiş; bu denklem kullanılarak, H₂O₂ varlığındaki KOİ düzeltmeleri yerine getirilmiştir.



Şekil 3.1 KOİ-H₂O₂ ilişki grafiği

3.2 Kullanılan Membranlar ve Özellikleri

Kesikli ve sürekli işletimli deneylerde, etkinliği bilinen ve önerilen sistemlerin tamamında kullanılan 16 adet UF, NF_{gevşek}, NF_{sıkı} ve TO membranların tamamının genel özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Kesikli ve sürekli İOP reaktöründe batık olarak çalışılan UF prosesine ait

deneylerde UP005, UP020, UH050 ve UV150 membranları kullanılmıştır. Diğer membran prosesler için ise; NF_{gevşek} membranları olarak NP010, NFG, MPF-36 ve CK3001; NF_{sıkı} membranları olarak NP030, ESNA-1, NF270 ve DS-5 DK ve TO membranları olarak da TFC, LFC-3, CPA-3/5 ve BW-30 membranları kullanılmıştır.

Tablo 3.1 Tekstil ve kâğıt endüstrisi atıksularında sürekli deneylerde izlenen parametreler

Parametre	Ölçüm Yöntemleri	Tekstil Endüstrisi			Kâğıt Endüstrisi		
		Giriş Atıksuyu	İOP reaktörü	MP çıkışı	Giriş Atıksuyu	İOP reaktörü	MP çıkışı
pH	Multiparametre ölçüm cihazı	√	√	√	√	√	√
Sıcaklık (°C)	Multiparametre ölçüm cihazı	√	√	√	√	√	√
İletkenlik (µS/cm)	Multiparametre ölçüm cihazı	√	√	√	√	√	√
TÇK (mg/L)	Multiparametre ölçüm cihazı	√	√	√	√	√	√
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	Multiparametre ölçüm cihazı		√			√	
KOI (mg/L)	5220 D: Kapalı reflux kalorimetrik yöntem	√		√	√		√
TOK (mg/L)	5310 C: Yüksek sıcaklıkta persülfat oksidasyon yöntemi	√	√	√	√	√	√
AKM (mg/L)	2540 D: 103-105 °C Gravimetrik yöntem	√			√		
AOX (mg/L)	5910 B: UV Absorbsiyon yöntemi				√	√	√
Bulanıklık (NTU)	2130 B: Neflometrik yöntem	√	√	√	√	√	√
Amonyak (mg/L)	4500 NH ₃ B nolu "Ön Destilasyon Metodu	√	√	√	√	√	√
Renk	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√	√	√	√
Nitrat (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√	√	√	√
Sülfat (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√	√	√	√
Klorür (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√	√	√	√
Demir (II/III) (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√	√	√	√
Toplam Azot (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√	√	√	√
Toplam Sertlik(mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√	√	√	√
Fenol (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√		√	√		√
Toksosite	ISO 11348-3	√	√	√	√	√	√
*GC-MS				√			√

* Bütünleşik arıtma sistemi çıkış sularında, hedeflenen çıkış suyu kaliteleri sağlanmış olduğundan ilave organik kirlilik izleme çalışmaları yapılmamıştır.

Tablo 3.2 DeneYlerde kullanılan basınç sürüclü membranların (UF, NF_{geVşek}, NF_{sıkı}, TO) genel özellikleri

Membran Türü	Üretici Firma	Materyal	MWCO (Da)	pH	MgSO ₄ (%)	Na ₂ SO ₄ (%)	NaCl (%)	Temiz Su Akısı (L/m ² sa bar) (25 C ⁰)	Maksimum Basınç	Maksimum Sıcaklık	Kaynaklar
UP005	Microdyn ®Nadir	PES	5000	0-14	-	-	-	>30	-	95	www.microdyn-nadir.com
UC030	Microdyn ®Nadir	RC	30000	0-14	-	-	-	>300	-	95	www.microdyn-nadir.com
UH050	Microdyn ®Nadir	PES	50000	0-14	-	-	-	>250	-	95	www.microdyn-nadir.com
UV150	Microdyn ®Nadir	PVDF	150000	2-11	-	-	-	>200	-	95	www.microdyn-nadir.com
NP010	Microdyn ®Nadir	PES	1000	0-14	-	25-40	10	>200	40	95	Shanmuganathan vd.2015,Arkell vd.2013
NP030	Microdyn ®Nadir	PES	400	0-14	-	80-95	30	>40	40	95	Shanmuganathan vd.2015,Arkell vd. 2013
NTR-7410	Nitto Denko	SPS	20000	2-11	9	-	10 15	2,75	30	40	Liikanen vd.2003,Cassano vd.2003,Cho vd.2002
NF 270	Filmtech (DOW)	PAP TFC	200-300	4-10	99	-	35	13,3	41	45	Hesampoura vd.2010,Wang vd.2011

DESAL-5 DK	GE-Osmonics	TFC	150-300	2-11	98	-	98	6,1	41	50	Hesampoura vd. 2010, Bennani vd.2012
ESNA-1	Hydranautics (Nitro Denko)	PA _{MPD} TFC	250	3-10	89	-	86	4,38	41,6	45	Hesampoura vd.2010, Xu vd.2006, Cho vd.2002
MPF-36	KOCH	Polimerik	1000	1-13	-	-	10	6,65	35	60 C ⁰ (25 bar)	www.kochmembrane.com
CK-3001	GE-Osmonics	Selülozik asetat	2000	2-8	94	-	-	-	-	-	http://www.sterlitech.com
CPA-3	Hydranautics (Nitro Denko)	Aromatik poliamid	100-200	3-10	-	-	99,6 99,97	3,01	41,6	45	www.membranes.com/docs/8inch/CPA3.pdf
CPA-5	Hydranautics (Nitro Denko)	Kompozit poliamid	100-200	2-11	-	-	99,6	3,01	41,4	45	www.membranes.com/docs/8inch/CPA5-LD.pdf
BW-30	DOW	Poliamid TFC	100-200	2-11	-	-	-	12	20,9	45	http://msdssearch.dow.com
LFC-3	Hydranautics (Nitro Denko)	Kompozit poliamid	100-200	3-10 2-10	-	-	99,7 99,97	3,01	41,6	45	Bennani vd.2012
TFC	KOCH	Poliamid	100	4-11	-	-	99,5	3,5	41,4	45	Xu vd.2005, Xu vd.2006

PES: Polietersülfor; RC: Rejenere Selüloz; PVDF: Polivinilidenflorür; SPS: Sülfonatlı polietersülfor; PAp: semi-aromatik piperazin-bazlı poliamid; TFC: İnce film kompozit; PA_{MPD}: meta-fenilen daimin (MPD)-bazlı poliamid

Kağıt endüstrisi atıksuları ile kesikli şartlarda yürütülen $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$ ve TO deneylerinde proje kapsamında hedeflenen su kalitesi performanslarına ulaşamadığı için proje önerisinde verildiği üzere kağıt atıksuları ile yürütülen deneysel çalışmaların devamında “**B Planı**” çerçevesinde çözüm uygulanmıştır. Projede belirtildiği şekliyle sürekli deneylerde İOP/UF sonrasındaki basınç sürücülü proseslerin yerine, su geri kazanımına dayalı bütünleşik işletim için membran distilasyon (MD) prosesi dahil edilmiştir. Bu itibarla, deneysel çalışmalarda kullanılan MD membranlarına ilişkin genel bilgiler Tablo 3.3'teki gibidir.

Tablo 3.3 Kullanılan MD membranlarının genel özellikleri (Narcı, 2015)

Membran	Üretici firma	Teknik özellikler			
		Gözenek boyutu (μm)	Kalınlık (μm)	Temas açısı ($^{\circ}$)	Sıvı giriş basıncı (LEP, kPa)
PTFE	Membrane Solutions	0,45	160 \pm 40	126 \pm 10	81,1 \pm 2.5
PVDF		0,45	100 \pm 10	81 \pm 10	47,5 \pm 2.5

3.3 Tekstil ve Kağıt Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu

Her iki endüstriye ait atıksuların karakterizasyon sonuçları, tekstil endüstrisi (tekstil ürünleri yıkama banyosu çıkış suyu) ve kağıt endüstrisi (atık kağıt/kartondan kağıt ve karton üretimi atıksuları ön çöktürme çıkış suyu) atıksuları için Tablo 3.4'te beraberce verilmiştir.

3.4 Su Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi

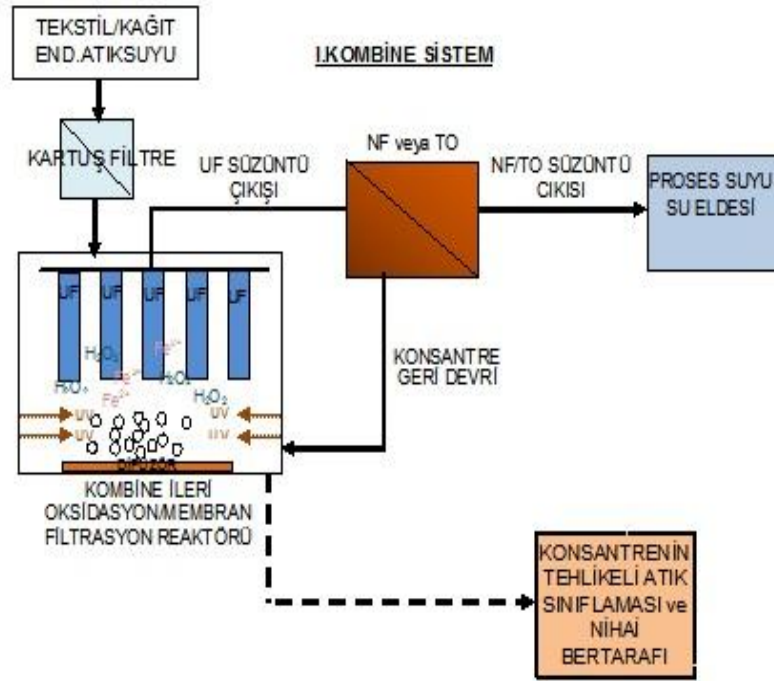
Bu proje kapsamında, tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularından endüstriyel yeniden kullanım suyu geri kazanımının sağlanması ve beraberinde membran konsantreleri atık hacimlerinin minimize edildiği atık yönetimi yaklaşımı altında iki farklı genel arıtım uygulaması yöntemi kullanılmıştır. İlk yöntem, literatürden etkinliği tekstil (Vergili vd., 2012) ve kağıt atıksuları (Gönder vd., 2011; Gönder vd., 2012) için ayrı ayrı bilinen konvansiyonel basınç sürücülü membran proseslerden oluşan arıtma sistemlerinin membran konsantreleri, bu projeye esas konu hibrit İOP/batık UF reaktöründe arıtılarak proje amacının yerine getirildiği ve “literatürden etkinliği bilinen arıtma sistemleri (K2)” olarak adlandırılmış uygulamaları; ikinci yöntem ise, geliştirilmiş hibrit İOP/batık UF reaktörünün yenilikçi olarak uygulanarak sonrasında tekstil için basınç sürücülü kağıt için ise sıcaklık sürücülü (B Planı gereği) membran proseslerin kullanıldığı ve “önerilen arıtma sistemleri (K1)” olarak adlandırılmış uygulamaları içerir.

Tablo 3.4 Tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularının karakterizasyonu

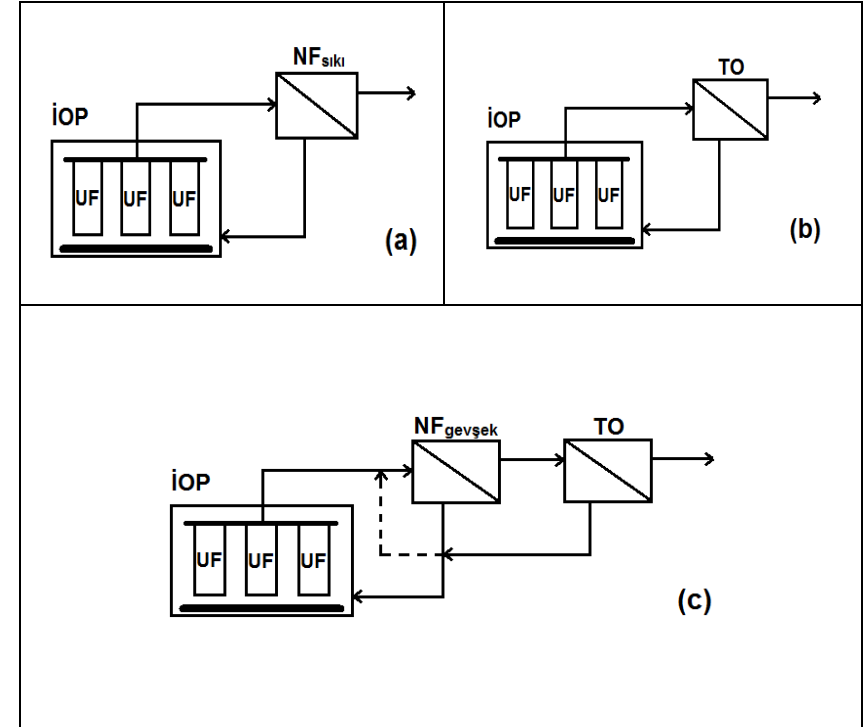
Parametre	Birim	Tekstil Atıksuyu		Kağıt Atıksuyu	
		Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma
pH	-	6,22	0,03	6,76	0,132
Sıcaklık	°C	25	1,33	22,64	1,638
İletkenlik	µS/cm	2226	613	1995	162,54
TÇK	mg/L	1130	321	1006	84,704
ÇO ₂	mg/L	8,04	0,87	0,60	0,260
KOİ	mg/L	2362	727	1520	309,61
TOK	mg/L	744	234	519	151,81
AKM	mg/L	19,03	10,31	56,20	5,154
AOX	mg/L	0,850	0,79	2,91	0,377
Bulanıklık	NTU	3,51	5,04	182	145,34
Amonyak	mg/L	1,77	1,57	1,84	0,053
Renk	λ:436 nm	0,29	0,05	1,34	0,072
	λ:525 nm	0,26	0,06	1,08	0,095
	λ:620 nm	0,25	0,08	0,91	0,087
Nitrat	mg/L	8,5	5,7	1,60	0,365
Sülfat	mg/L	440	453	483	86,136
Klorür	mg/L	35,5	14,2	85,9	11,52
Demir II	mg/L	7,7	12,5	0,66	0,129
Demir III	mg/L	4	3,06	0,16	0,073
Toplam Azot	mg/L	13,7	17,6	5,37	0,551
Toplam Sertlik	mg/L	101	71	56,5	6,84
Fenol	mg/L	11,5	4,7	4,18	0,806
Toksosite*	TU	9,6	6,30	14,42	7,22

* Toksisite parametresi, TU (toxicity unit) biriminde; 0: toksik değil, >1: az toksik, 1-10:toksik, 11-100: çok toksik, >10: aşırı toksik olarak değerlendirilmekte, analiz edilen tekstil yıkama banyosu atıksuyu ortalama değer olarak çok toksik sınırında toksik grubuna girmektedir.

Projede önerilen yenilikçi İOP/MP endüstriyel atıksu arıtma sisteminin genel proses akış şeması Şekil 3.2'de, İOP/MP'nin 3 farklı seçeneğindeki yenilikçi seçeneklere ait proses akış şemaları Şekil 3.3'te; literatürden etkinlikleri bilinen entegre basınç sürücülü membran sistemlere ait proses akış şemaları ise Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Çalışmanın B planı gereği kağıt endüstrisi atıksularında hedeflenen kalitede geri kazanım suyu eldesi için uygulanan hibrit İOP/UF'e entegre MD sistemi proses akış şeması da Şekil 3.5'te ayrıca sunulmuştur.



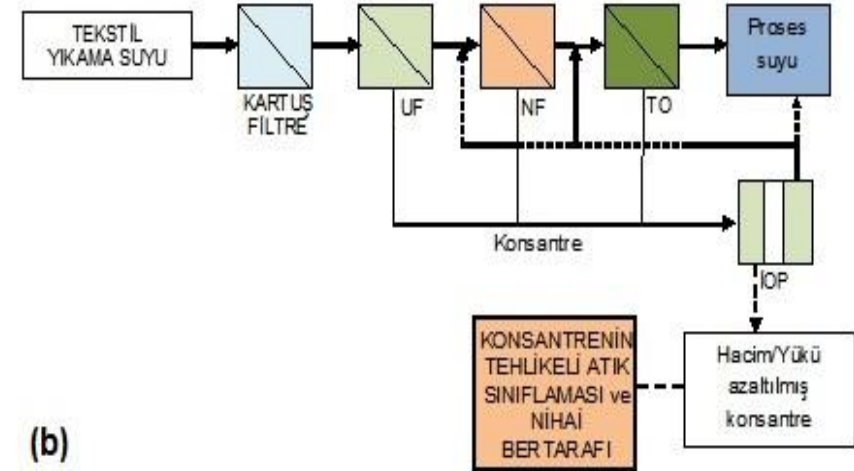
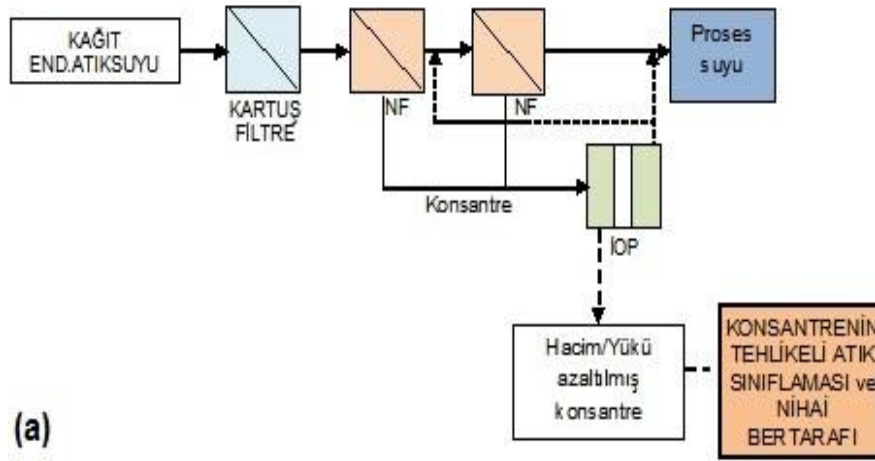
Şekil 3.2 Önerilen yenilikçi İOP/MP entegre endüstriyel atıksu arıtma (su geri kazanma ve konsantre hacmi/yükü azaltma) sistemi genel proses akış şeması



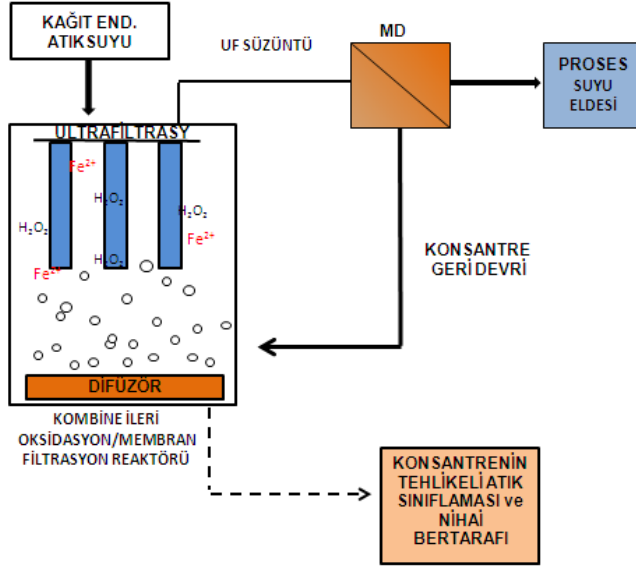
Şekil 3.3 Önerilen İOP/MP sistemi için 3 farklı işletim seçeneği:

- (a)- {İOP/UF}/[NF_{sıkı}],
- (b)- {İOP/UF}/[TO] ve
- (c)- {İOP/UF}/[NF_{gevşek}/TO]

II. KOMBİNE SİSTEM



Şekil 3.4 Literatürden etkinlikleri bilinen ve ortak konsantrelerde hacim ve yük azaltımı için İOP ile donatılmış endüstriyel su geri kazanma ve konsantre yönetim sistemi genel proses akış şemaları ((a)-Kâğıt endüstrisi atıksuları için $NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$ bütünleşik membran sistemi [$NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$] / {İOP/UF} ve (b)-Tekstil endüstrisi atıksuları için $UF/NF_{\text{sıkı}}/TO$ bütünleşik membran sistemi [$UF/NF_{\text{sıkı}}/TO$] / {İOP/UF})



Şekil 3.5 Kağıt atıksuyu için “B Planı” çerçevesinde uygulanan hibrit İOP/UF’e entegre MD sisteminin genel proses akış şeması

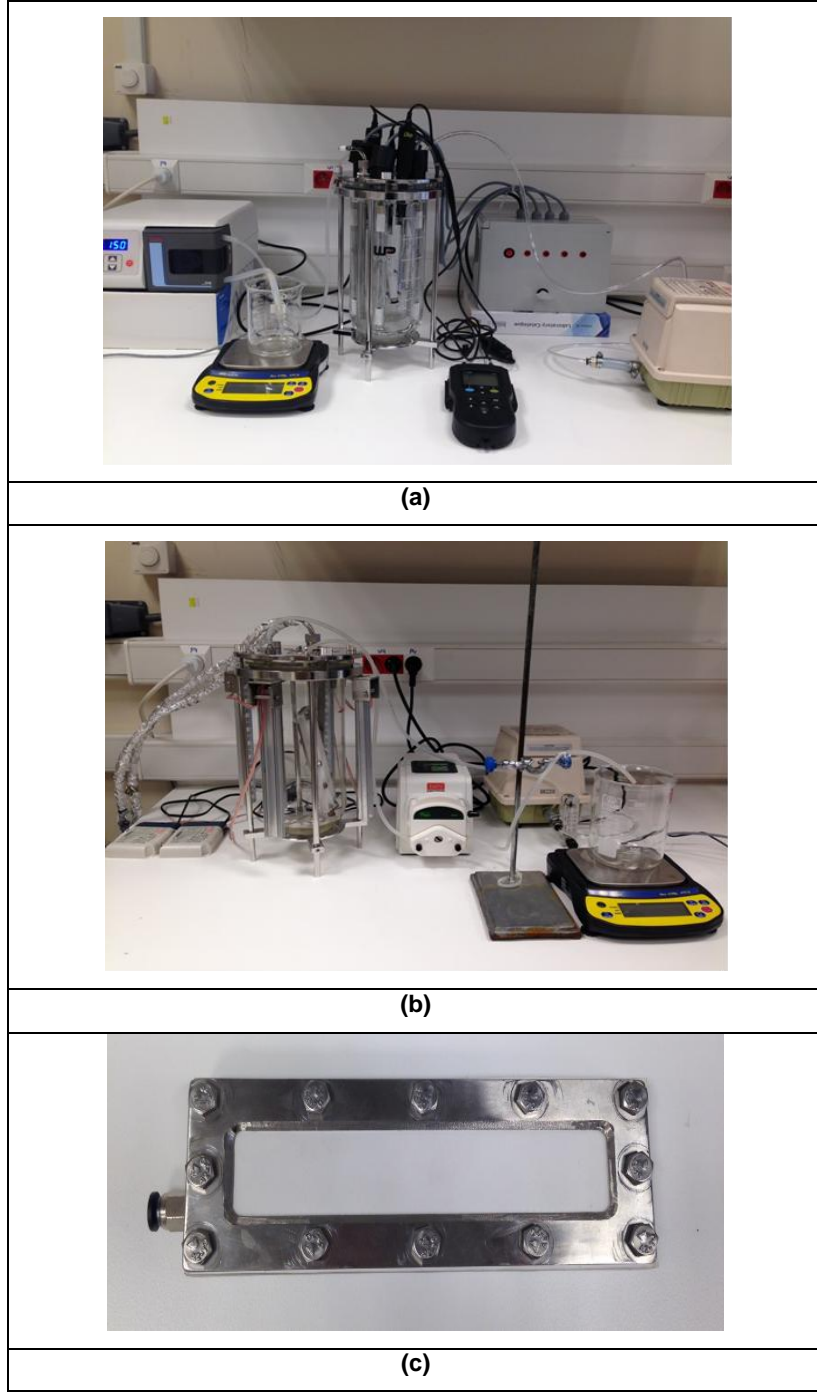
3.5 Deneysel Düzenekler

3.5.1 Kesikli İşletimli Sistemler

3.5.1.1 İOP/batık UF hibrit sistemi

Şekil 3.6’da gösterilen İOP/batık UF hibrit reaktörü, projede tekstil ve kâğıt atıksularının arıtımı için kesikli işletim çalışmalarında kullanılan laboratuvar ölçekli tezgâh-üstü sistem olup; kesikli işletim reaktöründen, Kocaeli Üniversitesi ve Gebze Teknik Üniversite Çevre Mühendisliği araştırma laboratuvarlarına 1’er adet kurulum yapılarak Fenton ve foto-Fenton deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmaların farklı sıcaklıklarda yürütülebilmesi için 3 L kapasiteli borosilikat camdan üretilmiş olan İOP/batık UF hibrit reaktörüne su banyosu bağlantısı yapılmıştır. Reaktör ile birlikte kullanılan bütün metal parçalar paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Foto-Fenton prosesinde, UVC-254 ve UVA-365 olmak üzere iki ayrı lamba türü kullanılmıştır. Reaktör, içerisine monte edilip sökülüp takılabilir kuvars cam korumalı 4 adet 10 Watt (toplam 40 Watt) UVC-254 lamba sistemi ile simetrik yerleşimde donatılmış olup, her bir UVC lamba, harici bir enerji kaynağı kullanılarak ayrı ayrı devreye alınabilmektedir. Reaktör haznesi dışarıdan monte edilip sökülüp takılabilir, toplamda 8 Watt’lık (toplam 40 Watt) floresan ışık düzenekli 5 adet UVA-365 lambalar ile donatılmıştır.

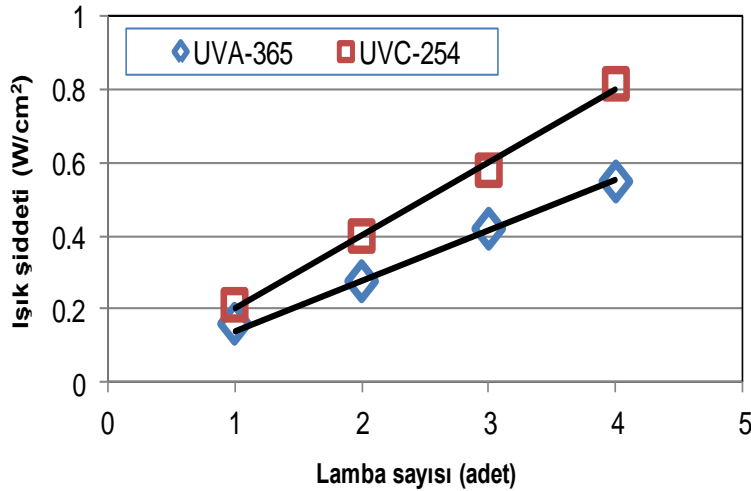


Şekil 3.6 Kesikli İOP/batık UF hibrit reaktörü (a) UVC-254 lambalarla donatılmış genel görünüm (b) UVA-365 lambalarla donatılmış genel görünüm (c) batık UF membran modülün yakından görünümü

Batık membran filtrasyon sistemi 39.4 cm^2 (dikdörtgen ebatlı, $14.6 \text{ cm} \times 2.7 \text{ cm}$) aktif membran yüzey alanına sahip bir batık membran modül içermektedir. Membran modül, İOP reaktörü içerisine yerleştirilerek UVC-254 lambalarıyla simetrik yerleşimli nitelikte tamamıyla suya batık işletilmiştir. Membran modülü Delrin® malzemeden imal edilmiş; batık İOP reaktör sisteminde yer alan reaktör haznesi içerisine monte edilip, sökülüp takılabilir ve yüzeyde hava sıyırma amacıyla istenen açıda eğilendirilebilir şekilde imal edilmiştir. Membranın modül içerisinde sabitlenmesi, çalışma sırasında sızdırmazlık sağlamak amacı ile paslanmaz çelik malzemeden yapılmış modül üst bağlantı elemanı ile sağlanmıştır.

Batık membran filtrasyon sistemi, su akısının belirlenmesi amacıyla peristaltik pompa yardımı ile membrandan geçen su hacmini ölçen bir terazi ile donatılmış; bu sayede, bilgisayar ve otomasyona bağlı yazılım üzerinden membranın su akısı ölçülerek veriler anlık olarak kaydedilmiştir. İOP/UF hibrit reaktörü, farklı sıcaklık, havalandırma hızı, UF membranlardan su çekim hızı, ışık şiddeti ve ışık türünde işletilebilir niteliktedir.

Lamba sayısına bağlı olarak UVC-254 ve UVA-365 ışık kaynağı türleri için İOP/batık UF hibrit reaktörde ölçülmüş ışık şiddeti değerleri Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



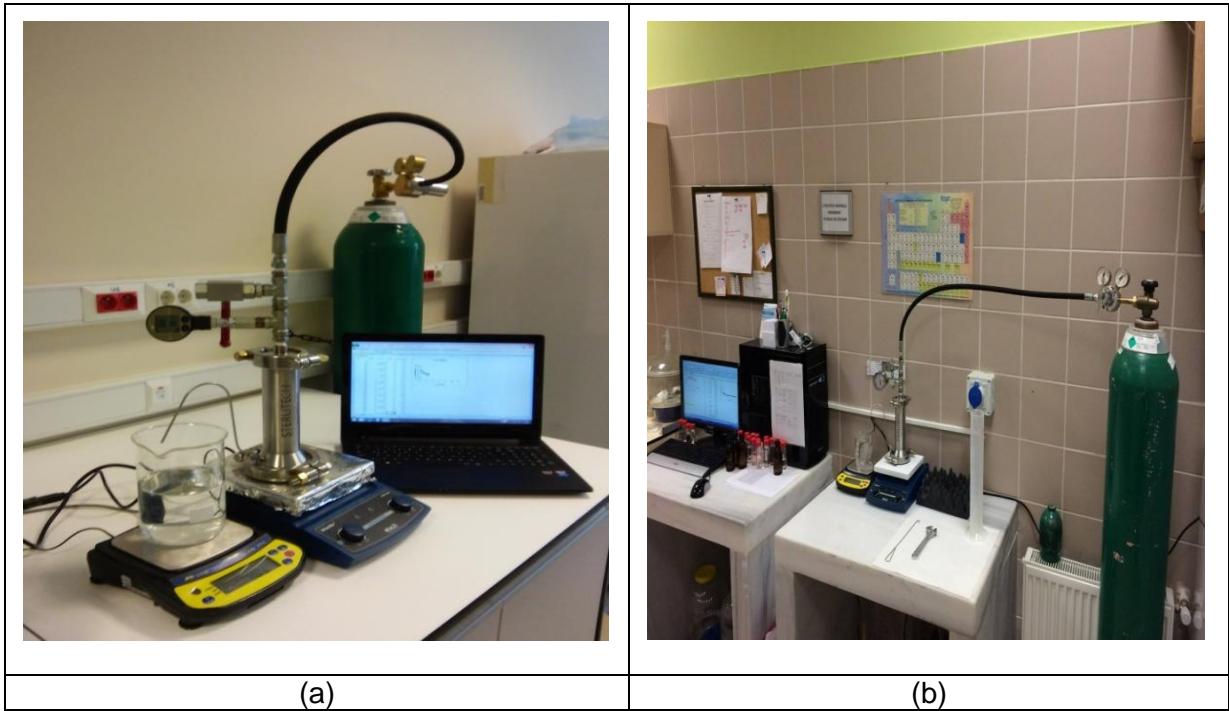
Şekil 3.7 Kesikli hibrit İOP/batık UF reaktörde lamba sayısına bağlı ışık şiddeti değişimleri

3.5.1.2 Basınç Sürücülü Membran Filtrasyon Sistemi

Literatürden etkinlikleri bilinen, kâğıt endüstrisi atıksuları için $NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$ (Gönder vd., 2011; Gönder vd., 2012) ve tekstil endüstrisi atıksuları için $UF/NF_{\text{sıkı}}/TO$ (Vergili vd., 2012) sistemleri ile elde edilen veriler ışığında; kâğıt endüstrisi atıksuyunda tezgah-üstü yüksek basınç filtrasyon sistemi ile önce $NF_{\text{gevşek}}$ membranlar ile yapılan deneyler sonucunda performans parametreleri açısından en iyi membran türü belirlenmiş; sonrasında, belirlenen

en iyi $NF_{\text{gevşek}}$ membranından filtre edilmiş çıkış suyu farklı $NF_{\text{sıkı}}$ membranlardan geçirilerek en uygun $NF_{\text{sıkı}}$ membranı tespit edilmiştir. Böylece, en tercih edilebilir $NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$ membran sistem kombinasyonu belirlenmiştir. Tekstil endüstrisi atıksuyunda ise sırasıyla UF, $NF_{\text{sıkı}}$ ve TO filtrasyonları, tezgâh-üstü yüksek basınç filtrasyon sistemi kullanılarak, her bir proseste en uygun membran türlerinin tespiti amacıyla yerine getirilmiştir. Bu sayede, literatürde etkinliği bilinen UF/ $NF_{\text{sıkı}}$ /TO sistemi için en iyi performans veren membran sistemi kombinasyonu belirlenmiştir.

Etkinliği bilinen basınç sürücülü sistemlerin kesikli işletimleri için tezgâh-üstü yürütülmüş deneylerde, 2 adet projeden alımı yapılmış olan Sterlitech marka çapraz akış membran filtrasyon sistemleri kullanılmış olup, Gebze Teknik ve Kocaeli Üniversiteleri'nde kurulmuş kesikli işletimli sistemlerin genel görünüşleri Şekil 3.8'de ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Etkinliği bilinen kesikli işletimli tezgâh-üstü basınç sürücülü membran sistemler ((a)-Gebze Teknik Üniversitesi ve (b)-Kocaeli Üniversitesi)

Kâğıt atıksularında, $NF_{\text{gevşek}}$ (NP010, NFG, MPF-36, CK-3001) ve $NF_{\text{sıkı}}$ (NP030, NF270, DS-5DK, ESNA-1) proseslerinin işletimleri, Gönder vd. (2011) tarafından işletimi yapılan aynı pH (10), sıcaklık (25 °C) ve basınç (sırasıyla 12 ve 20 bar) değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı olarak, her iki prosesin işletimi sırasında Sterlitech membran sisteminin modüllerinde 300 rpm'lik karıştırma hızıyla çapraz akış uygulanmıştır.

Tekstil atıksularında, UF (UP005, UP020, UH050, UV150), NFsıkı (NP030, NF270, DS-5DK, ESNA-1) ve TO (TFC – HRRO, LFC-3, CPA - 3/5 ve BW-30) proseslerinin işletimleri, Vergili vd. (2012) tarafından işletimi yapılan atıksuyun kendi pH'ında, aynı sıcaklık (25 °C) ve basınç (sırasıyla 8, 12 ve 40 bar) değerlerinde yerine getirilmiştir. Farklı olarak, her bir prosesin işletimi sırasında Sterlitech membran modülünde, 300 rpm'lik karıştırma hızında çapraz akış işletimi uygulanmıştır.

NF_{gevşek}/NF_{sıkı} ve UF/NF_{sıkı}/TO membran sistemleriyle kağıt ve tekstil atıksularının filtrasyon performansları (E_i , TÇK, TOK, KOİ, Cl^- , SO_4^{2-} ve renk) parametreleri ve membranlarla değişen süzüntü akı değerleri ile kıyaslanmıştır.

3.5.2 Sürekli İşletimli Sistemler

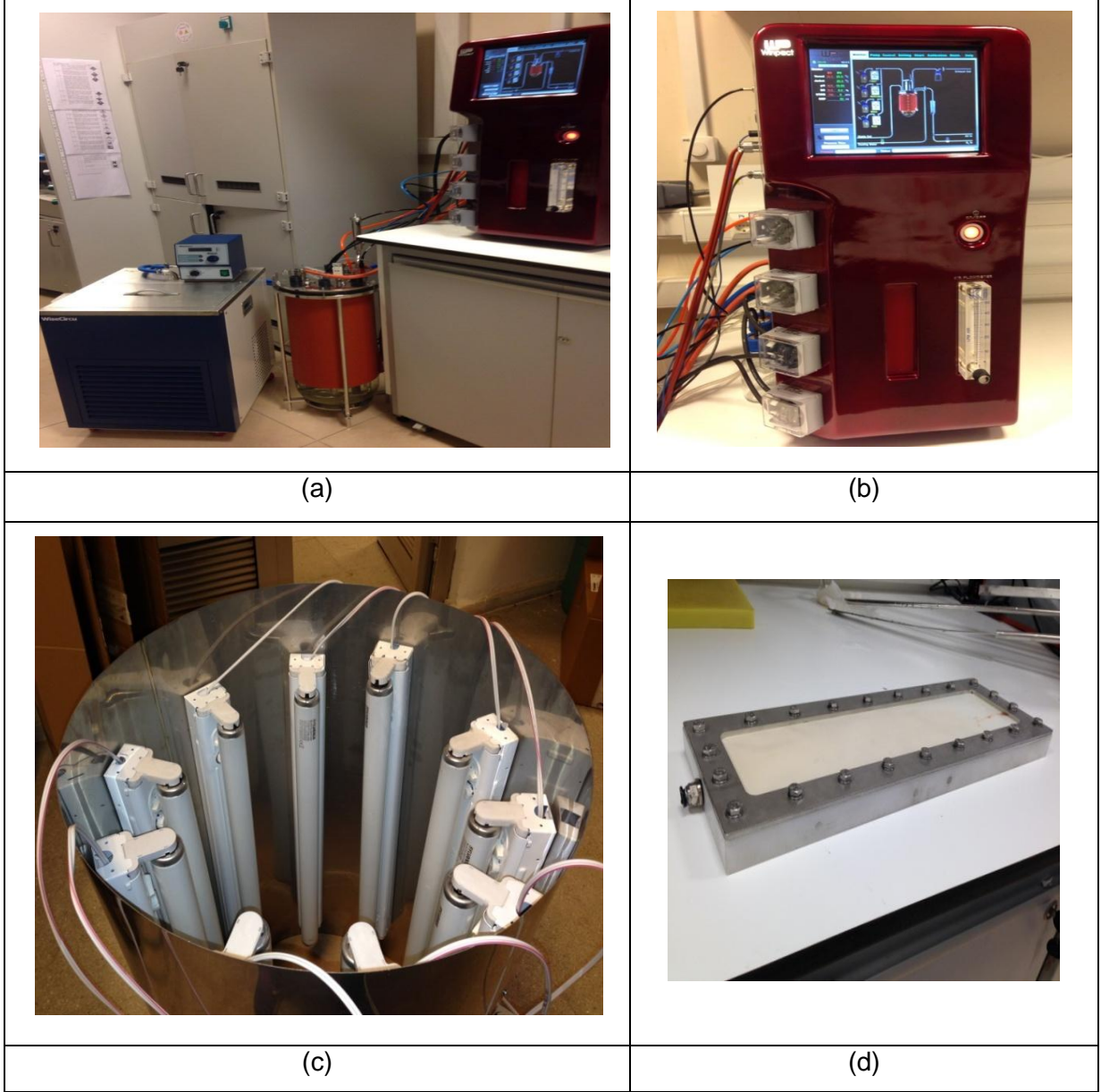
3.5.2.1 İOP/batık UF hibrit sistemi

Kesikli işletimli deneylerde kullanılan sistemlerin kurulum ve işletimlerinden elde edilen bilgi ve tecrübelerden hareketle, küçük ölçekli (3 L kapasiteli) kesikli işletimli sistemin pilot ölçekli (20 L kapasiteli) sürekli işletimli sisteme ışık şiddeti ve membran proses kapasitesi itibariyle ölçek büyütmesi yapılarak; yenilikçi hibrit İOP/batık UF sisteminin Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarına pilot ölçekte kurulumu gerçekleştirilmiştir. Lab pilot ölçek yenilikçi İOP/batık UF hibrit sisteminin fotoğrafları ayrıntılarıyla Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

Sürekli işletimli yenilikçi İOP/batık UF hibrit sistem 20 L (azami 25 L) kapasiteli borosilikat camdan üretilmiş bir reaktöre sahip olup, reaktöre su banyosu bağlantısı bulunmaktadır. Reaktör ile birlikte kullanılan bütün metal parçalar paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Foto-Fenton prosesi işletimleri için reaktör içeriden UVC-254 ve dışarıdan UVA-365 olmak üzere farklı ışık kaynakları ile donatılarak işletilebilmektedir. UVC-254 için reaktör, içerisine monte edilip sökülüp takılabilir kuvars cam korumalı 5 adet 40 Watt (toplam 200 Watt) lamba sistemi ile simetrik yerleşimde donatılmıştır. Her bir UVC lamba, harici bir enerji kaynağı kullanılarak ayrı ayrı devreye alınabilmektedir. UVA-365 için ise reaktöre dışarıdan monte edilen 10 adet 20 Watt (toplam 200 Watt) simetrik lamba sistemi sayesinde, aynı UVC-254'teki gibi, reaktörün işletimi harici bir güç kaynağı kullanılarak, sayısı ayarlanabilir lamba yakılması üzerinden foto-oksidasyonun istenilen ışık şiddetinde yerine getirilmesi sağlanmaktadır.

Batık membran filtrasyon sistemi 298 cm² (kesikli sistemdeki modül membran alanının yaklaşık 7.5 katı olmak üzere dikdörtgen ebatlı, 8.5 cm x 35 cm) aktif membran alanına sahip bir batık membran modül içermektedir. Membran modül, 20 L'lik İOP reaktörü içerisinde tamamıyla suya batık olarak işletilebilir özelliktedir. Modül, Delrin® malzemedan imal edilmiş,

batık İOP reaktör sisteminde yer alan reaktör haznesi içerisine monte edilip, sökülüp takılabilir ve yüzeyde hava sıyırma amacıyla istenen açıda eğimlendirilebilir niteliktedir.



Şekil 3.9 Pilot ölçek sürekli işletimli İOP/batık UF hibrit reaktörü ((a) UVC-254 lambalarla donatılmış genel görünüm (b) Sistem otomasyon ünitesi, (c) UVA-365 lambalara ait dış reaktör donanımının genel görünümü, (d) Batık UF membran modülünün yakın görünümü)

Membranın modülün reaktör içerisinde sabitlenmesi, çalışma sırasında sızdırmazlık sağlamak amacı ile paslanmaz çelik malzemeden yapılmış modül üst bağlantı elemanı ile sağlanmaktadır. Sürekli işletimli batık membran filtrasyon sistemi, su akışının belirlenmesi amacıyla peristaltik pompa yardımı ile membrandan geçen su hacmini ölçen bir terazi ile

işletilmekte; bilgisayar ve otomasyona bağlı yazılım üzerinden membranın su akısı izlenebilmekte, reaktöre hava besleme hızı ile reaktördeki atıksuyun pH'sı, sıcaklığı ve çözünmüş oksijen içeriği ölçülerek kontrol edilebilmekte ve tüm veriler anlık olarak izlenip kaydedilebilmektedir.

✓ **Lab pilot ölçek İOP/batık UF hibrit prosesi ölçek büyütme prosedürü**

Sürekli denemelerin yapıldığı büyük hacimdeki İOP/UF hibrit reaktörü, kesikli işletimli 3 L'lik reaktöründeki çalışma şartlarının aynıyla 20'lik pilot ölçeğinde oluşturulabilmesi için lamba sayısı (ışık şiddeti), havalandırma hızı ve su çekim hızı değişkenleri baz alınarak ölçek büyütme işlemi yapılmıştır. Küçük ve büyük İOP/batık UF reaktörleri için ölçek büyütme oranları Tablo 3.5'te özetlenmiştir. Sürekli sistemde İOP reaktörünün içerisinde tam karışımın gerçekleşmesi için reaktör tabanından reaktör içerisine verilen havanın hızı, büyük ve küçük ölçek reaktörlerin en kesit alanlarının oranıyla ölçek büyütme tabi tutulmuştur.

Tablo 3.5 Kesikli (tezgah-üstü ölçek) ve sürekli (pilot ölçek) İOP/batık UF hibrit reaktörleri için ölçek büyütme oranları

Parametre	Küçük Sistem		Büyük Sistem	
	UVA-365	UVC-254	UVA-365	UVC-254
Lamba Sayısı (adet)	5	4	10	5
Lamba Gücü (Watt/lamba)	8	10	20	40
Toplam Güç (Watt)	40	40	200	200
Membran Alanı (cm ²)	39,4		298	
Reaktör Hacmi (L)	3		20	
Reaktör Çapı (cm)	13,3		22,1	
Reaktör Yüksekliği (cm)	30		61	
Borosilikat Cam Kalınlığı (cm)	1,6		2,1	

Havalandırma hızı büyütme katsayısı 2,76 olarak belirlenmiştir. Membran alanı büyütme oranı (1) 7,56, reaktör hacmi büyütme oranı (2) 6,67 olarak bulunmuştur. Ölçek büyütmedeki oransal sapma, İOP ve UF prosesleri arasındaki ölçek büyütmeden kaynaklanan sapmadır ve $[(1)-(2)]/(1)$ formülüyle 0,119 olarak hesaplanmıştır. Büyük ölçek İOP/batık UF reaktörü için ölçek büyütme oranları belirlendikten sonra, projenin ilk döneminde önerilen hibrit sistem ile İOP'ta 2 farklı teknoloji (Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254)) uygulanarak,

kâğıt ve tekstil atıksuları için ayrı ayrı belirlenen endüstriyel atıksuların optimum şartlarda işletim şartları; büyük hibrit İOP/batık UF sistemi deneylerinde kullanılmak üzere büyük sistemin proses işletme şartlarına uyarlanmıştır (Tablo 3.6).

Tablo 3.6 Kesikli (tezgah-üstü ölçek) ve sürekli (pilot ölçek) İOP/batık UF hibrit reaktörleri için lamba sayısı, toplam güç değerleri, su çekim ve havalandırma hızları

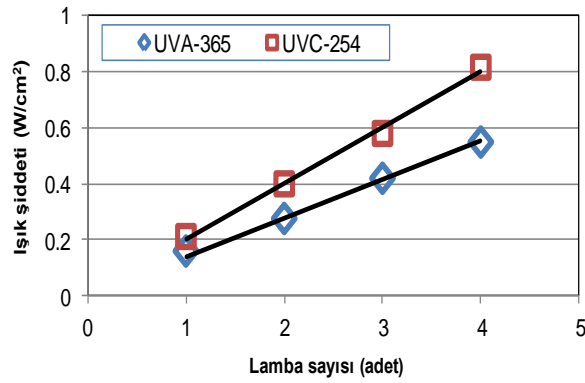
<u>Küçük Sistem</u>	UVA-365	UVC-254
Lamba Sayısı	3	3
Toplam Güç (Watt)	24	30
<u>Büyük Sistem</u>	UVA-365	UVC-254
Lamba Sayısı	3	2
Toplam Güç (Watt)	60	80
– UF Su Çekim Hızı Ölçek Büyütme Denklemi	$*y = 0.0001x^2 + 0,0176x$ $R^2 = 0,987$	
– Reaktör Havalanma Hızı Ölçek Büyütme Katsayısı	$*y = 2.76 \times (x)$	

*y: pilot sistemdeki değer, x: tezgah üstü ölçek sistemdeki değer

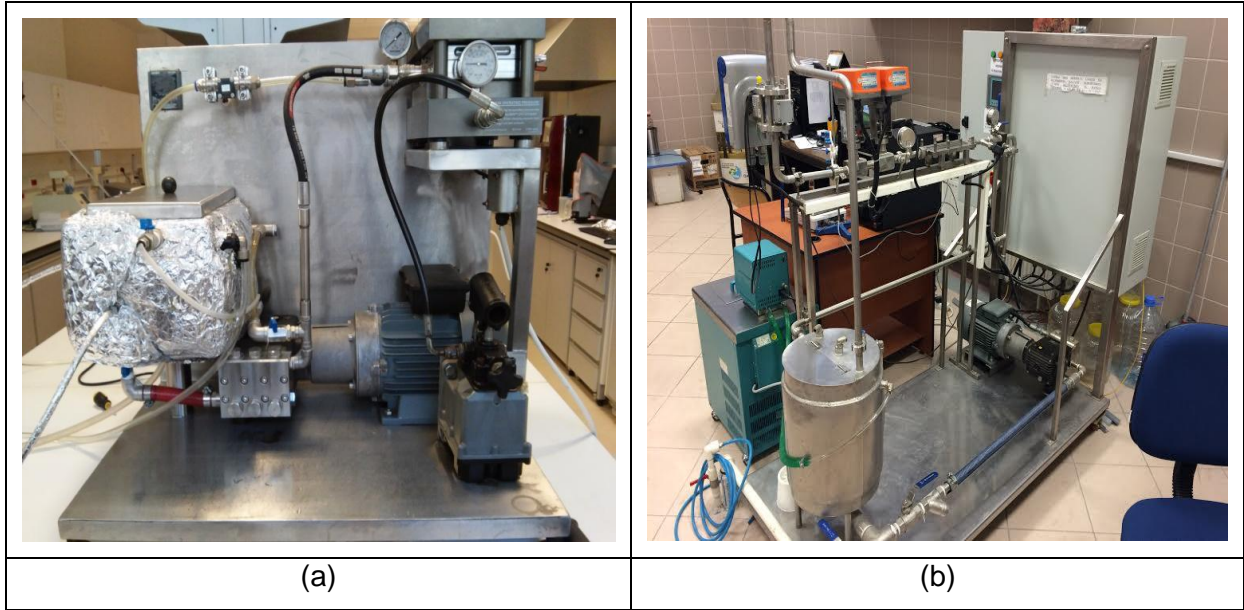
Hem UVA hem de UVC lambaları kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde, büyük sistemde reaktörün birim alanına düşen ışık şiddetinin küçük sistemdeki ışık şiddeti ile aynı miktarda olması için ışık ölçer büyük reaktörün merkezine daldırılarak, 10⁰ derecelik açılarla tam bir tur döndürülmüş ve toplam 36 adet ölçüm alınarak, bu ölçümlerin aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Lamba sayısına bağlı olarak UVC-254 ve UVA-365 ışık kaynağı türleri için kesikli şartlarda işletilen küçük İOP/batık UF hibrit reaktöründeki lamba sayısı ile ışık şiddeti arasındaki ilişki baz alınarak, sürekli şartlarda işletilen büyük reaktörde lamba sayısına göre tekrarlanan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda UVC-254 ve UVA-365 ışık türleri için lamba sayısı ile ışık şiddeti arasındaki ilişki Şekil 3.10'daki gibidir.

3.5.2.2 Basınç Sürücülü Membran Filtrasyon Sistemi

Kağıt ve tekstil atıksuları ile yürütülen çalışmalarda, Su geri kazanım etkinlikleri literatürden bilinen sırasıyla $NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$ ve $UF/NF_{\text{sıkı}}/TO$ bütünleşik membran sistemlerinin sürekli işlemleri, kesikli ile aynı işletme koşullarında, sırasıyla Gebze Teknik Üniversitesi ve Kocaeli Üniversitesi'nde halihazırda kurulu bulunan ve Şekil 3.11'de verilen yüksek basınçlı işletime haiz pilot ölçek çapraz akış membran filtrasyon sistemleri kullanılarak yerine getirilmiştir. Gebze Teknik ve Kocaeli Üniversiteleri'nde kurulu bu sistemler, sırasıyla 12 ve 30 L atıksu besleme hacmi kapasitesine sahip olup, her bir sistemde %75-80'lere varan seviyelerde su geri kazanımlarında membran proses işlemleri sağlanabilmektedir.



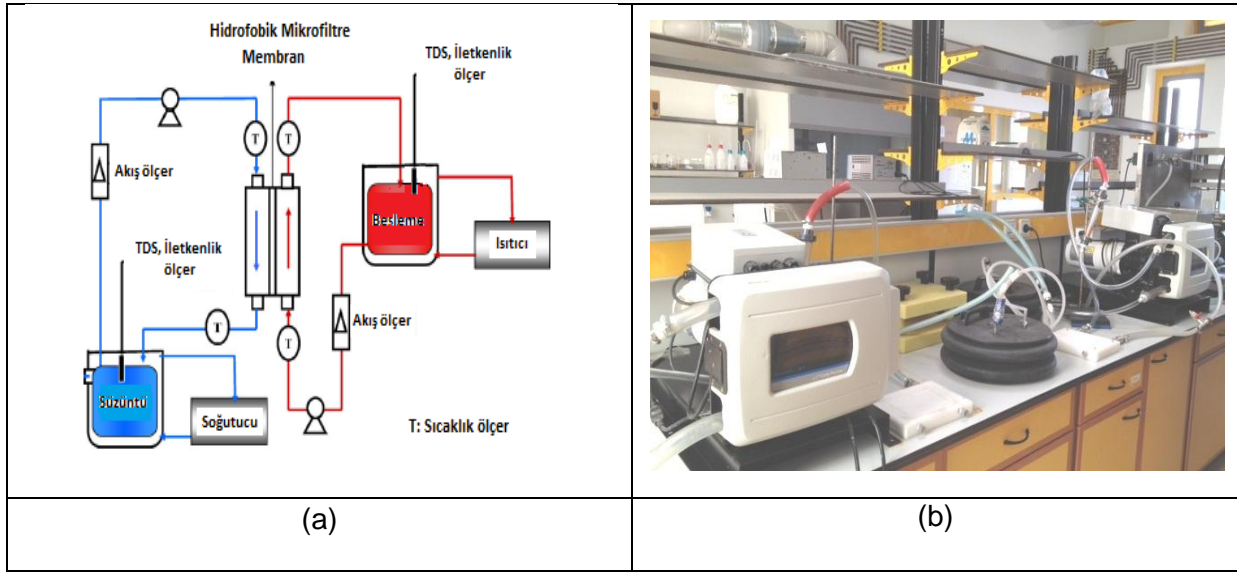
Şekil 3.10 Sürekli işletimli İOP/batık UF hibrit reaktöründe lamba sayısına bağlı ışık şiddeti değişimleri



Şekil 3.11 Etkinliği bilinen sürekli işletimli pilot ölçek basınç sürücülü membran sistemler ((a)-Gebze Teknik Üniversitesi ve (b)-Kocaeli Üniversitesi)

3.5.3 Membran Distilasyon Sistemi

Kağıt endüstrisi atıksularının arıtımında yenilikçi “İOP/batık UF ve sonrası NF_{sıktı}”, “İOP/batık UF ve sonrası TO” ile “İOP/batık UF ve sonrası NF_{gevşek}/TO” bütünleşik arıtma sistemleri ile düşük arıtma performansları elde edilmesinden (arzu edilen endüstriyel yeniden kullanım suyu kalitesi elde edilemediğinden) dolayı, projenin “B Planı” gereğince hibrit reaktör sonrası MD proses kullanılarak temiz su üretimi sağlanmış olup; kesikli ve sürekli şartlarda yürütülen MD deneylerinin her ikisinde de kullanılan MD prosesi çalışma düzeneğinin şematik gösterimi ve fotoğrafı Şekil 3.12’de sunulmuştur.



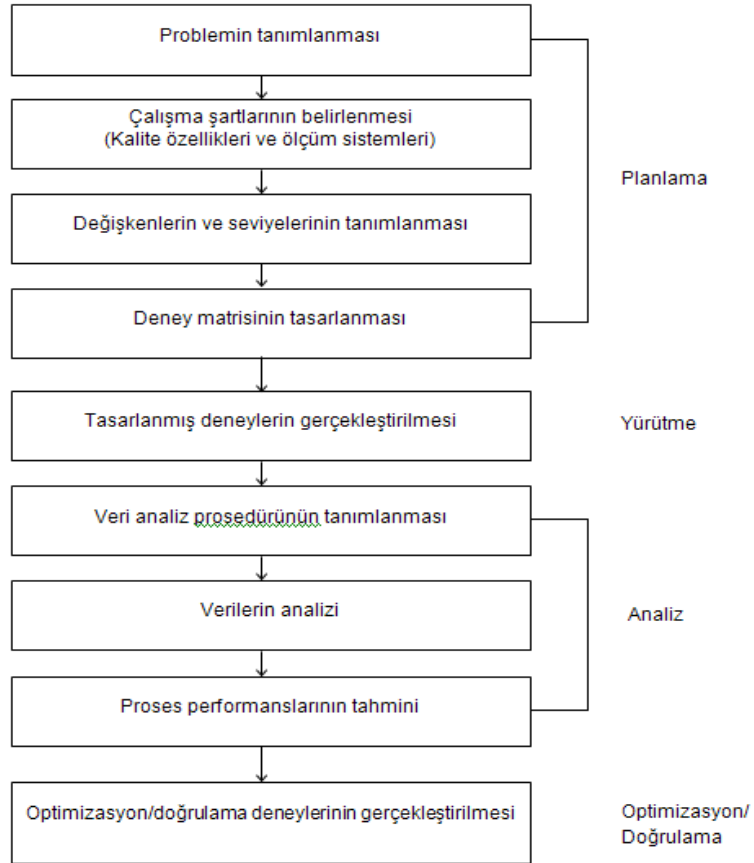
Şekil 3.12 MD prosesi çalışma düzeneği (a-şematik gösterim, b-fotoğraf)

Kağıt atıksuları ile yürütülen sürekli İOP/batık UF hibrit sistemi sonrasında tezgah-üstü membran distilasyon sistemi ile en uygun membran türününü belirlenmesi için gerçekleştirilen kesikli yürütülen deneylerde PTFE ve PVDF membranları kullanılmıştır. MD besleme tankına, sürekli İOP/UF hibrit prosesinden çıkan UF süzüntü suyu, MD süzüntü tankına ise distile su konularak membran modülüne yerleştirilen en uygun düz tabaka membran (PTFE:0.45-1 μm) ile çözeltilerin birbirine karışması önlenmiştir. Kullanılan peristaltik pompalar (Cole-Parmer Masterflex B/T) aracılığıyla sistem hem kesikli hem de sürekli çalışmalarda çapraz akışlı olarak işletilmiştir. Elle ayarlanabilir debi ölçerler sayesinde akış hızı istenen seviyelerde tutularak, batık UF çıkış suyu (MD besleme akımı) ve distile su (temiz su akımı), 100 L/sa akış hızlarında, kullanılan su banyoları vasıtasıyla 20°C sıcaklık farkı altında deneyler yürütülmüştür. Çözeltiler arası sıcaklık farkı, batık UF çıkış suyu ısıtılarak (40°C) distile su ise soğutularak (20°C) oluşturulmuştur.

3.6 Kesikli İşletimli Deneysel Tasarım Yöntem ve Esasları

3.6.1 Deneysel Tasarım Yöntemi

İOP/batık UF hibrit proseste ve basınç sürücülü membran proseslerden NF ve TO'da, tekstil ve kâğıt atıksuları için kesikli şartlardaki deneysel çalışmalar, elde edilen sonuçların istatistikî yöntemlerle değerlendirilebilmesi amacıyla deneysel tasarım çerçevesinde yürütülmüştür. Bu amaçla, hem İOP/UF hem de NF ve TO proseslerinin performans değerlendirmelerini, ayrı ayrı dikkate alan ortak bir Taguchi deneysel tasarım planlaması uygulanmış; deneysel sonuçların analizi, cevap yüzeyi yöntemi (response surface methodology) üzerinden Design Expert 9.0 yazılımı kullanılarak yerine getirilmiştir. Deneysel tasarım uygulaması, Şekil 3.13'te verilen yapı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.13 Proje çalışmasında uygulanan deneysel tasarım yöntemi

3.6.2 İOP/Batık UF Hibrit Proses Deneylerinin Tasarımı

Proses performanslarının izlenmesi, pH, elektriksel iletkenlik (E_i), toplam çözünmüş katılar (TÇK), toplam organik karbon (TOK), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk, klorür, sülfat ve akı parametreleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. İOP/batık UF hibrit prosese ait deneysel çalışmalarda uygulanan deneysel tasarımda dikkate alınmış giriş değişkenleri ve seviyelerine ilişkin bilgiler Tablo 3.8'de verilmiştir.

Hibrit Fenton ve foto-Fenton prosesleri için gerçekleştirilen 32 deneylik tasarımlarda, ışık türü hariç proses değişkenlerinin tamamı dört (4) seviyede seçilmiş olup, ışık türü için UVC-254 ve UVA-365 olmak üzere 2 değişken seviyesi dikkate alınmıştır. Proses performansı analizlerinde giriş değişkenlerinin sonuç parametreleri üzerine etkileri, ilk olarak lineer model bazında ANOVA (analysis of variance (varyans analizi)) yöntemi ile belirlenmiştir.

Tablo 3.7 Kesikli işletimli İOP/batık UF hibrit proseste Taguchi tasarım deneyleri değişkenleri ve seviyeleri

Giriş Değişkeni	Parametre	Açıklaması	Birim	Deneysel Tasarım Seviyesi			
				En düşük (1)	Düşük (2)	Yüksek (3)	En Yüksek (4)
A	t	zaman	dak	15	30	45	60
B	T	sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	25	30	35	40
C	pH	pH	–	3	4	5	6
D	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$ oranı	g/g	6	14	22	30
E	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ oranı	g/g	3	7	11	15
F	v_H	İOP reaktörü havalandırma hızı	L/dak	1	2	3	4
G	$v_{sç}$	UF membranda su çekim hızı	rpm	55	70	85	100
H	M_T	Membran türü	–	UP005	UP020	UH050	UV150
J	$I_{ş}$	Işık şiddeti*	*Lamba sayısı	1	2	3	4
K	I_T	Işık türü	–	UVC–254	UVA–365	–	–

Kesikli şartlarda tezgah-üstü İOP/batık UF hibrit reaktörü kullanılarak tekstil ve kağıt endüstrisi atıksuları ile ayrı ayrı yürütülen deneylerde, Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) prosesleri için iki ayrı deneysel tasarım yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, ileri oksidasyon prosesi ve beraberinde aynı reaktörde batık UF membran proses uygulaması eş zamanlı olarak ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Tekstil atıksuyu için İOP/batık UF hibrit reaktöründe gerçekleştirilen Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) deneyleri için kesikli şartlarda, ileri oksidasyondaki değişkenlerin deneysel değerlerini içeren tablolar, Tablo 3.9 ve Tablo 3.10'da sunulmuştur. Kâğıt endüstrisi atıksuları için Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) proseslerinde yer alan değişkenlerin deneysel değerleri ise, tekstil endüstrisi ile yürütülen deneysel tasarım değerleri ile aynıdır.

Hem tekstil hem de kâğıt atıksularının Fenton ve foto-Fenton prosesleriyle birleştirilmiş batık UF prosesli hibrit deneysel arıtmaları için uygulanmış, proses değişkenlerinin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tabloları sırasıyla Tablo 3.11 ve 3.12'de verilmiştir.

Giriş ve sonuç parametreleri arasındaki ilişki denklemleri, hibrit reaktörde esasen organik giderimi gerçekleştirildiğinden TOK ve KOİ parametreleri üzerinden (İOP reaktörde pH ve batık UF proseste süzüntü akısı (J) da dâhil olmak üzere) lineer ve lineer olmayan model ilişki denklemleri ile ortaya çıkarılmıştır. Deneysel ve model tahmin sonuçları arasında çok daha iyi seviyelerde korelasyon elde ediliyor olması dolayısıyla yüzey cevap yöntemine (response surface methodology) dayalı çözümlenmeler, II. derece lineer olmayan çözümlenme esasında yerine getirilmiştir. Bu sayede, iki (2) ve/veya üç (3) boyutlu değişim grafikleri (contour veya 3D surface graphics) üzerinden proses performanslarının, her bir proses ve sistemin tamamı için ayrı ayrı belirlenmesi sağlanmıştır. Bu bağlamda uygulanan II. derece lineer olmayan model denklemi aşağıda verilmiştir.

$$Y = z_0 + \sum_{i=1}^k z_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^k z_{ii} \cdot X_i^2 + \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^k z_{ij} \cdot X_i X_j \quad (3.1)$$

Denklemden Y , sonuç değişkeni; X , giriş veya proses değişkeni; i veya j , giriş değişkeni numarası; k , giriş değişkeni sayısı ve z , model ilişki katsayısıdır.

Tablo 3.8 İOP/batık UF hibrit reaktörde Fenton destekli ileri oksidasyon için değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 4⁶)

Deney No	Giriş Parametreleri					
	A <i>t</i>	B <i>T</i>	C pH	D H ₂ O ₂ /TOK	E H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	F <i>v_H</i>
1	3	1	2	3	4	1
2	3	2	1	4	3	2
3	2	4	1	3	2	1
4	1	2	2	2	2	2
5	1	2	3	2	3	1
6	1	3	3	3	3	3
7	3	4	2	2	4	3
8	1	1	1	1	1	1
9	4	2	4	3	1	3
10	3	2	4	4	2	1
11	2	4	4	3	3	2
12	3	4	3	2	1	4
13	1	1	4	1	4	2
14	2	3	3	4	4	1
15	1	3	2	3	2	4
16	4	3	4	2	1	1
17	4	1	2	4	3	3
18	1	4	4	4	4	4
19	4	2	1	3	4	4
20	4	3	1	2	4	2
21	4	4	3	1	2	2
22	1	4	1	4	1	3
23	3	3	1	1	3	4
24	4	1	3	4	2	4
25	2	2	2	1	1	4
26	3	3	4	1	2	3
27	2	1	4	2	3	4
28	2	2	3	1	4	3
29	2	1	1	2	2	3
30	2	3	2	4	1	2
31	3	1	3	3	1	2
32	4	4	2	1	3	1

Tablo 3.9 İOP/batık UF hibrit reaktörde foto-Fenton destekli ileri oksidasyon için değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 $2^1 \times 4^7$)

Deney No	Giriş Parametreleri							
	A	B	C	D	E	F	J	K
	t	T	pH	H_2O_2/TOK	H_2O_2/Fe^{2+}	v_H	$I_{\text{ş}}$	I_T
1	3	1	2	3	4	1	4	1
2	3	2	1	4	3	2	3	1
3	2	4	1	3	2	1	3	2
4	1	2	2	2	2	2	2	1
5	1	2	3	2	3	1	4	2
6	1	3	3	3	3	3	3	1
7	3	4	2	2	4	3	3	2
8	1	1	1	1	1	1	1	1
9	4	2	4	3	1	3	4	2
10	3	2	4	4	2	1	1	2
11	2	4	4	3	3	2	1	1
12	3	4	3	2	1	4	1	1
13	1	1	4	1	4	2	3	2
14	2	3	3	4	4	1	2	1
15	1	3	2	3	2	4	1	2
16	4	3	4	2	1	1	3	1
17	4	1	2	4	3	3	1	1
18	1	4	4	4	4	4	4	1
19	4	2	1	3	4	4	2	1
20	4	3	1	2	4	2	1	2
21	4	4	3	1	2	2	4	1
22	1	4	1	4	1	3	2	2
23	3	3	1	1	3	4	4	2
24	4	1	3	4	2	4	3	2
25	2	2	2	1	1	4	3	1
26	3	3	4	1	2	3	2	1
27	2	1	4	2	3	4	2	2
28	2	2	3	1	4	3	1	2
29	2	1	1	2	2	3	4	1
30	2	3	2	4	1	2	4	2
31	3	1	3	3	1	2	2	2
32	4	4	2	1	3	1	2	2

Tablo 3.10 Fenton destekli batık UF'li İOP/UF hibrit proseste deneysel arıtım için uygulanmış değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 4⁸)

Deney No	Giriş Parametreleri							
	A (t)	B (T)	C (pH)	D (H ₂ O ₂ /TOK)	E (H ₂ O ₂ /Fe ²⁺)	F (v _H)	G (v _{SC})	H (M _T)
1	3	1	2	3	4	1	2	3
2	3	2	1	4	3	2	1	4
3	2	4	1	3	2	1	4	2
4	1	2	2	2	2	2	2	2
5	1	2	3	2	3	1	4	1
6	1	3	3	3	3	3	3	3
7	3	4	2	2	4	3	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1
9	4	2	4	3	1	3	1	2
10	3	2	4	4	2	1	3	3
11	2	4	4	3	3	2	2	1
12	3	4	3	2	1	4	3	2
13	1	1	4	1	4	2	3	2
14	2	3	3	4	4	1	1	2
15	1	3	2	3	2	4	1	4
16	4	3	4	2	1	1	2	4
17	4	1	2	4	3	3	4	2
18	1	4	4	4	4	4	4	4
19	4	2	1	3	4	4	3	1
20	4	3	1	2	4	2	4	3
21	4	4	3	1	2	2	1	3
22	1	4	1	4	1	3	2	3
23	3	3	1	1	3	4	2	2
24	4	1	3	4	2	4	2	1
25	2	2	2	1	1	4	4	3
26	3	3	4	1	2	3	4	1
27	2	1	4	2	3	4	1	3
28	2	2	3	1	4	3	2	4
29	2	1	1	2	2	3	3	4
30	2	3	2	4	1	2	3	1
31	3	1	3	3	1	2	4	4
32	4	4	2	1	3	1	3	4

Tablo 3.11 Foto-Fenton destekli batık UF'li İOP/UF hibrit proseste deneysel arıtım için uygulanmış değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2¹×4⁹)

Deney No	Giriş Parametreleri									
	A (t)	B (T)	C (pH)	D (H ₂ O ₂ /TOK)	E (H ₂ O ₂ /Fe ²⁺)	F (I _H)	G (V _{SC})	H (M _T)	J (I _S)	K (I _T)
1	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1
2	3	2	1	4	3	2	1	4	3	1
3	2	4	1	3	2	1	4	2	3	2
4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1
5	1	2	3	2	3	1	4	1	4	2
6	1	3	3	3	3	3	3	3	3	1
7	3	4	2	2	4	3	1	1	3	2
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	4	2	4	3	1	3	1	2	4	2
10	3	2	4	4	2	1	3	3	1	2
11	2	4	4	3	3	2	2	1	1	1
12	3	4	3	2	1	4	3	2	1	1
13	1	1	4	1	4	2	3	2	3	2
14	2	3	3	4	4	1	1	2	2	1
15	1	3	2	3	2	4	1	4	1	2
16	4	3	4	2	1	1	2	4	3	1
17	4	1	2	4	3	3	4	2	1	1
18	1	4	4	4	4	4	4	4	4	1
19	4	2	1	3	4	4	3	1	2	1
20	4	3	1	2	4	2	4	3	1	2
21	4	4	3	1	2	2	1	3	4	1
22	1	4	1	4	1	3	2	3	2	2
23	3	3	1	1	3	4	2	2	4	2
24	4	1	3	4	2	4	2	1	3	2
25	2	2	2	1	1	4	4	3	3	1
26	3	3	4	1	2	3	4	1	2	1
27	2	1	4	2	3	4	1	3	2	2
28	2	2	3	1	4	3	2	4	1	2
29	2	1	1	2	2	3	3	4	4	1
30	2	3	2	4	1	2	3	1	4	2
31	3	1	3	3	1	2	4	4	2	2
32	4	4	2	1	3	1	3	4	2	2

Sonuç performanslarının belirlenmesi sonrasında, kesikli İOP/batık UF hibrit sistemdeki her bir prosese özgü giriş parametreleri için tercih önceliklerine göre maksimum/minimum yap veya aralıkta seç gibi tercih seçimleri yapılmak suretiyle, İOP/UF hibrit sistemde ulaşılmak istenen “*en uygulanabilir yüksek performans*” üzerinden optimizasyon işlemleri yerine getirilmiştir. Belirlenen optimum senaryolar arasından uygun olanların seçimi, herhangi bir optimum çözüm şartı için yazılım tarafından hesaplanmış arzu edilebilirlik (desirability: maksimum 1,0 olan ve genellikle >0,8 olan çözümlerin, gerçekte karşılaşılabilecek sonuçları daha iyi temsil edecek olması sebebiyle optimum şart seçiminde tercih edilme önceliğinin belirlendiği istatistiksel belirteç) parametresi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir; bu sayede “*en uygulanabilir*” olan çözümler arasından seçim yapılabilmiştir. “*Yüksek performans*” belirteci olarak ise, TOK, KOİ ve J için hibrit prosese özgü elde edilmiş en iyi performansları bir arada sağlayan ya da eğer mümkünse daha yüksek performans elde edilebilen hedef değerler kullanılmıştır. Nihai olarak optimum seçiminde, 0,8’in üzerinde ve mümkünse 1,0’a yakın arzu edilebilirlik şartının sağlanabilirliği en temel unsur olarak dikkate alınmıştır.

3.6.3 Basınç Sürücülü Membran Proseslerin (NF ve TO) Deneylerinin Tasarımı

Basınç sürücülü membran proseslerin deneylerinin tasarımı önerilen yenilikçi sistemlerdeki NF ve TO prosesleri için en uygun işletme şartlarının belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Daha önce belirlenen uygun işletme şartlarında sürekli işletimli İOP/UF hibrit prosesinden elde edilen süzüntü akımının $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, TO ve $NF_{\text{gevşek}}/TO$ ile artımına ilişkin deneysel çalışmalar, elde edilen sonuçların istatistikî yöntemlerle değerlendirilebilmesi amacıyla deneysel tasarım çerçevesinde planlanmış ve yürütülmüştür. Bu amaçla, 8 deneyli Taguchi deneysel tasarım planlaması uygulanmış; deneysel sonuçların analizi, organik madde giderimi ve akı değerleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, membran tipi (M_T), çapraz akış hızı (ν), sıcaklık (T), membran geçiş basıncı (ΔP) olmak üzere 4 farklı değişkenin ve değişken seviyelerinin NF ve/veya TO proseslerinin teknik performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Deneysel tasarımda dikkate alınmış giriş değişkenleri ve seviyelerine ilişkin bilgiler Tablo 3.13’te verilmiştir.

Deneysel tasarım uygulaması, proses performanslarının izlenmesi, pH, elektriksel iletkenlik (E_i), toplam çözünmüş katılar (TÇK), toplam organik karbon (TOK), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk, klorür, sülfat ve akı sonuç parametreleri üzerinden değerlendirilerek gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.12 Önerilen İOP/MP sistemleri için kesikli işletimli membran filtrasyon deneylerinin Taguchi tasarım değişkenleri ve seviyeleri

Değişken	Parametre	Sembol	Birim	Seviye				
				En düşük (1)	Düşük (2)	Yüksek (3)	En Yüksek (4)	
A	Membran tipi	M_T	-	NP010	NFG	MPF-36	CK3001	NF gevşek
				NP030	ESNA1	NF270	DS-5DK	NF sıkı
				TFC-HR	LFC-3	CPA-3	BW30	TO
B	Çapraz akış hızı	v	(rpm)	300	-	-	1000	
C	Sıcaklık	T	$^{\circ}\text{C}$	25	-	-	40	
D	Membran geçiş basıncı	ΔP	bar	8	-	-	12	NF gevşek
				12	-	-	20	NF sıkı
				20	-	-	40	TO

Önerilen İOP/MP sistemlerinin kesikli işletimli membran deneyleri için Taguchi tasarım deneyleri, değişkenleri ve seviyeleri ile kullanılmış ve önerilen membran konfigürasyonlarının, kesikli işletimli deneyleri için değişkenlerinin kodlanmış değerlerini içeren 8'li Taguchi deneysel tasarım tablosu ($L_8 2^1 \times 4^3$) Tablo 3.14'te verilmiştir.

Tablo 3.13 Önerilen İOP/MP sistemlerinin kesikli işletimli membran filtrasyon deneyleri için değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L8 $2^1 \times 4^3$)

Deney No	Giriş Parametreleri			
	A M_T	B ν	C T	D ΔP
1	1	1	1	1
2	1	4	4	4
3	2	1	1	4
4	2	4	4	1
5	3	1	4	1
6	3	4	1	4
7	4	1	4	4
8	4	4	1	1

3.7 Sistemlerin Sürekli Şartlar Altında İşletim Esasları

Projenin sürekli işletimli deneyler aşamasında, projede önerilmiş haliyle; kâğıt ve tekstil endüstrisi atıksuları özelinde, sıfır/sıfıra yakın sıvı deşarjı yaklaşımları uyarınca endüstriyel su geri kazanımının yapılarak konsantre yönetiminin planlanması; Bu bağlamda;

- mevcut en iyi (yenilikçi İOP/UF prosesin, konvansiyonel basınç sürücülü membranların konsantrelerinin arıtılması için bir araya getirilmesi) ve yenilikçi (İOP/batık UF+Membran Proses(ler)) teknolojilerin gerçek atıksulara uygulanması,
- sanayide yeniden kullanım amaçlı geri kazanım suyunun miktar/kalitesinin artırılması ve
- membran konsantrelerinin çevresel etkilerini azaltmak amacıyla teknolojik uygulama ve nihai bertaraf esaslarının belirlenmesi

ortak amaçları doğrultusunda pilot ölçekte ve sürekli işletimli şartlarda İOP/batık UF-MP hibrit sisteminin uzun süreli işlemi yerine getirilmiştir. Bu çalışmalarda, İOP/batık UF hibrit reaktörü, hem kâğıt hem de tekstil atıksuları için daha önceden belirlenen optimum işletme şartlarında ayrı ayrı işletilerek; hibrit prosesten çıkan UF süzüntüsü, projede önerilen yenilikçi sistemler kurgusundaki farklı membran konfigürasyonları (tekstilde $NF_{sıkı}$, TO ve $NF_{gevşek}/TO$ 'lu ve kâğıtta MD'li bütünleşik sistemler) ile filtrasyona tabi tutulmuştur. Bu sayede, uzun süreli işletimler altında bir taraftan endüstriyel su geri kazanımı sağlanırken, diğer taraftan tekstilde basınç sürücülü kâğıtta ise sıcaklık sürücülü membran proses konsantrelerinin geri

devrettirilip hibrit reaktörde ham atıksularla beraber arıtımının sağlandığı kararlı hale ulaşılmış akı ve kirletici giderim performansları; hem etkinliği bilinen ya da önerilen her bir sistemdeki her bir proses için hem de etkinliği bilinen ya da önerilen sistemlerin her biri için ayrı ayrı belirlenerek saha ölçek benzeştirme çalışmaları için teknik performans verilerinin elde edilmesi sağlanmıştır.

3.7.1 Lab Pilot Ölçek “İOP/Batık UF Proses”inin Sürekli İşletim Esasları

Uzun süreli lab-pilot ölçek İOP/batık UF hibrit reaktörü optimum işletme şartları Tablo 3.14’de kağıt ve tekstil endüstrisi için ayrı ayrı verilmiştir.

Her bir atıksu ile ayrı ayrı gerçekleştirilen uzun süreli İOP/UF-MP deneyleri, hibrit İOP/UF reaktörde günde 2 arıtma işletimi uygulaması yapılarak; kararlı hal işletim performanslarının belirlenmesi amacıyla, her bir önerilen sistemde her bir ileri oksidasyon işlemi (Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC) için toplamda farklı sayıda işletim uygulamaları altında tamamlanmıştır. Tekstil ve kağıt atıksuları için lab pilot ölçekli ardışık sürekli denemelerde her işletim başına ilave edilen kimyasalar (hidrojen peroksit ve demir), ve atıksu miktarları ile toplam işletim sayıları, Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) proseslerini içerir haliyle; tekstilde $NF_{sıkı}$, TO ve $NF_{gevşek}/TO$ prosesleri için sırasıyla Tablo 3.15-3.17’de, kağıtta ise MD prosesi için sırasıyla Tablo 3.18-3.20’de ayrı ayrı verilmiştir. Deneyler, her bir kararlı akım işletim döngüsünde (reaktöre ham atıksuyla beraber sonraki adımdaki MP konsantresi beraberce ilavesi döngüsü), hibrit İOP/UF reaktöründe kalan arıtılmış atıksu TOK değeri, 80-120 mg/L aralığına düşürülene kadar sürdürülmüştür.

İOP/batık UF sonrası MP bütününde, batık UF çıkış suyunda yaklaşık ortalama 100 mg/L TOK çıkış seviyesinin sağlandığı nokta, ardışık işletim için işletme zamanı içerisinde MP konsantresinin İOP reaktöre geri devrettirildiği döngü noktasını ya da modunu oluşturmuştur. İOP reaktöründeki atıksu kalitesinin membran çıkış suyu kalitesini organik ve inorganik kalite içeriğinde bozmayacağı haliyle her sistemin İOP reaktörü içinde UF akısının ve TOK çıkış değerinin ve sonrasında da nihai çıkış suyunda hedeflenen TOK ve TÇK değerleriyle $7 \pm 0,2$ pH ve $<1,0$ mg/L toplam demir konsantrasyonu değerleri için giderim veriminin kararlı hale ulaştığı toplam tur (konsantre geri devri) sayısı esas alınarak; saha ölçek işletim için uygulamada gereken kararlı hal son tur işletim sayılarındaki performanslar belirlenmiştir. Tekstil endüstrisi atıksuları ile yürütülen {İOP/UF}/[MP] sistemleri deneyleri 4 ardışık tur işletiminde, kâğıt endüstrisi ile gerçekleştirilen {İOP/UF}/[MD] sistemi deneyleri ise 3 ardışık tur işletiminde tamamlanmıştır. Uzun süreli arıtmalarda uygulanan konsantre geri devri veya tur sayıları ve toplam ardışık işletim sayıları, Tablo 3.21’de, her önerilen yenilikçi sistem için ayrı ayrı sunulmuştur.

Tablo 3.14 Sürekli (pilot ölçek) İOP/batık UF hibrit reaktörleri optimum işletme şartları

Parametre	Açıklaması	Birim	Fenton Prosesi		Foto-Fenton Prosesi (UVA)		Foto-Fenton Prosesi (UVC)	
			Kağıt endüstrisi	Tekstil endüstrisi	Kağıt endüstrisi	Tekstil endüstrisi	Kağıt endüstrisi	Tekstil endüstrisi
t	zaman	dk	56,0	60,0	42,0	60,0	60,0	41,0
T	sıcaklık	°C	39,1	26,5	30,7	40,0	40,0	40,0
pH	pH	-	3,88	3,73	3,0	4,0	5,0	4,44
H ₂ O ₂ /TOK	H ₂ O ₂ /TOK oranı	g/g	6,0	6,0	9,94	7,75	6,0	9,88
H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ oranı	g/g	11,1	15,0	6,0	10,75	7,0	7,27
v_H	İOP reaktörü havalandırma hızı	L/dk	7,1	5,0	8,3	2,8	5,5	8,0
$v_{SÇ}$	UF membranda su çekim hızı	rpm	55,0	80	55,1	71,1	55,0	64,7
$I_{\text{ş}}$	Işık şiddeti	adet	-	-	3 lamba	3 lamba	2 lamba	2 lamba
I_T	Işık türü	-	-	-	UVA-365		UVC-254	
-	Membran türü	-	UH050	UH050	UP020	UV150	UH050	UH050

Tablo 3.15 Tekstil endüstrisi atıksularının $\{IOP/UF\}/[NF_{siki}]$ sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre bertarafı lab pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları

	<i>İşletme Zamanı (gün)</i>	<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>6. Gün</i>		<i>7. Gün</i>		<i>8. Gün</i>		<i>Toplam</i>	
	<i>Arıtma İşletimi Sayısı</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>16</i>	
Fenton	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	5	5	5	3	5	89	
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	80	
	NF _{siki} 'dan konsantre geri devri (L)	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	6	
	Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	9,8	9,0	5,9	4,8	6,8	6,7	6,8	7,2	7,5	6,8	7,2	8,0	8,1	8,7	8,7	7,5	119,3	
	Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	74,3	68,2	45,0	36,6	51,8	51,2	52,2	54,5	57,0	51,6	54,9	60,9	61,6	66,0	58,7	56,8	901,3	
	Foto-Fenton (UVA)	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	5	5	-	-	-	-	69
		Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	-	-	60
NF _{siki} 'dan konsantre geri devri (L)		0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	-	-	-	-	6	
Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)		18,1	13,1	14,9	14,2	12,8	16,2	14,6	13,9	13,9	12,9	12,1	12,2	-	-	-	-	168,9	
Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)		98,9	71,4	81,4	77,6	69,6	88,7	79,6	75,7	76,0	70,4	66,2	66,7	-	-	-	-	922,3	
Foto-Fenton (UVC)		Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	5	3	5	5	5	3	5	3	5	-	-	-	-	-	-	59
		Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	-	-	-	-	50
	NF _{siki} 'dan konsantre geri devri (L)	0	0	2	0	0	0	2	0	2	0	-	-	-	-	-	-	6	
	Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	32,8	23,3	24,2	27,3	25,3	29,3	30,6	31,1	17,3	31,1	-	-	-	-	-	-	272,3	
	Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	121,1	86,1	89,3	100,8	93,3	108,3	112,8	114,8	63,6	114,2	-	-	-	-	-	-	1004,4	

Tablo 3.16 Tekstil endüstrisi atıksularının {İOP/UF}/[TO] sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları

	<u>İşletme Zamanı (gün)</u>	<u>1. Gün</u>		<u>2. Gün</u>		<u>3. Gün</u>		<u>4. Gün</u>		<u>5. Gün</u>		<u>6. Gün</u>		<u>7. Gün</u>		<u>Toplam</u>
	<u>Arıtma İşletimi Sayısı</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>14</u>
Fenton	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	3	5	79
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	70
	NF _{sıki} 'dan konsantre geri devri (L)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	6
	Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	8,9	5,8	5,4	5,5	5,6	5,1	4,8	5,9	6,0	4,6	7,7	7,8	8,9	9,1	91,0
	Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	68,1	44,5	41,4	41,5	42,6	38,5	36,2	44,8	45,9	34,6	58,6	59,5	67,8	69,2	693,3
Foto-Fenton (UVA)	<u>İşletme Zamanı (gün)</u>	<u>1. Gün</u>		<u>2. Gün</u>		<u>3. Gün</u>		<u>4. Gün</u>		<u>5. Gün</u>		<u>6. Gün</u>		<u>7. Gün</u>		<u>Toplam</u>
	<u>Arıtma İşletimi Sayısı</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	-	-	-	-	<u>10</u>
	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	-	-	-	-	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	-	-	50
	NF _{sıki} 'dan konsantre geri devri (L)	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	-	-	-	-	6
	Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	18,4	13,3	23,9	14,7	14,4	16,2	15,7	13,8	15,8	16,4	-	-	-	-	162,6
Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	100,3	72,4	75,8	80,1	78,6	88,7	85,8	75,5	86,5	89,5	-	-	-	-	833,4	
Foto-Fenton (UVC)	<u>İşletme Zamanı (gün)</u>	<u>1. Gün</u>		<u>2. Gün</u>		<u>3. Gün</u>		<u>4. Gün</u>		<u>5. Gün</u>		<u>6. Gün</u>		<u>7. Gün</u>		<u>Toplam</u>
	<u>Arıtma İşletimi Sayısı</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	-	-	-	-	<u>10</u>
	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	-	-	-	-	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	-	-	50
	NF _{sıki} 'dan konsantre geri devri (L)	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	-	-	-	-	6
	Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	36,5	21,2	17,7	21,5	22,7	23,6	17,5	24,6	22,4	25,8	-	-	-	-	233,6
Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	134,8	78,4	65,4	79,5	84,0	87,0	64,8	91,0	82,7	95,2	-	-	-	-	862,8	

Tablo 3.17 Tekstil endüstrisi atıksularının {İOP/UF}/[NF_{gevşek}/TO] sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre arıtımı pilot pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları

Fenton	<u>İşletme Zamanı (gün)</u>	<u>1. Gün</u>		<u>2. Gün</u>		<u>3. Gün</u>		<u>4. Gün</u>		<u>5. Gün</u>		<u>Toplam</u>
	<u>Arıtma İşletimi Sayısı</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>10</u>
	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
	NF _{gevşek} -TO 'dan konsantre geridevri (L)	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	6
	Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	14,0	8,1	6,3	6,1	7,6	8,6	6,7	7,5	11,2	11,7	87,7
	Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	107,0	61,7	48,2	46,3	57,8	65,6	50,7	56,9	85,3	89,0	668,5
Foto-Fenton (UVA)	<u>İşletme Zamanı (gün)</u>	<u>1. Gün</u>		<u>2. Gün</u>		<u>3. Gün</u>		<u>4. Gün</u>		<u>5. Gün</u>		<u>Toplam</u>
	<u>Arıtma İşletimi Sayısı</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>10</u>
	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
	NF _{gevşek} -TO 'dan konsantre geri devri (L)	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	6
	Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	27,1	16,1	17,0	12,5	15,0	14,7	16,5	18,6	16,3	17,1	170,8
	Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	147,9	87,7	92,6	68,5	81,9	80,0	90,1	101,4	89,0	93,4	932,6
Foto-Fenton (UVC)	<u>İşletme Zamanı (gün)</u>	<u>1. Gün</u>		<u>2. Gün</u>		<u>3. Gün</u>		<u>4. Gün</u>		<u>5. Gün</u>		<u>Toplam</u>
	<u>Arıtma İşletimi Sayısı</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>10</u>
	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
	NF _{gevşek} -TO 'dan konsantre geri devri (L)	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	6
	Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	51,3	38,0	29,0	34,8	29,7	32,8	35,2	37,3	35,2	31,9	355,2
	Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	189,3	140,4	107,2	128,5	109,7	121,2	130,0	137,8	129,8	117,7	1311,7

Tablo 3.18 Kağıt endüstrisi atıksularının Fenton destekli {İOP/UF}/[MD] sisteminde uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları

<i>İşletme Zamanı (gün)</i>	<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>6. Gün</i>		<i>7. Gün</i>		<i>8. Gün</i>		<i>9. Gün</i>		<i>10.Gün</i>	<i>Toplam</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>19</i>
Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	3	-	-	-	26
Reaktörden çekilen su hacmi (L)	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	5	-	-	-	5	15
MD' den konsantre geri devri (L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-	4
Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	39,2	21,2	14,7	12,4	9,6	6,0	8,6	7,2	6,7	14,4	11,3	10,3	8,5	8,3	7,2	16,9	10,2	6,9	6,7	226,4
Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	221,3	119,2	83,0	70,1	54,0	34,0	48,7	40,9	37,7	81,3	63,8	58,1	47,9	46,8	40,7	95,1	57,5	39,0	37,6	1276,7

Tablo 3.19 Kağıt endüstrisi atıksularının foto-Fenton (UVA) destekli {İOP/UF}/[MD] sisteminde uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantrite arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları

<u>İşletme Zamanı (gün)</u>	<u>1. Gün</u>		<u>2. Gün</u>		<u>3. Gün</u>		<u>4. Gün</u>		<u>5. Gün</u>		<u>6. Gün</u>		<u>7. Gün</u>		<u>8. Gün</u>		<u>9. Gün</u>	
<u>Arıtma İşletimi Sayısı</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>
Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-
Reaktörden çekilen su hacmi (L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
MD' den konsantrite geri devri (L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	1099,9	558,8	467,4	355,0	325,0	315,7	296,5	290,0	287,8	276,6	255,0	232,0	210,0	205,0	516,5	394,1	325,1	298,9
Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	333,7	169,5	141,8	99,7	117,9	95,8	89,9	86,9	87,3	83,9	83,9	62,8	56,2	70,0	156,7	119,6	98,6	90,7

<u>İşletme Zamanı (gün)</u>	<u>10. Gün</u>		<u>11. Gün</u>		<u>12. Gün</u>		<u>13. Gün</u>		<u>14. Gün</u>		<u>15. Gün</u>	<u>Toplam</u>
<u>Arıtma İşletimi Sayısı</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>29</u>
Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	26
Reaktörden çekilen su hacmi (L)	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	5	15
MD' den konsantrite geri devri (L)	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	4
Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	24,1	24,1	26,2	25,6	22,3	38,1	30,5	27,7	24,0	24,7	23,0	961,1
Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	73,4	73,4	79,8	77,9	67,9	116,1	92,9	84,5	73,2	75,4	70,0	1855,6

Tablo 3.20 Kağıt endüstrisi atıksularının foto-Fenton (UVC) destekli {[OP/UF]/[MD]} sisteminde uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık sürekli işletme şartları

<i>İşletme Zamanı (gün)</i>	<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>6. Gün</i>		<i>7. Gün</i>		<i>8. Gün</i>		<i>9. Gün</i>	<i>Toplam</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>17</i>
Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)	20	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	3	-	-	-	-	26
Reaktörden çekilen su hacmi (L)	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	5	-	-	-	5	15
MD' den konsantre geri devri (L)	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	4
Reaktöre ilave edilen Fe ⁺² miktarı (gr)	62,4	34,1	26,7	19,9	16,4	15,3	14,0	10,3	19,5	15,3	14,1	11,2	11,2	20,3	19,5	11,6	14,8	336,5
Reaktöre ilave edilen H ₂ O ₂ miktarı (mL)	221,8	121,4	94,9	70,8	58,2	54,4	49,9	36,6	69,5	54,4	50,1	39,7	39,7	72,2	69,2	41,3	52,5	1196,4

Tablo 3.21 Tekstil ve kâğıt endüstrisi atıksularının önerilen sistemlerle uzun süreli arıtımlarındaki tur (konsantr geri devri) ve toplam ardışık işletim sayıları

Atıksu Kaynağı	Uygulanan İOP/UF prosesi	Uygulanan membran prosesi	1. Tur	2.Tur	3.Tur	<u>4.Tur</u>	Toplam işletim sayısı
Tekstil	Fenton/UF	NF _{sıkı}	6	4	4	<u>2</u>	16
	UVA-Fenton/UF		4	2	2	<u>4</u>	12
	UVC-Fenton/UF		4	2	2	<u>2</u>	10
	Fenton/UF	TO	8	2	2	<u>2</u>	14
	UVA-Fenton/UF		4	2	2	<u>2</u>	10
	UVC-Fenton/UF		4	2	2	<u>2</u>	10
	Fenton/UF	NF _{gevşek} /TO	4	2	2	<u>2</u>	10
	UVA-Fenton/UF		4	2	2	<u>2</u>	10
	UVC-Fenton/UF		4	2	2	<u>2</u>	10
Kâğıt	Fenton/UF	MD	9	6	<u>4</u>	-	19
	UVA-Fenton/UF		14	9	<u>6</u>	-	29
	UVC-Fenton/UF		8	5	<u>4</u>	-	17

3.7.2 Lab Pilot Ölçek “Basınç Sürücülü Membran Proses” Sistemlerinin Sürekli İşletim Esasları

3.7.2.1 Etkinliği Bilinen Sistemlerdeki Basınç Sürücülü Membran Prosesler

Etkinliği literatürden bilinen basınç sürücülü sistemlerin sürekli işletimlerindeki membran türleri kesikli işletim şartlarından belirlenmiştir. Tekstil atıksuları için UF/NF_{sıkı}/TO bütünleşik sisteminde, UH050/NF270/LFC-3 membranları kullanılmıştır. Deneyler, 10 L/sa çapraz akış hızıyla 25 °C’de, 8/20/40 bar’lık membran geçiş basınçlarında yerine getirilmiştir (Vergili vd., 2012). Kağıt atıksuları için ise, NF_{gevşek}/NF_{sıkı} bütünleşik sisteminde, MPF36/ESNA-1 membranları kullanılmış olup deneyler, 10 L/sa çapraz akış hızıyla 25 °C’de, 12/20 bar’lık membran geçiş basınçlarında gerçekleştirilmiştir (Vergili vd., 2012). Her bir proseste su geri kazanım oranları, UF/NF_{sıkı}/TO’te %80 ve NF_{gevşek}/NF_{sıkı}’da ise %70 olarak uygulanmıştır.

3.7.2.2 Önerilen Sistemlerdeki Basınç ve Sıcaklık Sürücülü Membran Prosesler

İOP/batık UF hibrit prosesi sonrası membran proseslerin de hibrit reaktör ile ardışık sürekli kararlı hal işletim performanslarının belirlenmesi çalışmaları yürütülmüştür. Buna göre, hibrit reaktör UF çıkış suyu tekstil için $NF_{sıkı}$, TO ve $NF_{gevşek}/TO$ ve kağıt için MD filtrasyon işlemlerine tabi tutularak; İOP reaktörde UF süzöntü akısı ve toplam kirletici giderim verimleri üzerinden sonraki adımda yer alan MP'lerin her bir prosesi için, değişen ardışık sürekli işletim şartları altında değişmeyen seviyelerdeki süreklilik sağlanmış işletme performansları, ayrı ayrı tespit edilmiştir. Bu itibarla, çalışılan tüm sistemlerdeki sonraki adım MP'lerin İOP/UF hibrit reaktörle, hem tekstil hem de kâğıt atıksularında sırasıyla 3'er ve 2'şer kez ardışık sürekli işletiminin yerine getirilmesinin, sistem bütünündeki proseslerin ardışık kararlı hal işletimleri için yeterli olduğu belirlenmiş ve uygulanmıştır. Bu sayede, bir yandan hibrit reaktörde ham atıksuyla konsantrenin beraberce arıtılmasının etkisi altında dahi kararlı işletim reaktör içi su kalitesi değerlerine ulaşılarak; sonrasında ardışık kararlı işletilen MP performanslarına dayalı hedeflenen nihai çıkış suyu kalitelerinin sürekli olarak sağlandığı işletme şartlarında deneyler tamamlanmıştır.

MP'lerde organik madde giderim verimin yaklaşık %90 ya da üzeri seviyelerde olacağı bilgisi üzerinden (kesikli işletimlerde belirlenen değerlerden hareketle) basınç sürücülü proseslerin işletiminde %80 ve MD proste de %60 su geri kazanım oranı işletim şartları altında, besleme akımının konsantre olmasına bağlı kirletici giderme verimi performansları da ayrıca dikkate alınmak suretiyle; membran filtrasyon sonunda elde edilen çıkış suyunun örnek endüstride yeniden kullanım için istenen su kalite değerlerine ulaştırılması amacına ulaşılma düzeninde işletimler gerçekleştirilmiştir. İşletimler, hibrit İOP/UF prosesi deneylerinde reaktörün içine ilave edilen hidrojen peroksitin reaktör içerisinde bütünüyle tüketiminin sağlandığı optimum sürelerde devam ettirilmiş olup, her işletim sonunda reaktörden batık UF filtrasyonu yapılarak, 5L UF süzöntü suyu alınmıştır. Buradan alınan süzöntü suyu, tekstilde $NF_{sıkı}$, TO ve $NF_{gevşek}/TO$, kâğıtta MD filtrasyonuna tabi tutularak, uzun süreli bütünlük sistemlerin ardışık sürekli işletimi sağlanmıştır.

Önerilen sistemlerdeki basınç ve sıcaklık sürücülü membran proseslerin kesikli işletimlerine dayalı olarak sürekli işletimlerinde uygulanan proses işletme şartları tekstil ve kağıt atıksuyu için ayrı ayrı olarak Tablo 3.22'de verilmiştir.

Kâğıt ve tekstil endüstrisi nihai çıkış sularının proste yeniden kullanımı için literatür değerleri Tablo 3.23'de sunulmuş olup, proje kapsamında her bir atıksu çeşidi için hedeflenen çıkış suyu kalitesi değerleri tablo sonrasında ayrıntılarıyla ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 3.22 Önerilen sistemlerdeki basınç ve sıcaklık sürücülü membran proseslerin sürekli işletim şartları

Önerilen Sistem	Proses	Tekstil Atıksuyu				Kağıt Atıksuyu			
		M_T	v (L/sa)	*T(°C)	ΔP (bar)	M_T	v (L/sa)	*T(°C)	ΔP (bar)
Sistem 1	NF _{Sıkl}	ESNA-1	10	26,5 (Fenton'da) 40,0 (UVA-Fenton'da) 40,0 (UVC-Fenton'da)	20	NF 270	10	39,1 (Fenton'da) 30,7 (UVA-Fenton'da) 40,0 (UVC-Fenton'da)	20
Sistem 2	TO	LFC-3			40	BW-30			40
Sistem 3	NF _{Gevşek}	NFG			12	CK-3001			12
	TO	LFC-3			40	BW-30			40
MD (B Planı)	MD	-	-	-	-	PTFE (0,45µm)	100	40 (besleme) 20 (distilat)	-

Tablo 3.23 Kâğıt ve tekstil endüstrilerinde yeniden kullanım suyu için literatür değerleri

Parametre	Yeniden kullanım suyu kalitesi	
	Tekstil endüstrisi (Bes-Pia vd., 2010)	Kâğıt endüstrisi (Mauchauffee vd., 2012)
pH	6-8	-
İletkenlik	<2.5 mS/cm	500 µS/cm
Renk	0	0
Bulanıklık	10 NTU	-
KOİ	25 mg/L	<50 mg/L
AKM	-	10 mg/L
TÇK	<1250 mg/L	-
Sertlik	10 mg CaCO ₃ ⁻² /L	-
Cl ⁻	-	<200 mg/L
Ca ⁺²	-	<60 mg/L

Proje kapsamında, işletimi yapılan tüm bütünleşik arıtma sistemi uygulamaları neticesinde, üretilen proseste yeniden kullanım sularında ulaşılmak istenen/hedeflenen su kalitesi değerleri; kâğıt ve tekstil endüstrisi için sırasıyla;

- pH: 6,0-8,0,
- İletkenlik: <850 µS/cm (400 mg TÇK/L) ve <210 µS/cm (100-110 mg TÇK/L),
- KOİ: 20-30 ve <10 mg/L ve
- TOK: 10-20 ve <10 mg/L'dir.

3.8 Proses Performans Hesaplamaları

Bir membran proseste süzüntü akısı, su hacmi üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$J_w = \frac{1}{A} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3.2)$$

Prosesin süzme oranı (rejeksiyon) performansı, Denklem (3.3) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R(\%) = 100 \times \left(\frac{C_b - C_s}{C_b} \right) \quad (3.3)$$

Denklemde C_b ve C_s parametreleri sırasıyla, proseste besleme ve süzüntü akımlarında ölçülen kirlenici konsantrasyonlarını ifade etmektedir.

3.9 Konsantre Yönetimi

Bu proje kapsamında, her iki bütünleşik İOP/MP kombinasyonunda ($K1$ ve $K2$) oluşacak konsantre atıklar (atık sınıfları) için üç aşamalı bir yönetim modeli uygulanmıştır. Bu bağlamda,

- Birinci aşamada; etkinliği bilinen ve önerilen sistemlerde İOP reaktöründe oluşan konsantre atıkların tüm fiziksel, kimyasal ve toksikolojik analizleri yapılmıştır.
- İkinci aşamada; birinci aşamada elde edilen analiz bulgularına göre konsantre atıkların tehlike sınıflamaları yapılarak, arıtma seçenekleri içerisinde yönetilebilirliklerini de içerisine alan değerlendirmeler yapılmıştır.
- Üçüncü aşamada; üretilen membran konsantre akımlarının farklı bertaraf etme yöntemleri ile *(insinerasyon, düzenli depolama, merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisine verme) yönetimi değerlendirilerek, etkinliği bilinen ve önerilen sistemler bütününde **en uygun çevresel konsantre yönetim metodolojisine* karar verilmiştir. Bunun için temel ölçüt de, İOP reaktöründeki atıksu kalitesinin membran çıkış suyu kalitesini bozmadığı zamana/şartlara göre uzun süreli işletimin deneysel işletimlerde sağlanması olmuştur.

Konsantre atık yönetimi konusundaki test ve analizler TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü Laboratuvarları'ndan hizmet alımı vasıtasıyla gerçekleştirilmiş olup; numunelere uygulanan testler ve analiz yöntemleri Tablo 3.24'teki gibidir.

Tablo 3.24 Bütünleşik İOP/MP kombinasyonlarında üretilen konsantre atıklardaki testler ve analiz yöntemleri

Test Adı	Ölçüm Yöntemleri
Parlama Noktası	TS 1754 EN ISO 1523
pH (Sulu eluatta)	TS 12072-Katı atıklar
Nem (su) Tayini	TS 9546 EN 12880
Katı Madde İçeriği	TS 9546 EN 12880
TOK	TS 12089 EN13137
Yanma Kaybı Analizi	TS EN 12879
Kalitatif Faz Analizi	ASTMD 3906
XRD-X Işını Difraktometre Kantitatif Element Analizi	TS EN ISO 12677
Organik Yapıların Fonksiyonel Gruplarının Belirlenmesi	ASTM E1252-98
BTEX (orijinal atıkta) Analizi	EPA 8015C-Halojensiz GC-FID
Organik Yapı Tanımlanması	EPA 8260
Ağır Metal Taraması	EPA 6020A
Eko-Toksisite Testi	ISO EN DIN 11348
Akut Toksisite Testi	OECD 423
Balık Biyodenevi	92/69/EEC

Konsantre yönetim modelinin birinci aşamasında, etkinliği bilinen membran filtrasyon sistemlerinin sürekli işletimleri sonucu oluşan membran konsantreleri yenilikçi tezgâh-üstü İOP/batık UF hibrit reaktörü ile optimum işletme şartlarında oksidasyona tabi tutulmuş ve bu sayede membran konsantre yükünün azaltılması hedeflenmiştir. Etkinliği bilinen sistemlerin İOP/batık UF hibrit prosesi sonrasında İOP reaktörü içerisinde kalan konsantre atıkların analizleri, sınıflandırmaları ve değerlendirmeleri TÜBİTAK tarafından gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuç raporları, "EK-1: Etkinliği Bilinen Sistemlerin Nihai Konsantre Atık Analizleri Raporu"nda verilmiştir. Bu rapordaki kodlar; Gebze (G: Tekstil atıksuyu konsantresi) ve Kocaeli (K: Kağıt atıksuyu konsantresi) olduğu şekliyle 1, 2, 3 numaraları ile Fenton, foto-Fenton (UVA) ve foto-Fenton (UVC) arıtımı sonucunda sırasıyla G1, G2, G3, K1, K2, K3 kodlamaları içeriğindedir.

Ayrıca tekstil atıksuyu için önerilen sistemlerde sürekli işletimli deneyler sonucunda oluşan nihai konsantrelerin değerlendirmeleri için numuneler TÜBİTAK'a ayrıca gönderilmiş olup, analiz ve değerlendirme sonuçları "EK-2: Önerilen Yenilikçi Sistemlerin Nihai Konsantre Atık Analizleri Raporu"nda sunulmuştur. Bu rapor için planlanmış kodlar, etkinliği bilinen konsantrelerde uygulanmış kodlarla birebir uyumlu/tutarlı olmak üzere, Gebze (G: Tekstil

atıksuyu konsantresi) ve Kocaeli (K: Kağıt atıksuyu konsantresi) olduğu şekliyle; ilk sıradaki rakamlar 1, 2, 3, sırasıyla Fenton, foto-Fenton (UVA) ve foto-Fenton (UVC) arıtımını, ikinci sıradaki rakamlar 1, 2, 3 ve 4 ise sırasıyla tekstile ait $[NF_{siki}]$, $[TO]$, $[NF_{gevşek}/TO]$ ve kağıda ait $[MD]$ olmak üzere önerilen sistemlerdeki MP uygulama adımlarını göstermektedir. Ekli raporda analizi yapılmış konsantreler, Fenton destekli için G1-1, G1-2; foto-Fenton (UVA) destekli için G2-1, G2-2; foto-Fenton (UVC) destekli için ise G3-1, G3-2; kodları ile tanımlanmıştır.

Proje iş planı gereği toplamda 24 konsantre atık türünde (6'sı etkinliği bilinen ve 18'i önerilen sistemlerin konsantrelerinde) analiz yapılması planlanmış olmasına karşın; proje çalışmaları sonucunda toplam 12 konsantrede atık analizinin atık sınıf tanımlamaları, değerlendirmeler ve konsantre yönetim/bertarafı yöntemlerinin tespiti için yeterli olmuştur.

Etkinliği bilinen sistemlerde 6 ve önerilenlerden tekstilde $[NF_{siki}]$ ve $[TO]$ 'lu sistemlerde sırasıyla 3 ve 3 (toplamda 6) olmak üzere analiz edilen ve raporlanan konsantre atık sayısı 12'dir. Analiz raporlarında yapılmış tehlike sınıflaması değerlendirmelerinde, mikroorganizma ya da farelere toksik etkileri olduğu halde sadece ağır metal içeriklerine bağlı olarak limit değerlerinin aşılmadığı gerekçesiyle konsantre atıklardan bazılarının "*Tehlikeli*" olmadığı değerlendirilmiştir. Bu husus, proje araştırmacıları ve projemizin "*Tehlikeli Atık Yönetimi ve Bertarafı*" konusundaki uzman danışmanımızla beraberce değerlendirilmiş, rapordaki yaklaşımına göre belirtilen tehlikeli ya da değil sonuçları üzerinden atıklarımızın uygulamada tehlikeli atık olup olmadığına karar vermenin; ilgili mevzuat kapsamındaki kısıtlayıcı tüm bilgiler de dikkate alınmak suretiyle yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bölüm 4 altında ayrıntılarıyla sunulduğu üzere, Ekli TÜBİTAK raporlarında analizleri yapılmış konsantre atıklar, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı "*Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik*" çerçevesinde 161002 (Saha dışı arıtmaya gönderilecek ve 161001 dışındaki sulu sıvı atıklar) kodu ile tanımlanmaktadır. Ancak aynı raporlardaki ekotoksosite analizlerinde, Sınıf 3 "Çok toksik" olduğu için, sulu sıvı atıkların biyolojik yaşama zararlı olacağı ve ayrıca analiz raporunda da "*ekotoksik özellikleri nedeniyle açıkta geçici depolanmamalı ve alıcı ortamlara karışmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır*" ibaresine yer verilmiştir. Bu bilgi ve değerlendirmeden yola çıkılarak, ilgili mevzuat bilgileri ışığında proje kapsamına giren tüm nihai konsantrelerin 161001 muhtemel tehlikeli sınıfında değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Zira, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı-Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin Madde 11(1)'e göre, "*muhtemel tehlikeli, (M) atıkların, tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesi gerekir*" denmektedir. Bu amaçla yapılacak çalışmalarda, ek-3/A'da listelenen özelliklerden H3 (Yüksek oranda alevlenir yada Alevlenir), H4 (Tahriş edici), H5 (Zararlı), H6 (Toksik), H7 (Kanserojen), H8 (Aşındırıcı-korozif) ile H10 (Üreme sistemine

toksik) ve H11 (Mutojenik) ile ilgili değerlendirmeler, ek-3/B'de yer alan konsantrasyon değerleri esas alınarak yapılır denmektedir. Bu projeye konu tekstil ve kağıt atıksularının, konsantre edilmeksizin dahi tahriş edici, zararlı, toksik ve aşındırıcı olduğu kat'idir. Nitekim bu atıksular, ileri oksidasyonla arıtmaya tabi tutularak daha da konsantre edilmiş olduklarından, bu özellikleri daha ileri seviyede barındırmaktadırlar.

14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği"nde "Tanımlar" başlığı altında RG-4/9/2009-27339 ile değiştirilmiş "tehlikeli atık" tanımı dahilinde, "Ayrıca doğal karakterleri ya da oluşmalarına neden olan aktiviteye bağlı olarak bu Yönetmeliğin ekinde yer alan EK-3 A'da veya EK-3-B'de bulunup E- 4'te verilen maddeleri içeren atıkların, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin ekinde yer alan EK-III A'daki özelliklerden bir veya birkaçına sahip olmaları ve aynı Yönetmeliğin ekinde yer alan EK-III B'de verilen tehlikeli özellikleri göstermeleri durumunda tehlikeli atık olarak sınıflandırılan atıkları ifade eder" denmektedir. İlgili tanımın altı çizili verilmiş kısmından, mevzuat hükümlerine göre H3-H8 ile H10-H11 özelliklerinden bir ya da birkaçını barındıran atıkların, "M kodlu muhtemel tehlikeli atık" olarak değil, "A kodlu tehlikeli atık" olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Atık koduna bağlı konsantre atık bertarafı fiyat tekliflerinin, sistemlerin saha ölçek tasarımları için piyasadan alınması noktasında yaşanan bu tespit sonrasında, kalan 12 konsantre atık türü için analiz ve tehlike sınıflaması çalışmalarının da sürdürülmesine gerek olmamıştır. Bu itibarla, kalan son 12 numunede TÜBİTAK'tan hizmet alımı esaslı nihai konsantre atık analiz işlemleri ve tehlike sınıflaması çalışmaları yerine getirilmemiştir.

3.10 Saha Ölçek Tasarımlar ve Maliyet Analizleri

3.10.1 Saha Ölçek Tasarım Esasları

Proje kapsamında sürekli şartlarda kararlı hal lab pilot ölçek işletimleri yapılmış olan her bir atıksu arıtma, su geri kazanma ve konsantre yönetim ve bertaraf sistemi, bu sistemler için ayrı ayrı belirlenmiş teknik performans verileri üzerinden *SuperPro Designer 9.0*[®] proses simülasyon ve maliyet analizi yazılımı kullanılarak, saha ölçeğe benzeştirilmiştir.

İlk olarak, sistemlerin saha ölçekte 1000 m³/gün'lük giriş atıksu değerleri için proses tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, uzun süreli arıtım deneyleriyle işletilen {OP/UF}/[MP] sistemlerinde, su geri kazanımı ve konsantre yönetimi ve bertarafını içeren uygulamaların gerçek ölçeğe benzeştirilmesi; pilot ölçek işletimlerdeki son tura (son konsantre geri devri adımına) ait kararlı hal performansları üzerinden yapılmıştır. Bu amaçla, hibrit İOP/UF reaktörde kararlı işletim şartları altındaki ileri oksidasyon prosesi için;

- kimyasal reaksiyon süresi,
- hidrolik bekletme süresi,
- UF süzüntü suyu akısı ve
- İOP/UF'te hedef kirletici giderim verimleri

ile sonraki adım membran proseslerin her birindeki;

- çıkış veya süzüntü suyu akıları ve
- hedef kirletici giderim verimleri

değerlerinin, tasarımı yapılan ilgili sistemler dahilindeki tüm proseslere kütle dengesi benzeştirilmesi, yazılıma veri girişi aracılığıyla yerine getirilmiştir. Bu sayede, simülasyonu gerçekleştirilen sistemlerde atıksu çeşidiyle de farklı olmak üzere;

- batık reaktörde sürekli işletim altında reaktör içinde atıksu kalitesi değerlerinin,
- sistemdeki her bir proses çıkışı su kalitesi değerlerinin ve
- nihai çıkış suyu kalitesi hedef değerlerinin

lab pilot ölçek kararlı hal işletim performanslarıyla yaklaşık birebir aynı olduğu yazılımda kütle dengesini oluşturma çalışmaları yerine getirilmiştir.

Tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularının İOP/UF arıtımında daha önceden belirlenen optimum işletme süreleri dikkate alınarak; İOP reaktörde ileri oksidasyonun saha ölçek tasarımı için gerekli kimyasal reaksiyon (oksidasyon ve foto-oksidasyon) süreleri, Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC için sürekli işletimdeki deneysel optimum işletme süreleri ve konsantre geri devri son turlarındaki arıtma işlemi sayısı çarpımlarından hesap edilmiştir. Buna göre İOP reaktörü kimyasal reaksiyon süreleri; tekstil atıksularında Fenton için $60\text{dak} \times (2 \text{ işletim}) = 120\text{dak}$, Fenton destekli UVA için $60\text{dak} \times (4 \text{ işletim}) = 240\text{dak}$ ve Fenton destekli UVC için $41\text{dak} \times (2 \text{ işletim}) = 82\text{dak}$; kağıt atıksularında Fenton için $56\text{dak} \times (4 \text{ işletim}) = 224\text{dak}$, Fenton destekli UVA için $42\text{dak} \times (6 \text{ işletim}) = 252\text{dak}$ ve Fenton destekli UVC için $60\text{dak} \times (4 \text{ işletim}) = 240\text{dak}$ 'dır. İOP sonrası UF'in işletimi, İOP reaksiyonunun tamamlanmasını müteakip, 60dak süresince reaktörden UF ile su çekilerek İOP/UF arıtılmış suyunun eldesi şeklinde tasarlanmıştır. UF su çekimi süresi sonrası hibrit reaktörde tekrardan kimyasal reaksiyon işletimi yapılarak, İOP/UF'in döngü içerisinde ardışık sürekli işletimi sağlanmıştır.

Tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularının İOP/UF arıtımı tasarımında, hibrit reaktörün hidrolik bekletme süreleri, uzun süreli kararlı hal işletim deney verileri üzerinden hesaplanmış ve

hesaplanan değerler yazılımda hibrit reaktör tasarımı için ayrı ayrı kullanılmıştır. Bu noktadaki hesaplamalar, uzun süreli işletimlerdeki İOP/UF hacimsel su oranı değerleri üzerinden yapılmıştır. Buna göre, $[NF_{siki}]$ 'lı sistem hariç son turda 2 arıtma işlemleri uygulanmış tüm tekstil atıksuyu arıtma sistemlerinde İOP/UF hacimsel su oranı, her bir günlük işletme zamanında 2 arıtma işlemi uygulanan konsantre geri devrettirilmiş kararlı hal işletim turu modunda, gün başına 25 L toplam hacimde MP geri devir konsantresi içerikli atıksudan 10 L arıtılmış UF çıkış suyu eldesi sağlandığından; $(25L)/(10L)=2,5$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplama yer alan 25L değeri, pratikte İOP reaktörün toplam hacmini, 10 L ise pratikte batık UF prosesinden MP'ye iletilecek arıtılmış atıksu debisini karşılamaktadır. Bu itibarla hibrit reaktörün hidrolik bekletme süresi, tekstil atıksuyunda $1000 \text{ m}^3/\text{gün}$ batık UF çıkış suyu için, 2500 m^3 İOP reaktör hacmine tekabül eder ki; bu da $t=V/Q$ 'den, $t=(2500 \text{ m}^3)/(1000 \text{ m}^3/\text{gün})=2,5$ gün değerine eşittir. Bir başka deyişle, tekstil atıksuyundaki 2.5'lik İOP/UF hacimsel su oranı, hibrit reaktör için 2,5 gün'lük hidrolik bekletme süresini ifade etmektedir. $[NF_{siki}]$ 'lı sistemde ise bu oran $(35L)/(20L)$ 'den 1,75 gün hidrolik bekletme süresine (1,75'lik İOP/UF hacimsel su oranına) tekabül eder. Azalan hidrolik bekletme süresi, aynı atıksu değerinde artan reaksiyon süresine bağlı olarak daha az atıksuya daha fazla arıtma yapılması anlamına gelmektedir. Kağıt atıksuyunda bu süreler, Fenton, UVA-Fenton ve UVC-Fenton'da $(20L)/(5L)$ 'den 4,0 gün'dür.

Belirlenen hidrolik bekletme süreleri çerçevesinde yapılan saha ölçek tasarımlarının ekonomik performans sonuçlarının rölatif yüksek değerlerde olduğunun görülmesi sonrasında, hem tekstil hem de kağıt atıksuları için Fenton/Fenton-UVA/Fenton-UVC'nin reaktör içinde kalan konsantre karışımlarının beraberce İOP reaktörde arıtıma tabi tutularak, sonrasında batık UF'ten su çekimi yapılan uygulama bütününde; İOP hidrolik bekletme sürelerinin hangi reaktör işletim süresine kadar azaltılabileceğini belirlemek amacıyla "*şahit işletim deneyleri*" gerçekleştirilmiştir. "*Bölüm 4*"ün ilgili başlığı altında uzun süreli işletim deney sonuçları sonrasında sunulan bu deneylere ait sonuçlar üzerinden, saha ölçeğe yapılan kütle dengesi benzeştirme performanslarının değişmediği, buna karşılık reaktörden daha fazla oranda su çekimine bağlı olarak UF süzüntü suyu akısının azaldığı belirlenmiştir. Bu itibarla, hem tekstil hem de kağıt atıksuları için geliştirilen sistem senaryolarının gerçek ölçeğe benzeştirilmeleri; kirlenici giderim verim ve performansları için uzun süreli denemelerdeki sonuçlarla birebir aynı olarak yerine getirilmiş; Uzun süreli denemelerin sonuçlarına dayalı saha benzeştirmelerinde tek farklılık olarak, batık UF sürekli işletim süzüntü tasarım akısı değerlerinin, şahit işletim deneylerindeki akı azalma oranları kullanılarak düzeltme yapılması üzerinden sağlanmıştır.

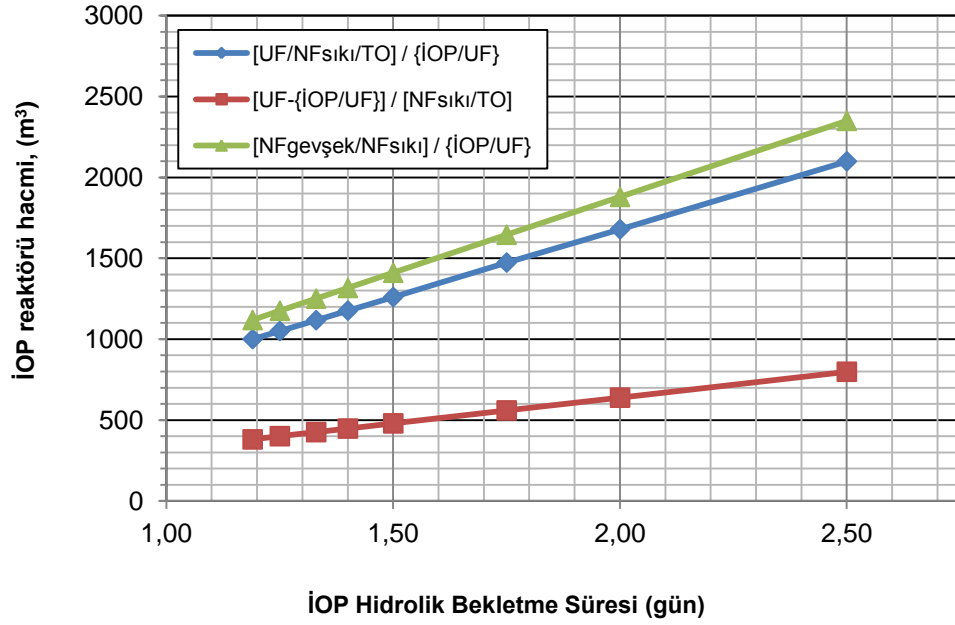
Şahit işletim deneylerine göre İOP reaktörün hidrolik bekletme süresi (İOP/UF hacimsel su oranı değeri), 1,19 gün (1,19) olacağı şekliyle her iki atıksuda işletim ayrı ayrı deneylerle

yerine getirilerek; İOP reaktörünün saha ölçek tasarımı, “1,19’luk İOP hacimsel su oranı değeri”, esas tasarım ölçütü olarak uygulanmıştır. Proje kapsamında geliştirilen ve pilot ölçek uygulamaları yapılan teknolojik çözümlerin, diğer yoğun su tüketen endüstrilere tekno-ekonomik hangi başarımlar seviyelerinde uygulanabilecekleri de, değişen İOP reaktörü hidrolik bekletme süresi değerleri üzerinden ayrıca incelenmiş ve çözümlerin diğer endüstriyel atıksulara başarıyla uygulanabilirlik değerlendirmeleri yapılmıştır.

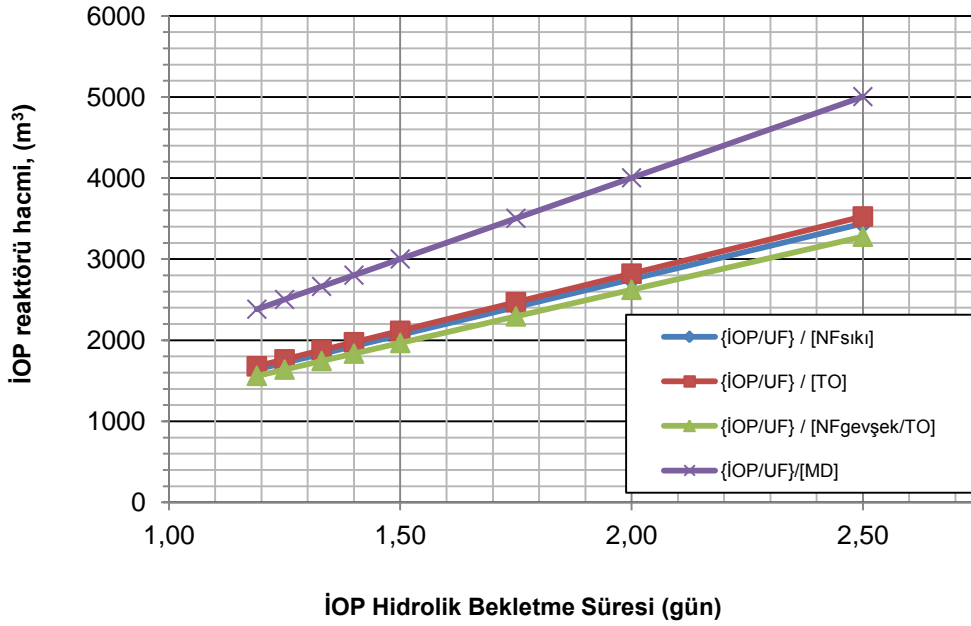
Saha ölçek tasarımlara dayalı kütle dengesi çözümlerinden görülmüştür ki; sistemlerin benzeştirme performanslarının uygulamada karşılaşılabilecek maliyet performanslarını önemli düzeyde etkilediği bir diğer esas ölçüt de, İOP reaktör hacmi eşdeğeri atığın reaktörden zaman bazındaki çekim sayısıdır. “Atık çekim sayısı” olarak tanımlanan bu parametre, İOP reaktörden reaktör hacmi miktarınca atığın (bu sayı ancak pratik uygulama sonuçlarından bilinebilecektir. Sistemlerin uzun süreli deneysel işletmelerinin hiçbirinde, çıkış suyu kalitesini bozan noktaya ulaşılmış reaktörden nihai konsantrasyon atık çıkarımını gerektirecek bir durumla karşılaşmamıştır), reaktörden yılda kaç kez çekim yapılarak nihai bertarafa gönderilmesi gerektiğini ortaya koymakta olup; sayı değeri itibarıyla 1 ile 12 yıl⁻¹ arasında değişmektedir. Buna göre, atık çekim sayısının 1 sayı değeri, sistemde tasarımı yapılmış İOP reaktör hacmi eşdeğeri atığın reaktörden yılda bir kerede çekilmesine karşılık gelen (yılda bir çekim); 12 sayı değeri ise, İOP hacmi eşdeğeri atığın reaktörden ayda bir atık çekimine karşılık gelen günlük atık çekim debisini (m³/gün) ifade etmektedir. Bu debi değerleri tasarımı yapılan her bir sistemde atık çekim sayısına bağlı farklı değerlerde olduğundan, sistemlerden çekilecek atık debisi değerleri, “Bölüm 4”ün ilgili alt başlığındaki saha ölçek tasarım ve benzeştirme sonuçları dahilinde her bir sistem için değişen atık çekim sayıları için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Geliştirilen yenilikçi teknolojik çözümlerin hedef tekstil ve kâğıt endüstriyel atıksularına saha ölçekte uygulamalarında günlük atık çekim debilerinin hesabı için, konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemlerdeki İOP reaktörü hidrolik bekletme süresine bağlı İOP reaktörü tasarım hacmi değerlerindeki değişimler Şekil 3.14’te gösterilmiştir. Saha ölçekte İOP reaktörü tasarım hacmi değerleri; reaktöre gelen günlük atıksu debisinin, İOP/UF hacimsel su oranı ile çarpılarak elde edilen günlük hacim değerine, Fenton’da %10, UVA- ve UVC-Fenton’da ise %15’lik batık işletilen UF prosesin hacim gereksinimi ilaveleri yapılarak, değişen İOP reaktörü hidrolik bekletme süreleri için ayrı ayrı hesap edilmiştir.

Gerçek ölçeğe benzeştirilen sistem senaryolarının proses ve teknoloji içerikleri ile proses kodlamaları ve su geri kazanım oranları Tablo 3.25’te verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.14 Geliştirilen yenilikçi teknolojik çözümlerin hedef tekstil ve kâğıt atıksularına saha ölçeğinde uygulamalarında günlük atık çekim debilerinin hesabı için, konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemlerdeki İOP reaktörü hidrolik bekletme süresine bağlı İOP reaktörü tasarım hacmi değişimleri ((a)-Konvansiyonel esaslı yenilikçi teknolojik uygulamalar, (b)-Geliştirilen yenilikçi teknolojik uygulamalar)

Tablo 3.25 Tekstil ve kağıt atıksularından su geri kazanımı ve membran konsantreleri yönetiminde gerçek ölçeğe benzeştirilmiş sistem senaryolarının proses ve teknoloji içerikleri ile proses kodlamaları ve su geri kazanım oranları

Sektör	Teknoloji	Senaryo No	Oksidasyon Yöntemi	Bütünleşik Membran Yönetimi	Atık Yönetimi	Bütünleşik Sistem Kodlamaları	Membran Proses Su Geri Kazanım Oranı (%)					
							UF	NF _{sıkı}	TO	NF _{gevşek}	MD	
Tekstil	Etkinliği Bilinen	1	Aritımsız	UF, NF _{sıkı} ve TO	Konsantre atık bertarafı	[UF/NF _{sıkı} /TO]	80	80	80	-	-	
		2	Fenton		Konsantre atık arıtımı ve bertarafı	[UF/NF _{sıkı} /TO] / {IOP/UF}	80	80	80	-	-	
		3	Fenton-UVA				90	90	80	-	-	
		4	Fenton-UVC				90	90	83	-	-	
		5	Fenton		Konsantre atığın minimizasyonu, arıtımı ve bertarafı	[UF-{IOP/UF}] / [NF _{sıkı} /TO]	78	80	80	-	-	
		6	Fenton-UVA				85	83	80	-	-	
		7	Fenton-UVC				85	85	82	-	-	
	Önerilen	Fenton	8	NF _{sıkı}	Konsantre atığın minimizasyonu, arıtımı ve bertarafı	{IOP/UF}/[NF _{sıkı}]	-	80	-	-	-	
			9			TO	{IOP/UF}/[TO]	-	-	78	-	-
			10			NF _{gevşek} ve TO	{IOP/UF}/[NF _{gevşek} /TO]	-	-	80	86,7	-
		UVA	11	NF _{sıkı}		{IOP/UF}/[NF _{sıkı}]	-	80	-	-	-	
			12	TO		{IOP/UF}/[TO]	-	-	78	-	-	
			13	NF _{gevşek} ve TO		{IOP/UF}/[NF _{gevşek} /TO]	-	-	80	86,7	-	
		UVC	14	NF _{sıkı}		{IOP/UF}/[NF _{sıkı}]	-	80	-	-	-	
			15	TO		{IOP/UF}/[TO]	-	-	78	-	-	
			16	NF _{gevşek} ve TO		{IOP/UF}/[NF _{gevşek} /TO]	-	-	80	86,7	-	
Kağıt	Etkinliği Bilinen	17	Fenton	NF _{sıkı} ve NF _{gevşek}	Konsantre atık bertarafı	[NF _{gevşek} /NF _{sıkı}]	-	65	-	65	-	
		18			Konsantre atık arıtımı ve bertarafı	[NF _{gevşek} /NF _{sıkı}]/{IOP/UF}	-	74	-	74	-	
		19	Fenton-UVA				-	72	-	72	-	
		20	Fenton-UVC				-	72	-	72	-	
	Önerilen	Fenton	21	MD (Atıl ısı ısıtmalı)	Konsantre atığın minimizasyonu, arıtımı ve bertarafı	{IOP/UF}/[MD _{Atıl Isı}]	-	-	-	-	55	
			22	MD (Doğalgaz ısıtmalı)		{IOP/UF}/[MD _{Doğalgaz}]	-	-	-	-	55	
		Fenton-UVA	23	MD (Atıl ısı ısıtmalı)		{IOP/UF}/[MD _{Atıl Isı}]	-	-	-	-	60	
			24	MD (Doğalgaz ısıtmalı)		{IOP/UF}/[MD _{Doğalgaz}]	-	-	-	-	60	
		Fenton-UVC	25	MD (Atıl ısı ısıtmalı)		{IOP/UF}/[MD _{Atıl Isı}]	-	-	-	-	60	
			26	MD (Doğalgaz ısıtmalı)		{IOP/UF}/[MD _{Doğalgaz}]	-	-	-	-	60	

3.10.2 Maliyet Analizleri ve Ekonomik Değerlendirmeler

Proje kapsamında sürekli şartlarda kararlı hal lab pilot ölçek işletimleri yapılmış olan her bir atıksu arıtma, su geri kazanma ve konsantre yönetim ve bertaraf sisteminin saha ölçek ekonomik performansları, *SuperPro Designer 9.0*[®] proses simülasyon ve maliyet analizi yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. 1000 m³/gün'lük giriş atıksu debisi için gerçek ölçeğe kütle dengeleri sağlanmış tasarımlar üzerinden her bir arıtma sisteminin saha ölçek maliyet performansları yazılım aracılığıyla tespit edilmiştir. Saha ölçek tasarım uygulamalarından bağımsız olmak üzere her bir arıtma sistemi için, sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjı uygulamaları kapsamında uygulanacak nihai konsantre atık bertaraf yöntemlerine bağlı maliyetler ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Bu bağlamda nihai konsantre atığın, "sıfır sıvı deşarjı yaklaşımında" tesise yaklaşık 10 km mesafede olduğu varsayılan bir insinerasyon tesisinde yakılarak kalan katısının endüstriyel nihai düzenli depolama sahasında depolandığı; "sıfıra yakın sıvı deşarjında" ise yine tesis yaklaşık 10 km mesafede konuşlandığı varsayılan bir merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisine verilerek burada arıtılmaları sonrası kanala ya da alıcı ortama deşarj edildiği uygulama biçimleri nazarı dikkate alınmıştır. Her iki yaklaşım için tesise mesafe 10 km olarak kabul edilerek atığın teslimatı için birim ulaşım maliyet bedeli 1 \$/km olarak kabul edilmiştir. Sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjı yaklaşımları için piyasa araştırmasına dayalı elde edilmiş birim konsantre atık bertaraf maliyetleri, bertaraf+ulaşım toplamında sırasıyla 50 (=40+10) \$/m³ ve 150 (=140+10) \$/m³ olup; alınan resmi fiyat teklifi evrakları, "Ek-3: Piyasa Araştırmasına Dayalı Nihai Konsantre Atık Bertaraf Fiyat Teklifleri" dokümanında sunulmuştur.

Yatırım, işletme ve toplam maliyet bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılan ve hali hazırda yazılım dâhilinde mevcut bulunan maliyet bileşenleri denklemleri Tablo 3.26'te sunulmuştur. Sistemlerin maliyet hesaplamalarında kullanılan birim maliyet bedelleri Tablo 3.27'da; membran satın alma-bertaraf maliyetleri, öngörülen membran ömürleri ve membran proseslerdeki elektrik sarfiyatları Tablo 3.28'de ve LED UV lambaların satın alma-bertaraf maliyetleri, kullanım ömürleri ve elektrik tüketim bilgileri ise Tablo 3.29'de sunulmuştur.

Etkinliği bilinen ve önerilen yenilikçi her bir tasarlanmış sisteme ait ekonomik performans sonuçları, değişen atık çekim sayısına (uygulamada çıkış suyu kalitesini bozmamak amacıyla İOP reaktörden çekilecek günlük atık debisine) bağlı olarak, ilk yatırım maliyeti (\$), toplam net yatırım maliyeti (\$/20yıl) ve birim arıtma maliyeti (\$/m³ temiz su) parametreleri üzerinden ayrı ayrı belirlenmiştir. İlk yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri, bileşenleri için yazılımın çıktı dosyası vasıtasıyla ayrı ayrı elde edilmekte olup, toplam net yatırım ve birim arıtma maliyeti parametreleri, sırasıyla Denklem (3.4) ve (3.5) kullanılarak hesap edilmiştir.

Tablo 3.26 Yatırım, işletme ve toplam maliyet bileşenlerini hesaplama denklemleri

Maliyet bileşenleri	Hesaplama metodu
Toplam yatırım maliyeti (Total capital cost (TCC))	$TCC = DFC + WC + SC$
doğrudan sabit sermaye (direct fix capital (DFC))	$DFC = PDC + PIC + CFC$
- tesis doğrudan maliyeti (plant direct cost (PDC))	$PDC = PC + OP$
· ekipman satın alma maliyeti (purchase cost (PC))	$PC = (\text{Listed Eq. PC}) + (0.20 \times$
· diğer tesis maliyetleri (other plant costs ^a (OP))	$OP = A + B + C + D + E + F + G$
- tesis dolaylı maliyeti (plant indirect cost ^b (PIC))	$PIC = I + J$
müteahhit ücreti ve riskler (contractor's fee and contingency ^c)	$CFC = K + L$
döner sermaye (working capital (WC))	
başlangıç maliyeti (start-up cost (SC))	$SC = 0.03 \times DFC$
Toplam işletme maliyeti (Total operating cost)	
işçilik maliyeti (labour dependent cost ^d)	
tesis kurma maliyeti (facility dependent cost ^e (FDC))	$FDC = M + N + O$
sarf malzemeler (membranlar) (consumables)	
membranların bertaraf maliyetleri	
çeşitli gereksinimler (utilities)	
- elektrik, soğutma suyu vd.	
^a A) kurma (her ünitesinin ve dengeleme tankının $0.10 \times PC$ + membran ünitesinin $0.50 \times PC + 0.06 \times PC$), B) boru tesisatı ($0.35 \times PC$), C) cihazlandırma ($0.40 \times PC$), D) yalıtım ($0.03 \times PC$), E) elektrik ($0.10 \times PC$), F) inşaat ($0.10 \times PC$), G) şantiye ıslahı ($0.05 \times PC$) ve H) yardımcı tesisler ($0.20 \times PC$) için maliyetleri içerir.	
^b I) mühendislik ($0.10 \times PDC$) ve J) inşaat ($0.15 \times PDC$) maliyetlerini içerir.	
^c K) müteahhit ücreti ($0.03 \times (PDC + PIC)$) ve L) ve risk giderlerini ($0.03 \times (PDC + PIC)$) içerir.	
^d Vardiyalı üç tam zamanlı teknisyen ve bir tam zamanlı mühendisi kapsar.	
^e M) yıpranma payı, N) bakım ($0.10 \times PC$), ve O) çeşitli giderler (sigorta ($0.01 \times DFC$), yerel vergiler ($0.02 \times DFC$), ve tesis harcamaları ($0.05 \times DFC$)) toplamıdır	

Tablo 3.27 Hedef endüstriyel atıksulardan saha ölçek etkinliği bilinen ve önerilen sistemlerle su geri kazanımı ve konsantre yönetimi uygulamalarına ilişkin birim maliyetler

Parametre	Birim	Maliyet
Geri Kazanım suyundan sağlanan kazanç	\$/ton	1,8
Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂)	\$/metrik ton	500
Sülfirik asit (H ₂ SO ₄)	\$/ton	420
Sodyum hidroksit (NaOH)	\$/ton	940
Demir sülfat (FeSO ₄)	\$/ton	130
Mühendis maaşı (1 kişi)	\$/saat-kişi	9,1
Operatör maaşı (3 kişi)	\$/saat-kişi	6,5
Konsantre atık bertarafı (merkezi arıtma tesisi)	\$/ton+\$ transfer	40+10
Konsantre atık bertarafı (insinerasyon)	\$/ton+\$ transfer	140+10
Elektrik	\$/kWh	0,10

Tablo 3.28 Membranların satın alma-bertaraf maliyetleri, kullanım ömürleri ve membran proseslerin elektrik sarfiyatları

Bileşen	Birim	UF	NF _{sıkı}	NF _{gevşek}	RO	MD	Batık UF	Kartuş Filtre
Modül fiyatı	\$/adet	1000						10
Membran fiyatı	\$/m ²	100	30	30	30	90	40	-
Kullanım ömrü	yıl	3,0						0,5
Bertaraf maliyeti	(\$/m ² ya da kartuş)	5,0						
Elektrik tüketimi	(kWh/m ³)	1,1	1,4	1,3	3,0	0,75*	0,2	-

* Sadece pompaj için gerekli birim enerji sarfiyatı değeridir.

Tablo 3.29 LED UV lambaların satın alma-bertaraf maliyetleri, kullanım ömürleri ve elektrik sarfiyatları

Parametre	Birim	UVA	UVC
Satın alma	(\$/adet 0,1kW)	30	
Elektrik tüketimi	(kWh/m ³)	0,10	0,15
Kullanım ömrü	(saat)	30.000	
Bertaraf maliyeti	(\$/adet)	5	

$$\text{Toplam Net Yatırım Maliyeti} \left[\frac{\$}{20 \text{ yıl}} \right] = \text{İlk Yatırım Maliyeti}[\$] + \text{Toplam İşletme Maliyeti (Yıllık \%7 Faizde)} \left[\frac{\$}{20 \text{ yıl}} \right] - \text{Su Geri Kazanım Kazancı (Yıllık \%7 Faizde)} \left[\frac{\$}{20 \text{ yıl}} \right] \quad (3.4)$$

$$\text{Birim Arıtma Maliyeti} \left[\frac{\$}{\text{m}^3 \text{ temiz su}} \right] = \left(\text{İşletme Maliyeti} \left[\frac{\$}{\text{yıl}} \right] \div \text{Su Geri Kazanım Miktarı} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ temiz su}}{\text{yıl}} \right] \right) - \text{Birim su alış maliyeti} \left[\frac{1,8 \$}{\text{m}^3} \right] \quad (3.5)$$

Bu maliyet bileşenlerine ilave olarak, tekstil ve kâğıt atıksuları için ekonomik olarak en iyi performanslar elde edilmiş Fenton destekli sistemleri için, yazılımdan doğrudan elde edilen yıllık işletme maliyetleri bileşenleri, değerleri bazında ortaya konmuştur. Proseste yeniden kullanılabilir suyun satışından elde edilecek ekonomik faydanın, yatırımların ekonomik geri

dönüşlerinin 20 yıllık işletme süresi içerisinde düşmüyor olması dolayısıyla ekonomik sonuçlar için Fayda/Maliyet (F/M) hesaplamaları ve değerlendirmeleri yapılamamıştır. Bir başka deyişle, geri kazanılan sudan ekonomik fayda elde edilmesine rağmen, amaçlanan uygulamaların yerine getirilmesi noktasında geliştirilen arıtma sistemleri, yatırımcı tarafından para harcanmasını gerektirmektedir. Ayda ve yılda 1 atık çekim sayıları için yazılımdan elde edilmiş “Tüm Sistemlere Ait Saha Ölçek Maliyet Analiz Raporları”, Ek-4’te verilmiştir.

Elde edilen tüm tekno-ekonomik sonuçlar ışığında, önerilen ve etkinliği bilinen sistemlerin, konsantre yönetimini de içerisinde alan bütünlüklerdeki saha ölçek uygulamalarının; hedef tekstil ve kağıt endüstriyel atıksuları ile yoğun su tüketilen endüstriyel atıksular geneli için yaygınlaştırılabilme potansiyeli değerlendirmeleri ayrı ayrı yerine getirilmiştir. Bu çalışmaların hedef tekstil ve kağıt endüstriyel atıksuları geneli için yapılan değerlendirmelerinde, değişen İOP reaktörü hidrolik bekletme süresi ve İOP reaktörü eşdeğeri atığın reaktörden günlük çekim debisine karşı gelen atık çekim sayısına bağlı counter (eğri dağılımlı) grafikler elde edilerek, her bir hedef sektördeki tekno-ekonomik performanslar ayrı ayrı ortaya konmuştur. Çalışmaların yoğun su tüketilen endüstriyel atıksular geneli için yapılan değerlendirmelerinde ise, tekstil atıksuyuna yönelik sistemlerin kağıt atıksuyunun arıtılması için, kağıt atıksuyuna yönelik sistemlerin de tekstil atıksuyunun arıtılması için uygulandığındaki saha ölçek tekno-ekonomik etkinlikler ortaya çıkarılmıştır. Geliştirilen tüm sistemlerin her iki değerlendirme adımında hem ilgili sektör içerisindeki hem de sektör genelindeki diğer atıksulara başarıyla uygulanabilmelerinin değerlendirilmesi; rölatif düşük (tekstil atıksuyu için TOK=320 mg/L, KOI=1000 mg/L, İletkenlik= 700 µS/cm ve TÇK=350 mg/L) ve rölatif yüksek (kağıt atıksuyu için TOK=730 mg/L, KOI=2000 mg/L, İletkenlik= 2000 µS/cm ve TÇK=1000 mg/L) organik ve inorganik kirlilik içerikli endüstriyel atıksu muhteviyatlarında yerine getirilmiştir. $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{[İOP/UF]\}$ sistemi için yapılan hesaplamalarda kağıt atıksuyu için ayrıca “ * ” tanımlaması yapılmıştır ki; bu atıksu, konvansiyonel sürekli işletilen $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{[İOP/UF]\}$ sistemdeki tekstil eşdeğeri rölatif düşük organik/inorganik (TOK=350 mg/L, KOI=1000 mg/L, İletkenlik= 2000 µS/cm ve TÇK=1000 mg/L) içerikli kağıt atıksuyunu ifade etmektedir.

Sonuçta, konvansiyonel esaslı uygulanan ve geliştirilen yenilikçi tüm sistemlerin endüstriyel atıksulara su geri kazanımı ve konsantre yönetimi amacıyla başarıyla uygulanabilirlikleri; Fe hariç toplam inorganikler saha ölçek simülasyonlarda hedef çıkış suyu kalitesini kısıtlamadığından atıksuda “eşdeğer organik kirlilik seviyesi” parametresi baz alınarak, rölatif düşük ve rölatif yüksek organik kirlilik içeriklerindeki atıksular için ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu sayede, geliştirilen sistemlerin saha ölçek tekno-ekonomik tercih edilebilirlikleri birbirleriyle kıyaslamalı olarak ortaya çıkarılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar, kesikli ve sürekli işletim şartları bütününde projede önerilen (*İOP/batık UF/NF ve/veya TO esaslı 3 farklı seçenek, ayrıca kağıt atıksuları için MD*) ve literatürden etkinlikleri bilinen (kâğıt ve tekstil atıksuyu için sırasıyla $NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$ ve $UF/NF_{\text{sıkı}}/TO$ 'da ortak konsantrasyon akımının İOP ile arıtımı) İOP ve MP içerikli entegre sistemler kullanılarak tekstil atıksuları için Gebze Teknik Üniversitesi ve kağıt atıksuları için Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarlarında ayrı ayrı yürütülmüştür.

4.1 Kesikli İşletimli Deneyler

4.1.1 Etkinliği Bilinen Sistem Deneyleri

4.1.1.1 Tekstil atıksularının basınç sürücülü membran filtrasyon sistemi ile arıtımı

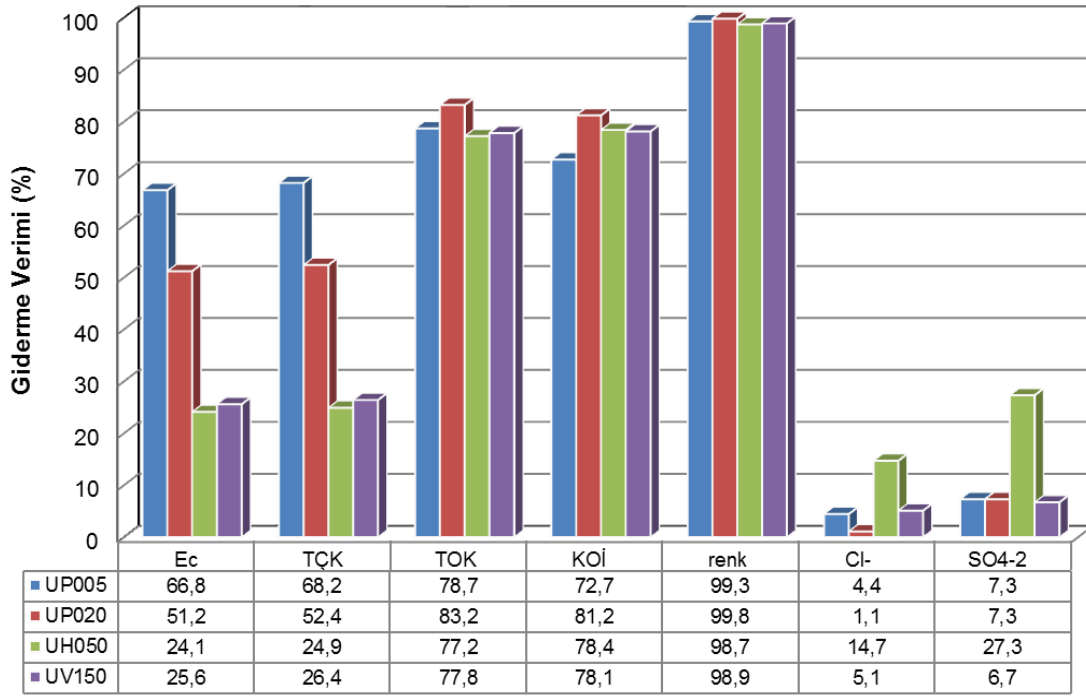
Etkinliği bilinen basınç sürücülü kesikli sistemin işletimi, tekstil atıksuları için $UF/NF_{\text{sıkı}}/TO$ membran sistemi kombinasyonları kullanılarak yerine getirilmiştir. Bu çalışmalar neticesinde, etkinliği bilinen sistemlerin sürekli işletimlerinde kullanılacak en uygun membran türleri tespit edilmiştir.

Tekstil atıksularının arıtımının gerçekleştirildiği bütünleşik membran sisteminde, UF prosesi için UP005, UP020, UH050 ve UV150, $NF_{\text{sıkı}}$ prosesi için NP030, NF270, DS-5DK ve ESNA1 ve TO prosesi için TFC–HRRO, LFC-3, CPA-3/5 ve BW-30 membranları kullanılmıştır. Kâğıt atıksularının arıtımında ise, $NF_{\text{gevşek}}$ için NP010, NFG, MPF-36 ve CK-3001 ve $NF_{\text{sıkı}}$ için NP030, NF270, DS-5DK, ESNA1 membranları ile filtrasyonlar gerçekleştirilmiştir.

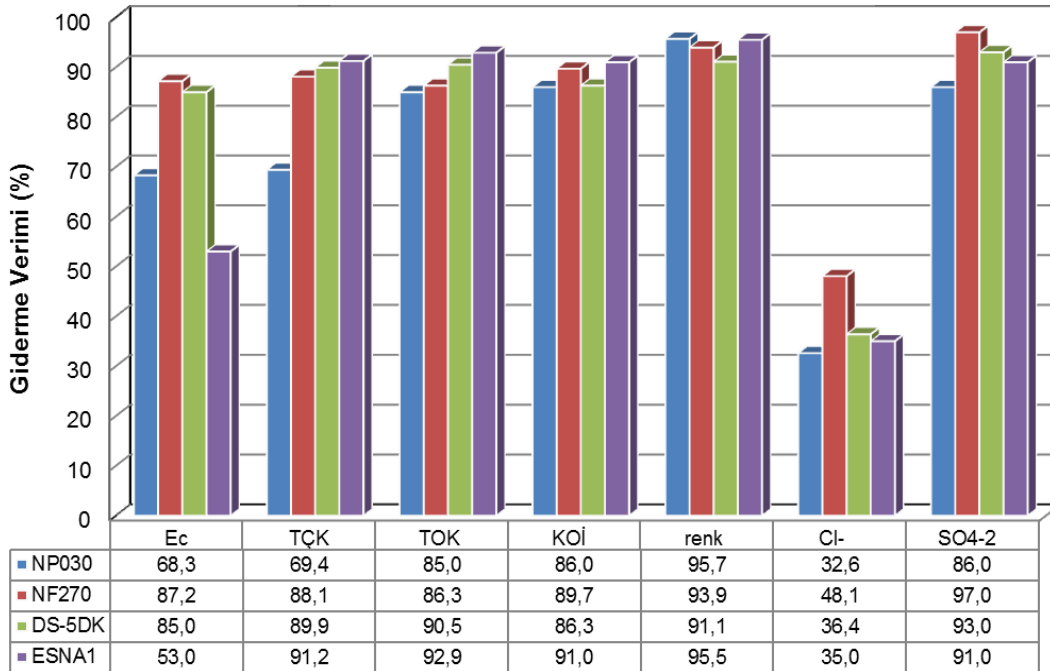
$UF/NF_{\text{sıkı}}/TO$ membran sistemiyle tekstil atıksularının filtrasyon performansları (E_i , TÇK, TOK, KOİ, Cl^- , SO_4^{2-} ve renk) UF prosesi için Şekil 4.1'de, $NF_{\text{sıkı}}$ prosesi için Şekil 4.2'de ve TO prosesi için Şekil 4.3'te verilmiştir.

Proseslerde, membranlarla değişen süzüntü akılarının hacim azaltma faktörüne (volume reduction factor (VRF)) karşı değişimleri (NF hariç (yeterli hacim azaltımı sağlanamadığından)), Şekil 4.4-4.6'da gösterilmiştir.

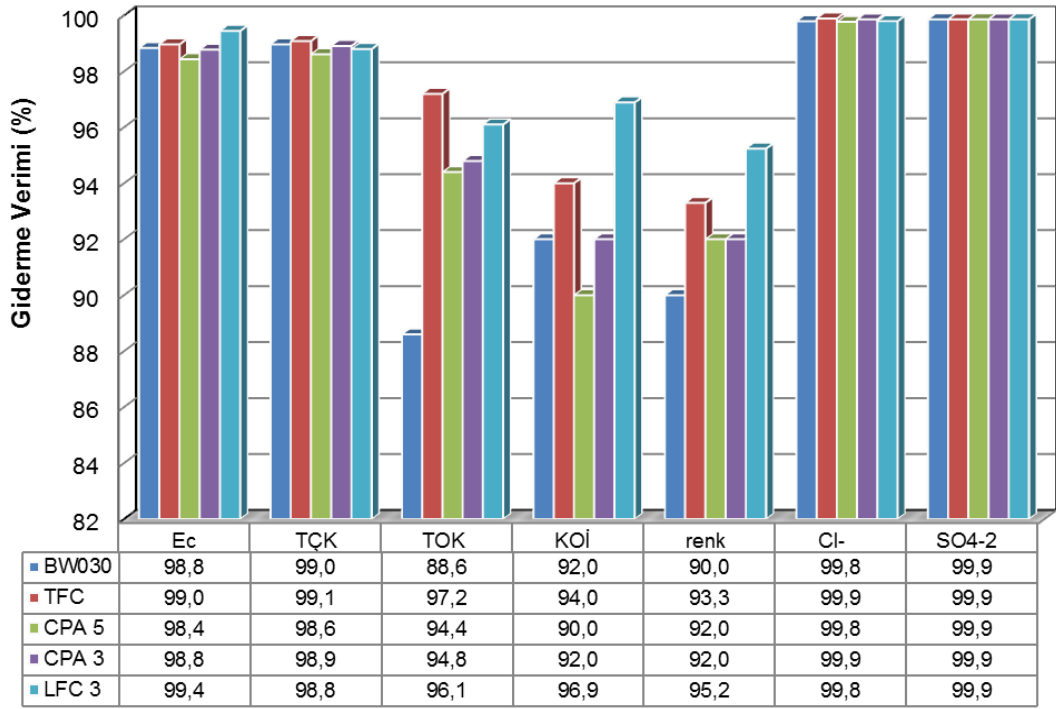
En iyi filtrasyon performansını veren UH050/NF270/LFC-3 membran türü kombinasyonu kullanılarak, tekstil atıksularının $UF/NF_{\text{sıkı}}/TO$ sistemindeki filtrasyon performansları, çıkış suyu kalite değerleriyle birlikte Tablo 4.1'de gösterilmiştir.



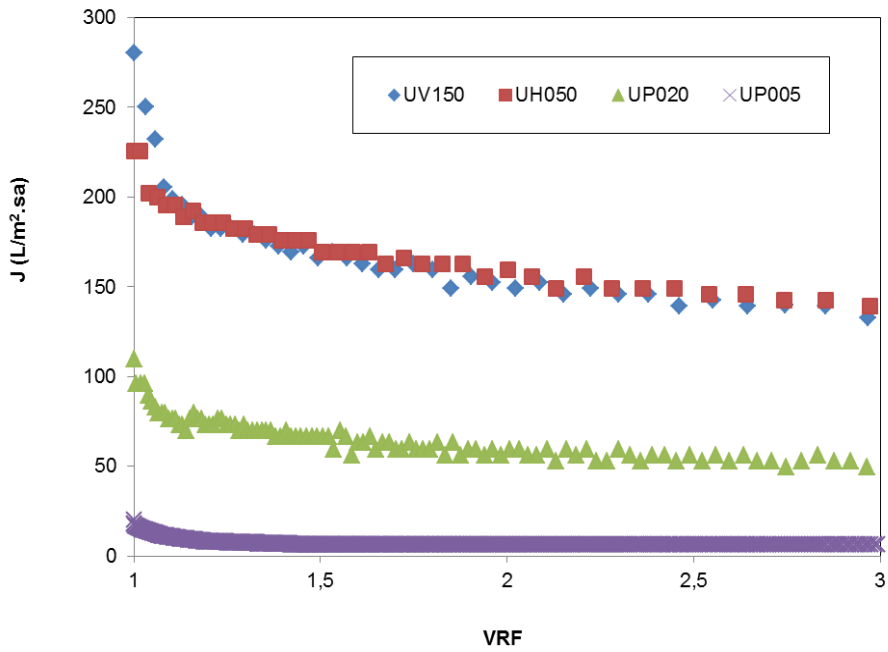
Şekil 4.1 UF/NF_{sıkı}/TO membran sistemiyle tekstil atıksuyunun filtrasyonunda UF membranlarına ait filtrasyon performansları



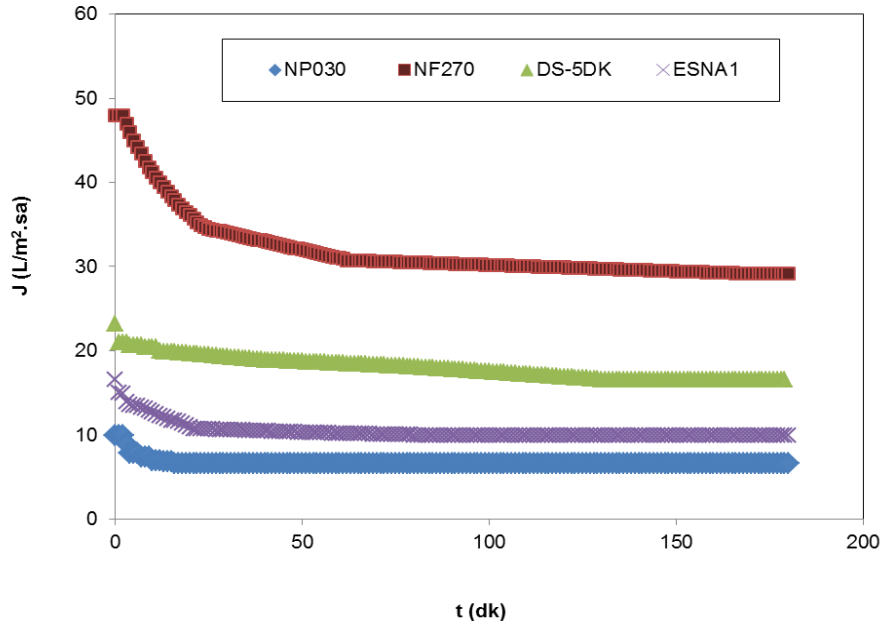
Şekil 4.2 UF/NF_{sıkı}/TO membran sistemiyle tekstil atıksuyunun filtrasyonunda NF_{sıkı} membranlarına ait filtrasyon performansları



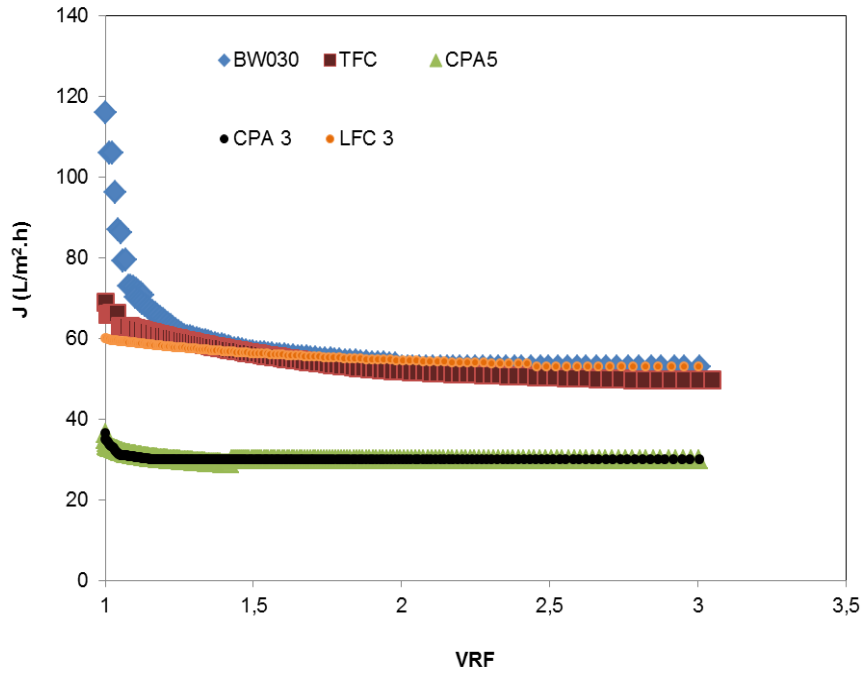
Şekil 4.3 UF/NF_{sıkı}/TO membran sistemiyle tekstil atıksuyunun filtrasyonunda TO membranlarına ait filtrasyon performansları



Şekil 4.4 UF/NF_{sıkı}/TO membran filtrasyonunda UF membranlarına ait süzöntü akıları



Şekil 4.5 UF/NF_{sıklı}/TO membran filtrasyonunda NF_{sıklı} membranlarına ait süzüntü akıları



Şekil 4.6 UF/NF_{sıklı}/TO membran filtrasyonunda TO membranlarına ait süzüntü akıları

Tablo 4.1 UH050/NF270/LFC-3 membranları sırasında işletilen UF/NF_{sıkı}/TO bütünleşik sistemiyle tekstil atıksuyunun filtrasyon performansları ve çıkış suyu kalitesi

Parametre	MEMBRANLAR									UF/NF/TO		Hedeflenen Yeniden Kullanım Suyu Kalitesi
	UF Membran (UH050)			NF Membran (NF270)			TO Membran (LFC-3)			Çıkış suyu kalitesi	Toplam Veri (%)	
	Konsantre	Süzüntü	Verim (%)	Konsantre	Süzüntü	Verim (%)	Konsantre	Süzüntü	Verim (%)			
Akısı (L/m ² sa)	135,9			29,2			53,0			-	-	-
pH (-)	6,32	6,34	-	6,88	7,03	-	6,74	6,34	-	6,34	-	6,0-8,0
İletkenlik (µS/cm)	3280	2490	24,1	5876	752	87,2	2420	13	99,4	13	99,6	<210
TÇK (mg/L)	1685	1265	24,9	2985	355	88,1	1140	6	98,8	6	99,7	-
TOK (mg/L)	3659	834	77,2	1968	270	86,3	866	14	96,1	14	99,6	<10
KOİ (mg/L)	9480	2048	78,4	3280	338	89,7	1093	34	96,9	34	99,6	<10
Renk (A)	1,119	0,014	98,7	0,033	0,002	93,9	0,021	0,001	95,2	0,001	99,9	-
Cl ⁻ (mg/L)	27,2	13,2	51,5	31,2	16,2	48,1	49	0,1	99,8	0,1	99,6	-
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	924	672	27,3	1586	48	97,0	145	0,2	99,9	0,2	100	-

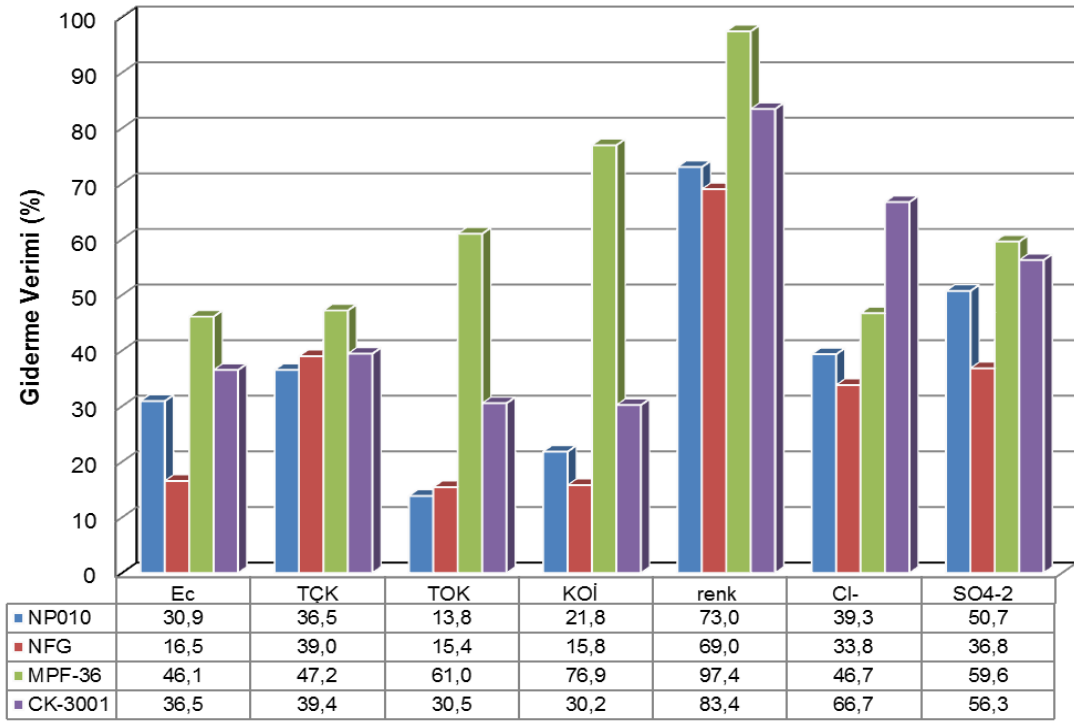
UF/NF_{sıkı}/TO membran sistemiyle tekstil atıksularının filtrasyon performansları incelendiğinde; UF prosesinde en etkin membranın, % 77-78 civarlarında TOK ve KOİ giderimine karşın esasen diğer 3 membrana kıyasla çok daha yüksek su akısı vermiş olan (135,9 L/m² sa) UH050 membranı olduğu belirlenmiştir. Sıkı NF proseste, NF270 membranının, % 90'lara varan organik ve % 97'lere ulaşan inorganik giderim etkinliği altında 29,2 L/m².sa'lık su akısı ile en iyi sıkı NF performansına sahip membran olduğu görülmüştür. TO prosesinde ise, tüm membranlarda % 90'ları aşan organik ve % 98'leri aşan inorganik giderim ile sıkı NF membrandan daha yüksek su akısıyla (53,0 L/m² sa) işleme imkan sağlayan LFC-3 membranı, sürekli işletim için uygun bulunmuştur.

Tablo 4.1 incelendiğinde, kısa süreli işletimlerde, 6,34 pH ve 34 µS/cm iletkenlik ile yeniden kullanım için hedeflenen çıkış suyu kalitesi birebir sağlanmış olmakla birlikte; hedef çıkış suyunda organik içeriğinin bir miktar üzerinde (14 mg/L TOK ve 34 mg/L KOİ) arıtılmış çıkış suyu eldesi gerçekleştirilmiştir.

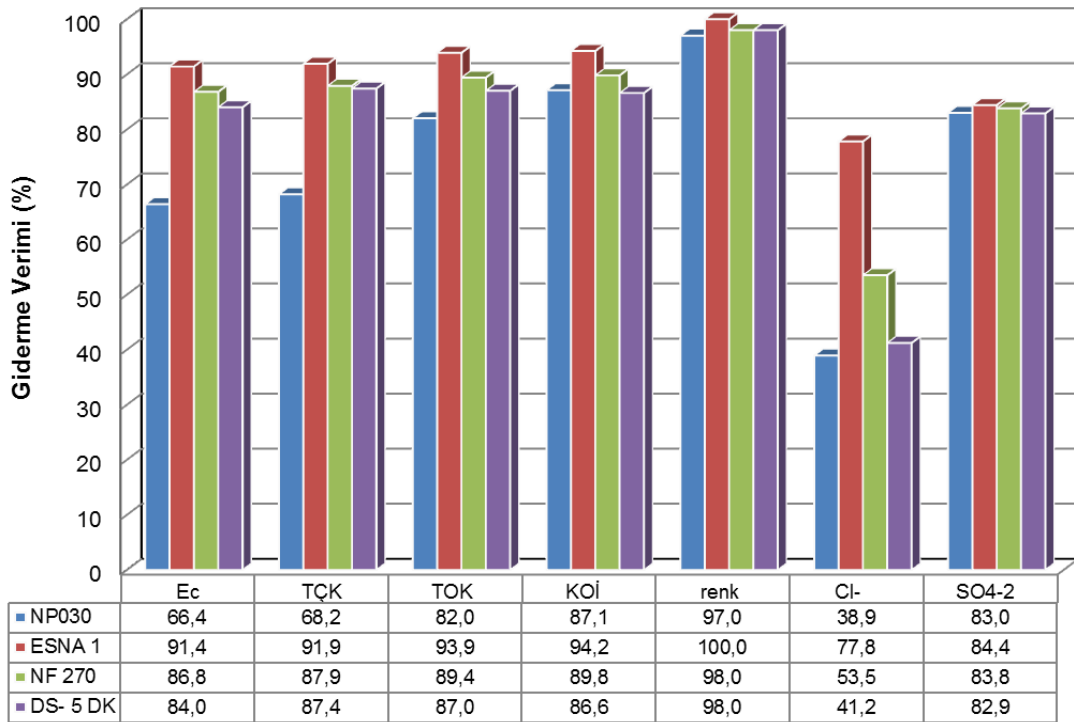
4.1.1.2 Kağıt atıksularının basınç sürücülü membran filtrasyon sistemi ile arıtımı

Etkinliği bilinen basınç sürücülü kesikli sistemlerin işletimleri, kâğıt atıksuları için NF_{gevşek}/NF_{sıkı} membran sistemi kombinasyonu kullanılarak yerine getirilmiştir. Bu çalışma neticesinde, etkinliği bilinen sistemlerin sürekli işletimlerinde kullanılacak en uygun membran türlerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. NF_{gevşek}/NF_{sıkı} membran sistemiyle kâğıt atıksularının filtrasyon performansları (E_i , TÇK, TOK, KOİ, Cl⁻, SO₄²⁻ ve renk) NF_{gevşek} proses için Şekil 4.7'de, NF_{sıkı} proses için de Şekil 4.8'de verilmiştir. Proseslerde, membranlarla değişen süzüntü akılarının zamana karşı değişimleri de, sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10'da sunulmuştur. En iyi filtrasyon performansını veren MPF-36/ESNA-1 membran türü ikilisi kullanılarak, kâğıt atıksularının NF_{gevşek}/NF_{sıkı} sistemindeki filtrasyon performansları, çıkış suyu kalite değerleriyle birlikte Tablo 4.2'de gösterilmiştir. MPF-36 NF_{gevşek} membranı, kısmen daha düşük su akısına rağmen en iyi organik ve inorganik giderim verimini sağlamıştır. MPF-36 membranından geçirilen kâğıt atıksuyu, sonrasında farklı NF_{sıkı} membranlarından filtre edildiğinde, tüm membranlarda, genel olarak iyi seviyelerde organik giderim etkinliği elde edilmiş olmakla birlikte, inorganik giderim verimi ve daha iyi çıkış suyu kalitesi eldesi bakımından ESNA-1 membranının daha iyi performans sergilediği belirlenmiştir. Bu noktadan hareketle, kâğıt atıksularının etkinliği bilinen basınç sürücülü NF_{gevşek}/NF_{sıkı} bütünleşik membran sistemiyle sürekli işletimli arıtımında kullanılacak uygun membran türleri MPF-36/ESNA-1 olarak tespit edilmiştir.

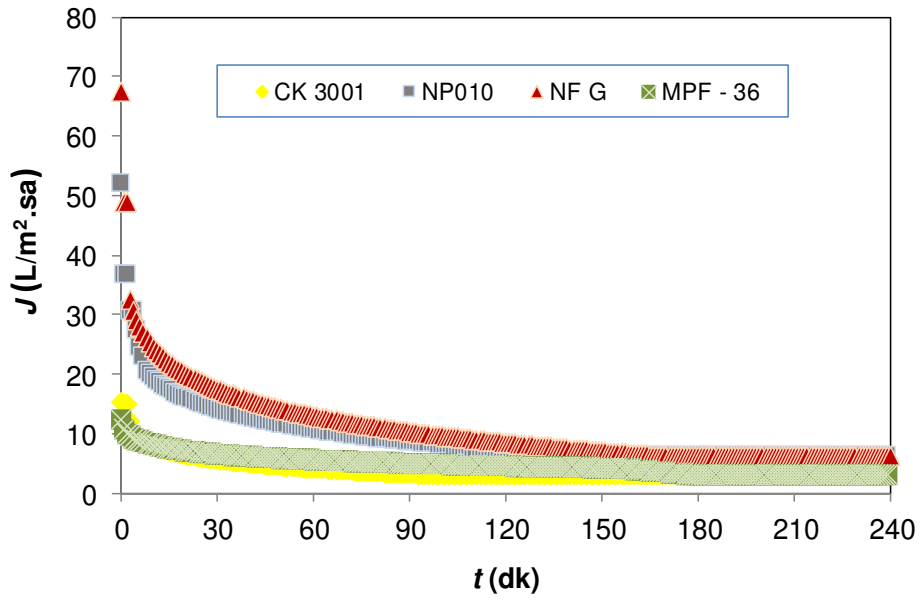
Tablo 4.2'ye bakıldığında, kısa süreli işletimlerde, 7,15 pH, 144 µS/cm iletkenlik, 13 mg/L TOK ve 28 mg/L KOİ kalitesinde arıtılmış çıkış suyunun üretilebildiği görülmüş, hedeflenen çıkış suyu açısından, iyi kalitede yeniden kullanım suyu üretilebildiği görülmüştür.



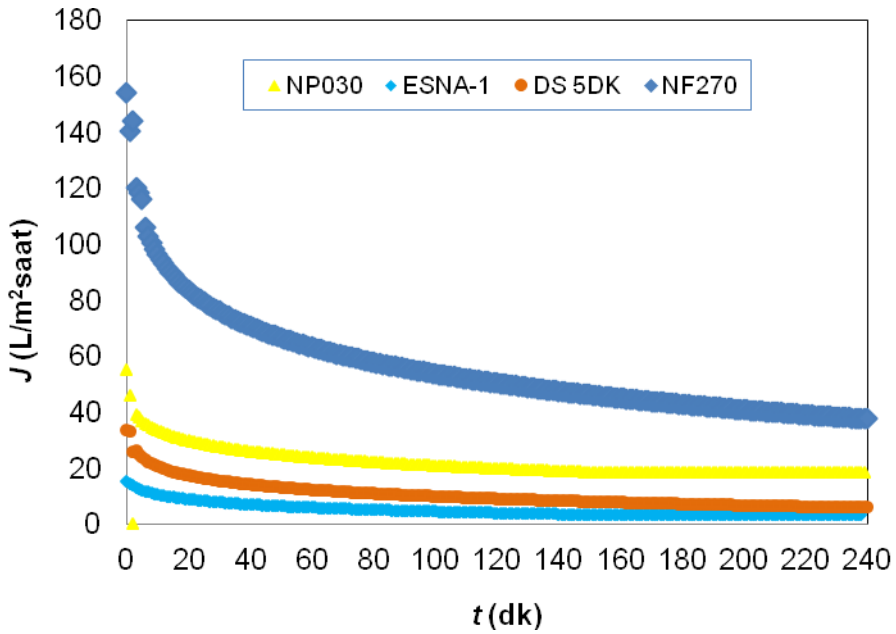
Şekil 4.7 $NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$ membran sistemiyle kâğıt atıksuyunun filtrasyonunda $NF_{\text{gevşek}}$ membranlarına ait filtrasyon performansları



Şekil 4.8 $NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$ membran sistemiyle kâğıt atıksuyunun filtrasyonunda $NF_{\text{sıkı}}$ membranlarına ait filtrasyon performansları



Şekil 4.9 NF_{gevşek}/NF_{sıkı} membran filtrasyonunda NF_{gevşek} membranlarına ait süzöntü akıları



Şekil 4.10 NF_{gevşek}/NF_{sıkı} membran filtrasyonunda NF_{sıkı} membranlarına ait süzöntü akıları

Tablo 4.2 MPF-36/ESNA-1 membranları sırasında işletilen $NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$ bütünleşik sistemiyle kâğıt atıksuyunun filtrasyon performansları ve çıkış suyu kalitesi

Parametre	MEMBRANLAR						$NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$		Hedeflenen Yeniden Kullanım Suyu Kalitesi
	$NF_{\text{gevşek}}$ Membran (MPF-36)			$NF_{\text{sıkı}}$ Membran (ESNA-1)			Çıkış suyu kalitesi	Toplam verim (%)	
	Konsantre	Süzüntü	Verim (%)	Konsantre	Süzüntü	Verim (%)			
Akı (L/m^2 sa)	4,12			10,05			-	-	-
pH (-)	7,96	7,76	-	7,79	7,15	-	7,15	-	6,0-8,0
İletkenlik ($\mu S/cm$)	2530	1364	46,1	1556	144	91,4	144	94,3	<850
TÇK (mg/L)	1287	679	47,2	778	63,3	91,9	63,3	95,1	-
TOK (mg/L)	503	196	61	242	13	93,9	13	97,4	10-20
KOİ (mg/L)	1716	396	76,9	486	28	94,2	28	98,4	20-30
Renk (A)	0,156	0,014	97,4	0,018	0	100	0	100	-
Cl^- (mg/L)	74,97	39,98	46,7	44,9	10	77,8	10	86,7	-
SO_4^{2-} (mg/L)	817	330	59,6	460	9	84,4	9	98,9	-

4.1.2 Önerilen Sistem Deneyleri

4.1.2.1 İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtım

İP 3.1 kapsamında, yoğun su tüketimi gerçekleştirilen ve buna bağlı yüksek miktarlarda atıksu oluşumuna sebebiyet veren projeye konu tekstil ve kağıt atıksularının, ileri oksidasyon prosesi/batık ultrafiltrasyon (İOP/batık UF) hibrit sistemde kesikli işletim şartlarında arıtım çalışmaları yerine getirilmiştir. Her iki atıksuyun İP 3.1 kapsamında arıtım çalışmaları, deneysel tasarım uygulaması ışığında, Fenton prosesi veya UVC-254 ve UVA-365 destekli foto-Fenton prosesiyle ileri oksidasyonu ve beraberinde aynı reaktörde batık UF membran proses uygulaması bütününde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, tekstil ve kağıt atıksuları için ayrı alt başlıklarda olmak üzere aşağıda tüm detaylarıyla sunulmuştur.

✓ **Tekstil atıksularının arıtımı**

– Fenton/batık UF deneyleri

İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle kesikli şartlarda arıtımında, değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tabloları ve deneysel performans sonuçları, İO ve batık UF prosesleri için sırasıyla Tablo 4.3 ve 4.4'de verilmiştir. Batık UF prosese ait sonuçlar, İOP/batık UF hibrit sistemde arıtılmış çıkış suyunun kalitesini vermektedir. İzlenen parametreler arasında yer alan renk parametresinde, sadece atıksuyun renginin değil, aynı zamanda Fenton proseste demirden gelen rengin de sistem çıkış suyunda bilinmesi gerektiği için (hibrit sistem sonrası NF ve/veya TO ile su geri kazanımı gerçekleştirileceğinden ve bu proseslerde renk verimi demir giderimi üzerinden de izleneceğinden), hibrit sisteme ve sistemdeki her iki prosese ait kirlenici giderim verimi, TOK ve KOİ parametreleri üzerinden belirlenmiştir. Bu bağlamda, İOP/batık UF hibrit reaktörde Fenton prosesiyle arıtımında TOK ve KOİ giderim verimleri, Tablo 4.5'de gösterilmiştir.

– Fenton prosesinin deneysel performansı

Proses performansı analizlerinde giriş değişkenlerinin sonuç parametreleri üzerine etkileri ilk olarak lineer model bazında ANOVA yöntemi ile belirlendiğinden; tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında, İOP reaktörün TOK, KOİ ve pH performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.6'da verilmiş; hem I. derece lineer hem de II. derece lineer olmayan model bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 4.7'de sunulmuştur. Tablo 4.6 için F istatistik ve P olasılık değerleri model ve değişkenlerin önem seviyesini belirtmekte; $P > F$ değeri için **0.05'ten küçük** olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri "**Önemli**", **0.1'den büyük** olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri ise "**Önemsiz**" olarak değerlendirilmektedir. Tablo

7'de I. derece lineer model için verilen $P>F$ değerlerine bakıldığında, İOP reaktörde TOK, KOİ ve pH etkinliklerinin lineer model ilişkilerine göre önemli olduğu görülmektedir. Proseste TOK ve KOİ giderim verimleri için zaman, H_2O_2 konsantrasyonu, sıcaklık ve pH'nın, İOP reaktördeki pH değişimleri için ise H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarıyla kısmen atıksuyun başlangıçta ayarlanan pH'sının önemli performans etkilerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.7'ye bakıldığında ise, II. derece lineer olmayan modellerin, I. derece lineer modellere kıyasla çok daha iyi bir ilişki düzeyinde düşük standard sapma (S) ve yüksek korelasyon (r^2) değerleri verdiği görülmektedir. Bu durum, iç etkileşimli ve II. derece model terimlerinin model kurgusuna ve performans tahminine olan katkılarının önemli olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

İOP proseste, H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametreleri ile pH, E_i , TÇK ve SO_4^{2-} değişimleri Şekil 4.11'de, TOK, KOİ, renk ve Cl^- değişimleri ise Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

İleri oksidasyon prosesinde, reaktöre ilave edilen H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarı arttıkça (H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametresi miktarı azaldıkça) pH 2,7 civarına azalmakta ve iletkenlik 8000 $\mu S/cm$ civarına artmakta; toplam çözünmüş katı madde miktarı, doğrusal olmayan bir artışla iki kat değerinin biraz üzeri olan 4200 mg/L değerine çıkmaktadır. Sülfat, artan Fenton kimyasalları ile artmaktadır. Renk ve klorür parametreleri, ortalama H_2O_2 konsantrasyonlarda sırasıyla dış ve iç bükey değişimler altında maksimum ve minimum değerler göstermektedir.

Hibrit reaktör içerisinde organik madde giderimi, esasen reaktöre ilave edilen H_2O_2 konsantrasyonuna bağlı olarak gerçekleşmekte, ilave edilen Fe^{2+} miktarı rölatif çok düşük giderim verimi katkısı sağlamaktadır. Buna ilaveten, artan H_2O_2 konsantrasyonu ile TOK giderimi etkinliğinde kısmen üstel bir değişimle belirgin bir artış görülmekte, aynı hızlı artış eğilimi H_2O_2 miktarının yüksek konsantrasyonlarında KOİ gideriminde gözlenmemektedir. Bu durum, uygulamada maliyeti arttıracak olması bakımından yüksek konsantrasyonlarda H_2O_2 ilavesi gerekmeksizin, İOP proseste organik gideriminin TOK ve KOİ esaslı eşzamanlı sağlanabileceği şeklinde değerlendirilmektedir.

– Batık UF prosesinin deneysel performansı

İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında, batık UF prosesin TOK, KOİ ve süzüntü akısı (J) performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.8'de; hem I. derece lineer hem de II. derece lineer olmayan model bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 4.9'da gösterilmiştir. Tablo 4.8 için F istatistik ve P olasılık değerleri model ve değişkenlerin önem seviyesini belirtmekte; $P>F$ değeri için 0.05'ten küçük olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri "Önemli", 0.1'den büyük olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni

üzerine etkileri ise “Önemsiz” olarak değerlendirilmektedir. Tablo 4.9’da I. derece lineer model için verilen P>F değerlerine bakıldığında, batık UF proseste TOK, KOİ ve J performans parametrelerinden sadece süzüntü akısı sonuç parametresinin lineer modele göre önemli düzeyde bir ilişkisinin mevcut olduğu görülmektedir. Bu önem durumunun da esasen, membran türü, membrandan su çekim hızı ve sonrasında da İOP reaktöre ilave edilen H₂O₂ konsantrasyonundan kaynaklandığı değerlendirilmesine ulaşılmıştır. Tablo 4.9’a göre, II. derece lineer olmayan modellerin, birebir ilişki düzeyinde sıfır standard sapma (S=0) ve tam korelasyon (r²=1.0) değerleri veriyor olmasından hareketle; batık UF proses için tüm ana performans parametrelerinin, esasen iç etkileşimli model terimlerine dayalı olarak tahmin edilebilir olduğu anlaşılmaktadır. Batık UF proseste, her bir membran türü için H₂O₂/TOK ve H₂O₂/Fe²⁺ giriş parametreleri ile TOK, KOİ ve süzüntü akısı değişimleri sırasıyla Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15’te verilmiştir. UH050 membranı için pH, E_i, TÇK ve SO₄²⁻ parametreleri ile renk ve Cl⁻ değişimleri ise sırasıyla Şekil 4.16 ve 4.17’de gösterilmiştir. Batık UF proseste organik madde giderim verimleri, UF prosesi çıkış suyu kalitesi değerlerinin reaktör içerisindeki deney sonu ölçülen değerlere göre ölçülendirilmesi üzerinden belirlenmiştir.

Batık membran proseste H₂O₂ ve Fe²⁺ miktarları arttıkça (H₂O₂/Fe²⁺ azaldıkça), TOK ve KOİ verimleri sırasıyla artmakta ve azalmakta; KOİ için değişimler, TOK parametresine kıyasla daha belirgin seviyelerde olmaktadır. Bunun yanı sıra, H₂O₂ ve Fe²⁺ miktarları arttıkça, her iki giriş parametresi için yaklaşık aynı mertebelerde olmak üzere, UF membran süzüntü akısının azaldığı görülmektedir. Diğer giriş değişkenlerinin ortalama değerleri için verilen değişimlere göre, 2 ve 3 numaralı UP020 ve UH050 membranları yaklaşık aynı seviyelerde olmak üzere en yüksek organik madde giderim verimine ve süzüntü akısı eldesine imkân sağlamakta; ancak KOİ parametresi açısından UH050 membranının etkinliği bir kademe daha iyi olarak gözükmektedir. Reaktöre ilave edilen H₂O₂ ve Fe²⁺ miktarı arttıkça UF prosesi çıkış suyu pH’sı 2’nin biraz altına düşmekte (İOP reaktörde 2.7) ve iletkenlik 6000 µS/cm civarına ulaşmakta (İOP reaktörde 8000 µS/cm); kısmen sülfat parametresinin etkisi altında toplam çözünmüş katı madde miktarı 3600 mg/L (İOP reaktörde 4200 mg/L) değerine çıkmaktadır. Çıkış suyunda klorür miktarının, Fenton reaktöre ilave edilen H₂O₂ ve Fe²⁺ miktarıyla azaldığı; buna karşın UF çıkış suyu renk parametresinin, atıksuda kalan ve sudaki çözünmüş demir iyonlarından gelen renk içeriği itibarıyla atıksuyun başlangıç renk değeri seviyelerine azaldığı gözlenmektedir. Bu durum, hibrit reaktör sonrasında NF ve/veya TO içerikli arıtma adımlarında membranlar üzerinde demir içerikli kirlenme yükü oluşturulmaması ve Fenton’a ilave edilen demir kayıp edilmeksizin reaktöre geri döndürülerek (konsantrenin hibrit reaktöre geri devri) hibrit reaktör ve sonrasında NF ve TO proseslerinin daha ekonomik işletilebilmeleri avantajlarını beraberinde getirmektedir.

Tablo 4.3 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İO prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2¹×4⁶) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri						Sonuç Parametreleri										
	A t	B T	C pH	D H ₂ O ₂ /TOK	E H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	F v _H	Y1 pH	Y2 E _i	Y3 TÇK	Y4 TOK	Y5 KOI	Y6 renk				Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻
												λ ₄₃₆	λ ₅₂₅	λ ₆₂₀	**λ _{ortalama}		
1	45	25	4	22	15	1	2.48	4540	2370	603	1592	0.863	0.223	0.081	0.686	26.5	6358
2	45	30	3	30	11	2	2.96	4830	2530	470	1254	1.308	0.730	0.927	1.047	37.5	8112
3	30	40	3	22	7	1	2.17	5820	3100	573	1012	1.156	0.385	0.165	0.886	34.5	10027
4	15	30	4	14	7	2	2.27	5040	2650	668	1594	0.872	0.300	0.166	0.656	35.7	8470
5	15	30	5	14	11	1	2.76	4690	2550	778	1982	0.517	0.043	0.028	0.459	22.2	9919
6	15	35	5	22	11	3	2.52	4750	2480	720	1804	0.478	0.161	0.089	0.360	45.2	2770
7	45	40	4	14	15	3	2.35	4740	2480	566	1039	0.430	0.096	0.045	0.344	20.7	4814
8	15	25	3	6	3	1	2.37	5100	2680	778	1663	0.912	0.235	0.108	0.716	35.0	17049
9	60	30	6	22	3	3	2.41	9170	5000	612	1144	1.209	0.327	0.130	0.952	30.2	3703
10	45	30	6	30	7	1	2.34	5510	2980	499	1265	0.853	0.455	0.137	0.660	17.5	1788
11	30	40	6	22	11	2	2.16	6360	3410	512	1021	1.374	0.432	0.141	1.076	12.8	3703
12	45	40	5	14	3	4	2.28	6900	3690	564	991	1.488	0.489	0.243	1.132	12.5	5451
13	15	25	6	6	15	2	4.15	4890	2570	1010	2530	0.139	0.052	0.026	0.105	26.7	7533
14	30	35	5	30	15	1	2.76	5390	2840	511	990	1.560	0.523	0.315	1.170	17.2	4557
15	15	35	4	22	7	4	2.82	5250	2690	614	1164	2.631	2.372	1.695	2.302	30.0	5464
16	60	35	6	14	3	1	2.72	6220	3029	533	1414	1.986	1.379	2.680	2.155	35.0	17109
17	60	25	4	30	11	3	2.19	5180	2720	493	868	0.681	0.128	0.030	0.573	52.0	6033
18	15	40	6	30	15	4	2.94	4440	2240	529	1260	1.674	0.902	0.585	1.252	29.2	12640
19	60	30	3	22	15	4	2.95	4620	2300	513	828	0.948	0.314	0.136	0.727	157.4	5431
20	60	35	3	14	15	2	2.63	4840	2540	537	1245	0.544	0.100	0.032	0.454	19.0	9330
21	60	40	5	6	7	2	2.87	3920	2098	657	1634	0.242	0.147	0.072	0.185	6.7	5451
22	15	40	3	30	3	3	2.32	7010	3850	529	1060	2.402	0.586	0.138	1.962	31.3	12580
23	45	35	3	6	11	4	2.32	4790	2510	636	1241	0.412	0.077	0.023	0.344	11.5	10027
24	60	25	5	30	7	4	2.56	6580	3490	540	903	0.767	0.163	0.046	0.632	16.7	5451
25	30	30	4	6	3	4	2.65	4930	2570	718	1678	0.921	0.264	0.117	0.716	22.5	4814
26	45	35	6	6	7	3	3.08	5000	2560	839	2100	0.671	0.262	0.158	0.498	35.5	2485
27	30	25	6	14	11	4	2.80	5840	3120	731	1896	0.861	0.464	0.274	0.645	37.0	3703
28	30	30	5	6	15	3	3.67	3500	1751	835	2061	1.455	0.988	0.681	1.139	75.0	3536
29	30	25	3	14	7	3	2.15	4650	2300	764	1537	0.958	0.325	0.137	0.734	22.5	8112
30	30	35	4	30	3	2	2.19	8620	4660	524	933	1.589	0.460	0.201	1.234	20.0	5464
31	45	25	5	22	3	2	1.97	7510	4000	589	1230	2.867	1.884	1.962	2.327	1227	18856
32	60	40	4	6	11	1	3.07	4200	2180	647	1423	0.542	0.099	0.043	0.447	31.2	11082

Tablo 4.4 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında UF prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2¹×4⁸) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri								Sonuç Parametreleri											
	A t	B T	C pH	D H ₂ O ₂ /TOK	E H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	F v _H	G v _{ŞÇ}	H M _T	Y1 pH	Y2 E _i	Y3 TÇK	Y4 TOK	Y5 KOI	Y6 renk				Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻	Y9 J
														λ ₄₃₆	λ ₅₂₅	λ ₆₂₀	**λ _{ortalama}			
1	45	25	4	22	15	1	70	UH050	2.50	4300	2250	536	1336	0.704	0.134	0.035	0.590	22.5	3126	79.18
2	45	30	3	30	11	2	55	UV150	2.84	5150	2720	431	841	0.920	0.230	0.004	0.779	12.5	6104	54.82
3	30	40	3	22	7	1	100	UP020	2.18	5780	3160	534	890	0.476	0.080	0.018	0.406	25.0	4836	12.18
4	15	30	4	14	7	2	70	UP020	2.36	4820	2520	667	1429	0.540	0.138	0.063	0.425	32.5	5394	61.67
5	15	30	5	14	11	1	100	UP005	2.60	5070	2560	712	1609	0.351	0.021	0.008	0.326	13.5	1806	17.89
6	15	35	5	22	11	3	85	UH050	2.36	4850	2560	614	1431	0.416	0.049	0.009	0.370	27.5	2041	37.30
7	45	40	4	14	15	3	55	UP005	2.15	4480	2340	562	978	0.299	0.038	0.016	0.258	15.9	2466	17.89
8	15	25	3	6	3	1	55	UP005	2.62	4970	2610	663	1286	0.769	0.178	0.082	0.612	30.0	4126	13.32
9	60	30	6	22	3	3	55	UP020	2.48	8820	4770	592	1032	0.771	0.204	0.072	0.612	24.2	3178	15.23
10	45	30	6	30	7	1	85	UH050	2.45	5650	2910	451	1072	0.760	0.194	0.090	0.597	11.2	1178	40.73
11	30	40	6	22	11	2	70	UP005	2.29	6360	3390	477	763	0.367	0.031	0.011	0.332	2.9	3280	24.36
12	45	40	5	14	3	4	85	UP020	2.24	6590	3520	498	758	0.647	0.122	0.022	0.549	5.0	3691	12.56
13	15	25	6	6	15	2	85	UP020	4.02	4790	2420	933	2160	0.295	0.108	0.066	0.220	30.2	2218	60.91
14	30	35	5	30	15	1	55	UP020	2.83	5490	2800	414	702	1.800	0.733	0.492	1.329	9.2	3964	60.15
15	15	35	4	22	7	4	55	UV150	2.99	5160	2720	544	918	1.081	0.222	0.036	0.910	19.5	4708	58.60
16	60	35	6	14	3	1	70	UV150	2.67	5670	3010	461	1093	1.047	0.213	0.920	0.912	20.0	9234	29.30
17	60	25	4	30	11	3	100	UP020	2.24	4830	2620	413	620	0.490	0.090	0.019	0.415	36.0	4614	20.18
18	15	40	6	30	15	4	100	UV150	2.79	5120	2710	477	1050	0.470	0.058	0.010	0.417	29.9	5383	25.10
19	60	30	3	22	15	4	85	UP005	2.84	4470	2310	486	747	0.705	0.137	0.043	0.585	34.6	1222	16.4
20	60	35	3	14	15	2	100	UH050	2.73	4500	2320	474	975	0.398	0.052	0.013	0.348	27.5	3496	43.00
21	60	40	5	6	7	2	55	UH050	3.15	3830	1995	540	1251	0.183	0.015	0.005	0.166	9.2	2012	65.86
22	15	40	3	30	3	3	70	UH050	2.44	7570	4060	422	679	1.603	0.389	0.089	1.311	30.6	16642	7.23
23	45	35	3	6	11	4	70	UP020	2.46	4530	2370	563	1030	0.381	0.066	0.036	0.312	1.2	2464	25.13
24	60	25	5	30	7	4	70	UP005	2.46	6160	3250	510	809	0.716	0.150	0.032	0.597	12.0	3972	17.89
25	30	30	4	6	3	4	100	UH050	2.77	4660	2450	593	1256	0.931	0.186	0.034	0.784	20.5	3968	28.42
26	45	35	6	6	7	3	100	UP005	3.27	4270	2220	709	1632	0.099	0.040	0.028	0.073	26.4	2160	8.38
27	30	25	6	14	11	4	55	UH050	2.95	5690	3010	559	1399	0.250	0.065	0.036	0.194	25.0	2570	54.8
28	30	30	5	6	15	3	70	UV150	3.55	3440	1774	741	1693	0.156	0.026	0.017	0.127	87.5	2127	74.23
29	30	25	3	14	7	3	85	UV150	2.43	4600	2320	660	1044	0.710	0.138	0.040	0.591	30.5	5262	60.90
30	30	35	4	30	3	2	85	UP005	2.25	8350	4320	476	777	1.291	0.366	0.115	1.024	5.0	4412	13.32
31	45	25	5	22	3	2	100	UV150	1.92	6540	3970	484	947	0.570	0.067	0.006	0.512	1362.0	12648	18.27
32	60	40	4	6	11	1	85	UV150	2.98	4130	2153	598	1228	0.414	0.038	0.010	0.374	37.1	2124	65.00

* UF prosese ait tüm sonuçlar, tüm sistemin performansı bakımından İOP/UF hibrit prosesinde arıtılmış çıkış suyunun kalitesini ifade eder.

** λ_{ortalama}, her dalga boyunda ölçülen absorbanların kareleri toplamının absorbanların toplamına bölünmesiyle elde edilmiş ortalama değerdir.

Tablo 4.5 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK ve KOİ giderim verimleri (%)

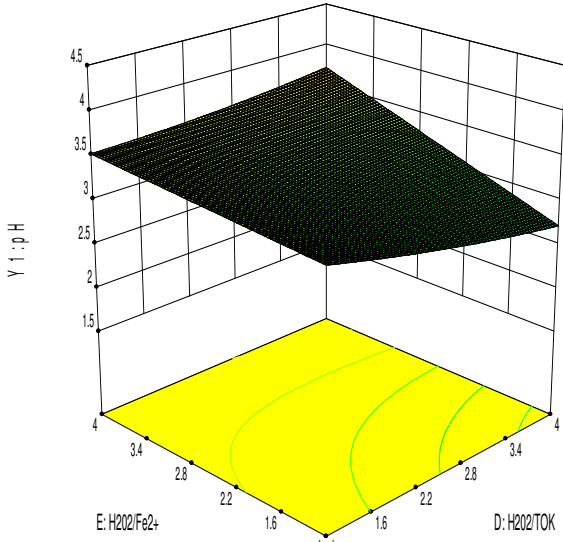
Deney No	İO Prosesi		UF Prosesi		İOP/UF Sistemi	
	TOK (%)	KOİ (%)	TOK (%)	KOİ (%)	TOK (%)	KOİ (%)
1	31,7	36,0	11,1	16,1	39,2	46,3
2	42,7	46,2	8,4	32,9	47,5	63,9
3	31,6	59,4	6,8	12,1	36,3	64,3
4	22,4	31,8	0,3	10,4	22,6	38,8
5	7,3	17,7	8,5	18,8	15,1	33,2
6	22,0	30,4	14,7	20,7	33,5	44,8
7	35,2	54,0	0,7	5,9	35,7	56,7
8	11,6	33,4	14,8	22,7	24,7	48,5
9	27,3	58,2	3,3	9,8	29,7	62,3
10	42,9	50,1	9,5	15,3	48,3	57,7
11	45,4	61,1	7,0	25,2	49,2	70,9
12	33,1	61,1	11,7	23,5	41,0	70,2
13	4,7	57,5	7,6	14,6	12,0	21,1
14	39,5	57,9	18,9	29,1	51,0	70,2
15	35,7	44,9	11,5	21,1	43,1	56,5
16	34,8	45,4	13,4	22,7	43,5	57,8
17	42,8	62,8	16,2	28,6	52,1	73,5
18	44,0	55,0	9,8	16,7	49,5	62,5
19	46,6	65,8	5,3	9,8	49,4	69,2
20	39,2	50,1	11,6	21,7	46,2	60,9
21	28,8	37,0	17,8	23,4	41,5	51,7
22	40,1	57,5	20,2	35,9	52,2	72,8
23	26,6	50,3	11,5	17,0	35,1	58,7
24	35,6	62,5	5,6	10,4	39,2	66,4
25	14,1	34,6	17,4	25,2	29,1	51,1
26	11,3	20,0	15,5	22,3	25,0	37,8
27	13,2	29,8	23,6	26,2	33,6	48,2
28	13,0	17,8	11,2	17,8	22,7	32,5
29	27,7	38,2	13,6	32,1	37,5	58,1
30	40,0	58,6	9,2	16,7	45,5	65,6
31	35,8	52,8	17,8	23,0	47,2	63,7
32	31,1	42,4	7,6	13,7	36,4	50,3

Tablo 4.6 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörün performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları

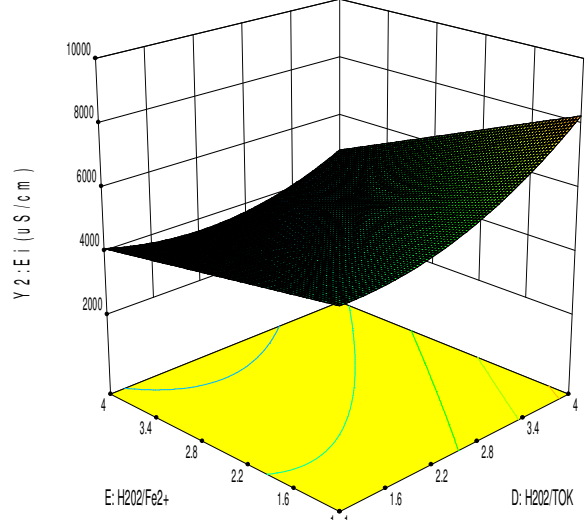
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	3823,39	6	637,23	21,63	< 0,0001
	A-t	681,05	1	681,05	23,12	< 0,0001
	B-T	532,48	1	532,48	18,07	0,0003
	C-pH	171,38	1	171,38	5,82	0,0235
	D-H ₂ O ₂ /TOK	2423,42	1	2423,42	82,26	< 0,0001
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	13,42	1	13,42	0,46	0,5059
	F-v _H	1,64	1	1,64	0,056	0,8155
	Artan değer	736,55	25	29,46		
	Toplam	4559,95	31			
KOI (%)	Model	5910,88	6	985,15	16,96	< 0,0001
	A-t	1271,81	1	1271,81	21,89	< 0,0001
	B-T	759,40	1	759,40	13,07	0,0013
	C-pH	390,51	1	390,51	6,72	0,0157
	D-H ₂ O ₂ /TOK	3097,20	1	3097,20	53,31	< 0,0001
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	192,42	1	192,42	3,31	0,0808
	F-v _H	199,55	1	199,55	3,43	0,0757
	Artan değer	1452,50	25	58,10		
	Toplam	7363,39	31			
pH (-)	Model	2,61	6	0,44	3,38	0,0141
	A-t	0,068	1	0,068	0,53	0,4730
	B-T	0,060	1	0,060	0,46	0,5026
	C-pH	0,40	1	0,40	3,11	0,0901
	D-H ₂ O ₂ /TOK	1,25	1	1,25	9,67	0,0046
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	0,83	1	0,83	6,40	0,0181
	F-v _H	0,012	1	0,012	0,091	0,7655
	Artan değer	3,22	25	0,13		
	Toplam	5,84	31			

Tablo 4.7 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksu6yunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörü için proses performans parametrelerine ait model denklemleri

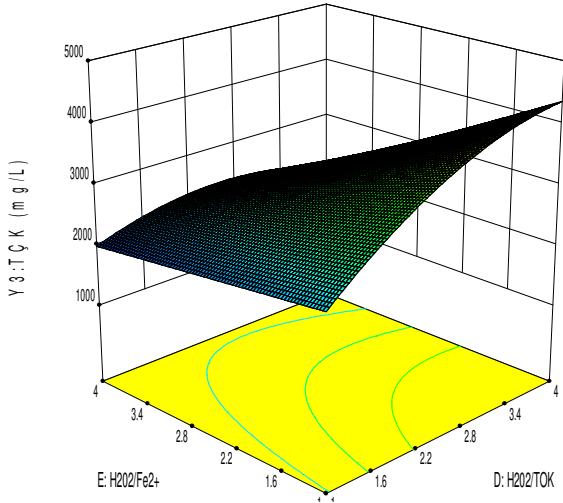
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II. Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$29,93 + 6,19 * A + 5,47 * B - 3,10 * C + 11,68 * D + 0,87 * E + 0,30 * F$ <p>(S = 5,43 ve $r^2 = 0,8385$)</p>	$22,84 + 1,52 * A + 5,84 * B - 2,18 * C + 13,31 * D - 0,47 * E + 0,73 * F + 2,72 * AB - 2,23 * AC + 2,47 * AD + 2,47 * AE - 4,19 * AF + 4,98 * BC + 5,13 * BD + 0,30 * BE - 1,81 * BF + 1,94 * CD - 11,26 * CE - 3,80 * CF - 1,78 * DE - 1,16 * DF + 1,18 * EF + 0,17 * A^2 + 10,01 * B^2 - 1,64 * C^2 + 4,23 * D^2$ <p>(S = 5,05 ve $r^2 = 0,9664$)</p>
KOİ (%)	$44,70 + 8,46 * A + 6,54 * B - 4,69 * C + 13,20 * D - 3,29 * E + 3,35 * F$ <p>(S = 7,62 ve $r^2 = 0,8027$)</p>	$54,34 + 21,55 * A + 9,66 * B - 3,73 * C + 13,51 * D - 4,28 * E + 3,27 * F + 0,51 * AB - 1,65 * AC + 3,98 * AD + 0,97 * AE + 2,77 * AF - 2,67 * BC + 7,31 * BD + 0,54 * BE + 1,29 * BF + 6,18 * CD + 14,71 * CE - 3,49 * CF + 2,56 * DE + 1,30 * DF + 1,02 * EF - 3,35 * A^2 - 1,28 * B^2 - 2,35 * C^2$ <p>(S = 6,43 ve $r^2 = 0,9663$)</p>
pH (%)	$2,62 - 0,057 * A - 0,047 * B + 0,18 * C - 0,23 * D + 0,29 * E + 0,027 * F$ <p>(S = 0,37 ve $r^2 = 0,4817$)</p>	$3,29 + 0,41 * A - 4,836E-003 * B + 0,062 * C - 0,10 * D + 0,30 * E + 0,085 * F + 0,21 * AB + 0,015 * AC + 0,14 * AD - 0,16 * AE - 0,16 * AF - 0,31 * BC + 0,14 * BD - 0,13 * BE + 0,12 * BF - 0,19 * CD + 0,62 * CE - 0,13 * CF + 0,20 * DE + 0,77 * DF - 0,10 * EF - 0,52 * A^2 - 0,78 * B^2 + 0,058 * C^2 + 0,043 * D^2$ <p>(S = 0,22 ve $r^2 = 0,9546$)</p>



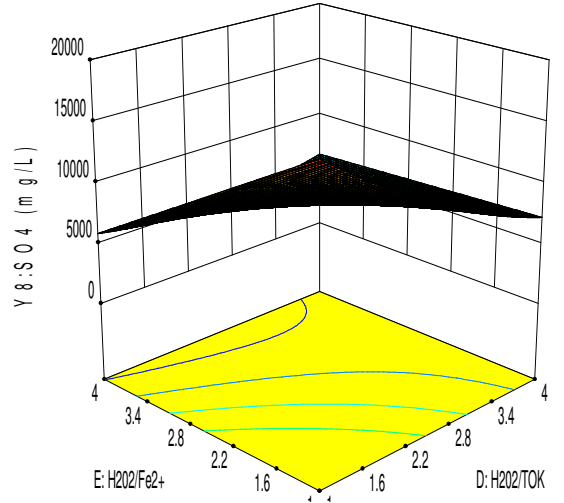
(a)



(b)

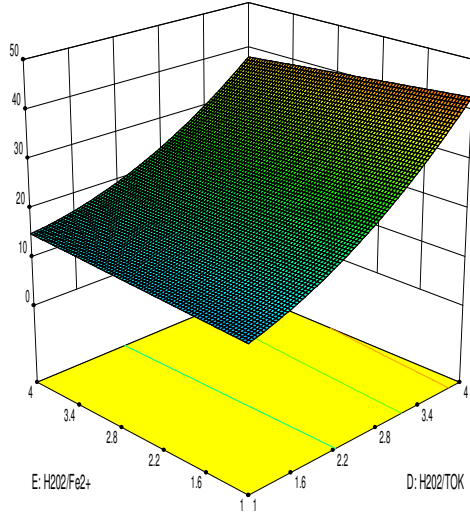


(c)

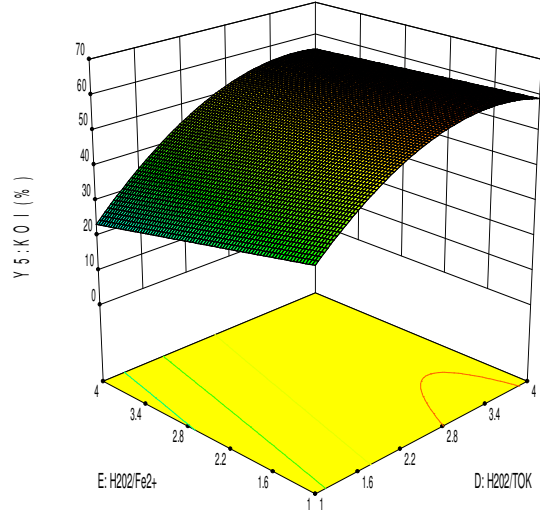


(d)

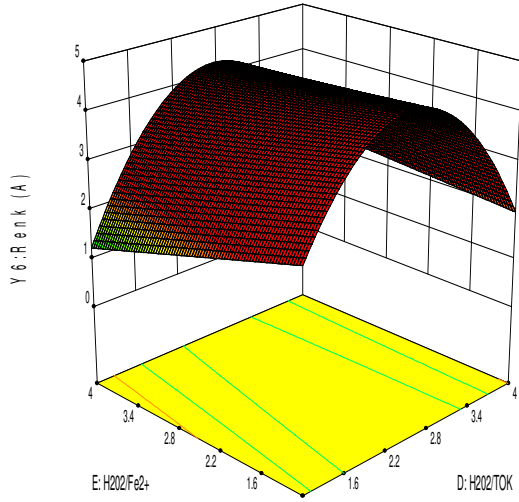
Şekil 4.11 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a), E_i (b), TÇK (c) ve SO_4^{2-} (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



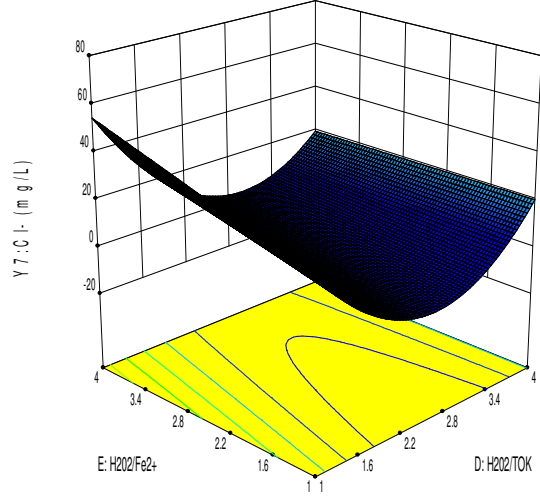
(a)



(b)



(c)



(d)

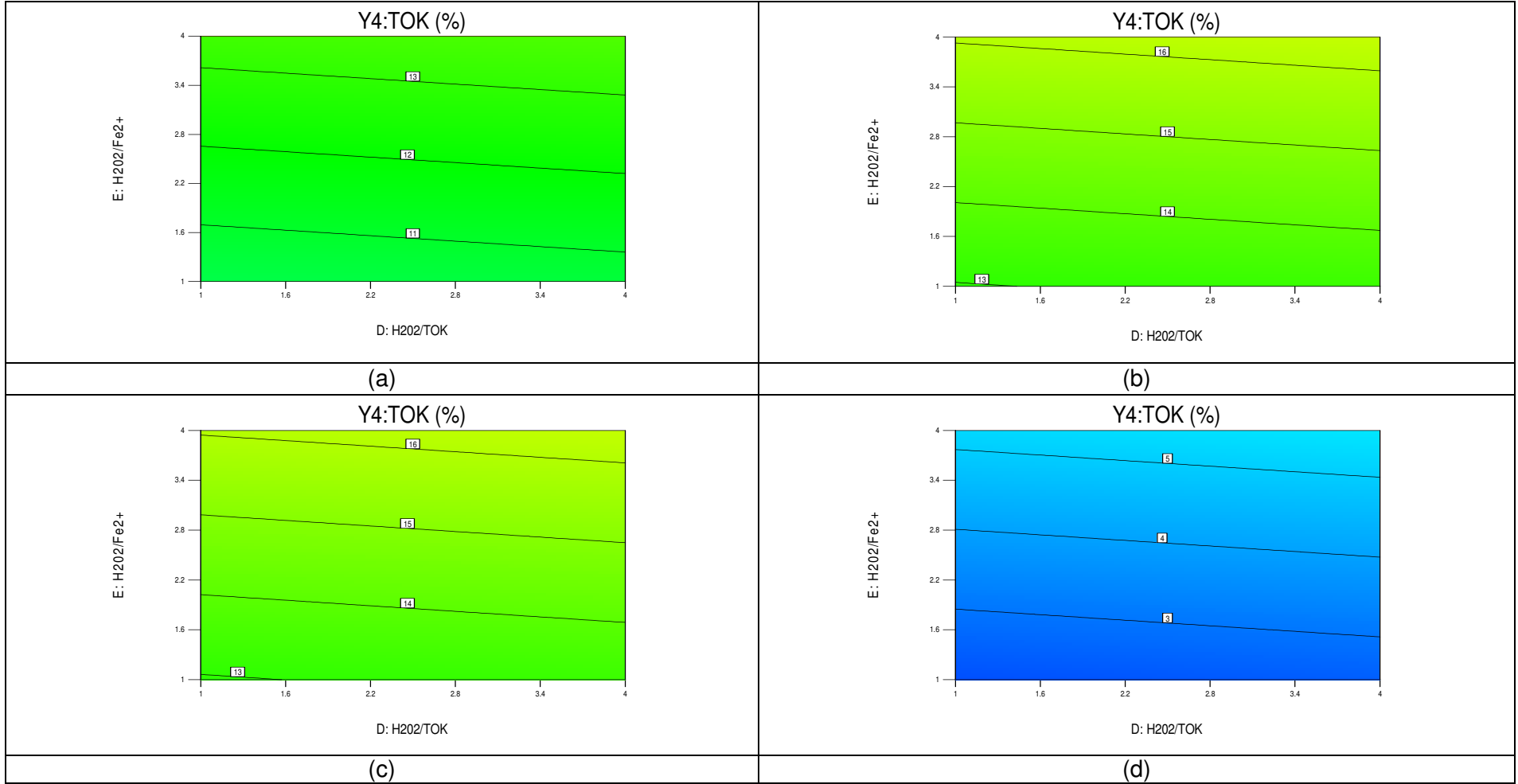
Şekil 4.12 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TOK (a), KOİ (b), renk (c) ve Cl^- (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)

Tablo 4.8 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları

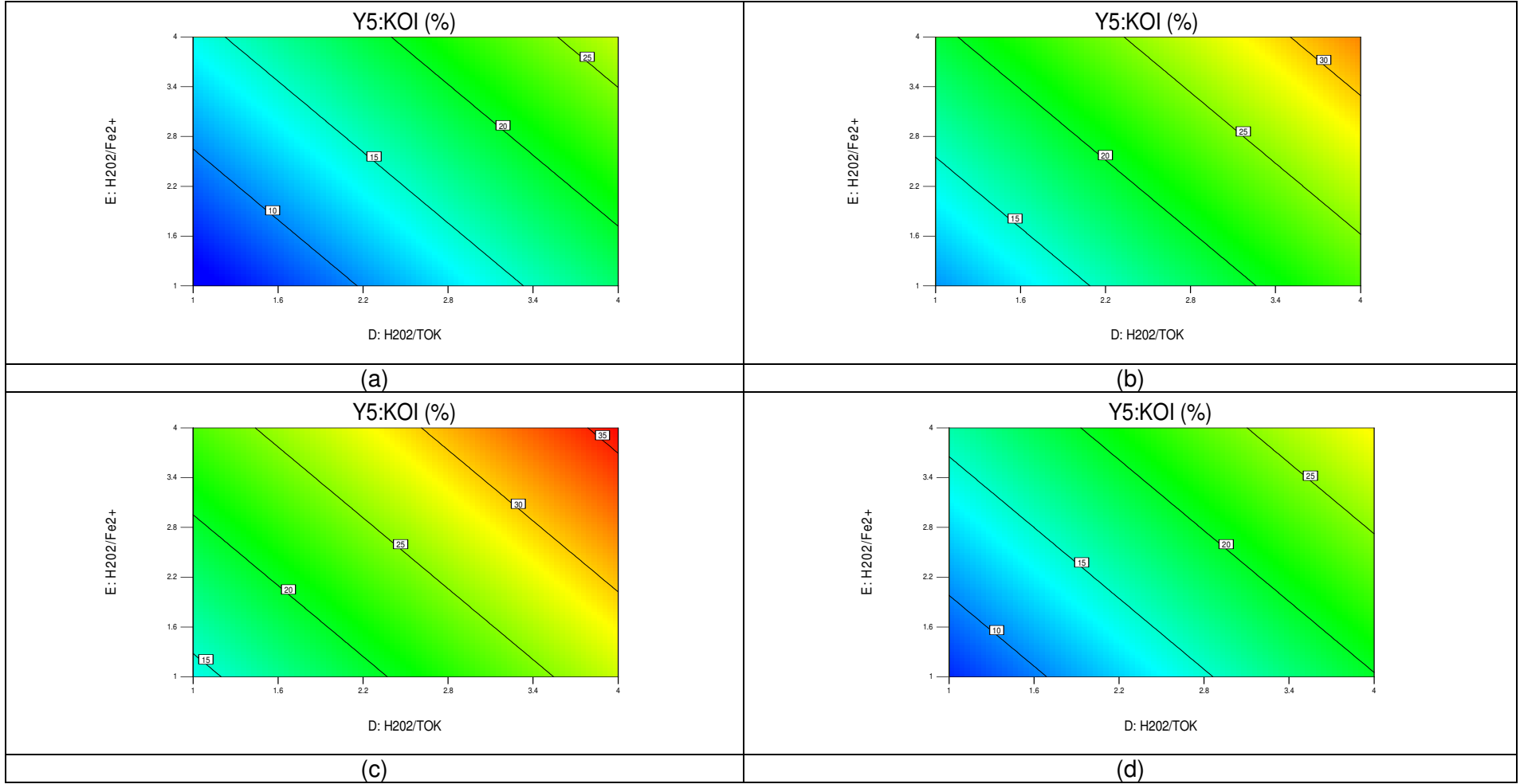
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	330,90	10	33,09	1,13	0,3868
	A-t	10,71	1	10,71	0,37	0,5518
	B-T	11,86	1	11,86	0,40	0,5314
	C-pH	3,88	1	3,88	0,13	0,7194
	D-H ₂ O ₂ /TOK	3,32	1	3,32	0,11	0,7398
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	38,46	1	38,46	1,31	0,2647
	F-ν _H	6,77	1	6,77	0,23	0,6357
	G-ν _{SÇ}	1,11	1	1,11	0,038	0,8478
	H-M _T	254,80	3	84,93	2,90	0,0590
	Artan değer	614,94	21	29,28		
	Toplam	945,84	31			
KOİ (%)	Model	431,41	10	43,14	0,73	0,6888
	A-t	51,60	1	51,60	0,87	0,3606
	B-T	2,66	1	2,66	0,045	0,8340
	C-pH	26,46	1	26,46	0,45	0,5106
	D-H ₂ O ₂ /TOK	24,78	1	24,78	0,42	0,5242
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	71,92	1	71,92	1,22	0,2823
	F-ν _H	0,067	1	0,067	0,00114	0,9734
	G-ν _{SÇ}	1,89	1	1,89	0,032	0,8596
	H-M _T	252,03	3	84,01	1,42	0,2644
	Artan değer	1240,49	21	59,07		
	Toplam	1671,90	31			
J (L/m ² .sa)	Model	11765,25	10	1176,52	6,79	0,0001
	A-t	61,11	1	61,11	0,35	0,5589
	B-T	640,08	1	640,08	3,69	0,0683
	C-pH	8,73	1	8,73	0,050	0,8245
	D-H ₂ O ₂ /TOK	730,94	1	730,94	4,22	0,0526
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	2983,39	1	2983,39	17,22	0,0005
	F-ν _H	711,58	1	711,58	4,11	0,0556
	G-ν _{SÇ}	1648,78	1	1648,78	9,52	0,0056
	H-M _T	4980,63	3	1660,21	9,58	0,0003
	Artan değer	3638,28	21	173,25		
	Toplam	15403,52	31			

Tablo 4.9 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametrelerine ait model denklemleri

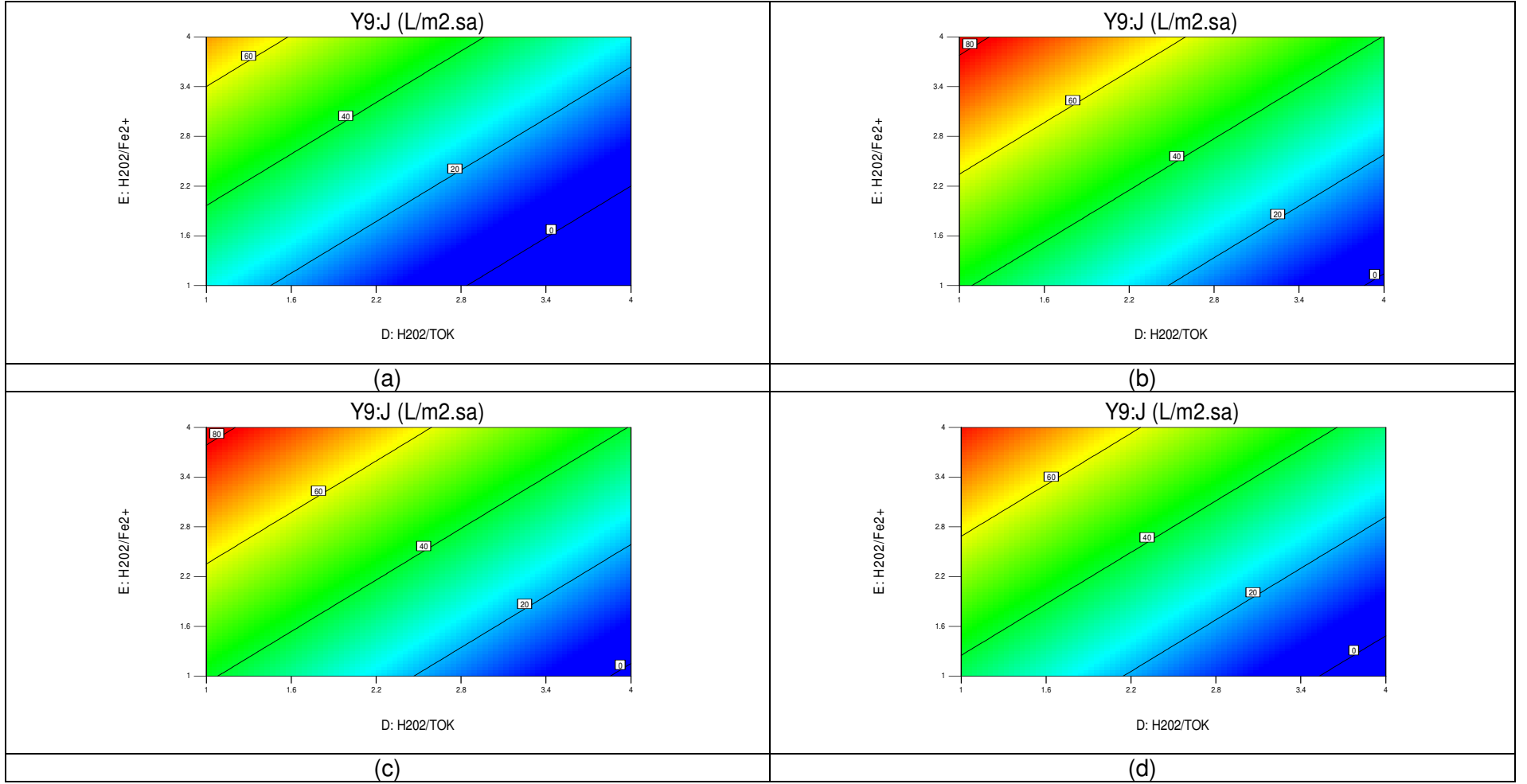
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II. Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$11,31 - 0,78 * A - 0,82 * B + 0,47 * C - 0,43 * D - 1,47 * E + 0,62 * F + 0,25 * G - 3,00 * H[1] - 1,77 * H[2] + 4,42 * H[3]$ <p style="text-align: center;">(S = 5,41 ve $r^2 = 0,3498$)</p>	$11,31 + 3,38 * A - 5,76 * B + 1,20 * C + 0,17 * D + 1,56 * E + 1,95 * F + 0,064 * G + 0,71 * H[1] + 3,38 * H[2] + 3,37 * H[3] + 0,49 * AB - 0,35 * AC - 5,76 * AD - 2,43 * AE - 7,09 * AF + 4,26 * AG - 6,37 * AH[1] + 4,81 * AH[2] + 0,15 * AH[3] + 2,25 * BC + 0,63 * BD + 6,96 * BE - 0,57 * BF - 0,39 * BG - 7,34 * BH[1] + 10,00 * BH[2] - 9,90 * CD + 7,67 * CE - 4,62 * CF - 0,51 * CH[1] - 0,79 * CH[2]$ <p style="text-align: center;">(S = 0 ve $r^2 = 1$)</p>
KOİ (%)	$20,04 - 1,70 * A - 0,39 * B - 1,22 * C + 1,18 * D - 2,01 * E + 0,061 * F - 0,33 * G - 3,56 * H[1] - 1,92 * H[2] + 3,01 * H[3]$ <p style="text-align: center;">(S = 7,69 ve $r^2 = 0,2580$)</p>	$20,04 + 5,75 * A - 2,19 * B - 0,13 * C + 6,39 * D + 4,49 * E + 8,03 * F + 1,03 * G - 4,09 * H[1] + 1,20 * H[2] + 5,00 * H[3] + 4,46 * AB + 4,75 * AC - 2,49 * AD - 2,45 * AE - 1,66 * AF + 4,83 * AG - 13,74 * AH[1] + 1,07 * AH[2] + 2,96 * AH[3] + 5,62 * BC + 7,47 * BD + 5,87 * BE + 0,33 * BF - 2,90 * BG - 7,25 * BH[1] + 7,45 * BH[2] - 10,36 * CD + 6,25 * CE - 3,62 * CF + 7,01 * CH[1] - 2,54 * CH[2]$ <p style="text-align: center;">(S = 0 ve $r^2 = 1$)</p>
J (L/m ² -sa)	$35,63 - 1,85 * A - 6,00 * B + 0,70 * C - 6,41 * D + 12,95 * E - 6,33 * F - 9,63 * G - 19,45 * H[1] - 2,13 * H[2] + 8,93 * H[3]$ <p style="text-align: center;">(S = 13,16 ve $r^2 = 0,7638$)</p>	$35,63 - 25,86 * A - 6,11 * B - 2,83 * C - 21,64 * D + 20,88 * E + 7,81 * F - 3,22 * G - 9,82 * H[1] + 4,90 * H[2] + 4,78 * H[3] - 46,54 * AB + 15,53 * AC - 8,77 * AD - 5,15 * AE - 14,36 * AF + 3,81 * AG - 32,37 * AH[1] - 31,12 * AH[2] + 41,60 * AH[3] + 7,64 * BC - 53,86 * BD - 1,15 * BE - 14,90 * BF + 31,84 * BG + 18,29 * BH[1] + 2,28 * BH[2] - 2,97 * CD + 18,40 * CE - 22,47 * CF - 35,42 * CH[1] + 42,38 * CH[2]$ <p style="text-align: center;">(S = 0 ve $r^2 = 1$)</p>



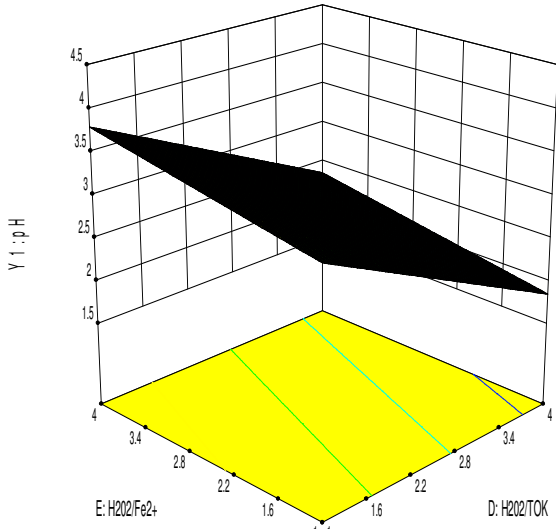
Şekil 4.13 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre TOK giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, vH ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



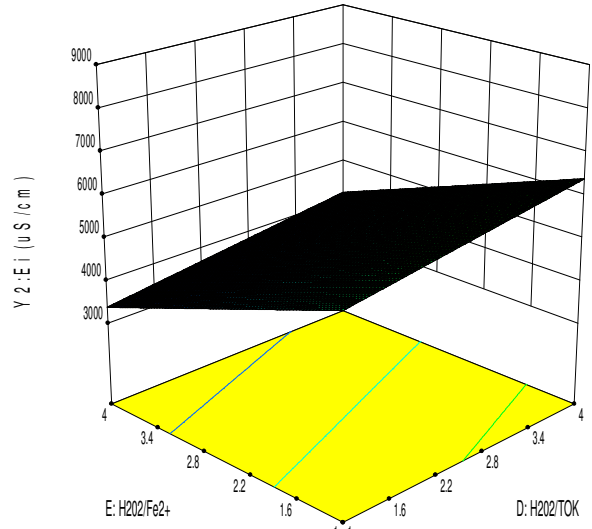
Şekil 4.14 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre KOİ giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, vH ve v_{SÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



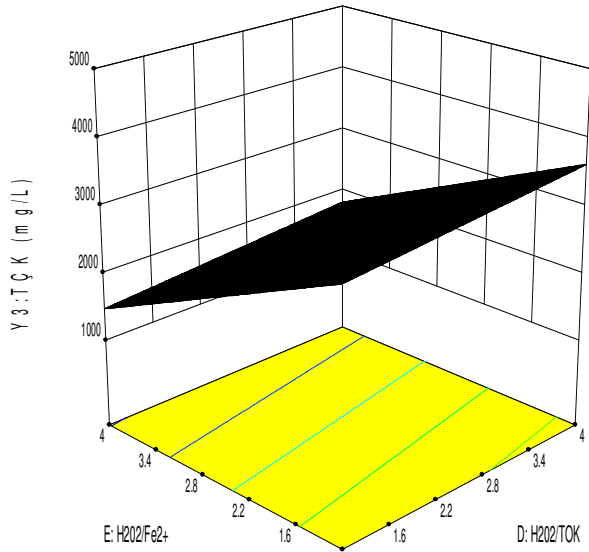
Şekil 4.15 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre süzütü akısı (J, L/m².sa) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, vH ve v_{SÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



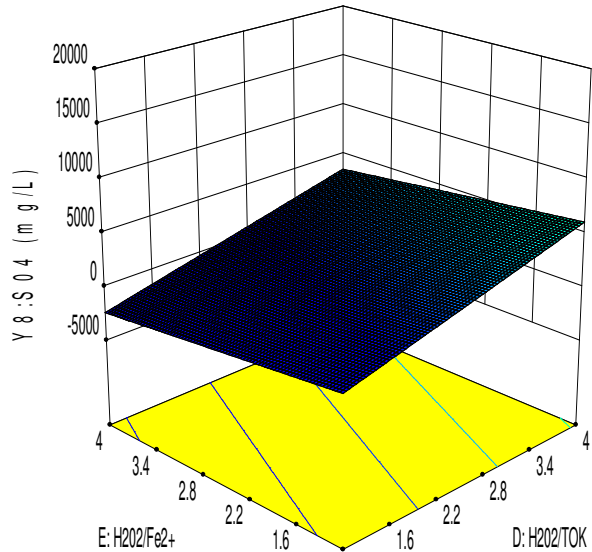
(a)



(b)

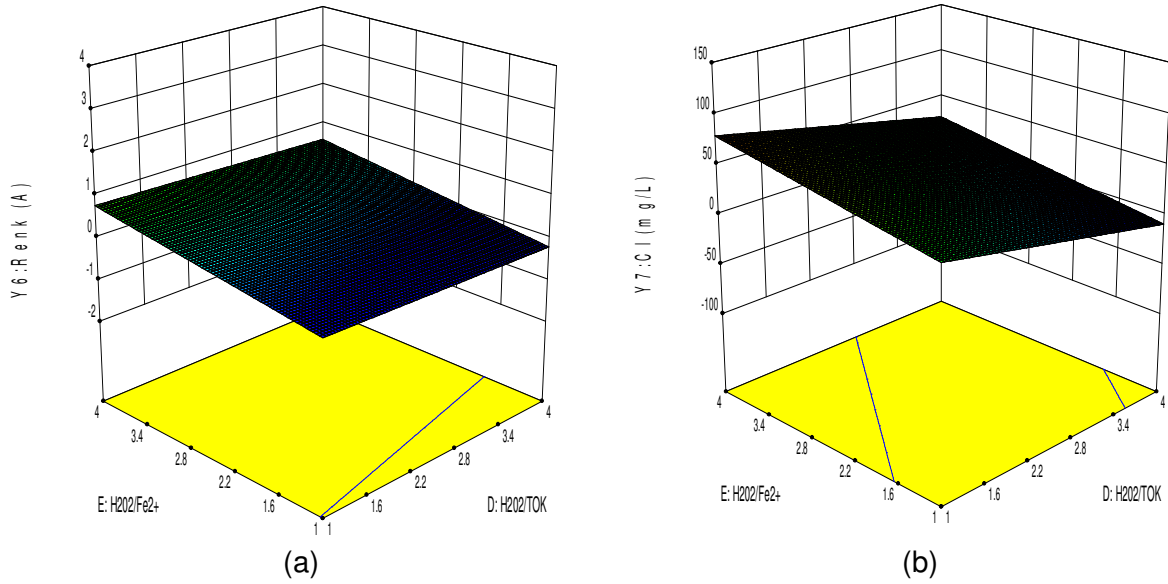


(c)



(d)

Şekil 4.16 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesinde UH050 membranı için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a), E_i (b), TÇK (c) ve SO_4^{2-} (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.17 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesinde UH050 membranı için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)

– Fenton/batık UF hibrit prosesinin deneysel performansı

İOP/batık UF hibrit reaktör sisteminde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında, TOK, KOİ ve süzüntü akısı (J) performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.10'da; I. derece lineer ve II. derece lineer olmayan modeller bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 4.11'de sunulmuştur. Tablo 4.10 için F istatistik ve P olasılık değerleri model ve değişkenlerin önem seviyesini belirtmekte; $P > F$ değeri için 0.05'ten küçük olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri "Önemli", 0.1'den büyük olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri ise "Önemsiz" olarak değerlendirilmektedir. Tablo 4.11'de I. derece lineer model için verilen $P > F$ değerlerine bakıldığında, batık UF proseste TOK, KOİ ve J performans parametrelerinin lineer modele göre önemli düzeyde bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. TOK parametresinde, H_2O_2 miktarı başta olmak üzere sırasıyla zaman ve sıcaklığın; KOİ parametresinde, yine H_2O_2 miktarı başta olmak üzere UF prosesinde etkili parametreler olan

membrandan su çekim hızı ve membran türü hariç diğer tüm parametrelerin önemli etkilerinin olduğu görülmüştür. UF süzüntü akısı için önemli parametrelerin, membran türü, H_2O_2 miktarı ve membrandan su çekim hızı ile kısmen İOP reaktörü havalandırma hızı ve sıcaklık olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, organik giderim veriminin esasen H_2O_2 miktarı, zaman ve sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu; UF membran su akısının ise membran türü, İOP reaktöre ilave edilen H_2O_2 miktarı ve membrandan su çekim hızına bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4.11'e göre, II. derece lineer olmayan modellerin, birebir ilişki düzeyinde sıfır standard sapma ($S=0$) ve tam korelasyon ($r^2=1.0$) değerleri veriyor olmasından hareketle; İOP/batık UF hibrit sistem için tüm ana performans parametrelerinin, lineer ve iç etkileşimli model terimlerine dayalı olarak tahmin edilebilir olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. İOP/batık UF hibrit sistemde, her bir membran türü için H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametreleri ile TOK, KOİ ve süzüntü akısı değişimleri sırasıyla Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20'de verilmiştir. UF proses çıkış suyu, İOP/batık UF hibrit sistemde arıtılmış çıkış suyuna tekabül ettiğinden, pH, E_i , TÇK, SO_4^{2-} , renk ve Cl^- parametreleri için performans değişimleri, UF proses için daha önce verildiğinden, hibrit sistem için tekraren gösterilmemiştir.

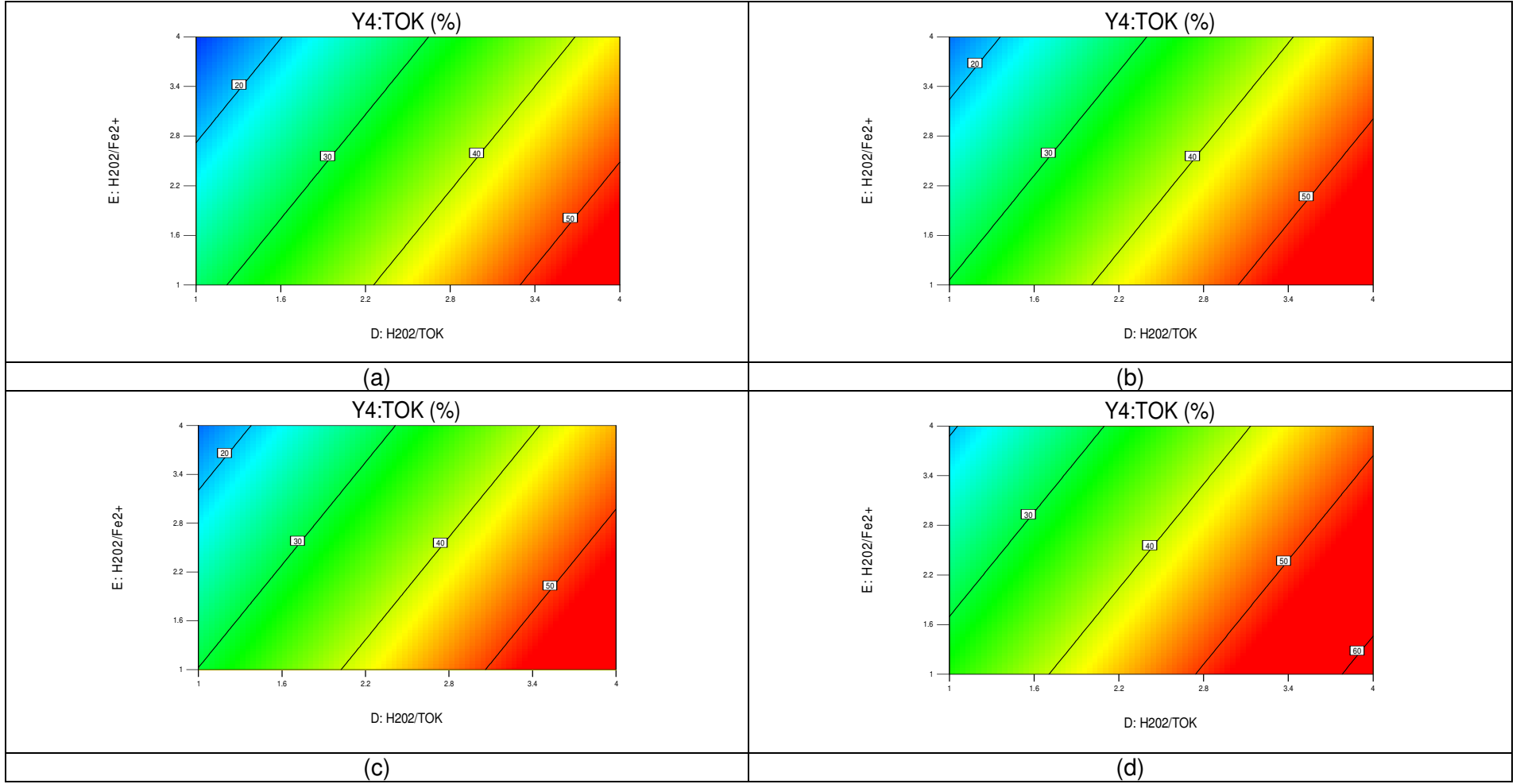
İOP/batık UF hibrit sistemde, organik madde giderim verimleri, arıtılmış çıkış suyu kalitesinin deney başlangıcında reaktör içerisindeki atıksuyun kalitesine göre ölçülendirilmesi üzerinden belirlenmiştir. Hibrit sistemde H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları arttıkça (H_2O_2/Fe^{2+} azaldıkça), TOK ve KOİ verimleri artmakta; H_2O_2 'deki artışın organik giderim etkinliği üzerine katkısı daha fazla olarak gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra, H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları arttıkça, her iki giriş parametresi için yaklaşık aynı mertebelerde olmak üzere, UF membran süzüntü akısının azaldığı görülmektedir. Diğer giriş değişkenlerinin ortalama değerleri için verilen değişimlere göre, 2 ve 3 numaralı UP020 ve UH050 membranları yaklaşık aynı seviyelerde olmak üzere en yüksek organik madde giderim verimine ve süzüntü akısı eldesine imkân sağlamaktadır.

Tablo 4.10 İOP/batik UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için lineer modelin (Model I) ANOVA analiz sonuçları

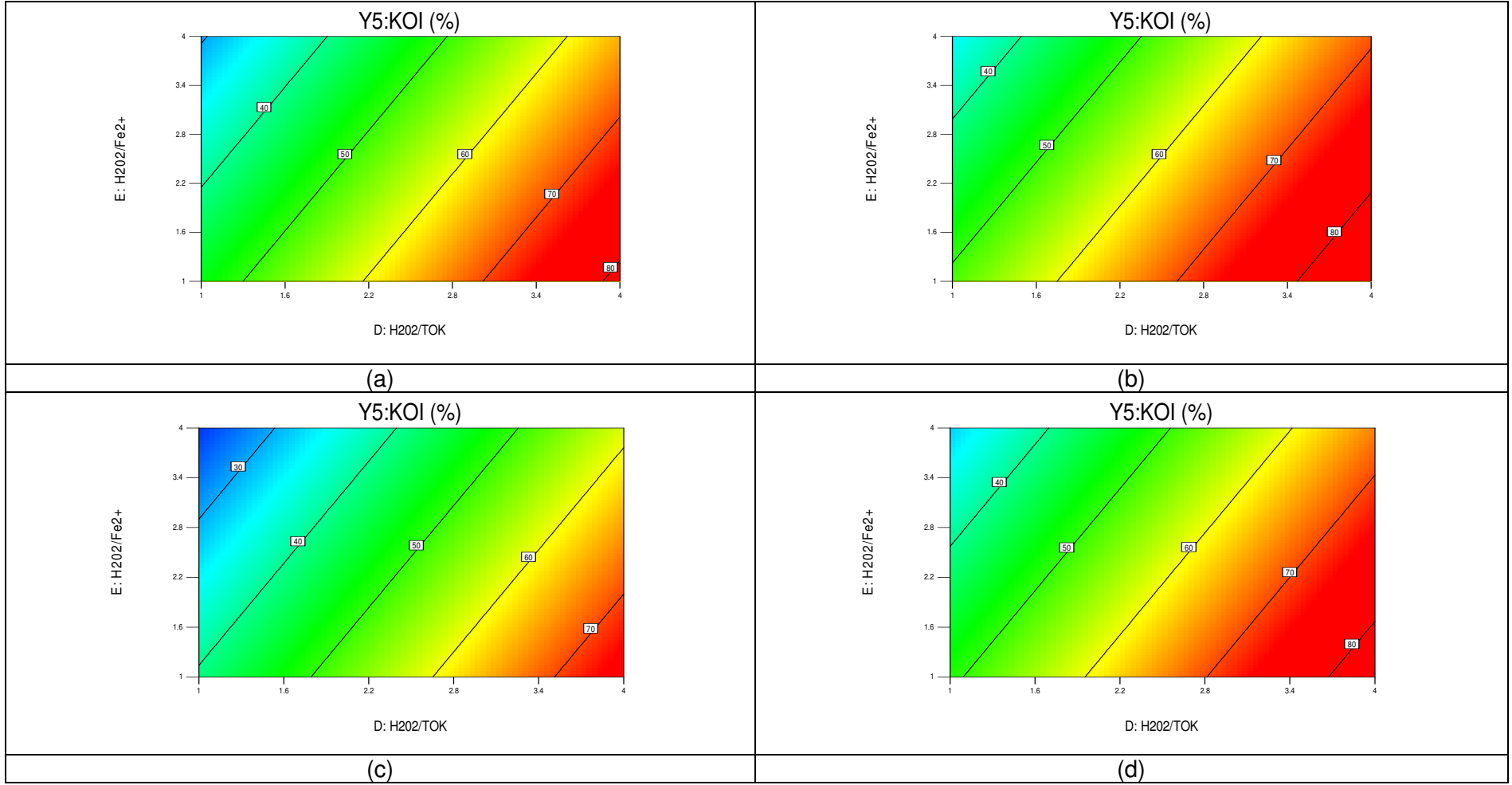
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	2888,56	10	288,86	7,80	< 0,0001
	A-t	455,33	1	455,33	12,30	0,0021
	B-T	321,36	1	321,36	8,68	0,0077
	C-pH	99,77	1	99,77	2,70	0,1155
	D-H ₂ O ₂ /TOK	1749,75	1	1749,75	47,27	< 0,0001
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	1,05	1	1,05	0,28	0,8680
	F-v _H	17,63	1	17,63	0,48	0,4977
	G-v _{ŞÇ}	2,12	1	2,12	0,057	0,8131
	H-M _T	241,54	3	80,51	2,18	0,1211
	Artan değer	777,32	21	37,02		
	Toplam	3665,88	31			
KOİ (%)	Model	4218,70	10	421,87	8,74	< 0,0001
	A-t	706,08	1	706,08	14,63	0,0010
	B-T	439,10	1	439,10	9,10	0,0066
	C-pH	361,84	1	361,84	7,50	0,0123
	D-H ₂ O ₂ /TOK	2225,08	1	2225,08	46,11	< 0,0001
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	264,46	1	264,46	5,48	0,0292
	F-v _H	170,87	1	170,87	3,54	0,0738
	G-v _{ŞÇ}	10,06	1	10,06	0,21	0,6527
	H-M _T	41,21	3	13,74	0,28	0,8359
	Artan değer	1013,46	21	48,26		
	Toplam	5232,16	31			
J (L/m ² .sa)	Model	11765,25	10	1176,52	6,79	0,0001
	A-t	61,11	1	61,11	0,35	0,5589
	B-T	640,08	1	640,08	3,69	0,0683
	C-pH	8,73	1	8,73	0,50	0,8245
	D-H ₂ O ₂ /TOK	730,94	1	730,94	4,22	0,0526
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	2983,39	1	2983,39	17,22	0,0005
	F-v _H	711,58	1	711,58	4,11	0,0556
	G-v _{ŞÇ}	1648,78	1	1648,78	9,52	0,0056
	H-M _T	4980,63	3	1660,21	9,58	0,0003
	Artan değer	3638,28	21	173,25		
	Toplam	15403,52	31			

Tablo 4.11 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için model denklemleri

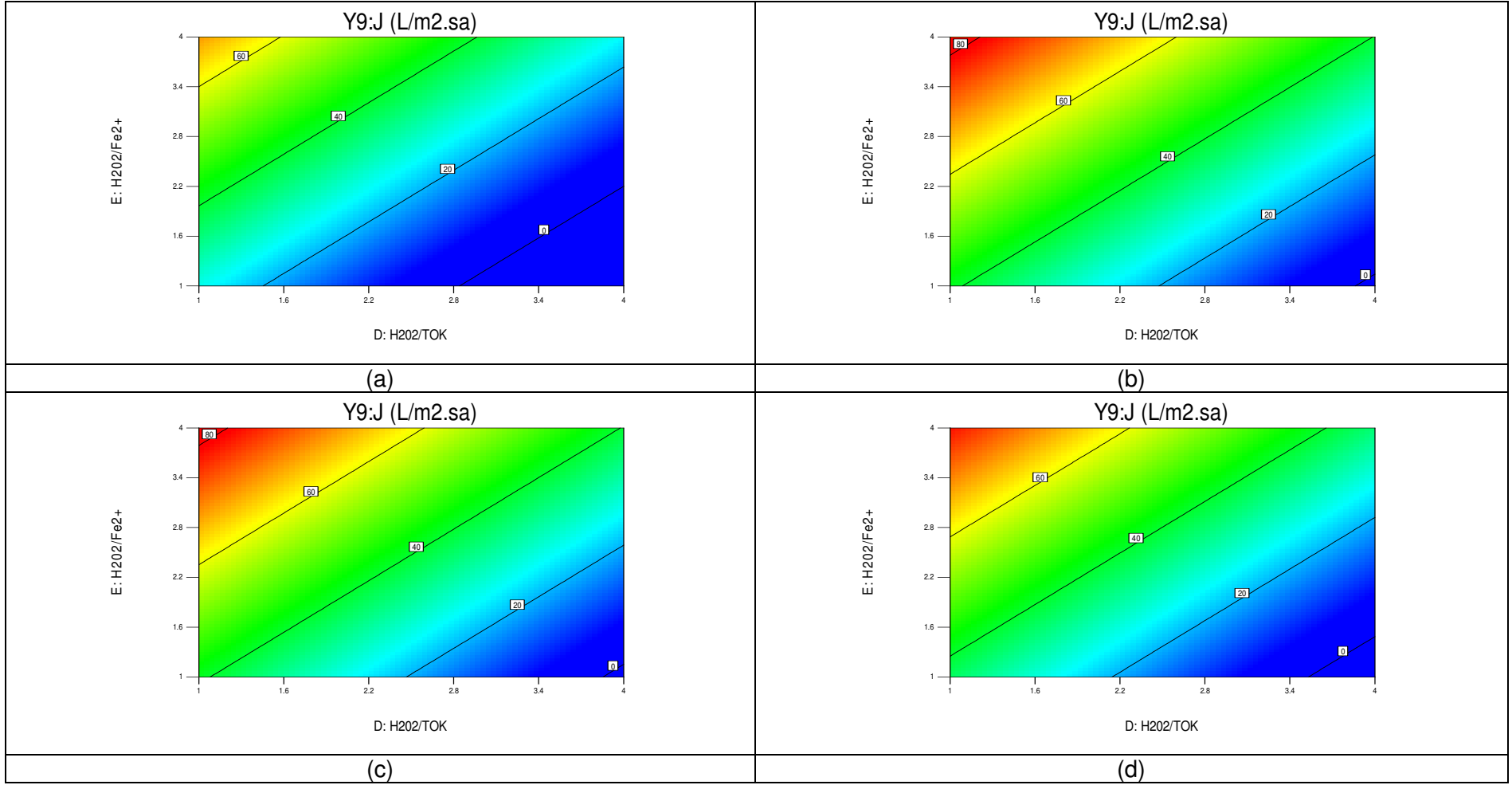
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II, Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$37,95 + 5,06 * A + 4,25 * B - 2,37 * C + 9,92 * D - 0,24 * E + 1,00 * F - 0,35 * G - 2,48 * H[1] - 2,99 * H[2] + 2,49 * H[3]$ <p style="text-align: center;">(S = 6,08 ve $r^2 = 0,7880$)</p>	$37,95 + 14,40 * A + 0,25 * B + 3,08 * C + 14,46 * D - 6,88 * E - 4,17 * F - 4,34 * G - 2,49 * H[1] - 0,088 * H[2] - 0,25 * H[3] + 13,39 * AB - 12,15 * AC - 1,72 * AD + 7,39 * AE - 2,40 * AF + 1,56 * AG + 11,09 * AH[1] + 6,38 * AH[2] - 9,76 * AH[3] + 3,65 * BC + 16,68 * BD - 3,28 * BE + 1,69 * BF - 13,16 * BG - 6,56 * BH[1] + 4,61 * BH[2] + 3,43 * CD - 0,23 * CE + 5,83 * CF + 10,14 * CH[1] - 12,70 * CH[2]$ <p style="text-align: center;">(S = 0 ve $r^2 = 1$)</p>
KOİ (%)	$55,81 + 6,30 * A + 4,97 * B - 4,51 * C + 11,19 * D - 3,86 * E + 3,10 * F - 0,75 * G + 0,21 * H[1] + 1,57 * H[2] - 1,62 * H[3]$ <p style="text-align: center;">(S = 6,95 ve $r^2 = 0,8063$)</p>	$55,81 + 19,62 * A + 1,91 * B + 3,98 * C + 17,44 * D - 8,51 * E - 1,23 * F - 4,80 * G - 0,35 * H[1] + 4,41 * H[2] - 6,09 * H[3] + 16,72 * AB - 11,82 * AC + 2,33 * AD + 13,18 * AE - 3,73 * AF - 2,56 * AG + 10,68 * AH[1] + 8,20 * AH[2] - 14,06 * AH[3] + 3,04 * BC + 29,53 * BD - 6,71 * BE + 0,28 * BF - 23,43 * BG - 12,80 * BH[1] + 8,83 * BH[2] + 9,97 * CD - 5,45 * CE + 14,46 * CF + 16,49 * CH[1] - 15,60 * CH[2]$ <p style="text-align: center;">(S = 0 ve $r^2 = 1$)</p>
J (L/m ² -sa)	$35,63 - 1,85 * A - 6,00 * B + 0,70 * C - 6,41 * D + 12,95 * E - 6,33 * F - 9,63 * G - 19,45 * H[1] - 2,13 * H[2] + 8,93 * H[3]$ <p style="text-align: center;">(S = 13,16 ve $r^2 = 0,7638$)</p>	$35,63 - 25,86 * A - 6,11 * B - 2,83 * C - 21,64 * D + 20,88 * E + 7,81 * F - 3,22 * G - 9,82 * H[1] + 4,90 * H[2] + 4,78 * H[3] - 46,54 * AB + 15,53 * AC - 8,77 * AD - 5,15 * AE - 14,36 * AF + 3,81 * AG - 32,37 * AH[1] - 31,12 * AH[2] + 41,60 * AH[3] + 7,64 * BC - 53,86 * BD - 1,15 * BE - 14,90 * BF + 31,84 * BG + 18,29 * BH[1] + 2,28 * BH[2] - 2,97 * CD + 18,40 * CE - 22,47 * CF - 35,42 * CH[1] + 42,38 * CH[2]$ <p style="text-align: center;">(S = 0 ve $r^2 = 1$)</p>



Şekil 4.18 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre TOK giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, vH ve v_{ŞÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.19 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre KOİ giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, vH ve v_{SÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.20 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre süzüntü akısı (J, L/m².sa) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t, T, pH, vH ve v_{ŞÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)

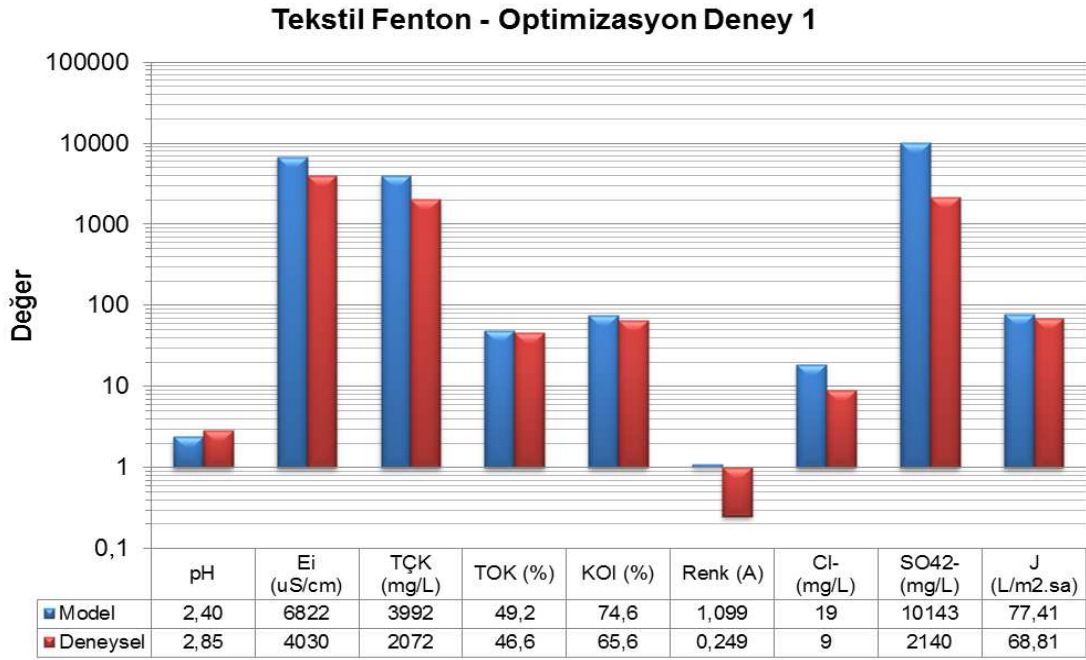
– Fenton/batık UF hibrit proses performansının optimizasyonu

İOP/batık UF hibrit sistemde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum proses işletme şartlarının belirlenmesinde, hidrojen peroksit hariç diğer giriş değişkenlerinin her biri, deneysel sonuçları elde edilmiş kendi değer aralıklarında seçilmiş; H₂O₂/TOK oranı ise, sürekli işletimde maliyet unsurunun asgariye indirilmesi hedefi gözetilerek minimize edilmiştir. Prosesin etkinliğinde önemli sonuç parametreleri olan **TOK, KOI ve J** parametreleri için sırasıyla **%55, %75 ve 80 L/m².sa** hedef değerlerine ulaşılmasının arzu edildiği amaç doğrultusunda, yazılım aracılığıyla 2 farklı optimum işletme şartı seçilerek belirlenmiştir. Tespit edilen 2 farklı optimum şart için hibrit prosesin deneysel işletimleri yerine getirilerek, çıkarımı yapılmış lineer olmayan ilişki denklemlerinin doğrulaması yapılmış ve deneysel tasarımın proses performansını tahmin etmedeki yetkinliği ortaya çıkarılmıştır. Seçilen iki farklı optimum işletme şartı için giriş değişkenlerinin kodlanmış ve gerçek değerleri Tablo 4.12’de sunulmuştur. Optimum şartlarda yürütülen deneyler, hibrit proses çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu 0-50 mg/L oluncaya dek sürdürülmüştür. Optimum işletme şartlarındaki deneysel performanslar, OD1 ve OD2 için sırasıyla Şekil 4.21 ve 4.22’de; hibrit sistemde TOK ve KOI giderim verimlerinin zamana karşı değişimleri de, çıkış suyuyla kaybedilen H₂O₂ ile birlikte, sırasıyla Şekil 4.23 ve 4.24’de gösterilmiştir.

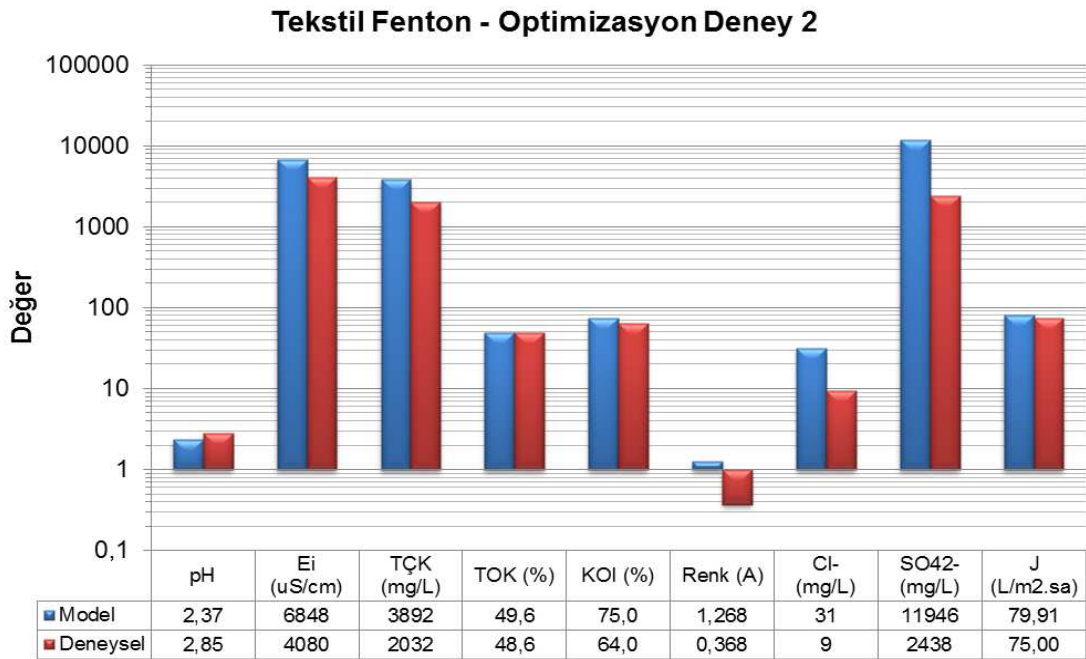
Tablo 4.12 İOP/batık UF hibrit sistemde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımı için belirlenmiş optimum proses işletme şartları

Giriş Değişkeni	Parametre	Açıklaması	Birim	Optimum işletme şartları			
				Kodlanmış değerler		Gerçek değerler	
				*OD1	*OD2	*OD1	*OD2
A	t	zaman	dak	4,00	4,00	60,0	60,0
B	T	sıcaklık	°C	1,30	1,00	26,5	25,0
C	pH	pH	–	1,73	1,75	3,73	3,75
D	H ₂ O ₂ /TOK	H ₂ O ₂ /TOK oranı	g/g	1,00	1,55	6,0	10,4
E	H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ oranı	g/g	4,00	3,96	15,0	14,8
F	v_H	İOP reaktörü havalandırma hızı	L/dk	1,79	2,12	1,8	2,1
G	$v_{sç}$	UF membranda su çekim hızı	rpm	2,65	3,13	80,0	87,0
H	M_T	Membran türü	–	3	3	UH050	UH050

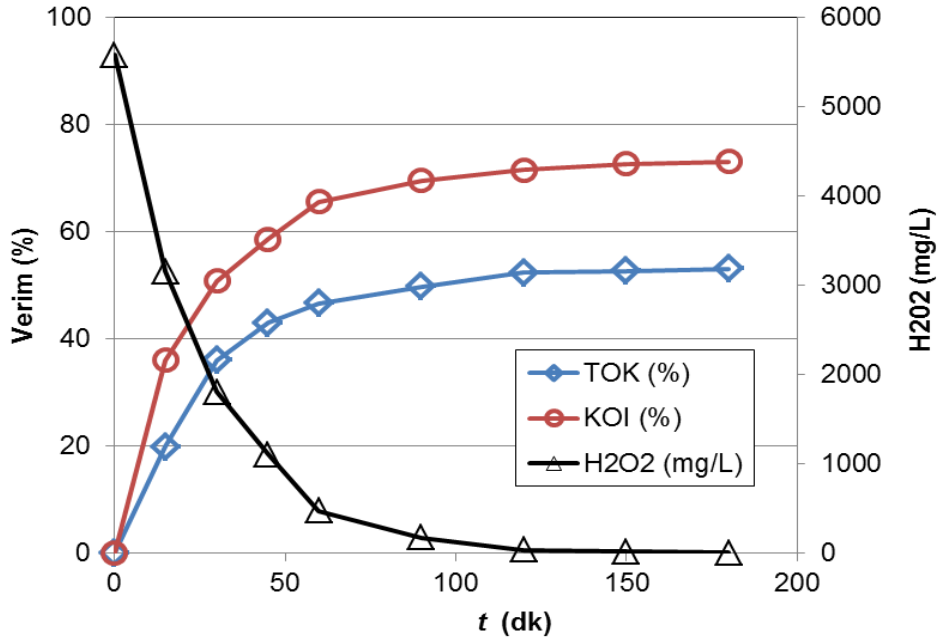
* OD kısaltması “*Optimizasyon Deneyi*” terimini ifade etmekte olup, OD1 ve OD2 için optimum şartların arzu edilebilirlikleri (desirabilities) sırasıyla 0.954 ve 0.919’dur.



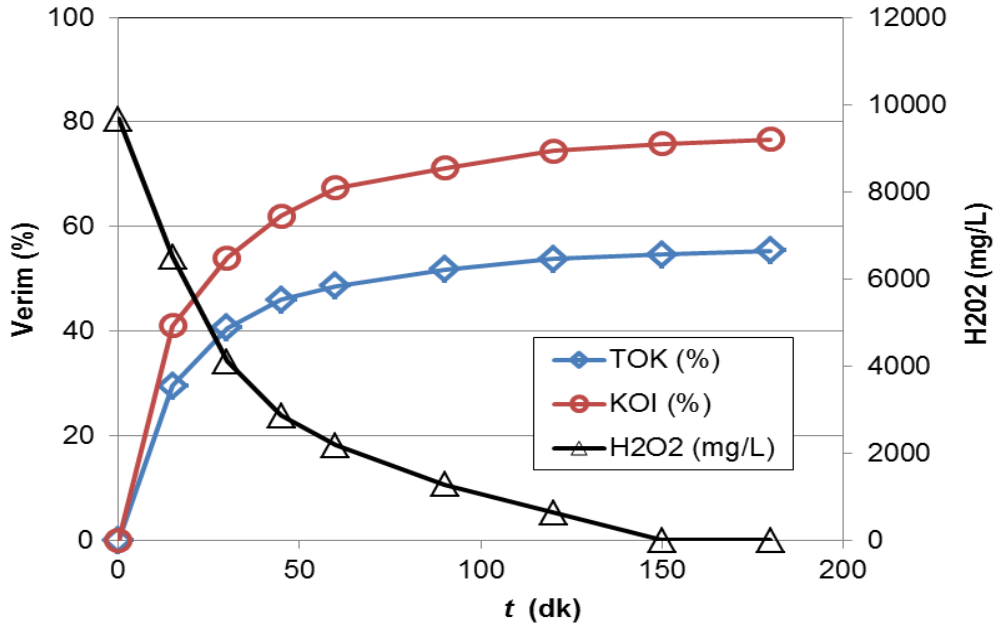
Şekil 4.21 İOP/batik UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için model ve deneysel performans sonuçları



Şekil 4.22 İOP/batik UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için model ve deneysel performans sonuçları



Şekil 4.23 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu



Şekil 4.24 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu

Optimizasyon deneyleri neticesinde, 3,73-3,75 başlangıç atıksu pH'sında ve minimum H₂O₂ ve Fe²⁺ miktarlarında (atıksuyun 1000 mg TOK/L değeri için 6000 mg H₂O₂/L ve 400 mg Fe²⁺/L ilavesi) 60 dakikalık işletimle, yaklaşık %50 TOK ve %65 KOİ giderim verimleri elde edilebildiği görülmüştür. Organik madde giderim verimleri açısından kabul edilebilir hata seviyelerinde model tahminleri gerçekleştirilmiş olmakla birlikte; inorganik parametrelere ait model tahmin değerlerinin, deneysel ölçülmüş değerlerden biraz yüksek seviyelerde olduğu gözlenmiştir. Bu durumun, hibrit sistemin inorganik gideriminde herhangi bir etkinliğinin olmamasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

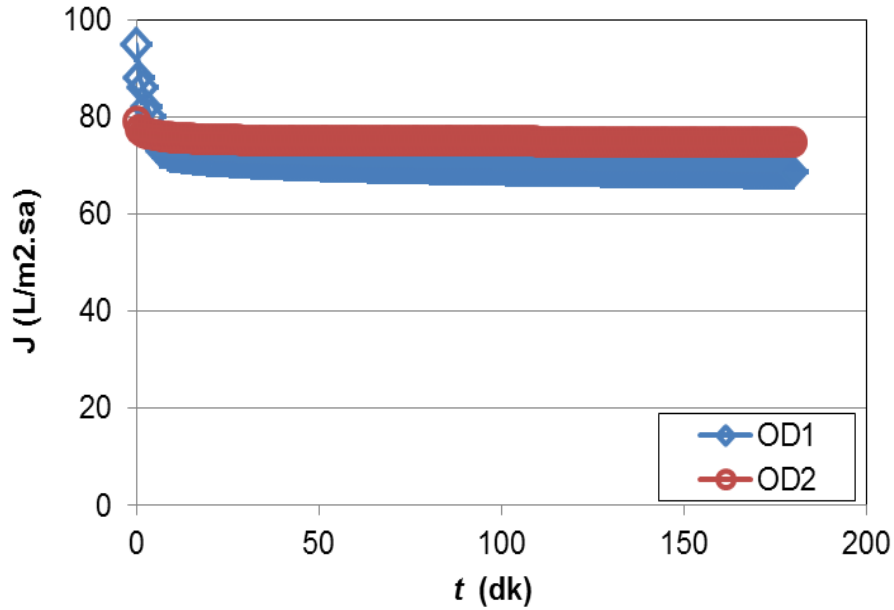
Şekil 4.23 ve 4.24'e göre, hibrit arıtım uygulaması neticesinde, 60 dakika sonunda tahmin edilene yakın düzeylerde organik madde gideriminin gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Her ne kadar 60 dk'dan 180 dk'ya kadar organik madde gideriminde bir miktar daha artış gözlenmişse de; bir yandan tüketime bağlı reaktör içerisindeki H₂O₂ miktarının zamanla sıfır noktasına azaldığı, bu sebeple de reaktör içerisinde azalan H₂O₂ miktarına bağlı olarak Fenton prosesi etkinliğinde düşme meydana geldiği görülmüştür. Membrandan H₂O₂ kaçışının önlenerek, bir yandan reaktör içerisindeki Fenton etkinliğinin sürdürülmesi, diğer yandan kimyasal sarfiyatının azaltılması sayesinde hibrit prosesin sahada ekonomik olarak işletiminin gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir. Bu amaçla, projenin sonraki adımlarında yürütülecek olan sürekli işletimli Fenton deneylerinde, İOP/batık UF hibrit sisteminin, sürekli olarak değil de, ardışık sürekli olarak işletiminin uygun olacağı kanaatine ulaşılmaktadır.

Hibrit sistemde batık UF proses süzüntü akısının zamana karşı değişimleri Şekil 4.25'te, çıkış suyunda ölçülen demir iyonları konsantrasyonlarının zamanla değişimleri ise OD1 ve OD2 için sırasıyla Şekil 4.26 ve 4.27'de sunulmuştur.

Önerilen sistemin ekonomik işletimi amacıyla H₂O₂ ve Fe²⁺ miktarlarının minimizasyonu kadar önemli bir diğer husus, yüksek su akısıyla batık UF membranın işletilebilirliğidir. Bir membran proses için süzüntü akısı, proses yatırım maliyetini belirleyici en temel unsurdur. Bu bağlamda, optimum şartlarda elde edilmiş yaklaşık 69-75 L/m².sa'lık arıtılmış çıkış suyu akısının, batık biyolojik arıtma sistemlerindeki nazaran (Örneğin; Membran biyolojik reaktörde (MBR) genellikle su akısı 4-12 L/m².sa aralığındadır.) yaklaşık 6-19 kat yüksekliği de, hibrit sistemin endüstriyel atıksulara sahada başarıyla uygulanabilirliği bakımından ayrı bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. Hibrit sistem çıkış sularında demir konsantrasyonlarına bakıldığında, toplam demirin esasen Fe(+3)'ten kaynaklandığı, OD1 ile elde edilen çıkış suyu değerlerinin OD2 şartlarında elde edilene kıyasla yaklaşık yarı yarıya düşük olduğu gözlenmiştir. Aynı membran uygulanan OD deneylerinde karşılaşılan bu

durumun başlıca sebebi, başlangıçta İOP reaktöre ilave edilen demir miktarının OD2'de daha yüksek olmasıdır.

Sonuç olarak, performans değerlendirmeleri ve model uyumluluk etkinlikleri, çıkış suyunda demir konsantrasyonlarının sonraki adımlarda uygulanacak NF ve/veya TO proseslerine gelecek inorganik yükünün azaltılması amacıyla minimize edilmesi hususuyla beraberce dikkate alındığında; **tekstil atıksuyunun İOP/batık UF hibrit reaktörde Fenton prosesiyle arıtımı için optimum işletme şartının, OD1 dahilindeki hibrit sistem işletim şartları** olduğu kanaatine varılmıştır.

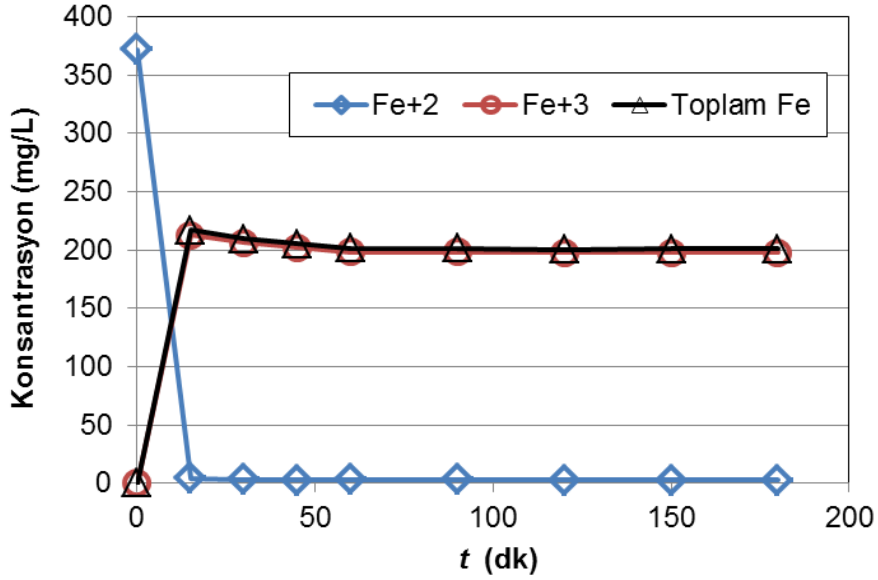


Şekil 4.25 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında her iki optimum işletme deneyi için zamana karşı değişen UF süzüntü akısı

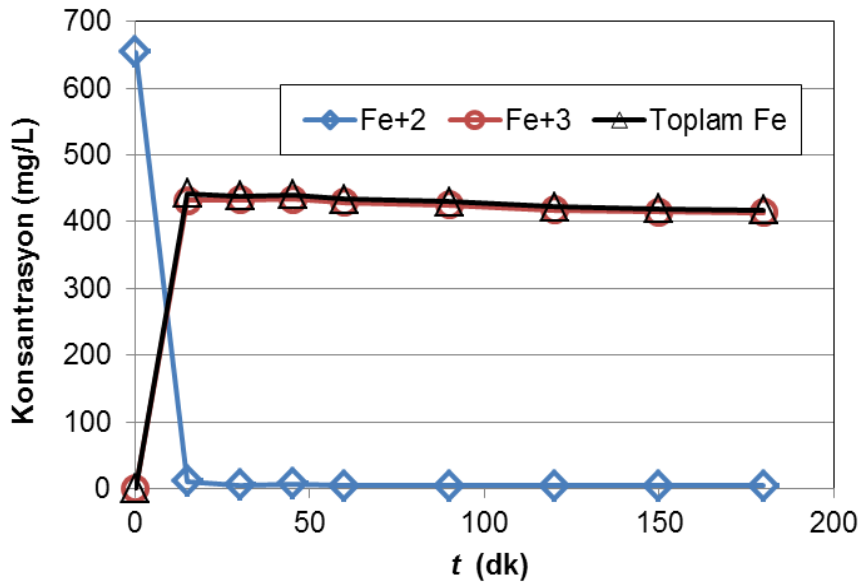
– Foto-Fenton/batık UF deneyleri

İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle kesikli şartlarda arıtımında, değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tabloları ve deneysel performans sonuçları, İO ve batık UF prosesleri için sırasıyla Tablo 4.13 ve 4.14'de verilmiştir. Batık UF prosese ait sonuçlar, tüm sistemin performansı bakımından İOP/batık UF hibrit sistemde arıtılmış çıkış suyunun kalitesini vermektedir. İzlenen parametreler arasında yer alan renk parametresinde, sadece atıksuyun renginin değil, aynı zamanda Fenton proseste demirden gelen rengin de çıkış suyunda bilinmesi gerektiği için (hibrit sistem sonrası NF ve/veya TO ile su geri kazanımı gerçekleştirileceğinden ve bu proseslerde renk verimi demir giderimi üzerinden de izleneceğinden), hibrit sisteme ve sistemdeki her iki prosese ait

organik kirlenici giderim verimi, TOK ve KOİ parametreleri üzerinden izlenmiş olup TOK ve KOİ giderim verimleri, Tablo 4.15'de gösterilmiştir.



Şekil 4.26 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları



Şekil 4.27 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları

– Foto-Fenton prosesinin deneysel performansı

Proses performansı analizlerinde giriş değişkenlerinin sonuç parametreleri üzerine etkileri ilk olarak lineer model bazında ANOVA yöntemi ile belirlendiğinden; hibrit reaktörde foto-Fenton prosesiyle arıtımında, İOP reaktörün TOK, KOİ ve pH performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.16'da verilmiş; hem I. derece lineer hem de II. derece lineer olmayan model bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 17'de sunulmuştur. Tablo 4.16 için F istatistik ve P olasılık değerleri model ve değişkenlerin önem seviyesini belirtmekte; $P > F$ değeri için **0.05'ten küçük** olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri "**Önemli**", **0.1'den büyük** olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri ise "**Önemsiz**" olarak değerlendirilmektedir. Tablo 4.17'de I. derece lineer model için verilen $P > F$ değerlerine bakıldığında, İOP reaktörde TOK, KOİ ve pH etkinliklerinin lineer model ilişkilerine göre önemli olduğu görülmektedir. Proseste TOK giderim verimi için H_2O_2 konsantrasyonu, zaman ve sıcaklığın, KOİ için ise H_2O_2 konsantrasyonu, zaman ve kısmen pH'nın etkisinin olduğu; buna karşın İOP reaktördeki pH değişimleri için H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarının etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tablo 4.17'e bakıldığında ise, II. derece lineer olmayan modellerin, I. derece lineer modellere kıyasla çok daha iyi bir ilişki düzeyinde düşük standard sapma (S) ve yüksek korelasyon (r^2) değerleri verdiği görülmektedir. Bunun nedeni de, iç etkileşimli model terimlerinin, modelin kurgusuna ve modele dayalı performans tahminlerine olan katkılarının önemli olmasıdır. İOP proseste, farklı ışık kaynağı türleri için H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametreleri ile pH- E_i , TÇK- SO_4^{2-} ve renk- Cl^- değişimleri ile TOK-KOİ giderim verimleri, Şekil 4.28-4.31'de, H_2O_2/TOK ve ışık şiddeti giriş parametrelerine göre proses performans parametrelerinin değişimleri Şekil 4.32-4.35'te gösterilmiştir. İleri oksidasyon prosesinde, reaktöre ilave edilen H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarı arttıkça (H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametresi miktarı azaldıkça), UVC-254 ve UVA-365 ışık kaynağı türleri için pH sırasıyla 5 ve 3,8 başlangıç değerlerinden 2,0 ve 2,4 civarına azalmakta; iletkenlik 5000 ve 2700 $\mu S/cm$ başlangıç değerlerinden 9500-10.000 civarına artmaktadır. Sülfat parametresinin etkisi altında olmayan bir değişimle toplam çözünmüş katı madde miktarı 4000 mg/L ve bir miktar üzeri değere çıkmakta, sülfat artışı UVC-254'te daha belirgin olmaktadır. Renk ve klorür, doğrusal olmayan iç bükey değişimlerle, sırasıyla azalma ve artış eğilimleri göstermektedir. Hibrit reaktörde organik madde giderimi, her iki ışık kaynağı türü için de esasen reaktöre ilave edilen H_2O_2 konsantrasyonuna bağlı artış göstermekte, ilave edilen Fe^{2+} miktarı rölatif daha düşük giderim verimi katkısı sağlamaktadır. Artan H_2O_2 konsantrasyonu ile TOK gideriminde kısmen doğrusal bir değişimle belirgin bir artış görülmekte olup, minimum demir miktarlarındaki TOK ve KOİ giderim verimlerindeki artış çok yüksektir.

Tablo 4.13 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İO prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2¹×4⁸) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri								Sonuç Parametreleri										
	A <i>t</i>	B <i>T</i>	C pH	D H ₂ O ₂ /TOK	E H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	F <i>v_H</i>	J <i>İ_ş</i>	K <i>t_r</i>	Y1 pH	Y2 E _i	Y3 TÇK	Y4 TOK	Y5 KOI	Y6 renk				Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻
														λ ₄₃₆	λ ₅₂₅	λ ₆₂₀	*λ _{ortalama}		
1	45	25	4	22	15	1	4	UVC-254	2.72	4250	2200	510	1072	1.871	0.955	0.602	1.393	25.2	6281
2	45	30	3	30	11	2	3	UVC-254	2.55	5630	2980	530	1191	1.248	0.267	0.085	1.023	52.7	10473
3	30	40	3	22	7	1	3	UVA-365	2.38	6070	3190	641	1429	1.665	0.422	0.136	1.335	14.9	11343
4	15	30	4	14	7	2	2	UVC-254	2.55	5610	2980	649	1320	0.856	0.169	0.067	0.701	19.7	8089
5	15	30	5	14	11	1	4	UVA-365	2.44	4890	2610	683	1163	0.791	0.158	0.077	0.640	15.0	4765
6	15	35	5	22	11	3	3	UVC-254	2.52	4940	2630	579	1149	1.699	0.966	0.638	1.280	15.5	5346
7	45	40	4	14	15	3	3	UVA-365	2.49	5070	2660	602	1227	0.781	0.155	0.070	0.635	30.0	5855
8	15	25	3	6	3	1	1	UVC-254	2.55	5730	3040	830	1986	1.220	0.266	0.082	0.999	20.0	8950
9	60	30	6	22	3	3	4	UVA-365	2.27	7220	3860	502	830	1.742	0.506	0.267	1.337	100.0	12256
10	45	30	6	30	7	1	1	UVA-365	2.29	6890	3690	461	820	1.628	0.458	0.228	1.258	12.7	9329
11	30	40	6	22	11	2	1	UVC-254	2.39	5840	3020	581	1282	1.452	0.572	0.287	1.090	37.5	4541
12	45	40	5	14	3	4	1	UVC-254	2.73	7410	4020	721	1521	2.762	1.141	0.652	2.054	45.7	11874
13	15	25	6	6	15	2	3	UVA-365	4.50	3030	1544	1017	2590	0.131	0.007	0.003	0.122	31.5	1190
14	30	35	5	30	15	1	2	UVC-254	2.41	5490	2900	496	1049	2.558	0.767	0.417	1.952	18.0	6288
15	15	35	4	22	7	4	1	UVA-365	2.41	6470	3480	620	1400	1.038	0.230	0.089	0.839	19.5	10483
16	60	35	6	14	3	1	3	UVC-254	2.32	7150	3840	544	1256	1.886	0.552	0.253	1.459	67.0	10127
17	60	25	4	30	11	3	1	UVC-254	2.50	5700	3000	543	1212	2.726	1.208	0.776	2.015	41.7	9613
18	15	40	6	30	15	4	4	UVC-254	2.44	5570	2920	515	1194	1.772	0.651	0.356	1.328	20.7	4541
19	60	30	3	22	15	4	2	UVC-254	2.65	4690	2520	521	914	2.125	1.061	0.642	1.581	15.5	7141
20	60	35	3	14	15	2	1	UVA-365	2.42	5420	2770	553	833	0.762	0.120	0.043	0.645	16.2	6715
21	60	40	5	6	7	2	4	UVC-254	2.86	4560	2400	685	1398	0.448	0.167	0.097	0.334	26.5	3895
22	15	40	3	30	3	3	2	UVA-365	2.50	12490	6930	611	1318	2.796	1.014	0.498	2.111	19.5	25706
23	45	35	3	6	11	4	4	UVA-365	2.18	6230	3290	632	1040	1.162	0.366	0.195	0.883	5.2	5903
24	60	25	5	30	7	4	3	UVA-365	2.35	9550	6660	571	980	1.809	0.500	0.223	1.411	30.0	11076
25	30	30	4	6	3	4	3	UVC-254	2.67	5360	2780	807	1659	1.182	0.275	0.169	0.923	28.5	8089
26	45	35	6	6	7	3	2	UVC-254	2.85	4100	2176	894	2310	0.645	0.283	0.049	0.510	10.5	2148
27	30	25	6	14	11	4	2	UVA-365	2.51	4300	2220	706	2397	0.510	0.114	0.059	0.405	8.0	3018
28	30	30	5	6	15	3	1	UVA-365	4.20	3010	1551	822	2244	4.676	2.246	1.262	3.483	10.0	2749
29	30	25	3	14	7	3	4	UVC-254	2.51	5500	2910	689	1376	2.481	0.916	0.493	1.861	28.5	8950
30	30	35	4	30	3	2	4	UVA-365	2.17	7900	4240	524	1189	2.423	0.634	0.203	1.937	17.7	20133
31	45	25	5	22	3	2	2	UVA-365	2.33	8150	4390	618	1258	2.714	1.114	0.680	2.012	54.7	17459
32	60	40	4	6	11	1	2	UVA-365	2.55	5110	2580	711	1546	0.708	0.174	0.088	0.556	12.5	5043

Tablo 4.14 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UF prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2¹×4¹⁰) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar

N o	Giriş Parametreleri										Sonuç Parametreleri											
	A t	B T	C p H	D H ₂ O ₂ /T0 K	E H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	F v H	G v _{ış}	H M _T	J / ş	K İ	Y1 pH	Y2 E _i	Y3 TÇK	Y4 TO K	Y5 KOI	Y6 renk				Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻	Y9 J
																λ ₄₃₆	λ ₅₂₅	λ ₆₂₀	**λ _{ortalama}			
1	4	2	4	22	15	1	70	UH05	4	UVC	2.7	4140	213	410	632	0.45	0.10	0.05	0.360	19	2938	35.4
2	4	3	3	30	11	2	55	UV15	3	UVC	2.5	5700	303	461	741	1.32	0.43	0.22	1.006	37	7300	35.0
3	3	4	3	22	7	1	10	UP02	3	UVA-	2.4	5960	316	568	106	0.61	0.11	0.02	0.521	9.6	5130	9.52
4	1	3	4	14	7	2	70	UP02	2	UVC	2.6	5640	296	570	862	0.64	0.10	0.03	0.545	8.0	4322	56.7
5	1	3	5	14	11	1	10	UP00	4	UVA-	2.5	4710	247	660	100	0.52	0.06	0.02	0.454	10.	2656	18.6
6	1	3	5	22	11	3	85	UH05	3	UVC	2.5	4860	254	521	989	0.42	0.06	0.01	0.366	7.2	3030	34.2
7	4	4	4	14	15	3	55	UP00	3	UVA-	2.5	4930	258	509	916	0.44	0.05	0.02	0.383	19	2622	12.9
8	1	2	3	6	3	1	55	UP00	1	UVC	2.8	3430	176	785	177	0.95	0.30	0.15	0.728	13.	4754	12.9
9	6	3	6	22	3	3	55	UP02	4	UVA-	2.3	7590	406	495	776	1.16	0.27	0.07	0.953	41	1097	6.85
10	4	3	6	30	7	1	85	UH05	1	UVA-	2.2	6950	371	398	624	1.23	0.22	0.03	1.053	8.0	6976	25.5
11	3	4	6	22	11	2	70	UP00	1	UVC	2.4	5950	315	459	790	0.46	0.05	0.01	0.413	10.	3806	11.8
12	4	4	5	14	3	4	85	UP02	1	UVC	2.4	7640	414	628	115	0.95	0.18	0.04	0.802	24.	8800	15.2
13	1	2	6	6	15	2	85	UP02	3	UVA-	4.5	2550	130	900	196	0.06	0.04	0.04	0.055	38	835	11.8
14	3	3	5	30	15	1	55	UP02	2	UVC	2.3	5440	287	381	690	0.51	0.06	0.01	0.448	7.5	3868	40.0
15	1	3	4	22	7	4	55	UV15	1	UVA-	2.3	6310	332	503	892	1.37	0.31	0.08	1.119	22	7674	45.6
16	6	3	6	14	3	1	70	UV15	3	UVC	2.3	7260	389	479	976	1.47	0.29	0.05	1.242	19	9968	21.7
17	6	2	4	30	11	3	10	UP02	1	UVC	2.6	5590	296	462	900	0.67	0.11	0.02	0.577	15.	4918	9.90
18	1	4	6	30	15	4	10	UV15	4	UVC	2.5	5400	275	411	686	1.08	0.23	0.08	0.882	12.	4030	57.1
19	6	3	3	22	15	4	85	UP00	2	UVC	2.6	4620	243	471	763	0.46	0.09	0.02	0.388	7.2	3326	19.2
20	6	3	3	14	15	2	10	UH05	1	UVA-	2.4	5390	284	483	706	0.64	0.07	0.02	0.568	5.9	3132	88.7
21	6	4	5	6	7	2	55	UH05	4	UVC	2.8	4470	235	385	646	0.18	0.03	0.01	0.152	15.	2658	119.
22	1	4	3	30	3	3	70	UH05	2	UVA-	2.4	1277	707	514	921	1.43	0.37	0.13	1.139	12	1752	27.7
23	4	3	3	6	11	4	70	UP02	4	UVA-	2.2	5870	309	535	821	0.48	0.05	0.02	0.426	2.0	422	24.3
24	6	2	5	30	7	4	70	UP00	3	UVA-	2.3	9540	664	487	755	1.09	0.20	0.04	0.927	20.	7204	15.2
25	3	3	4	6	3	4	10	UH05	3	UVC	2.7	5240	278	610	894	0.96	0.25	0.11	0.756	20.	4946	62.8
26	4	3	6	6	7	3	10	UP00	2	UVC	3.1	4010	216	707	154	0.22	0.03	0.01	0.192	5.0	1932	30.0
27	3	2	6	14	11	4	55	UH05	2	UVA-	2.5	4290	222	545	158	0.38	0.06	0.04	0.315	2.0	2056	49.8
28	3	3	5	6	15	3	70	UV15	1	UVA-	4.3	3010	159	585	123	0.08	0.04	0.04	0.065	11	1916	91.3
29	3	2	3	14	7	3	85	UV15	4	UVC	2.4	5660	300	562	941	1.34	0.23	0.04	1.146	25.	6024	46.4
30	3	3	4	30	3	2	85	UP00	4	UVA-	2.3	8260	446	448	898	2.07	0.47	0.08	1.726	8.5	1800	15.9
31	4	2	5	22	3	2	10	UV15	2	UVA-	2.4	9080	493	444	646	2.01	0.60	0.26	1.559	27	1202	28.1
32	6	4	4	6	11	1	85	UV15	2	UVA-	2.4	4880	255	549	103	0.54	0.09	0.04	0.451	7.5	2414	73.0

* UF prosese ait tüm sonuçlar, tüm sistemin performansı bakımından İOP/UF hibrit prosesinde arıtılmış çıkış suyunun kalitesini ifade eder.

** λ_{ortalama}, her dalga boyunda ölçülen absorbanların kareleri toplamının absorbanların toplamına bölünmesiyle elde edilmiş ortalama değerdir.

Tablo 4.15 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK ve KOİ giderim verimleri (%)

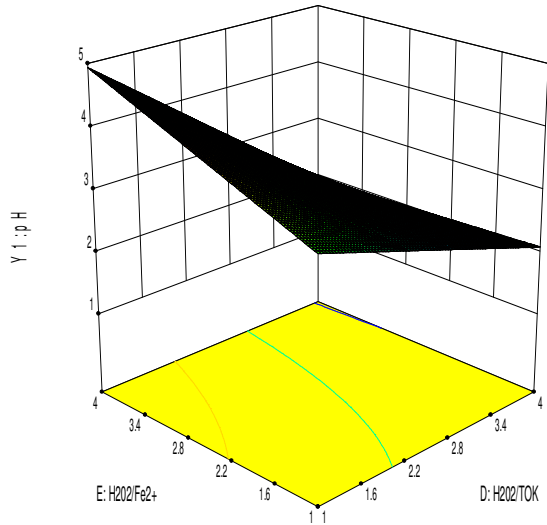
Deney No	İO Prosesi		UF Prosesi		İOP/UF Sistemi	
	TOK ^a	KOİ ^a	TOK	KOİ	TOK	KOİ
1	42,0	58,8	19,6	41,0	53,4	75,7
2	47,6	61,2	12,9	37,8	54,3	75,9
3	35,1	53,5	11,4	25,5	42,5	65,4
4	37,0	57,4	12,1	34,7	44,6	72,2
5	31,3	56,6	3,4	13,4	33,7	62,4
6	30,6	50,2	10,0	13,9	37,6	57,1
7	39,5	59,7	15,5	25,3	48,8	69,9
8	19,9	35,4	5,4	10,4	24,2	42,1
9	39,7	64,7	1,3	6,5	40,4	67,0
10	55,0	75,3	13,7	23,9	61,2	81,2
11	44,4	57,6	21,0	38,4	56,1	73,9
12	29,4	43,3	12,9	24,4	38,6	57,1
13	7,0	12,5	11,5	24,0	17,6	33,5
14	52,2	63,6	23,3	34,2	63,3	76,0
15	35,2	50,0	18,9	36,3	47,4	68,1
16	47,5	60,8	12,0	22,3	53,8	69,5
17	47,3	60,9	15,0	25,7	55,2	70,9
18	50,3	62,4	20,3	42,5	60,4	78,4
19	49,6	67,4	9,6	16,5	54,4	72,8
20	43,9	69,6	12,6	15,3	51,0	74,3
21	34,0	47,8	43,7	53,8	62,8	75,9
22	43,6	58,3	15,9	30,1	52,5	70,8
23	35,9	62,1	15,3	21,1	45,8	70,1
24	42,6	68,2	14,7	23,0	51,0	75,5
25	20,8	42,1	24,5	46,1	40,2	68,8
26	14,4	23,6	20,9	33,3	32,3	49,1
27	16,0	27,8	22,8	33,7	35,1	52,2
28	5,7	8,0	28,8	45,0	32,8	49,4
29	33,4	55,2	18,5	31,6	45,8	69,4
30	35,2	48,9	14,5	24,5	44,6	61,4
31	36,5	53,4	28,2	48,6	54,4	76,1
32	33,1	49,3	22,8	33,3	48,3	66,2

Tablo 4.16 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörün performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları

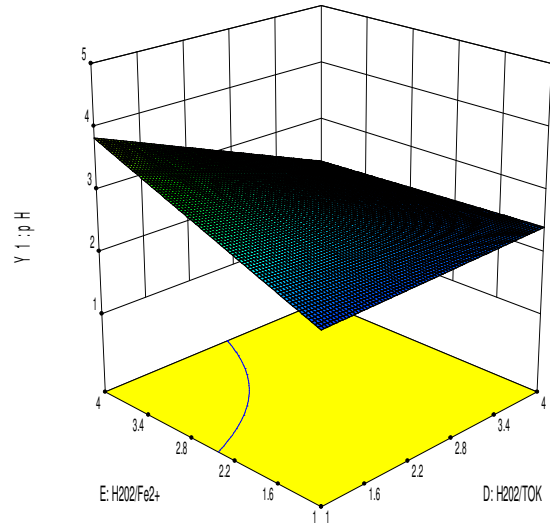
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	3830,67	8	478,83	10,05	< 0,0001
	A-t	584,45	1	584,45	12,26	0,0019
	B-T	256,58	1	256,58	5,38	0,0295
	C-pH	108,47	1	108,47	2,28	0,1450
	D-H ₂ O ₂ /TOK	2592,48	1	2592,48	54,40	< 0,0001
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	16,80	1	16,80	0,35	0,5585
	F-V _H	122,13	1	122,13	2,56	0,1231
	J-I _ş	16,85	1	16,85	0,35	0,5579
	K-I _T	132,91	1	132,91	2,79	0,1085
	Artan değer	1096,10	23	47,66		
	Toplam	4926,76	31			
KOİ (%)	Model	4833,89	8	604,24	4,82	0,0014
	A-t	991,32	1	991,32	7,91	0,0099
	B-T	192,53	1	192,53	1,54	0,2277
	C-pH	454,89	1	454,89	3,63	0,0693
	D-H ₂ O ₂ /TOK	2882,75	1	2882,75	23,00	< 0,0001
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	2,38	1	2,38	0,019	0,8917
	F-V _H	86,71	1	86,71	0,69	0,4141
	J-I _ş	196,17	1	196,17	1,57	0,2235
	K-I _T	27,15	1	27,15	0,22	0,6460
	Artan değer	2882,73	23	125,34		
	Toplam	7716,62	31			
pH (-)	Model	3,60	8	0,45	2,71	0,0293
	A-t	0,31	1	0,31	1,88	0,1839
	B-T	0,33	1	0,33	1,96	0,1745
	C-pH	0,33	1	0,33	1,99	0,1722
	D-H ₂ O ₂ /TOK	1,55	1	1,55	9,32	0,0056
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	0,95	1	0,95	5,69	0,0257
	F-V _H	0,00518	1	0,00518	0,031	0,8616
	J-I _ş	0,11	1	0,11	0,68	0,4164
	K-I _T	0,019	1	0,019	0,11	0,7416
	Artan değer	3,83	23	0,17		
	Toplam	7,43	31			

Tablo 4.17 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörü için proses performans parametrelerine ait model denklemleri

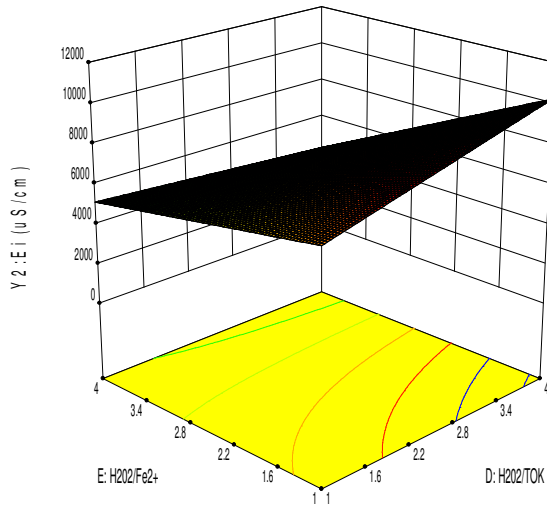
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II, Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$35,49 + 5,73 * A + 3,80 * B - 2,47 * C + 12,08 * D + 0,97 * E - 2,62 * F + 0,97 * J - 2,04 * K$ <p>(S = 6,90 ve $r^2 = 0,7775$)</p>	$35,49 + 3,75 * A + 4,62 * B - 2,21 * C + 12,80 * D + 2,44 * E - 2,11 * F + 3,56 * J - 0,65 * K + 1,78 * AB + 7,84 * AC + 3,53 * AD + 7,93 * AE - 3,50 * AF - 2,54 * AJ + 1,26 * AK - 1,27 * BC + 4,36 * BD + 0,15 * BE + 1,58 * BF + 1,373E-003 * BJ - 5,04 * BK + 3,88 * CD - 6,54 * CE - 3,09 * CF - 2,27 * CJ - 0,46 * CK + 4,00 * DE + 5,74 * DF - 5,08 * DJ - 3,19 * DK$ <p>(S = 11,06 ve $r^2 = 0,9752$)</p>
KOİ (%)	$52,05 + 7,47 * A + 3,29 * B - 5,06 * C + 12,73 * D - 0,37 * E - 2,21 * F + 3,32 * J - 0,92 * K$ <p>(S = 11,20 ve $r^2 = 0,6264$)</p>	$52,05 + 0,43 * A + 7,07 * B - 3,74 * C + 12,24 * D + 2,80 * E - 2,06 * F + 8,62 * J + 1,91 * K + 0,58 * AB + 13,70 * AC + 8,76 * AD + 15,49 * AE - 4,71 * AF - 6,32 * AJ + 4,70 * AK - 0,17 * BC + 4,11 * BD - 1,40 * BE + 0,92 * BF - 1,39 * BJ - 9,18 * BK + 5,95 * CD - 13,57 * CE - 1,96 * CF - 1,66 * CJ - 0,28 * CK + 6,30 * DE + 7,44 * DF - 10,10 * DJ - 4,21 * DK$ <p>(S = 10,84 ve $r^2 = 0,9848$)</p>
pH (%)	$+2,60 - 0,13 * A - 0,14 * B + 0,14 * C - 0,30 * D + 0,23 * E + 0,017 * F - 0,080 * J + 0,024 * K$ <p>(S = 0,41 ve $r^2 = 0,4850$)</p>	$2,60 + 0,21 * A + 0,068 * B - 0,30 * C - 0,49 * D + 0,34 * E - 0,10 * F - 0,31 * J - 0,19 * K - 0,35 * AB - 0,34 * AC + 3,156E-003 * AD - 0,86 * AE - 0,029 * AF + 0,12 * AJ - 0,045 * AK - 0,091 * BC - 0,083 * BD - 0,037 * BE + 0,089 * BF - 0,048 * BJ + 0,10 * BK - 0,15 * CD + 0,60 * CE - 0,19 * CF + 0,26 * CJ + 0,26 * CK - 0,42 * DE - 0,22 * DF + 0,23 * DJ + 0,35 * DK$ <p>(S = 0,0045 ve $r^2 = 1,0000$)</p>



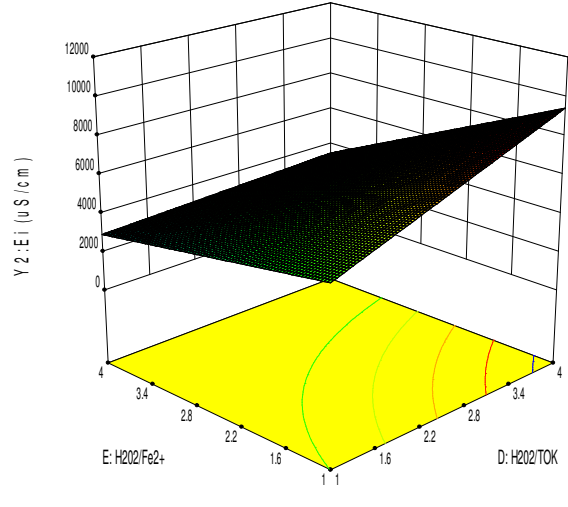
(aI)



(aII)

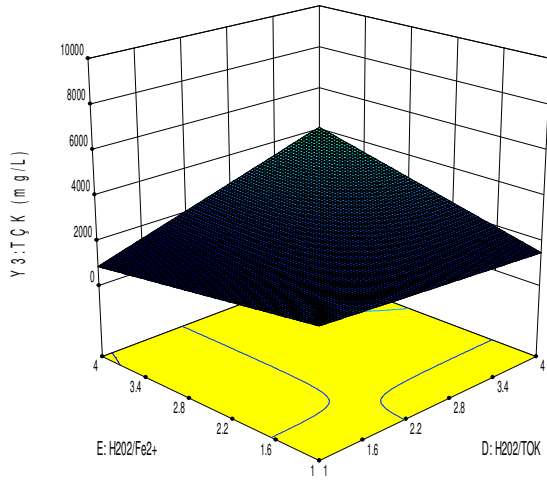


(bI)

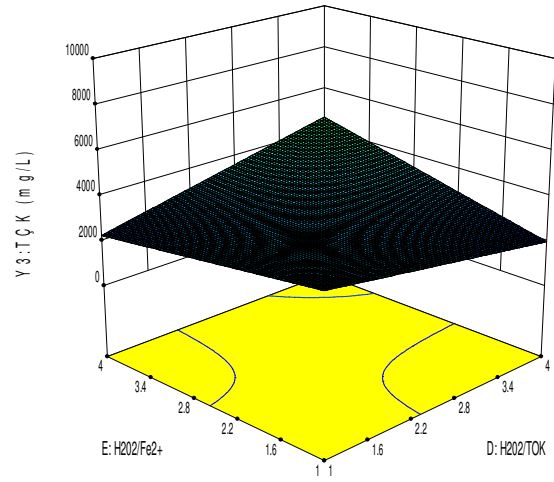


(bII)

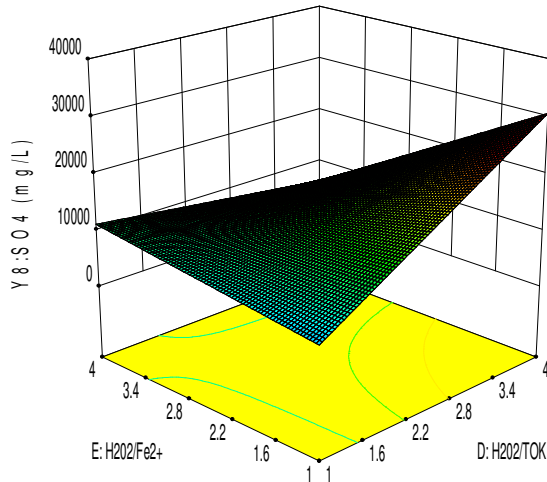
Şekil 4.28 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



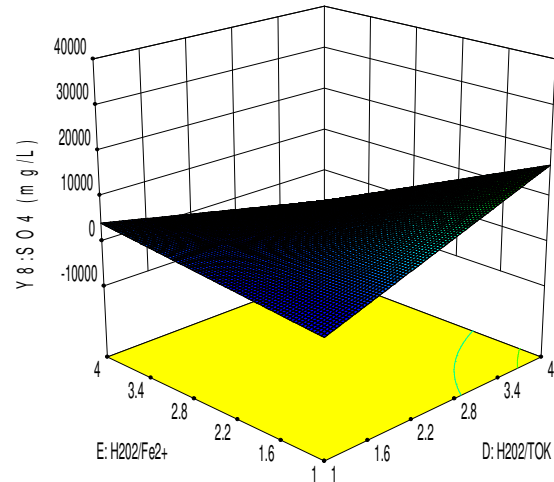
(a)



(all)

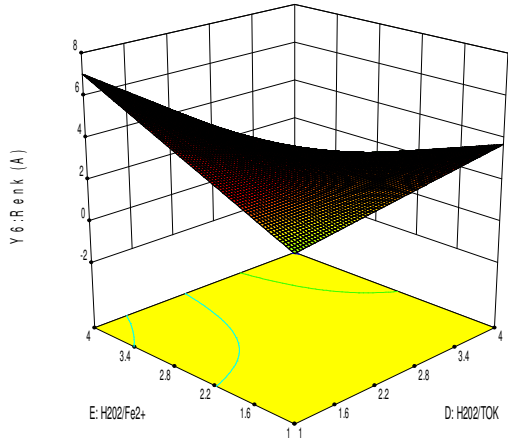


(b)

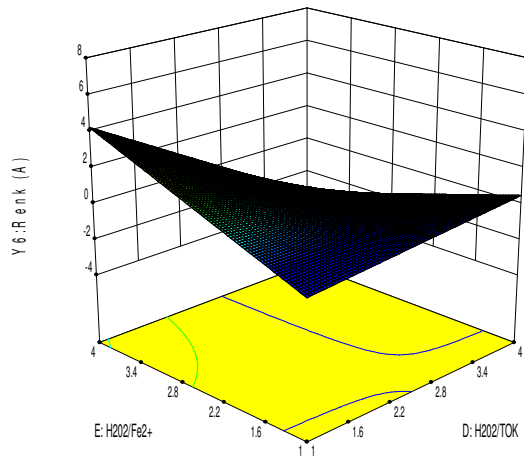


(bII)

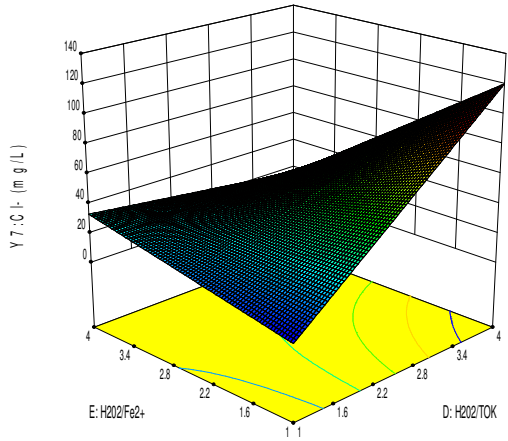
Şekil 4.29 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.



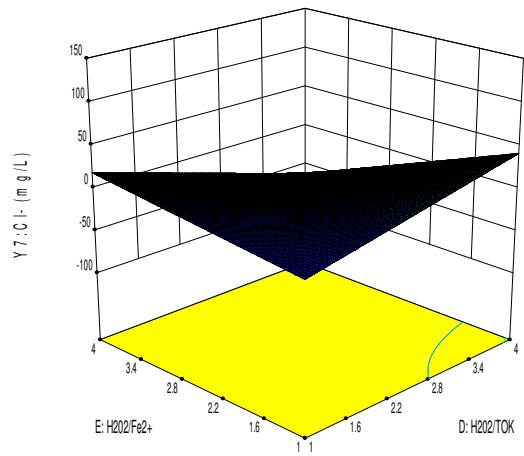
(a)



(aII)

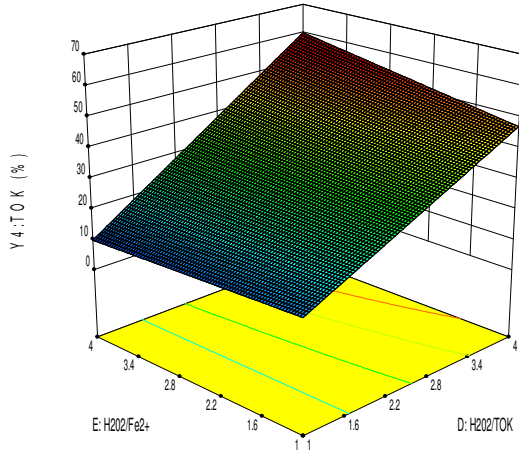


(bI)

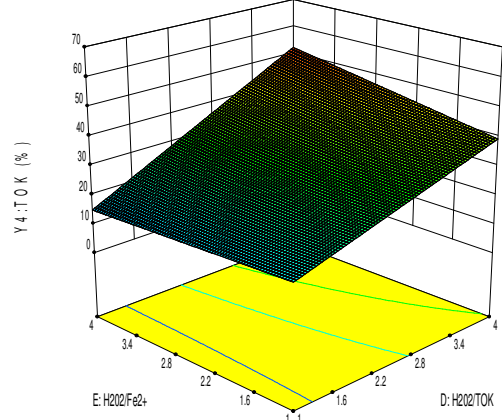


(bII)

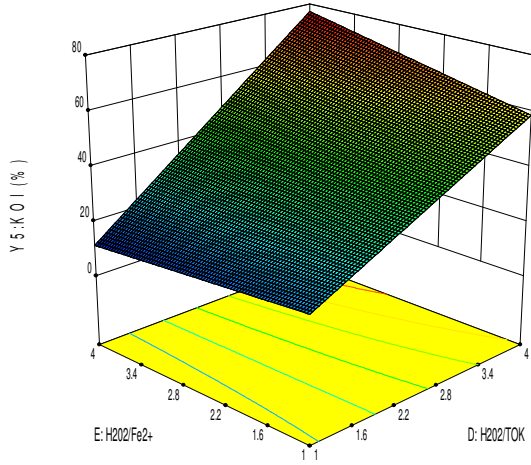
Şekil 4.30 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



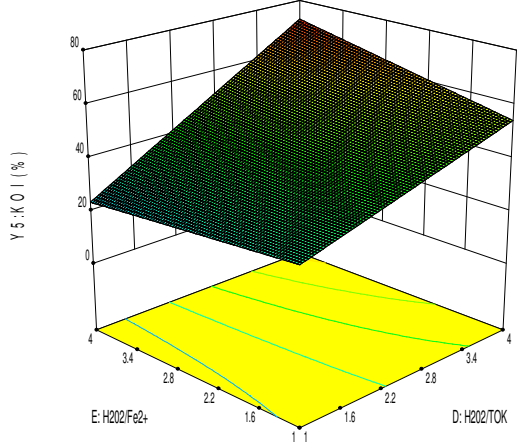
(a)



(all)

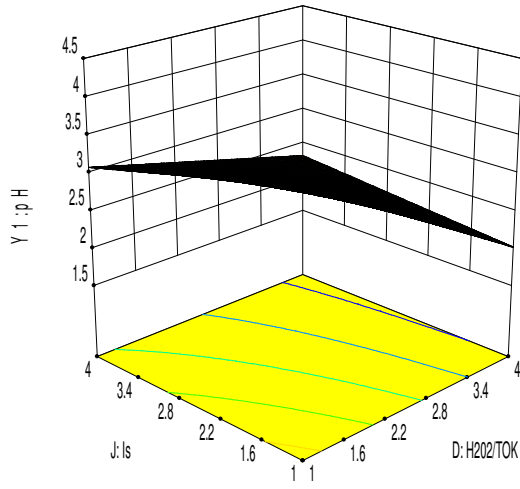


(bl)

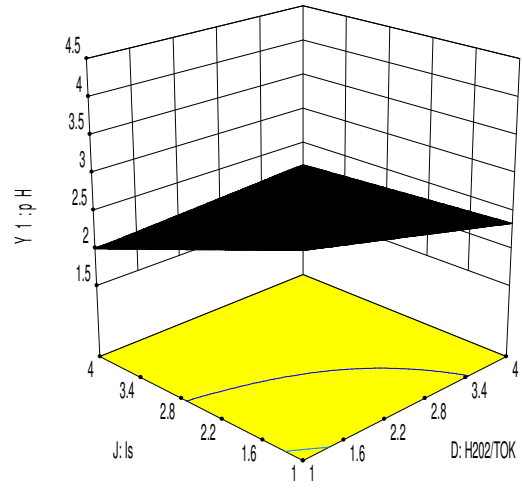


(bll)

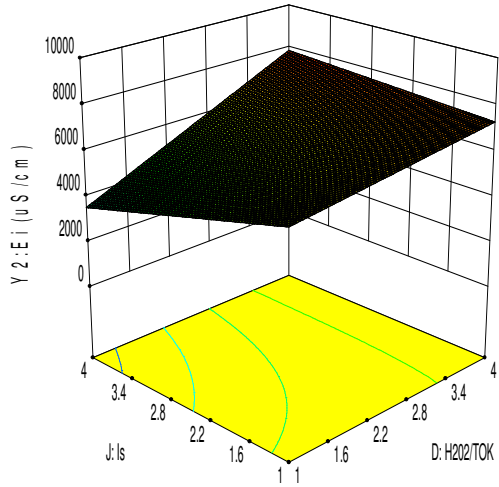
Şekil 4.31 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TOK (a) ve KOI (b) giderim verimi (%) grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.



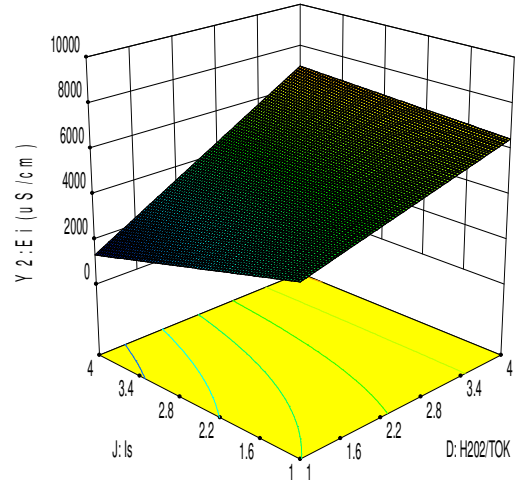
(aI)



(aII)

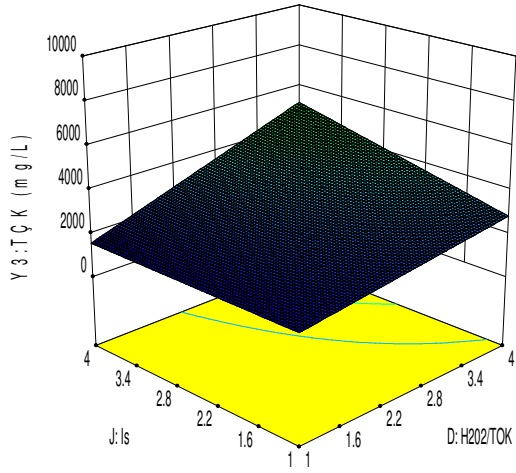


(bI)

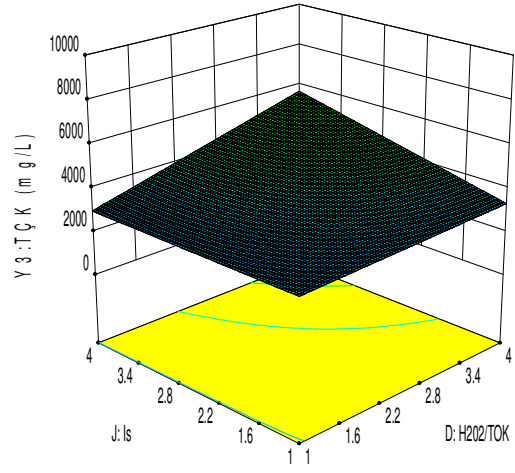


(bII)

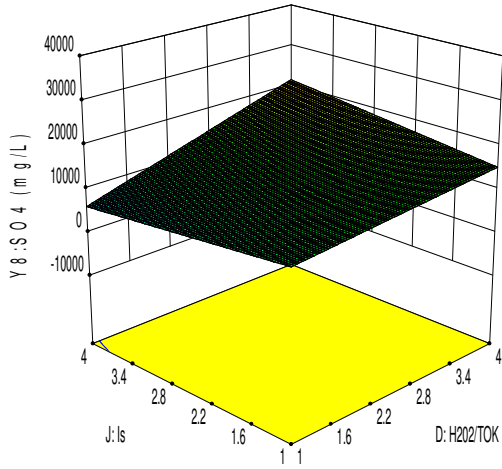
Şekil 4.32 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



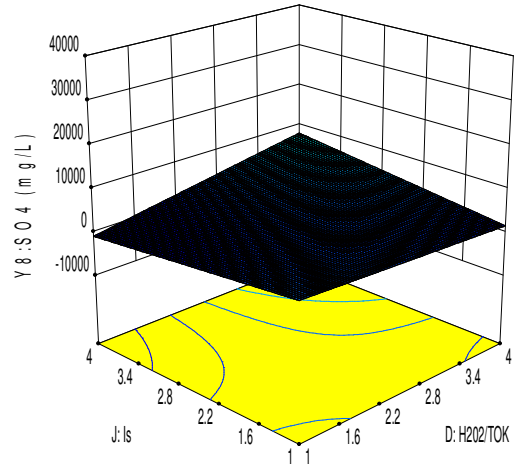
(aI)



(aII)

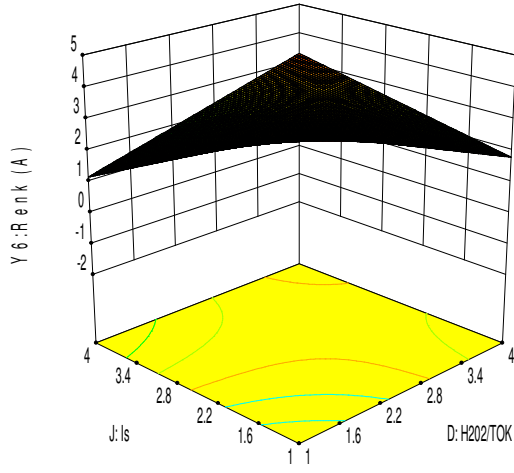


(bI)

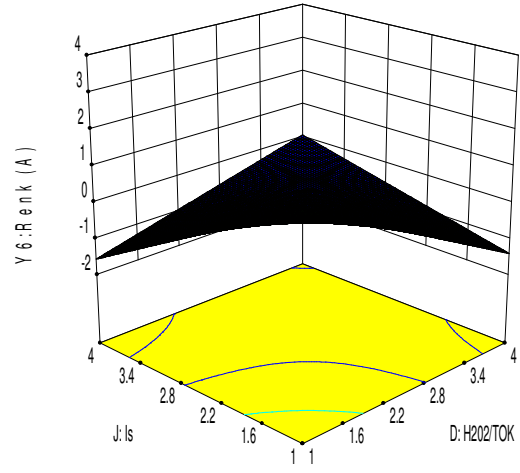


(bII)

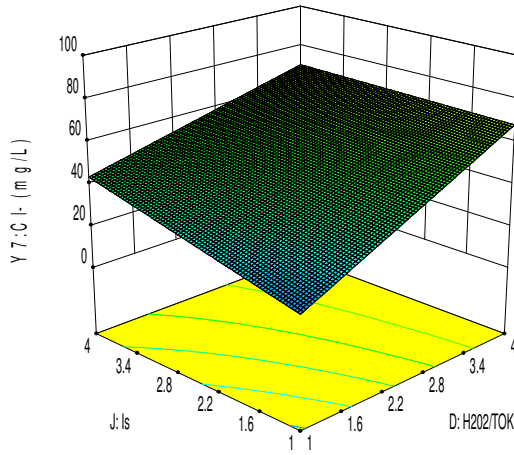
Şekil 4.33 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



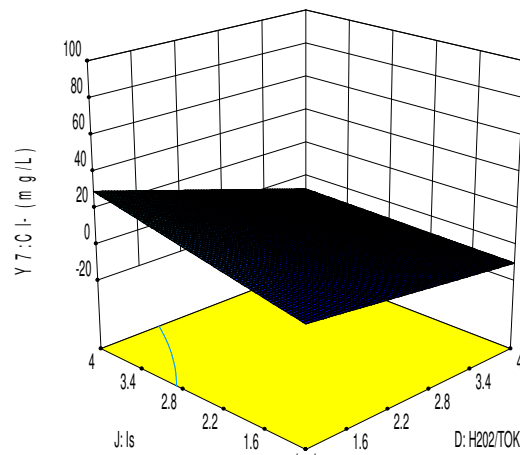
(aI)



(aII)

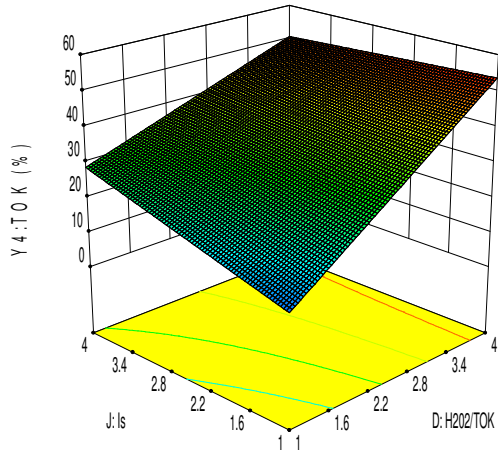


(bI)

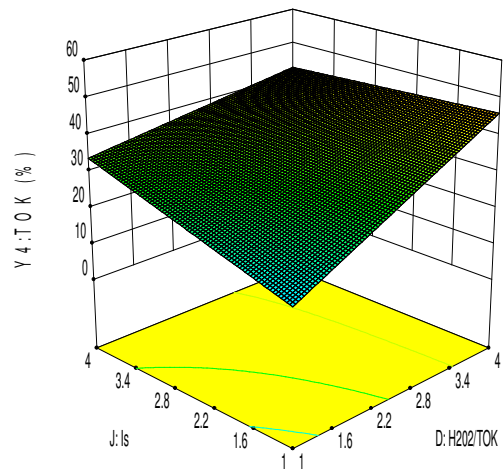


(bII)

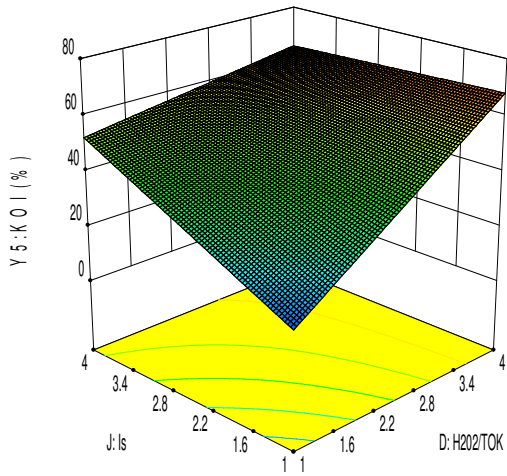
Şekil 4.34 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) şık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.



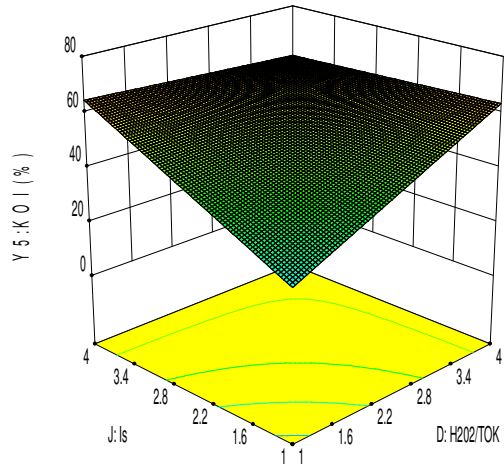
(a)



(aII)



(b)



(bII)

Şekil 4.35 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre TOK (a) ve KOI (b) giderim verimi (%) grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2 /TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.

İOP'ta, reaktöre ilave edilen H_2O_2 konsantrasyonu ve ışık şiddeti etkisi altında performanslara bakıldığında; artan H_2O_2 miktarı ve ışık şiddeti ile, UVC-254 ve UVA-365 ışık kaynağı türleri için pH sırasıyla 3,0'e artış ve 2,0 civarına azalış göstermekte; iletkenlik miktarlarında 8000 $\mu S/cm$ civarlarına artışlar gözlenmektedir. Sülfat parametresinin etkisi altında doğrusal olan bir değişimle toplam çözünmüş katı madde miktarı 5000-5500 mg/L aralığına artmakta, sülfat artışı ışık şiddeti etkisi altında UVC-254'te daha belirgin gerçekleşmektedir. Renk dış bükey ve klorür doğrusal değişimler göstermekte olup, bu parametrelerin minimum ve/veya maksimum H_2O_2 miktarı ve ışık şiddetinde negatife ulaşan değerlerde model tahmin sonuçlarına ulaşılmaktadır. Organik madde giderimi, her iki ışık kaynağı türü için de esasen reaktöre ilave edilen H_2O_2 konsantrasyonuna bağlı olarak ciddi artışlar göstermekte, artışlar TOK'ta doğrusal ve KOİ'de doğrusal olmayan esasta gerçekleşmekte ve ışık şiddetinin KOİ giderme verimi üzerine etkisi TOK'a kıyasla daha fazla olmaktadır. Bununla birlikte, UVC-254'te TOK giderim etkinliği KOİ'ye nazaran biraz daha yüksek olarak gerçekleşmektedir.

– Batık UF prosesinin deneysel performansı

İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında, batık UF prosesin TOK, KOİ ve süzüntü akısı (J) performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.18'de; hem I. derece lineer hem de II. derece lineer olmayan model bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 4.19'da gösterilmiştir. Tablo 4.19'da I. derece lineer model için verilen $P>F$ değerlerine bakıldığında, foto-Fenton batık UF proste, Fenton UF proste olduğu gibi, TOK, KOİ ve J performans parametrelerinden sadece süzüntü akısı sonuç parametresinin lineer modele göre önemli düzeyde bir ilişkisinin mevcut olduğu görülmektedir. Bu önem durumunun da esasen, membran türü ve hibrit reaktöre ilave edilen H_2O_2 konsantrasyonundan kaynaklandığı belirlenmiştir. Tablo 4.19'a göre, II. derece modellerin, birebir ilişkisinden (sıfır standard sapma ($S=0$) ve tam korelasyon ($r^2=1.0$)) hareketle; batık UF proses için tüm ana performans parametreleri, esasen iç etkileşimli model terimlerine dayalı olarak tahmin edilebilir.

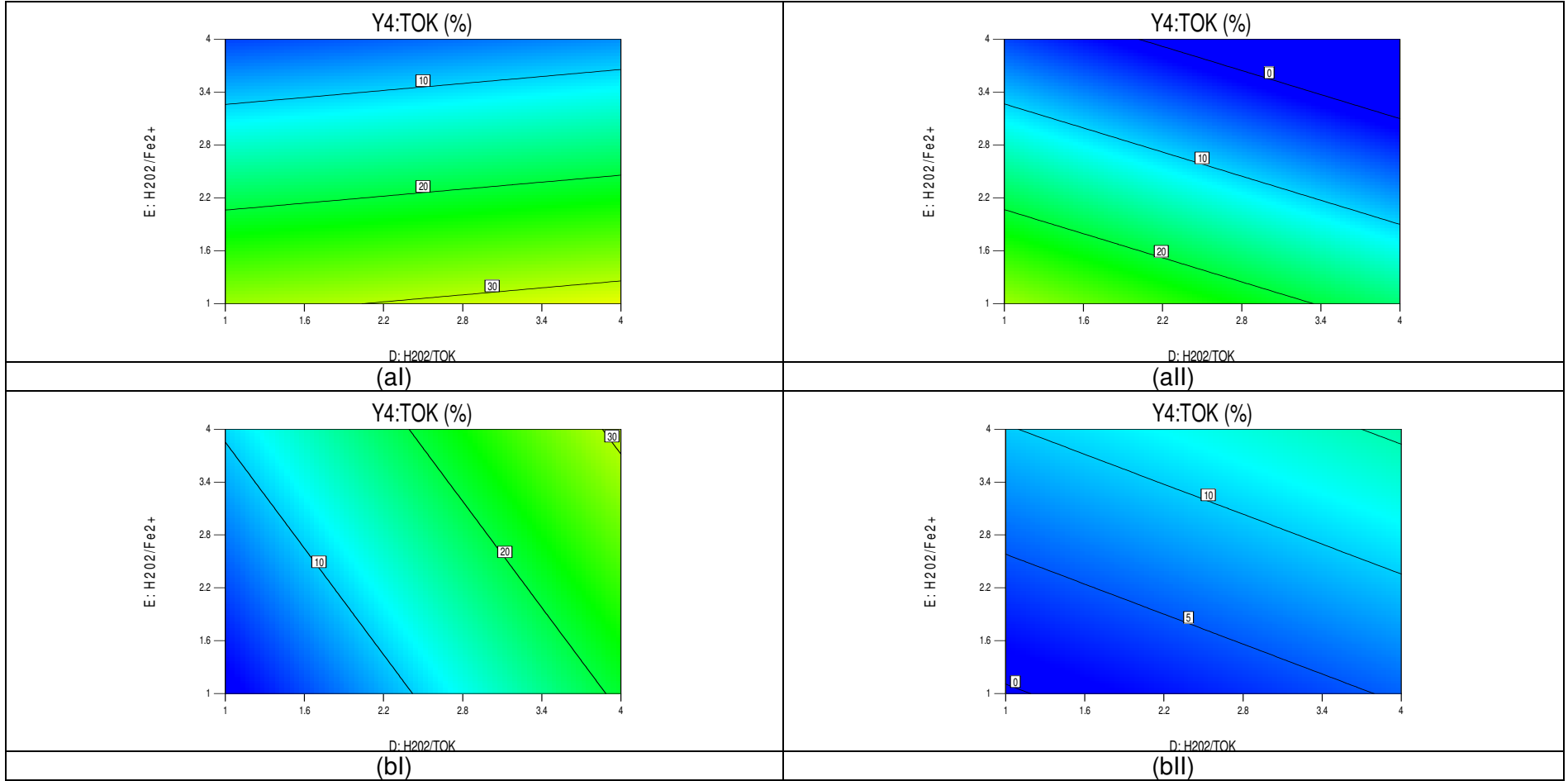
Batık UF proste, değişen UF membran (UP005, UP020, UH050 ve UV150) ve ışık kaynağı (UVC-254 ve UVA-365) türleri için $H_2O_2/TOK - H_2O_2/Fe^{2+}$ ve $H_2O_2/TOK - \text{ışık şiddeti}$ giriş parametreleri ile TOK değişimleri Şekil 4.36-4.39'da KOİ değişimleri Şekil 4.40-4.43'de ve süzüntü akısı değişimleri de Şekil 4.44-4.47'de sunulmuştur. UVC-254'te UH050 membranı ve UVA-365'te UV150 membranı için; H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametreleri ile $pH-E_i$, $T\check{C}K-SO_4^{2-}$ ve renk- Cl^- değişimleri, Şekil 4.48-4.50'da, H_2O_2/TOK ve ışık şiddeti giriş parametrelerine göre proses performans parametrelerinin aynı sırasındaki değişimler Şekil 4.51-4.53'de gösterilmiştir.

Tablo 4.18 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları

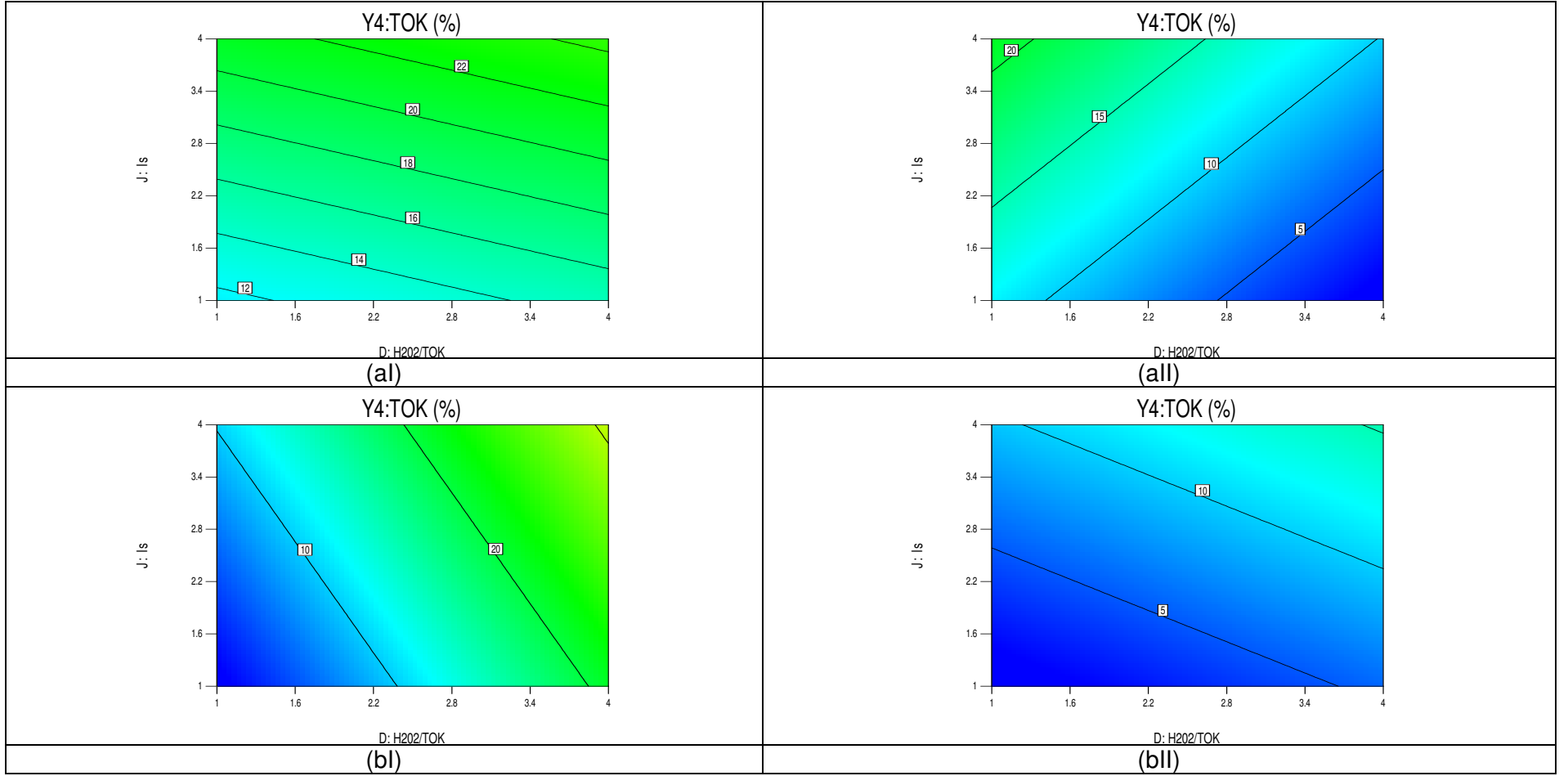
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	747,33	12	62,28	0,90	0,5597
	A-t	36,88	1	36,88	0,54	0,4733
	B-T	68,56	1	68,56	1,00	0,3310
	C-pH	47,76	1	47,76	0,69	0,4154
	D-H ₂ O ₂ /TOK	87,10	1	87,10	1,26	0,2749
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	14,80	1	14,80	0,21	0,6483
	F-v _H	16,52	1	16,52	0,24	0,6300
	G-v _{SC}	14,48	1	14,48	0,21	0,6518
	H-M _T	430,08	3	143,36	2,08	0,1367
	J-I _Ş	2,15	1	2,15	0,031	0,8615
	K-I _T	28,99	1	28,99	0,42	0,5244
	Artan değer	1309,13	19	68,90		
	Toplam	2056,47	31			
KOİ (%)	Model	1413,09	12	117,76	0,81	0,6354
	A-t	15,90	1	15,90	0,11	0,7439
	B-T	42,80	1	42,80	0,30	0,5929
	C-pH	60,83	1	60,83	0,42	0,5246
	D-H ₂ O ₂ /TOK	15,41	1	15,41	0,11	0,7478
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	14,49	1	14,49	0,10	0,7552
	F-v _H	17,66	1	17,66	0,12	0,7307
	G-v _{SC}	4,14	1	4,14	0,029	0,8676
	H-M _T	1056,05	3	352,02	2,43	0,0966
	J-I _Ş	0,015	1	0,015	0,0001	0,9920
	K-I _T	185,80	1	185,80	1,28	0,2713
	Artan değer	2750,03	19	144,74		
	Toplam	1413,09	12	117,76	0,81	0,6354
J (L/m ² ,sa)	Model	14353,84	12	1196,15	2,61	0,0300
	A-t	132,90	1	132,90	0,29	0,5966
	B-T	701,99	1	701,99	1,53	0,2310
	C-pH	60,69	1	60,69	0,13	0,7200
	D-H ₂ O ₂ /TOK	3208,22	1	3208,22	7,00	0,0160
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	1020,20	1	1020,20	2,22	0,1522
	F-v _H	15,98	1	15,98	0,035	0,8539
	G-v _{SC}	56,83	1	56,83	0,12	0,7287
	H-M _T	9017,89	3	3005,96	6,56	0,0032
	J-I _Ş	17,77	1	17,77	0,039	0,8460
	K-I _T	121,37	1	121,37	0,26	0,6129
	Artan değer	8712,21	19	458,54		
	Toplam	23066,05	31			

Tablo 4.19 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametrelerine ait model denklemleri

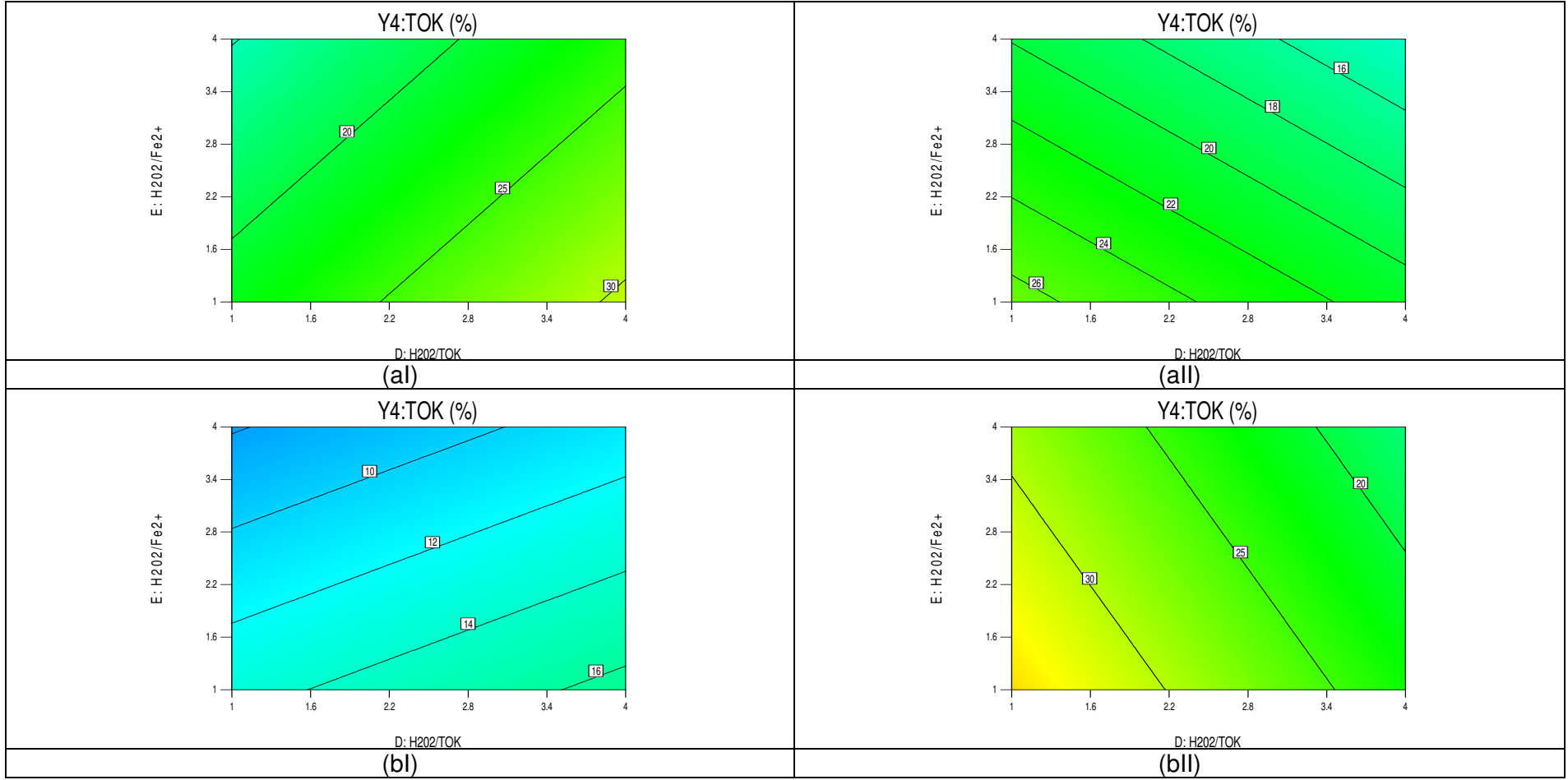
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II, Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$16,65 + 1,44 * A + 1,96 * B + 1,64 * C - 2,21 * D + 0,91 * E + 0,96 * F - 0,90 * G - 3,53 * H[1] - 3,80 * H[2] + 3,69 * H[3] - 0,35 * J - 0,95 * K$ $(S = 8,30 \text{ ve } r^2 = 0,3634)$	$16,65 + 4,60 * A + 17,28 * B + 81,62 * C - 9,56 * D + 7,56 * E - 2,36 * F - 7,50 * G - 80,18 * H[1] + 99,54 * H[2] + 39,53 * H[3] + 38,14 * J + 107,48 * K - 13,85 * AB - 17,80 * AC + 49,97 * AD + 119,35 * AE - 55,00 * AF + 42,27 * AH[1] - 47,09 * AH[2] - 50,40 * AH[3] - 23,19 * AK + 244,74 * BC + 0,040 * BD + 68,40 * BE - 3,06 * BF - 11,67 * BG - 68,70 * BH[1] + 78,54 * BH[2] + 8,53 * BJ - 95,83 * CD + 9,17 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$
KOİ (%)	$29,26 - 0,95 * A + 1,55 * B + 1,85 * C - 0,93 * D + 0,90 * E + 1,00 * F - 0,48 * G - 6,16 * H[1] - 4,74 * H[2] + 2,98 * H[3] - 0,029 * J - 2,41 * K$ $(S = 12,03 \text{ ve } r^2 = 0,3394)$	$29,26 + 3,07 * A + 43,95 * B + 169,65 * C - 14,70 * D + 15,94 * E - 1,07 * F - 12,61 * G - 172,05 * H[1] + 199,39 * H[2] + 78,96 * H[3] + 82,74 * J + 213,61 * K - 29,62 * AB - 30,68 * AC + 115,44 * AD + 252,67 * AE - 100,74 * AF + 80,17 * AH[1] - 100,21 * AH[2] - 99,22 * AH[3] - 52,15 * AK + 486,37 * BC - 1,88 * BD + 143,87 * BE - 1,30 * BF - 13,62 * BG - 131,88 * H[1] + 148,16 * BH[2] + 11,45 * BJ - 189,95 * CD + 12,18 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$
J (L/m ² .sa)	$36,04 + 2,73 * A + 6,28 * B - 1,85 * C - 13,43 * D + 7,58 * E + 0,95 * F - 1,79 * G - 18,93 * H[1] - 14,24 * H[2] + 19,39 * H[3] - 1,00 * J - 1,95 * K$ $(S = 21,41 \text{ ve } r^2 = 0,6223)$	$36,04 - 7,37 * A + 84,65 * B + 325,37 * C - 14,66 * D + 60,42 * E + 19,49 * F - 11,99 * G - 368,04 * H[1] + 410,78 * H[2] + 194,66 * H[3] + 158,04 * J + 469,53 * K - 21,53 * AB - 27,49 * AC + 216,74 * AD + 488,04 * AE - 193,78 * AF + 151,95 * AH[1] - 210,43 * AH[2] - 197,48 * AH[3] - 85,64 * AK + 1065,96 * BC + 12,56 * BD + 284,70 * BE - 20,60 * BF - 40,10 * BG - 297,22 * BH[1] + 301,14 * BH[2] + 35,50 * BJ - 419,88 * CD - 11,33 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$



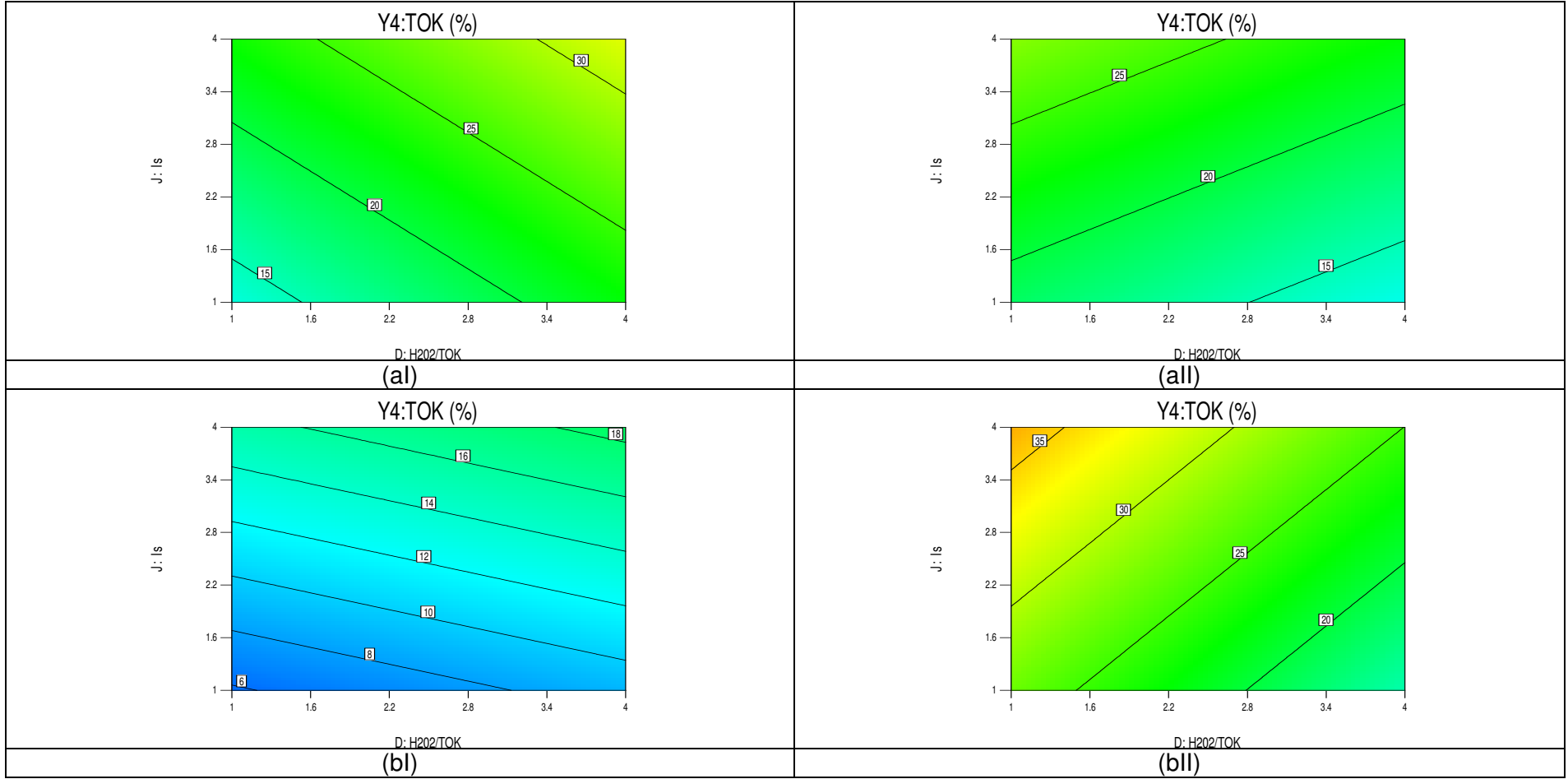
Şekil 4.36 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



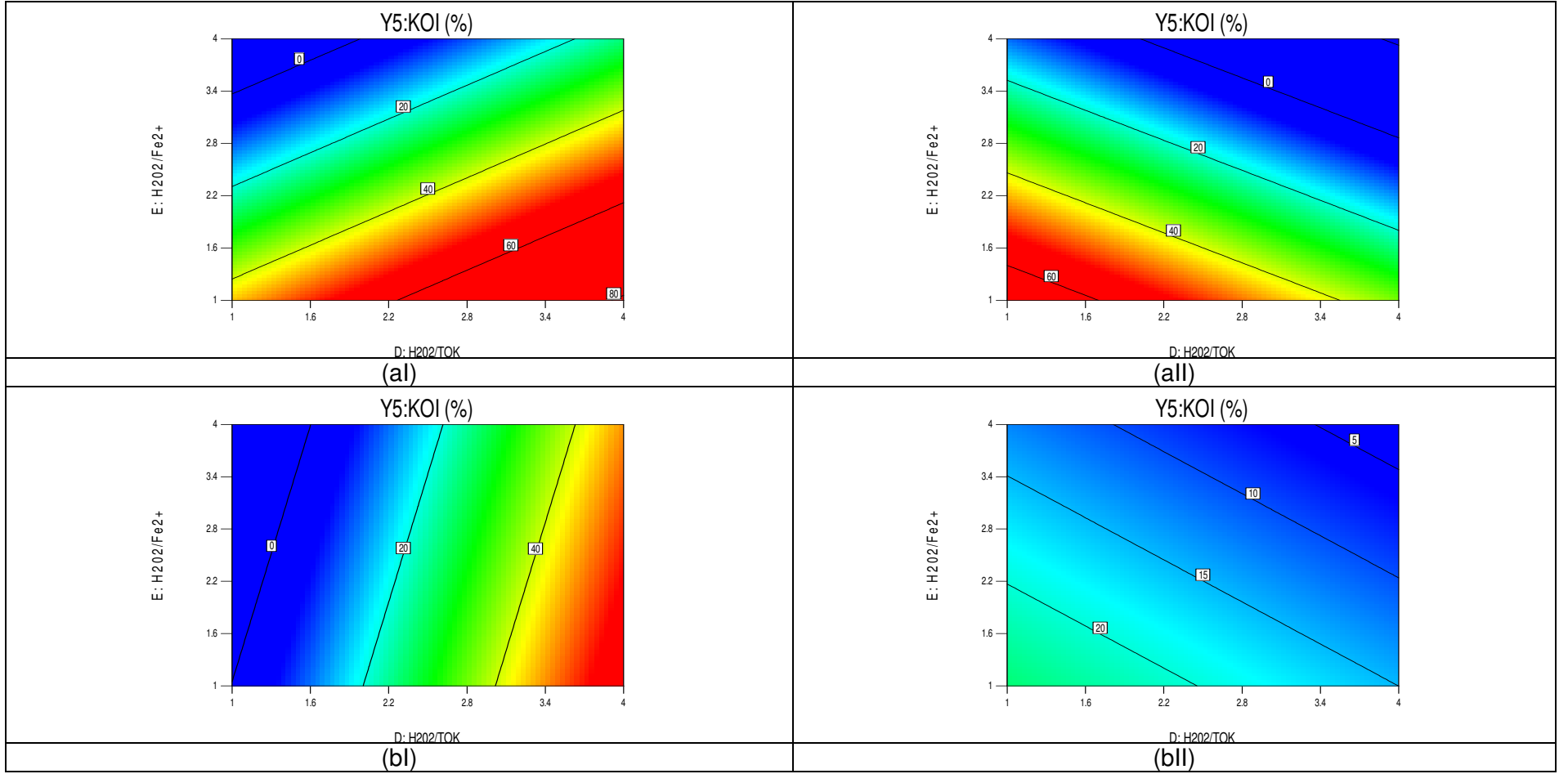
Şekil 4.37 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, v_H ve v_{SÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



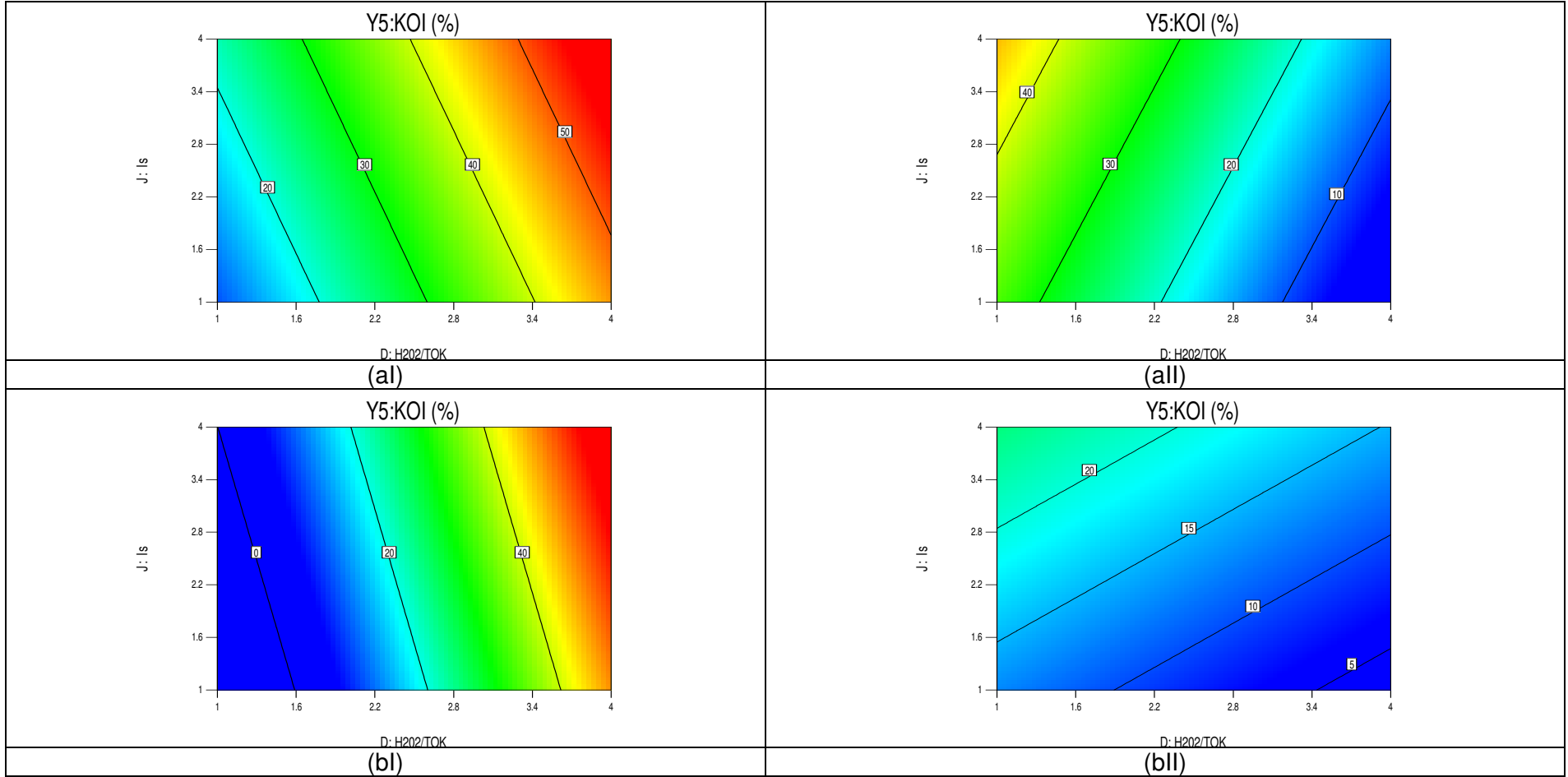
Şekil 4.38 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, v_{SÇ} ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



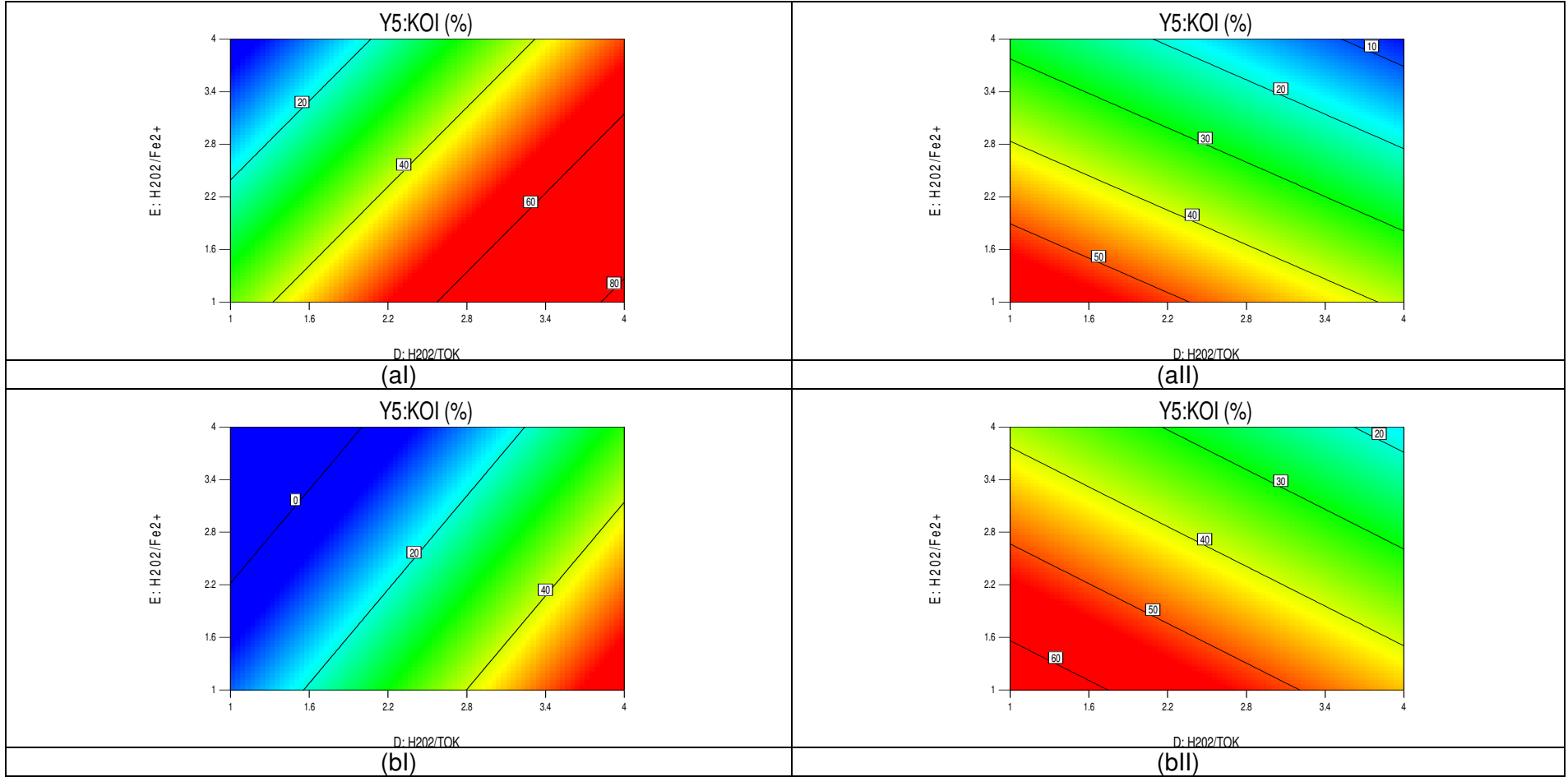
Şekil 4.39 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



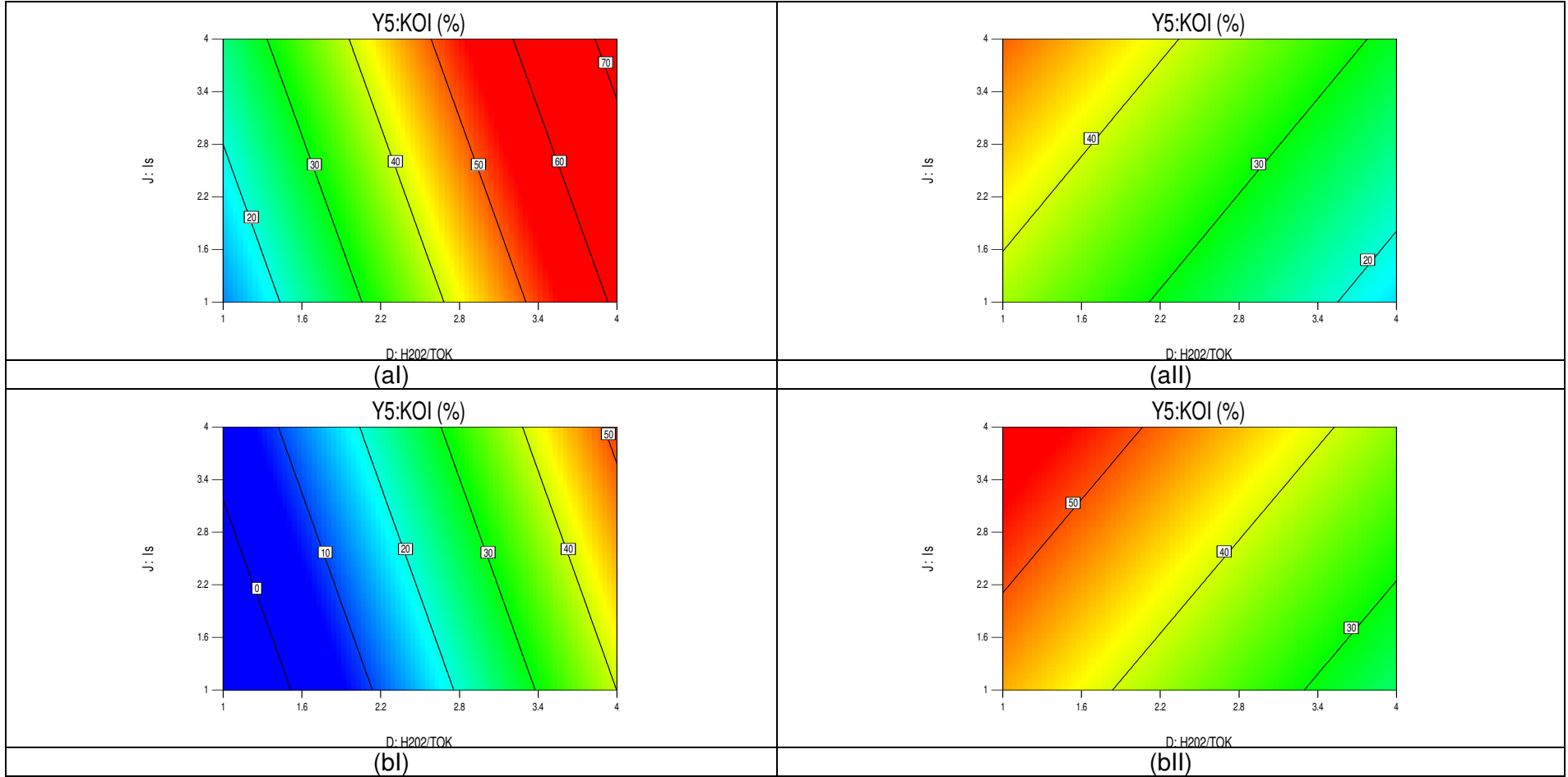
Şekil 4.40 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



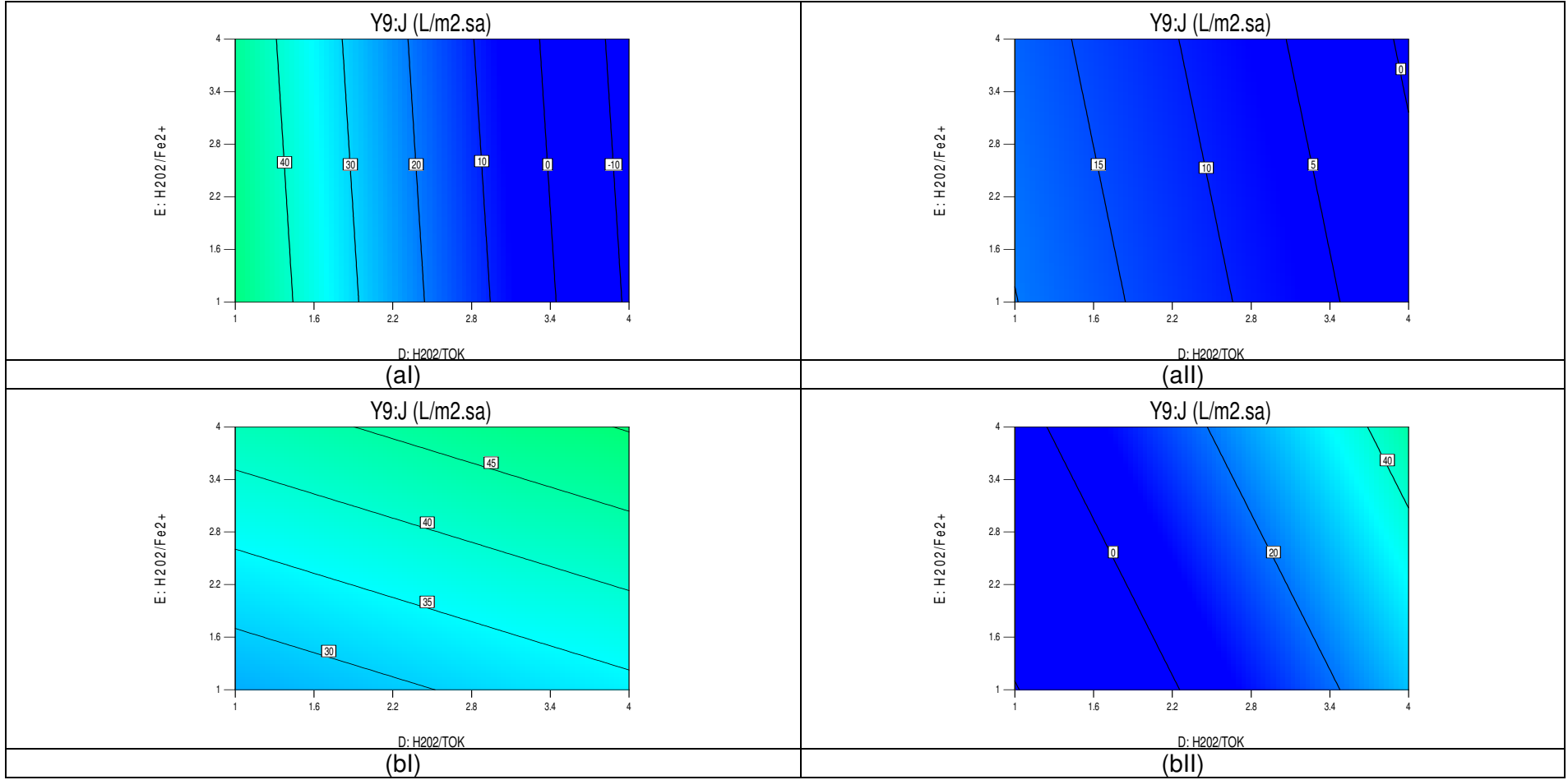
Şekil 4.41 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



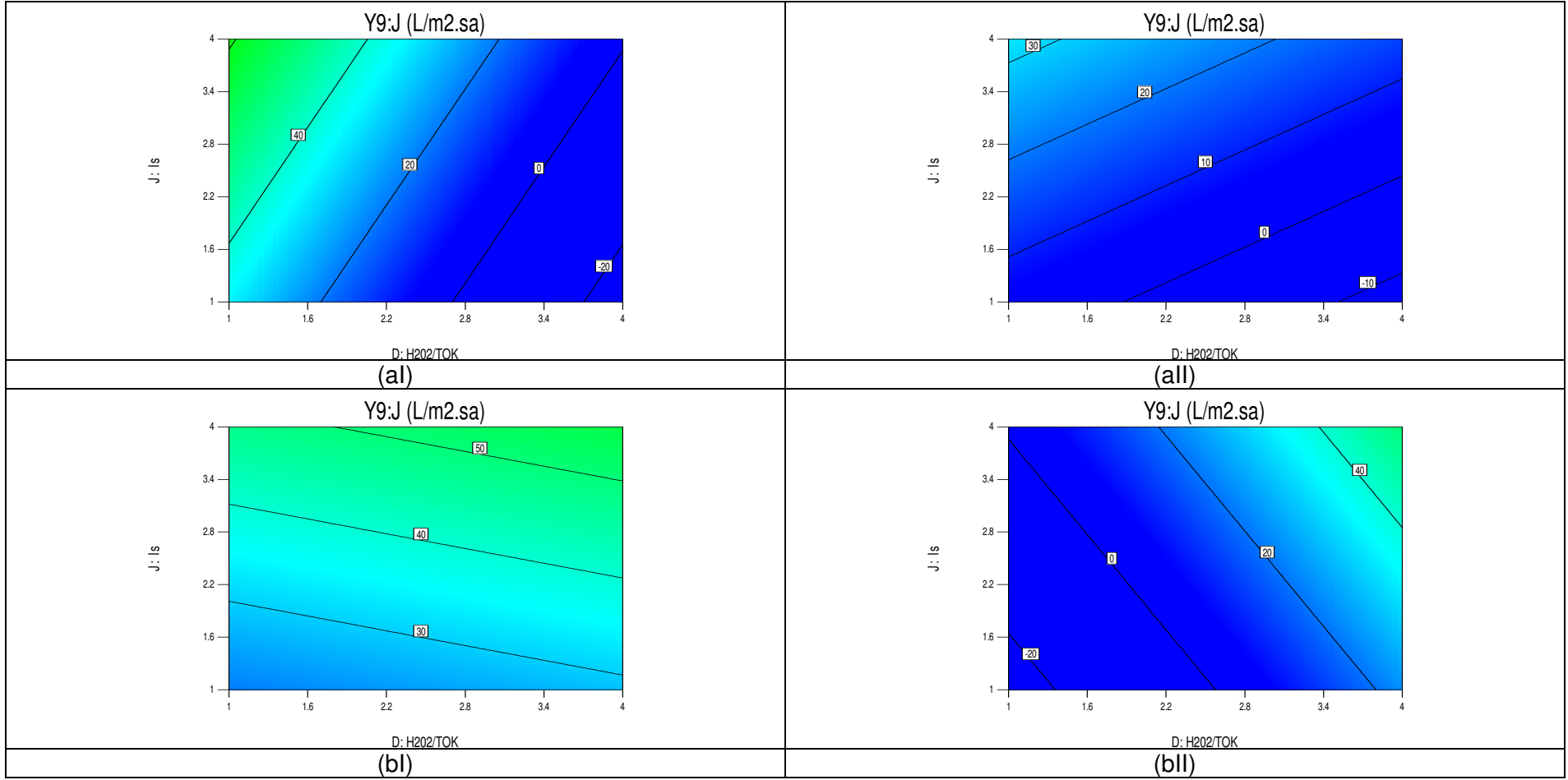
Şekil 4.42 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



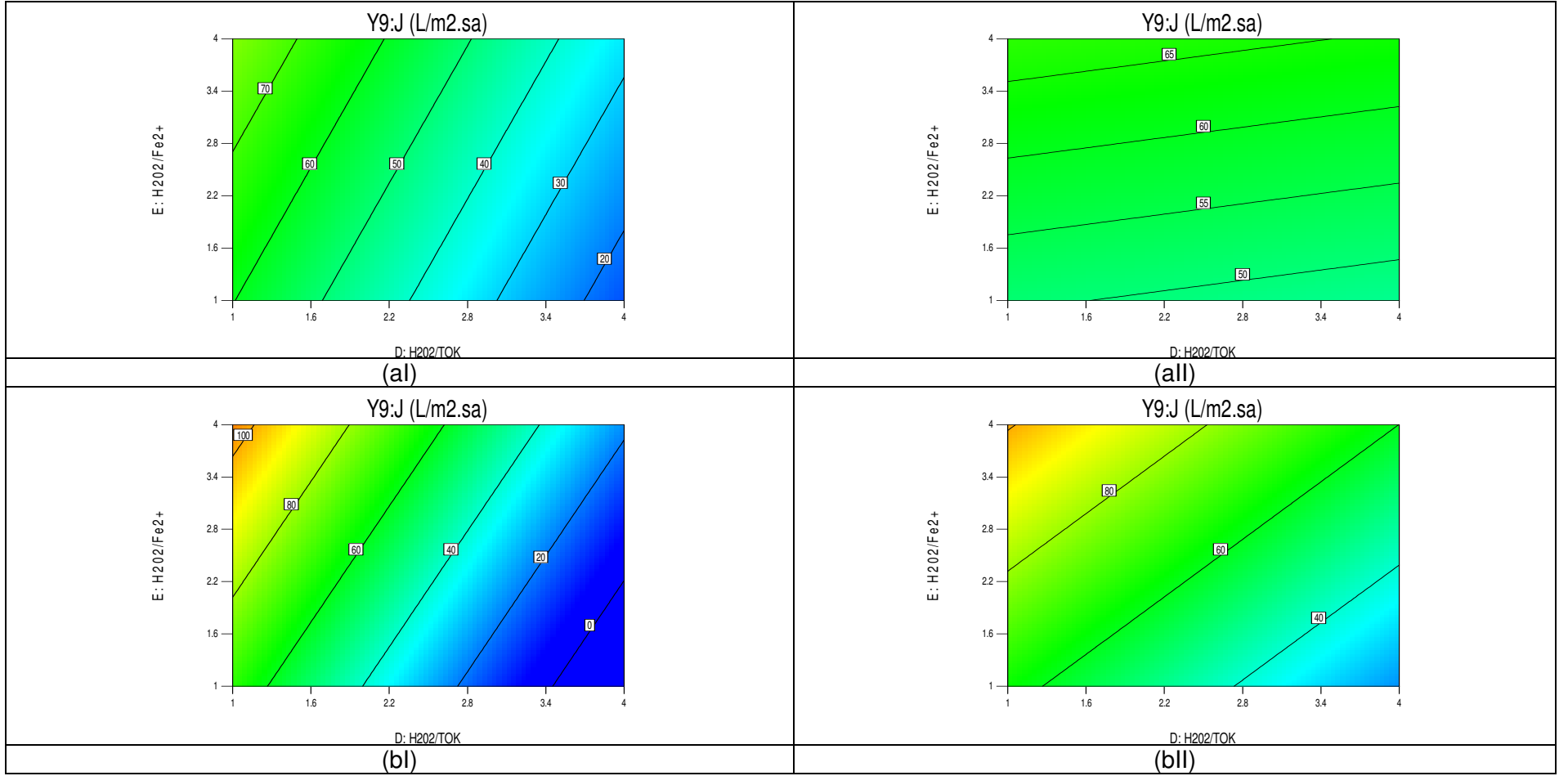
Şekil 4.43 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (Iş) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



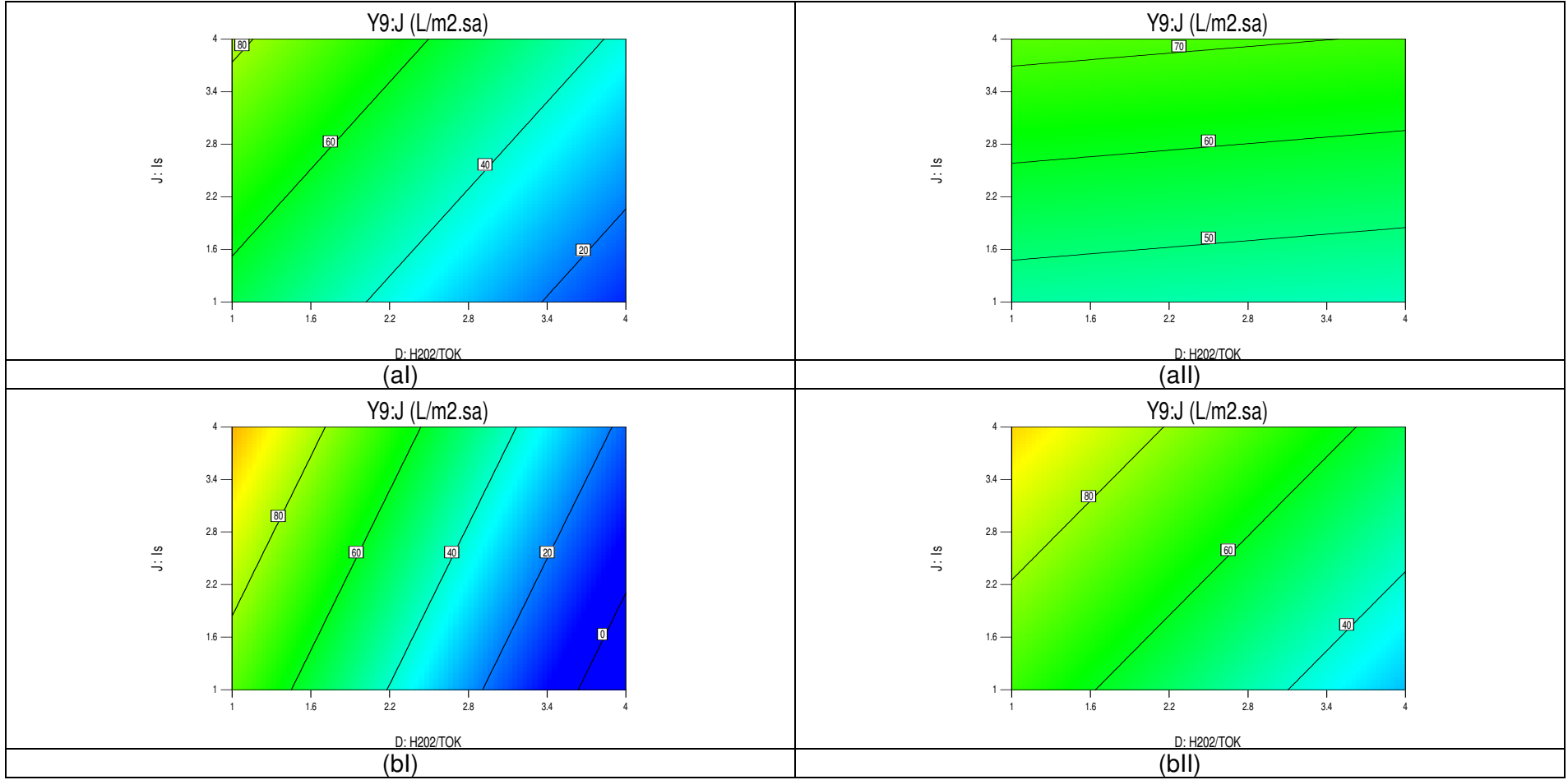
Şekil 4.44 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m².sa) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



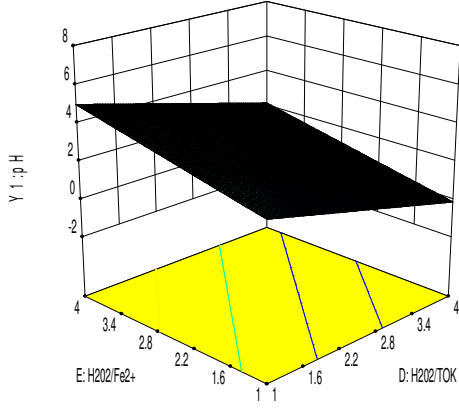
Şekil 4.45 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m².sa) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



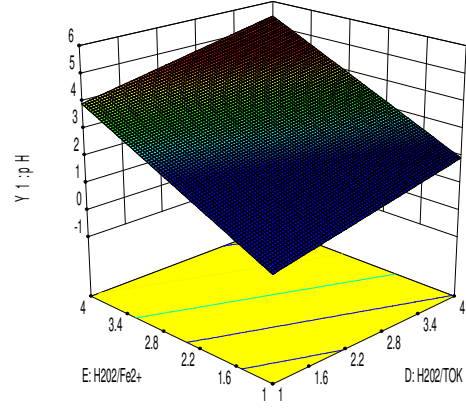
Şekil 4.46 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m².sa) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



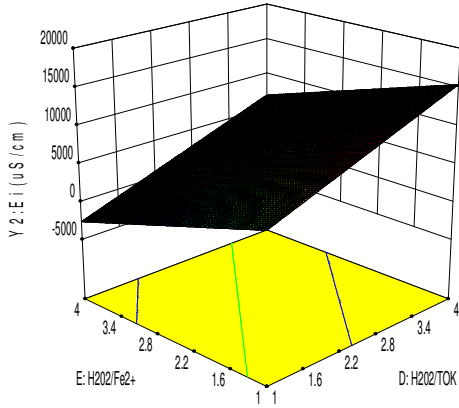
Şekil 4.47 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_s) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı (J , L/m².sa) grafikleri (t , T , pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



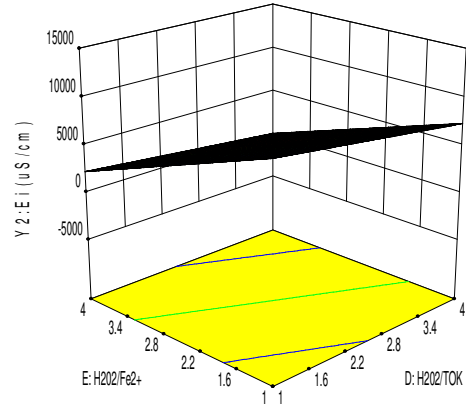
(a)



(aII)

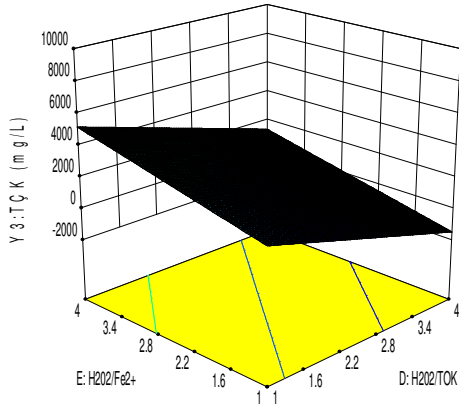


(b)

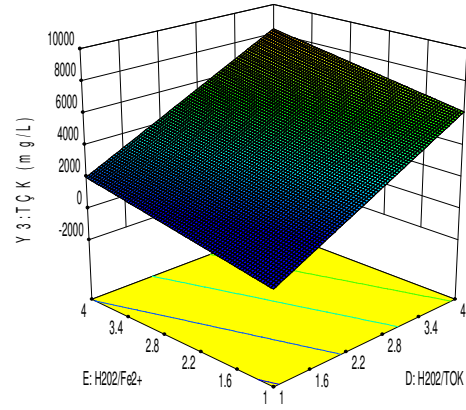


(bII)

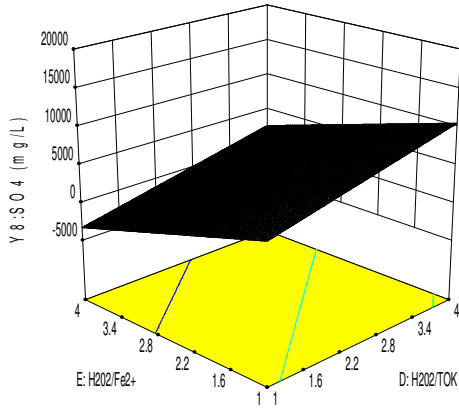
Şekil 4.48 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



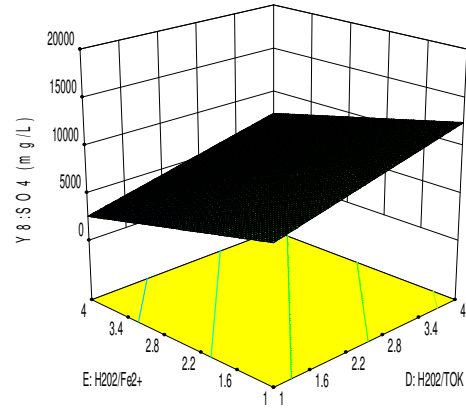
(aI)



(aII)

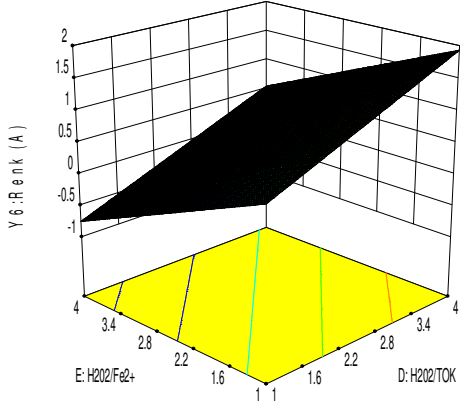


(bI)

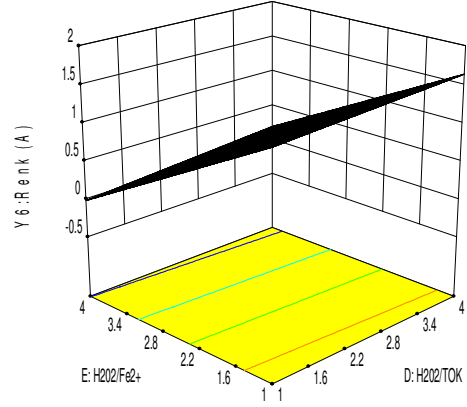


(bII)

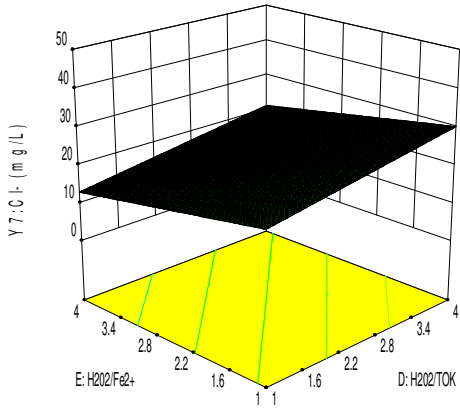
Şekil 4.49 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.



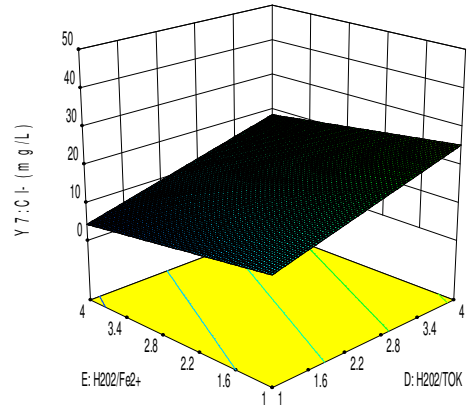
(a)



(aII)

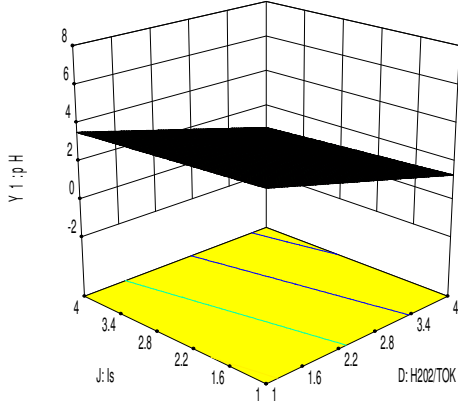


(bI)

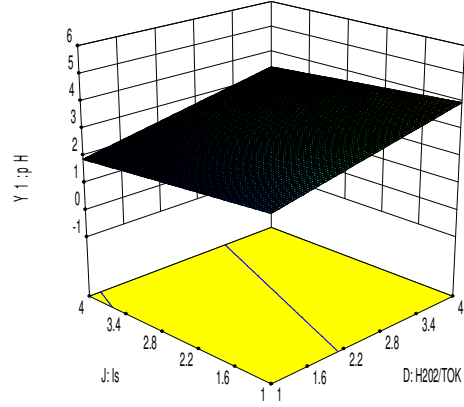


(bII)

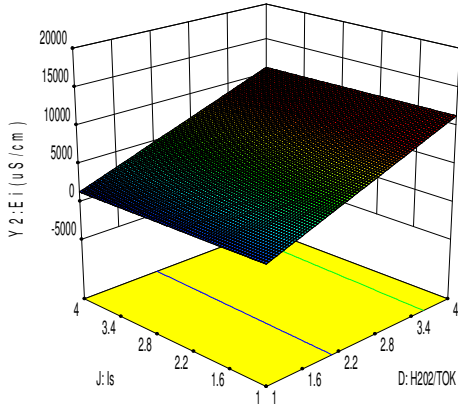
Şekil 4.50 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



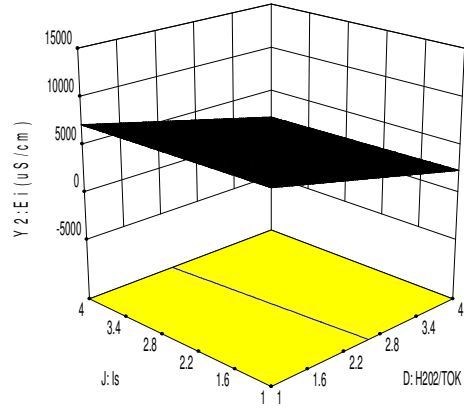
(a)



(aII)

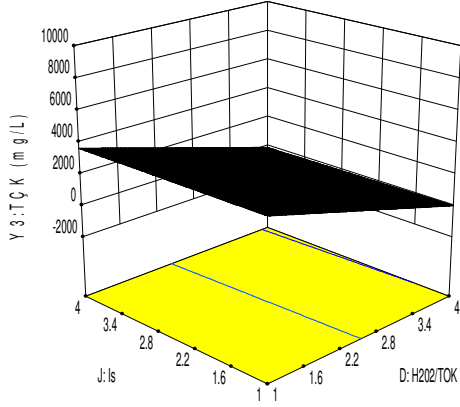


(bI)

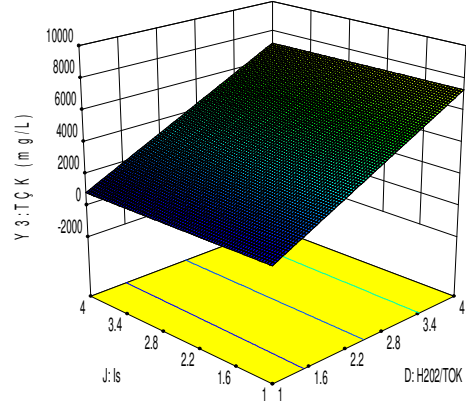


(bII)

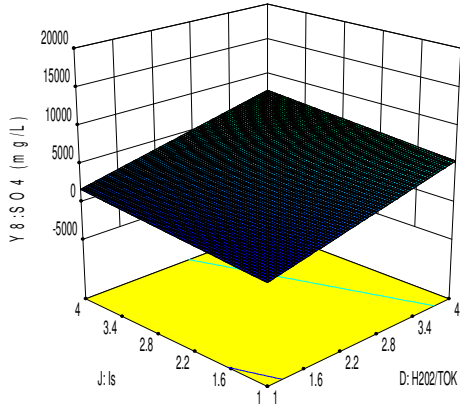
Şekil 4.51 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (IŞ) göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



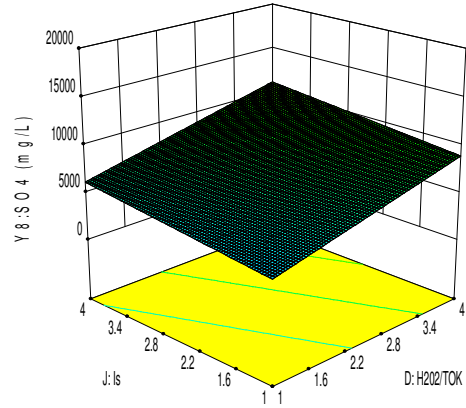
(a)



(all)

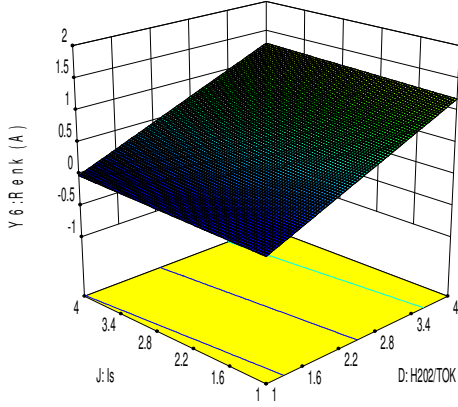


(bl)

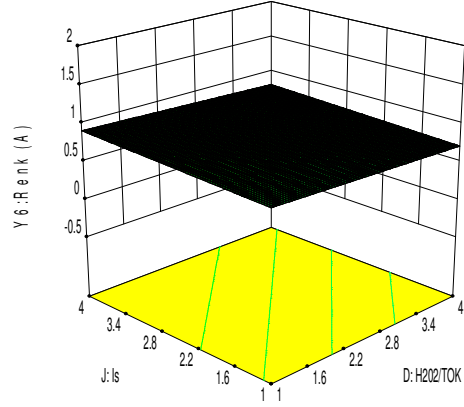


(bll)

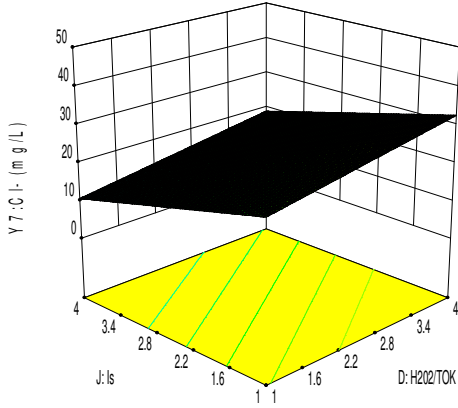
Şekil 4.52 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre TÇK (a) ve SO₄²⁻ (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H₂O₂/TOK ve IŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



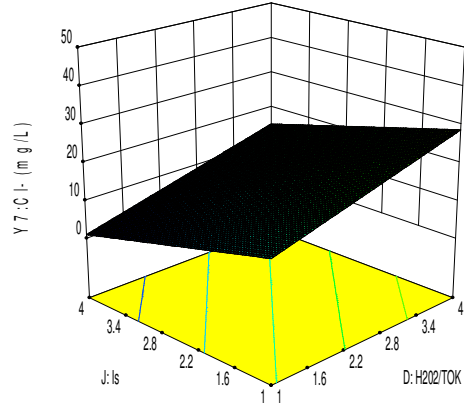
(a)



(all)



(bl)



(bll)

Şekil 4.53 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UV150 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (İŞ) göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2 /TOK ve İŞ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)

Batık UF proseste organik madde giderim verimleri, UF prosesi çıkış suyu kalitesi değerlerinin reaktör içerisindeki deney sonu ölçülen değerlere göre ölçülendirilmesi üzerinden belirlenmiştir. Batık membran proseste, UVA-365 ışık kaynağı etkisi altında bazı membranlarda aksi durum gözlenmiş olmakla birlikte, H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları veya H_2O_2 ve ışık şiddeti artışları ile genel olarak TOK ve KOİ giderim verimlerinin arttığı belirlenmiş; buna karşılık verim etkinliklerinin (değişim eğrisi eğimlerinin) değişen membran ve ışık kaynağı türleri için farklı seviyelerde olduğu görülmüştür. Membran süzüntü akısı bakımından ise, batık UF prosesin, hibrit reaktöre uygulanan arıtma kimyasalları miktarlarına ve uygulanan ışık enerjisinin tür ve şiddetine bağlı olarak birebir genelleştirilemeyen performanslar sergilediği ya da çok dinamik akı performans değişimleriyle artırılmış su eldesine imkan olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın, UH050 ve UV150 membranlarının sırasıyla UVC-254 ve UVA-365 destekli hibrit reaktör uygulamasında en yüksek süzüntü akısını sağladıkları görülmüştür. UH050/UVC-254 ve UV150/UVA-365 membran/ışık kaynağı türleriyle UF prosesinin İOP hibrit reaktörde batık olarak uygulanmasının süzüntü akısını, artan H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları ile azalttığı, artan ışık şiddetiyle de artırdığı belirlenmiştir. UH050/UVC-254 ve UV150/UVA-365 membran/ışık kaynağı türleriyle işletilen UF proseste, reaktöre ilave edilen H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarı arttıkça UF prosesi çıkış suyu pH'sının doğrusal olarak azaldığı ve iletkenlik değerinin 5000-6000 $\mu S/cm$ civarına arttığı görülmüştür. Aynı giriş parametresi ikilisi (H_2O_2 ve Fe^{2+}) değişim şartları altında, sülfat paramteresinin 10.000 mg/L ve üzeri değerlere çıktığı ve UH050/UVC-254 ikilisi etkinliğinde daha iyi UF çıkış suyu TÇK değerlerine ulaşıldığı belirlenmiştir. UF çıkış suyunda, atıksuyun giderilerek kalan kendi rengi ve sudaki çözünmüş demir iyonlarından gelen renklerin içeriğinden ibaret renk paramteresinde 1.0 A ve üzeri değerlere doğrusal artışlar gözlenmiştir. Bu duruma göre, H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları minimize edilerek uygulanacak foto-Fenton prosesiyle; hibrit reaktör sonrasında NF ve/veya TO içerikli arıtma adımlarında membranlar üzerinde demir içerikli kirlenme yükü oluşturulmaması ve Fenton'a ilave edilen demir kayıp edilmeksizin reaktöre geri döndürülerek (konsantrenin hibrit reaktöre geri devri) hibrit reaktör ve sonrasında NF ve TO proseslerinin daha ekonomik işletmelerinin sağlanabileceğini ortaya koymaktadır. Diğer taraftan, ışık şiddeti paramteresinin, UF çıkış suyunda klorürü biraz azaltıcı etkisi görülmüş olmakla birlikte, diğer inorganik parametrelerin performans değişimleri üzerine herhangi bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir.

– Foto-Fenton/batık UF hibrit prosesinin deneysel performansı

İOP/batık UF hibrit reaktör sisteminde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında, TOK, KOİ ve süzüntü akısı (J) performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA

analiz sonuçları Tablo 20'de; I. derece lineer ve II. derece lineer olmayan modeller bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 21'de sunulmuştur.

Tablo 4.20'de I. derece lineer model için verilen $P>F$ değerlerine bakıldığında, batık UF proseste TOK, KOİ ve J performans parametrelerinin lineer modele göre önemli düzeyde bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. TOK parametresinde, Fenton proseste olduğu gibi, H_2O_2 miktarı başta olmak üzere sırasıyla zaman ve sıcaklığın ve kısmen ışık türünün; KOİ parametresinde ise, yine başta H_2O_2 miktarı olmak üzere zamanın proseslerin hibrit işletimleri üzerine önemli etkilerinin olduğu görülmüştür. UF süzüntü akısı için önemli parametrelerin, başta membran türü olmak üzere H_2O_2 miktarı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, foto-Fenton destekli İOP/UF hibrit reaktörde organik giderim veriminin esasen H_2O_2 miktarı ve zamanın bir fonksiyonu olduğu; UF membran su akısının ise membran türüne ve İOP reaktöre ilave edilen H_2O_2 miktarına bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.21'e göre, II. derece lineer olmayan modellerin, birebir ilişki düzeyinde sıfır standard sapma ($S=0$) ve tam korelasyon ($r^2=1.0$) değerleri veriyor olmasından hareketle; foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit sistem için tüm ana performans parametrelerinin, lineer ve iç etkileşimli model terimlerine dayalı olarak tahmin edilebilir olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit sistemde, organik madde giderim verimleri, arıtılmış çıkış suyu kalitesinin deney başlangıcında reaktör içerisindeki atıksuyun kalitesine göre ölçülendirilmesi üzerinden belirlenmiştir. Değişen UF membran (UP005, UP020, UH050 ve UV150) ve ışık kaynağı (UVC-254 ve UVA-365) türleri için $H_2O_2/TOK-H_2O_2/Fe^{2+}$ ve $H_2O_2/TOK-ışık şiddeti$ giriş parametreleri ikilileriyle TOK giderme verimi değişimleri Şekil 4.54-4.57'de, KOİ giderme verimi değişimleri Şekil 4.58-4.61'de ve süzüntü akısı değişimleri ise Şekil 4.62-4.65'te sunulmuştur.

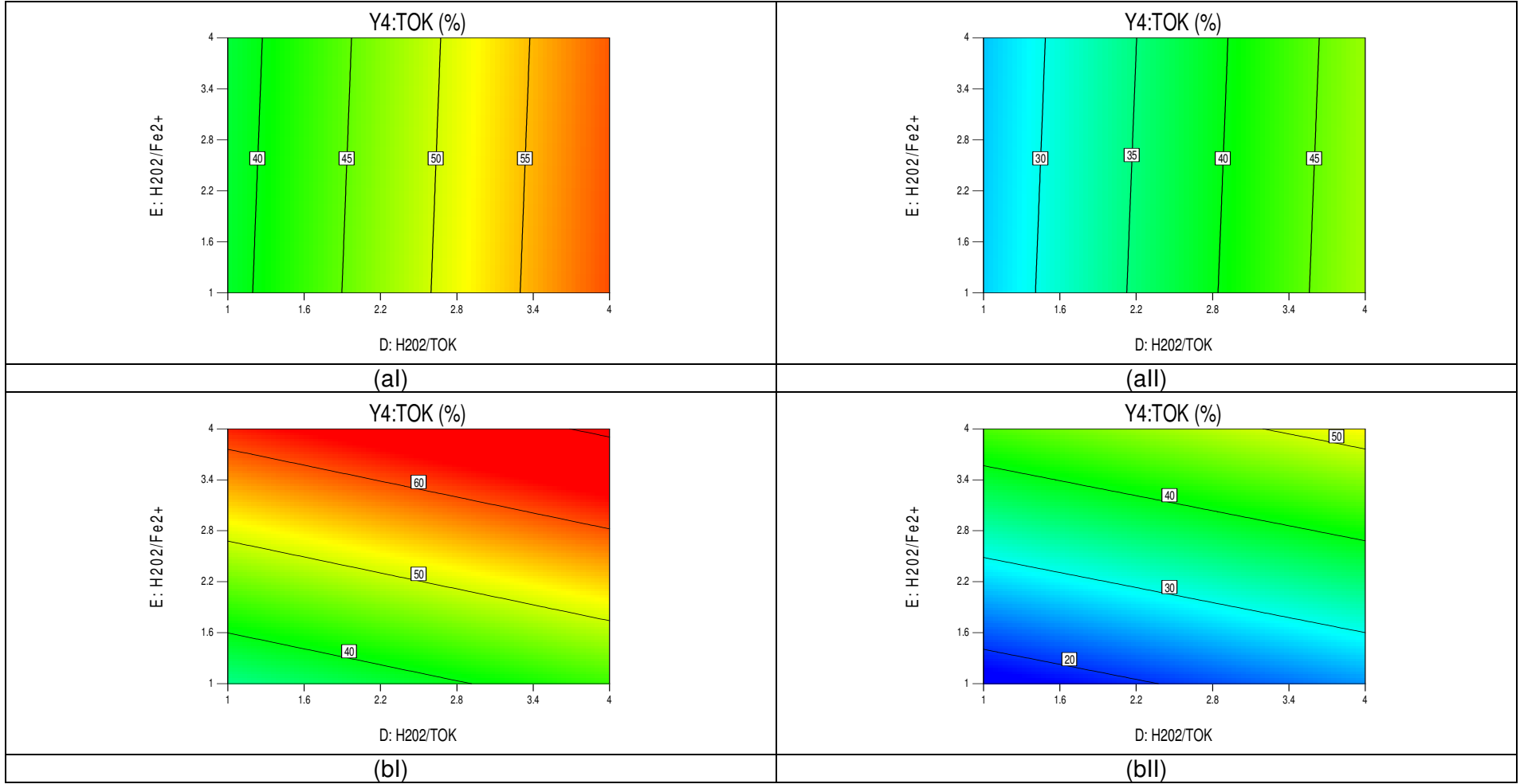
Foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit sistemde TOK giderim etkinliğinin, H_2O_2 miktarı ve ışık şiddeti ile arttığı, ancak artan Fe^{2+} miktarıyla azaldığı belirlenmiştir. KOİ parametresi için bu eğilimin, UV150 membranında artan Fe^{2+} miktarıyla artış şeklinde olmak üzere, TOK parametresiyle aynı yönlü olduğu görülmüştür. Membran süzüntü akısı bakımından ise, hibrit reaktöre verilen Fenton kimyasalları miktarlarına ve uygulanan ışık enerjisinin tür ve şiddetine bağlı olarak birebir genelleştirilemeyen performanslar sergilendiği ya da çok dinamik akı performans değişimleriyle arıtılmış su eldesinin sağlanabildiği anlaşılmaktadır. Buna karşın, UH050 ve UV150 membranlarının sırasıyla UVC-254 ve UVA-365 destekli hibrit reaktör uygulamasında en yüksek süzüntü akısını sağladıkları görülmüştür. UH050/UVC-254 ve UV150/UVA-365 membran/ışık kaynağı türleriyle UF prosesinin İOP hibrit reaktörde batık olarak uygulanmasının süzüntü akısını, artan H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları ile azalttığı, artan ışık şiddetiyle de arttırdığı belirlenmiştir.

Tablo 4.20 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için lineer modelin (Model I) ANOVA sonuçları

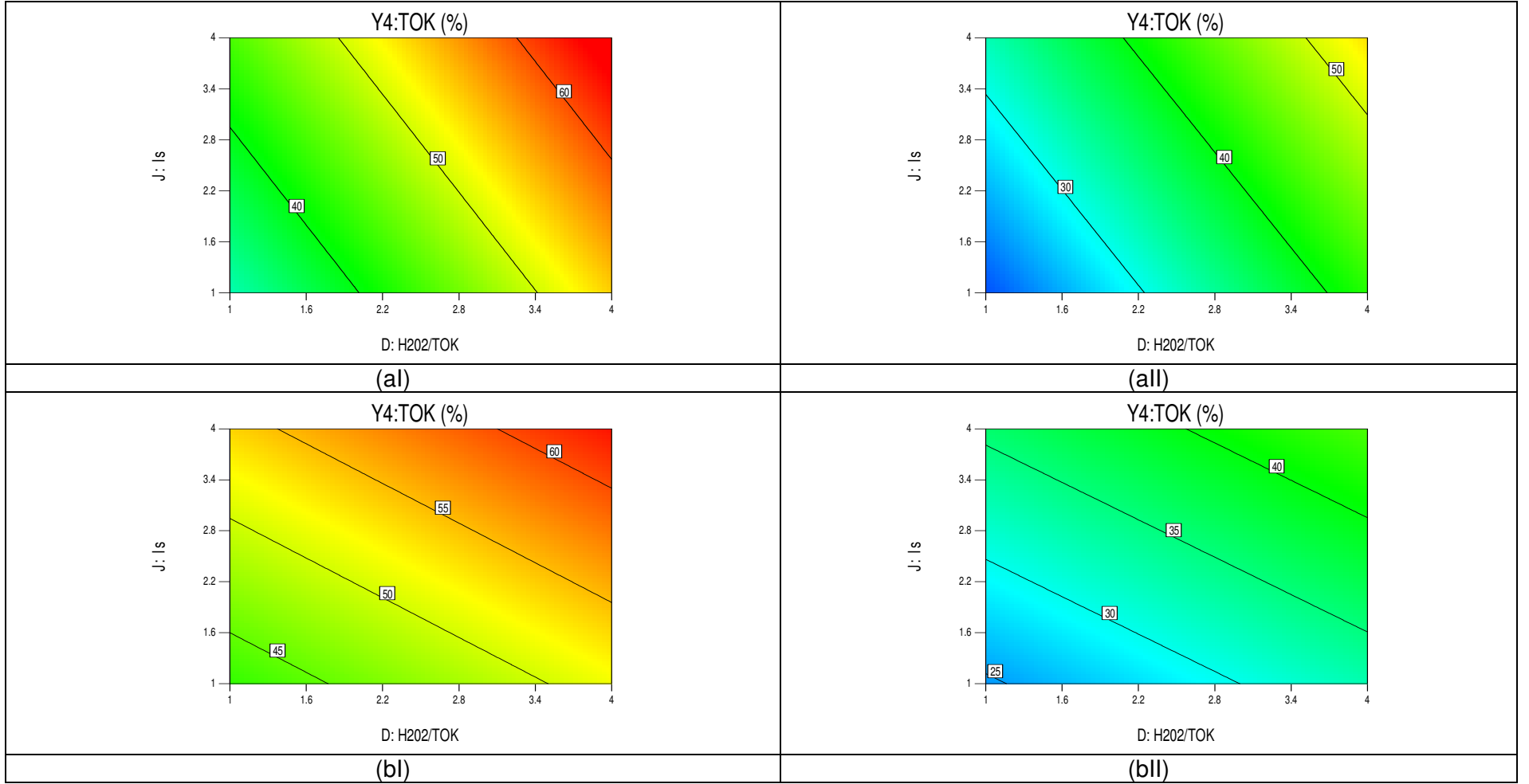
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	2827,15	12	235,60	4,84	0,0012
	A-t	661,13	1	661,13	13,57	0,0016
	B-T	343,03	1	343,03	7,04	0,0157
	C-pH	14,97	1	14,97	0,31	0,5858
	D-H ₂ O ₂ /TOK	1266,56	1	1266,56	26,00	< 0,0001
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	37,39	1	37,39	0,77	0,3919
	F-v _H	24,22	1	24,22	0,50	0,4893
	G-v _{SÇ}	24,45	1	24,45	0,50	0,4872
	H-M _T	300,85	3	100,28	2,06	0,1397
	J-I _ş	3,03	1	3,03	0,062	0,8057
	K-I _T	151,52	1	151,52	3,11	0,0939
	Artan değer	925,56	19	48,71		
	Toplam	3752,71	31			
KOİ (%)	Model	2409,56	12	200,80	2,63	0,0292
	A-t	564,44	1	564,44	7,38	0,0137
	B-T	165,90	1	165,90	2,17	0,1571
	C-pH	107,83	1	107,83	1,41	0,2497
	D-H ₂ O ₂ /TOK	1181,39	1	1181,39	15,45	0,0009
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	3,48	1	3,48	0,046	0,8333
	F-v _H	4,24	1	4,24	0,055	0,8164
	G-v _{SÇ}	0,095	1	0,095	0,00123	0,9722
	H-M _T	253,53	3	84,51	1,11	0,3715
	J-I _ş	75,90	1	75,90	0,99	0,3316
	K-I _T	52,77	1	52,77	0,69	0,4164
	Artan değer	1452,81	19	76,46		
	Toplam	3862,37	31			
J (L/m ² ,sa)	Model	14353,84	12	1196,15	2,61	0,0300
	A-t	132,90	1	132,90	0,29	0,5966
	B-T	701,99	1	701,99	1,53	0,2310
	C-pH	60,69	1	60,69	0,13	0,7200
	D-H ₂ O ₂ /TOK	3208,22	1	3208,22	7,00	0,0160
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	1020,20	1	1020,20	2,22	0,1522
	F-v _H	15,98	1	15,98	0,035	0,8539
	G-v _{SÇ}	56,83	1	56,83	0,12	0,7287
	H-M _T	9017,89	3	3005,96	6,56	0,0032
	J-I _ş	17,77	1	17,77	0,039	0,8460
	K-I _T	121,37	1	121,37	0,26	0,6129
	Artan değer	8712,21	19	458,54		
	Toplam	23066,05	31			

Tablo 4.21 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için model denklemleri

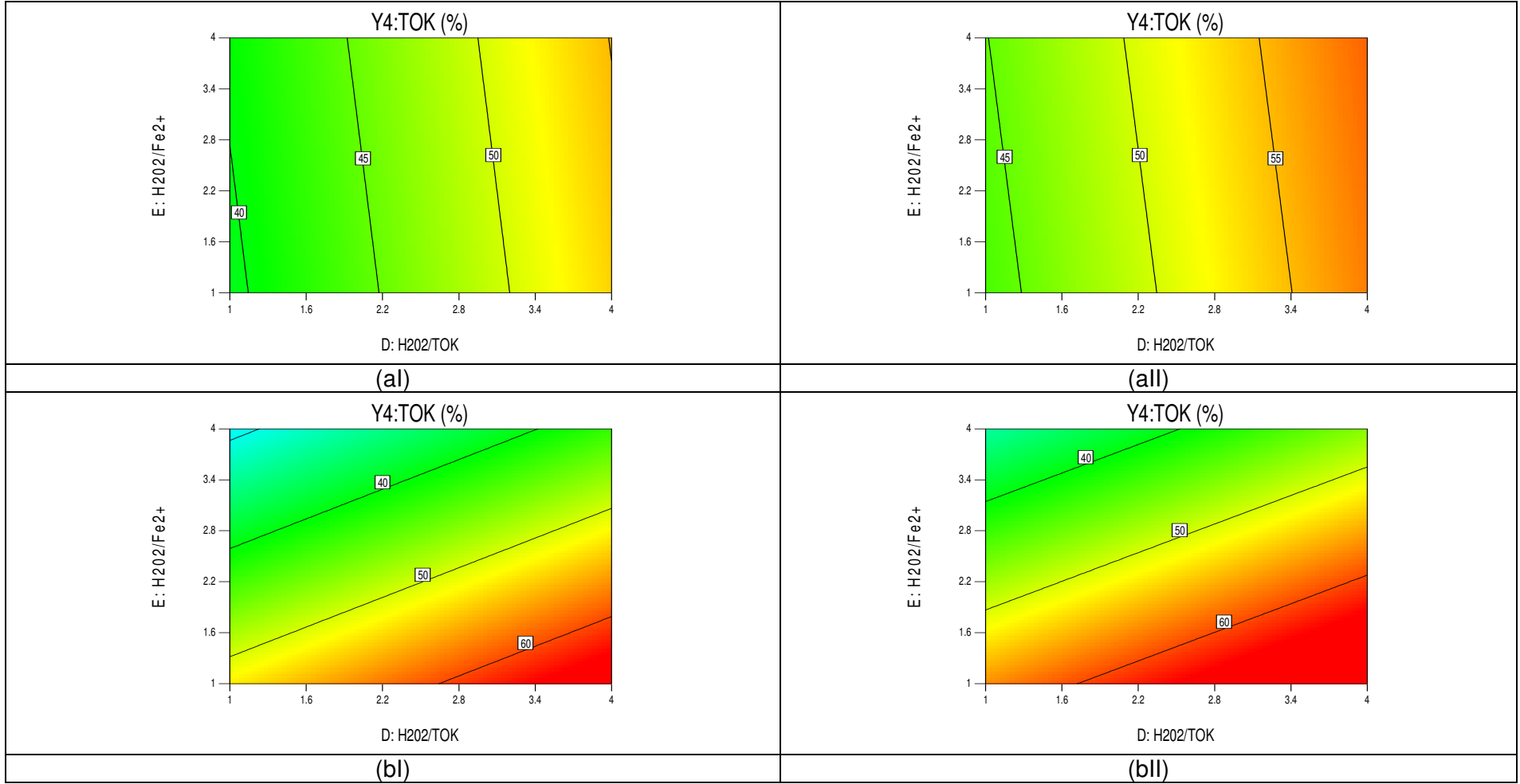
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II, Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$46,38 + 6,10 * A + 4,39 * B - 0,92 * C + 8,44 * D + 1,45 * E - 1,17 * F - 1,17 * G - 3,23 * H[1] - 2,89 * H[2] + 2,85 * H[3] + 0,41 * J - 2,18 * K$ $(S = 6,98 \text{ ve } r^2 = 0,7534)$	$46,38 + 5,00 * A + 13,24 * B + 42,60 * C + 6,74 * D + 8,15 * E + 3,98 * F - 2,69 * G - 54,21 * H[1] + 54,42 * H[2] + 28,88 * H[3] + 20,94 * J + 60,32 * K - 8,97 * AB - 1,20 * AC + 23,04 * AD + 65,44 * AE - 18,64 * AF + 20,35 * AH[1] - 38,74 * AH[2] - 23,78 * AH[3] - 23,06 * AK + 140,85 * BC - 2,28 * BD + 46,67 * BE - 0,97 * BF - 1,83 * BG - 31,93 * BH[1] + 33,70 * BH[2] + 1,34 * BJ - 42,94 * CD + 1,29 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$
KOİ (%)	$66,51 + 5,63 * A + 3,05 * B - 2,46 * C + 8,15 * D + 0,44 * E - 0,49 * F - 0,073 * G - 3,12 * H[1] - 2,48 * H[2] + 2,99 * H[3] + 2,07 * J - 1,28 * K$ $(S = 8,74 \text{ ve } r^2 = 0,6239)$	$66,51 + 0,46 * A + 20,69 * B + 57,21 * C + 5,50 * D + 10,08 * E + 7,29 * F - 1,71 * G - 73,28 * H[1] + 67,72 * H[2] + 37,36 * H[3] + 31,11 * J + 76,03 * K - 13,34 * AB + 0,52 * AC + 37,81 * AD + 90,01 * AE - 18,96 * AF + 21,96 * AH[1] - 48,71 * AH[2] - 27,63 * AH[3] - 28,07 * AK + 174,21 * BC - 4,92 * BD + 61,08 * BE - 1,06 * BF - 0,35 * BG - 40,09 * BH[1] + 40,99 * BH[2] - 1,47 * BJ - 54,93 * CD - 3,16 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$
J (L/m ² ·sa)	$36,04 + 2,73 * A + 6,28 * B - 1,85 * C - 13,43 * D + 7,58 * E + 0,95 * F - 1,79 * G - 18,93 * H[1] - 14,24 * H[2] + 19,39 * H[3] - 1,00 * J - 1,95 * K$ $(S = 21,41 \text{ ve } r^2 = 0,6223)$	$36,04 - 7,37 * A + 84,65 * B + 325,37 * C - 14,66 * D + 60,42 * E + 19,49 * F - 11,99 * G - 368,04 * H[1] + 410,78 * H[2] + 194,66 * H[3] + 158,04 * J + 469,53 * K - 21,53 * AB - 27,49 * AC + 216,74 * AD + 488,04 * AE - 193,78 * AF + 151,95 * AH[1] - 210,43 * AH[2] - 197,48 * AH[3] - 85,64 * AK + 1065,96 * BC + 12,56 * BD + 284,70 * BE - 20,60 * BF - 40,10 * BG - 297,22 * BH[1] + 301,14 * BH[2] + 35,50 * BJ - 419,88 * CD - 11,33 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$



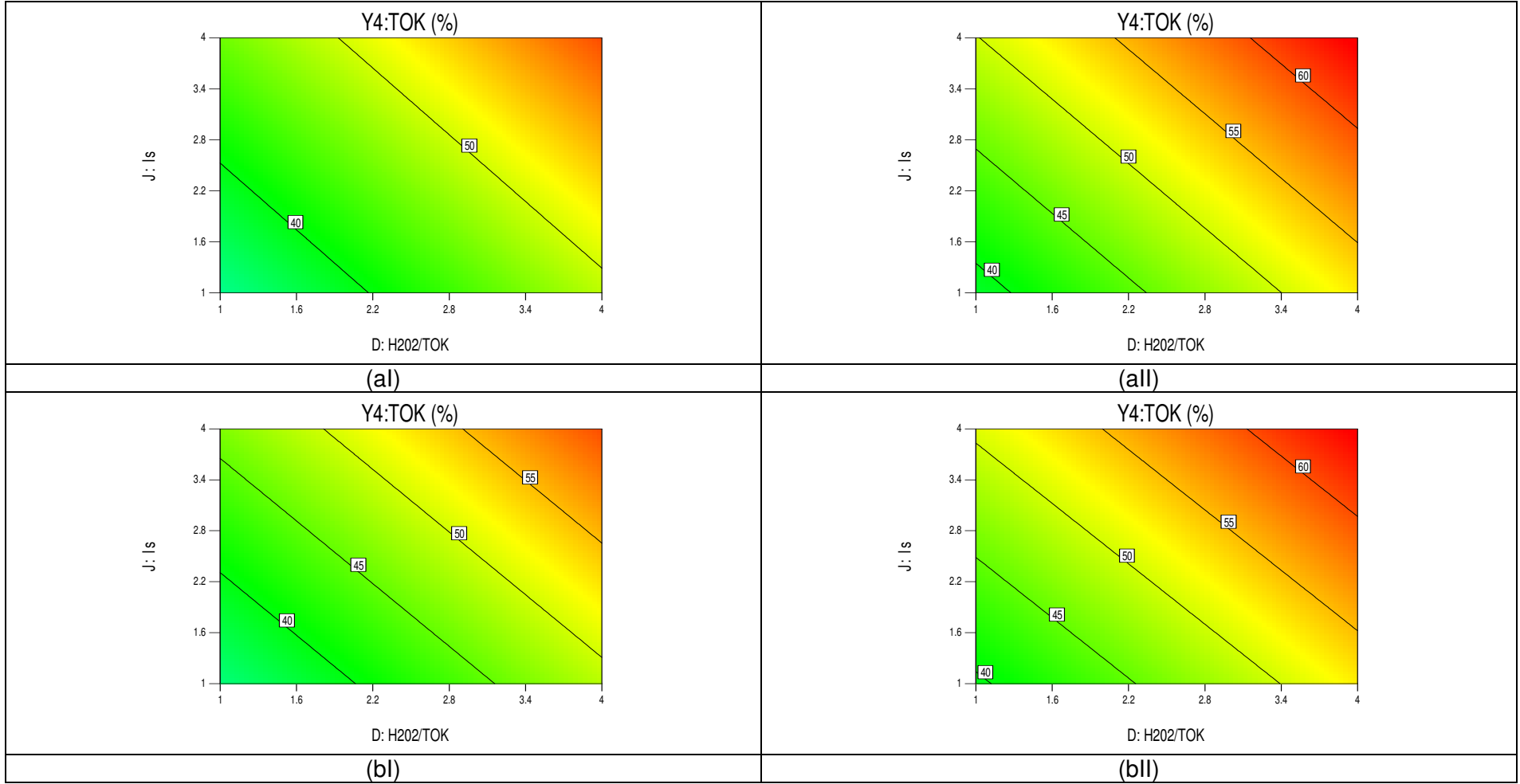
Şekil 4.54 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC-254 (I) ve UVA-365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



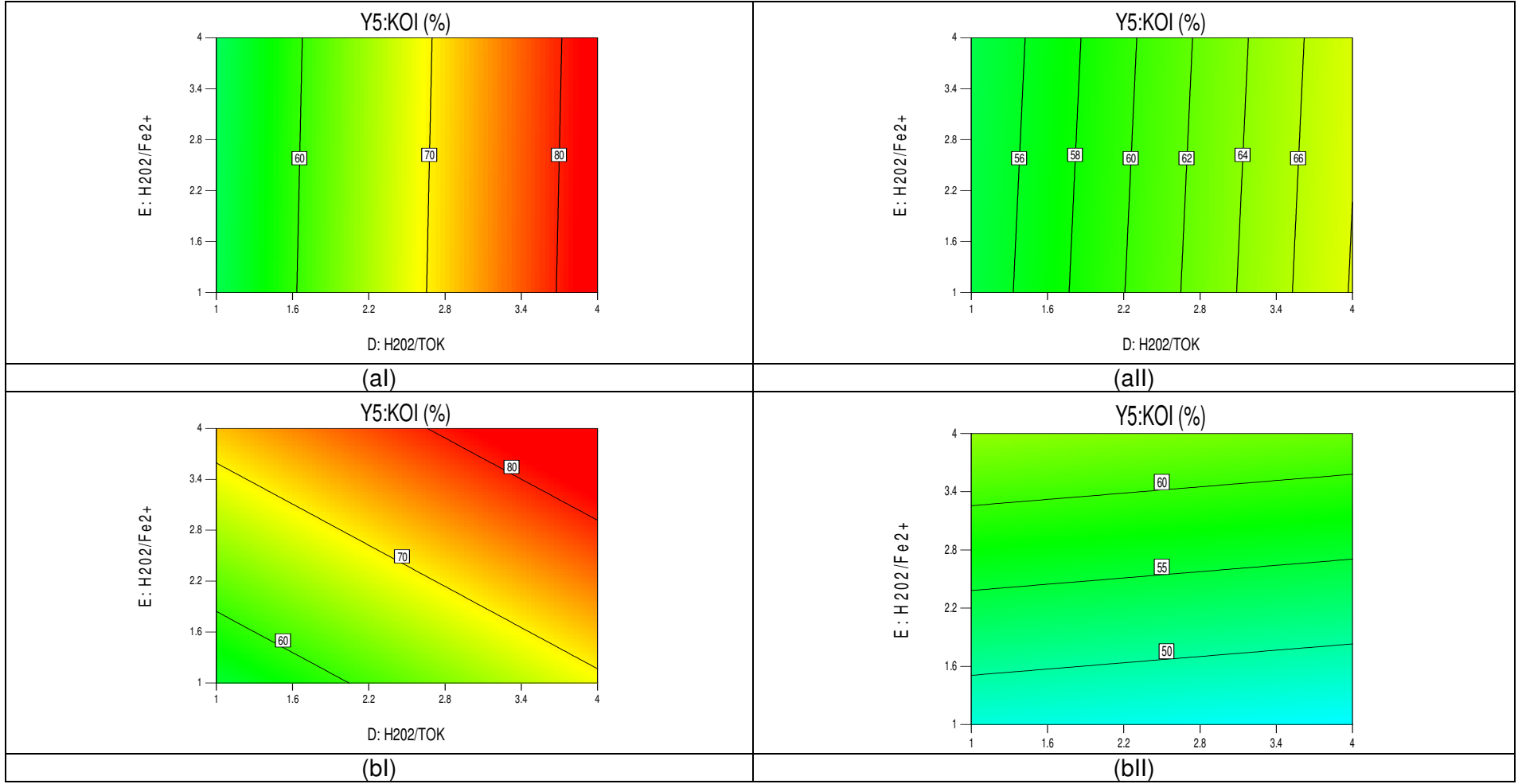
Şekil 4.55 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



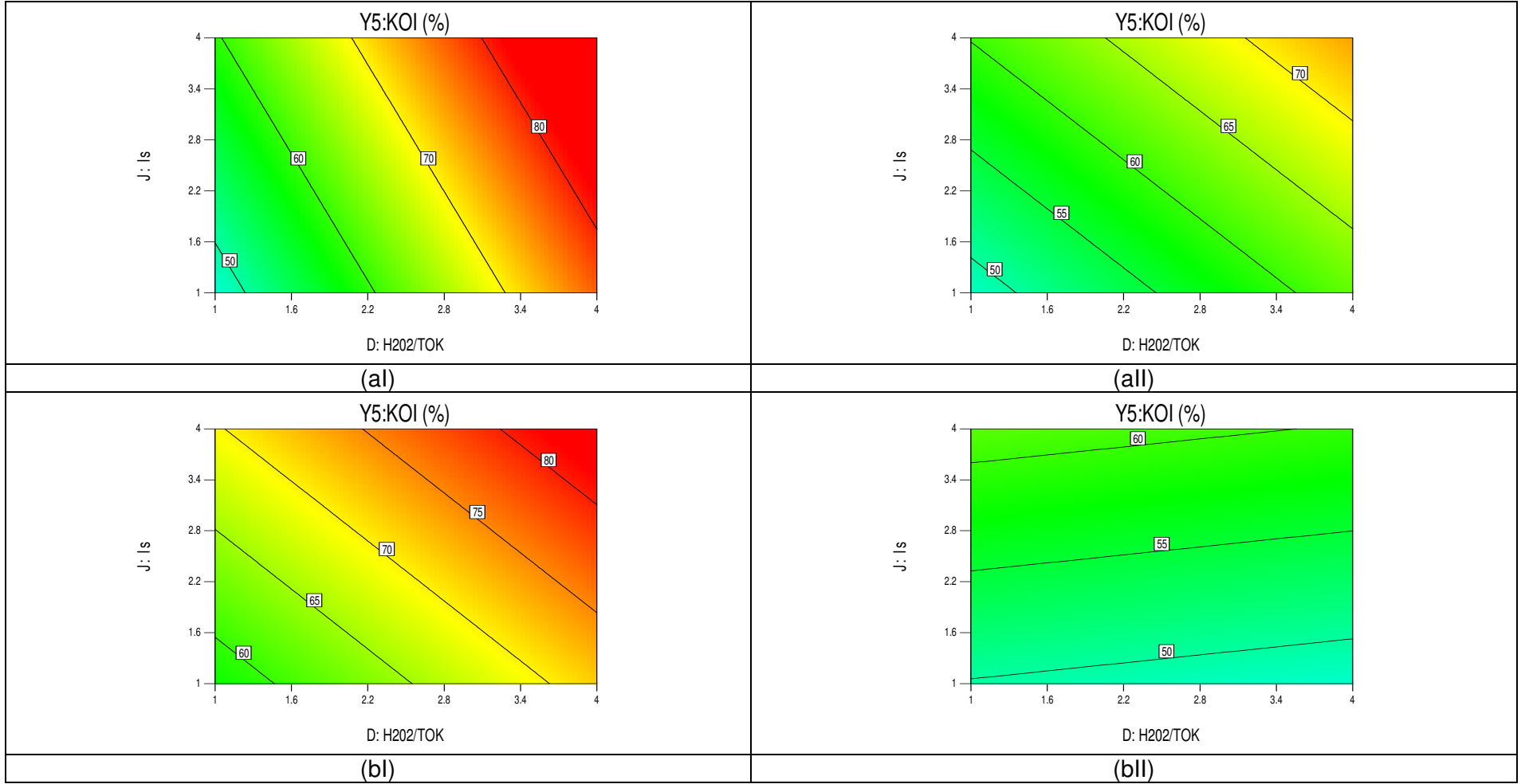
Şekil 4.56 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



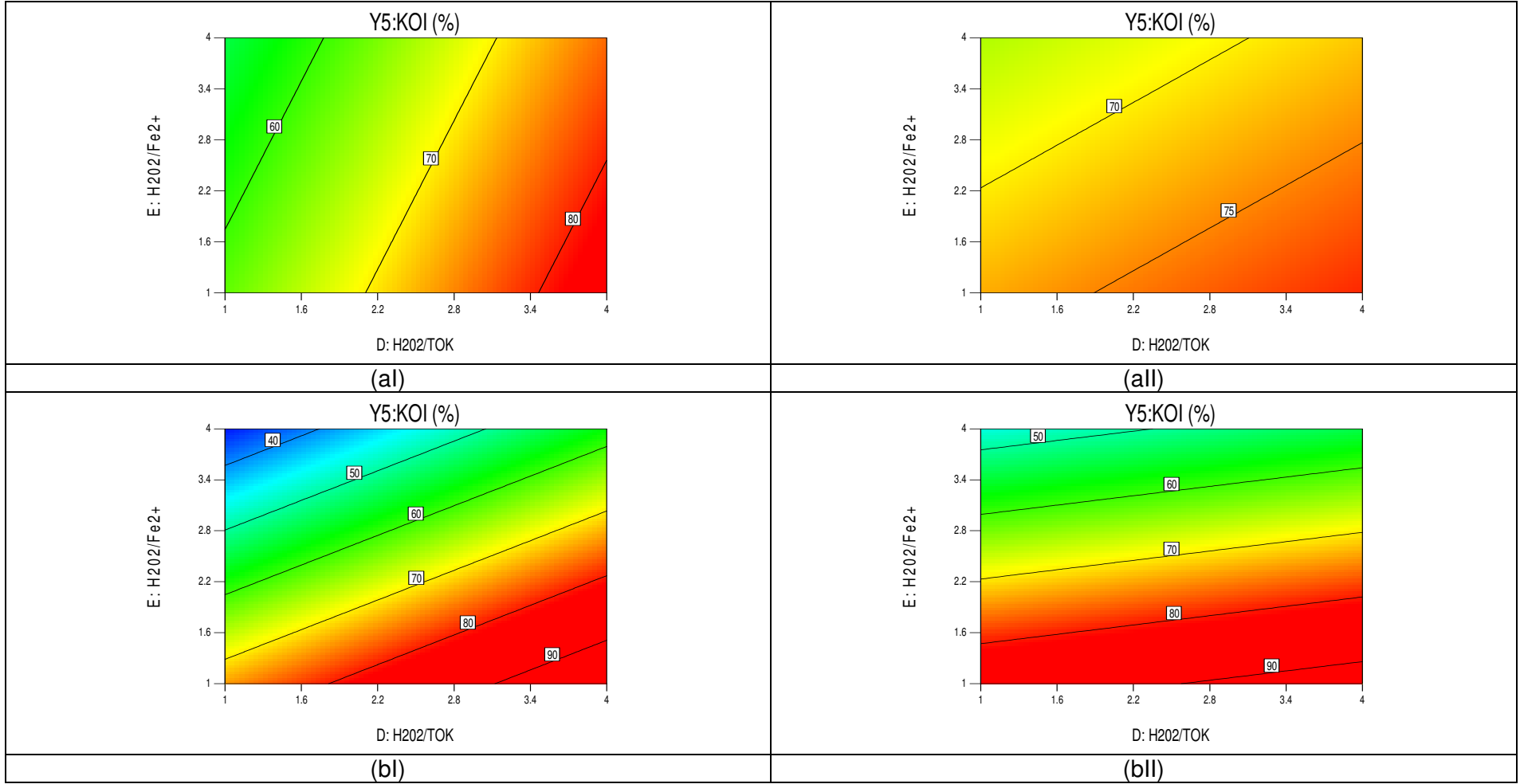
Şekil 4.57 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



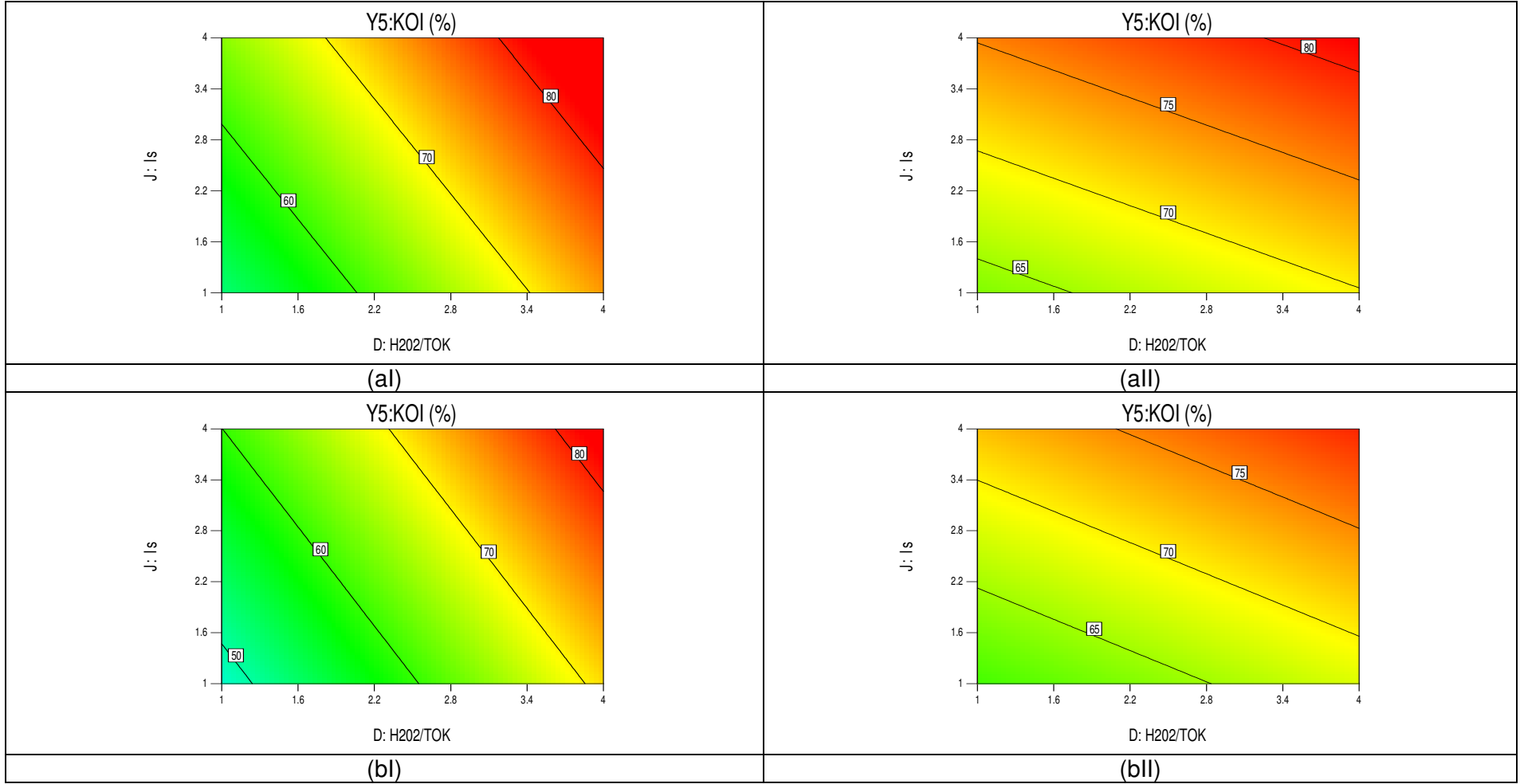
Şekil 4.58 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



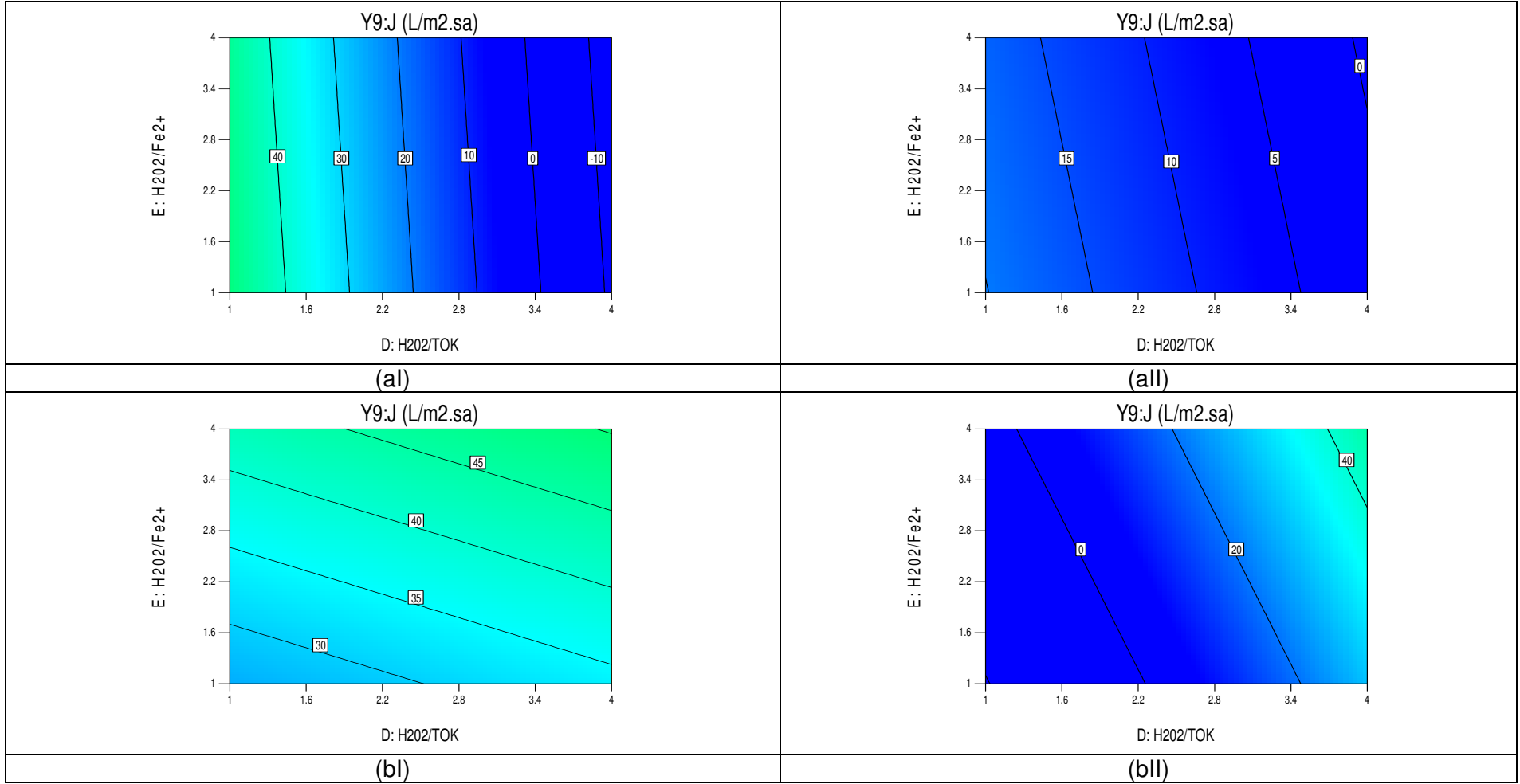
Şekil 4.59 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



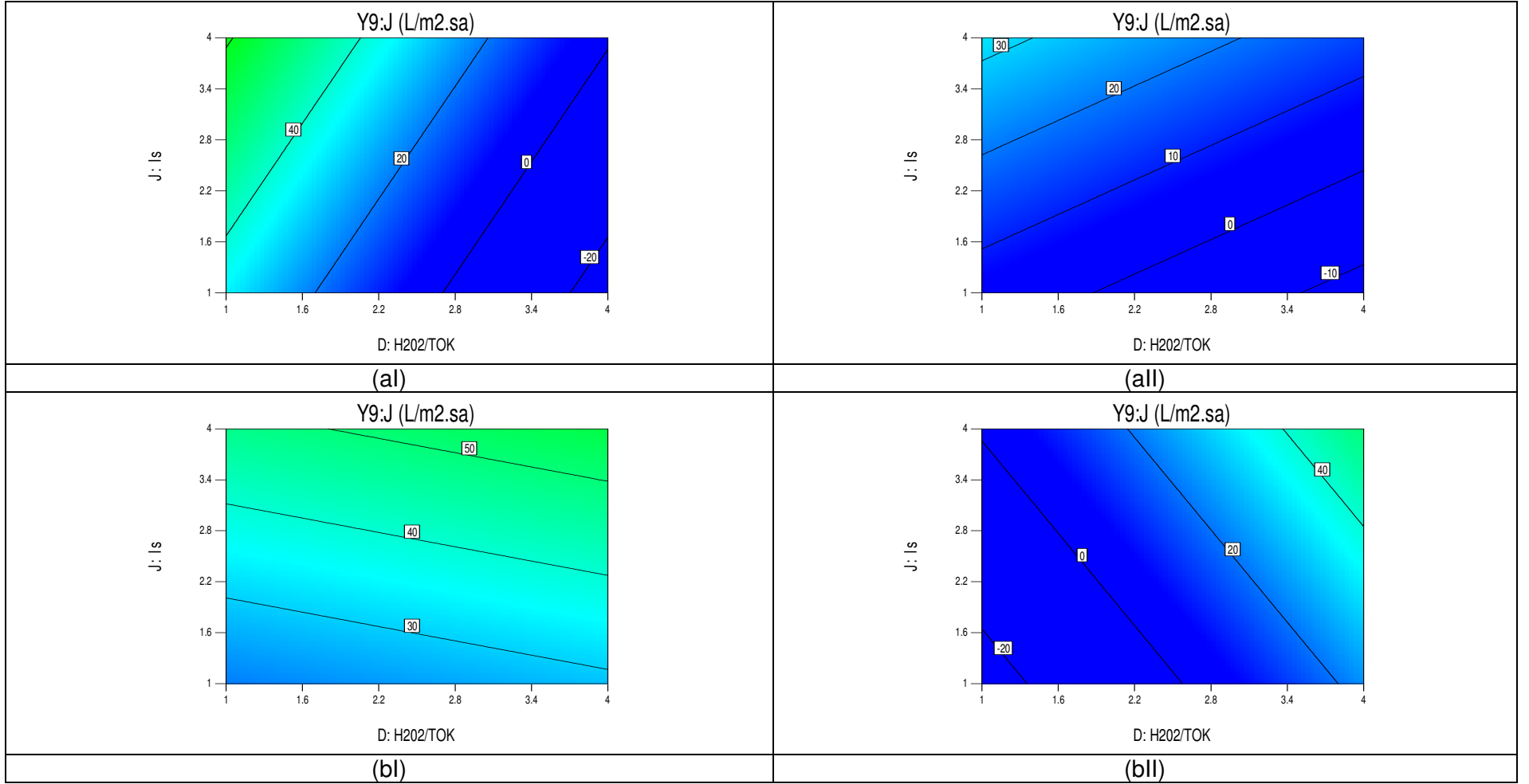
Şekil 4.60 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



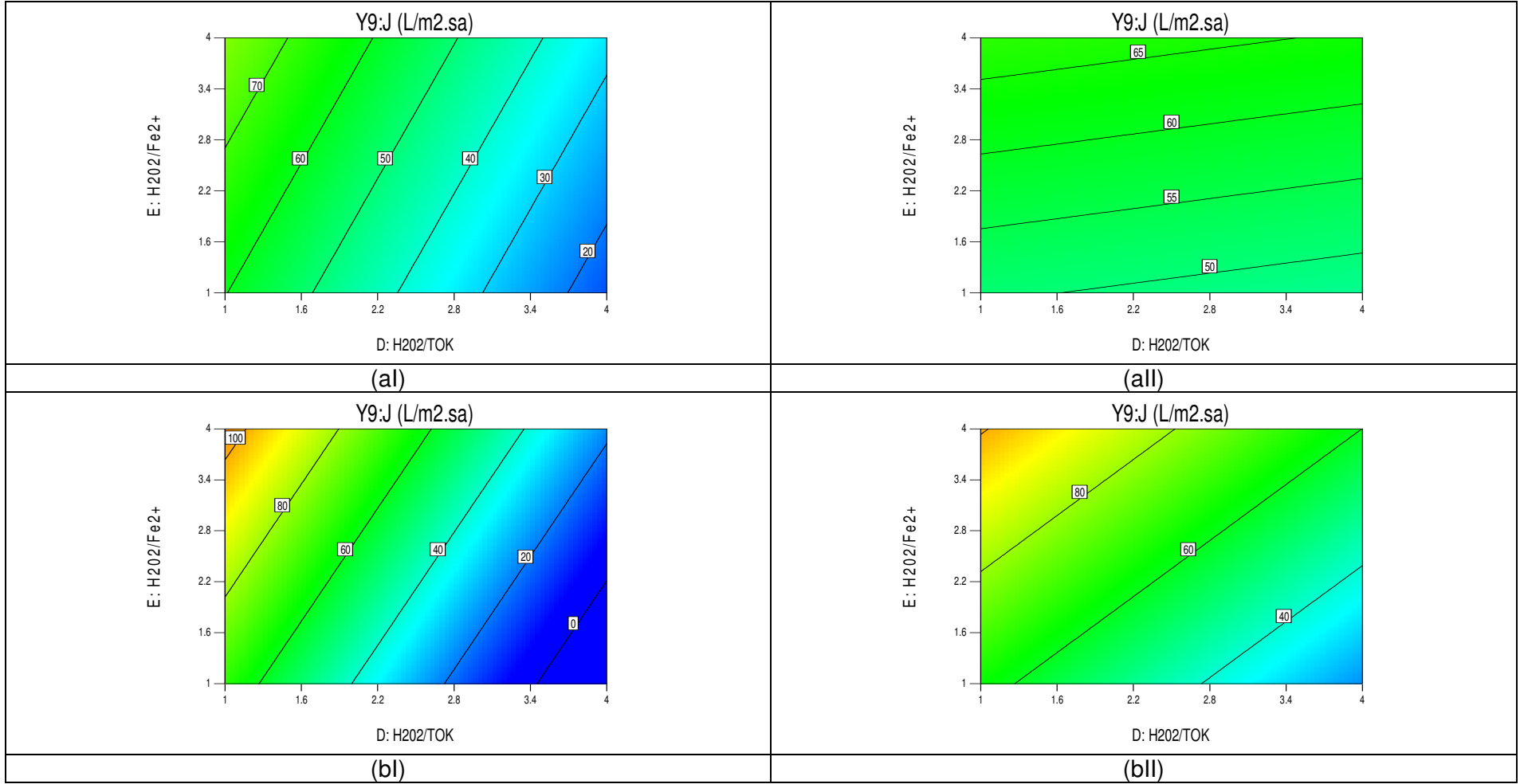
Şekil 4.61 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



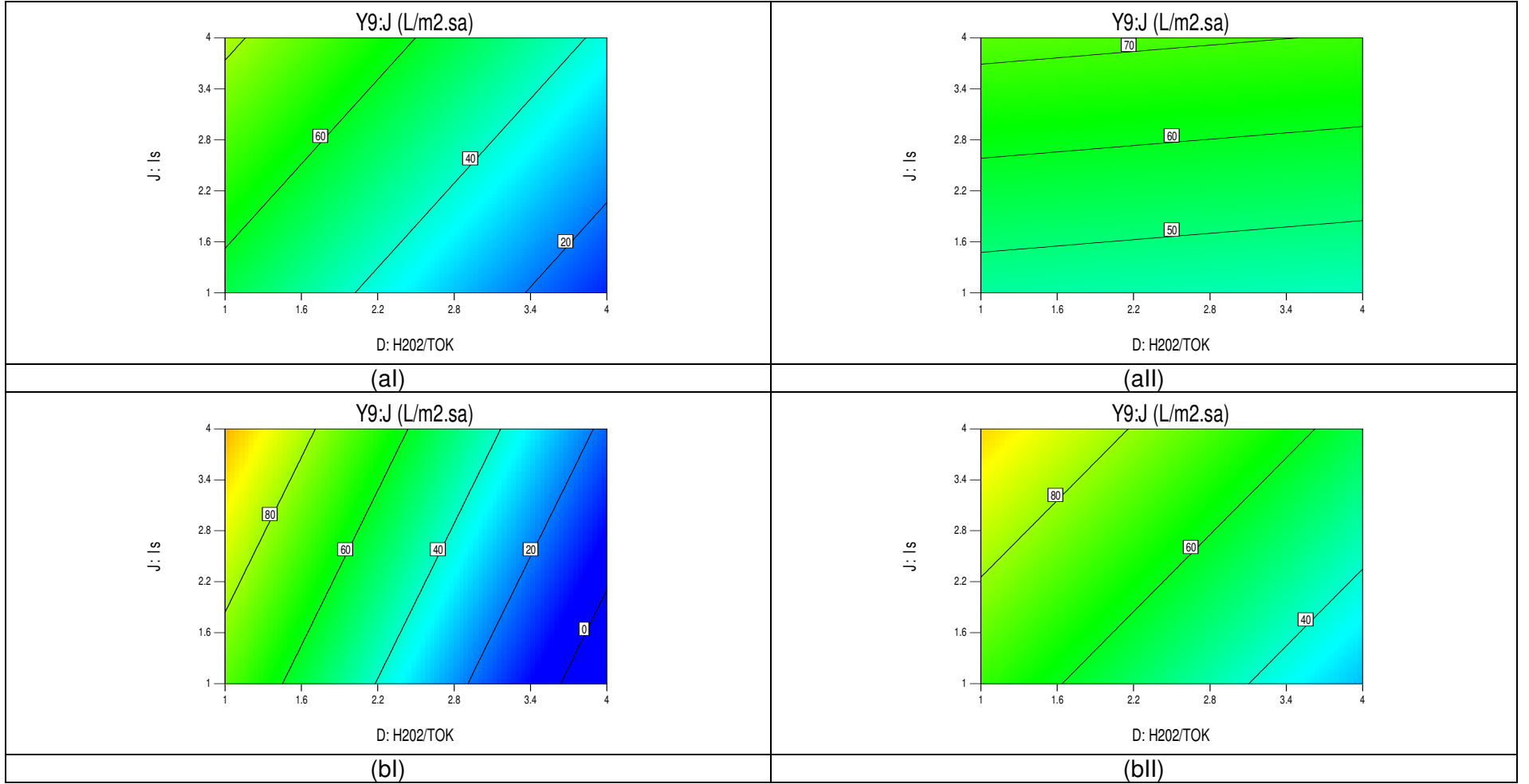
Şekil 4.62 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzütü akısı (J, L/m².sa) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.63 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m²·sa) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.64 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzütü akısı (J, L/m².sa) grafikleri (t, T, pH, vH, vSÇ ve IŞ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.65 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (IŞ) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m².sa) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, vH ve vSÇ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)

– Foto-Fenton/batık UF hibrit proses performansının optimizasyonu

İOP/batık UF hibrit proseste tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum proses işletme şartlarının belirlenmesi, ışık kaynağı türüne bağlı elde edilmiş farklı işletme performansları sebebiyle her bir ışık kaynağı türü için ayrı deneylerle yerine getirilmiştir. Optimizasyon öncesi, her iki ışık kaynağı türü için mevcut en iyi deneysel performanslar beraberce dikkate alınarak, proseslerin etkinliğinde önemli sonuç parametreleri olan **TOK, KOI ve J parametreleri** için sırasıyla **%65, %85 ve 100 L/m².sa** hedef değerlerine ulaşılmasının arzu edildiği amaç doğrultusunda yazılım aracılığıyla ikişer (2'şer) farklı optimum işletme şartları seçilerek belirlenmiştir. Hibrit sistemde ışık şiddeti parametresi ancak lamba sayısı ilavesi/çıkarması ile kontrol edilebildiği için, tüm optimizasyon çözümleri, 1, 2, 3 ve 4 lamba sayısı için ayrı ayrı yerine getirilerek en arzu edilebilir olan ışık şiddeti seviyesi (lamba sayısı) için optimum şartların tespiti gerçekleştirilmiştir. İOP/batık UF hibrit sistemde optimizasyon, iki farklı içerikte yürütülmüştür. Birinci adım opsiyonlu optimizasyon; Fenton'daki optimizasyonda yapıldığı gibi, hidrojen peroksit hariç diğer giriş değişkenleri deneysel belirlenmiş değer aralıklarında ve H₂O₂/TOK oranı ise sürekli işletimde maliyet unsurunun asgariye indirilmesi hedefi gözetilerek minimum seçilerek yerine getirilmiştir. İkinci adım opsiyonlu optimizasyonda ise, giriş değişkenlerinin tamamı deneysel belirlenmiş değer aralıklarında seçilerek elde edilen optimum çözümlerden en az Fenton kimyasalları sarfiyatlı işletimlerin tercih edildiği çözümler, her iki ışık kaynağı için ayrı ayrı optimum çözümler olarak belirlenmiştir. Optimum çözümlerin tercihinde başlangıç pH'sının düşük olmasına dikkat edilmiş, zamanın Fenton'la aynı optimizasyonlu olan birinci opsiyonlularda eşdeğer işletme süresinde (60 dk) olmasına, değişkenlerin tamamının aralıkta olduğu ikinci opsiyonlu seçimlerde ise işletme süresinin azaltılarak prosesin etkinliğinin artırılmasına ağırlık verilmiştir. Böylece, birim zamanda birim giderilen organik madde miktarı başına tüketilen hidrojen peroksit miktarının azaltılması amaçlanmıştır. Hibrit prosesin deneysel işletimleri optimum şartlarda yerine getirilerek, lineer olmayan ilişki denklemlerinin doğrulaması yapılmış ve deneysel tasarımın proses performansını tahmin etmedeki yetkinliği ortaya çıkarılmıştır. Işık kaynağı türüne bağlı ayrı ayrı olmak üzere, birinci ve ikinci opsiyonlu seçilmiş toplam 4 farklı optimum işletme şartında giriş değişkenlerinin kodlanmış ve gerçek değerleri Tablo 4.22'de sunulmuştur. Optimum şartlarda yürütülen deneyler, hibrit proses çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu 0-50 mg/L oluncaya dek sürdürülmüştür. Optimum işletme şartlarındaki deneysel performanslar, I.Opsiyon deneyleri olan OD1 ve OD2 için sırasıyla Şekil 4.66 ve 4.67'de, II.Opsiyon deneyleri olan OD3 ve OD4 için sırasıyla Şekil 4.68 ve 4.69'da gösterilmiştir. Hibrit sistemde TOK ve KOI giderim verimlerinin zamana karşı değişimleri, çıkış suyuyla kaybedilen H₂O₂ miktarı ile birlikte, OD1-OD4 için Şekil 4.70-4.73'te sunulmuştur. Hibrit sistemde çıkış suyunda ölçülen demir iyonları

konsantrasyonlarının zamanla değişimleri OD1–OD4 için sırasıyla Şekil 4.74–4.77’de, UF süzöntü akılarının zamana karşı değişimleri ise Şekil 4.78’de gösterilmiştir.

60 dakikalık işletimlerle gerçekleştirilen OD1 ve OD2 optimizasyon sonuçları göstermektedir ki, UVC-254/UH050 ve UVA-365/UV150 ışık kaynağı/membran türü ikilileri için model ve deney sonuçları arasındaki uyumluluğun en yüksek olduğu deney UVA-365 ışık kaynağı kullanılan OD2 deneyidir. Deney süresinin azaltılarak UVA-365 için optimum şart elde edilen bir diğer deney olan OD4’te, her ne kadar % 5-10 civarında daha iyi organik giderimi elde edilebilmiş ise de; model ve deney akıları arasındaki % 100’den büyük fark ve OD4’teki yaklaşık % 50 daha fazla H₂O₂ tüketimi, OD4’ün sürekli işletimli deneylerde UVA-365 için optimum şart olarak tercihini engellemiştir. OD2’de elde edilen 88.32 L/m².sa’lık akının da yüksek bir değerde olduğu ve organik giderim veriminin TOK ve KOİ için sırasıyla % 53.3 ve 71.4 olduğu sonucundan hareketle, hibrit İOP/UF sistemde sürekli işletimli **UVA-365 destekli foto-Fenton oksidasyonda optimum işletme şartı OD2 şartı** olarak belirlenmiştir. Zira OD4’te elde edilen çıkış suyunun daha düşük demir içeriğine karşın, bu durumun membranda demir tutunmasına bağlı akı azalmasını artırması dolayısıyla OD2’yi OD4’e göre süzöntü akısı performansı bakımından daha etkin kıldığı değerlendirilmektedir. UVC-254 işletimli optimum deneylere bakıldığında, OD1 ile elde edilen organik giderim verimi ve süzöntü akısının, UVA-365 işletimli optimumlardan düşük kaldığı görülmektedir. OD3’te ise, OD1’e göre yaklaşık % 63 arttırılan H₂O₂ miktarı ile, yaklaşık 1/3 oranında azaltılan işletme süresi ile UVA-365’ten daha yüksek organik giderim etkinliği sağlanabilmiş; ancak bu durumda UF süzöntü akısı 65.5 L/m².sa olarak ölçülmüştür. Her ne kadar tekstil atıksuyu için Fenton ve UVA-365 destekli foto-Fenton deney sonuçlarında, optimum işletme şartlarına kıyasla daha iyi performans gözlenmemiş ise de; UVC-254 için tam tersi bir durumun, 21 no’lu Taguchi deneysel tasarım deneyinde var olduğu görülmektedir. 4 lamba UVC-254 ile işletilen 21 no’lu deneyde, TOK, KOİ ve *J* etkinlikleri sırasıyla % 62.8, % 75.9 ve 119.15 L/m².sa olup bu performanslar, en iyi optimumu veren OD3 ile elde edilmiş 3 lamba UVC-254’ten (sırasıyla % 66.4, % 74.4 ve 65.48 L/m².sa), akı için yaklaşık % 45’lere varan seviyede daha yüksek değerdedir. Bu noktada, optimizasyon adımı, doğrulama deneylerinde kullanılan atıksuyun ortalama kalitesindeki değişimlere dayalı muhtemel performans etkilerini de gidermek amacıyla 21 no’lu Taguchi deneyi, UVC-254 destekli OD3 optimum deneyiyle aynı atıksu şartında tekrar edilmiştir. Hibrit sistemde işletilen OD3 ve 21 no’lu tekrar deneyine ait performans sonuçları Şekil 4.79’da gösterilmiştir.

Şekil 4.79’dan, kısmen değişen atıksu kalitesiyle 21 no’lu deneydeki işletim performansının Taguchi deneylerindeki performansından daha düşük kaldığı görülmektedir. OD3 ve 21 no’lu deney tekrarı sonuçlarına beraberce bakıldığında ise, OD3 performansının, organik

gideriminde daha iyi, süzüntü akısında ise yaklaşık aynı performanslarla en iyi işletimi sağlamıştır. Bu sebeple, tekstil atıksularının **UVC-254 destekli İOP/batık UF hibrit reaktörde arıtımı için optimum deney şartlarının OD3 dahilindeki şartlar** olduğu kanaatine varılmıştır.

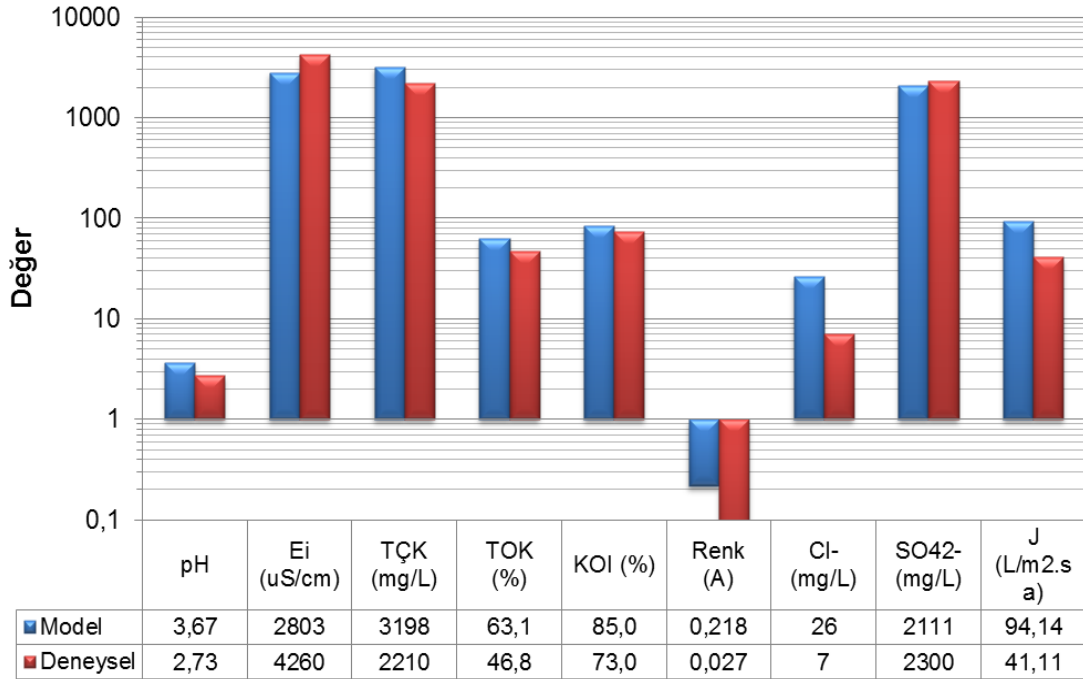
DeneySEL tasarım çerçevesinde yürütölen kesikli hibrit İOP/batık UF deneyleri itibariyle, Fenton ve foto-Fenton destekli hibrit reaktör uygulamalarının, tekstil atıksuyunu optimum arıtma şartlarındaki deneySEL performanslar Şekil 4.80'de gösterilmiştir. Optimum sistem performanslarına göre, hibrit reaktörde organik madde gideriminin Fenton destekli sistem işletiminden, UVC-Fenton destekli işleme arttığı açıkça görölmektedir. Çıkış suyunda önemli bir hidrojen peroksit kaybı olmaksızın 60 ve 40 dakikalık süre zarfında sırasıyla UVA-365 ve UVC-254 destekli sistem işletimlerinin yapılabildiği; buna karşın çıkış suyunda Fenton işleme kıyasla daha fazla demir iyonlarıyla karşılaşılmalıdır. Fenton prosete ise, 60 dk'lık işletim sonrasında çıkış suyunda bir miktar hidrojen peroksit kaybının olduğu görölmektedir (120 ve 180 dk sonunda kalıntı H₂O₂ konsantrasyonları sırasıyla 29 ve 0 mg/L'dir). Bu durum, sürekli işletimli peroksit kayıpsız Fenton deneylerinde sistemin, daha uzun süreli oksidasyon sürelerinde işletilmesinin gerekli olacağını ortaya koymaktadır. Fenton proseslerde optimizasyonla azaltılmış kimyasal madde sarfiyatlarına bağlı olarak ulaşılmış çıkış suyu TÇK değerlerinin, sürekli işletimli deneylerde sonraki adımlardaki membran proses konsantrelerinin hibrit reaktöre devriyle reaktöre gelecek toplam inorganik madde yükünü, atıksuyun başlangıç TÇK değerine kıyasla çok yüksek seviyelerde arttırmayacağı anlaşılmakta; bunun da, reaktöre konsantr devrinin inorganik yükünün etkisi altında ve konsantr atık minimizasyonu noktasında, daha uzun sürelerde sürekli işletimlerle hibrit reaktör işletime katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Süzüntü akıları bakımından ise, batık tip hibrit reaktör uygulaması esasında, 65-88 L/m² sa arasında gerçekleşen proses performans değerlerinin iyi seviyelerde olduğu değerlendirilmektedir. Ancak sürekli işletimli hibrit reaktörde, hibrit reaktöre konsantr akım geri devriyle artacak atıksu organik ve inorganik yükünün etkisiyle, organik madde giderim verimi ve UF süzüntü akısında bir miktar düşüşlerin olabileceği değerlendirilmektedir

Tablo 4.22 İOP/batık UF hibrit proseste tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımı için belirlenmiş optimum proses işletme şartları

Giriş Değişkeni	Parametre	Açıklaması	Birim	Optimum işletme şartları							
				Kodlanmış değerler				Gerçek değerler			
				*I, Opsiyon		*II, Opsiyon		*I, Opsiyon		*II, Opsiyon	
				**OD1	**OD2	**OD3	**OD4	**OD1	**OD2	**OD3	**OD4
A	t	zaman	dak	4,00	4,00	2,71	2,75	60,0	60,0	41	41
B	T	sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	2,43	4,00	4,00	1,93	32,1	40,0	40	29,6
C	pH	pH	-	1,80	2,00	2,44	3,77	3,81	4,0	4,44	5,77
D	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$ oranı	g/g	1,00	1,22	1,49	1,71	6,0	7,75	9,88	11,69
E	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ oranı	g/g	2,31	2,94	2,07	3,98	8,26	10,75	7,27	14,91
F	v_H	İOP reaktörü havalandırma hızı	L/dk	1,12	1,00	2,89	1,21	1,12	1,00	2,89	1,21
G	$v_{\text{Ç}}$	UF membranda su çekim hızı	rpm	3,53	2,07	1,65	1,00	93,0	71,1	64,7	55,0
H	M_T	Membran türü	-	3	4	3	4	UH050	UV150	UH050	UV150
J	$I_{\text{Ş}}$	Işık şiddeti	W/cm^2	3				3 lamba			
K	I_T	Işık türü	-	1	2	1	2	UVC-254	UVA-365	UVC-254	UVA-365

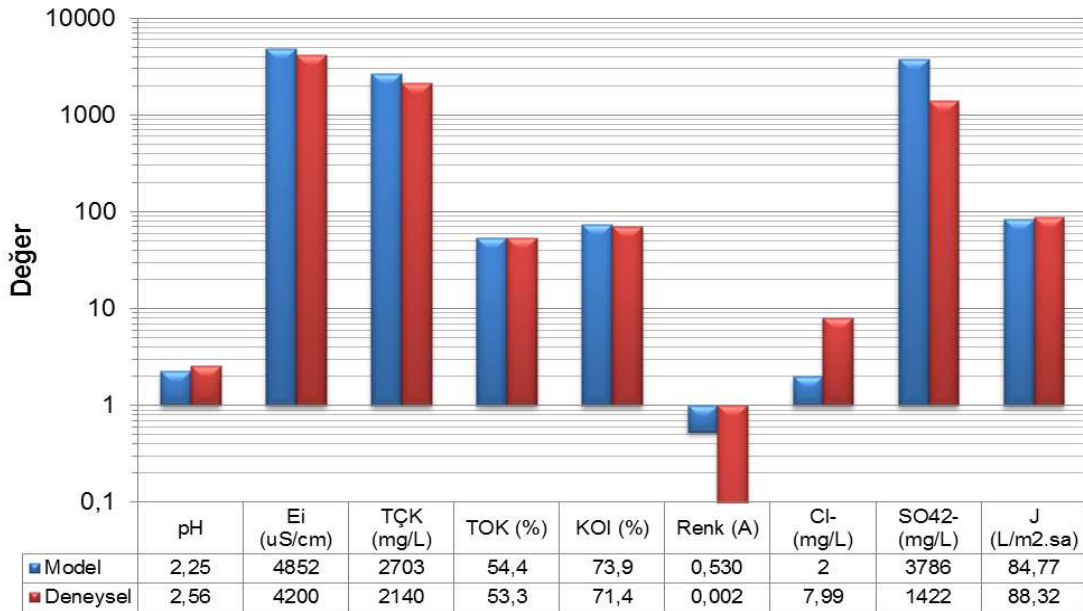
* I. ve II. Opsiyonlar, sırasıyla H_2O_2 miktarı minimizasyonlu-diğer tüm değişkenler performans aralığındayken ve H_2O_2 miktarı dâhil tüm değişkenler performans aralığındayken ki optimumlardan belirlenmiş deneysel şartları ifade etmektedir. ** OD kısaltması "*Optimizasyon Deneyi*" terimini ifade etmekte olup; OD1 ve OD3 deneyleri UVC-254, OD2 ve OD4 deneyleri ise UVA-365 ışık kaynağı türleri için gerçekleştirilmiş deneylerdir. OD1 ve OD3 deneylerine ait optimum şartların arzu edilebilirlikleri sırasıyla 0.9872 ve 0.9248, OD2 ve OD4 deneylerine ait optimum şartların arzu edilebilirlikleri ise sırasıyla 0.8289 ve 0.8545'tir.

Tekstil foto-Fenton - Optimizasyon Deney 1

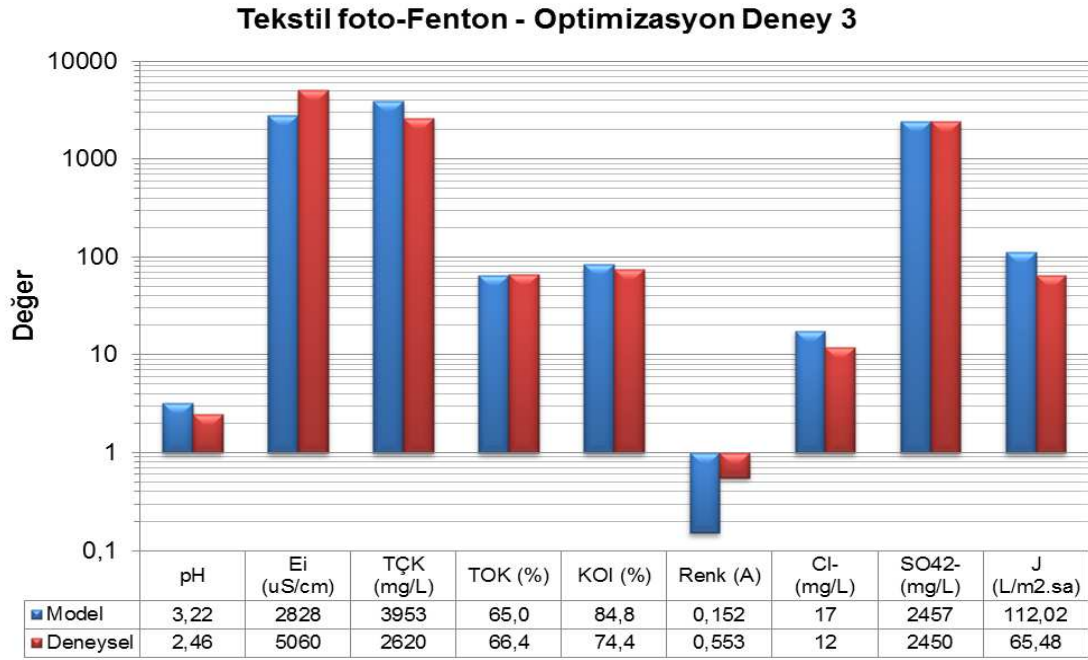


Şekil 4.66 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 1 için model ve deneysel performans sonuçları

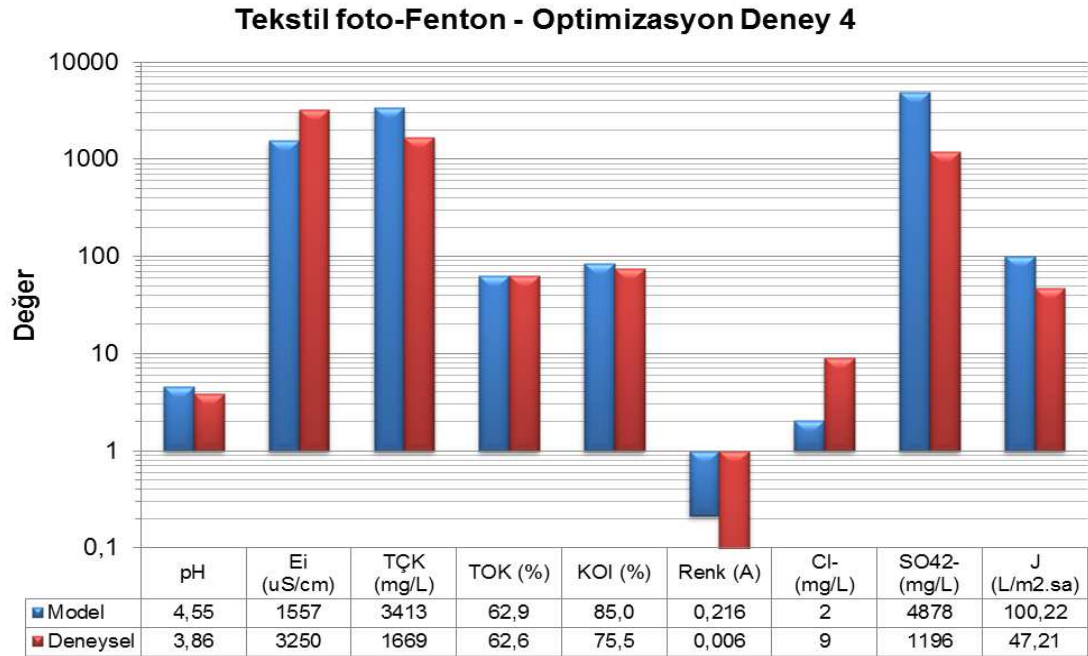
Tekstil foto-Fenton - Optimizasyon Deney 2



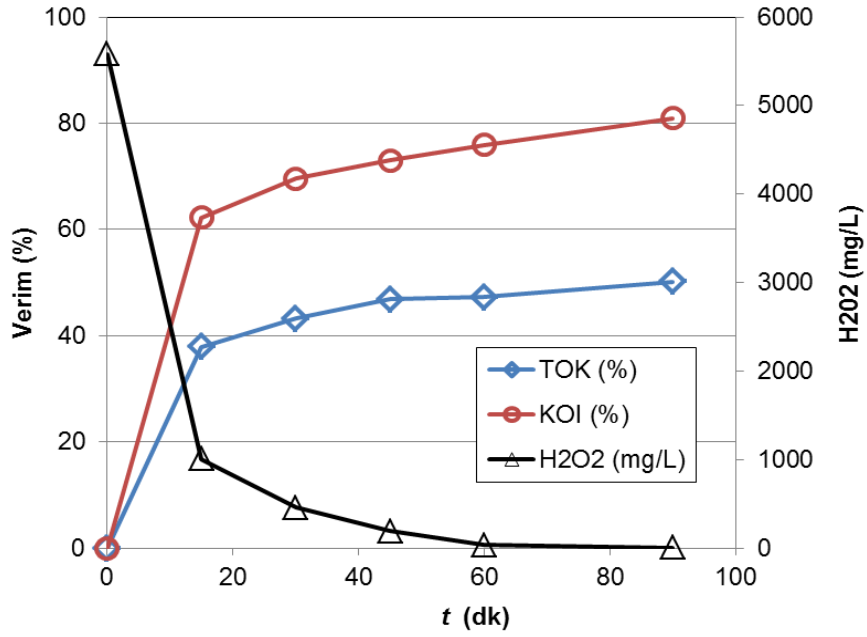
Şekil 4.67 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 2 için model ve deneysel performans sonuçları



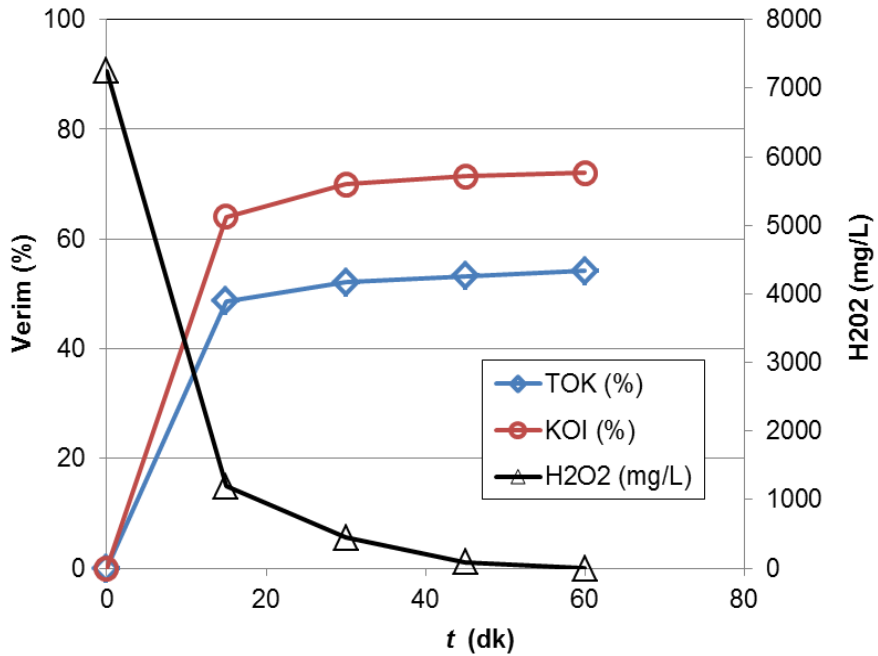
Şekil 4.68 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 3 için model ve deneysel performans sonuçları



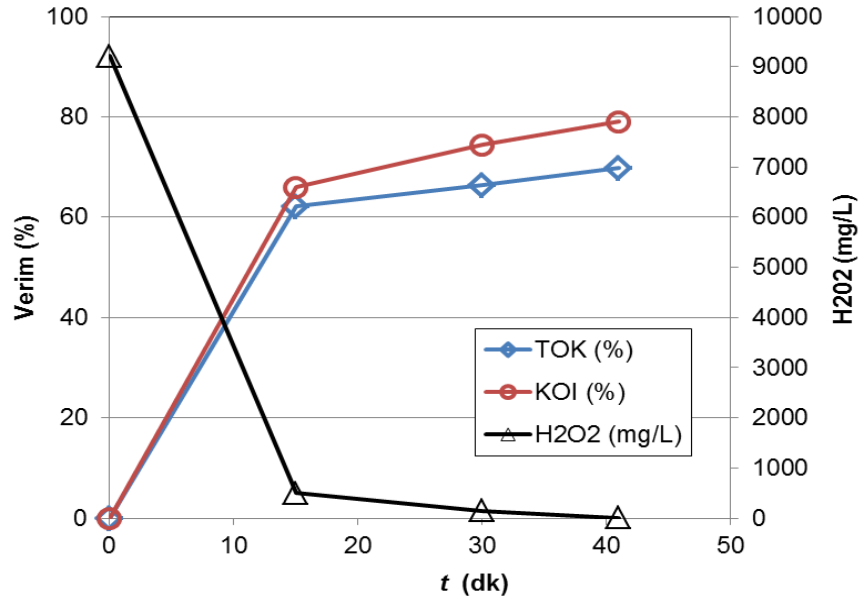
Şekil 4.69 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 4 için model ve deneysel performans sonuçları



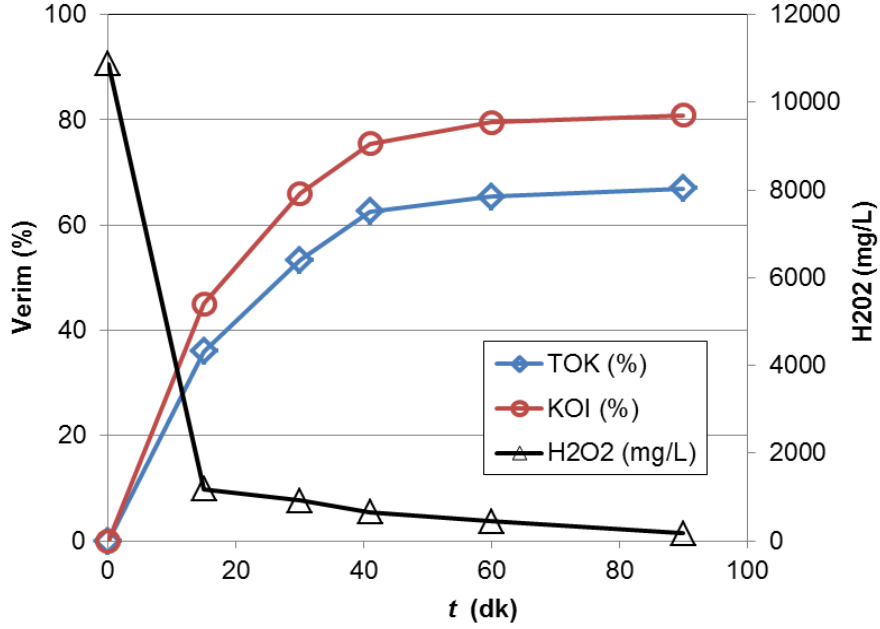
Şekil 4.70 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu



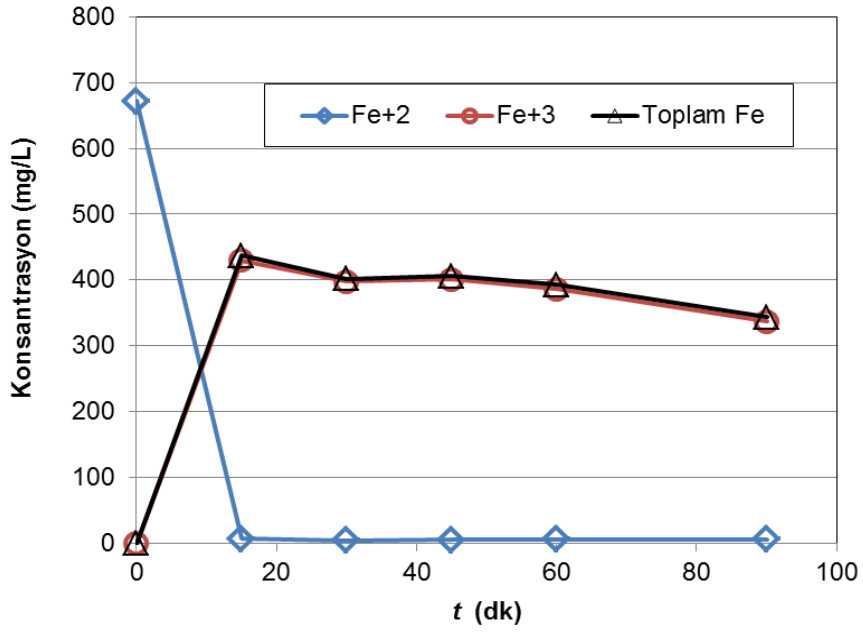
Şekil 4.71 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu



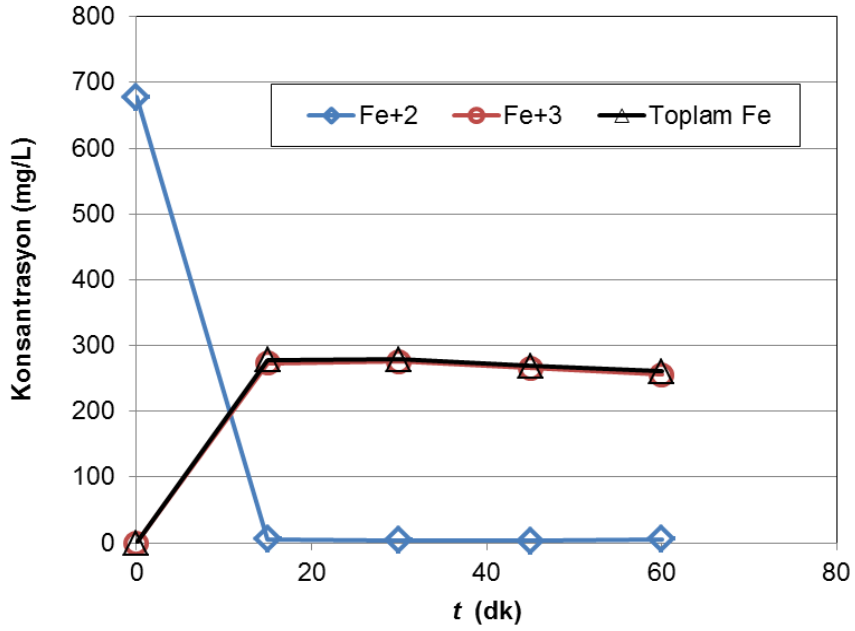
Şekil 4.72 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 3 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu



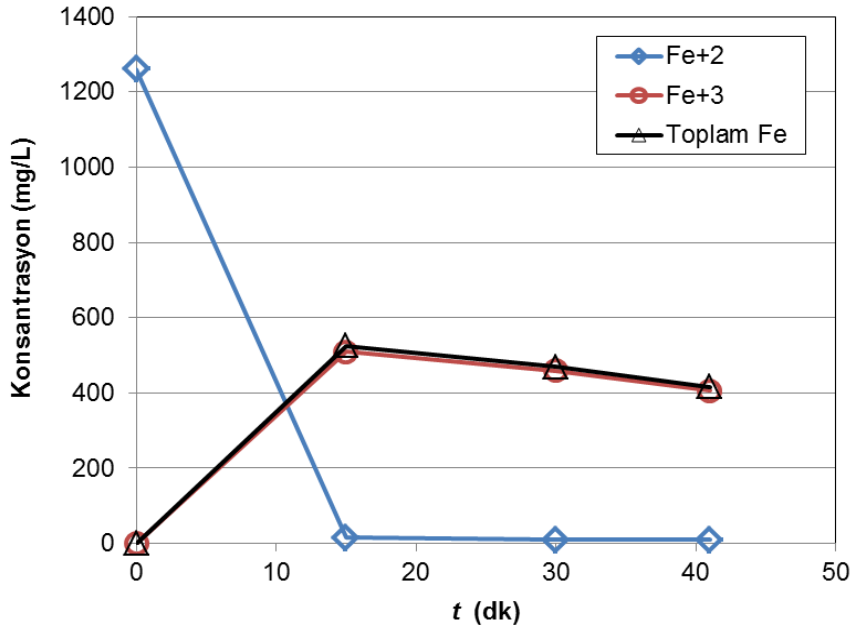
Şekil 4.73 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 4 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu



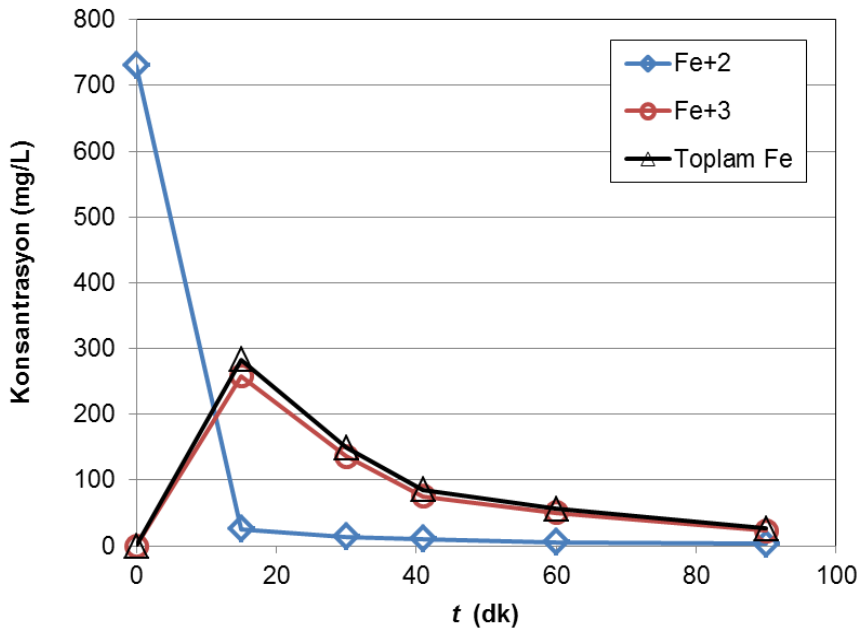
Şekil 4.74 İOP/batik UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları



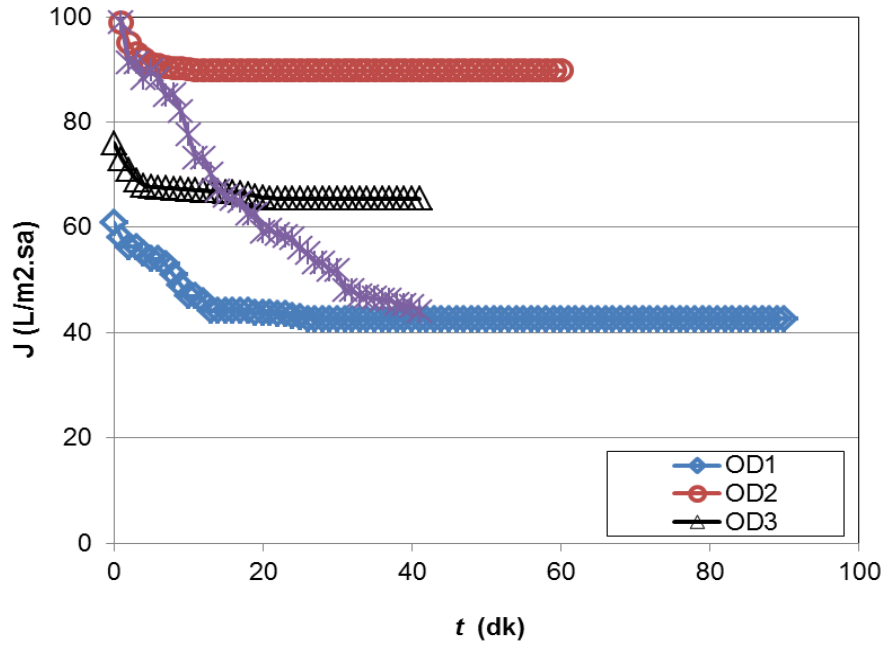
Şekil 4.75 İOP/batik UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları



Şekil 4.76 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 3 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları

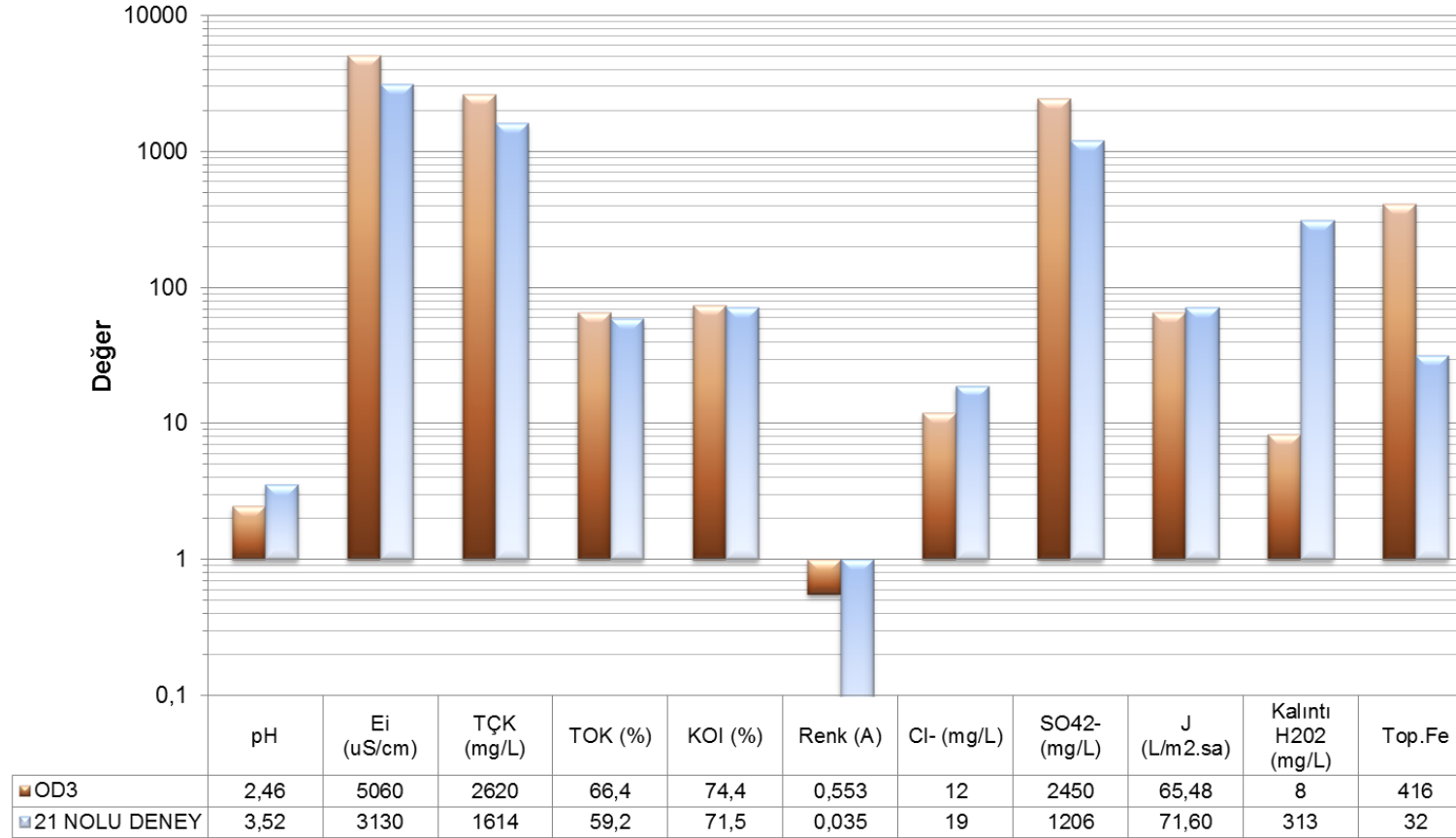


Şekil 4.77 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 4 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları



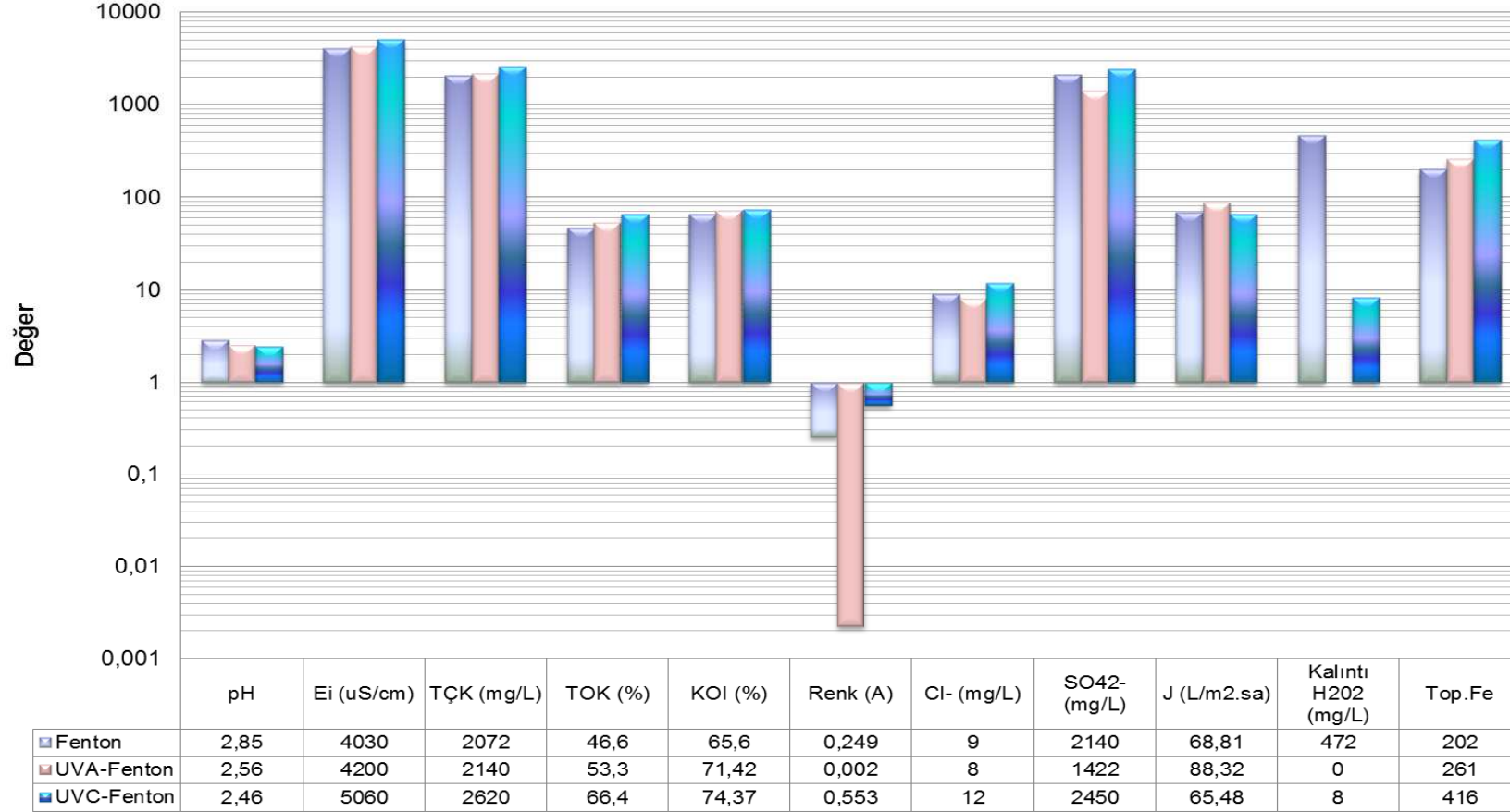
Şekil 4.78 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında her bir optimum işletme deneyi için zamana karşı değişen UF süzüntü akıları

Tekstil foto-Fenton Optimizasyon Deneyi 3 ve 21 No'lu Deney Tekrarı



Şekil 4.79 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında aynı atıksuyla işletilen OD3 ve 21 no'lu tekrar deneyine ait performans sonuçları

Tekstil atıksuyu - Hibrit İOP/UF Optimum Performanslar



Şekil 4.80 Fenton ve foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunu optimum arıtım performansları

✓ **Kağıt atıksularının arıtımı**

– Fenton/batık UF deneyleri

İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle kesikli şartlarda arıtımında, değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tabloları ve deneysel performans sonuçları, İO ve batık UF prosesleri için sırasıyla Tablo 4.23 ve 4.24'de verilmiştir. Batık UF prosese ait sonuçlar, tüm sistemin performansı bakımından İOP/batık UF hibrit sistemde arıtılmış çıkış suyunun kalitesini vermektedir. İzlenen parametreler arasında yer alan renk parametresinde, sadece atıksuyun renginin değil, aynı zamanda Fenton proseste demirden gelen rengin de hibrit sistem çıkış suyunda bilinmesi gerektiği için (hibrit sistem sonrası NF ve/veya TO ile su geri kazanımı gerçekleştirileceğinden ve bu proseslerde renk verimi demir giderimi üzerinden de izleneceğinden), hibrit sisteme ve sistemdeki her iki prosese ait kirlenici giderim verimi izlemeleri, TOK ve KOİ parametreleri üzerinden yerine getirilmiş ve TOK ve KOİ giderim verimleri, Tablo 4.25'de gösterilmiştir.

– Fenton prosesinin deneysel performansı

Proses performansı analizlerinde giriş değişkenlerinin sonuç parametreleri üzerine etkileri ilk olarak lineer model bazında ANOVA yöntemi ile belirlendiğinden; hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında, İOP reaktörün TOK, KOİ ve pH performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.26'da verilmiş; modeller bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 4.27'de sunulmuştur. Tablo 4.26 için F istatistik ve P olasılık değerleri model ve değişkenlerin önem seviyesini belirtmekte; $P > F$ değeri için **0.05'ten küçük** olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri "**Önemli**", **0.1'den büyük** olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri ise "**Önemsiz**" olarak değerlendirilmektedir. Tablo 4.26'da I. derece lineer model için verilen $P > F$ değerlerine bakıldığında, İOP reaktörde TOK, KOİ ve pH etkinliklerinin lineer model ilişkilerine göre önemli olduğu görülmektedir. Proseste TOK ve KOİ giderim verimleri için zaman ve H_2O_2 konsantrasyonu, pH değişimleri için ise H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonları ile atıksuyun başlangıçta ayarlanan pH değerinin önemli performans etkilerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. TOK ve KOİ gideriminde sıcaklık, pH ve Fe^{2+} konsantrasyonunun performansı üzerine olan etkisi önemsizdir. Tablo 4.27'e bakıldığında ise, II. derece lineer olmayan modellerin, I. derece lineer modellere kıyasla çok daha iyi bir ilişki düzeyinde düşük standard sapma (S) ve yüksek korelasyon (r^2) değerleri verdiği görülmektedir. Bu durum, iç etkileşimli ve II. derece model terimlerinin model kurgusuna ve performans tahminine olan katkılarının önemli olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. İOP proseste, H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametreleri ile pH, E_i , TÇK ve SO_4^{2-} değişimleri Şekil 4.81'de, TOK, KOİ, renk ve Cl^- değişimleri ise Şekil 4.82'de gösterilmiştir.

Tablo 4.23 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İO prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2¹×4⁶) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri						Sonuç Parametreleri										
							İO Prosesi										
	A t	B T	C pH	D H ₂ O ₂ /TOK	E H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	F v _H	Y1 pH	Y2 E _i	Y3 TÇK	Y4 TOK	Y5 KOI	Y6 renk				Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻
								λ ₄₃₆	λ ₅₂₅	λ ₆₂₀	**λ _{ortalama}						
1	45	25	4	22	15	1	2.70	3790	1962	242	452	0.103	0.061	0.042	0.078	87.5	1904
2	45	30	3	30	11	2	2.53	4100	2135	237	437	0.674	0.442	0.340	0.526	12.4	2437
3	30	40	3	22	7	1	2.61	5380	2850	273	639	0.235	0.089	0.039	0.178	20.0	5670
4	15	30	4	14	7	2	2.71	4470	2320	254	584	0.231	0.125	0.084	0.173	62.5	3365
5	15	30	5	14	11	1	2.75	3410	1755	305	716	0.172	0.086	0.054	0.128	63.6	2104
6	15	35	5	22	11	3	2.57	4180	2162	236	449	0.106	0.045	0.023	0.079	87.5	2261
7	45	40	4	14	15	3	2.63	3750	1939	214	517	0.707	0.462	0.350	0.550	12.5	3130
8	15	25	3	6	3	1	2.76	4620	2410	265	665	0.855	0.139	0.052	0.720	10.0	4296
9	60	30	6	22	3	3	2.50	6190	3290	225	381	1.365	0.440	0.189	1.049	55.0	9843
10	45	30	6	30	7	1	2.48	4810	2520	222	384	0.475	0.106	0.035	0.387	62.5	2635
11	30	40	6	22	11	2	2.64	3710	1920	267	452	0.478	0.250	0.164	0.356	65.0	3487
12	45	40	5	14	3	4	2.41	5370	2810	233	443	1.890	1.120	0.886	1.440	60.0	6991
13	15	25	6	6	15	2	4.72	1049	2082	373	922	0.306	0.177	0.129	0.231	32.5	7183
14	30	35	5	30	15	1	2.60	4680	2116	229	412	0.783	0.388	0.281	0.580	13.0	3130
15	15	35	4	22	7	4	2.44	4590	2350	238	472	0.282	0.093	0.039	0.217	85.0	2345
16	60	35	6	14	3	1	2.44	5130	2710	232	481	0.464	0.189	0.100	0.347	87.4	2536
17	60	25	4	30	11	3	2.58	4260	2220	235	438	0.739	0.136	0.053	0.611	17.5	4000
18	15	40	6	30	15	4	2.58	3680	1894	235	442	0.121	0.061	0.038	0.090	37.5	2290
19	60	30	3	22	15	4	2.57	3730	1938	210	385	0.129	0.072	0.053	0.097	62.4	2714
20	60	35	3	14	15	2	2.69	3840	1982	292	1038	0.264	0.146	0.106	0.198	55.0	1808
21	60	40	5	6	7	2	2.83	3220	1658	190	400	0.281	0.161	0.109	0.212	57.4	1609
22	15	40	3	30	3	3	2.40	6440	3430	203	429	1.179	0.283	0.067	0.964	37.0	6498
23	45	35	3	6	11	4	2.75	4620	2400	231	532	0.114	0.045	0.031	0.084	32.5	2270
24	60	25	5	30	7	4	2.55	4710	2460	199	376	0.823	0.170	0.065	0.672	32.5	5765
25	30	30	4	6	3	4	2.60	4180	2175	269	598	0.388	0.128	0.089	0.289	87.5	2948
26	45	35	6	6	7	3	3.48	2540	1294	420	1011	0.174	0.084	0.062	0.129	62.5	1948
27	30	25	6	14	11	4	2.77	3260	1674	345	1127	0.550	0.266	0.176	0.407	31.0	1783
28	30	30	5	6	15	3	3.81	2380	1207	338	820	0.100	0.043	0.032	0.074	55.0	1339
29	30	25	3	14	7	3	2.67	3970	2060	219	543	0.173	0.068	0.028	0.131	62.5	2400
30	30	35	4	30	3	2	2.53	7060	3780	218	392	1.592	0.644	0.252	1.211	82.5	11565
31	45	25	5	22	3	2	2.44	5580	2950	226	492	0.911	0.221	0.054	0.743	102.0	5054
32	60	40	4	6	11	1	2.64	3220	1679	301	739	1.385	0.809	0.559	1.048	80.2	1295

Tablo 4.24 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında UF prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2¹×4⁸) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri								Sonuç Parametreleri											
	A t	B T	C pH	D H ₂ O ₂ /TOK	E H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	F v _H	G v _{ŞÇ}	H M _T	Y1 pH	Y2 E _i	Y3 TÇK	Y4 TOK	Y5 KOI	*UF Prosesi				Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻	Y9 J
														Y6 renk						
													λ ₄₃₆	λ ₅₂₅	λ ₆₂₀	**λ _{ortalama}				
1	45	25	4	22	15	1	70	İH050	2.71	3680	1897	196	286	0.139	0.077	0.060	0.105	62.5	1739	20.0
2	45	30	3	30	11	2	55	İV150	2.56	4010	2077	202	291	0.288	0.090	0.034	0.224	55.0	2217	33.9
3	30	40	3	22	7	1	100	İP020	2.46	5410	2850	181	253	0.687	0.064	0.036	0.607	32.5	45	20.4
4	15	30	4	14	7	2	70	İP020	2.66	4380	2280	210	412	0.126	0.042	0.024	0.095	12.5	2757	33.8
5	15	30	5	14	11	1	100	İP005	2.84	3440	1775	269	563	0.190	0.124	0.094	0.148	82.5	1139	19.0
6	15	35	5	22	11	3	85	İH050	2.62	4140	2148	170	229	0.156	0.047	0.023	0.120	75.0	1953	71.6
7	45	40	4	14	15	3	55	İP005	2.71	3670	1901	178	355	0.207	0.052	0.039	0.158	32.5	4435	71.7
8	15	25	3	6	3	1	55	İP005	2.85	4530	2360	220	529	0.914	0.158	0.059	0.764	27.5	3461	41.1
9	60	30	6	22	3	3	55	İP020	3.42	6120	3250	170	252	1.177	0.258	0.067	0.970	37.5	8322	6.1
10	45	30	6	30	7	1	85	İH050	2.55	4310	2240	195	296	0.176	0.081	0.042	0.131	50.0	1491	21.8
11	30	40	6	22	11	2	70	İP005	2.68	3620	1875	226	331	0.105	0.040	0.027	0.078	117.5	1652	54.5
12	45	40	5	14	3	4	85	İP020	2.47	5470	2890	176	215	0.803	0.181	0.055	0.655	61.5	5435	19.0
13	15	25	6	6	15	2	85	İP020	4.69	2172	1099	332	755	0.058	0.034	0.023	0.044	35.0	539	49.5
14	30	35	5	30	15	1	55	İP020	2.39	3580	2780	186	291	0.333	0.066	0.032	0.270	67.5	4435	46.5
15	15	35	4	22	7	4	55	İV150	2.51	4340	2260	199	293	0.612	0.332	0.228	0.458	83.3	1483	56.6
16	60	35	6	14	3	1	70	İV150	2.46	5260	2760	198	380	0.420	0.248	0.172	0.318	60.1	2397	36.8
17	60	25	4	30	11	3	100	İP020	2.67	4860	2120	208	338	0.690	0.124	0.042	0.576	12.5	3791	16.3
18	15	40	6	30	15	4	100	İV150	2.59	3590	1892	200	312	0.063	0.034	0.024	0.047	52.4	1496	73.3
19	60	30	3	22	15	4	85	İP005	2.58	3660	1891	184	314	0.096	0.043	0.027	0.071	45.2	1966	23.3
20	60	35	3	14	15	2	100	İH050	2.71	3840	1993	214	628	0.140	0.058	0.038	0.103	62.5	1600	55.0
21	60	40	5	6	7	2	55	İH050	2.85	3250	1671	135	270	0.376	0.244	0.180	0.292	62.5	1530	100.3
22	15	40	3	30	3	3	70	İH050	2.49	6720	3590	189	373	0.802	0.128	0.012	0.700	82.0	5591	15.7
23	45	35	3	6	11	4	70	İP020	2.81	4470	2340	212	469	0.360	0.260	0.168	0.286	23.0	1948	56.6
24	60	25	5	30	7	4	70	İP005	2.56	4520	2370	174	283	0.752	0.175	0.058	0.609	12.5	5313	17.5
25	30	30	4	6	3	4	100	İH050	2.64	4120	2144	225	433	0.307	0.125	0.066	0.229	62.5	2748	23.2
26	45	35	6	6	7	3	100	İP005	3.67	2470	1233	403	930	0.065	0.027	0.029	0.048	75.0	1851	28.3
27	30	25	6	14	11	4	55	İH050	2.78	3310	1702	196	941	0.184	0.118	0.084	0.142	37.5	1330	39.1
28	30	30	5	6	15	3	70	İV150	3.85	2400	1221	258	551	0.056	0.034	0.024	0.043	45.0	1226	36.7
29	30	25	3	14	7	3	85	İV150	2.7	3910	2040	217	523	0.105	0.022	0.011	0.084	87.5	2219	31.5
30	30	35	4	30	3	2	85	İP005	2.49	7350	3940	185	317	0.480	0.264	0.176	0.360	57.5	8870	12.9
31	45	25	5	22	3	2	100	İV150	2.43	5620	2950	213	418	0.522	0.105	0.027	0.435	87.0	4871	19.3
32	60	40	4	6	11	1	85	İV150	2.52	3170	1635	233	450	0.756	0.442	0.228	0.574	68.2	1172	66.6

* UF prosese ait tüm sonuçlar, tüm sistemin performansı bakımından İOP/UF hibrit prosesinde arıtılmış çıkış suyunun kalitesini ifade eder.

** λ_{ortalama}, her dalga boyunda ölçülen absorbanların kareleri toplamının absorbanların toplamına bölünmesiyle elde edilmiş ortalama değerdir.

Tablo 4.25 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK ve KOİ giderim verimleri (%)

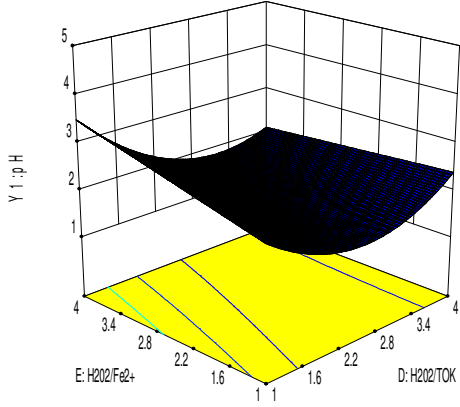
Deney No	İO Prosesi		UF Prosesi		İOP/UF Sistemi	
	TOK ^a	KOİ ^a	TOK	KOİ	TOK	KOİ
1	47,8	68,2	19,1	36,7	57,8	79,9
2	46,1	68,5	14,8	33,5	54,0	79,0
3	38,0	53,9	33,6	60,4	58,8	81,7
4	45,2	58,9	17,2	29,5	54,7	71,0
5	36,3	49,5	11,9	21,4	43,9	60,3
6	50,9	68,3	27,7	49,0	64,5	83,9
7	53,9	68,1	16,8	31,3	61,6	78,1
8	39,8	52,0	16,8	20,5	49,9	61,8
9	55,5	74,3	24,4	33,9	66,4	83,0
10	56,1	74,1	12,2	22,9	61,5	80,0
11	47,2	69,5	15,4	26,6	55,3	77,6
12	51,4	68,8	24,5	29,0	63,3	77,8
13	26,3	37,8	11,1	18,1	34,5	49,1
14	52,2	70,9	18,8	29,4	61,2	79,5
15	48,7	66,7	16,4	38,0	57,1	79,4
16	54,2	67,5	14,7	21,0	60,9	74,4
17	49,3	69,2	11,5	22,8	55,1	76,2
18	53,6	70,2	14,9	29,4	60,5	78,9
19	52,2	72,2	12,4	18,4	58,1	77,3
20	51,6	58,6	26,9	39,5	64,7	75,0
21	60,4	71,8	28,9	32,5	71,9	81,0
22	53,8	69,0	6,9	13,1	56,9	73,1
23	47,6	61,6	8,1	11,9	51,8	66,2
24	58,5	73,5	12,8	24,7	63,8	80,0
25	42,0	57,9	16,4	27,6	51,5	69,5
26	17,0	31,8	4,0	8,0	20,4	37,2
27	40,9	55,7	10,6	16,5	66,5	63,0
28	29,5	42,2	23,6	32,8	46,2	61,1
29	50,1	60,8	0,9	3,1	50,5	62,0
30	53,0	72,4	15,1	19,2	60,1	77,7
31	52,9	65,3	5,8	14,9	55,6	70,5
32	35,1	48,0	22,6	39,1	49,8	68,3

Tablo 4.26 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörün performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları

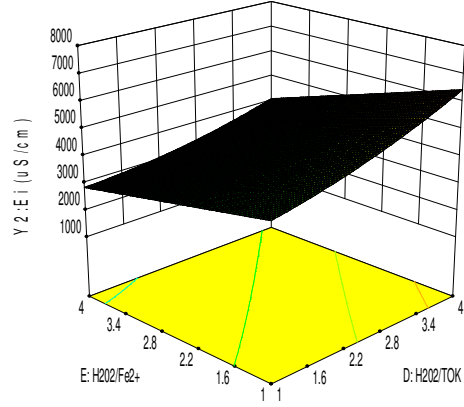
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	1420,32	6	236,72	3,88	0,0071
	A-t	266,51	1	266,51	4,37	0,0468
	B-T	57,24	1	57,24	0,94	0,3418
	C-pH	28,99	1	28,99	0,48	0,4968
	D-H ₂ O ₂ /TOK	923,04	1	923,04	15,14	0,0007
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	100,97	1	100,97	1,66	0,2099
	F-v _H	43,58	1	43,58	0,71	0,4058
	Artan değer	1523,70	25	60,95		
	Toplam	2944,02	31			
KOI (%)	Model	2383,02	6	397,17	7,06	0,0002
	A-t	278,78	1	278,78	4,95	0,0353
	B-T	76,45	1	76,45	1,36	0,2548
	C-pH	13,34	1	13,34	0,24	0,6306
	D-H ₂ O ₂ /TOK	1853,68	1	1853,68	32,93	< 0,0001
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	87,32	1	87,32	1,55	0,2245
	F-v _H	73,44	1	73,44	1,30	0,2642
	Artan değer	1407,18	25	56,29		
	Toplam	3790,19	31			
pH (-)	Model	3,87	6	0,64	5,97	0,0006
	A-t	0,32	1	0,32	3,00	0,0957
	B-T	0,38	1	0,38	3,52	0,0724
	C-pH	0,51	1	0,51	4,71	0,0398
	D-H ₂ O ₂ /TOK	1,73	1	1,73	15,98	0,0005
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	0,92	1	0,92	8,50	0,0074
	F-v _H	0,012	1	0,012	0,11	0,7427
	Artan değer	2,70	25	0,11		
	Toplam	6,57	31			

Tablo 4.27 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörü için proses performans parametrelerine ait model denklemleri

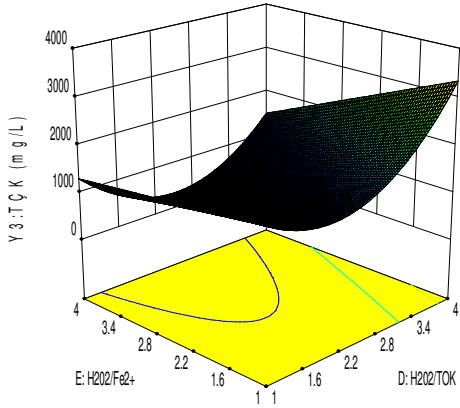
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II, Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$46,78 + 3,87 * A + 1,79 * B - 1,28 * C + 7,21 * D - 2,38 * E + 1,57 * F$ $(S = 7,81 \text{ ve } r^2 = 0,4824)$	$33,80 + 2,30 * A - 0,69 * B - 2,84 * C + 13,21 * D + 0,056 * E + 4,78 * F + 10,00 * AB + 4,06 * C - 4,27 * AD - 2,67 * AE + 0,30 * AF + 4,54 * BC + 6,70 * BD + 1,24 * BE - 0,75 * BF + 4,47 * D - 8,68 * CE - 1,33 * CF - 2,82 * DE - 14,17 * DF + 2,64 * EF + 16,73 * A^2 + 13,56 * B^2 - 7,28 * C^2 + 0,37 * D^2$ $(S = 6,57 \text{ ve } r^2 = 0,9122)$
KOİ (%)	$62,41 + 3,96 * A + 2,07 * B - 0,87 * C + 10,21 * D - 2,22 * E + 2,03 * F$ $(S = 7,50 \text{ ve } r^2 = 0,6287)$	$49,60 - 0,84 * A + 1,14 * B - 1,91 * C + 16,14 * D + 0,34 * E + 5,24 * F + 9,88 * AB + 4,27 * AC - 1,52 * AD - 1,73 * AE - 0,084 * AF + 5,71 * BC + 6,41 * BD - 1,16 * BE - 1,68 * BF + 4,77 * CD - 13,33 * CE - 1,46 * CF - 1,37 * DE - 12,87 * DF + 2,58 * EF + 13,48 * A^2 + 14,28 * B^2 - 7,46 * C^2 + 2,77 * D^2$ $(S = 7,06 \text{ ve } r^2 = 0,9211)$
pH (%)	$2,73 - 0,13 * A - 0,15 * B + 0,17 * C - 0,31 * D + 0,23 * E - 0,026 * F$ $(S = 0,33 \text{ ve } r^2 = 0,5888)$	$1,81 - 0,55 * A - 0,016 * B + 0,087 * C - 0,36 * D + 0,20 * E - 0,052 * F - 0,073 * AB - 0,050 * AC + 0,21 * AD - 0,14 * AE + 0,015 * AF + 0,23 * BC + 0,35 * BD - 0,00289 * BE - 0,16 * BF - 0,24 * CD - 0,99 * CE + 0,088 * CF - 0,34 * DE - 0,27 * DF - 0,029 * EF + 0,28 * A^2 + 0,62 * B^2 - 0,036 * C^2 + 0,80 * D^2$ $(S = 0,26 \text{ ve } r^2 = 0,9387)$



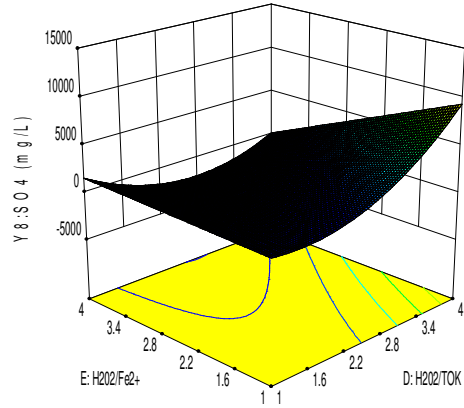
(a)



(b)

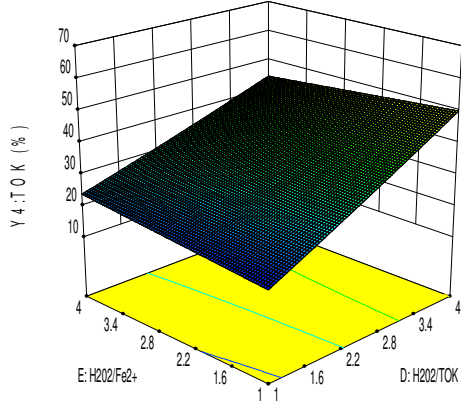


(c)

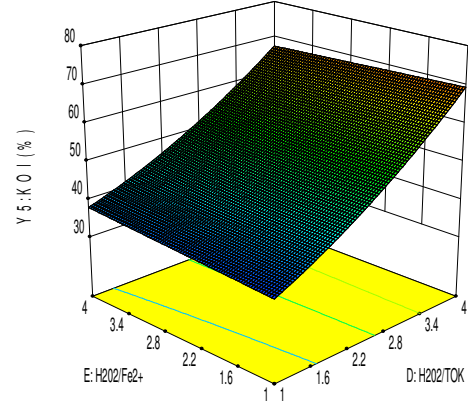


(d)

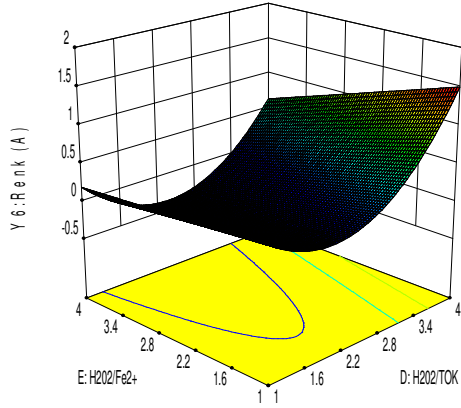
Şekil 4.81 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a), E_i (b), TÇK (c) ve SO_4^{2-} 12 (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



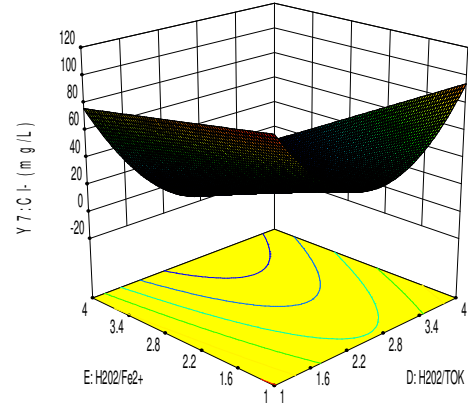
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.82 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TOK (a), KOİ (b), renk (c) ve Cl^- (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)

İleri oksidasyon prosesinde, reaktöre ilave edilen H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarı arttıkça (H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametresi miktarı azaldıkça) pH iç bükey değişimler altında 2,4 civarına düşmekte iken iletkenlik değeri $6200 \mu S/cm'$ dir. Sülfat parametresinin etkisi altında iç bükey değişimle toplam çözünmüş katı madde miktarı iki katın üzerinde bir artış göstererek $3200 mg/L$ değerine kadar ulaşmıştır. Renk ve klorür parametreleri, ortalama H_2O_2 konsantrasyonlarında iç bükey değişimler altında sırasıyla 1,5 A ve $90 mg/L$ ile maksimum değerler göstermektedir. Hibrit reaktör içerisinde organik madde giderimi, tekstil atıksuyunda olduğu gibi, esasen reaktöre ilave edilen H_2O_2 konsantrasyonuna bağlı olarak gerçekleşmekte, ilave edilen Fe^{2+} miktarı arttıkça giderim verimi çok değişmemektedir. Buna ilaveten, artan H_2O_2 konsantrasyonu ile TOK ve KOİ giderim etkinliklerinde belirgin bir artış görülmek, TOK giderim verimi %50' lere, KOİ giderim verimi ise %69' lara kadar çıkmaktadır. Bu durum, uygulamada maliyeti arttıracak olması bakımından optimum konsantrasyonlarda H_2O_2 ilavesi ile İOP proste organik gideriminin TOK ve KOİ esaslı eşzamanlı sağlanabileceği şeklinde değerlendirilmektedir.

– Batık UF prosesin deneysel performansı

İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında, batık UF prosesin TOK, KOİ ve süzüntü akısı (J) performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.28'de; hem I. derece lineer hem de II. derece lineer olmayan model bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 4.29'da gösterilmiştir. Tablo 4.28 için F istatistik ve P olasılık değerleri model ve değişkenlerin önem seviyesini belirtmekte; $P > F$ değeri için 0.05'ten küçük olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri "Önemli", 0.1'den büyük olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri ise "Önemsiz" olarak değerlendirilmektedir. Tablo 4.29'da I. derece lineer model için verilen $P > F$ değerlerine bakıldığında, batık UF proste TOK, KOİ ve J performans parametrelerinden sadece süzüntü akısı sonuç parametresinin lineer modele göre önemli düzeyde bir ilişkisinin mevcut olduğu görülmektedir. Bu önem durumunun da, sıcaklık ve Fe^{+2} konsantrasyonu ile İOP reaktöre ilave edilen H_2O_2 konsantrasyonundan kaynaklandığı değerlendirilmesine ulaşılmıştır. Tablo 4.29'a göre, II. derece lineer olmayan modellerin, birebir ilişki düzeyinde sıfır standard sapma ($S=0$) ve tam korelasyon ($r^2=1.0$) değerleri veriyor olmasından hareketle; batık UF proses için tüm ana performans parametrelerinin, esasen iç etkileşimli model terimlerine dayalı olarak tahmin edilebilir olduğu anlaşılmaktadır.

Batık UF proste, her bir membran türü için H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametreleri ile TOK, KOİ ve süzüntü akısı değişimleri sırasıyla Şekil 4.83, 4.84 ve 4.85'de verilmiştir. UH050 membranı için pH, E_i , TÇK ve SO_4^{2-} parametreleri ile renk ve Cl^- değişimleri ise sırasıyla Şekil

4.86 ve 4.87’de gösterilmiştir. Tekstil endüstrisi atıksuları ile yürütülen deneysel çalışmalarda olduğu gibi, kağıt endüstrisi atıksuları ile yürütülen deneysel çalışmalarda da batık UF proseste organik madde giderim verimleri, UF prosesi çıkış suyu kalitesi değerlerinin reaktör içerisindeki deney sonu ölçülen değerlere göre ölçülendirilmesi üzerinden belirlenmiştir. Batık membran proseste H_2O_2 ’nin azalması veya Fe^{2+} miktarının artmasıyla (H_2O_2/Fe^{2+} azaldıkça), TOK ve KOİ değişimleri benzer değişimler altında artmakta; proseste organik giderim etkinliği, esasen H_2O_2 ’nin etkisi altında gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra, H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları arttıkça, her iki giriş parametresi için yaklaşık aynı mertebelerde olmak üzere, UF membran süzüntü akısının dört membran için de arttığı görülmektedir. Diğer giriş değişkenlerinin ortalama değerleri için verilen değişimlere göre, 3 numaralı UH050 membranları daha yüksek seviyelerde en iyi organik madde giderim verimine ve süzüntü akısı eldesine imkân sağlamaktadır.

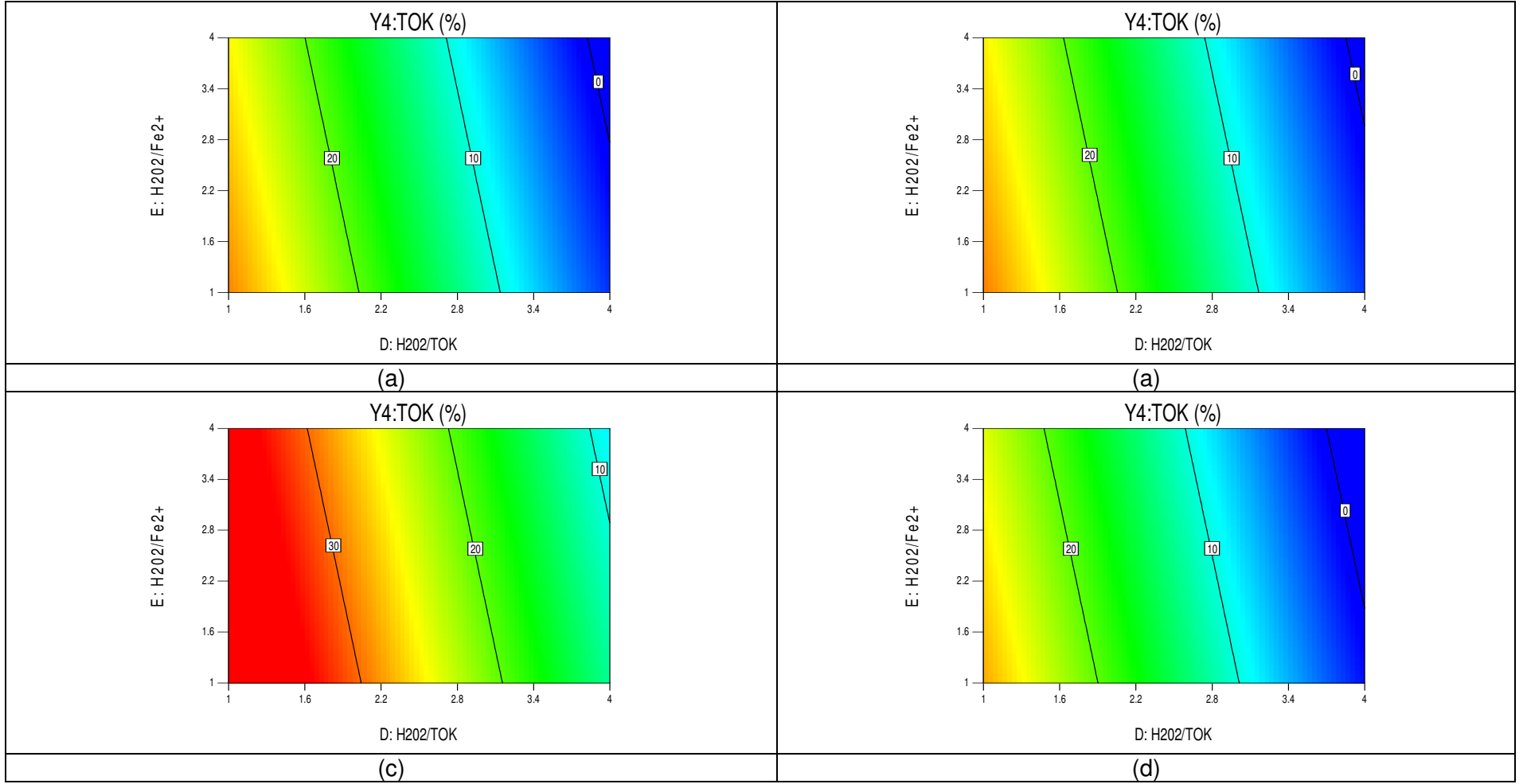
Reaktöre ilave edilen H_2O_2 ve Fe^{2+} arttıkça UF prosesi çıkış suyu pH’ ı 2,2 seviyesine düşmekte (İOP reaktörde 2,4); iletkenlik ise 5000 $\mu S/cm$ ’nin üzerine çıkmaktadır (İOP reaktörde 6200 $\mu S/cm$); sülfat parametresindeki azalışa rağmen toplam çözünmüş katı madde miktarı çok az artmakta ve 2100 mg/L (İOP reaktörde 3200 mg/L) civarında bir değer almaktadır. Çıkış suyunda klorür miktarının, Fenton reaktöre ilave edilen H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarıyla arttığı (yaklaşık 60 mg/L kadar ulaştığı); bunun yanında daha keskin olmakla birlikte UF çıkış suyu renk parametresinin, atıksuda kalan ve sudaki çözünmüş demir iyonlarından gelen renk içeriği itibariyle yükseldiği gözlenmektedir. Bu durum, hibrit reaktör sonrasında NF ($NF_{gevşek}$ ve $NF_{sıkı}$) içerikli arıtma adımları ile kontrol altına alınarak, membranlar üzerinde demir içerikli kirlenme yükü oluşturulmadan, Fenton’a ilave edilen demir kayıp edilmeksizin reaktöre geri döndürülerek (konsantrenin hibrit reaktöre geri devri) hibrit reaktör ve sonrasında NF prosesinin daha ekonomik işletilebilmeleri avantajlarını beraberinde getirmektedir.

Tablo 4.28 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları

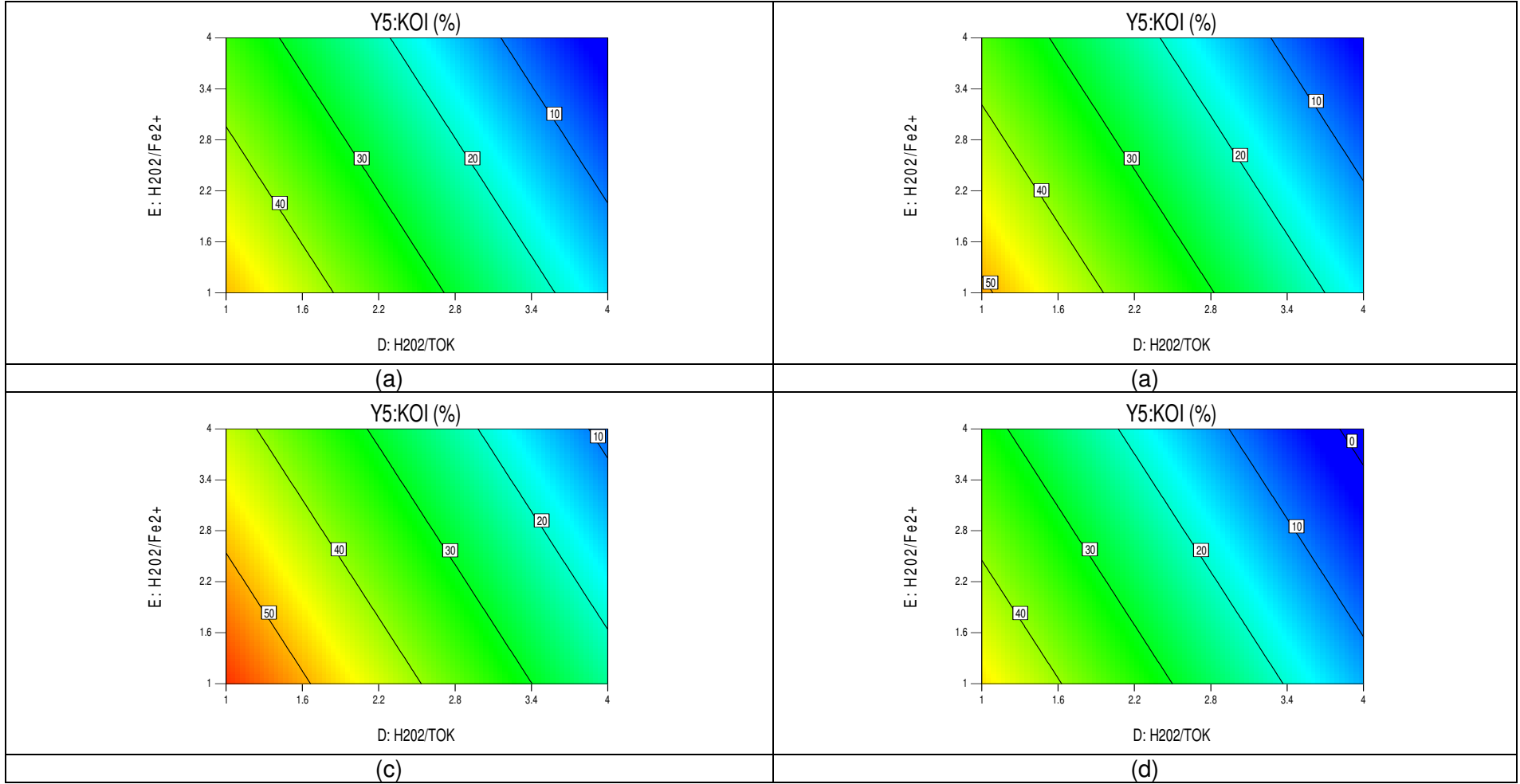
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	682,44	10	68,24	1,34	0,2724
	A-t	26,24	1	26,24	0,52	0,4805
	B-T	313,04	1	313,04	6,16	0,0216
	C-pH	2,60	1	2,60	0,051	0,8233
	D-H ₂ O ₂ /TOK	11,13	1	11,13	0,22	0,6447
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	17,96	1	17,96	0,35	0,5587
	F-v _H	90,30	1	90,30	1,78	0,1970
	G-v _{SC}	21,61	1	21,61	0,42	0,5216
	H-M _T	199,56	3	66,52	1,31	0,2981
	Artan değer	1067,98	21	50,86		
	Toplam	1750,42	31			
KOİ (%)	Model	1476,19	10	147,62	1,10	0,4029
	A-t	0,80	1	0,80	0,00597	0,9391
	B-T	594,06	1	594,06	4,45	0,0472
	C-pH	42,54	1	42,54	0,32	0,5786
	D-H ₂ O ₂ /TOK	62,63	1	62,63	0,47	0,5011
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	182,54	1	182,54	1,37	0,2556
	F-v _H	219,73	1	219,73	1,64	0,2137
	G-v _{SC}	6,52	1	6,52	0,049	0,8273
	H-M _T	367,38	3	122,46	0,92	0,4500
	Artan değer	2806,40	21	133,64		
	Toplam	4282,59	31			
J (L/m ² .sa)	Model	9977,06	10	997,71	3,94	0,0039
	A-t	75,97	1	75,97	0,30	0,5897
	B-T	3314,31	1	3314,31	13,09	0,0016
	C-pH	95,81	1	95,81	0,38	0,5451
	D-H ₂ O ₂ /TOK	1737,98	1	1737,98	6,86	0,0160
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	2664,00	1	2664,00	10,52	0,0039
	F-v _H	4,95	1	4,95	0,020	0,8901
	G-v _{SC}	983,72	1	983,72	3,88	0,0621
	H-M _T	1100,33	3	366,78	1,45	0,2572
	Artan değer	5317,87	21	253,23		
	Toplam	15294,93	31			

Tablo 4.29 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametrelerine ait model denklemleri

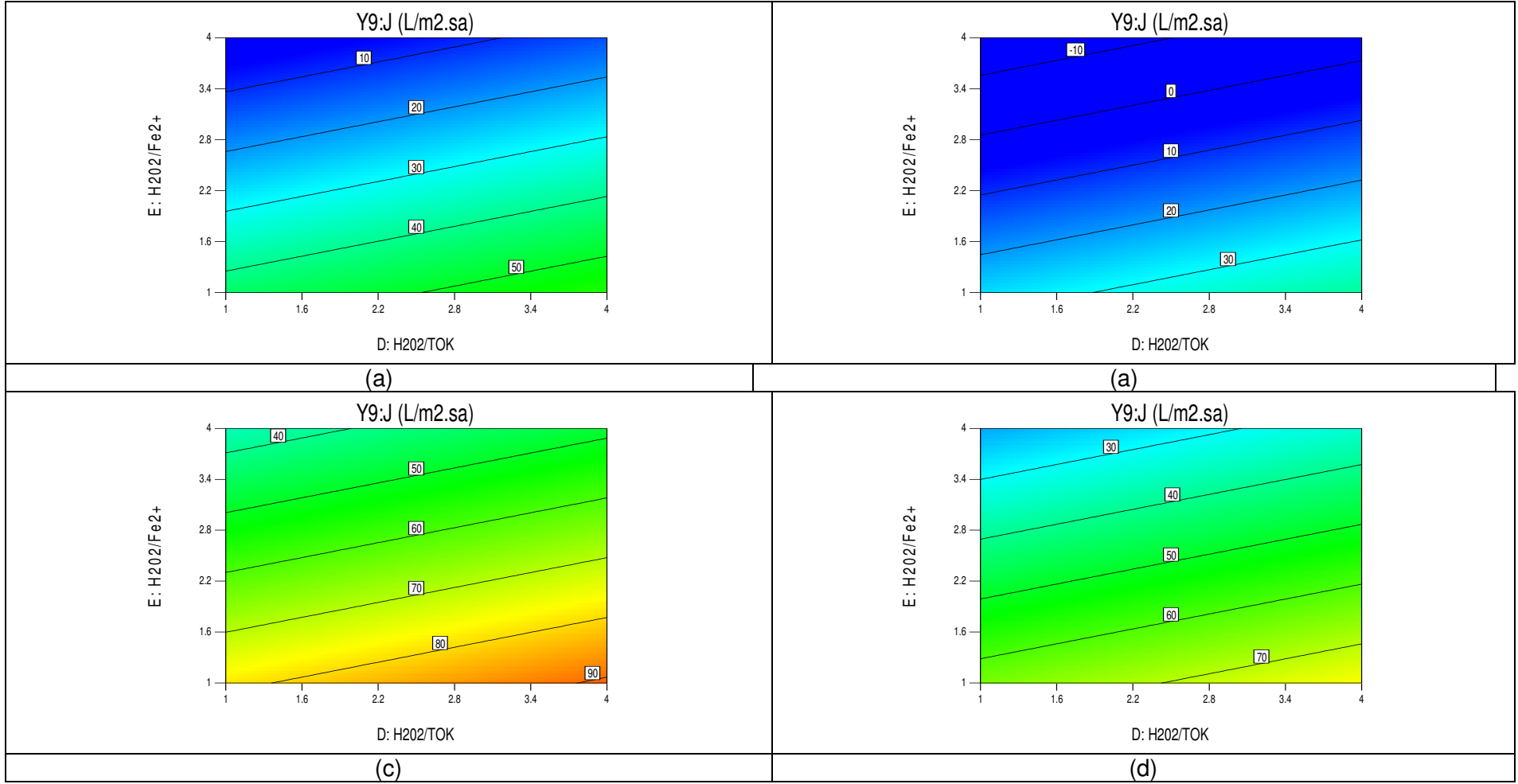
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II, Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$16,15 + 1,22 * A + 4,20 * B - 0,38 * C - 0,79 * D + 1,01 * E - 2,25 * F - 1,10 * G - 3,00 * H[1] + 2,50 * H[2] + 2,44 * H[3]$ $(S = 7,13 \text{ ve } r^2 = 0,3899)$	$16,15 - 11,54 * A + 13,17 * B - 7,28 * C - 13,49 * D - 1,91 * E - 5,32 * F - 1,97 * G - 2,32 * H[1] - 2,07 * H[2] + 7,83 * H[3] - 24,78 * AB - 3,97 * AC + 7,77 * AD - 13,91 * AE + 0,49 * AF + 5,16 * AG - 7,40 * AH[1] - 3,44 * AH[2] + 10,09 * AH[3] + 1,93 * BC - 19,04 * BD - 0,064 * BE - 7,95 * BF + 10,40 * BG + 6,38 * BH[1] + 0,028 * BH[2] + -0,52 * CD - 0,79 * CE - 0,95 * CF - 19,83 * CH[1] + 17,48 * CH[2]$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$
KOİ (%)	$26,71 + 0,21 * A + 5,78 * B - 1,55 * C + 1,88 * D + 3,20 * E - 3,52 * F - 0,61 * G - 5,45 * H[1] + 2,67 * H[2] + 3,02 * H[3]$ $(S = 11,56 \text{ ve } r^2 = 0,3447)$	$26,71 - 16,95 * A + 17,53 * B - 8,16 * C - 17,23 * D - 7,44 * E - 17,95 * F - 5,95 * G - 1,68 * H[1] - 0,40 * H[2] + 6,25 * H[3] - 28,59 * AB - 16,56 * AC + 18,99 * AD - 10,61 * AE - 10,29 * AF + 1,60 * AG + 6,72 * AH[1] + 3,02 * AH[2] + 0,33 * AH[3] + 0,74 * BC - 17,65 * BD - 0,36 * E - 8,80 * BF + 3,43 * BG - 0,28 * BH[1] + 3,50 * BH[2] + 1,01 * CD - 9,35 * CE + 6,92 * CF - 15,28 * CH[1] + 14,44 * CH[2]$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$
J (L/m ² -sa)	$38,06 - 2,07 * A + 13,65 * B + 2,32 * C - 9,89 * D + 12,24 * E + 0,53 * F - 7,44 * G - 4,52 * H[1] - 7,05 * H[2] + 5,27 * H[3]$ $(S = 15,91 \text{ ve } r^2 = 0,6523)$	$38,06 + 5,78 * A + 13,31 * B - 23,41 * C + 6,24 * D - 21,30 * E - 26,40 * F - 18,47 * G - 9,53 * [1] - 26,79 * H[2] + 25,38 * H[3] + 55,38 * AB - 39,13 * AC - 5,16 * AD - 49,17 * AE + 30,43 * F + 19,61 * AG + 61,02 * AH[1] + 24,48 * AH[2] - 38,29 * AH[3] + 5,14 * BC + 25,43 * BD - ,34 * BE + 4,39 * BF - 31,65 * BG - 1,66 * BH[1] - 27,61 * BH[2] + 14,46 * D - 13,12 * CE + 26,30 * CF + 30,91 * CH[1] - 39,93 * CH[2]$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$



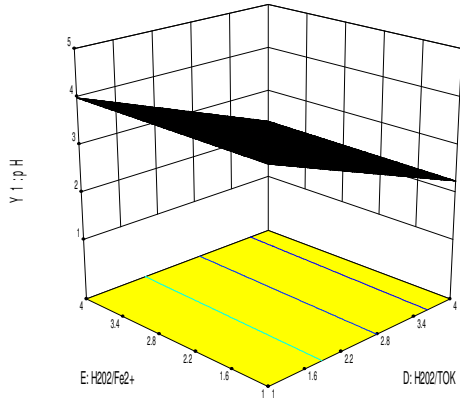
Şekil 4.83 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre TOK giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t , T , pH, v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



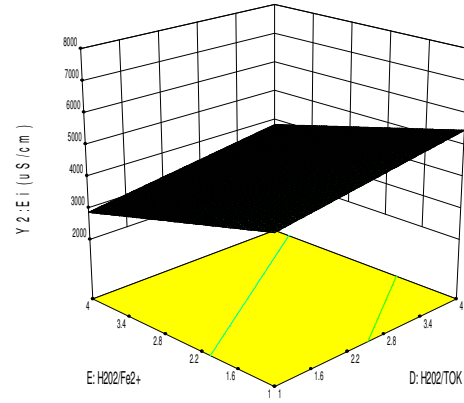
Şekil 4.84 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre KOİ giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t , T , pH, v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



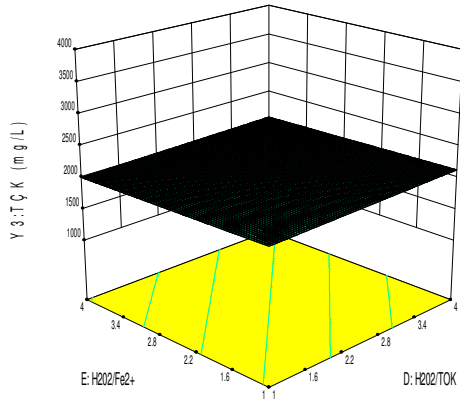
Şekil 4.85 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında farklı membran türlerine göre süzüntü akışı (J, L/m².sa) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (*t*, *T*, pH, *v_H* ve *v_{SC}* giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



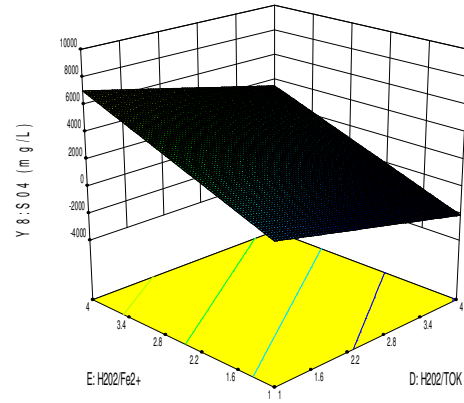
(a)



(b)

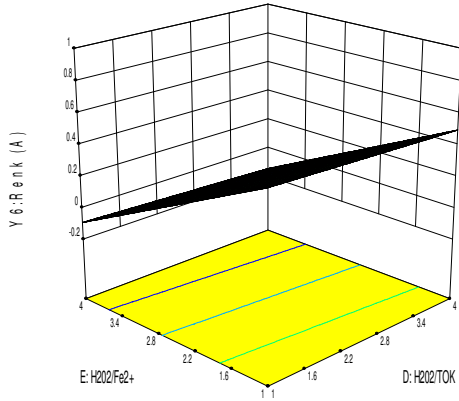


(c)

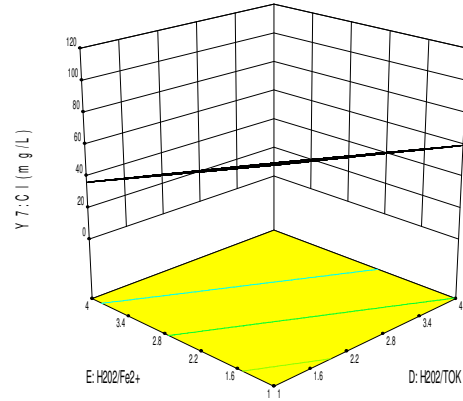


(d)

Şekil 4.86 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesinde UH050 membranı için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a), E_i (b), TÇK (c) ve SO_4^{2-} (d) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



(a)



(b)

Şekil 4.87 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesinde UH050 membranı için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)

– Fenton/batık UF hibrit prosesinin deneysel performansı

İOP/batık UF hibrit reaktör sisteminde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında, TOK, KOİ ve süzüntü akısı (J) performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.30'da; I. derece lineer ve II. derece lineer olmayan modeller bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 4.31'de sunulmuştur. Tablo 4.30'da I. derece lineer model için verilen $P>F$ değerlerine bakıldığında, batık UF proseste TOK, KOİ ve J performans parametrelerinin lineer modele göre önemli düzeyde bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. Her üç parametre için H_2O_2 miktarı önemli düzeyde etkilidir. Bunun yanında, UF prosesi için etkili bir parametre olan membrandan su çekim hızı TOK gideriminde etkilidir. KOİ parametresinde sıcaklık, UF süzüntü akısı için ise sıcaklık ve Fe^{2+} konsantrasyonunun önemli işletme parametreleri olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, İOP/UF hibrit reaktörde organik madde giderim verimi ile UF süzüntü akısının esasen H_2O_2 konsantrasyonuna bağlı olduğu anlaşılmıştır. Tablo 4.31'e göre, II. derece lineer olmayan modellerin, birebir ilişki düzeyinde sıfır standard sapma ($S=0$) ve tam korelasyon ($r^2=1.0$) değerleri veriyor olmasından hareketle; İOP/batık UF hibrit sistem için tüm ana performans parametrelerinin, lineer ve iç etkileşimli model terimlerine dayalı olarak tahmin edilebilir

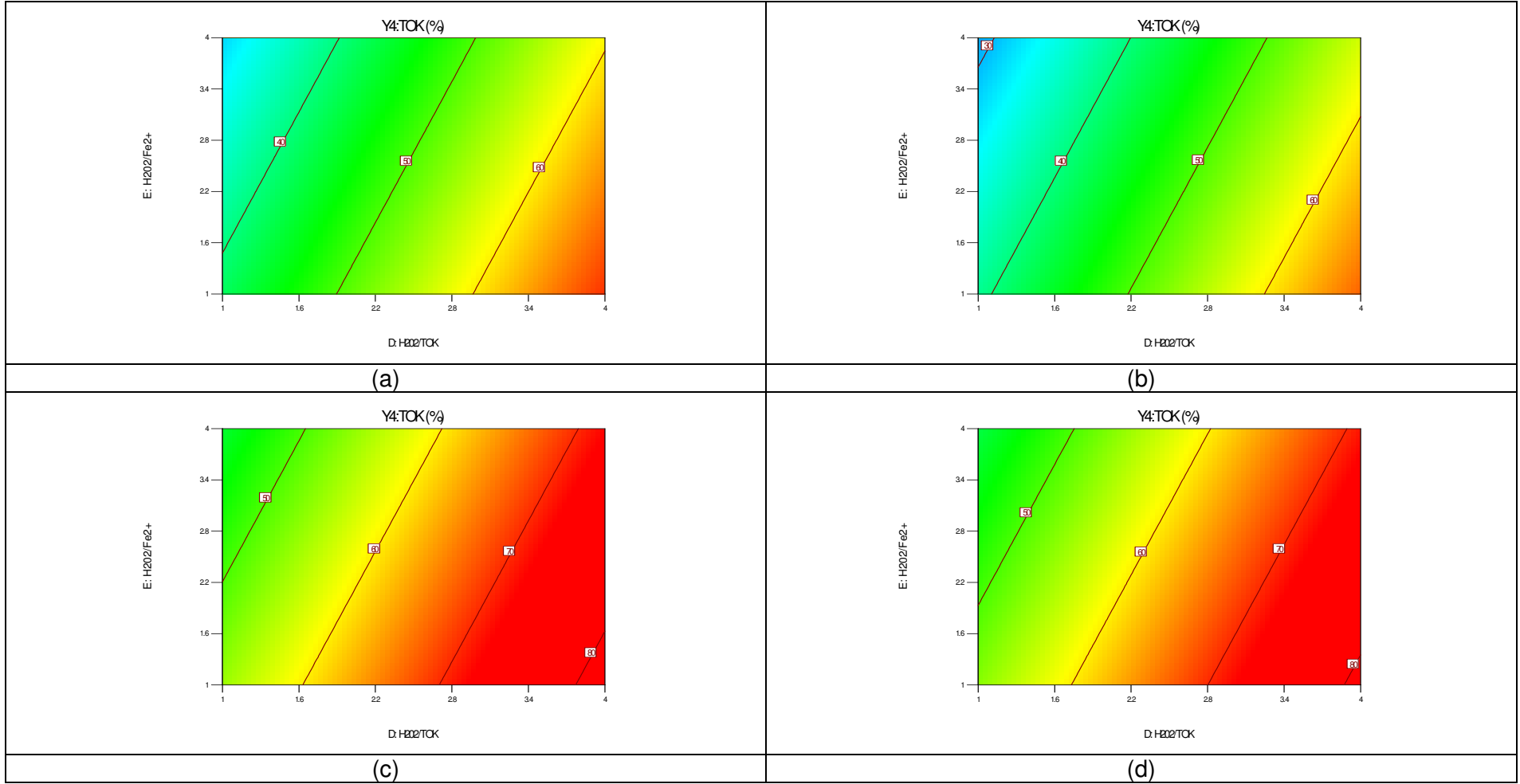
olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. İOP/batık UF hibrit sistemde, her bir membran türü için H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametreleri ile TOK, KOİ ve süzüntü akısı değişimleri sırasıyla Şekil 4.88, 4.89 ve 4.90'de verilmiştir. UF çıkış suyu, İOP/UF sistemde arıtılmış çıkış suyuna tekabül ettiğinden, pH, E_i , TÇK, SO_4^{2-} , renk ve Cl⁻ parametreleri için performans değişimleri, UF proses için daha önce verildiğinden, hibrit sistem için tekraren gösterilmemiştir.

Tablo 4.30 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için lineer modelin (Model I) ANOVA analiz sonuçları

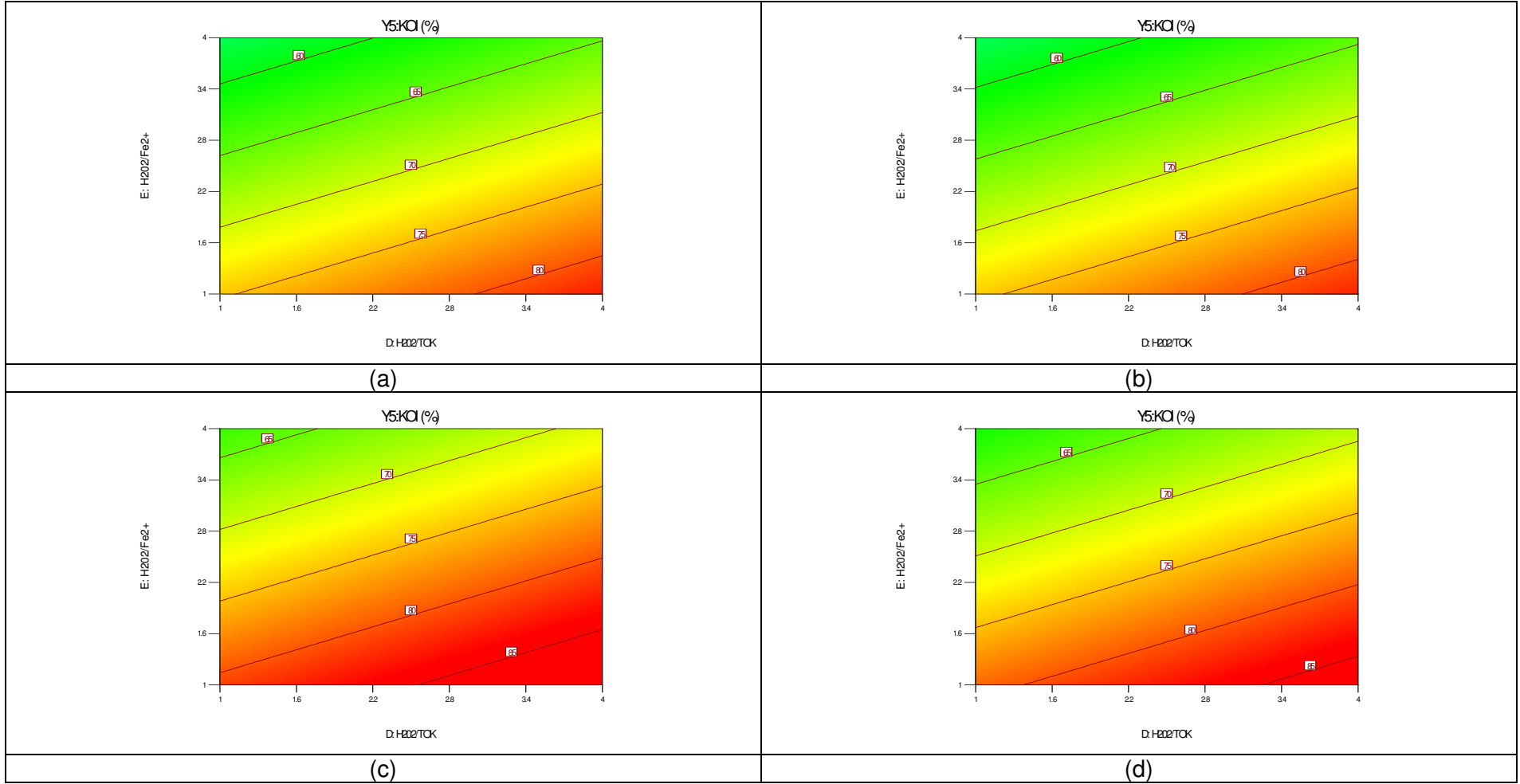
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ort.Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	1744,52	10	174,45	2,87	0,0202
	A-t	207,03	1	207,03	3,40	0,0794
	B-T	118,34	1	118,34	1,94	0,1779
	C-pH	6,97	1	6,97	0,11	0,7384
	D- H_2O_2/TOK	558,01	1	558,01	9,16	0,0064
	E- H_2O_2/Fe^{2+}	20,88	1	20,88	0,34	0,5644
	F- v_H	20,45	1	20,45	0,34	0,5684
	G- $v_{SÇ}$	358,20	1	358,20	5,88	0,0244
	H- M_T	454,64	3	151,55	2,49	0,0883
	Artan değer	1278,68	21	60,89		
	Toplam	3023,20	31			
KOİ (%)	Model	2262,92	10	226,29	4,32	0,0023
	A-t	179,99	1	179,99	3,44	0,0778
	B-T	286,49	1	286,49	5,47	0,0293
	C-pH	68,51	1	68,51	1,31	0,2655
	D- H_2O_2/TOK	1335,76	1	1335,76	25,51	< 0,0001
	E- H_2O_2/Fe^{2+}	3,75	1	3,75	0,072	0,7915
	F- v_H	0,37	1	0,37	0,0071	0,9337
	G- $v_{SÇ}$	188,57	1	188,57	3,60	0,0715
	H- M_T	199,48	3	66,49	1,27	0,3103
	Artan değer	1099,41	21	52,35		
	Toplam	3362,33	31			
J (L/m ² .sa)	Model	9977,06	10	997,71	3,94	0,0039
	A-t	75,97	1	75,97	0,30	0,5897
	B-T	3314,31	1	3314,31	13,09	0,0016
	C-pH	95,81	1	95,81	0,38	0,5451
	D- H_2O_2/TOK	1737,98	1	1737,98	6,86	0,0160
	E- H_2O_2/Fe^{2+}	2664,00	1	2664,00	10,52	0,0039
	F- v_H	4,95	1	4,95	0,020	0,8901
	G- $v_{SÇ}$	983,72	1	983,72	3,88	0,0621
	H- M_T	1100,33	3	366,78	1,45	0,2572
	Artan değer	5317,87	21	253,23		
	Toplam	15294,93	31			

Tablo 4.31 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için model denklemleri

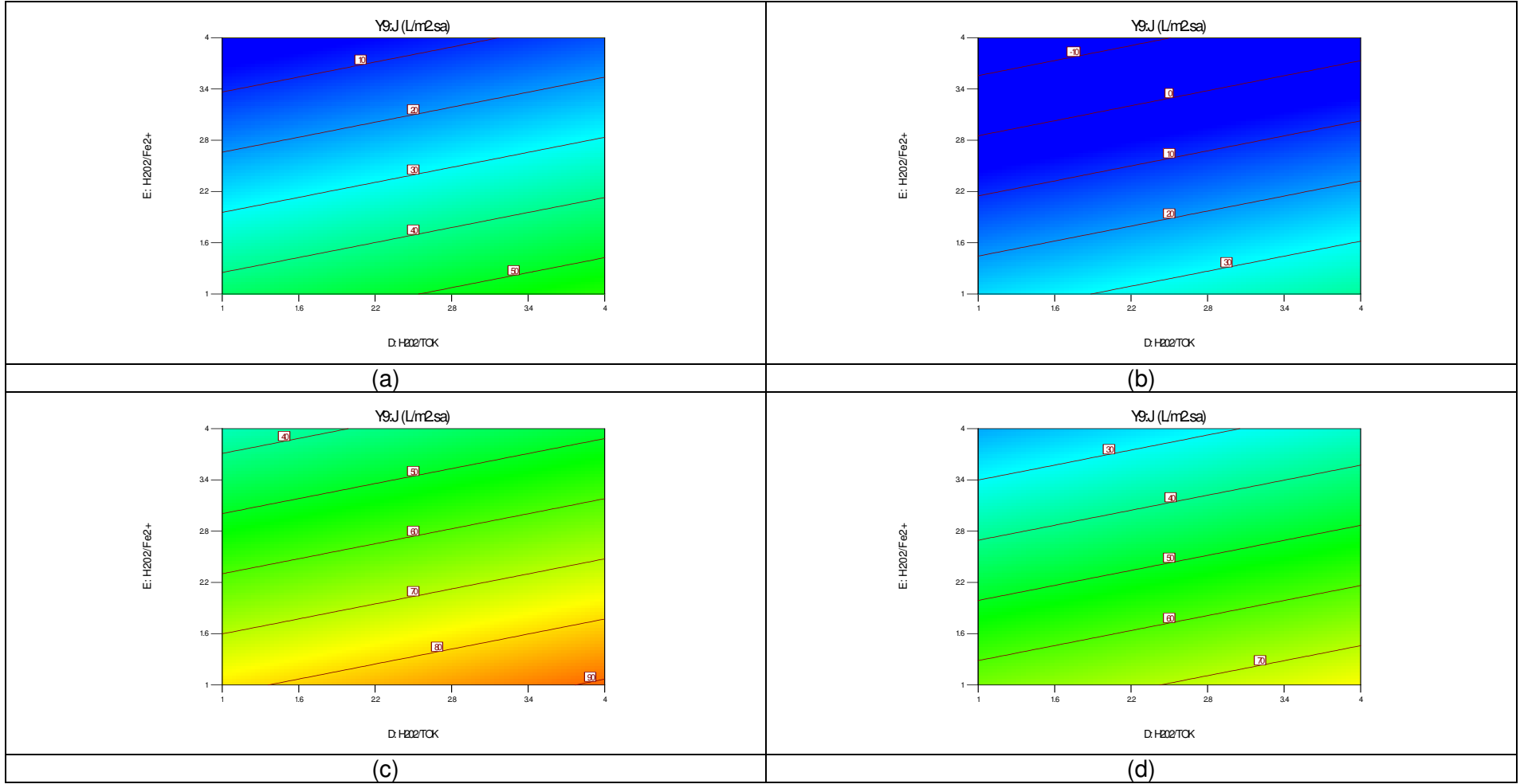
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II, Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$55,90 + 3,41 * A + 2,58 * B - 0,63 * C + 5,60 * D - 1,08 * E + 1,07 * F - 4,49 * G - 4,26 * H[1] - 0,18 * H[2] + 6,01 * H[3]$ <p>(S=7,80 ve $r^2 = 0,5770$)</p>	$55,90 + 0,73 * A + 4,36 * B - 2,88 * C + 14,02 * D - 5,10 * E + 1,36 * F - 5,61 * G - 5,35 * H[1] - ,96 * H[2] + 7,13 * H[3] + 16,85 * AB - 5,14 * AC + 2,50 * AD - 4,43 * AE + 8,73 * AF - 0,33 * AG + 7,81 * AH[1] + 0,67 * AH[2] - 6,51 * AH[3] + 0,69 * BC + 14,38 * BD - 15,70 * BE - 5,44 * BF - 21,05 * BG - 1,69 * BH[1] - 3,34 * BH[2] + 19,59 * CD - 16,51 * CE + 21,40 * CF + 3,19 * CH[1] - 10,01 * CH[2]$ <p>(S = 0 ve $r^2 = 1$)</p>
KOİ (%)	$72,30 + 3,18 * A + 4,01 * B - 1,96 * C + 8,67 * D - 0,46 * E - 0,14 * F - 3,26 * G - 3,55 * H[1] + 0,77 * H[2] + 3,38 * H[3]$ <p>(S = 7,24 ve $r^2 = 0,6730$)</p>	$72,30 - 4,00 * A + 8,79 * B - 4,07 * C + 4,00 * D - 8,94 * E - 7,42 * F - 7,28 * G - 2,57 * H[1] - 2,82 * H[2] + 3,62 * H[3] - 4,44 * AB - 13,03 * AC + 9,33 * AD - 1,88 * AE - 1,73 * AF - 2,99 * AG + 8,57 * AH[1] + 1,42 * AH[2] - 5,01 * AH[3] + 2,65 * BC + 1,69 * BD - 10,17 * BE - 4,85 * BF - 12,22 * BG - 1,23 * BH[1] + 0,23 * BH[2] + 13,52 * CD - 11,48 * CE + 12,11 * CF - 3,98 * CH[1] + 0,21 * CH[2]$ <p>(S = 0 ve $r^2 = 1$)</p>
J (L/m ² ·sa)	$38,06 - 2,07 * A + 13,65 * B + 2,32 * C - 9,89 * D + 12,24 * E + 0,53 * F - 7,44 * G - 4,52 * H[1] - 7,05 * H[2] + 5,27 * H[3]$ <p>(S = 15,91 ve $r^2 = 0,6573$)</p>	$38,06 + 5,78 * A + 13,31 * B - 23,41 * C + 6,24 * D - 21,30 * E - 26,40 * F - 18,47 * G - 9,53 * [1] - 26,79 * H[2] + 25,38 * H[3] + 55,38 * AB - 39,13 * AC - 5,16 * AD - 49,17 * AE + 30,43 * AF + 19,61 * AG + 61,02 * AH[1] + 24,48 * AH[2] - 38,29 * AH[3] + 5,14 * BC + 25,43 * BD - 4,34 * BE + 4,39 * BF - 31,65 * BG - 1,66 * BH[1] - 27,61 * BH[2] + 14,46 * CD - 13,12 * CE + 26,30 * CF + 30,91 * CH[1] - 39,93 * CH[2]$ <p>(S = 0 ve $r^2 = 1$)</p>



Şekil 4.88 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre TOK giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t , T , pH, v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.89 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre KOİ giderim verimi (%) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (*t*, *T*, pH, *v_H* ve *v_{SC}* giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.90 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonları için farklı membran türlerine göre süzüntü akısı (J , L/m².sa) grafikleri ((a): UP005, (b) UP020, (c) UH050 ve (d) UV150) (t , T , pH, v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)

İOP/batık UF hibrit sistemde, organik madde giderim verimleri, arıtılmış çıkış suyu kalitesinin deney başlangıcında reaktör içerisindeki atıksuyun kalitesine göre ölçülendirilmesi ile belirlenmiştir. Hibrit sistemde H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları arttıkça (H_2O_2/Fe^{2+} azaldıkça), TOK ve KOİ verimleri artmakta; H_2O_2 'deki artışın organik giderim etkinliği üzerine katkısı daha fazla olarak gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra, H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları arttıkça, her iki giriş parametresi için farklı mertebelerde, UF membran süzütü akısının arttığı görülmektedir. Diğer giriş değişkenlerinin ortalama değerleri için verilen değişimlere göre, 3 numaralı UH050 membranları yaklaşık aynı seviyelerde olmak üzere en yüksek organik madde giderim verimine ve süzütü akısı eldesine imkân sağlamaktadır.

– Fenton/batık UF hibrit proses performansının optimizasyonu

İOP/batık UF hibrit sistemde optimizasyon, iki farklı içerikte yürütülmüştür. Birinci adım opsiyonlu optimizasyon; hidrojen peroksit hariç diğer giriş değişkenleri deneysel belirlenmiş değer aralıklarında ve H_2O_2 /TOK oranı, sürekli işletimde maliyet unsurunun asgariye indirilmesi hedefi gözetilerek, minimum seçilerek yerine getirilmiştir. İkinci adım opsiyonlu optimizasyonda ise, giriş değişkenlerinin tamamı deneysel belirlenmiş değer aralıklarında seçilerek elde edilen optimum çözümlerden en az kimyasal sarfiyatlı işletimlerin tercih edildiği çözümler belirlenmiştir. Her iki adım ile yapılan çözümler sonucunda arzu edilebilirlik değerlerine bakıldığında, birinci adım arzu edilebilirlik değerleri 0,8' in altında olduğu için kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum proses işletme şartlarının belirlenmesinde, "giriş değişkenlerinin tamamı deneysel belirlenmiş değer aralıklarında seçilerek elde edilen optimum çözümlerden en az kimyasal sarfiyatlı işletimlerin tercih edildiği çözümler" ikinci adım opsiyonlu optimizasyon dikkate alınmıştır.

Prosesin etkinliğinde önemli sonuç parametreleri olan **TOK, KOİ ve J** parametreleri için, elde edilen deneysel performanslar dikkate alınarak, sırasıyla **%75, %85 ve 100 L/m².sa** hedef değerlerine ulaşılmasının arzu edilmesi ile yazılım aracılığıyla ikinci adım opsiyonlu optimizasyondan iki farklı optimum işletme şartı (OD1 ve OD2) belirlenmiştir. Tespit edilen optimum şartlar için hibrit prosesin deneysel işletimleri yerine getirilerek, lineer olmayan ilişki denklemlerinin doğrulaması yapılmış ve deneysel tasarımın proses performansını tahmin etme yetkinliği ortaya çıkarılmıştır. Seçilen optimum işletme şartları için giriş değişkenlerinin kodlanmış ve gerçek değerleri Tablo 4.32'de sunulmuştur.

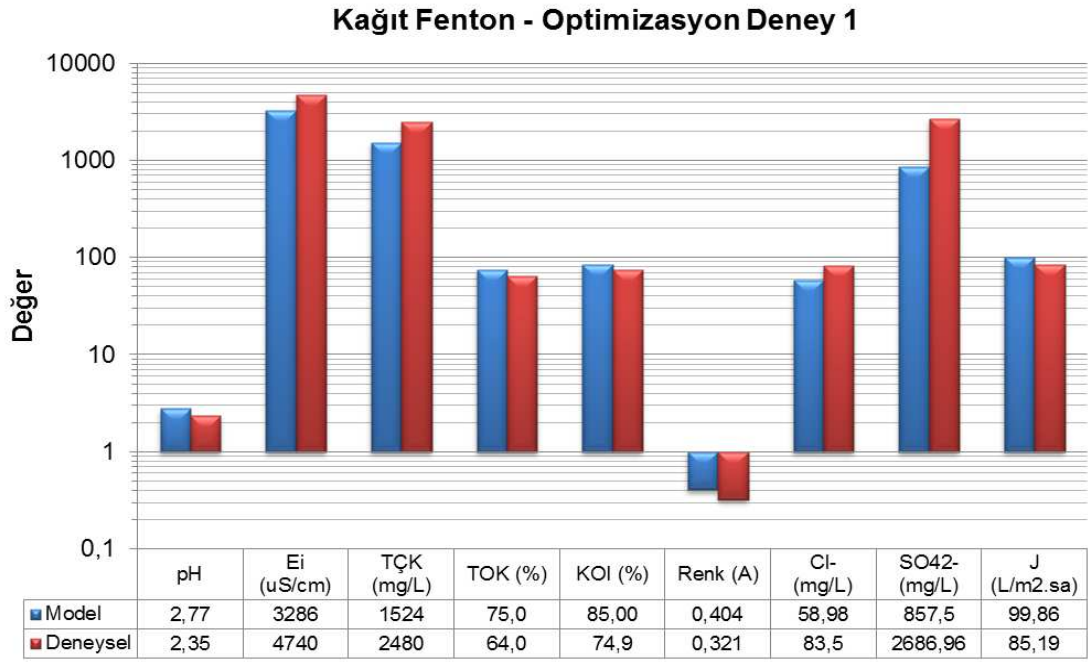
Optimum şartlarda yürütülen deneysel çalışmalar hibrit proses çıkış suyunda H_2O_2 konsantrasyonu 0-50 mg/L oluncaya dek sürdürülmüştür. Optimum işletme şartlarındaki deneysel performanslar, Şekil 4.91-4.92'de gösterilmiş; hibrit sistemde TOK ve KOİ giderim verimlerinin zamana karşı değişimleri, çıkış suyuyla kaybedilen H_2O_2 miktarı ile birlikte, Şekil 4.93-4.94'de verilmiştir.

Optimizasyon deneyleri neticesinde, OD1 şartında, 3.88 başlangıç pH'ında ve minimum H₂O₂ ve Fe²⁺ miktarlarında (atıksuyun 520 mg TOK/L değeri için 3120 mg H₂O₂/L ve 281 mg Fe²⁺/L ilavesi) 56 dakikalık işletimle, yaklaşık %64.03 TOK ve %74.9 KOİ giderim verimleri elde edilebildiği görülmüştür. OD1 için organik madde giderim verimleri açısından kabul edilebilir hata seviyelerinde model tahminleri gerçekleştirilmiştir. OD2 şartında ise, 3.57 başlangıç pH'ında atıksuyun 520 mg TOK/L değeri için 3120 mg H₂O₂/L ve 262 mg Fe²⁺/L ilaveleri ile 18 dakikalık işletimle, çok düşük düzeylerde %14.9 TOK, %19.1 KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. OD1 ve OD2 şartlarında, inorganik parametrelere ait model tahmin değerlerinin, deneysel ölçülmüş değerlere göre kısmen daha düşük seviyelerde olduğu gözlenmiştir. Bu durum, tekstil endüstrisi atıksuları ile yürütülen deneysel çalışmalarda olduğu gibi, çalışmanın bu kısmında da hibrit sistemin inorganik madde gideriminde herhangi bir etkinliğinin olmadığını göstermektedir.

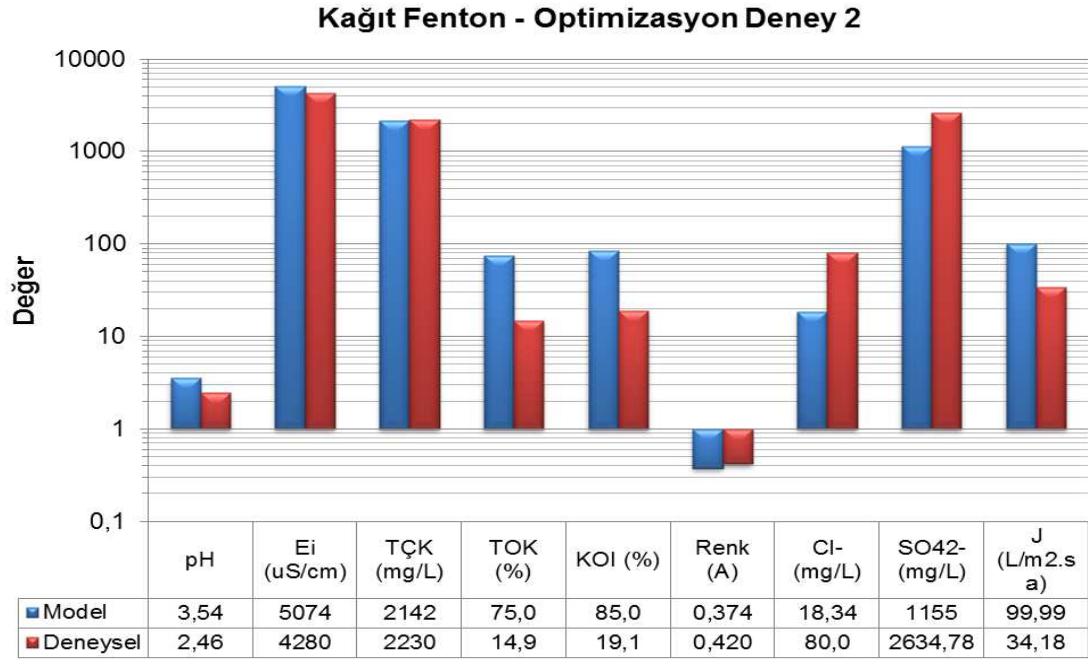
Tablo 4.32 İOP/batık UF hibrit sistemde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımı için belirlenmiş optimum proses işletme şartları

Giriş Değişkeni	Parametre	Açıklaması	Birim	Optimum işletme şartları			
				Kodlanmış değerler		Gerçek değerler	
				*OD1	*OD2	*OD1	*OD2
A	t	zaman	dk	3,75	1,23	56,0	18,0
B	T	sıcaklık	°C	3,81	2,06	39,1	30,3
C	pH	pH	–	1,88	1,57	3,88	3,57
D	H ₂ O ₂ /TOK	H ₂ O ₂ /TOK oranı	g/g	1,00	1,00	6,0	6,0
E	H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ oranı	g/g	3,02	3,22	11,1	11,9
F	v_H	İOP reaktörü havalandırma hızı	L/dk	2,56	1,76	2,56	1,76
G	$v_{SÇ}$	UF membranda su çekim hızı	rpm	1,01	1,21	55,0	58,0
H	M_T	Membran türü	–	3	2	UH050	UP020

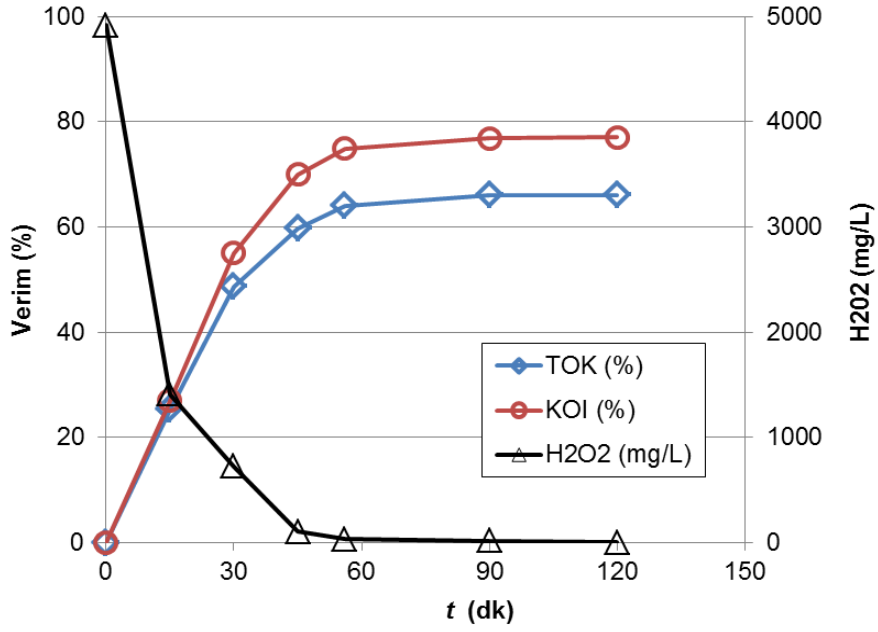
* OD kısaltması "Optimizasyon Deneyi" terimini ifade etmekte olup, OD1 ve OD2 için optimum şartların arzu edilebilirlikleri (desirabilities) sırasıyla 0.999 ve 1'dir.



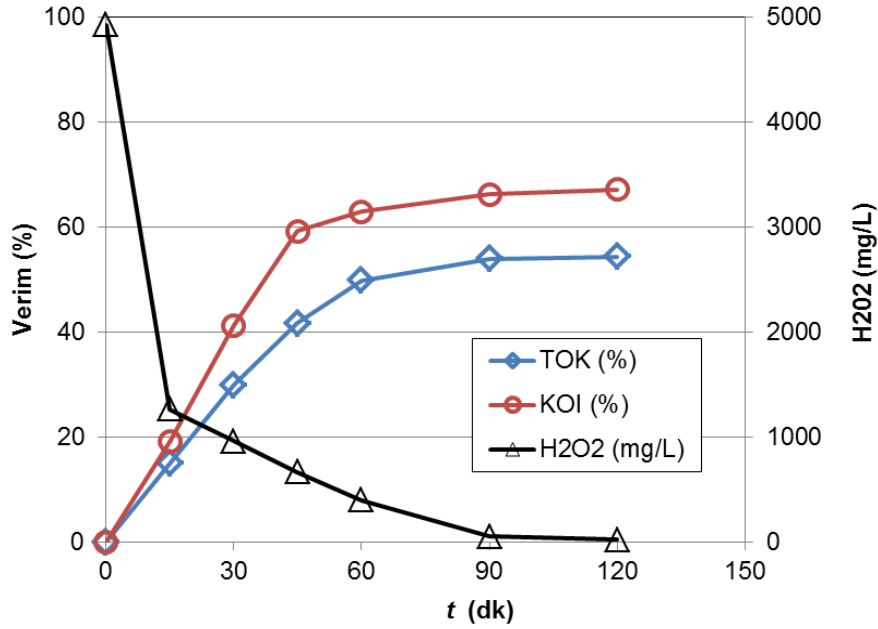
Şekil 4.91 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için model ve deneysel performans sonuçları



Şekil 4.92 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için model ve deneysel performans sonuçları



Şekil 4.93 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu

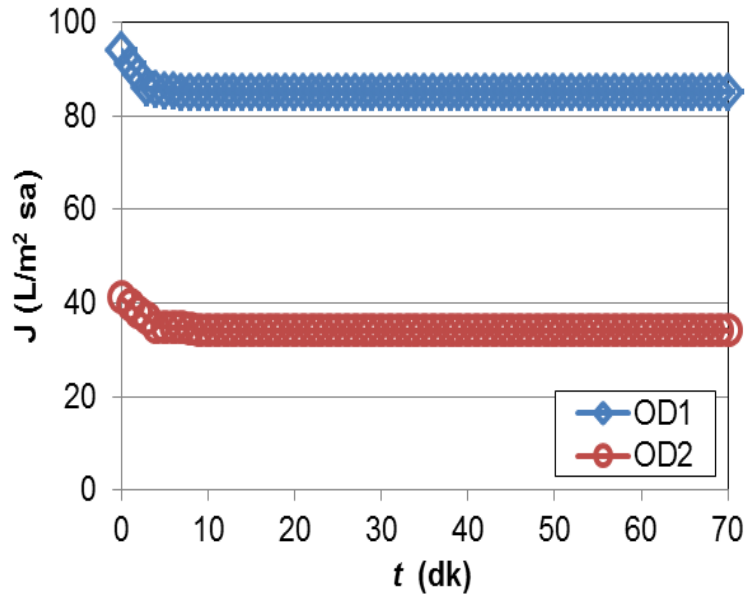


Şekil 4.94 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu

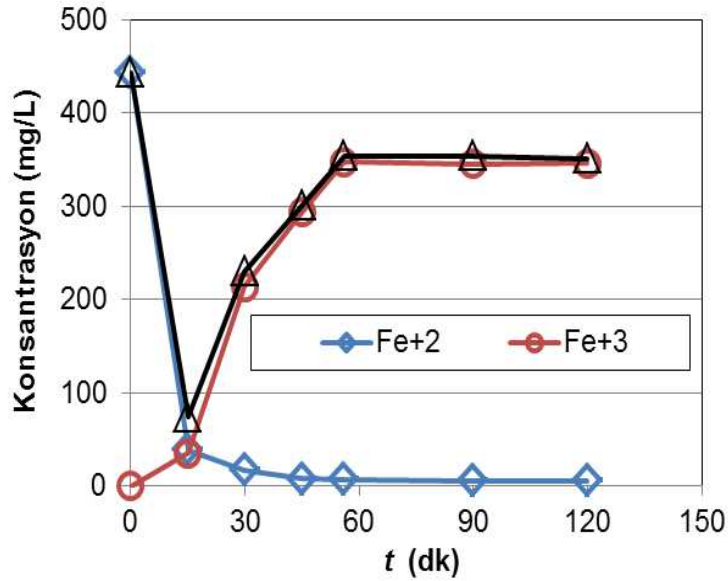
Yapılan deneysel çalışma sonucunda, her ne kadar 56 dk'dan 120 dk'ya kadar organik madde gideriminde çok az da olsa bir artış gözlenmişse de; bir yandan tüketime bağlı reaktör içerisindeki H_2O_2 miktarının zamanla sıfır noktasına doğru azaldığı, bu sebeple de reaktör içerisinde azalan H_2O_2 miktarına bağlı olarak Fenton etkinliğinde düşme meydana geldiği görülmüştür. Membrandan H_2O_2 kaçışının önlenerek, bir yandan reaktör içerisindeki Fenton etkinliğinin sürdürülmesi, diğer yandan kimyasal sarfiyatının azaltılması sayesinde hibrit prosesin sahada ekonomik olarak işletiminin gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir. Bu amaçla, projenin sonraki adımlarında yürütülecek olan sürekli işletimli deneylerde, çalışmanın tekstil ile yürütülen kısmında olduğu gibi İOP/batık UF hibrit sisteminin ardışık sürekli olarak işletiminin uygun olacağı kanaatine ulaşılmaktadır.

Hibrit sistemde batık UF proses süzüntü akısının zamana karşı değişimleri Şekil 4.95'de, çıkış suyunda ölçülen demir iyonları konsantrasyonlarının zamanla değişimleri ise, OD1 ve OD2 için sırasıyla Şekil 4.96 ve 4.97'de sunulmuştur. Önerilen sistemin ekonomik işletimi amacıyla H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarlarının minimizasyonu kadar önemli bir diğer husus, yüksek su akısıyla batık UF membranın işletilebilirliğidir. Süzüntü akısı bir membran proses için, proses yatırım maliyetini belirleyici en temel unsurdur. Bu bağlamda, OD1 ve OD2 şartlarında elde edilen çıkış suyu akılarının (sırasıyla 85,19 L/m².sa ve 34,18 L/m².sa) batık biyolojik arıtma sistemlerindeki nazaran (Örneğin; Membran biyolojik reaktörde (MBR) genellikle su akısı 4-12 L/m².sa aralığındadır.) daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da hibrit sistemin endüstriyel atıksulara sahada başarıyla uygulanabilirliği bakımından ayrı bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. Optimizasyon çalışmaları sonucunda, OD2 şartlarında, 18 dakika sonunda kağıt endüstrisi atıksularının Fenton prosesi ile arıtımının organik madde giderimi başta olmak üzere (%14,9 TOK ve %19,1 KOİ) bütün proses parametreleri açısından etkin olarak işletilemediği sonucu açıkça görülmektedir.

Diğer yandan Şekil 4.96 ve 4.97'de görüldüğü gibi, hibrit sistem çıkış sularındaki demir konsantrasyonlarında, toplam demirin esasen $Fe(+3)$ 'ten kaynaklandığı, OD1 ile elde edilen çıkış suyu değerlerinin OD2 şartlarında elde edilene kıyasla biraz daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. OD1 deneylerinde karşılaşılan bu durumun başlıca sebebi, başlangıçta İOP reaktöre ilave edilen demir miktarının OD1 deneylerinde daha yüksek olmasıdır. Bu noktada, optimizasyon adımında, doğrulama deneylerinde kullanılan atıksuyun ortalama kalitesindeki değişimlere dayalı muhtemel performans etkilerini görmek amacıyla organik madde giderimi ve çıkış suyu akısı dikkate alındığında, en iyi performansın görüldüğü 21 no'lu Taguchi deneyi, OD1 optimum deneyi ile karşılaştırılmıştır. 21 nolu deney aynı atıksu şartında tekrar edilmiş ve hibrit sistemde aynı atıksuyla işletilen OD1 ve 21 no'lu tekrar deneyine ait performans sonuçları Şekil 4.98'de gösterilmiştir.

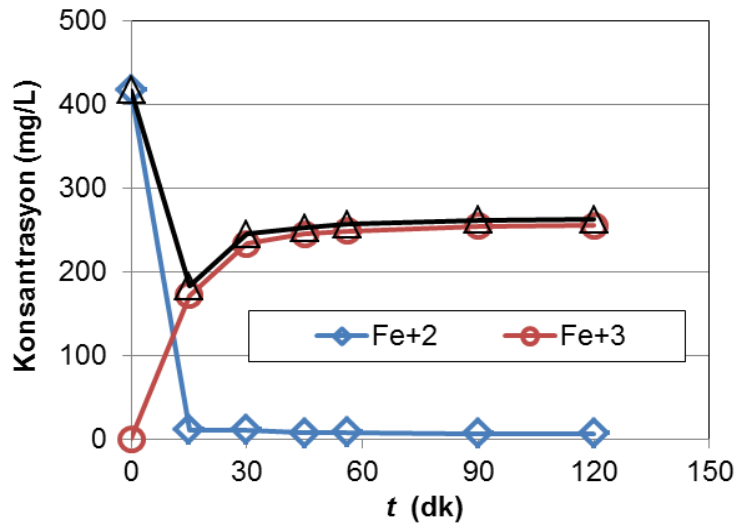


Şekil 4.95 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında her iki optimum işletme deneyi için zamana karşı değişen UF süzöntü akısı

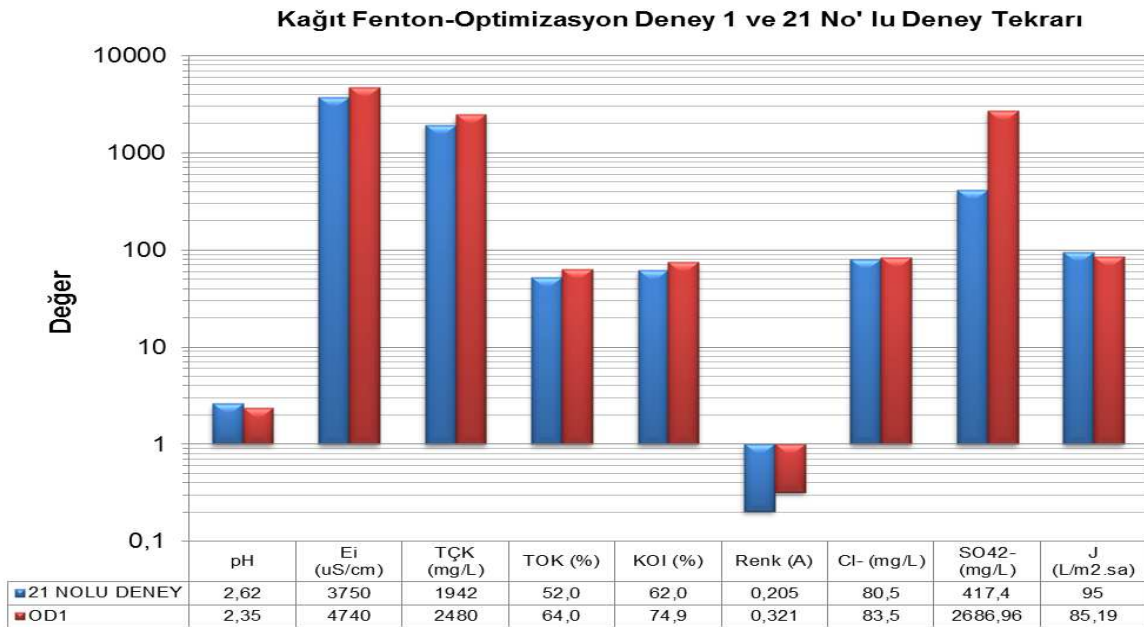


Şekil 4.96 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları

Başlangıçta yapılan Taguchi deneysel tasarımı yer alan 21 nolu deney tekrar edildiğinde, başlangıç deney sonuçlarına göre özellikle organik madde gideriminde %20-30 oranındaki azalış ile birlikte bir miktar çıkış suyu akısındaki değişimin, deneylerde kullanılan atıksuyun değişen kalite içeriğine bağlı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.97 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen demir konsantrasyonları



Şekil 4.98 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında aynı atıksuyla işletilen OD1 ve 21 no'lu tekrar deneyine ait performans sonuçları

Yukarıda verilen performans değerlendirmeleri ve model uyumluluk etkinlikleri, çıkış suyunda demir konsantrasyonlarının sonraki adımlarda uygulanacak NF proseslerine gelecek inorganik yükün azaltılması amacıyla minimize edilmesi hususu dikkate alındığında; kağıt atıksuyunun **İOP/UF reaktörde Fenton prosesiyle arıtımı için optimum işletme şartının, çıkış suyu akısı bir miktar düşük olmasına rağmen, organik madde giderimi esas alındığında, OD1 dahilindeki hibrit sistem işletim şartları** olduğu kanaatine varılmıştır.

– Foto-Fenton/batık UF deneyleri

İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle kesikli şartlarda arıtımında, değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tabloları ve deneysel performans sonuçları, İO ve batık UF prosesleri için sırasıyla Tablo 4.33 ve 4.34'de verilmiştir. Batık UF prosese ait sonuçlar, tüm sistemin performansı bakımından İOP/batık UF hibrit sistemde arıtılmış çıkış suyunun kalitesini vermektedir. İzlenen parametreler arasında yer alan renk parametresinde, sadece atıksuyun renginin değil, aynı zamanda Fenton proseste demirden gelen rengin de hibrit sistem çıkış suyunda bilinmesi gerektiği için (hibrit sistem sonrası NF ve/veya TO ile su geri kazanımı gerçekleştirileceğinden ve bu proseslerde renk verimi demir giderimi üzerinden de izleneceğinden), hibrit sisteme ve sistemdeki her iki prosese ait organik kirletici giderim verimi izlemeleri, TOK ve KOİ parametreleri üzerinden yerine getirilmiştir. Bu bağlamda, İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK ve KOİ giderim verimleri, Tablo 4.35'de gösterilmiştir.

– Foto-Fenton prosesinin deneysel performansı

Hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun Fenton prosesiyle arıtımında, İOP reaktörün TOK, KOİ ve pH performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.36'd verilmiş; hem I. derece lineer hem de II. derece lineer olmayan model bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 3.37'de sunulmuştur. Tablo 4.36 için F istatistik ve P olasılık değerleri model ve değişkenlerin önem seviyesini belirtmekte; $P > F$ değeri için **0.05'ten küçük** olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri "**Önemli**", **0.1'den büyük** olan model ve terimlerinin sonuç değişkeni üzerine etkileri ise "**Önemsiz**" olarak değerlendirilmektedir. Tablo 4.36'da I. derece lineer model için verilen $P > F$ değerlerine bakıldığında, İOP reaktörde TOK, KOİ ve pH etkinliklerinin lineer model ilişkilerine göre önemli olduğu görülmektedir. Proseste TOK giderim verimi için H_2O_2 konsantrasyonu, zaman ve sıcaklığın, KOİ için ise H_2O_2 konsantrasyonu, zaman ve kısmen pH'nın etkisinin olduğu; buna karşın İOP reaktördeki pH değişimleri için H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarının önemli performans etkilerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tablo 4.37'ye bakıldığında ise, II. derece lineer olmayan modellerin, I. derece lineer modellere kıyasla çok daha iyi bir ilişki düzeyinde düşük standard sapma (S) ve yüksek korelasyon (r^2) değerleri verdiği görülmektedir. Bunun nedeni de, iç etkileşimli model terimlerinin, modelin kurgusuna ve modele dayalı performans tahminlerine olan katkılarının önemli olmasıdır. İOP proseste, farklı ışık kaynağı türleri için H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} parametreleri ile pH- E_i , TÇK- SO_4^{2-} ve renk-Cl⁻ değişimleri ile TOK-KOİ giderim verimleri, Şekil 4.99- 4.102'de, H_2O_2/TOK ve ışık şiddeti parametrelerine göre performansların aynı sırasındaki değişimleri Şekil 4.103- 4.106'da gösterilmiştir.

Tablo 4.33 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İO prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2¹×4⁸) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri								Sonuç Parametreleri										
	A <i>t</i>	B <i>T</i>	C pH	D H ₂ O ₂ /TOK	E H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	F <i>v_H</i>	J <i>İ_ş</i>	K <i>f_t</i>	Y1 pH	Y2 E _i	Y3 TÇK	Y4 TOK	Y5 KOI	Y6 renk				Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻
														λ ₄₃₆	λ ₅₂₅	λ ₆₂₀	*λ _{ortalama}		
1	45	25	4	22	15	1	4	UVC-254	2.86	4040	2100	399	1270	0.867	0.552	0.444	0.673	33.0	3617
2	45	30	3	30	11	2	3	UVC-254	2.77	4500	2350	234	428	1.128	0.602	0.108	0.896	20.0	4374
3	30	40	3	22	7	1	3	UVA-365	2.66	4750	2490	190	368	0.518	0.147	0.059	0.405	24.0	3983
4	15	30	4	14	7	2	2	UVC-254	2.76	4630	2420	269	633	0.930	0.415	0.294	0.686	32.5	3930
5	15	30	5	14	11	1	4	UVA-365	3.52	3960	1850	300	645	0.695	0.500	0.410	0.561	20.0	1522
6	15	35	5	22	11	3	3	UVC-254	2.77	4740	2480	262	430	0.626	0.222	0.130	0.468	37.5	3043
7	45	40	4	14	15	3	3	UVA-365	2.51	6560	3510	217	1420	1.196	0.696	0.436	0.904	35.0	6270
8	15	25	3	6	3	1	1	UVC-254	2.79	4140	2160	328	986	1.113	0.244	0.095	0.900	50.5	2661
9	60	30	6	22	3	3	4	UVA-365	2.51	6530	2460	184	415	1.182	0.274	0.124	0.942	40.0	8548
10	45	30	6	30	7	1	1	UVA-365	2.62	4690	2450	180	318	2.376	1.818	1.404	1.951	35.0	4722
11	30	40	6	22	11	2	1	UVC-254	2.89	3850	1995	256	815	0.851	0.359	0.229	0.629	20.0	3557
12	45	40	5	14	3	4	1	UVC-254	2.56	5660	2980	313	627	1.132	0.210	0.061	0.947	50.0	7043
13	15	25	6	6	15	2	3	UVA-365	4.8	2800	1425	339	711	0.206	0.124	0.088	0.157	30.0	2017
14	30	35	5	30	15	1	2	UVC-254	2.65	5040	2620	218	414	1.014	0.330	0.168	0.771	31.0	4330
15	15	35	4	22	7	4	1	UVA-365	2.66	5750	3020	204	344	1.510	0.862	0.120	1.219	36.5	5070
16	60	35	6	14	3	1	3	UVC-254	2.64	5530	2920	175	343	0.616	0.200	0.096	0.470	36.0	5809
17	60	25	4	30	11	3	1	UVC-254	2.69	4570	2390	196	484	1.219	0.975	0.864	1.041	50.5	3704
18	15	40	6	30	15	4	4	UVC-254	2.88	3520	1790	360	1028	0.828	0.331	0.203	0.614	32.5	8426
19	60	30	3	22	15	4	2	UVC-254	2.73	4120	2146	250	508	0.308	0.144	0.090	0.228	24.0	3852
20	60	35	3	14	15	2	1	UVA-365	2.78	3920	2036	197	423	0.366	0.201	0.144	0.274	37.5	2557
21	60	40	5	6	7	2	4	UVC-254	3.63	3160	1623	173	290	0.134	0.072	0.051	0.100	30.0	1678
22	15	40	3	30	3	3	2	UVA-365	2.54	6690	3570	183	397	1.388	0.510	0.202	1.061	35.0	12130
23	45	35	3	6	11	4	4	UVA-365	2.81	3720	1922	178	412	0.194	0.130	0.092	0.151	32.5	1678
24	60	25	5	30	7	4	3	UVA-365	2.56	4900	2570	188	450	0.930	0.566	0.412	0.710	55.0	4313
25	30	30	4	6	3	4	3	UVC-254	2.64	4570	2330	287	635	1.017	0.447	0.210	0.764	55.0	3461
26	45	35	6	6	7	3	2	UVC-254	4.42	2630	1338	362	1456	0.272	0.134	0.079	0.202	20.0	2026
27	30	25	6	14	11	4	2	UVA-365	3.02	2870	1469	280	642	0.198	0.122	0.086	0.151	36.5	1661
28	30	30	5	6	15	3	1	UVA-365	4.02	2380	1209	348	754	2.450	1.800	1.425	1.986	36.0	1017
29	30	25	3	14	7	3	4	UVC-254	2.83	4670	2105	273	614	1.206	0.864	0.660	0.966	52.5	3322
30	30	35	4	30	3	2	4	UVA-365	2.51	7010	3740	310	582	1.240	0.325	0.094	0.996	31.0	11626
31	45	25	5	22	3	2	2	UVA-365	2.57	5900	3110	252	571	1.230	0.450	0.183	0.939	55.0	7452
32	60	40	4	6	11	1	2	UVA-365	2.92	4700	2470	228	497	0.440	0.260	0.184	0.334	31.0	1939

* λ_{ortalama}, her dalga boyunda ölçülen absorbanların kareleri toplamının absorbanların toplamına bölünmesiyle elde edilmiş ortalama değerdir.

Tablo 4.34 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UF prosesi için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarım tablosu (L32 2¹×4¹⁰) ve her bir sonuç parametresi için deneysel sonuçlar

Dene y No	Giriş Parametreleri										Sonuç Parametreleri											
	A t	B T	C p H	D H ₂ O ₂ /T0 K	E H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	F v H	G v _{ŞÇ}	H M _T	J / Ş	K t _r	Y1 pH	Y2 E _i	Y3 TÇK	Y4 TO K	Y5 KOI	Y6 renk				Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻	Y9 J
																λ ₄₃₆	λ ₅₂₅	λ ₆₂₀	**λ _{ortalama}			
1	4	2	4	22	15	1	70	UH05	4	UVC	2.8	393	203	346	103	0.28	0.15	0.10	0.212	31	3000	6.09
2	4	3	3	30	11	2	55	UV15	3	UVC	2.8	452	236	195	311	0.82	0.26	0.07	0.649	30	3661	15.23
3	3	4	3	22	7	1	10	UP02	3	UVA	2.6	468	245	161	215	0.85	0.17	0.07	0.692	30	2835	24.41
4	1	3	4	14	7	2	70	UP02	2	UVC	2.7	459	241	231	484	1.24	0.60	0.41	0.919	30	2861	45.80
5	1	3	5	14	11	1	10	UP00	4	UVA	2.8	340	174	274	530	0.26	0.17	0.12	0.204	35	1191	23.54
6	1	3	5	22	11	3	85	UH05	3	UVC	2.8	469	245	176	238	0.41	0.16	0.09	0.305	32	2835	33.17
7	4	4	4	14	15	3	55	UP00	3	UVA	2.5	643	342	176	418	0.70	0.28	0.11	0.538	52	4670	34.13
8	1	2	3	6	3	1	55	UP00	1	UVC	2.8	433	225	287	845	1.87	1.09	0.75	1.420	51	2983	30.37
9	6	3	6	22	3	3	55	UP02	4	UVA	2.5	661	355	146	259	1.12	0.22	0.09	0.920	55	6435	12.23
10	4	3	6	30	7	1	85	UH05	1	UVA	2.6	466	243	141	212	0.98	0.57	0.12	0.777	37	3383	25.12
11	3	4	6	22	11	2	70	UP00	1	UVC	2.8	391	202	204	572	0.23	0.04	0.02	0.191	19	2174	51.88
12	4	4	5	14	3	4	85	UP02	1	UVC	2.5	574	303	261	587	0.60	0.13	0.06	0.484	51	5191	16.42
13	1	2	6	6	15	2	85	UP02	3	UVA	4.7	281	144	300	532	1.82	1.20	0.86	1.415	31	1287	80.71
14	3	3	5	30	15	1	55	UP02	2	UVC	2.6	511	269	185	285	0.75	0.31	0.18	0.561	42	3470	25.25
15	1	3	4	22	7	4	55	UV15	1	UVA	2.6	571	303	172	226	1.23	0.51	0.05	0.996	36	4235	35.02
16	6	3	6	14	3	1	70	UV15	3	UVC	2.6	559	295	153	270	0.71	0.20	0.06	0.570	31	3722	61.50
17	6	2	4	30	11	3	10	UP02	1	UVC	2.7	459	240	171	387	0.72	0.44	0.09	0.575	50	3852	18.51
18	1	4	6	30	15	4	10	UV15	4	UVC	2.8	367	190	307	554	0.80	0.18	0.09	0.635	31	4887	72.92
19	6	3	3	22	15	4	85	UP00	2	UVC	2.8	399	267	220	356	0.59	0.34	0.25	0.449	26	2913	38.07
20	6	3	3	14	15	2	10	UH05	1	UVA	2.7	390	203	155	285	0.08	0.04	0.03	0.061	36	2226	51.39
21	6	4	5	6	7	2	55	UH05	4	UVC	3.9	318	163	160	233	0.14	0.07	0.05	0.105	31	904	116.7
22	1	4	3	30	3	3	70	UH05	2	UVA	2.6	503	265	175	340	0.80	0.27	0.08	0.630	37	1014	18.01
23	4	3	3	6	11	4	70	UP02	4	UVA	2.8	360	186	163	355	0.10	0.06	0.04	0.080	30	1461	80.70
24	6	2	5	30	7	4	70	UP00	3	UVA	2.6	549	289	166	334	0.79	0.26	0.17	0.594	35	3261	8.80
25	3	3	4	6	3	4	10	UH05	3	UVC	2.6	454	237	241	423	0.19	0.09	0.05	0.142	52	3261	20.24
26	4	3	6	6	7	3	10	UP00	2	UVC	4.4	249	126	306	960	0.10	0.06	0.04	0.077	19	1722	6.09
27	3	2	6	14	11	4	55	UH05	2	UVA	3.0	279	142	240	509	0.46	0.30	0.22	0.361	31	1400	118.8
28	3	3	5	6	15	3	70	UV15	1	UVA	3.9	235	119	286	562	0.06	0.04	0.03	0.053	30	709	53.59
29	3	2	3	14	7	3	85	UV15	4	UVC	2.9	403	209	231	473	0.41	0.13	0.06	0.314	50	3687	43.82
30	3	3	4	30	3	2	85	UP00	4	UVA	2.6	699	374	303	560	1.55	1.52	0.94	1.401	30	9243	16.75
31	4	2	5	22	3	2	10	UV15	2	UVA	2.6	604	321	202	368	0.16	0.09	0.05	0.124	65	6835	22.88
32	6	4	4	6	11	1	85	UV15	2	UVA	2.8	471	246	187	343	0.11	0.06	0.04	0.088	30	2139	55.29

* UF prosese ait tüm sonuçlar, tüm sistemin performansı bakımından İOP/UF hibrit prosesinde arıtılmış çıkış suyunun kalitesini ifade eder.

** λ_{ortalama}, her dalga boyunda ölçülen absorbanların kareleri toplamının absorbanların toplamına bölünmesiyle elde edilmiş ortalama değerdir.

Tablo 4.35 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK ve KOİ giderim verimleri (%)

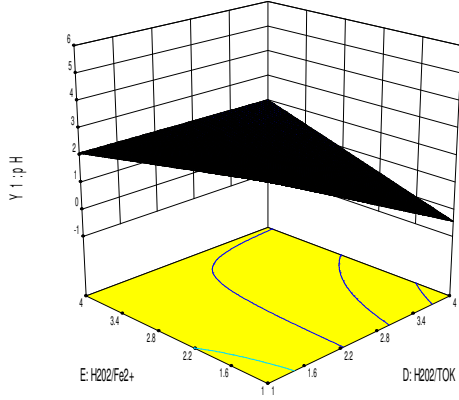
Deney No	İO Prosesi		UF Prosesi		İOP/UF Sistemi	
	TOK ^a	KOİ ^a	TOK	KOİ	TOK	KOİ
1	30,6	32,2	13,4	18,5	39,9	44,8
2	59,3	79,5	16,4	27,3	65,9	85,1
3	56,9	73,4	15,3	41,6	63,4	84,5
4	39,0	62,8	14,3	23,5	47,7	71,5
5	37,4	54,5	8,9	17,8	42,9	62,6
6	51,7	71,2	32,9	44,7	67,6	84,1
7	53,2	70,4	18,9	28,7	62,1	79,0
8	42,8	52,9	12,5	14,3	50,0	59,6
9	63,6	72,0	20,5	37,6	71,1	82,5
10	64,4	78,5	21,7	33,3	72,1	85,2
11	42,4	60,4	20,5	29,9	54,2	72,2
12	42,4	58,0	16,6	6,4	51,9	60,7
13	33,0	52,0	11,4	25,2	40,7	64,1
14	59,9	72,3	15,1	31,2	66,0	80,9
15	55,9	75,8	15,9	34,3	62,9	84,1
16	65,4	76,9	12,6	21,4	69,8	81,8
17	55,6	71,5	12,8	20,0	61,2	77,2
18	43,2	44,1	14,6	46,1	51,5	69,9
19	56,4	75,7	11,9	29,9	61,6	83,0
20	55,2	69,5	21,5	32,6	64,8	79,4
21	68,2	80,6	7,5	19,7	70,6	84,4
22	58,4	71,4	4,4	14,4	60,2	75,5
23	59,6	70,3	8,3	13,8	62,9	74,4
24	60,9	68,2	11,5	25,8	65,4	76,4
25	47,9	62,6	16,0	33,4	56,3	75,1
26	18,7	29,3	15,4	34,1	31,2	53,4
27	44,6	56,7	14,4	20,7	52,6	65,7
28	36,0	49,7	17,7	25,5	47,3	62,5
29	52,4	70,7	15,4	23,0	59,7	77,4
30	46,1	68,9	2,2	3,8	47,3	70,1
31	47,4	59,7	19,8	35,5	57,8	74,0
32	50,9	65,0	17,9	31,0	59,7	75,8

Tablo 4.36 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörün performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları

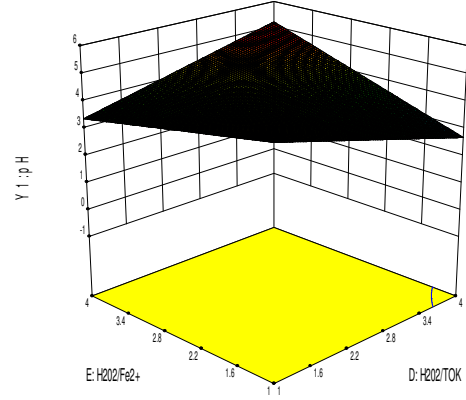
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	1797,09	8	224,64	2,33	0,0540
	A-t	696,60	1	696,60	7,22	0,0132
	B-T	147,01	1	147,01	1,52	0,2295
	C-pH	184,79	1	184,79	1,92	0,1797
	D-H ₂ O ₂ /TOK	515,85	1	515,85	5,35	0,0301
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	148,90	1	148,90	1,54	0,2267
	F-ν _H	0,28	1	0,28	0,0029	0,9575
	J-İş	32,41	1	32,41	0,34	0,5678
	K-İT	71,25	1	71,25	0,74	0,3990
	Artan değer	2219,25	23	96,49		
Toplam	4016,35	31				
KOİ (%)	Model	1830,25	8	228,78	1,64	0,1690
	A-t	382,23	1	382,23	2,73	0,1118
	B-T	196,03	1	196,03	1,40	0,2485
	C-pH	474,38	1	474,38	3,39	0,0784
	D-H ₂ O ₂ /TOK	479,21	1	479,21	3,43	0,0770
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	201,83	1	201,83	1,44	0,2418
	F-ν _H	0,64	1	0,64	0,0046	0,9467
	J-İş	0,37	1	0,37	0,0027	0,9594
	K-İT	95,57	1	95,57	0,68	0,4169
	Artan değer	3215,96	23	139,82		
Toplam	5046,20	31				
pH (-)	Model	5,67	8	0,71	4,17	0,0034
	A-t	0,30	1	0,30	1,74	0,2001
	B-T	0,15	1	0,15	0,89	0,3553
	C-pH	1,29	1	1,29	7,56	0,0114
	D-H ₂ O ₂ /TOK	2,86	1	2,86	16,83	0,0004
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	1,00	1	1,00	5,89	0,0235
	F-ν _H	0,050	1	0,050	0,29	0,5939
	J-İş	0,012	1	0,012	0,068	0,7966
	K-İT	0,0078	1	0,0078	0,046	0,8322
	Artan değer	3,91	23	0,17		
Toplam	9,58	31				

Tablo 4.37 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktörü için proses performans parametrelerine ait model denklemleri

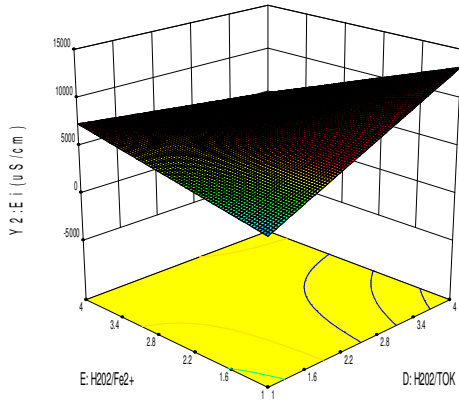
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II, Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$49,98 + 6,26 * A + 2,88 * B - 3,22 * C + 5,39 * D - 2,89 * E + 0,13 * F + 1,35 * J + 1,49 * K$ <p style="text-align: center;">(S = 9,82 ve $r^2 = 0,4474$)</p>	$49,98 + 4,64 * A + 7,96 * B - 12,21 * C + 9,63 * D + 3,91 * E + 2,22 * F + 2,68 * J + 1,47 * K + 7,52 * AB + 16,36 * AC + 8,46 * AD + 0,76 * AE - 8,18 * AF - 2,02 * AJ + 1,78 * AK + 0,39 * BC + 4,68 * BD - 2,55 * BE - 5,91 * BF + 3,85 * BJ - 10,44 * BK + 4,44 * CD - 2,41 * CE - 3,12 * CF + 3,58 * CJ + 2,73 * CK + 1,04 * DE + 0,79 * DF - 7,43 * DJ - 3,09 * DK$ <p style="text-align: center;">(S = 8,42 ve $r^2 = 0,9823$)</p>
KOİ (%)	$64,27 + 4,64 * A + 3,32 * B - 5,17 * C + 5,19 * D - 3,37 * E - 0,19 * F - 0,14 * J + 1,73 * K$ <p style="text-align: center;">(S = 11,82 ve $r^2 = 0,3627$)</p>	$64,27 - 2,86 * A + 10,79 * B - 13,38 * C + 13,55 * D + 0,50 * E + 3,43 * F + 1,05 * J - 2,36 * K + 14,27 * AB + 10,70 * AC + 11,52 * AD - 1,28 * AE - 7,50 * AF - 1,53 * AJ - 0,18 * AK + 0,61 * BC + 1,39 * BD + 0,94 * BE - 10,02 * BF + 3,65 * BJ - 8,06 * BK + 4,14 * CD - 6,90 * CE - 3,54 * CF + 5,26 * CJ + 3,19 * CK - 7,30 * DE - 1,14 * DF - 7,90 * DJ - 2,68 * DK$ <p style="text-align: center;">(S = 7,60 ve $r^2 = 0,9885$)</p>
pH (%)	$2,92 - 0,13 * A - 0,092 * B + 0,27 * C - 0,40 * D + 0,24 * E - 0,053 * F + 0,025 * J + 0,016 * K$ <p style="text-align: center;">(S = 0,41 ve $r^2 = 0,4850$)</p>	$2,92 + 0,084 * A - 0,29 * B + 0,046 * C - 0,53 * D + 0,28 * E - 0,14 * F - 0,28 * J + 1,10 * K - 0,25 * AB - 0,63 * AC - 0,52 * AD - 0,87 * AE + 0,35 * AF + 0,15 * AJ + 1,02 * AK + 1,44 * BC + 0,26 * BD - 0,99 * BE + 0,096 * BF + 0,48 * BJ + 0,31 * BK - 1,60 * CD + 0,22 * CE - 0,32 * CF - 0,16 * CJ + 0,031 * CK + 0,97 * DE + 0,093 * DF - 0,42 * DJ + 0,47 * DK$ <p style="text-align: center;">(S = 0,013 ve $r^2 = 1,0000$)</p>



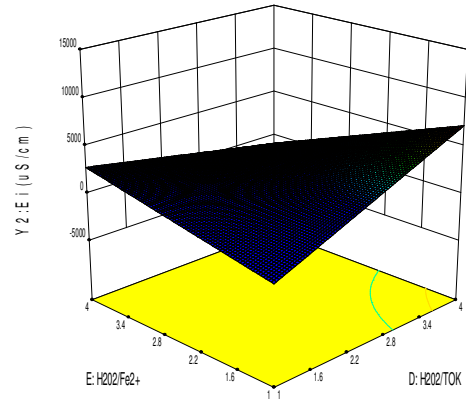
(a)



(all)

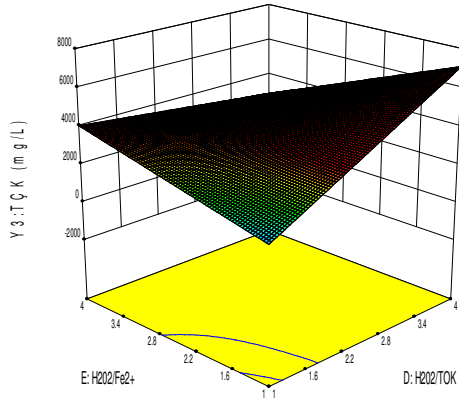


(bI)

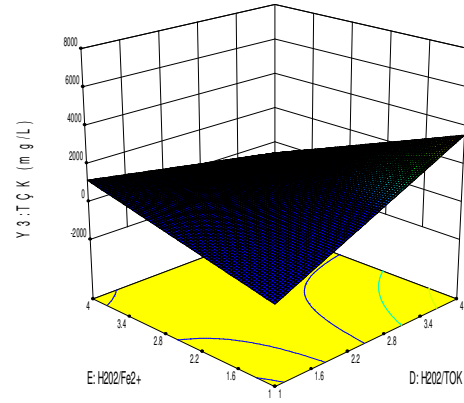


(bII)

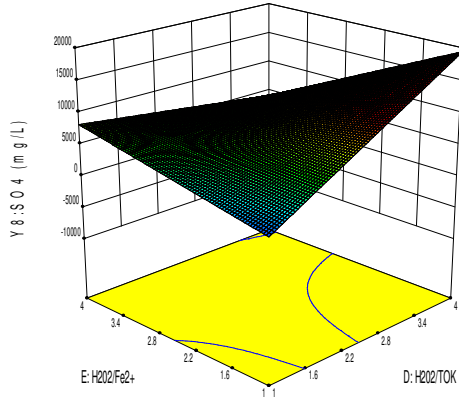
Şekil 4.99 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a) ve E_1 (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



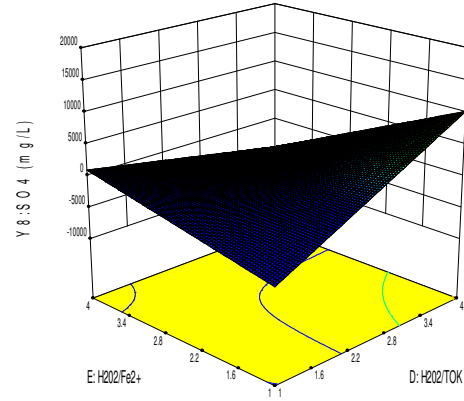
(a)



(aII)

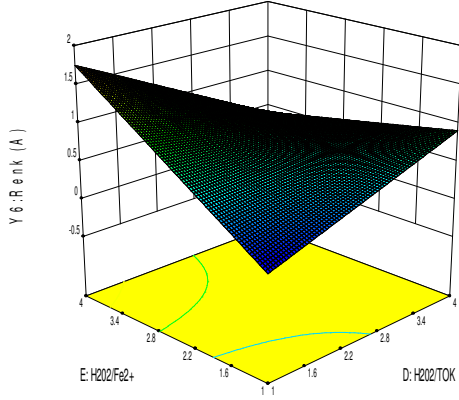


(b)

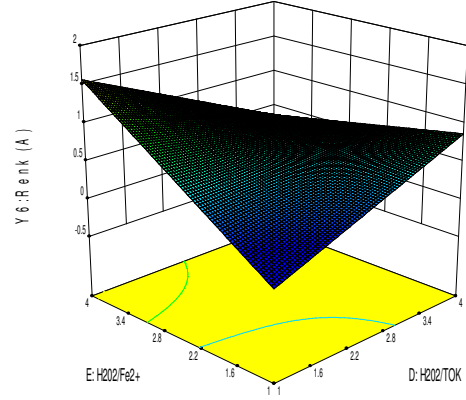


(bII)

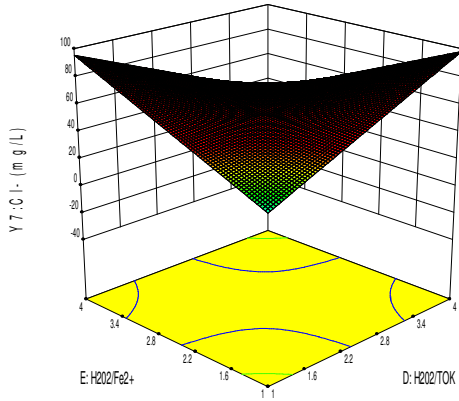
Şekil 4.100 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



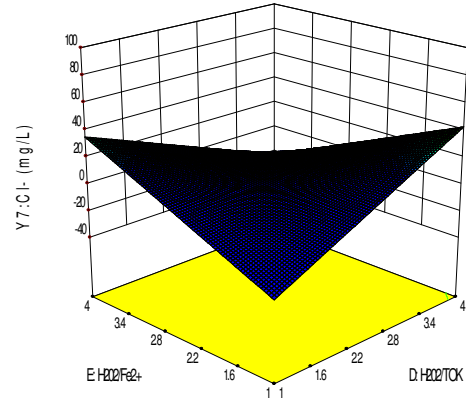
(a)



(aII)

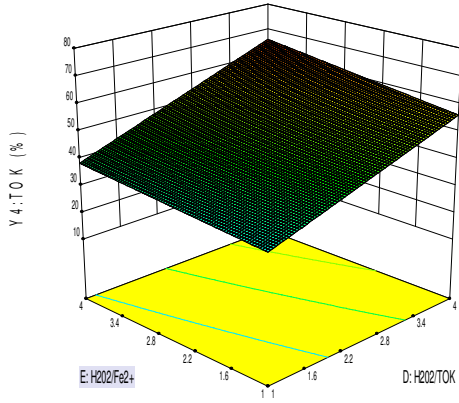


(bI)

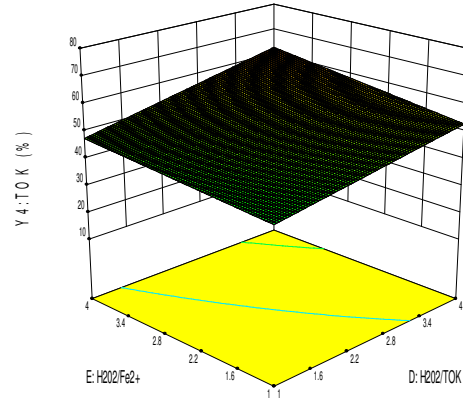


(bII)

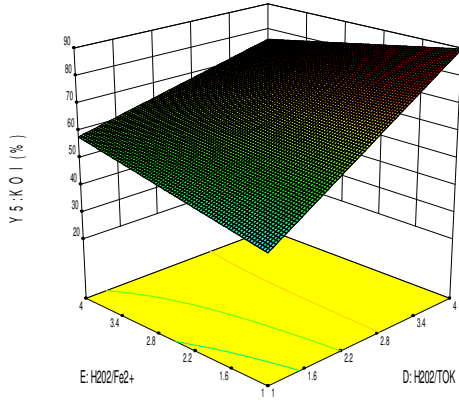
Şekil 4.101 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



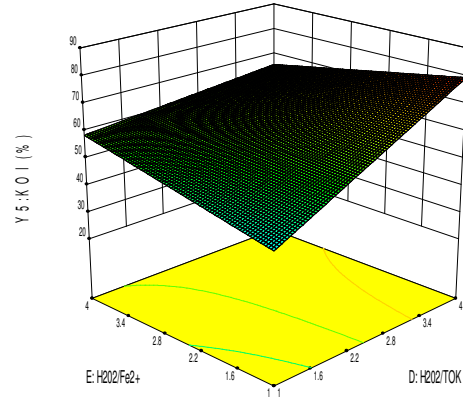
(a)



(all)

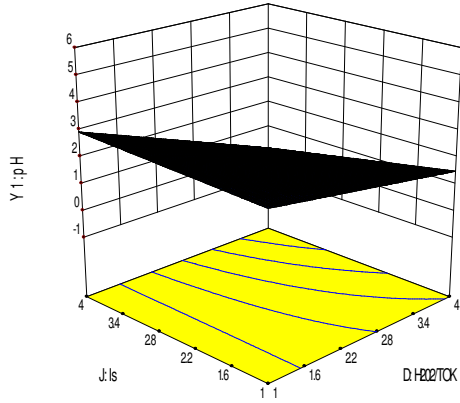


(bl)

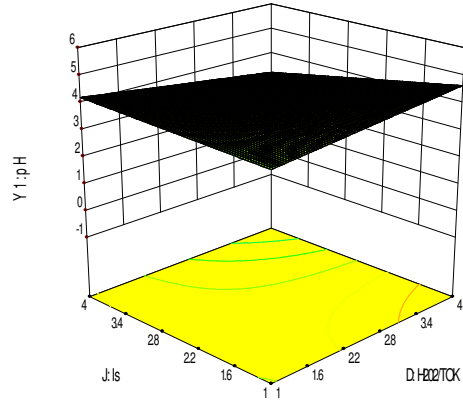


(bll)

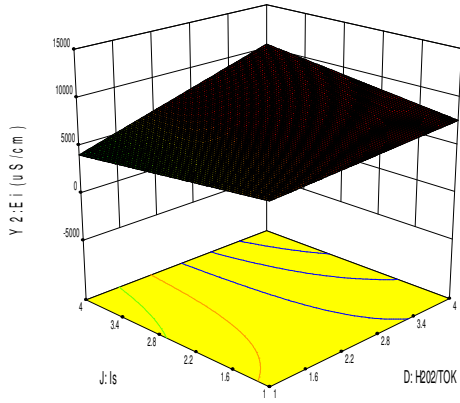
Şekil 4.102 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TOK (a) ve KOI (b) giderim verimi (%) grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



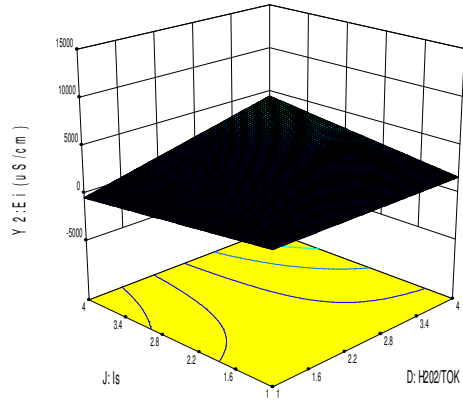
(a)



(aII)

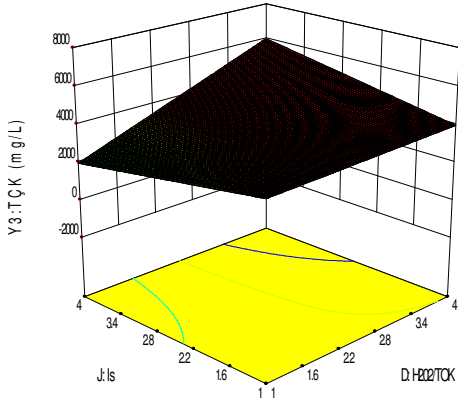


(bI)

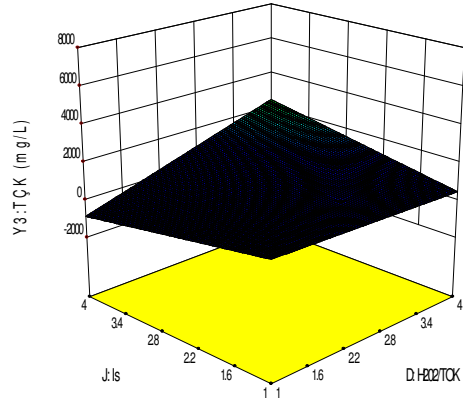


(bII)

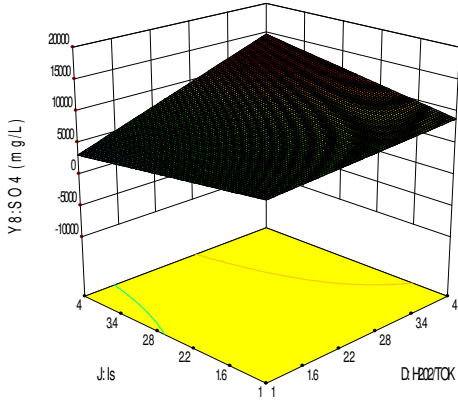
Şekil 4.103 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_s) göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve I_s ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



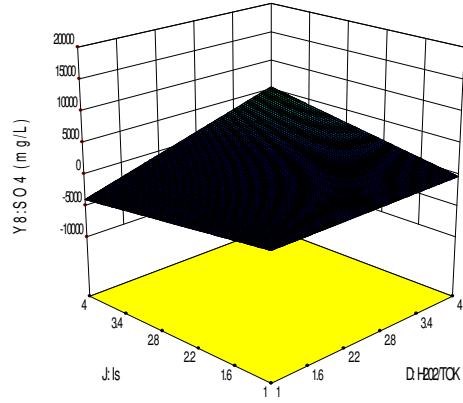
(a)



(all)

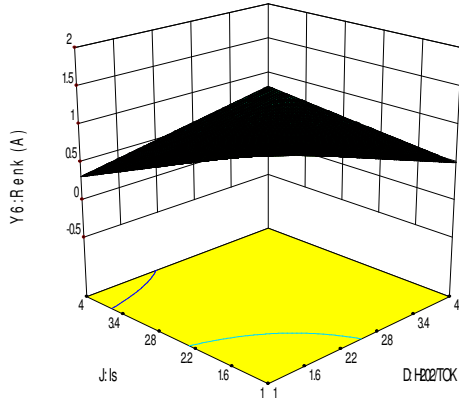


(bl)

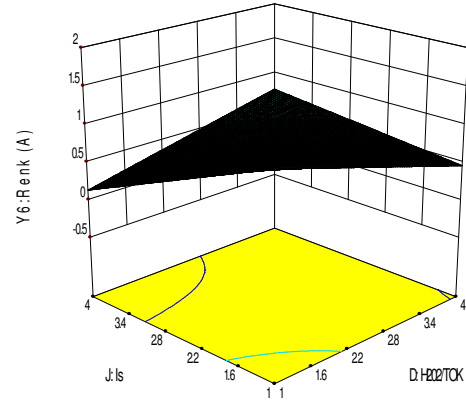


(bll)

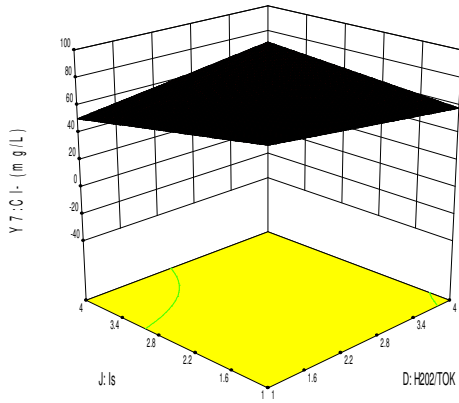
Şekil 4.104 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_{\text{ş}}$) göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve $I_{\text{ş}}$ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



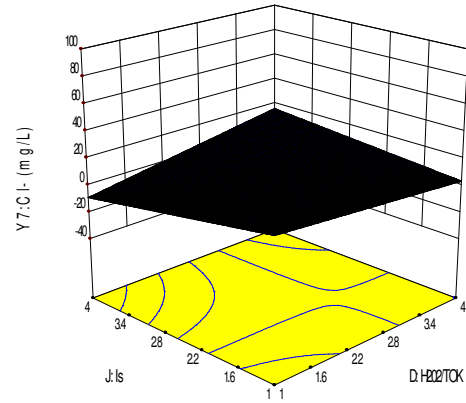
(a)



(aII)

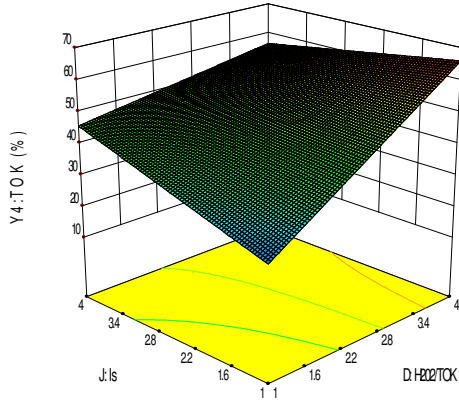


(b)

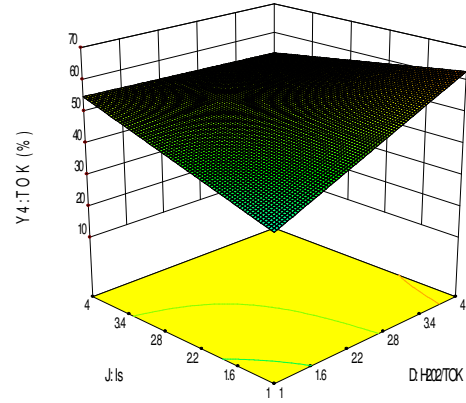


(bII)

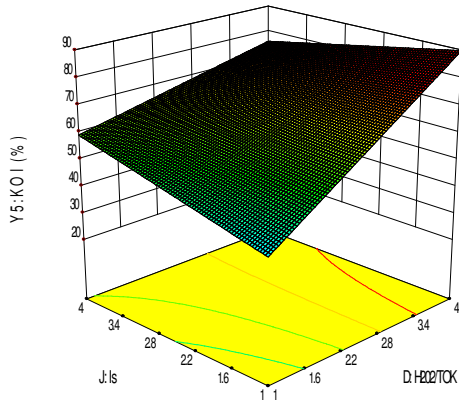
Şekil 4.105 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_s) göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve I_s ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



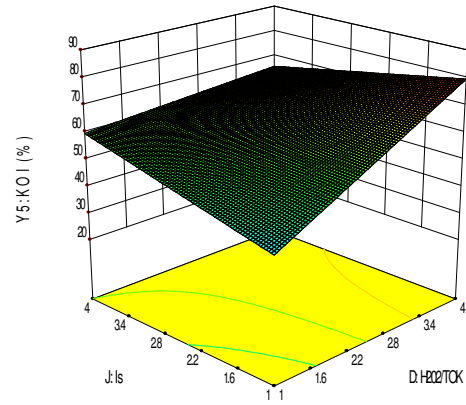
(a)



(all)



(bl)



(bll)

Şekil 4.106 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC-254 (I) ve UVA-365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında İOP reaktör için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_s) göre TOK (a) ve KOI (b) giderim verimi (%) grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve I_s ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)

İleri oksidasyon prosesinde, reaktöre ilave edilen H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarı arttıkça (H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametresi miktarı azaldıkça), UVC-254 ve UVA-365 ışık kaynağı türleri için pH sırasıyla 2.0 ve 3.3 başlangıç değerlerinden daha asidik şartlara düşmekte; iletkenlik 7000 ve 2000 $\mu S/cm$ başlangıç değerlerinden 13.000 ve 7000 $\mu S/cm$ değerlerine çıkmaktadır. Sülfatın etkisi

altında, toplam çözünmüş katı madde miktarı sırasıyla 7000 mg/L ve 3700 mg/L' lere kadar yükselirken, sülfatın UVC-254 hem de UVA-365' de belirli seviyelerde arttığı görülmektedir. Renk parametresinde azalma görülürken, klorür parametresinde çok az artış eğilimleri görülmektedir. Hibrit reaktörde organik madde giderimine bakıldığında, TOK giderim etkinliği artan H₂O₂ ve Fe²⁺ miktarı ile kısmen artmakta; KOİ giderim etkinliği ise konsantrasyon artışı ile ciddi artışlar göstermektedir. Giderim etkinliği açısından tekstil endüstrisi atıksuları ile yürütülen deneysel çalışmalarda olduğu gibi, UVA-365 ışık kaynağında organik madde giderimi daha düşük seviyelerdedir. İlaveten, Fe²⁺ konsantrasyonundaki artışa nazaran, artan H₂O₂ konsantrasyonu ile TOK ve KOİ giderim etkinliğinin daha fazla arttığı görülmektedir.

İOP'ta, reaktöre ilave edilen H₂O₂ konsantrasyonu ve ışık şiddeti etkisi altında performanslara bakıldığında; artan H₂O₂ miktarı ve ışık şiddeti ile, UVC-254 ve UVA-365 ışık kaynağı türleri için pH sırasıyla 2.0'ye artış ve 4.5 civarlarında kalma eğilimi göstermekte; iletkenlik ışık şiddeti azaldıkça nispeten artış göstermekte, özellikle de UVC-254 ışık kaynağı türünde H₂O₂ miktarı ile 7500 µS/cm civarlarına çıktığı gözlenmektedir. Sülfat parametresinin etkisi altında doğrusal olan bir değişimle toplam çözünmüş katı madde miktarı ışık kaynağı türüne göre sırasıyla 4000-500 mg/L' ye çıkmakta, sülfat artışı ışık şiddeti etkisi altında UVC-254'te daha belirgin gerçekleşmektedir. Renk parametresi dış bükey değişimler gösterirken klorür parametresi doğrusal değişimler göstermekte olup, model tahmin sonuçları giriş çıkış parametreleri açısından çok fazla değişmemektedir. Organik madde giderimi, her iki ışık kaynağı türü için de esasen reaktöre ilave edilen H₂O₂ konsantrasyonuna bağlı olarak ciddi artışlar göstermekte, KOİ giderimindeki artışlar H₂O₂ miktarına bağlı olarak daha fazla gerçekleşmektedir. Ayrıca artan H₂O₂ konsantrasyonlarında ışık şiddetinin etkisiyle KOİ gideriminin daha belirgin olduğu görülmektedir.

– Batık UF prosesin deneysel performansı

İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında, batık UF prosesin TOK, KOİ ve süzüntü akısı (*J*) performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.38'de; hem I. derece lineer hem de II. derece lineer olmayan model bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 4.39'da gösterilmiştir. Tablo 4.38 için F istatistik ve P olasılık değerleri model ve değişkenlerin önem seviyesini belirtmektedir. Tablo 4.38'de I. derece lineer model için verilen P>F değerlerine bakıldığında, foto-Fenton batık UF proseste, Fenton UF prosesinden farklı olarak, TOK, KOİ ve *J* performans parametrelerinin lineer modele göre önemli düzeyde bir ilişkisinin mevcut olmadığı görülmektedir. Tablo 4.39'a göre, II. derece modellerin, birebir ilişki ile sıfır standard sapma (*S*=0) ve tam korelasyon (*r*²=1.0) veriyor olmasından hareketle; batık UF proses için tüm ana performans parametrelerinin, esasen iç etkileşimli model

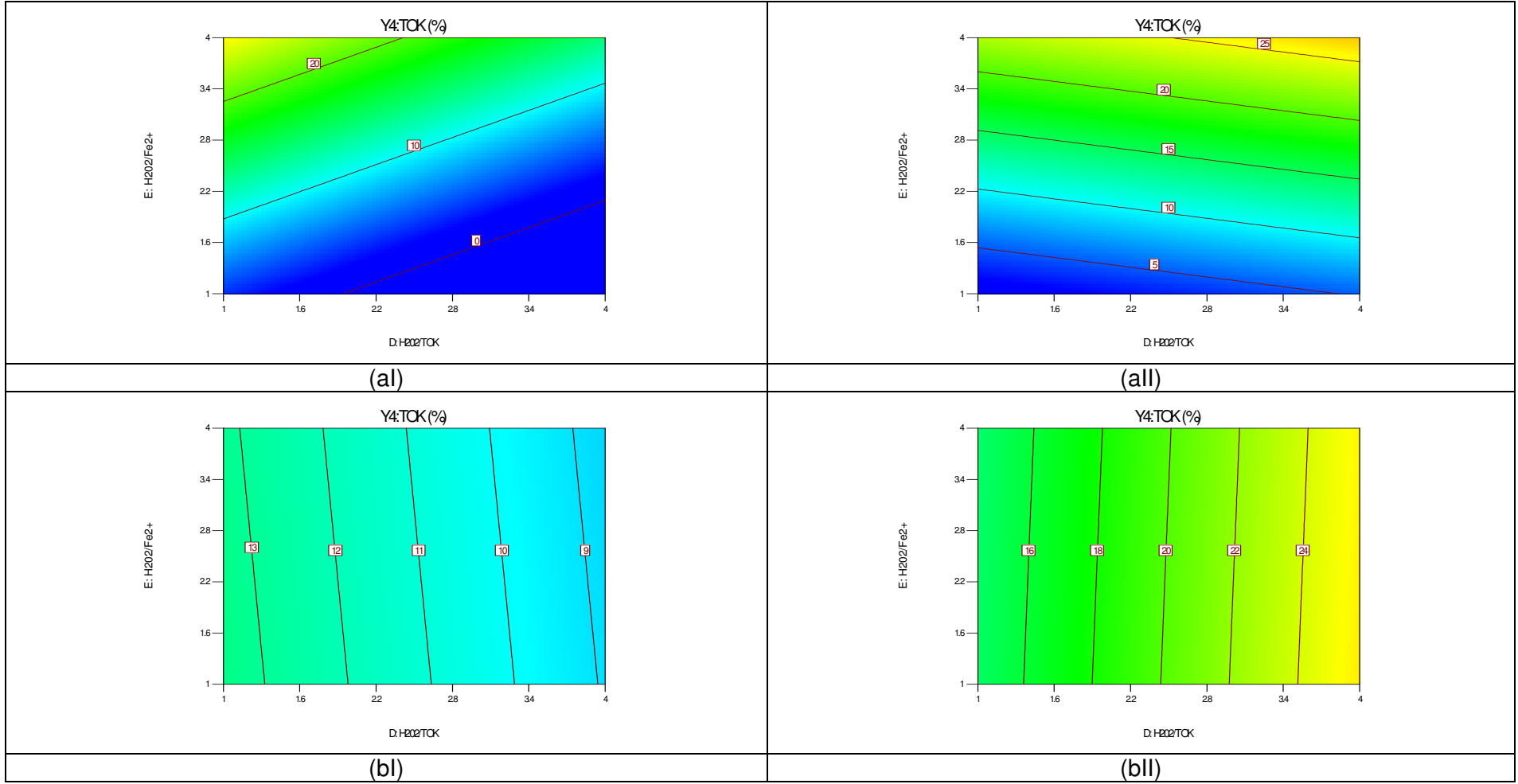
terimlerine dayalı olarak tahmin edilebilir olduğu tespit edilmiştir. Batık UF proseste, değişen UF membran (UP005, UP020, UH050 ve UV150) ve ışık kaynağı (UVC-254 ve UVA-365) türleri için $H_2O_2/TOK - H_2O_2/Fe^{2+}$ ve $H_2O_2/TOK - \text{ışık şiddeti}$ giriş parametreleri ile TOK değişimleri Şekil 4.107-4.110'de, KOİ değişimleri Şekil 4.111-4.114'te ve süzüntü akısı değişimleri de Şekil 4.115-4.118'de sunulmuştur. UVC-254'te UH050 membranı ve UVA-365'te UP020 membranı için; H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} giriş parametreleri ile pH- E_i , TÇK- SO_4^{2-} ve renk-Cl' değişimleri, Şekil 4.119-4.121'de, H_2O_2/TOK ve ışık şiddeti giriş parametrelerine göre performansların aynı sırasındaki değişimleri Şekil 4.122-4.124'te gösterilmiştir.

Tablo 4.38 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları

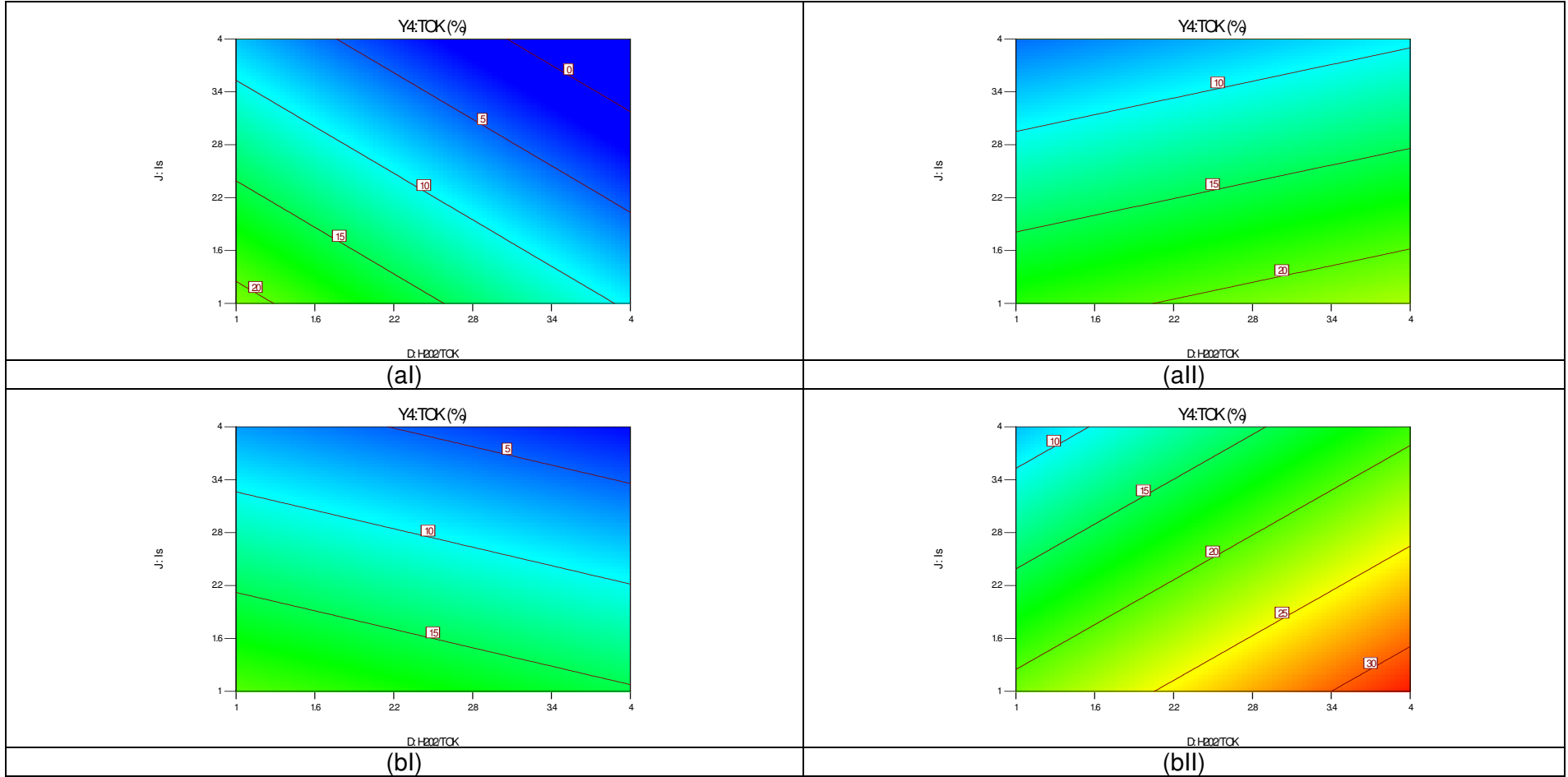
Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	284,23	12	23,69	0,63	0,7916
	A-t	1,98	1	1,98	0,053	0,8207
	B-T	0,60	1	0,60	0,016	0,9006
	C-pH	56,80	1	56,80	1,51	0,2338
	D- H_2O_2/TOK	0,077	1	0,077	0,00205	0,9644
	E- H_2O_2/Fe^{2+}	35,30	1	35,30	0,94	0,3445
	F- v_H	0,0248	1	0,2481	0,0066	0,9936
	G- v_{SC}	8,34	1	8,34	0,22	0,6428
	H- M_T	76,63	3	25,54	0,68	0,5750
	J- I_S	94,69	1	94,69	2,52	0,1288
	K- I_T	9,80	1	9,80	0,26	0,6153
	Artan değer	713,63	19	37,56		
	Toplam	997,86	31			
	KOİ (%)	Model	949,42	12	79,12	0,68
A-t		2,12	1	2,12	0,018	0,8940
B-T		52,90	1	52,90	0,46	0,5079
C-pH		175,56	1	175,56	1,51	0,2339
D- H_2O_2/TOK		79,24	1	79,24	0,68	0,4190
E- H_2O_2/Fe^{2+}		208,39	1	208,39	1,79	0,1962
F- v_H		7,40	1	7,40	0,064	0,8035
G- v_{SC}		173,06	1	173,06	1,49	0,2371
H- M_T		248,10	3	82,70	0,71	0,5568
J- I_S		2,55	1	2,55	0,022	0,8838
K- I_T		0,10	1	0,10	0,00871	0,9768
Artan değer		2206,62	19	116,14		
Toplam		3156,04	31			
J (L/m ² ,sa)		Model	13350,38	12	1112,53	1,64
	A-t	39,18	1	39,18	0,058	0,8126
	B-T	407,60	1	407,60	0,60	0,4476
	C-pH	1267,98	1	1267,98	1,87	0,1874
	D- H_2O_2/TOK	5074,62	1	5074,62	7,49	0,0131
	E- H_2O_2/Fe^{2+}	2121,43	1	2121,43	3,13	0,0929
	F- v_H	349,58	1	349,58	0,52	0,4814
	G- v_{SC}	1325,24	1	1325,24	1,95	0,1782
	H- M_T	2353,94	3	784,65	1,16	0,3518
	J- I_S	300,84	1	300,84	0,44	0,5133
	K- I_T	109,96	1	109,96	0,16	0,6916
	Artan değer	12880,22	19	677,91		
	Toplam	26230,60	31			

Tablo 4.39 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi performans parametrelerine ait model denklemleri

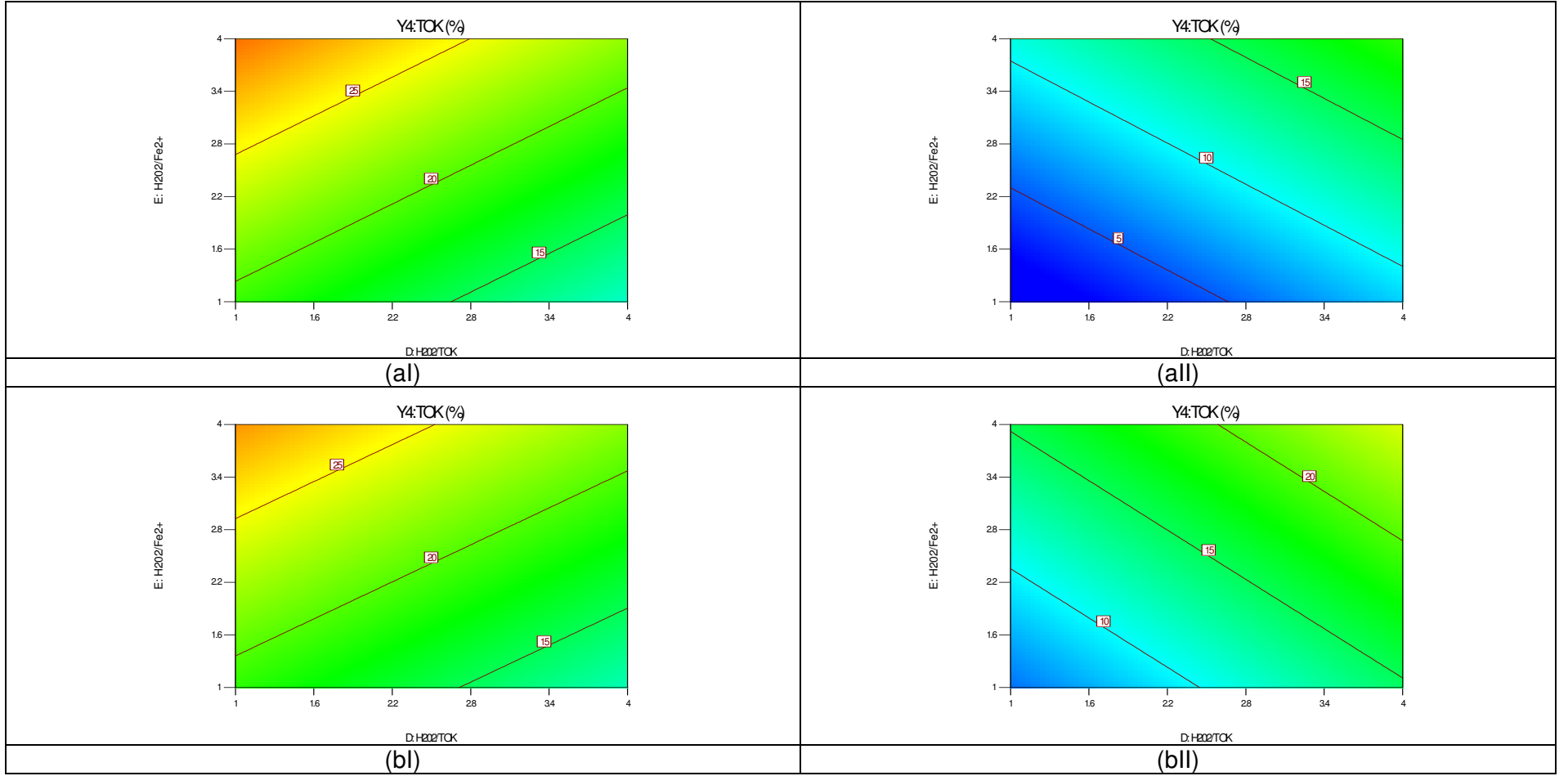
Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II, Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$14,93 + 0,33 * A + 0,18 * B + 1,79 * C + 0,066 * D + 1,41 * E - 0,012 * F + 0,68 * G - 2,22 * [1] - 0,67 * H[2] + 1,53 * H[3] - 2,31 * J - 0,55 * K$ $(S = 6,13 \text{ ve } r^2 = 0,2848)$	$14,93 - 3,11 * A - 19,40 * B - 89,18 * C - 0,91 * D - 17,44 * E - 10,21 * F + 2,61 * G + 102,92 * H[1] - 134,55 * H[2] - 56,67 * H[3] - 46,87 * J - 149,56 * K + 7,30 * AB + 3,58 * AC - 60,43 * AD - 136,88 * AE + 62,55 * AF - 47,23 * AH[1] + 74,01 * AH[2] + 66,31 * AH[3] + 43,03 * AK - 335,30 * BC - 2,87 * BD - 96,88 * BE + 0,11 * BF + 2,20 * BG + 85,20 * BH[1] - 85,89 * BH[2] - 6,55 * BJ + 122,13 * CD - 3,41 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$
KOİ (%)	$26,41 - 0,34 * A + 1,72 * B + 3,14 * C + 2,11 * D + 3,42 * E + 0,64 * F + 3,12 * G - 3,37 * H[1] - 1,49 * H[2] + 0,76 * H[3] - 0,38 * J - 0,056 * K$ $(S = 10,78 \text{ ve } r^2 = 0,3028)$	$26,41 - 5,07 * A + 10,59 * B + 18,39 * C - 11,65 * D - 9,09 * E - 22,65 * F - 3,73 * G - 38,71 * H[1] + 33,07 * H[2] + 27,72 * H[3] + 8,23 * J + 38,93 * K - 8,80 * AB - 21,28 * AC + 18,50 * AD + 23,03 * AE - 8,38 * AF + 48,11 * AH[1] - 5,69 * AH[2] - 36,65 * AH[3] - 18,71 * AK + 88,27 * BC - 2,85 * BD + 50,16 * BE - 2,22 * BF + 9,23 * BG - 16,93 * BH[1] + 12,74 * BH[2] - 3,67 * BJ - 35,46 * CD - 6,10 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$
J (L/m ² -sa)	$39,48 - 1,48 * A + 4,79 * B + 8,45 * C - 16,90 * D + 10,92 * E + 4,43 * F - 8,63 * G - 13,28 * [1] - 1,48 * H[2] + 9,21 * H[3] + 4,11 * J + 1,85 * K$ $(S = 26,04 \text{ ve } r^2 = 0,5090)$	$39,48 + 9,41 * A - 216,91 * B - 829,23 * C + 10,96 * D - 134,10 * E + 5,85 * F + 23,06 * G + 945,97 * H[1] - 1226,86 * H[2] - 529,42 * H[3] - 417,40 * J - 1357,95 * K + 52,98 * AB + 92,35 * AC - 646,15 * AD - 1257,62 * AE + 622,47 * AF - 538,94 * AH[1] + 558,59 * AH[2] + 710,61 * AH[3] + 336,61 * AK - 3057,51 * BC - 11,81 * BD - 911,52 * BE - 8,22 * BF + 39,80 * BG + 803,50 * BH[1] - 830,51 * BH[2] - 41,50 * BJ + 1168,49 * CD + 24,77 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$



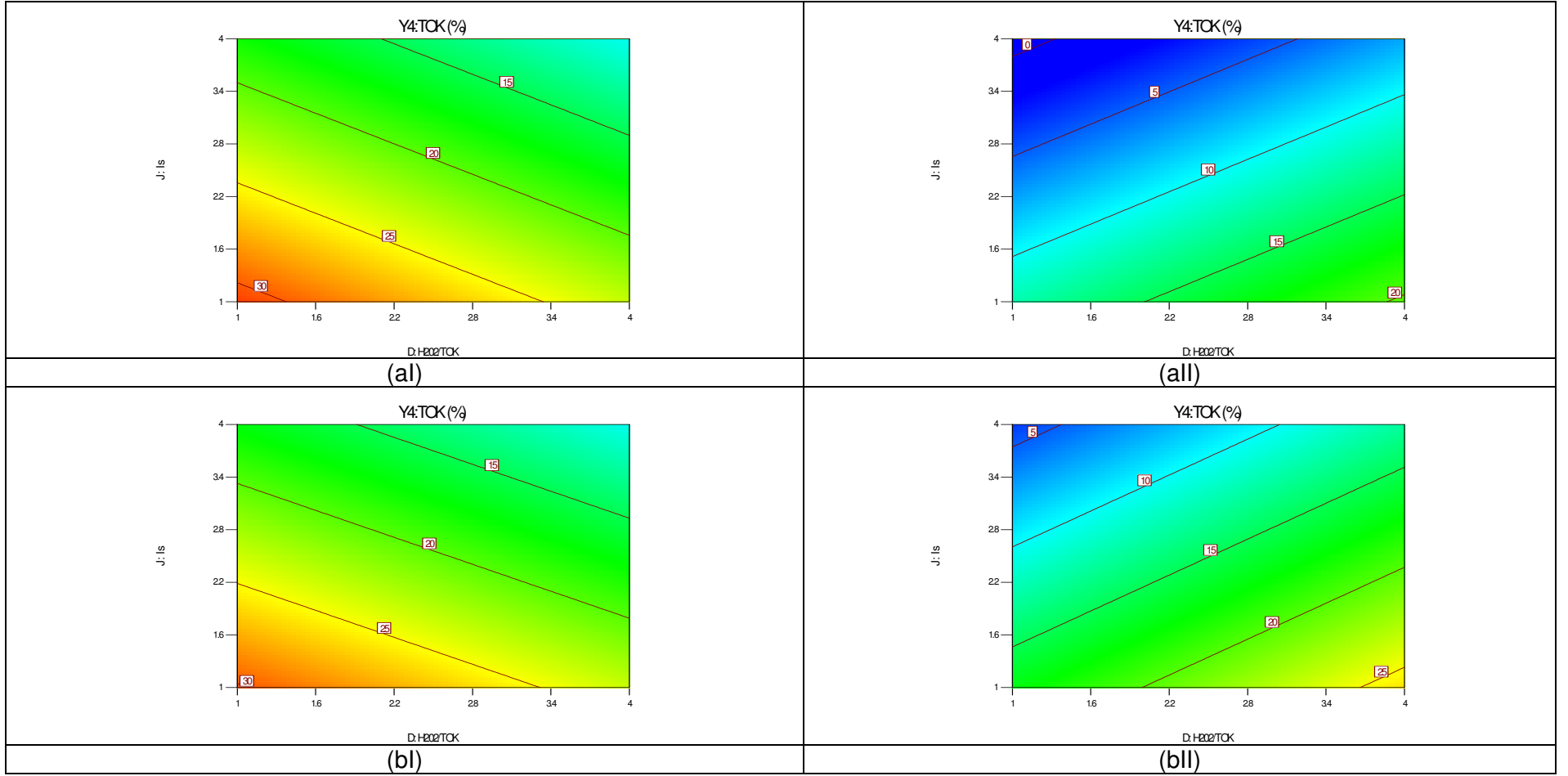
Şekil 4.107 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, v_H , v_{SC} ve I_{λ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



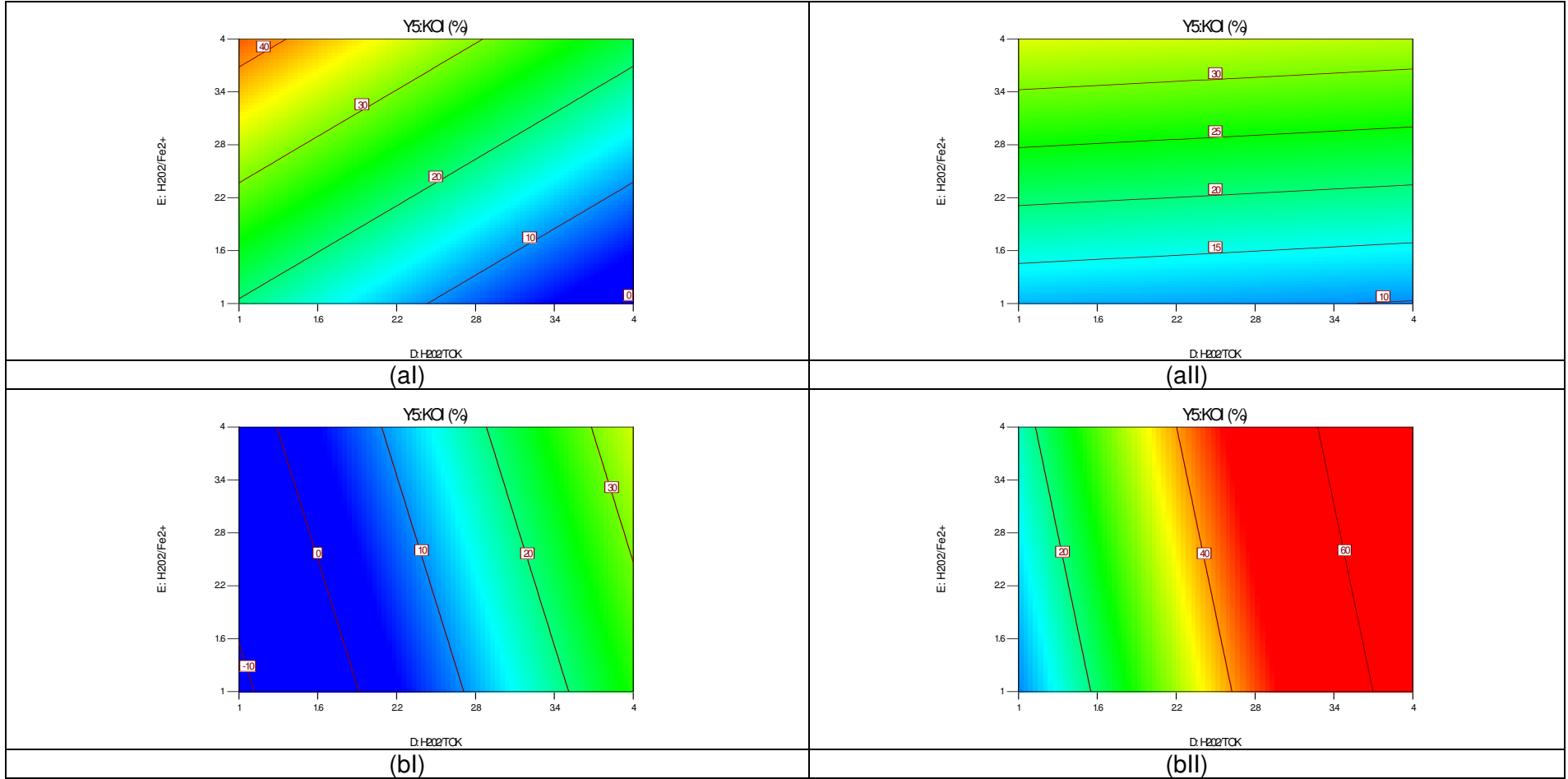
Şekil 4.108 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_s) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, v_H ve v_{SÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



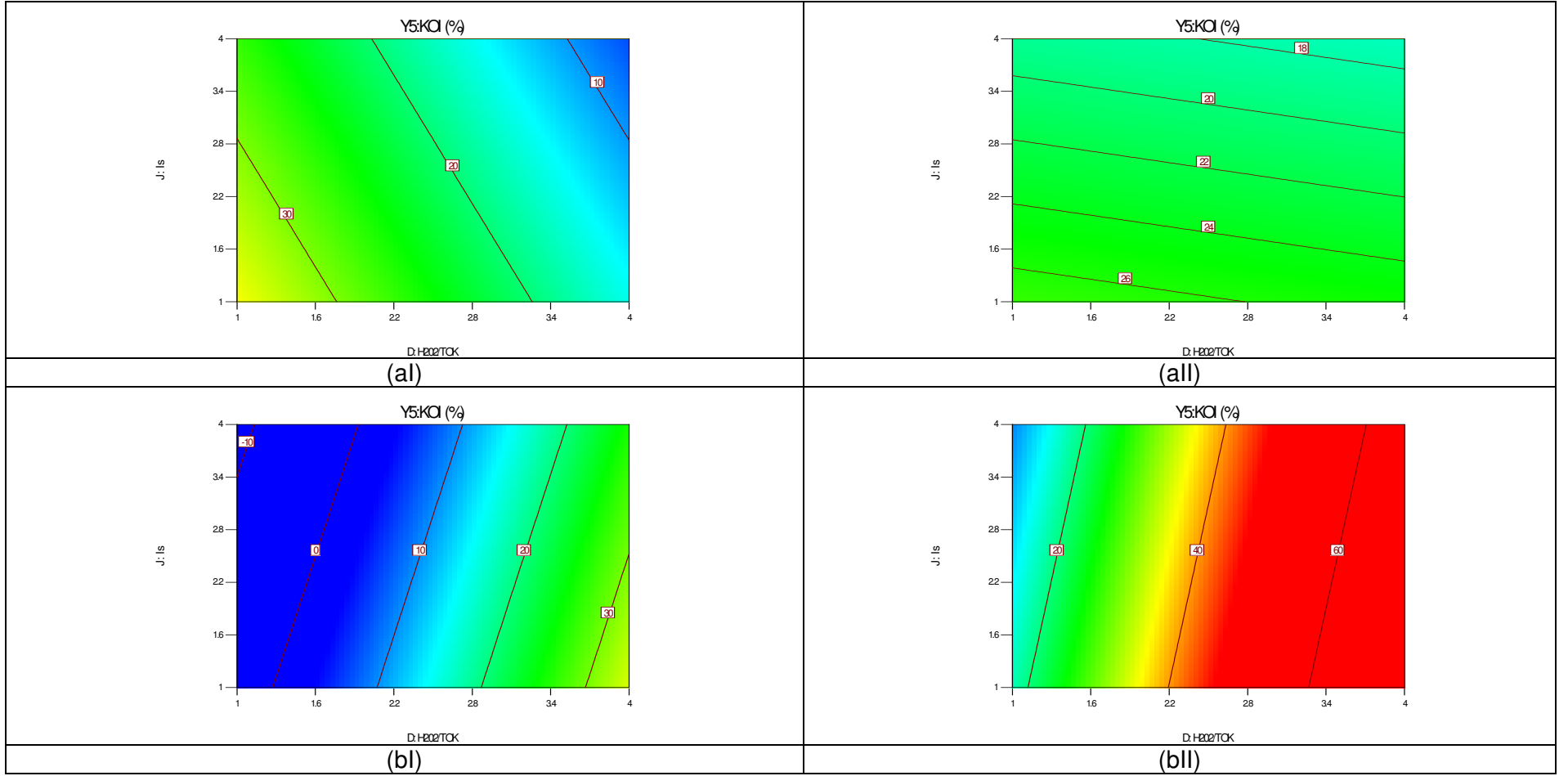
Şekil 4.109 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (*t*, *T*, pH, *v*_H, *v*_{SÇ} ve *I*_ş giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



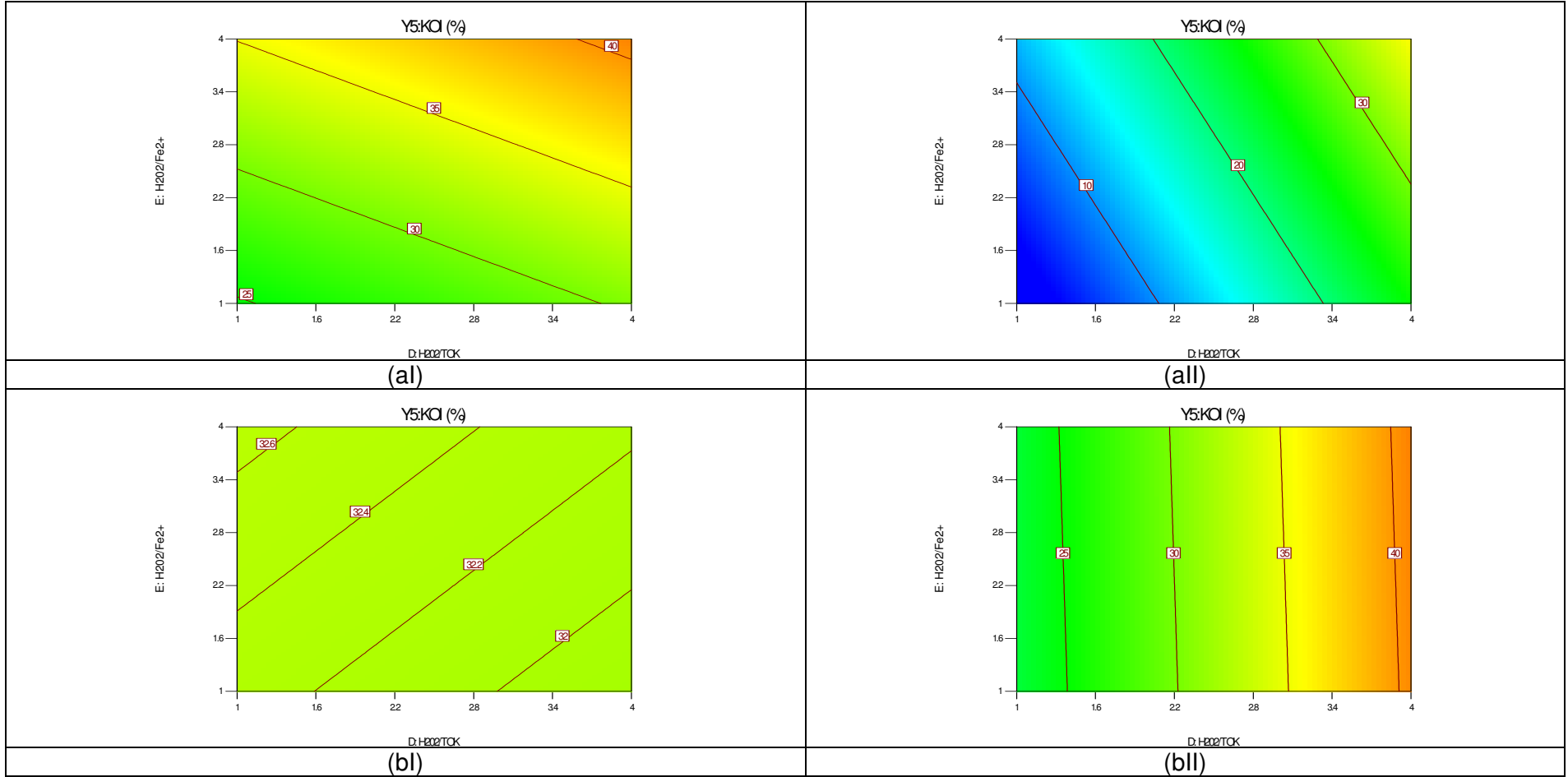
Şekil 4.110 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_0) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



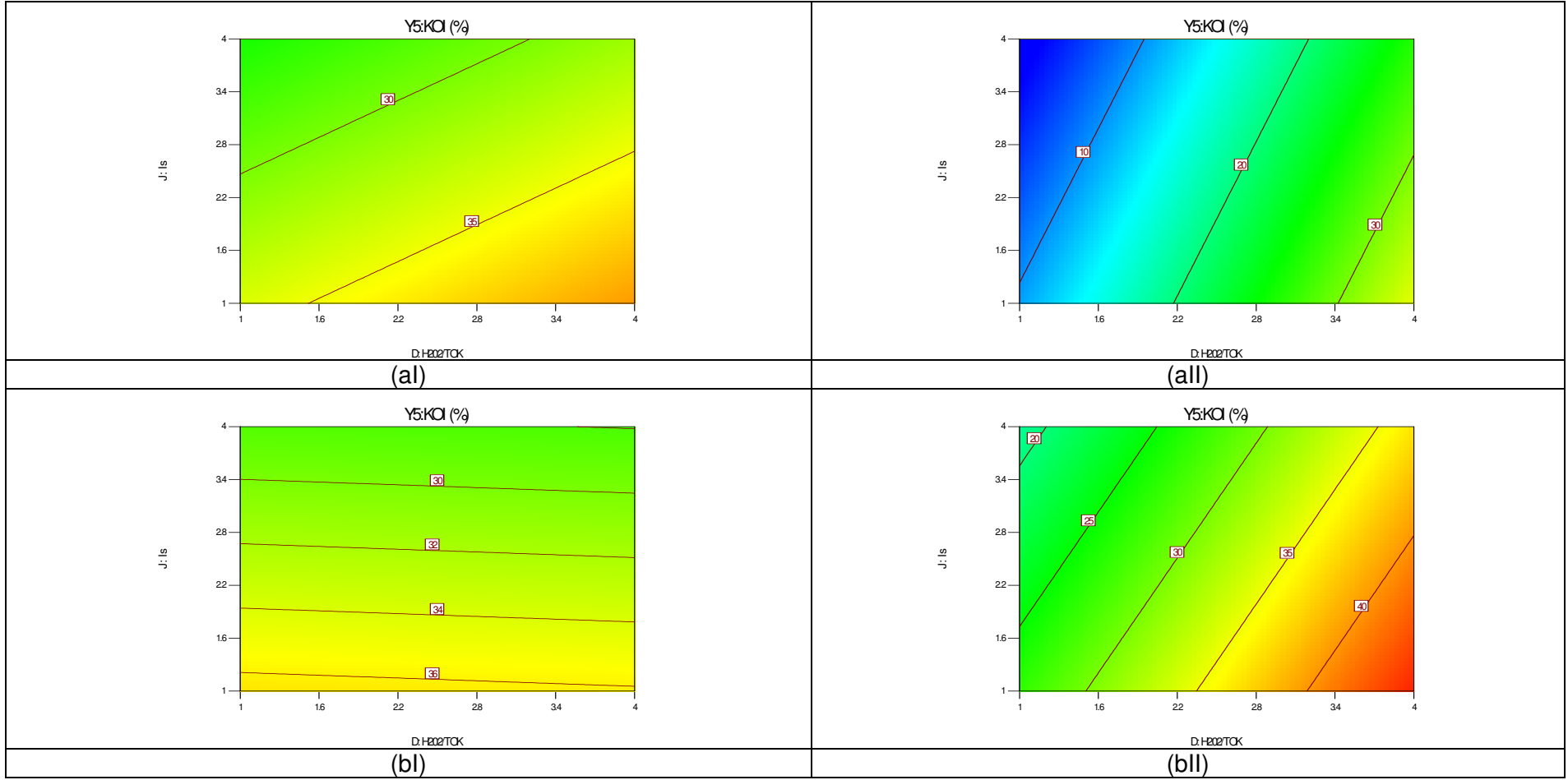
Şekil 4.111 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve I_{ϕ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



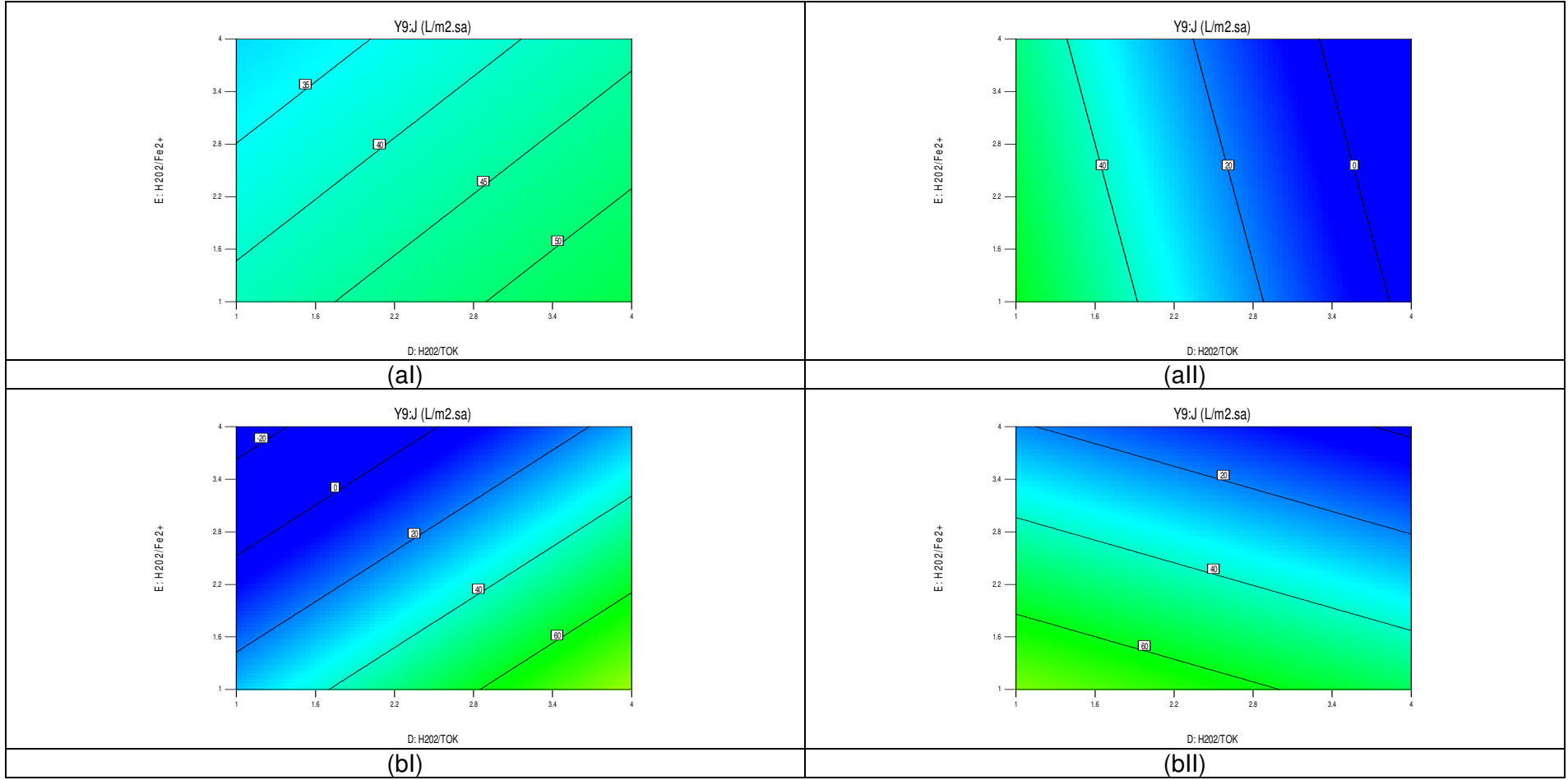
Şekil 4.112 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_0/I_5) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



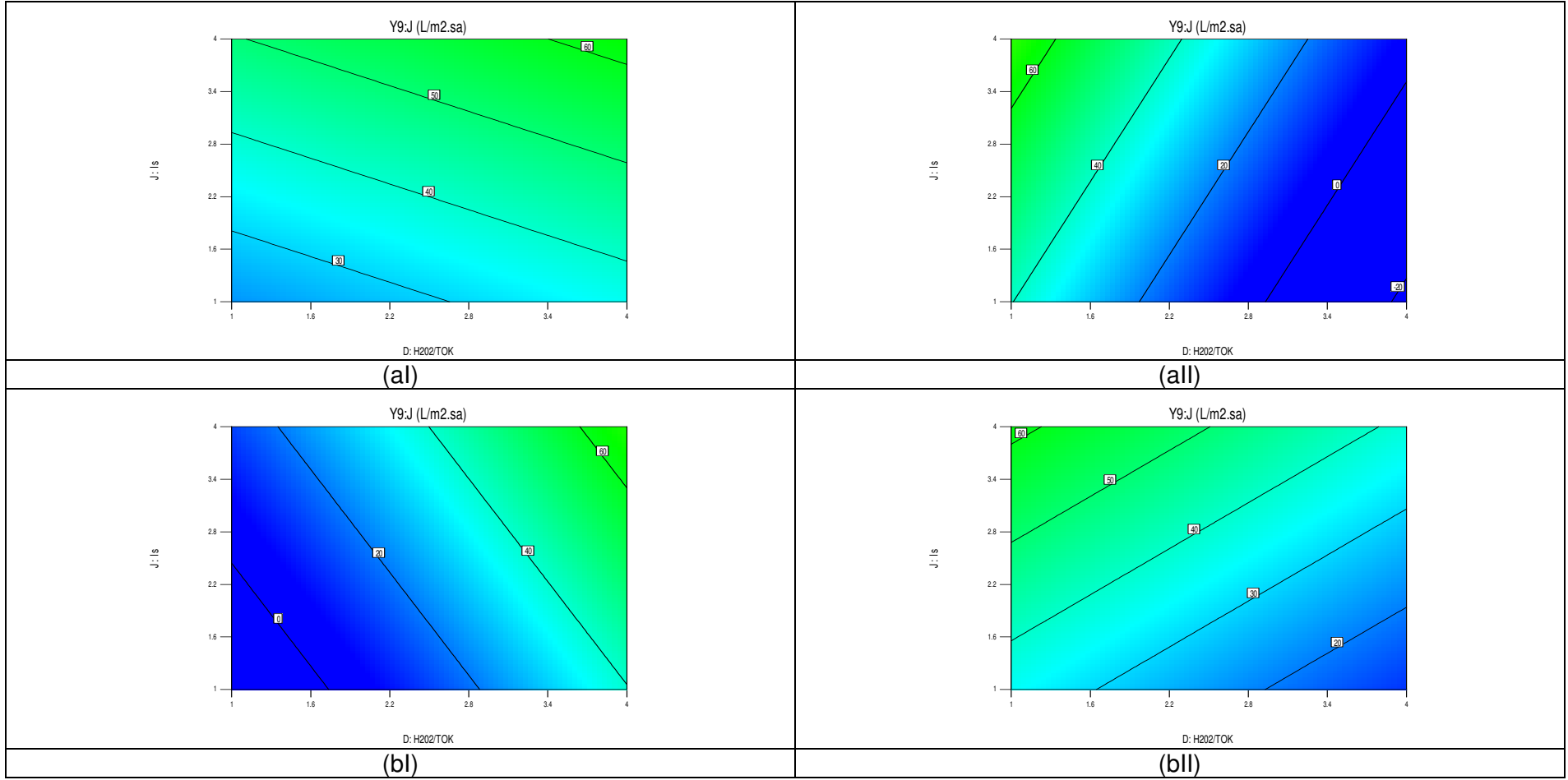
Şekil 4.113 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (*t*, *T*, pH, *v_H*, *v_{SÇ}* ve *I_ş* giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



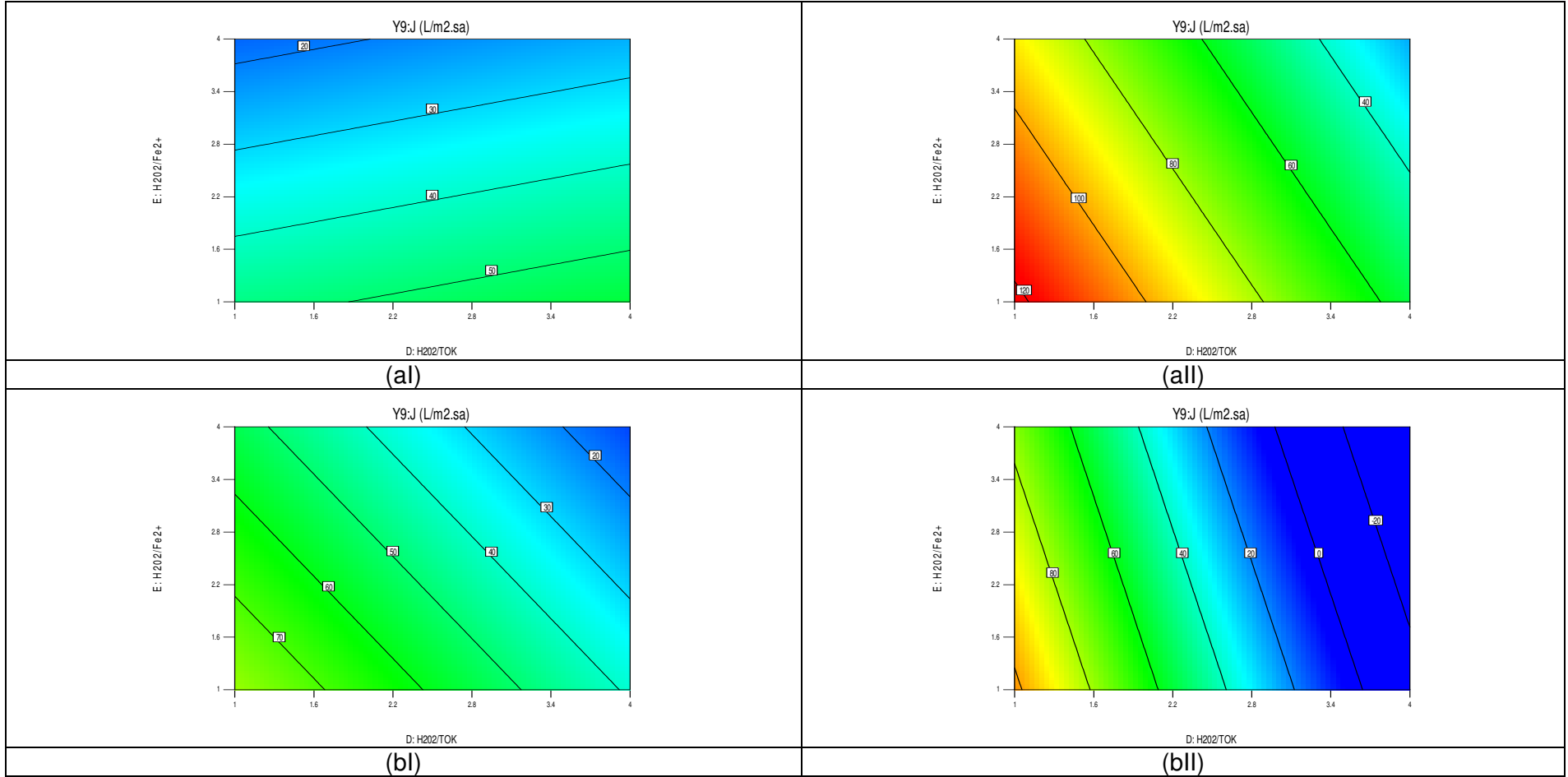
Şekil 4.114 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_s) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



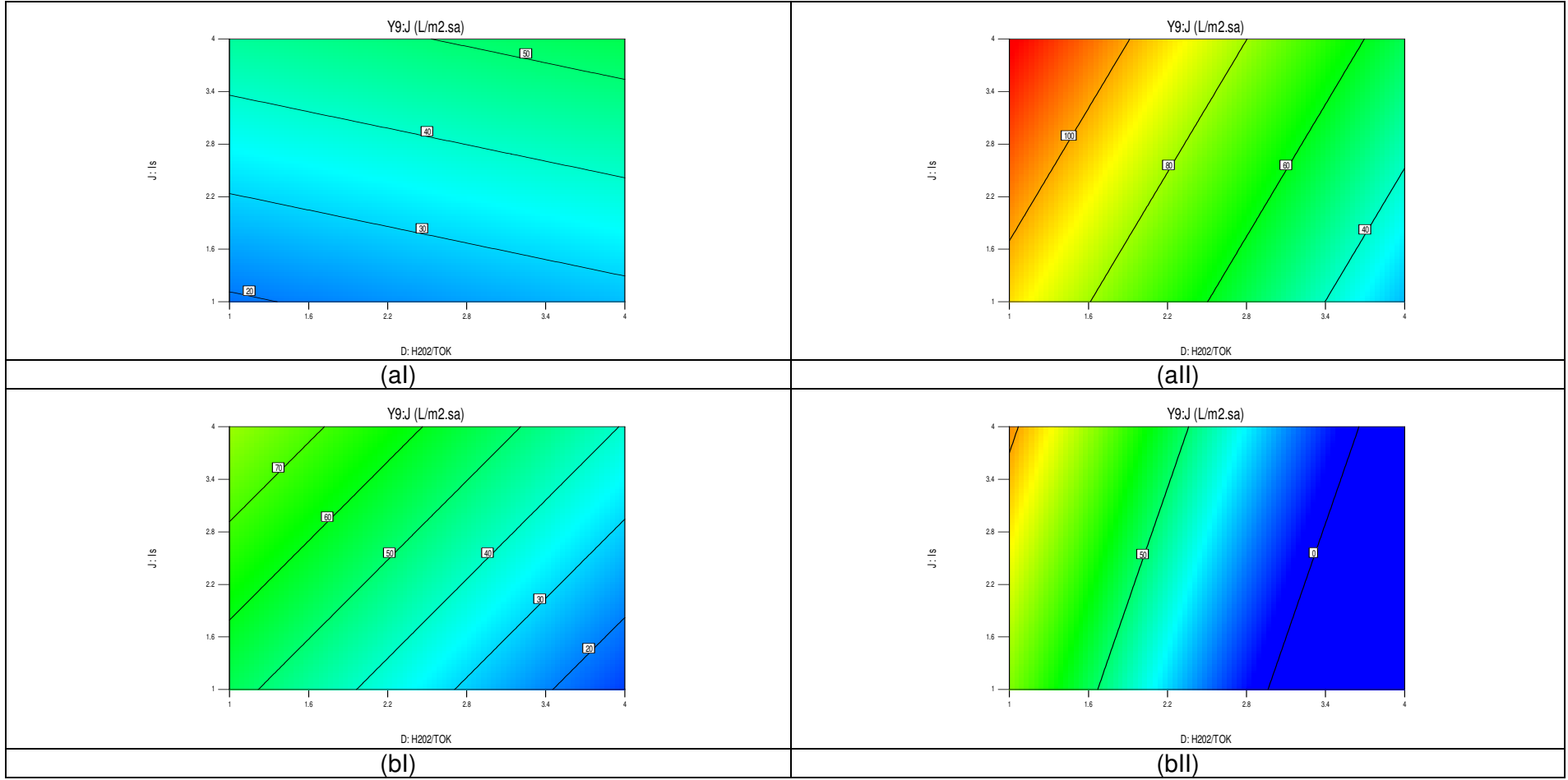
Şekil 4.115 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC-254 (I) ve UVA-365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m².sa) grafikleri (t, T, pH, v_H, v_{SÇ} ve I_ş giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



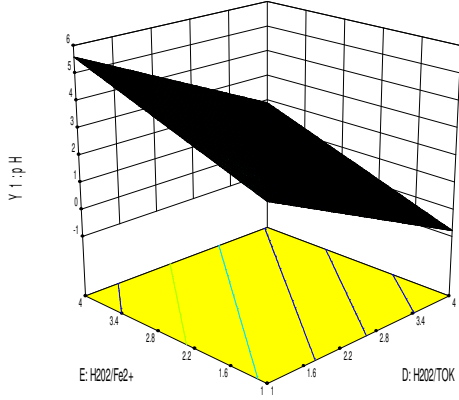
Şekil 4.116 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_s) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J , L/m².sa) grafikleri (t , T , pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



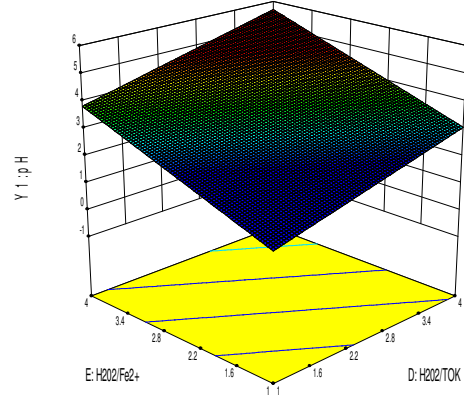
Şekil 4.117 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m².sa) grafikleri (t, T, pH, v_H, v_{SÇ} ve I_ş giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



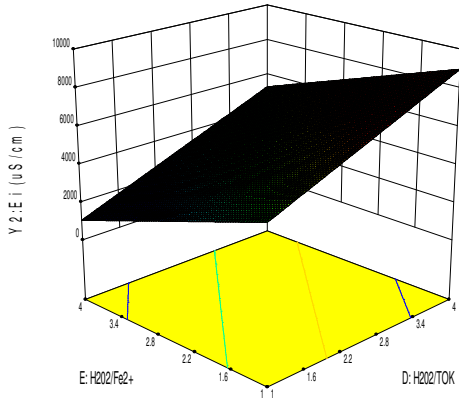
Şekil 4.118 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_s) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı (J, L/m².sa) grafikleri (t, T, pH, H₂O₂/Fe²⁺, v_H ve v_{SÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



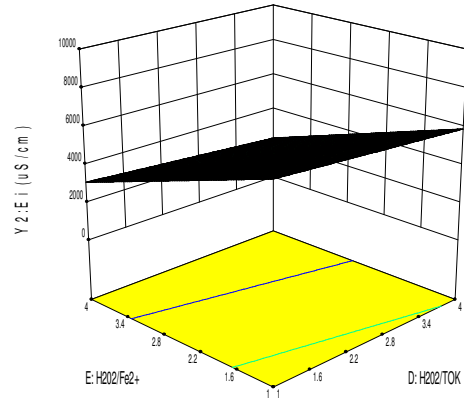
(aI)



(aII)

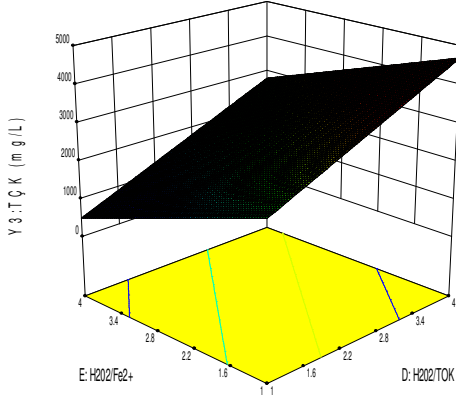


(bI)

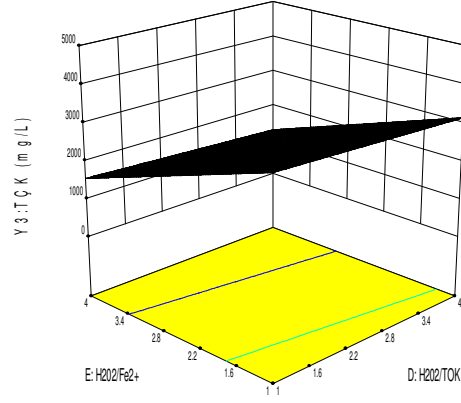


(bII)

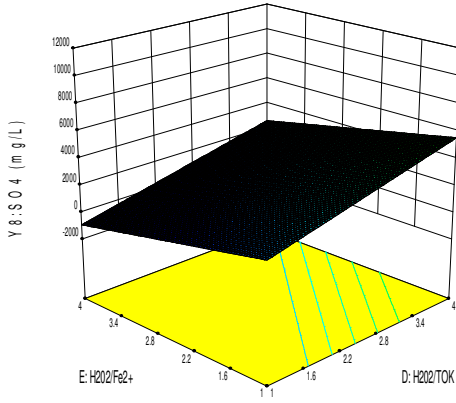
Şekil 4.119 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre pH (a) ve E_i (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



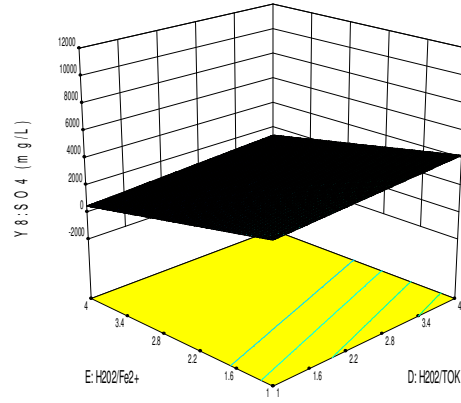
(aI)



(aII)

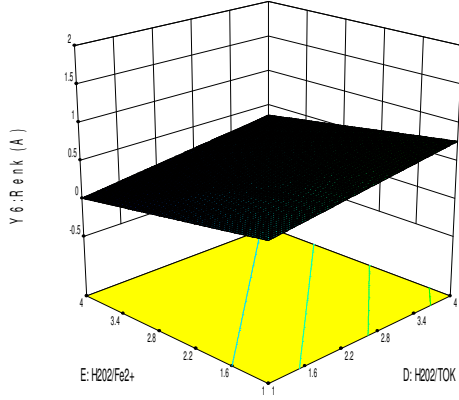


(bI)

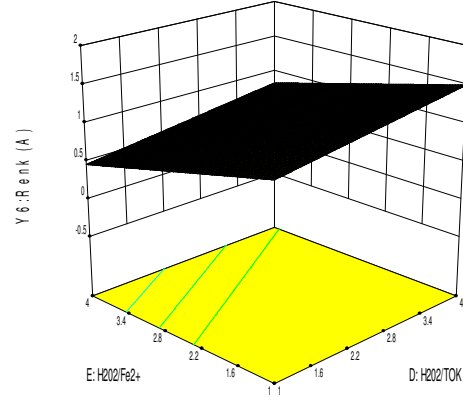


(bII)

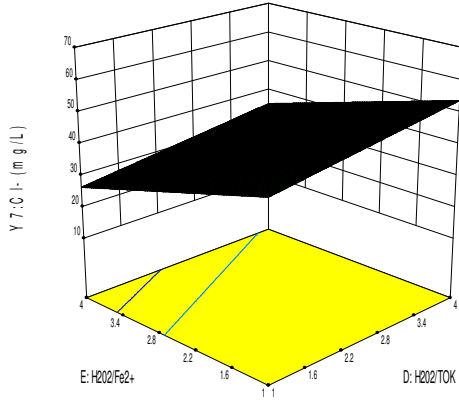
Şekil 4.120 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



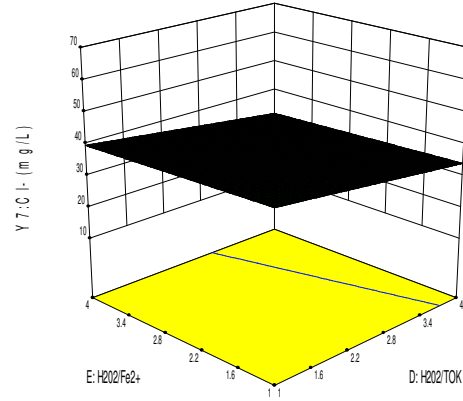
(aI)



(aII)

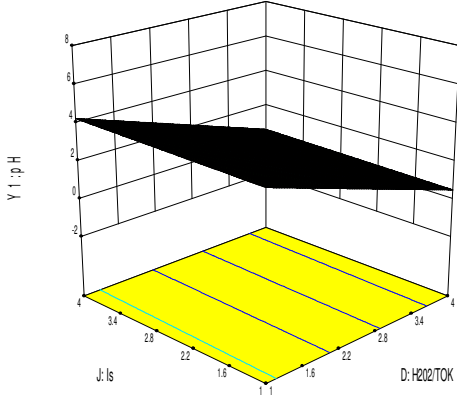


(bI)

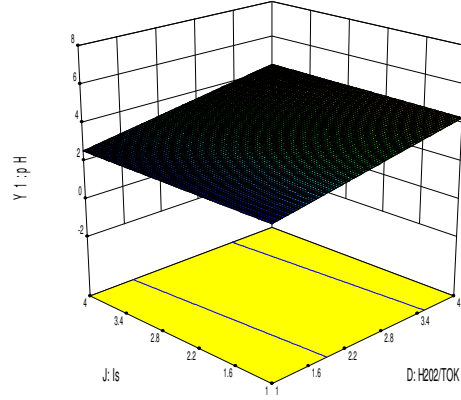


(bII)

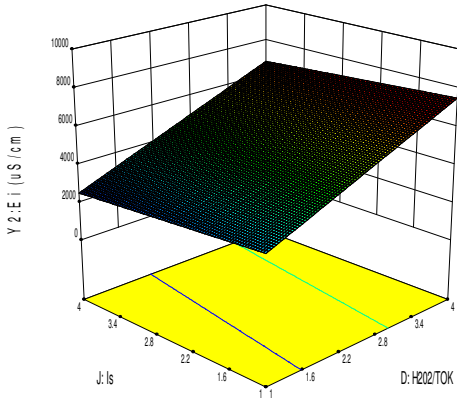
Şekil 4.121 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarına göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve H_2O_2/Fe^{2+} ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



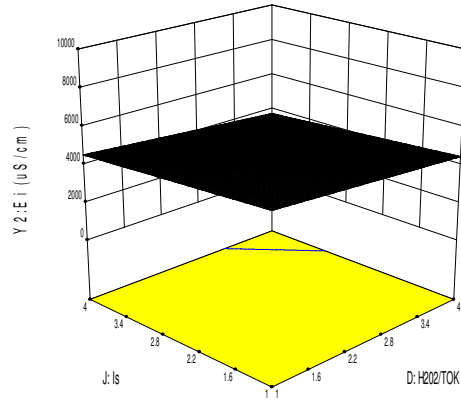
(a)



(all)

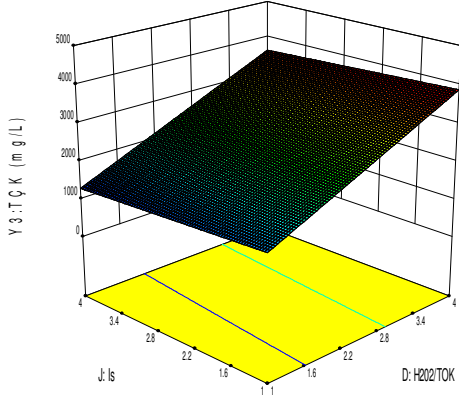


(bl)

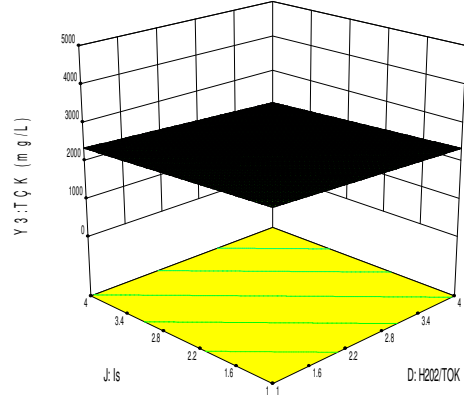


(bll)

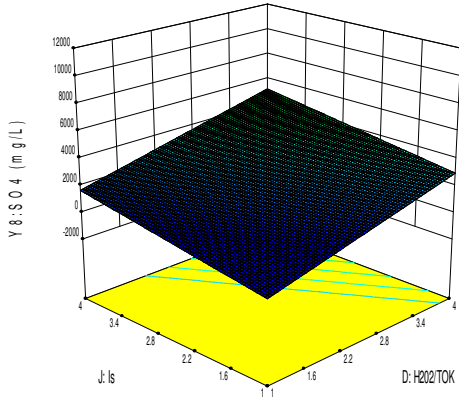
Şekil 4.122 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_s) göre pH (a) ve E_1 (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve I_s ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



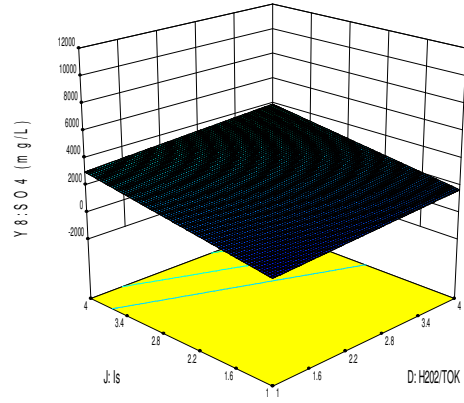
(a)



(all)

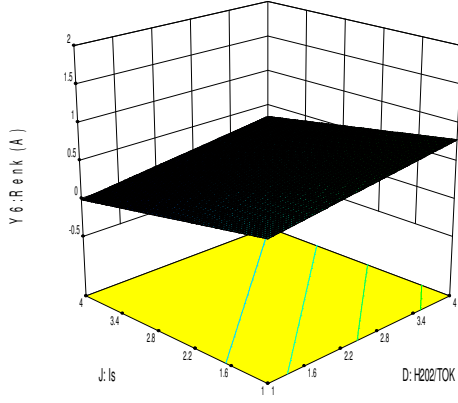


(b)

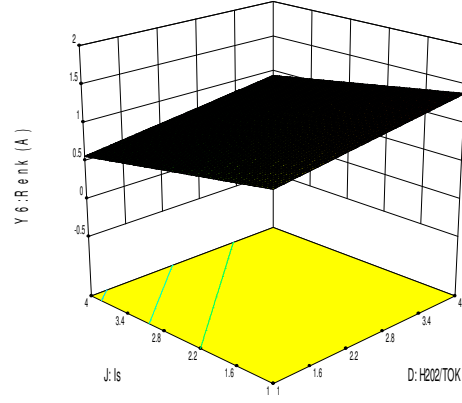


(bII)

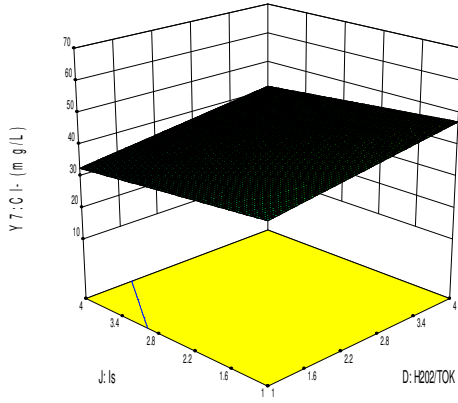
Şekil 4.123 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_{\text{ş}}$) göre TÇK (a) ve SO_4^{2-} (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve $I_{\text{ş}}$ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



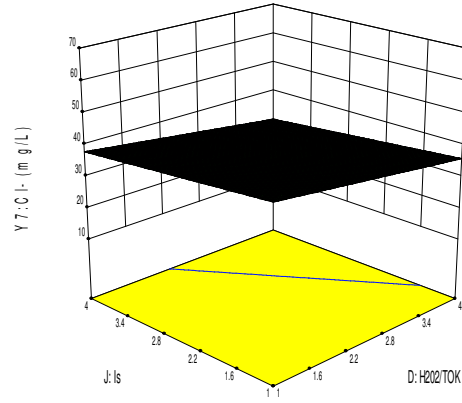
(aI)



(aII)



(bI)



(bII)

Şekil 4.124 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254/UH050 (I) ve UVA–365/UP020 (II) ışık kaynağı/membran türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında batık UF prosesi için TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine ($I_{\text{ş}}$) göre Renk (a) ve Cl^- (b) değişim grafikleri (Her bir grafikte, eksenlerde verilen H_2O_2/TOK ve $I_{\text{ş}}$ ile değişimi gösterilen parametre hariç kalan proses parametrelerinin tamamı için ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)

Batık UF proseste organik madde giderim verimleri, UF prosesi çıkış suyu kalitesi değerlerinin reaktör içerisindeki deney sonu ölçülen değerlere göre ölçülendirilmesi üzerinden belirlenmiştir. Batık membran proseste, UVC-254 ve UVA-365 ışık kaynaklarında H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları arttıkça organik madde giderim verimini veren TOK ve KOİ parametreleri benzer değişiklikler göstermekle birlikte, bu parametrelerin farklı eğilim ve seviyelerde olduğu görülmüştür. Membran süzöntü akısı bakımından ise, batık UF prosenin, hibrit reaktöre uygulanan kimyasal miktarlarına ve uygulanan ışık tür ve şiddetine bağlı olarak birebir genelleştirilemeyen performanslar sergilediği anlaşılmaktadır. Buna karşın, UH050 ve UP020 membranlarının sırasıyla UVC-254 ve UVA-365 destekli hibrit reaktör uygulamasında en yüksek süzöntü akısını sağladıkları görülmüştür. UH050/UVC-254 ve UP020/UVA-365 membran/ışık kaynağı türleriyle UF prosenin batık olarak uygulanmasının süzöntü akısını, artan H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları ile arttığı, artan ışık şiddetiyle de azaldığı belirlenmiştir. UH050/UVC-254 ve UP020/UVA-365 membran/ışık kaynağı türleriyle işletilen UF proseste, reaktöre ilave edilen H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarı arttıkça UF prosesi çıkış suyu pH'sının doğrusal olarak azaldığı ve iletkenlik değerinin 9000 ve 6000 $\mu S/cm$ civarlarına kadar arttığı görülmüştür. Sülfat parametresinde meydana gelen artış ile, UH050/UVC-254 ikilisi etkinliğinde çok daha yüksek UF çıkış suyu TÇK değerleri görülmüştür. UF çıkış suyunda renk, atıksuyun kendi rengi ve sudaki çözülmüş demir iyonlarından gelen renklerin toplamı ile sırasıyla 0.75 A ve 1.5 A' dir. Renk parametresi UP020/UVA-365 membran/ışık kaynağı türünde iki kat daha yüksektir. Cl⁻ parametresinde ise, doğrusal bir eğilimle UH050/UVC-254 ikilisi için artış gösterirken, UP020/UVA-365 ikilisi için bir miktar azalma görülmektedir. Bu duruma göre, H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları minimize edilerek uygulanacak foto-Fenton prosenin; hibrit reaktör sonrasında NF içerikli arıtma adımlarında membranlar üzerinde demir içerikli kirlenme yükü oluşturulmaması ve Fenton'a ilave edilen demir kayıp edilmeksizin reaktöre geri döndürülerek hibrit reaktör ve sonrasında NF proseslerinin ekonomik işletimlerinin sağlanabileceği görülmektedir. Diğer taraftan, ışık şiddeti parametresinin, UF çıkış suyunda inorganik parametrelerin performans değişimleri üzerine herhangi bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir.

– Foto-Fenton/batık UF hibrit prosenin deneysel performansı

İOP/batık UF hibrit reaktör sisteminde, TOK, KOİ ve süzöntü akısı (J) performans parametreleri için lineer model (Model I) ANOVA analiz sonuçları Tablo 4.40'da; I. derece lineer ve II. derece lineer olmayan modeller bazında proses performans parametrelerine ait model denklemleri Tablo 4.41'de sunulmuştur. Tablo 4.40 için F istatistik ve P olasılık değerleri model ve değişkenlerin önem seviyesini belirtmektedir.

Tablo 4.40 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için lineer modelin (Model I) ANOVA analiz sonuçları

Performans parametresi	Değişken	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	P>F Değeri
TOK (%)	Model	1822,72	12	151,89	2,09	0,0731
	A-t	559,43	1	559,43	7,70	0,0121
	B-T	134,40	1	134,40	1,85	0,1898
	C-pH	67,52	1	67,52	0,93	0,3473
	D-H ₂ O ₂ /TOK	360,78	1	360,78	4,96	0,0382
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	59,15	1	59,15	0,81	0,3783
	F-v _H	1,40	1	1,40	0,019	0,8913
	G-v _{SÇ}	255,23	1	255,23	3,51	0,0764
	H-M _T	359,71	3	119,90	1,65	0,2115
	J-I _ş	0,014	1	0,014	0,0002	0,9890
	K-I _T	25,10	1	25,10	0,35	0,5637
	Artan değer	1381,12	19	72,69		
	Toplam	3203,84	31			
KOİ (%)	Model	1214,15	12	101,18	0,99	0,4889
	A-t	192,44	1	192,44	1,89	0,1852
	B-T	223,56	1	223,56	2,20	0,1548
	C-pH	96,71	1	96,71	0,95	0,3420
	D-H ₂ O ₂ /TOK	372,13	1	372,13	3,65	0,0711
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	27,95	1	27,95	0,27	0,6064
	F-v _H	6,88	1	6,88	0,068	0,7976
	G-v _{SÇ}	55,61	1	55,61	0,55	0,4689
	H-M _T	201,08	3	67,03	0,66	0,5877
	J-I _ş	0,22	1	0,22	0,0022	0,9631
	K-I _T	37,56	1	37,56	0,37	0,5508
	Artan değer	1934,54	19	101,82		
	Toplam	3148,69	31			
J (L/m ² ,sa)	Model	13350,38	12	1112,53	1,64	0,1618
	A-t	39,18	1	39,18	0,058	0,8126
	B-T	407,60	1	407,60	0,60	0,4476
	C-pH	1267,98	1	1267,98	1,87	0,1874
	D-H ₂ O ₂ /TOK	5074,62	1	5074,62	7,49	0,0131
	E-H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	2121,43	1	2121,43	3,13	0,0929
	F-v _H	349,58	1	349,58	0,52	0,4814
	G-v _{SÇ}	1325,24	1	1325,24	1,95	0,1782
	H-M _T	2353,94	3	784,65	1,16	0,3518
	J-I _ş	300,84	1	300,84	0,44	0,5133
	K-I _T	109,96	1	109,96	0,16	0,6916
	Artan değer	12880,22	19	677,91		
	Toplam	26230,60	31			

Tablo 4.41 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında proses performans parametreleri için model denklemleri

Proses Performans Parametresi	Model I (Lineer Model)	Model II (II, Derece Lineer Olmayan Model)
TOK (%)	$57,44 + 5,61 * A + 2,75 * B - 1,95 * C + 4,50 * D - 1,82 * E + 0,28 * F - 3,79 * G - 5,62 * H[1] + 0,67 * H[2] + 3,05 * H[3] - 0,028 * J + 0,89 * K$ $(S = 8,53 \text{ ve } r^2 = 0,5689)$	$57,44 + 1,21 * A - 2,84 * B - 43,59 * C + 6,97 * D - 8,27 * E - 3,22 * F - 2,27 * G + 15,69 * H[1] - 32,29 * H[2] + 5,32 * H[3] - 19,81 * J - 26,46 * K + 8,55 * AB + 1,42 * AC - 19,45 * AD - 64,46 * AE + 22,83 * AF + 0,26 * AH[1] + 13,04 * AH[2] + 6,19 * AH[3] - 2,06 * AK - 60,32 * BC - 1,06 * BD - 8,72 * BE - 4,83 * BF + 4,60 * BG + 23,82 * BH[1] - 30,03 * BH[2] - 2,59 * BJ + 33,88 * CD - 5,14 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$
KOİ (%)	$73,65 + 3,29 * A + 3,55 * B - 2,33 * C + 4,58 * D - 1,25 * E + 0,62 * F - 1,77 * G - 4,11 * H[1] + 0,82 * H[2] + 0,62 * H[3] + 0,11 * J + 1,08 * K$ $(S = 10,09 \text{ ve } r^2 = 0,3856)$	$73,65 - 5,46 * A + 25,75 * B + 62,50 * C + 5,09 * D + 5,26 * E - 3,21 * F - 5,41 * G - 116,77 * H[1] + 132,48 * H[2] + 81,88 * H[3] + 33,76 * J + 159,73 * K + 4,05 * AB - 15,67 * AC + 59,79 * AD + 96,29 * AE - 51,27 * AF + 79,14 * AH[1] - 69,56 * AH[2] - 89,24 * AH[3] - 55,21 * AK + 358,99 * BC - 1,89 * BD + 120,07 * BE - 8,11 * BF + 6,17 * BG - 74,29 * BH[1] + 69,47 * BH[2] + 4,36 * BJ - 121,53 * CD - 10,47 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$
J (L/m ² .sa)	$39,48 - 1,48 * A + 4,79 * B + 8,45 * C - 16,90 * D + 10,92 * E + 4,43 * F - 8,63 * G - 13,28 * H[1] - 1,48 * H[2] + 9,21 * H[3] + 4,11 * J + 1,85 * K$ $(S = 26,04 \text{ ve } r^2 = 0,5090)$	$39,48 + 9,41 * A - 216,91 * B - 829,23 * C + 10,96 * D - 134,10 * E + 5,85 * F + 23,06 * G + 945,97 * H[1] - 1226,86 * H[2] - 529,42 * H[3] - 417,40 * J - 1357,95 * K + 52,98 * AB + 92,35 * AC - 646,15 * AD - 1257,62 * AE + 622,47 * AF - 538,94 * AH[1] + 558,59 * AH[2] + 710,61 * AH[3] + 336,61 * AK - 3057,51 * BC - 11,81 * BD - 911,52 * BE - 8,22 * BF + 39,80 * BG + 803,50 * BH[1] - 830,51 * BH[2] - 41,50 * BJ + 1168,49 * CD + 24,77 * CE$ $(S = 0 \text{ ve } r^2 = 1)$

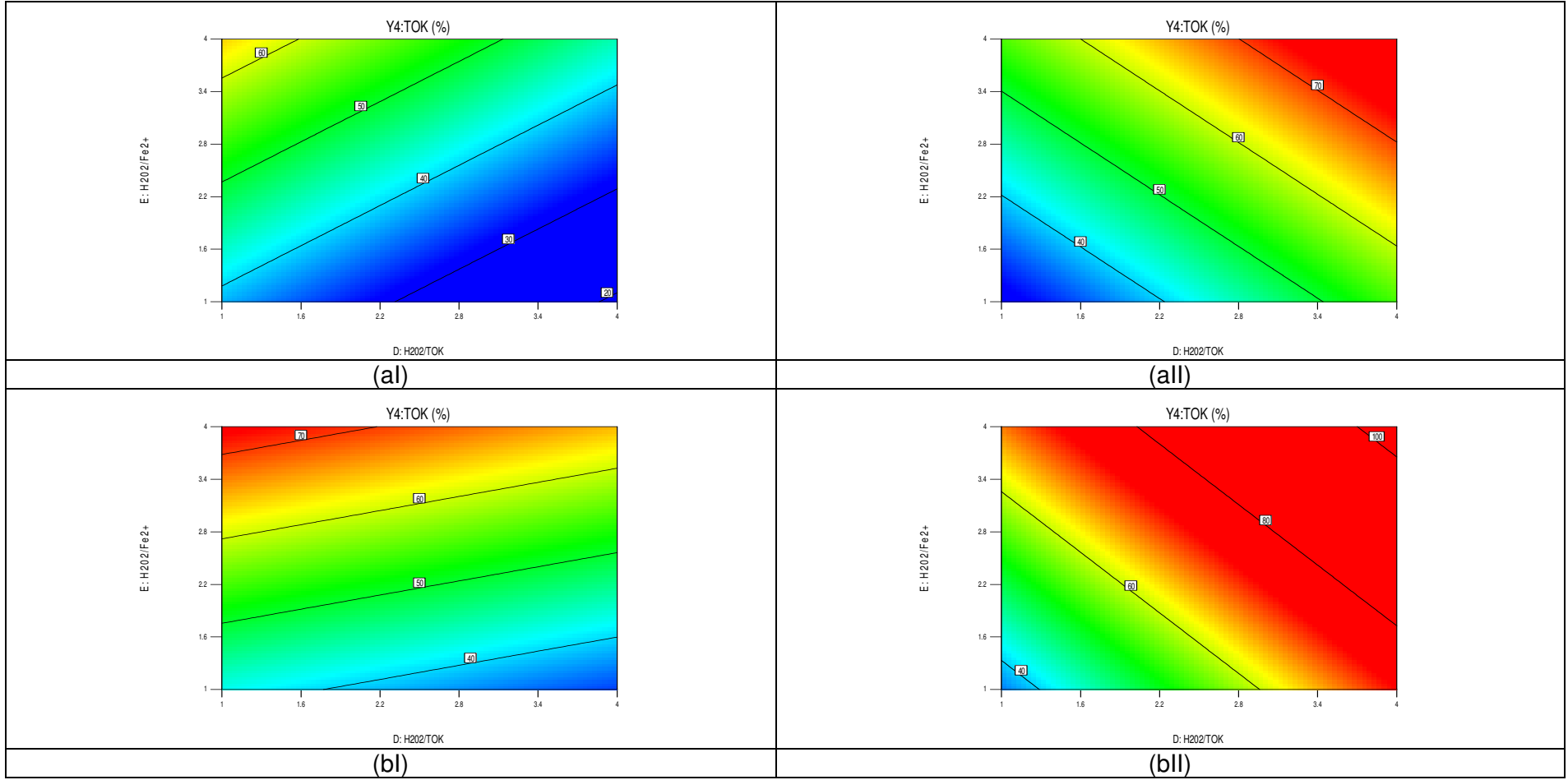
Tablo 4.40'da I. derece lineer model için verilen $P>F$ değerlerine bakıldığında, batık UF proste TOK, KOİ ve J performans parametrelerinin lineer modele göre önemli düzeyde bir ilişkiye sahip olmadığı görülmektedir. Tablo 4.41'e göre, II. derece lineer olmayan modellerin, birebir ilişki düzeyinde sıfır standard sapma ($S=0$) ve tam korelasyon ($r^2=1.0$) değerleri veriyor olmasından hareketle; foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit sistem için tüm ana performans parametrelerinin, lineer ve iç etkileşimli model terimlerine dayalı olarak tahmin edilebilir olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit sistemde, organik madde giderim verimleri, arıtılmış çıkış suyu kalitesinin deney başlangıcında reaktör içerisindeki atıksuyun kalitesine göre ölçülendirilmesi üzerinden belirlenmiştir. Değişen UF membran (UP005, UP020, UH050 ve UV150) ve ışık kaynağı (UVC-254 ve UVA-365) türleri için $H_2O_2/TOK - H_2O_2/Fe^{2+}$ ve $H_2O_2/TOK - \text{ışık şiddeti}$ giriş parametreleri ikilileriyle TOK giderme verimi değişimleri Şekil 125-128'de, KOİ giderme verimi değişimleri Şekil 129-132'de ve süzüntü akısı değişimleri ise Şekil 133-136'da sunulmuştur.

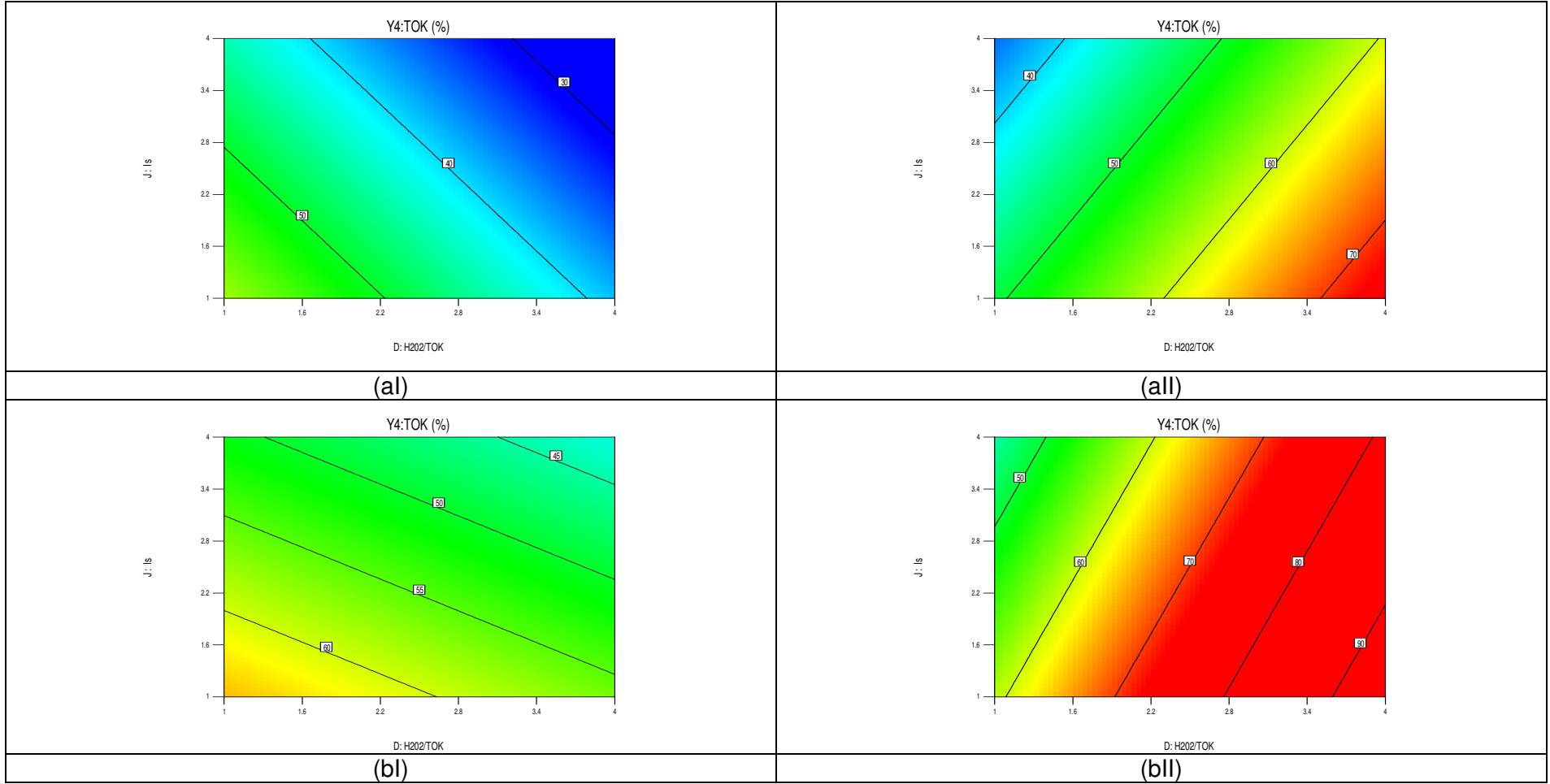
Foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit sistemde TOK giderim etkinliğinin, H_2O_2 miktarı ve ışık şiddeti ile UVC-254/UH050 ikilisinde azaldığı, UVA-365/UP020 ikilisinde ise arttığı görülmüştür. Artan Fe^{2+} miktarıyla her iki şartta TOK giderim veriminin azaldığı belirlenmiştir.

Foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit sistemde KOİ giderim etkinliğinin, H_2O_2 miktarı ve ışık şiddeti ile her iki şartta aynı performans eğilimlerini gösterdiği ancak artan Fe^{2+} miktarıyla UVC-254/UH050 ikilisinde KOİ giderme veriminin arttığı, 365/UP020 ikilisinde ise azaldığı belirlenmiştir. Membran süzüntü akısı bakımından ise, hibrit reaktöre verilen Fenton kimyasalları miktarlarına ve uygulanan ışık enerjisinin tür ve şiddetine bağlı olarak birebir genelleştirilemeyen performanslar sergilendiği ya da çok dinamik akı performans değişimleriyle arıtılmış su eldesinin sağlanabildiği anlaşılmaktadır.

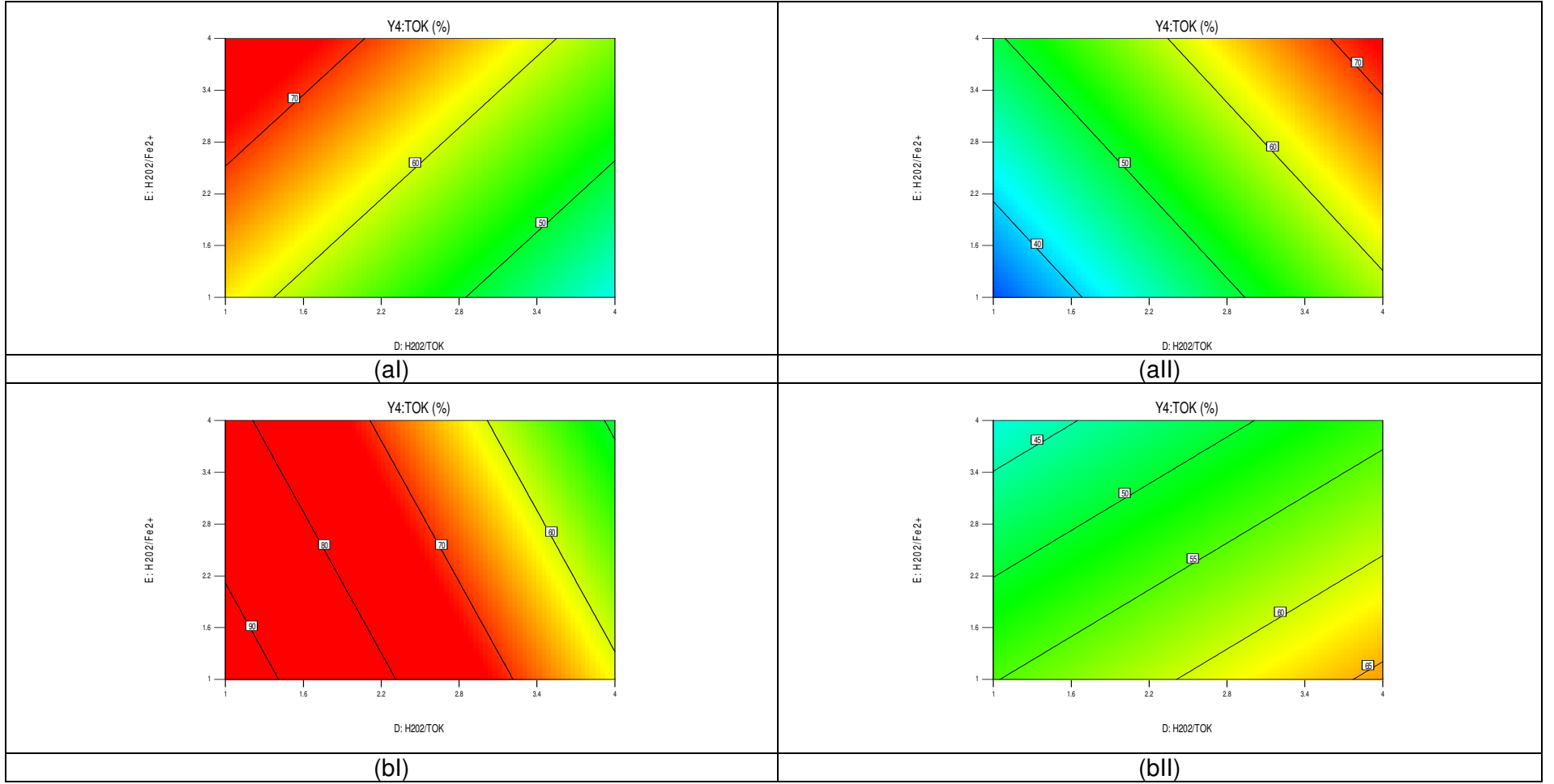
UH050 ve UP020 membranlarının sırasıyla UVC-254 ve UVA-365 destekli hibrit reaktör uygulamasında en yüksek süzüntü akısını sağladıkları görülmüştür. UH050/UVC-254 ve UV150/UVA-365 membran/ışık kaynağı türleriyle UF prosesinin İOP hibrit reaktörde batık olarak uygulanmasının süzüntü akısını, artan H_2O_2 ve Fe^{2+} miktarları ile artan ışık şiddetiyle arttırdığı belirlenmiştir.



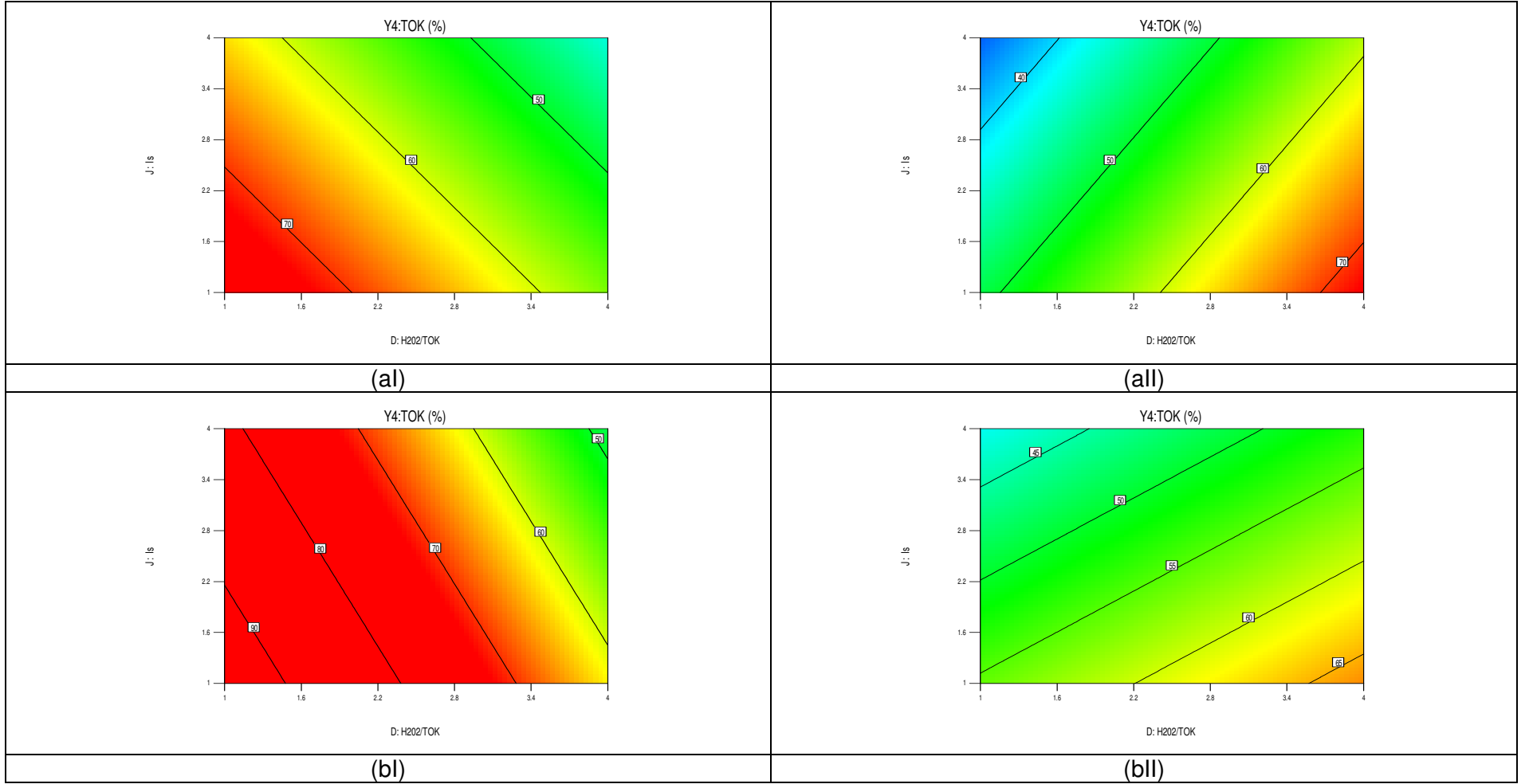
Şekil 4.125 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve I_{ϕ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



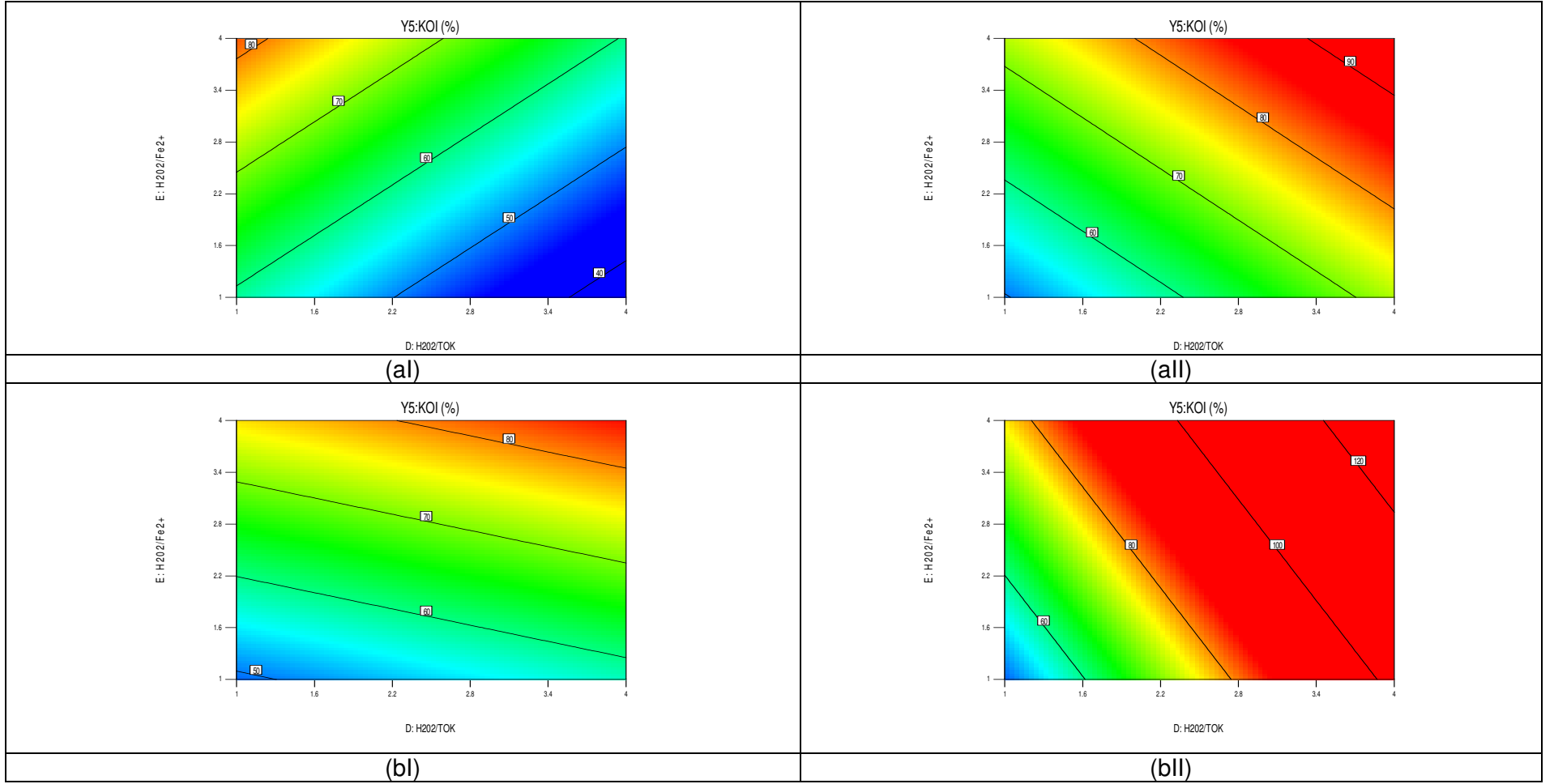
Şekil 4.126 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_s) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (*t*, *T*, pH, H₂O₂/Fe²⁺, *v*_H ve *v*_{SÇ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



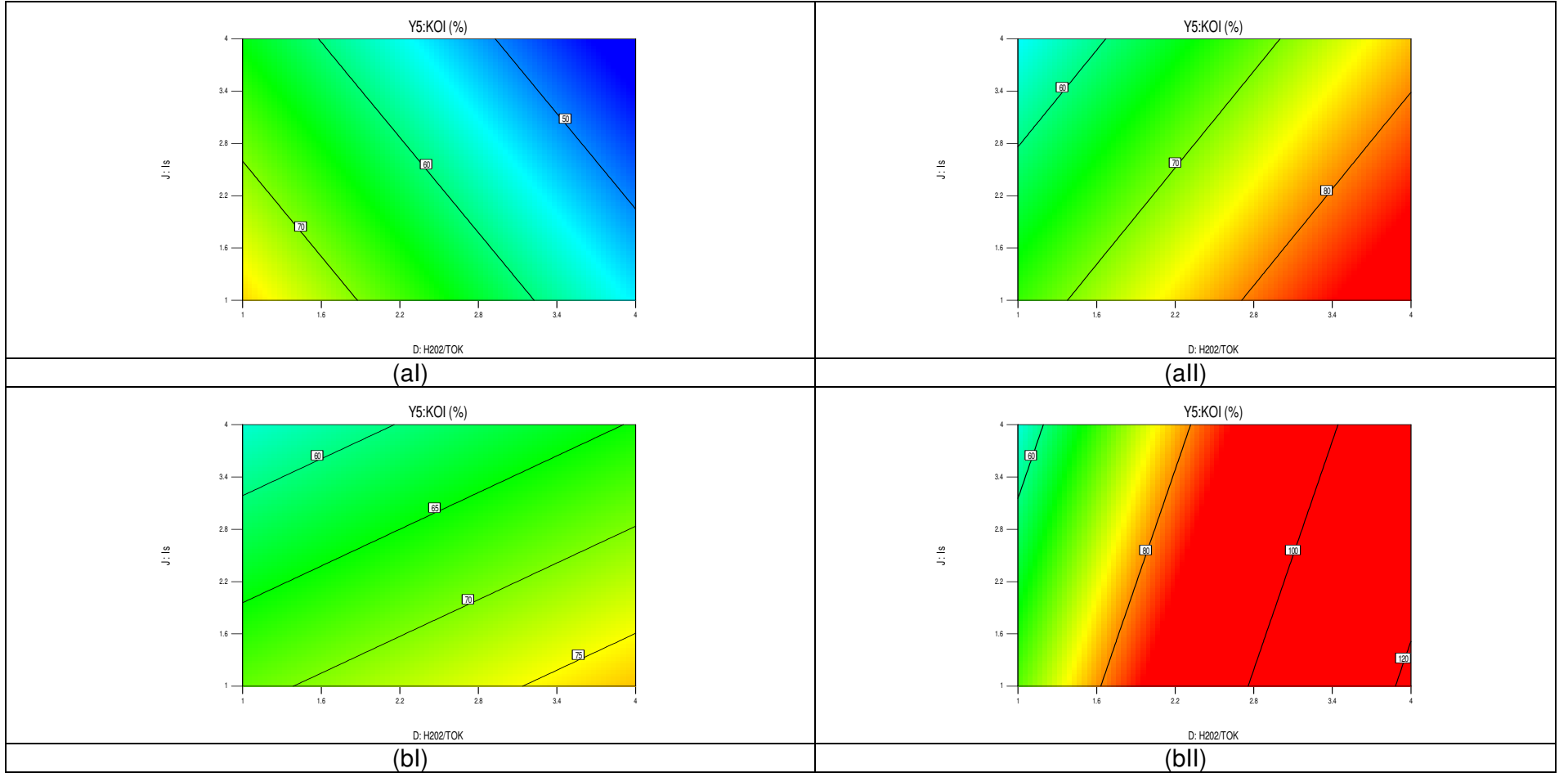
Şekil 4.127 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve $I_{ş}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



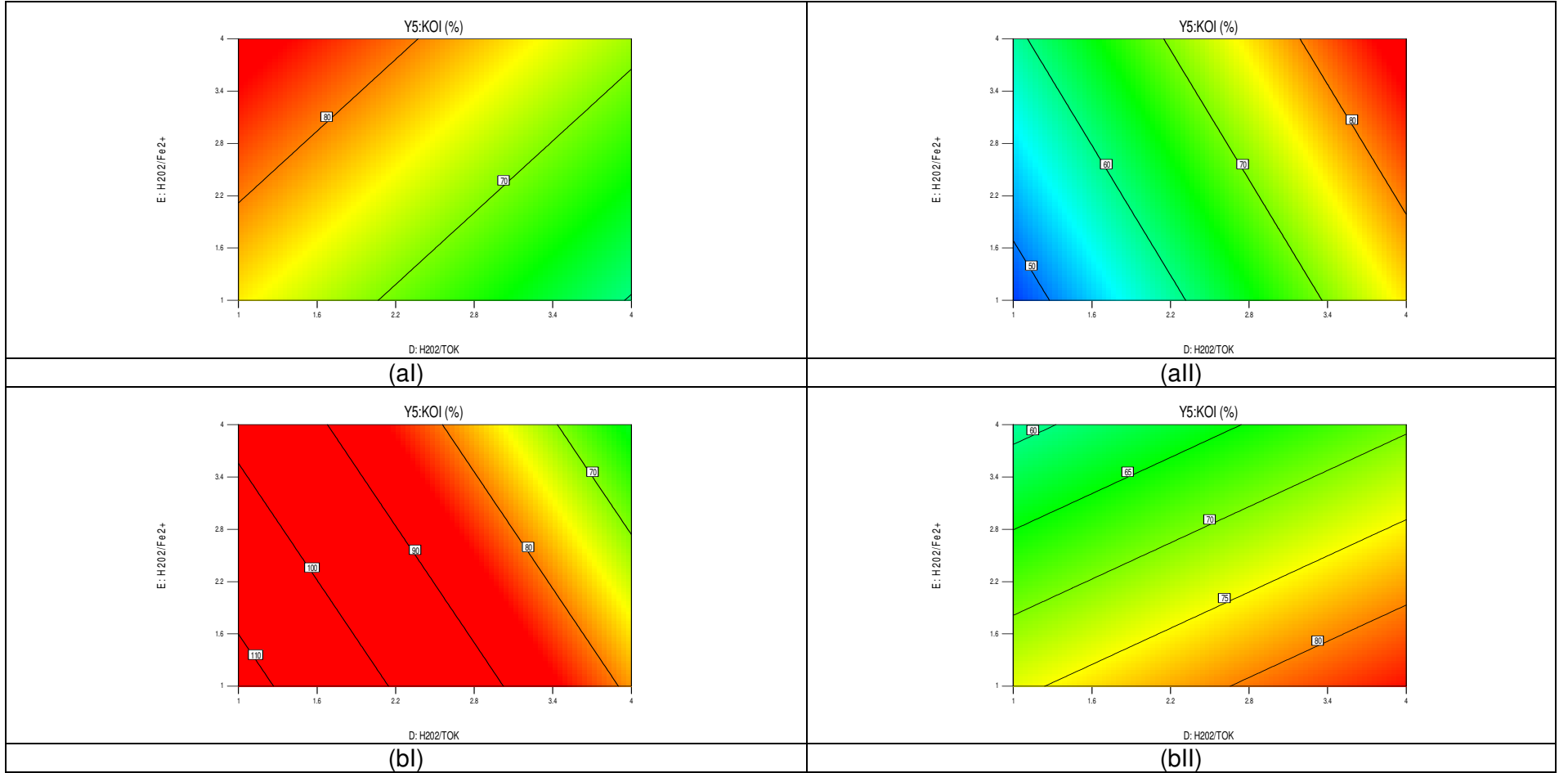
Şekil 4.128 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_{ζ}) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının TOK giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{S\zeta}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



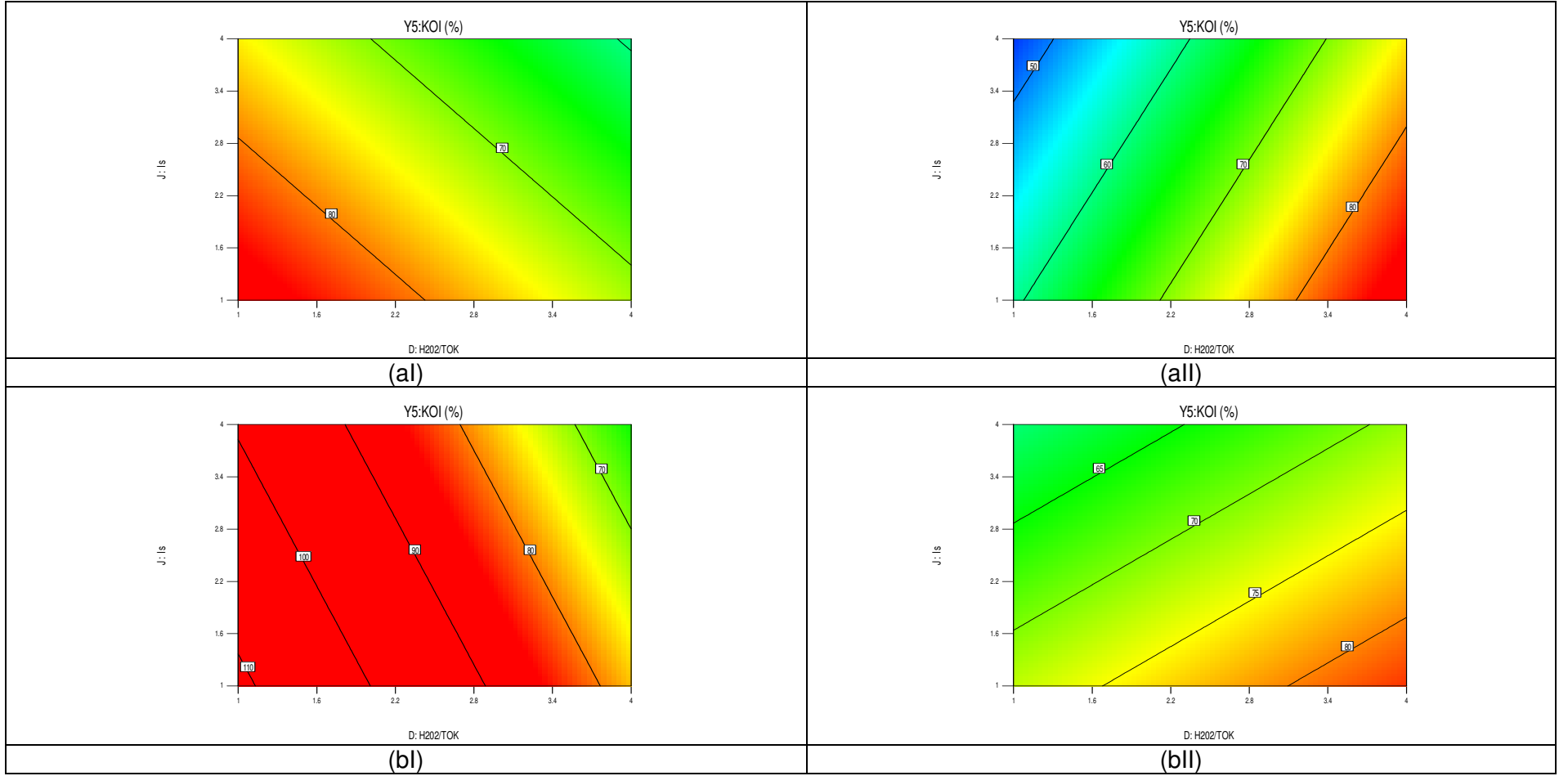
Şekil 4.129 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH , v_H , v_{SC} ve I_S giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



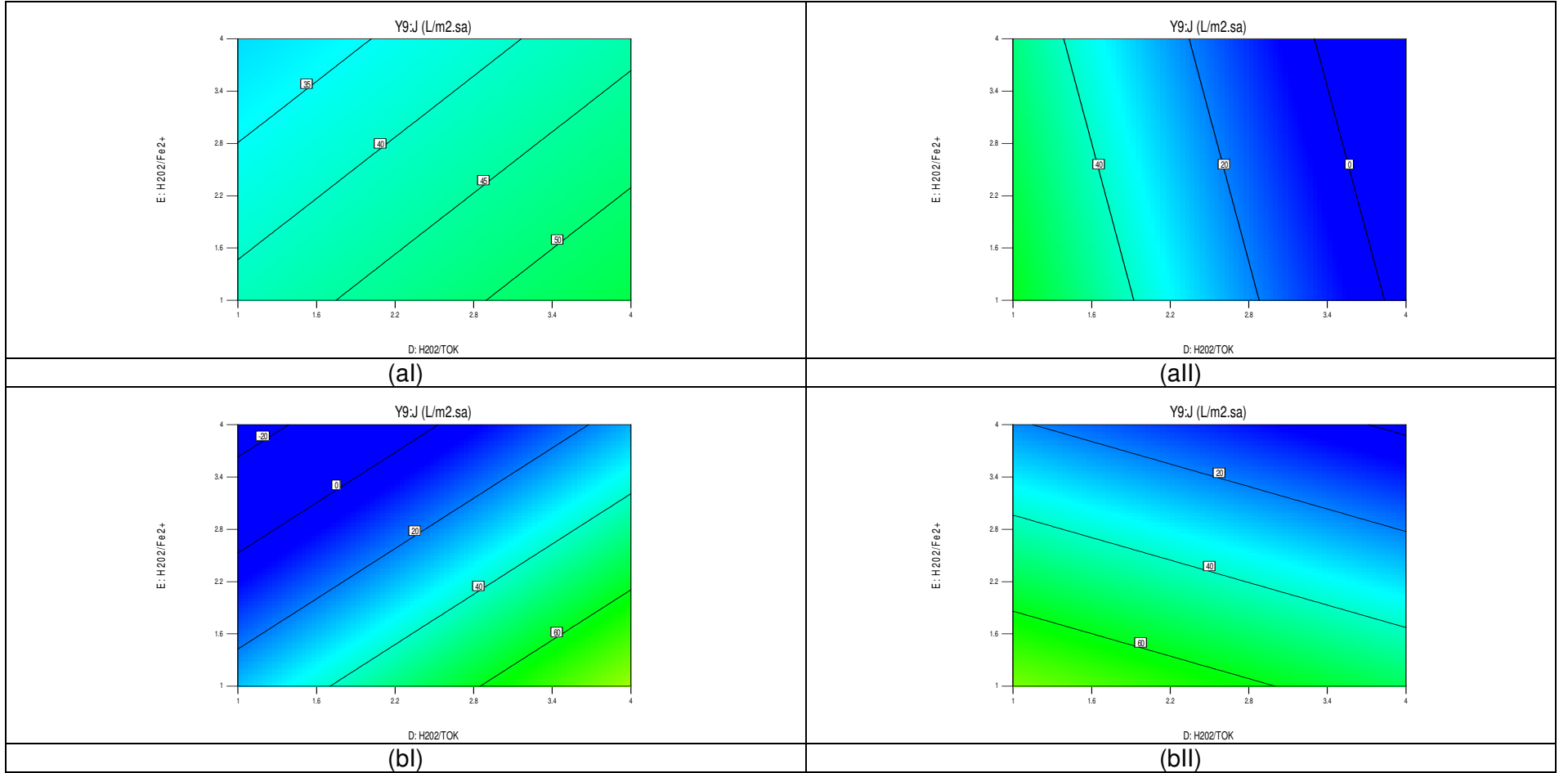
Şekil 4.130 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine ($I_{\text{ş}}$) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{\text{SÇ}}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



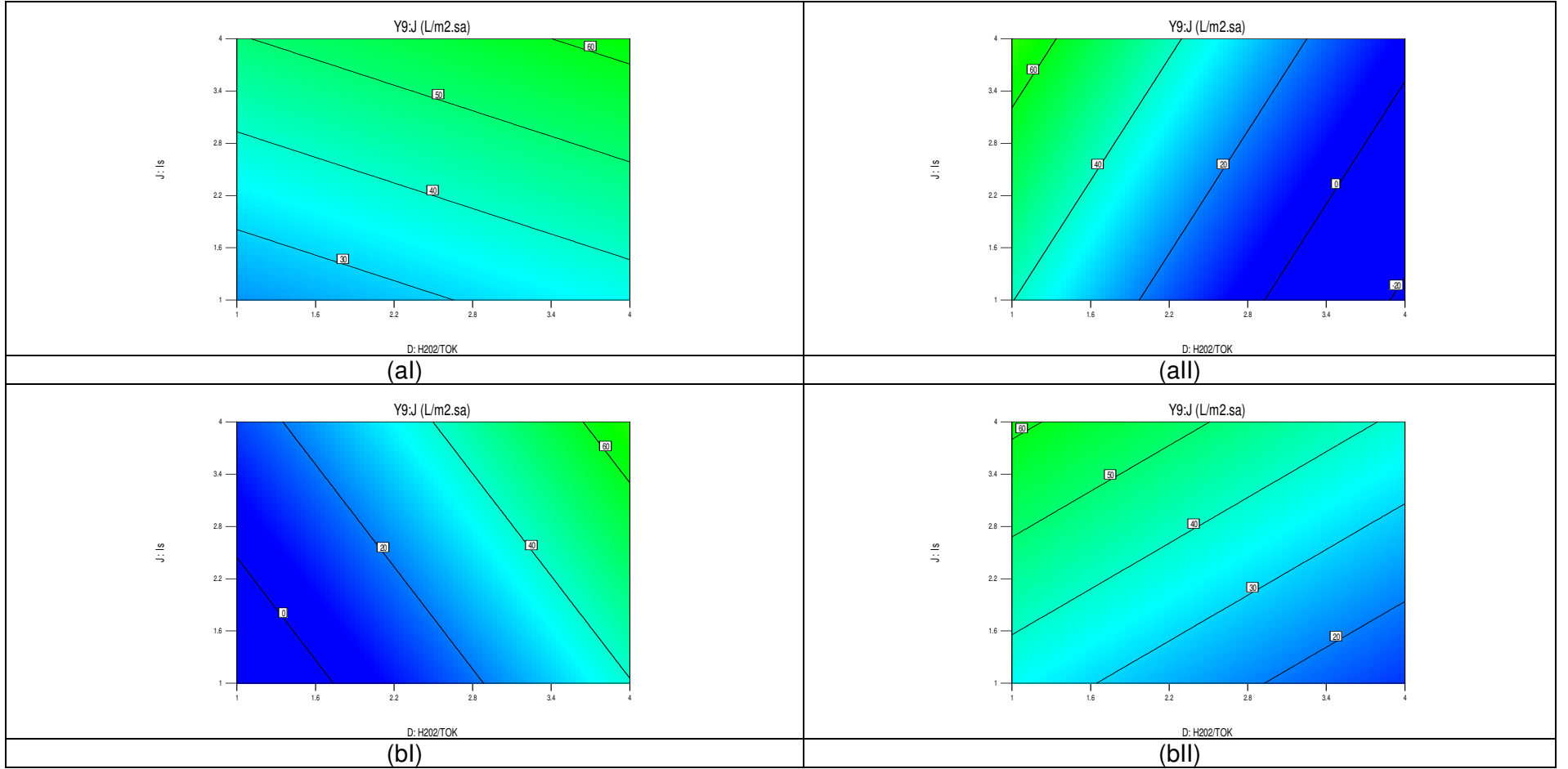
Şekil 4.131 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve $I_{ş}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



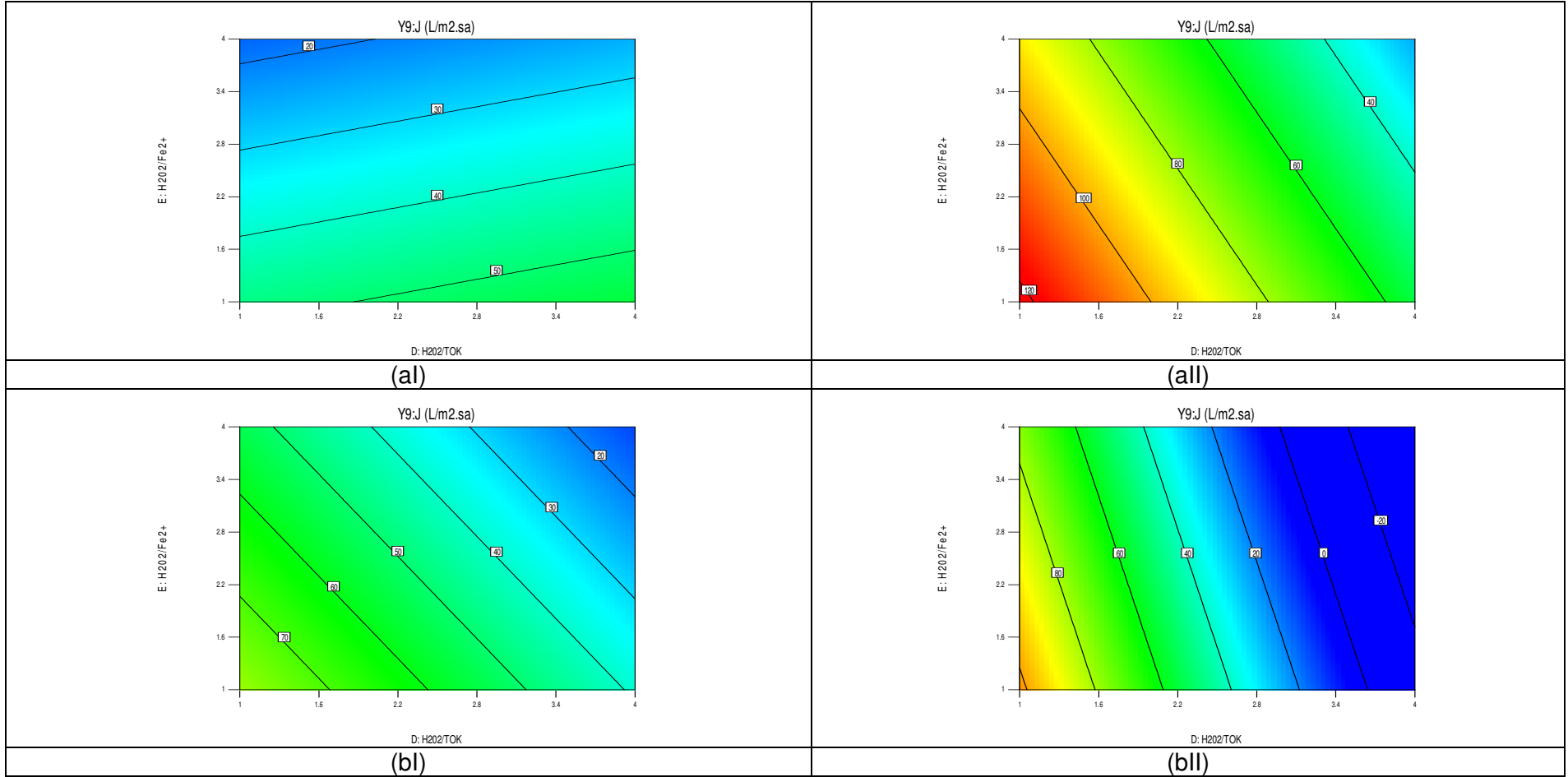
Şekil 4.132 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_s) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının KOİ giderim verimi (%) grafikleri (t , T , pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve v_{SQ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



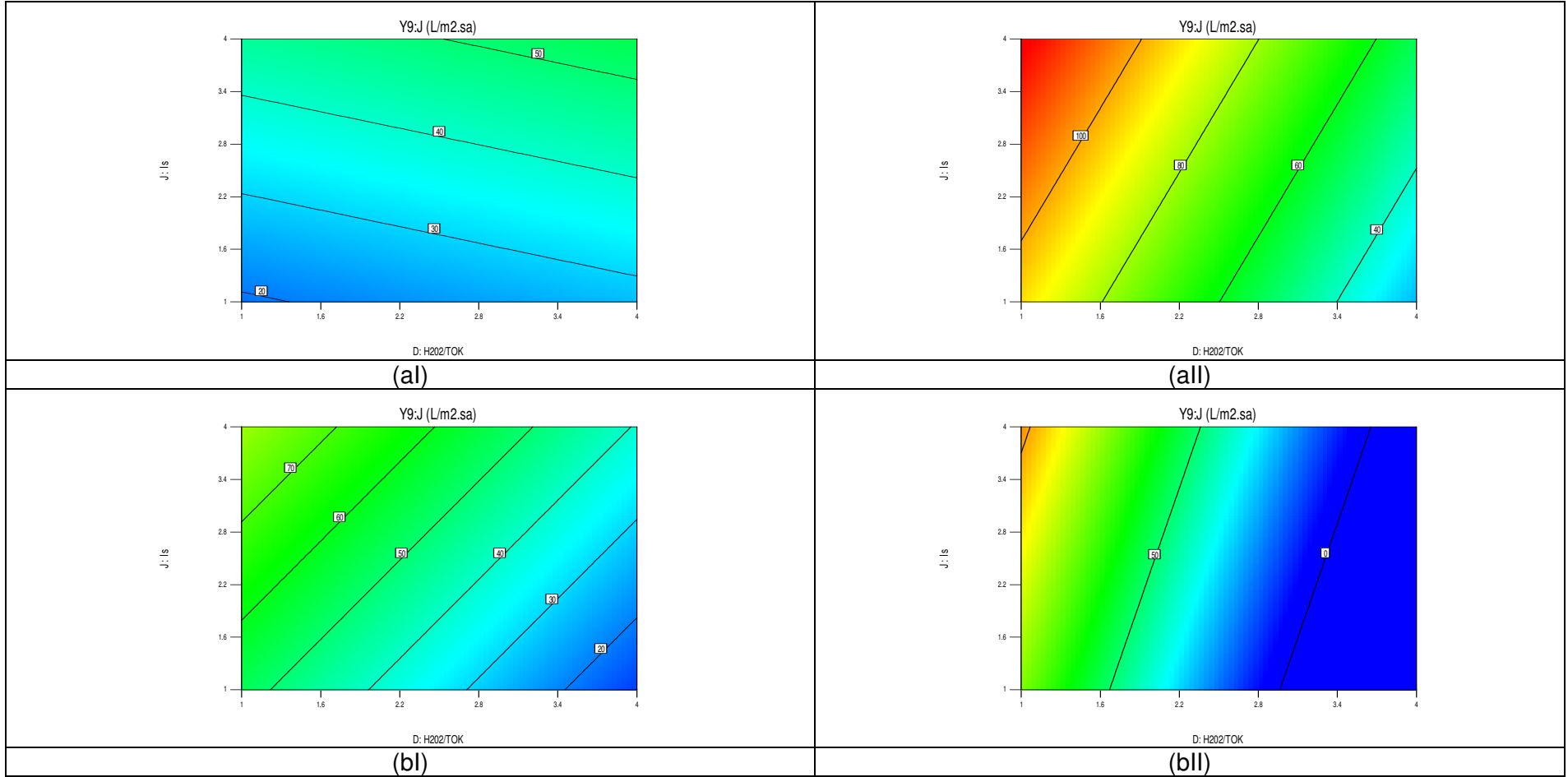
Şekil 4.133 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J , L/m².sa) grafikleri (t , T , pH, v_H , $v_{SÇ}$ ve I_{ξ} giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri, 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.134 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve ışık şiddetine (I_s) göre UP005 (a) ve UP020 (b) membranlarının süzüntü akısı (J , L/m².sa) grafikleri (t , T , pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{SÇ}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.135 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonlarında UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzütü akısı (J, L/m².sa) grafikleri (*t*, *T*, pH, *v_H*, *v_{SÇ}* ve *I_ş* giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)



Şekil 4.136 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun UVC–254 (I) ve UVA–365 (II) ışık kaynağı türleri kullanılarak foto-Fenton prosesiyle arıtımında TOK başına değişen H_2O_2 ve ışık şiddetine (I_{ϕ}) göre UH050 (a) ve UV150 (b) membranlarının süzüntü akısı (J , $L/m^2 \cdot sa$) grafikleri (t , T , pH, H_2O_2/Fe^{2+} , v_H ve $v_{S\phi}$ giriş parametreleri ortalama kodlanmış tasarım değerleri olan 2,5 değerindedir.)

– Foto-Fenton/batık UF hibrit proses performansının optimizasyonu

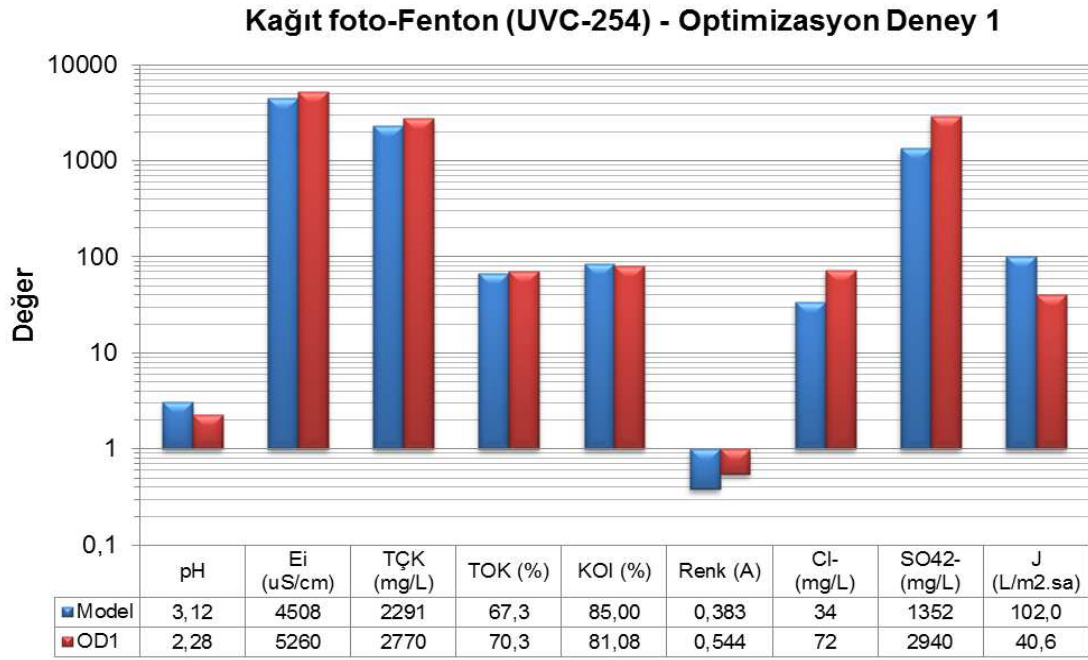
İOP/batık UF hibrit proseste kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum proses işletme şartlarının belirlenmesi, ışık kaynağı türüne bağlı elde edilmiş farklı işletme performansları sebebiyle her bir ışık kaynağı türü için ayrı deneylerle yerine getirilmiştir. Optimizasyon öncesi, her iki ışık kaynağı türü için mevcut en iyi deneysel performanslar beraberce dikkate alınarak, proseslerin etkinliğinde önemli sonuç parametreleri olan **TOK, KOI ve J parametreleri** için sırasıyla **%75, %85 ve 150 L/m².sa** hedef değerlerine ulaşılmasının arzu edildiği amaç doğrultusunda yazılım aracılığıyla UVC-254 ve UVA-365 ışık kaynakları için iki ayrı optimum işletme şartı seçilerek belirlenmiştir. Hibrit sistemde ışık şiddeti parametresi ancak lamba sayısı ilavesi/çıkarması ile kontrol edilebildiği için, tüm optimizasyon çözümlenmeleri, 1, 2, 3 ve 4 lamba sayısı için ayrı ayrı yerine getirilerek en arzu edilebilir olan ışık şiddeti seviyesi (3 lamba) için optimum şartların tespiti gerçekleştirilmiştir. İOP/batık UF hibrit sistemde optimizasyon, iki farklı içerikte gerçekleştirilmiştir. Birinci adım opsiyonlu optimizasyon; Fenton'daki optimizasyonda yapıldığı gibi, hidrojen peroksit hariç diğer giriş değişkenleri deneysel belirlenmiş değer aralıklarında ve H₂O₂/TOK oranı ise sürekli işletimde maliyet unsurunun asgariye indirilmesi hedefi gözetilerek minimum seçilerek yerine getirilmiştir. İkinci adım opsiyonlu optimizasyonda ise, giriş değişkenlerinin tamamı deneysel belirlenmiş değer aralıklarında seçilerek elde edilen optimum çözümlerden en az Fenton kimyasalları sarfiyatlı işletimlerin tercih edildiği, arzu edilebilirlik değerleri 0.8' in üzerinde olan optimum çözümler her iki ışık kaynağı için belirlenmiştir.

Optimum çözümlerin tercihinde, zaman parametresi, Fenton'da en iyi sonuç veren opsiyona yakın değerlerde (UVC için 44 dk ve UVA için 42 dk) seçilerek prosesin etkinliğinin artırılmasına ağırlık verilmiştir. Ayrıca birim zamanda birim giderilen organik madde miktarı başına tüketilen hidrojen peroksit ve Fe²⁺ miktarlarının azaltılması da amaçlanmıştır. Hibrit prosesin deneysel işletimleri optimum şartlarda yerine getirilerek, lineer olmayan ilişki denklemlerinin doğrulaması yapılmış ve deneysel tasarımın proses performansını tahmin etmedeki yetkinliği ortaya çıkarılmıştır. Işık kaynağı türüne bağlı, 2 farklı optimum işletme şartında giriş değişkenlerinin kodlanmış ve gerçek değerleri Tablo 4.42'de sunulmuştur. Optimum şartlarda yürütülen deneyler, hibrit proses çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu 0-50 mg/L oluncaya dek sürdürülmüştür. Optimum işletme şartlarındaki deneysel performanslar, OD1 ve OD2 için sırasıyla Şekil 4.137 ve 4.138'de gösterilmiştir. Hibrit sistemde TOK ve KOI giderim verimleri, çıkış suyuyla kaybedilen H₂O₂ miktarı ile birlikte, OD1-OD2 için Şekil 4.139 ve 4.140'da sunulmuştur. Hibrit sistemde çıkış suyunda ölçülen demir iyonları konsantrasyonlarının zamanla değişimleri OD1-OD2 için sırasıyla Şekil 4.141 ve 4.142'de, UF süzüntü akıplarının zamana karşı değişimleri ise Şekil 4.143'te gösterilmiştir.

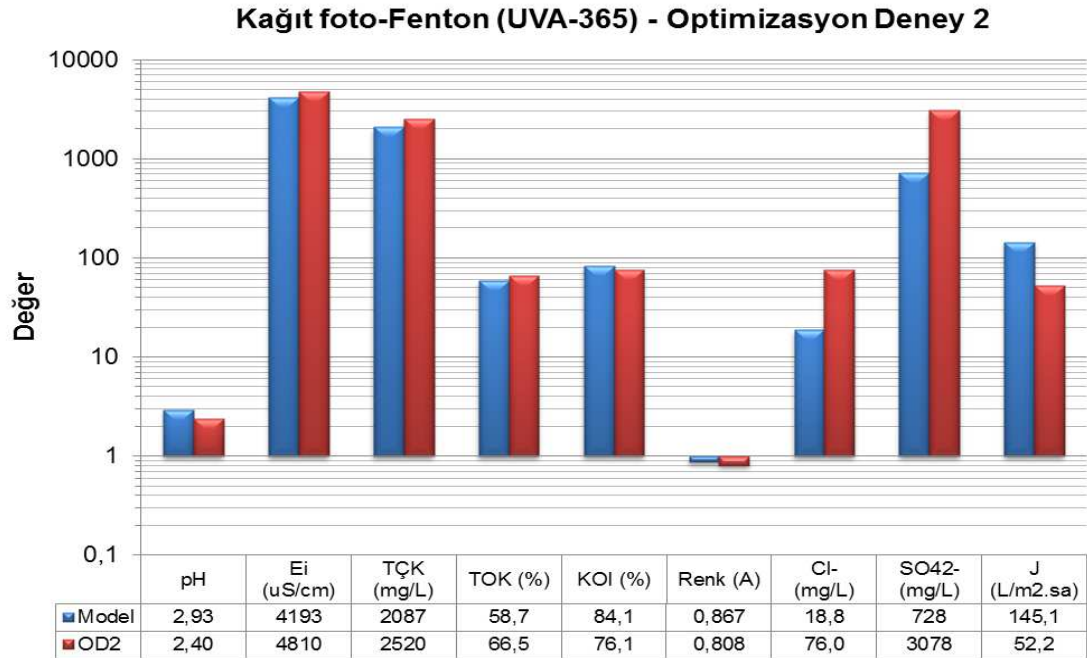
Tablo 4.42 İOP/batık UF hibrit proseste kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımı için belirlenmiş optimum proses işletme şartları

Giriş Değişkeni	Parametre	Açıklaması	Birim	Optimum işletme şartları			
				Kodlanmış değerler		Gerçek değerler	
				*OD1	*OD2	*OD1	*OD2
A	t	zaman	dak	2,95	2,83	44	42
B	T	sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	3,99	2,14	40,0	30,7
C	pH	pH	–	3,19	1,00	5,19	3,00
D	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$ oranı	g/g	1,56	1,42	10,5	9,4
E	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ oranı	g/g	1,66	1,75	5,6	6,0
F	v_H	İOP reaktörü havalandırma hızı	L/dk	2,30	3,04	2,3	3,0
G	v_{SC}	UF membranda su çekim hızı	rpm	1,00	1,01	55,0	55,1
H	M_T	Membran türü	–	3	2	UH050	UP020
J	$I_{\text{ş}}$	Işık şiddeti	W/cm^2	3	3	3 lamba	3 lamba
K	I_T	Işık türü	–	1	3	UVC-254	UVA-365

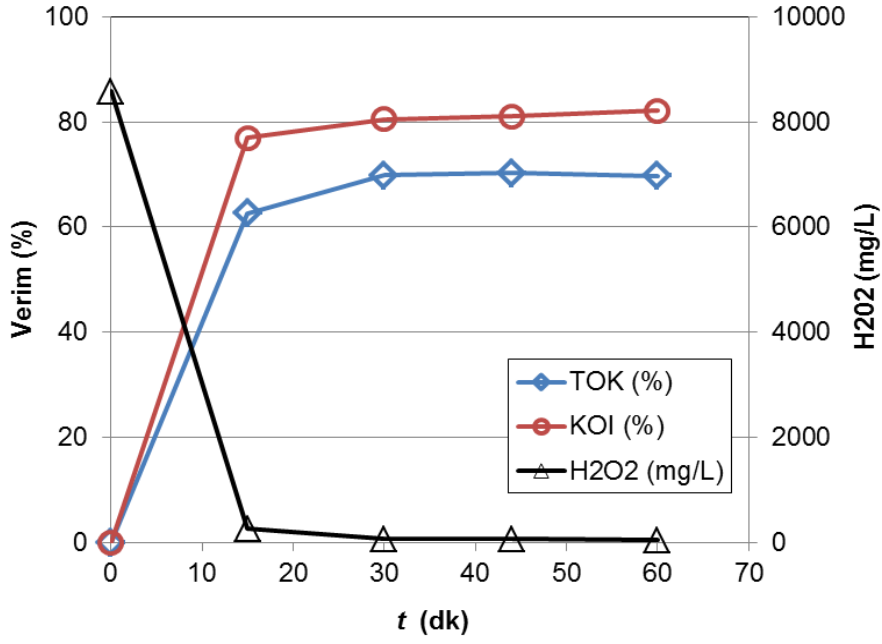
* OD kısaltması “*Optimizasyon Deneyi*” terimini ifade etmekte olup; OD1 ve OD2 deneyleri UVC-254 ve UVA-365 ışık kaynağı türleri için gerçekleştirilmiş deneylerdir. OD1 ve OD2 deneylerine ait optimum şartların arzu edilebilirlikleri sırasıyla 0.871 ve 0.906’ dır.



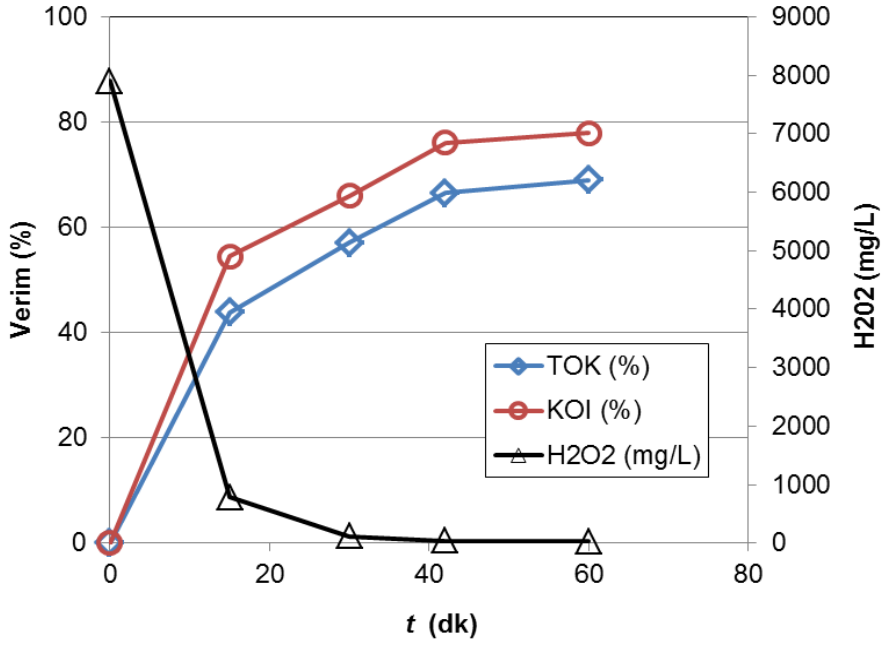
Şekil 4.137 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 1 için model ve deneysel performans sonuçları



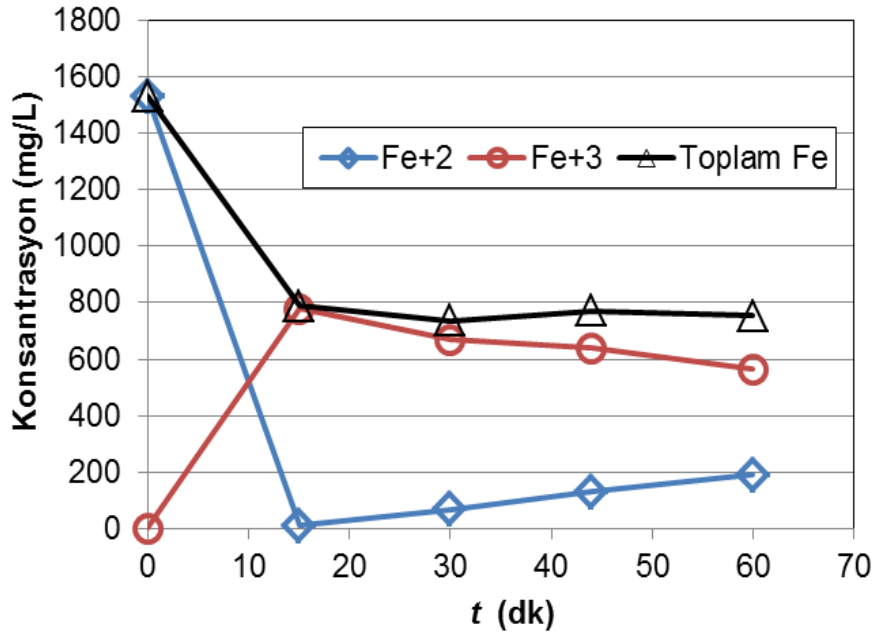
Şekil 4.138 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 2 için model ve deneysel performans sonuçları



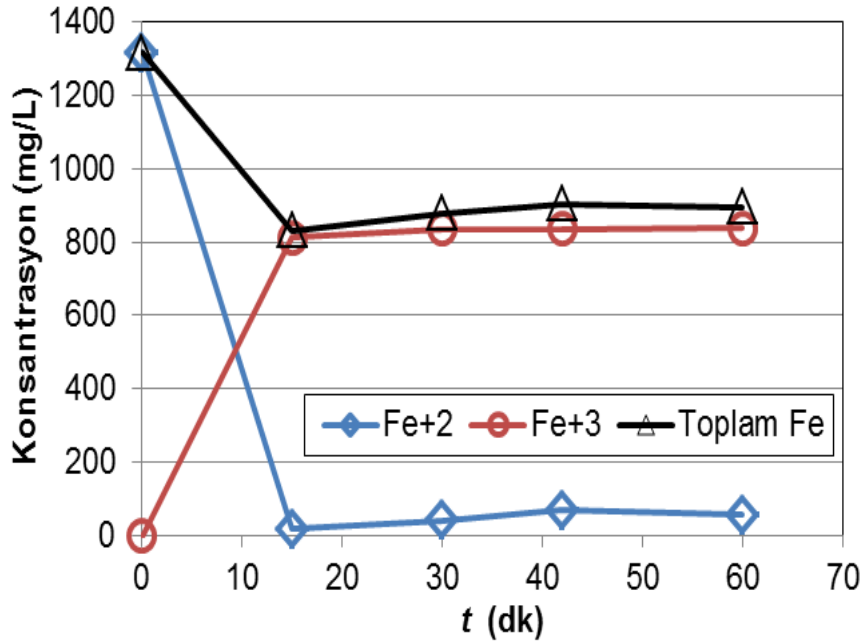
Şekil 4.139 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVC-254 kullanılan optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu



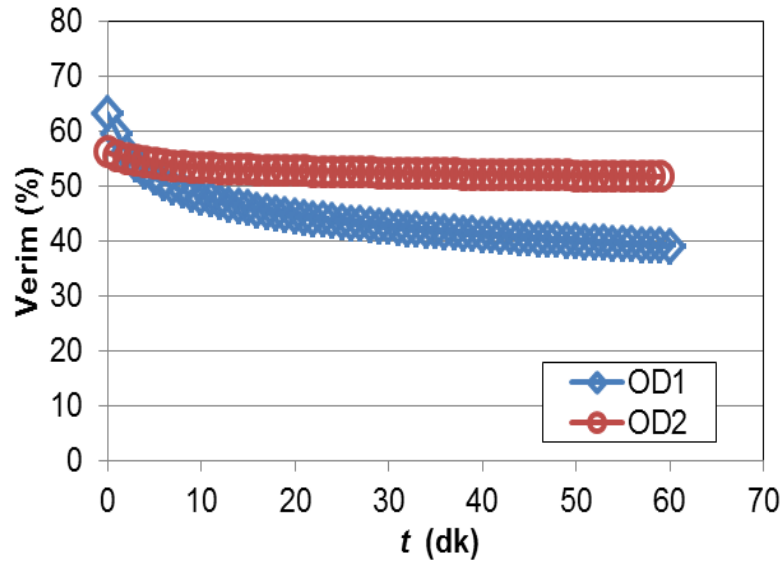
Şekil 4.140 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında UVA-365 kullanılan optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen TOK ve KOI giderim verimleri ve çıkış suyunda H₂O₂ konsantrasyonu



Şekil 4.141 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 1 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları



Şekil 4.142 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında optimum işletme deneyi 2 için zamana karşı değişen çıkış suyunda demir konsantrasyonları



Şekil 4.143 İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun foto-Fenton prosesiyle arıtımında her bir optimum işletme deneyi için zamana karşı değişen UF süzüntü akıları

44 ve 42 dakikalık işletimlerle gerçekleştirilen OD1 ve OD2 optimizasyon deneyleri sonuçları göstermektedir ki, UVC-254/UH050 ve UVA-365/UP020 ışık kaynağı/membran türü ikilileri için model ve deney sonuçları arasındaki uyumluluk özellikle organik madde giderimi yönünden oldukça yüksektir.

Model ve deney akıları arasında %100'den büyük fark oluşması, deneylerde elde edilen UF süzüntü akılarının sırasıyla 40.6 ve 52.2 L/m².sa'lere kadar düşmesi neticesinde; yüksek akı performansı sağlamaları nedeniyle, UVC-254 ışık türü için 21 no'lu, UVA-365 ışık türü için ise 27 no'lu Taguchi deneysel tasarım deneyleri tekrarlanarak, elde edilen sonuçlar Şekil 4.144-4.145'de verilmiştir.

21 ve 27 nolu deney tekrarlarından, kullanılan atıksuyun değişen kalite içeriğinin deney sonuçlarına etkisinin olduğu açıkça görülmektedir. OD1 optimizasyon deneyleri ile 21 no'lu deney tekrarı arasında organik madde giderim performanslarına bakıldığında giderim verimleri açısından yakın sonuçlar elde edilmekte, UF süzüntü akı değeri ise 90 L/m².sa'lere kadar çıkarak model akı değerine yakın sonuç vermektedir. 27 no'lu deney tekrarı ise 30 dakika sonunda süzüntü akısının değişmediği fakat organik madde giderim performansında bir düşüş olduğu görülmektedir. Buradan, deneylerde kullanılan atıksuyun değişen kalite içeriğine bağlı olarak TOK, KOİ ve *J* etkinliklerinin atıksuyla değiştiği sonucu açıkça görülmektedir.

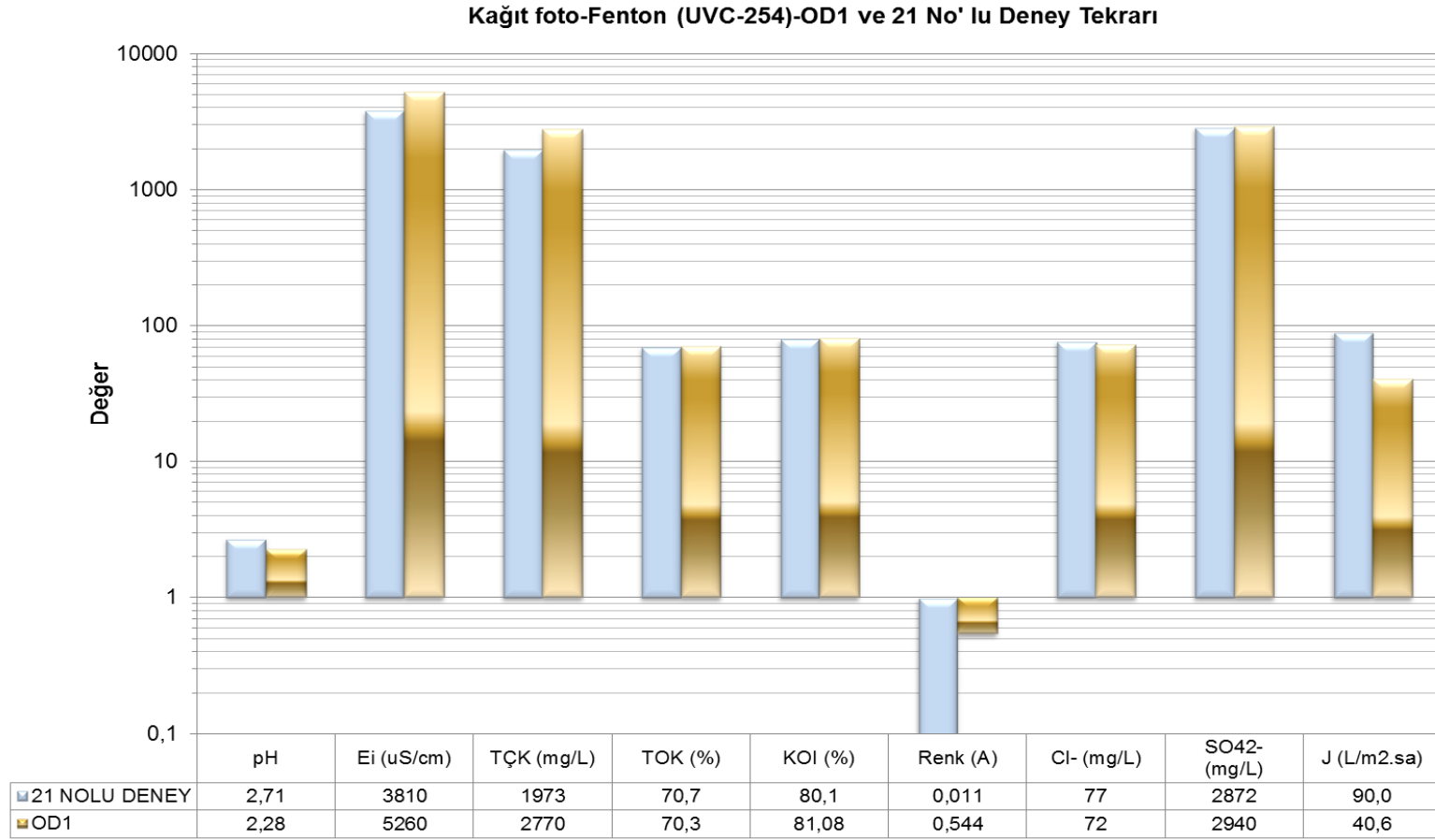
Sonuç olarak, Hibrit İOP/UF sistemde sürekli işletimli **UVC-254 destekli foto-Fenton oksidasyonda optimum işletme şartı 21 nolu Taguchi deneysel tasarımı iken, UVA-365 ışık kaynağında optimum işletme şartı OD2** dahilindeki şartlar olarak belirlenmiştir.

Deneysel tasarım çerçevesinde yürütülen kesikli hibrit İOP/batık UF deneyleri itibariyle, Fenton ve foto-Fenton destekli hibrit reaktör uygulamalarının, kağıt atıksuyunu optimum arıtma şartlarındaki deneysel performanslar Şekil 4.146'da topluca gösterilmiştir. Optimum sistem performanslarına göre, hibrit reaktörde organik madde gideriminin sırasıyla Fenton, UVA-Fenton ve UVC-Fenton destekli işletimle arttığı açıkça görülmektedir.

Çıkış suyunda önemli bir hidrojen peroksit kaybı olmaksızın, Fenton prosesi için 56 dakikada %64,0 TOK ve %74,9 KOİ giderimi elde edilirken, UVC-254 destekli foto-Fenton prosesinde 44 dakikada %70,7 TOK-%81,1 KOİ giderimi, UVA-365 için 42 dakikada %66.5 TOK ve %76,1 KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Her üç proseste UF süzüntü akılarına bakıldığında, UVA-365/UP020 ışık kaynağı/membran türü ikilisinde süzüntü akısı çok düşük olmasına rağmen, organik madde giderim verimleri yüksek çıkmıştır.

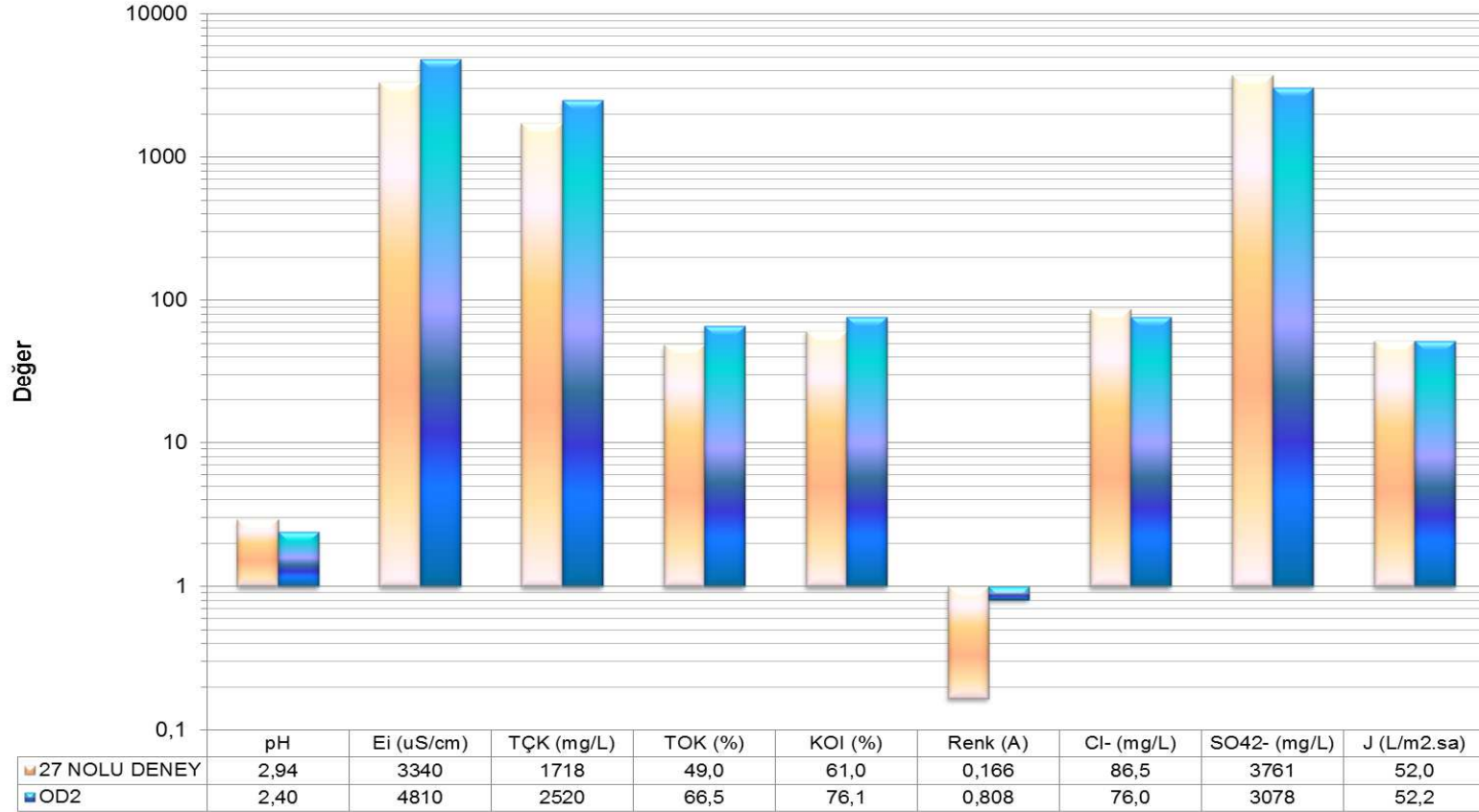
Tekstil endüstrisinde olduğu gibi, Fenton ve foto-Fenton proseslerde optimizasyonla azaltılmış kimyasal madde sarfiyatlarıyla birlikte; sürekli işletimli deneylerde sonraki adımlardaki membran proses konsantrelerinin hibrit reaktöre devriyle reaktöre gelecek toplam inorganik madde yükü çok fazla arttırılmadan konsantre atık minimizasyonu sağlanmış olacaktır.

Ancak, hibrit reaktöre konsantre geri devriyle kağıt atıksuyunda artacak organik ve inorganik yükün etkisiyle, sürekli işletimli hibrit reaktörde organik madde giderim verimi ve UF süzüntü akısında, optimum performanslardan bir miktar düşüşlerin gözlenebileceği değerlendirilmektedir.



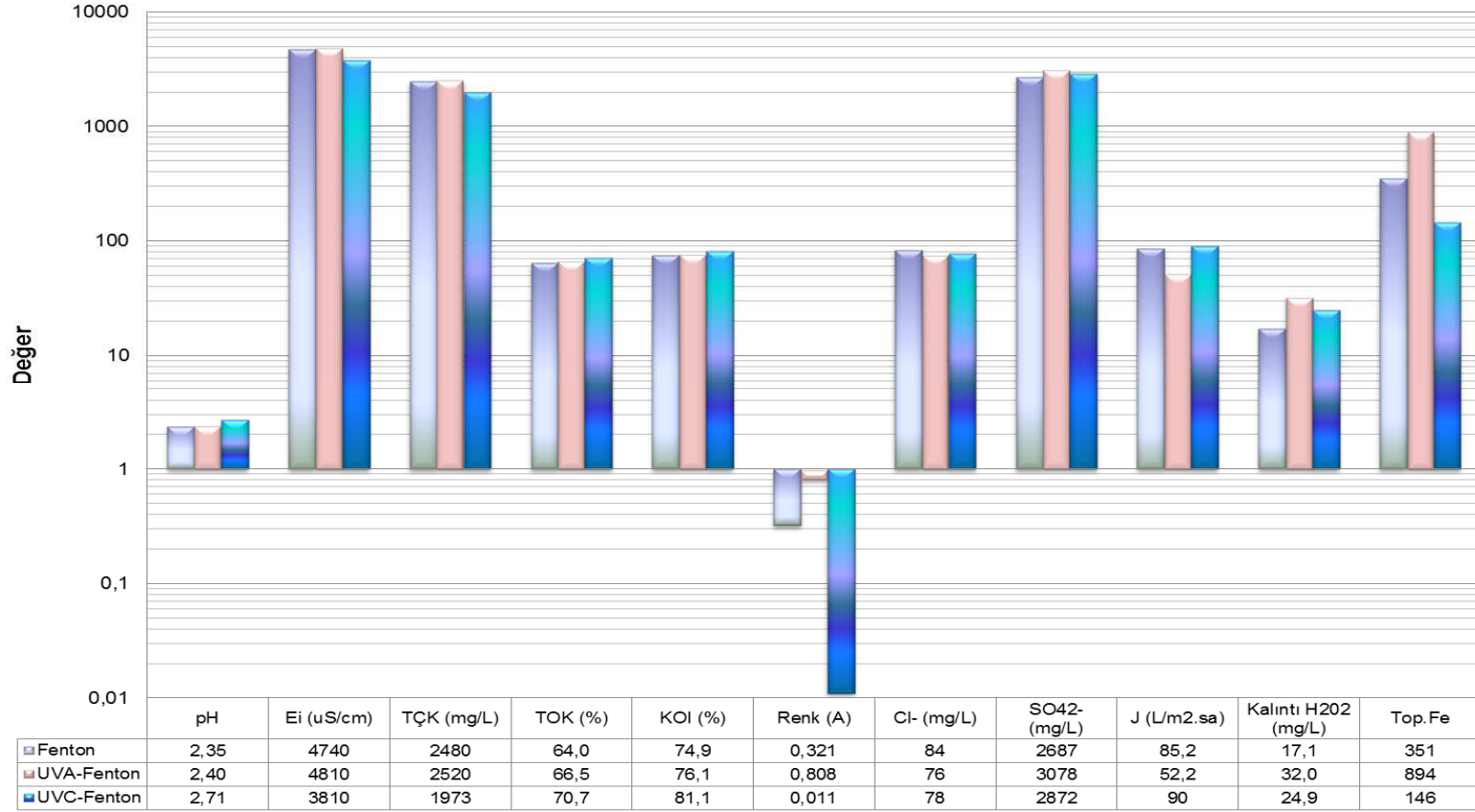
Şekil 4.144 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Foto-Fenton prosesiyle arıtımında aynı atıksuyla işletilen OD1 ve 21 no'lu tekrar deneyine ait performans sonuçları

Kağıt foto-Fenton (UVA-365)-OD 2 ve 27 No' lu Deney Tekrarı



Şekil 4.145 İOP/batık UF hibrit reaktörde tekstil atıksuyunun Foto-Fenton prosesiyle arıtımında aynı atıksuyla işletilen OD2 ve 27 no'lu tekrar deneyine ait performans sonuçları

Kağıt atıksuyu - Hibrit İOP/UF Optimum Performanslar



Şekil 4.146 Fenton ve foto-Fenton destekli İOP/batık UF hibrit reaktörde kağıt atıksuyunun optimum arıtım performansları

4.1.2.2 İOP/batık UF sonrası basınç sürücülü membran proseslerle arıtım

✓ **Tekstil atıksularının arıtımı**

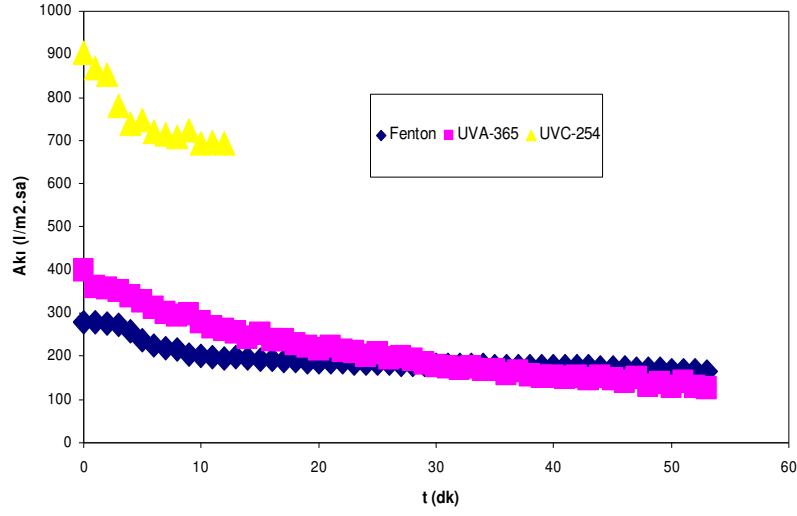
Projenin 1. aşamasında kurulumu ve devreye alma işlemleri tamamlanan 20 L kapasiteli İOP/batık UF hibrit reaktörü ile optimum şartlarda ardışık olarak gerçekleşen Fenton ve foto-Fenton deneylerinin öncesinde, proses bütününde, 3.3 alt iş paketi kapsamında, sürekli denemelerin yapılacağı büyük İOP/batık UF hibrit sisteminde kesikli olarak işletilen reaktördeki çalışma şartlarının aynısının oluşturulabilmesi için, küçük sistemdeki lamba, havalandırma hızı ve su çekim hızı değişkenleri baz alınarak, bu değişkenler büyük sisteme uyarlanmış ve ölçek benzeştirilmesi yapılmıştır. İOP/batık UF hibrit reaktörü ile ardışık şartlarda işletilen Fenton ve foto-Fenton prosesleri için optimum işletme sürelerinde (sırasıyla 60, 60 ve 41 dk) demir ve hidrojen peroksit ilavesi ile oksidasyon adımı gerçekleştirildikten sonra, UF membran yaklaşık %20-25 konsantre etme oranlarında işletilmiştir.

Tezgah üstü reaktörde olduğu gibi, büyük sistemde de Fenton prosesi için UH050, foto-Fenton prosesinde ise UVA-365 için UV150 ve UVC-254 için UH050 membranları kullanılmış ve proses sonu elde edilen süzüntü akı değerleri Şekil 4.147'de verilmiştir. Tekstil endüstrisi ham atıksuları ve UF süzüntü suyu kalite parametre sonuçları Tablo 4.50'de özetlenmiştir. Büyük sistem ile elde edilen süzüntülerin performans parametreleri Şekil 4.148'de özetlenmiş olup, en iyi performansın foto-Fenton UVC ile arıtımda 696,5 L/m² sa UF süzüntü akılarında %62,9 TOK ve %88,0 KOİ giderimi elde edilmiştir.

Sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde Fenton sonrasında elde edilen çıkış suları, $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$, TO olmak üzere 4 ayrı konfigürasyonda, 8'li Taguchi deneysel tasarım planlamasına tabi tutularak; deneysel sonuçların analizi, organik madde giderimi ve süzüntü akı değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

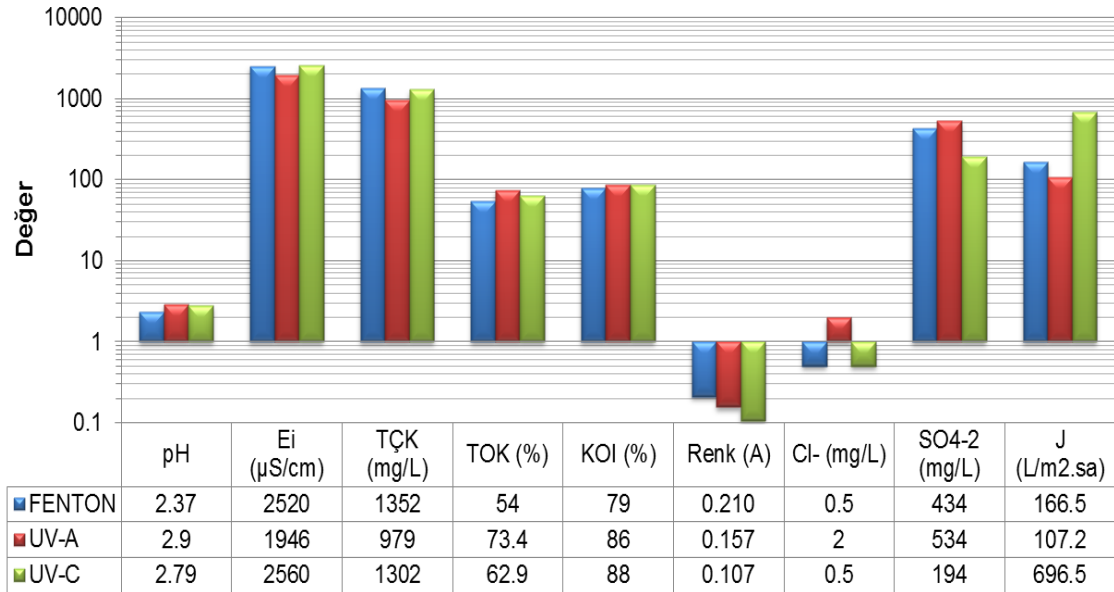
Sürekli İOP/batık UF hibrit reaktöründe ardışık şartlarda optimum işletme koşullarında uygulanan Fenton prosesi sonrasında elde edilen süzüntü suları ile filtrasyon deneyleri $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$, TO konfigürasyonları için ortak olarak yapılan deneysel tasarım çerçevesinde planlanmış ve yürütülmüştür. 8' li deneylerin proses performanslarının izlenmesi ise, pH, elektriksel iletkenlik (E_i), toplam çözünmüş katılar (TÇK), toplam organik karbon (TOK), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk, klorür, sülfat ve akı sonuç parametreleri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Bu doğrultuda, membran tipi (M_T), çapraz akış hızı (v), sıcaklık (T), membran geçiş basıncı (ΔP) olmak üzere 4 farklı değişkenin ve değişken seviyelerinin NF ve TO proseslerinin teknik performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir.



Şekil 4.147 Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımında Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) proseslerinde kullanılan UH050, UV150 ve UH050 membranlarına ait süzütü akıları

ÖNERİLEN BÜYÜK İOP/BATIK UF SİSTEMİ



Şekil 4.148 Tekstil atıksularının önerilen İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UV-A, UV-C) prosesleri ile arıtımı sonucunda elde edilen arıtım performansları

Tablo 4.43 Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UV-A, UV-C) prosesleri ile ardışık arıtımı sonucunda elde edilen analiz sonuçları

Parametre	İOP (Fenton)/UF(UH050)			İOP (foto-Fenton-UVA)/UF (UV150)			İOP (foto-Fenton-UVC)/UF(UH050)		
	Ham Atıksu	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)	Ham Atıksu	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)	Ham Atıksu	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)
pH	3,73	2,37	-	4,0	2,90	-	4,44	2,79	-
Ei ($\mu\text{S/cm}$)	917	2520	-174,8	897	1946	-116,9	969	2560	-164,2
TÇK (mg/L)	451	1352	-199,8	440	979	-122,5	476	1302	-173,5
TOK (mg/L)	322	148,10	54,0	388,7	103	73,4	351	130	62,9
KOI (mg/L)	1744	366,2	79,0	1912	268	86,0	1336	160	88,0
Renk (λ_{ort}) (abs)	0,081	0,210	-159,6	0,086	0,157	-82,2	0,086	0,107	-24,6
Cl^- (mg/L)	24,59	0,5	98,0	35,99	2,0	94,5	20,7	0,5	97,6
SO_4^{2-} (mg/L)	429	434	-1,2	482	534	-10,9	516	194	62,5
J ($\text{L/m}^2 \text{ sa}$)	166,5			107,2			696,5		

Deneysel tasarımında dikkate alınmış giriş değişkenleri ve seviyelerine ilişkin bilgiler ile sonuç değerleri $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$, TO konfigürasyonları için sırasıyla Tablo 4.44-4.47'de verilmiştir.

Organik madde giderimi ve süzüntü akı değerlerinin yanısıra sıcaklıkta dikkate alındığında, sürekli İOP/batık UF hibrit reaktöründe 60 dakika ardışık olarak işletilen Fenton prosesi sonrasında elde edilen çıkış suları sırasıyla NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 membran konfigürasyonları ile filtre edilmiştir. $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$ ve TO membranları için filtrasyon sırasında elde edilen süzüntü akı grafikleri Şekil 4.149'de verilmiştir.

Projenin 1. aşamasında belirlenerek, bu raporda her iki endüstriyel atıksu için optimum işletme şartları olarak Tablo 3' de verilen değerler dikkate alındığında, projede önerilen şekliyle yenilikçi İOP/batık UF hibrit reaktöründe tekstil endüstrisi atıksularının hibrit reaktörde Fenton prosesi ile arıtımında optimum sıcaklık $26,5^{\circ}\text{C}$ olarak kabul edildiğinden, ilave bir sıcaklık artışına gerek olmaması ve için her 4 konfigürasyon için de 3 numaralı deney şartının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın devamında, tekstil endüstrisi atıksuları sırasıyla foto-Fenton (UVA)/batık UF ve foto-Fenton (UVC)/batık UF sistemleri ile arıtılarak, elde edilen süzüntü akımları Fenton prosesinde uygulanan 8' li Taguchi deneysel tasarım sonuçlarından hareketle seçilen en uygun membranlar dikkate alınarak NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 konfigürasyonları ile filtrasyona tabi tutulmuştur. Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) için hibrit reaktörde yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen süzüntü akı grafikleri foto-Fenton (UVA) için Şekil 4.150'da, foto-Fenton (UVC) için ise Şekil 4.151'de verilirken, her iki proses için deney sonuçları ise Tablo 4.48 ve 4.49'daki gibidir.

Kesikli şartlarda tezgah üstü İOP/ batık UF membranında belirlenen optimum şartlar dikkate alındığında, Fenton prosesi 60 dakikalık oksidasyon süresinde $26,5^{\circ}\text{C}$ ' de işletilirken, foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) prosesleri sırasıyla 60 ve 41 dakikada 40°C ' de oksidasyona tabi tutulmuştur. Buradan hareketle önerilen sistemlerde sürekli şartlarda ardışık olarak işletilen İOP/ batık UF sistemi ile foto-Fenton proseslerinden elde edilen UF süzüntü suları, optimum sıcaklık dikkate alınarak 4 numaralı deney şartlarında NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 membran konfigürasyonları ile kesikli şartlarda Sterlitech sistemi ile filtrasyon deneyleri tamamlanmıştır.

Tablo 4.44 Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası $NF_{\text{gevşek}}$ membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B ν	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻	Y9 J
								Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	** $\lambda_{\text{ortalama}}$			
1	NP010	300	25	8	2,83	1541	765	321	-16,6	1336	-27,5	0,043	7	170	46,42
2	NP010	1000	40	12	2,51	2400	1222	420	-27	1600	-47	0,085	4,5	20,3	36,47
3	NFG	300	25	12	2,64	1617	810	130	51,9	168	60	0,011	12,5	457	53,05
4	NFG	1000	40	8	2,62	2072	1046	158	41,7	396	52	0,028	5	21	33,16
5	MPF-36	300	40	8	2,59	1395	694	122	39	338	46	0,015	10	18,9	13,26
6	MPF-36	1000	25	12	2,58	1538	767	116,93	45	348	48	0,028	7	154	16,58
7	CK3001	300	40	12	3,44	245	117	334	-22	1472	-44,9	0,017	3	16,2	13,26
8	CK3001	1000	25	8	2,88	454	224	583	-25	1472	-33,3	0,005	5,5	130	6,63

Tablo 4.45 Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası NF_{sıkı} membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

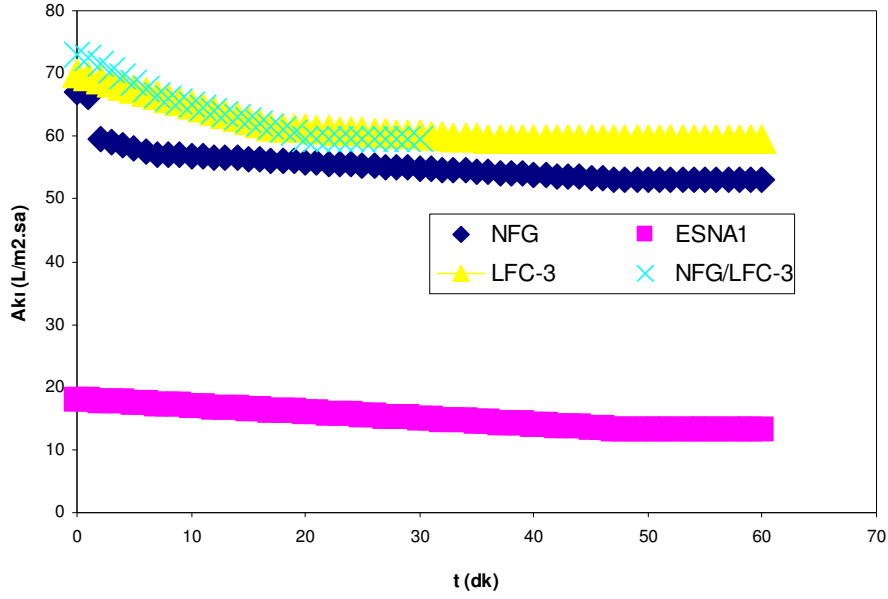
Deney No	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B ν	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻	Y9 J
								Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	** $\lambda_{ortalama}$			
1	NP030	300	25	12	2,94	935	456	330	-37,2	1144	-45	0,038	6	35	13,26
2	NP030	1000	40	20	2,68	1740	872	428	-41,3	1152	-49	0,066	5	20	13,26
3	ESNA1	300	25	20	3,24	298	142	19	80	74	91	0,003	<0,5	7,3	13,26
4	ESNA1	1000	40	12	2,67	765	374	21	75	156	80	0,001	<0,5	7,2	6,63
5	NF270	300	40	12	2,69	1206	601	75	72	80	78	0,007	12,7	7,3	72,95
6	NF270	1000	25	20	2,47	2035	1025	123	43,6	254	48	0,018	13	8,3	23,21
7	DS-5DK	300	40	20	2,81	818	398	65	80,9	206	79,9	0,002	10	7,7	66,31
8	DS-5DK	1000	25	12	2,61	1978	995	151	31,7	360	37,5	0,057	6	7,2	19,89

Tablo 4.46 Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası $NF_{\text{gevşek}}/TO$ filtrasyonunda TO membran için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

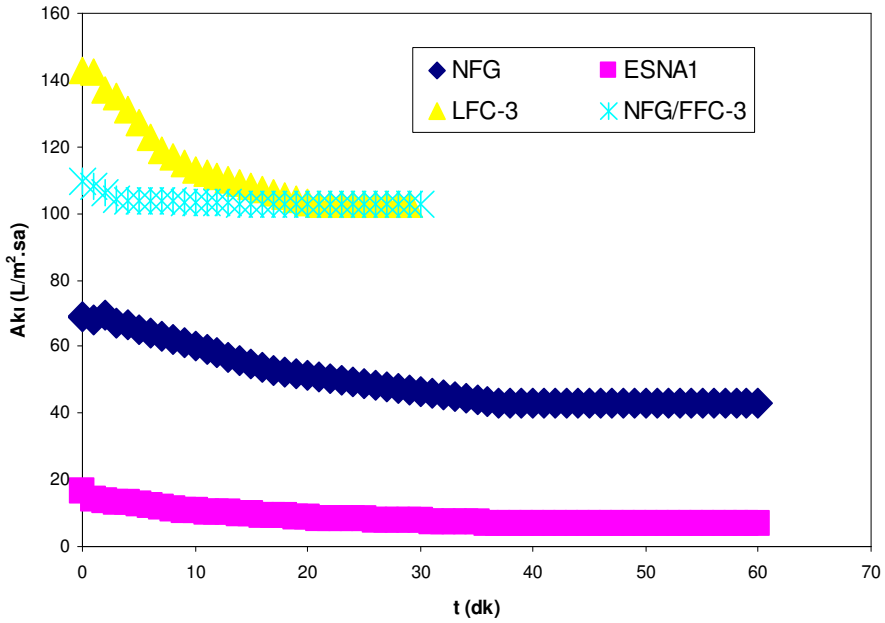
Deney No	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B ν	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl^-	Y8 SO_4^{2-}	Y9 J
								Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	** $\lambda_{\text{ortalama}}$			
1	TFC-HR	300	25	20	3,09	797	386	69	17,9	164	20,4	0,016	2,2	10	139,26
2	TFC-HR	1000	40	40	3,82	148	70	30	70,1	76	75	0,011	2	4,9	66,31
3	LFC-3	300	25	40	4	133	64	25	74,7	42	82,5	0	1,8	4,8	59,68
4	LFC-3	1000	40	20	3,61	220	105	29	66	74	80,4	0,009	2,3	4,4	23,21
5	CPA-3	300	40	20	3,6	209	99	29	64,4	56	68,9	0,009	2,2	4	33,16
6	CPA-3	1000	25	40	3,12	748	365	60	20	146	24,5	0,003	3	9,4	36,47
7	BW30	300	40	40	3,19	606	294	59	26	123	46,4	0	3,5	8,6	59,68
8	BW30	1000	25	20	3,13	739	362	63	10,2	200	14,5	0,005	4	9,5	56,37

Tablo 4.47 Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası TO membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

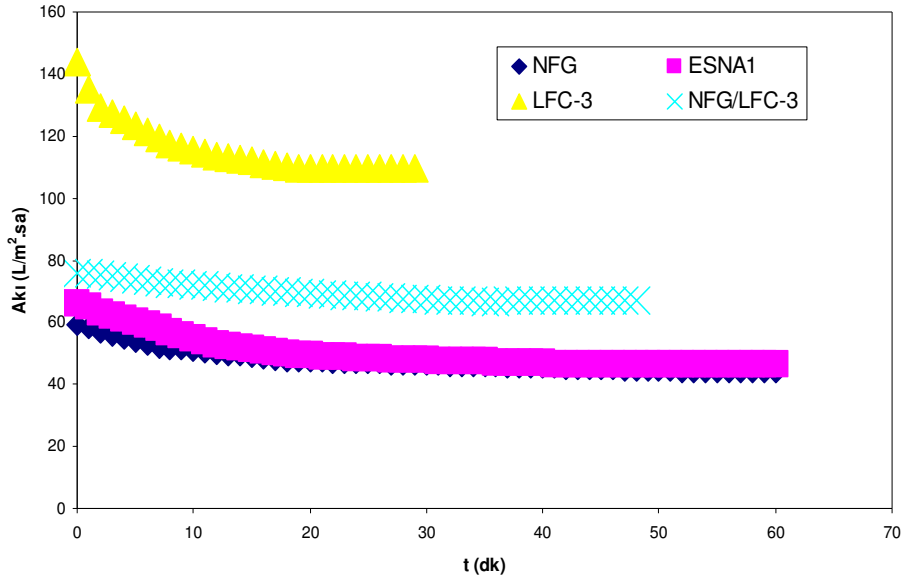
Deney No	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B v	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl ⁻	Y8 SO ₄ ²⁻	Y9 J
								Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	** $\lambda_{ortalama}$			
1	TFC-HR	300	25	20	3,01	967	476	81	63,2	168	67,7	0,033	6,2	4,2	23,21
2	TFC-HR	1000	40	40	3,26	443	213,3	51	75,1	72	83,9	0,006	0,5	4,4	13,26
3	LFC-3	300	25	40	4,01	96	40,9	26	91,6	45	93,5	0	0,5	4,4	53,05
4	LFC-3	1000	40	20	3,97	167	79,5	40	80,6	80	84,4	0,002	0,5	4,7	19,89
5	CPA-3	300	40	20	3,7	193	92	49	75,6	78	80,1	0,003	0,5	4,1	13,36
6	CPA-3	1000	25	40	3,46	335	161,8	47	74,7	86	80,5	0,002	0,5	4,3	13,26
7	BW30	300	40	40	3,36	270	129,2	50	80,6	74	86,7	0	0,5	4	33,16
8	BW30	1000	25	20	3,18	645	312	75	63,2	134	67,7	0,001	0,5	4	13,26



Şekil 4.149 Tekstil atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde Fenton prosesi sonrasında elde edilen süzüntü akımlarında en uygun bulunan $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$ ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri



Şekil 4.150 Tekstil atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde foto-Fenton (UVA-365) prosesi sonrasında elde edilen süzüntü akımlarında en uygun bulunan $NF_{\text{gevşek}}$, $NF_{\text{sıkı}}$, $NF_{\text{gevşek}}/TO$ ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri



Şekil 4.151 Tekstil atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde foto-Fenton (UVC-254) prosesi sonrasında elde edilen süzüntü akımlarında en uygun bulunan $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}/TO$ ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri

Tablo 4.44-4.49 arasında verilen deney sonuçlarından, önerilen sistemlerin yenilikçi İOP/batık UF reaktörü ile optimum şartlarda Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) oksidasyonu sonrasında UF süzüntü sularının tezgah üstü Sterlitech membran sistemi ile $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}/TO$, TO konfigürasyonlarında filtrasyonu, organik madde giderimi ve süzüntü akısı değerleri dikkate alınarak değerlendirildiğinde, 4 membran konfigürasyonu için de LFC-3 ters osmoz membranının en iyi olduğu görülmektedir.

Fenton prosesi sonrasında LFC-3 ters osmoz membranı ile yapılan 3 numaralı deney şartlarında $53,05 \text{ L/m}^2 \text{ sa}$ süzüntü akısında TOK ve KOİ' de sırasıyla %91,6 ve %93,5 giderim verimleri elde edilmiş olup, çıkış değerleri sırasıyla 26 mg/L ve 45 mg/L ' dir.

Foto-Fenton (UVA-365) prosesinde ise sıcaklıktan dolayı $40 \text{ }^\circ\text{C}$ uygulanarak gerçekleştirilen filtrasyon sonucunda LFC-3 membran ile $102,79 \text{ L/m}^2 \text{ sa}$ süzüntü akısında TOK ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %95,3 ve %97,7 iken çıkış değerleri sırasıyla 12 mg/L ve 14 mg/L olarak bulunmuştur. Son olarak, foto-Fenton (UVC-254) prosesinde ise LFC-3 filtrasyonunda TOK ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %88 ve %89 olarak bulunmuş ve $109,42 \text{ L/m}^2 \text{ sa}$ süzüntü akısında çıkış TOK ve KOİ değeri sırasıyla 18 mg/L ve 70 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.48 Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (foto-Fenton (UVA-365) prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 konfigürasyonları ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

Proses	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B ν	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl^-	Y8 SO_4^{2-}	Y9 J
								Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	** $\lambda_{ortalama}$			
NF _{sıkı}	ESNA1	1000	40	20	3,64	257	116	25,9	83,0	89,6	86,7	0,002	27,64	4,63	6,63
NF _{gevşek}	NFG	1000	40	12	2,95	1716	859	115	39,2	178	72,2	0,043	8,49	43,47	43,10
NF _{gevşek} /TO	LFC-3	1000	40	40	4,73	66	32	11	89,6	51	92,0	0,001	8,48	4,57	102,79
TO	LFC-3	1000	40	40	5,86	191	91	12	95,3	14	97,7	0,005	13,0	4,74	102,79

Tablo 4.49 Tekstil atıksularının önerilen büyük İOP (foto-Fenton (UVC-254) prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 konfiğürasyonları ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

Proses	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B ν	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl^-	Y8 SO_4^{2-}	Y9 J
								Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	Çıkış Suyu	Giderim verimi (%)	$\lambda_{ortalama}$			
NF _{sıkı}	ESNA1	1000	40	20	3,32	447	216	27	86	134	89	0,007	10,74	7,34	46,42
NF _{gevşek}	NFG	1000	40	12	2,76	1563	777	68	49	204	58	0,008	31,49	7,83	44,11
NF _{gevşek} /TO	LFC-3	1000	40	40	2,50	921	452	9	87	33	88	0,002	5,0	7,84	66,97
TO	LFC-3	1000	40	40	2,62	371	178	18	88	70	89	0,014	8,24	25,98	109,42

NF_{gevşek}/TO konfigürasyonu ele alındığında, TO prosesi ile yakın TOK ve KOİ giderim verimleri gözlenirken, çıkış TOK değeri 9 mg/L, KOİ değeri 33 mg/L olarak bulunmuş olmasına rağmen, daha düşük süzüntü akı değeri (66,97 L/m² sa) görüldüğü için TO ile yapılan deney şartı daha uygun bulunmuştur.

Tekstil endüstrilerinde arıtılmış suyun proste yeniden kullanımı için Bes-Pia et al., (2010) tarafından verilen kabul edilebilir sınır değerler (pH: 6-8, iletkenlik <2.5 mS/cm, renk 0, bulanıklık 10 NTU, KOİ 25 mg/L, TÇK <1250 mg/L, sertlik 10 mg CaCO₃²/L) dikkate alındığında, önerilen sistemle İOP/batık UF prosesi sonrasındaki LFC-3 membranın en iyi TO membran konfigürasyonu olduğu, KOİ parametresi haricinde, tüm diğer parametreleri açısından elde edilen arıtılmış süzüntü suyunun iyi kalitede olduğu ve özellikle de geri kazanım/yeniden kullanım için kabul edilebilir seviyelerde değerler aldığı sonucuna varılmıştır. Buradan önerilen sistem ile atık minimizasyonu yapılmak suretiyle sistemin sürekli işletiminin sağlanabileceği görülmektedir.

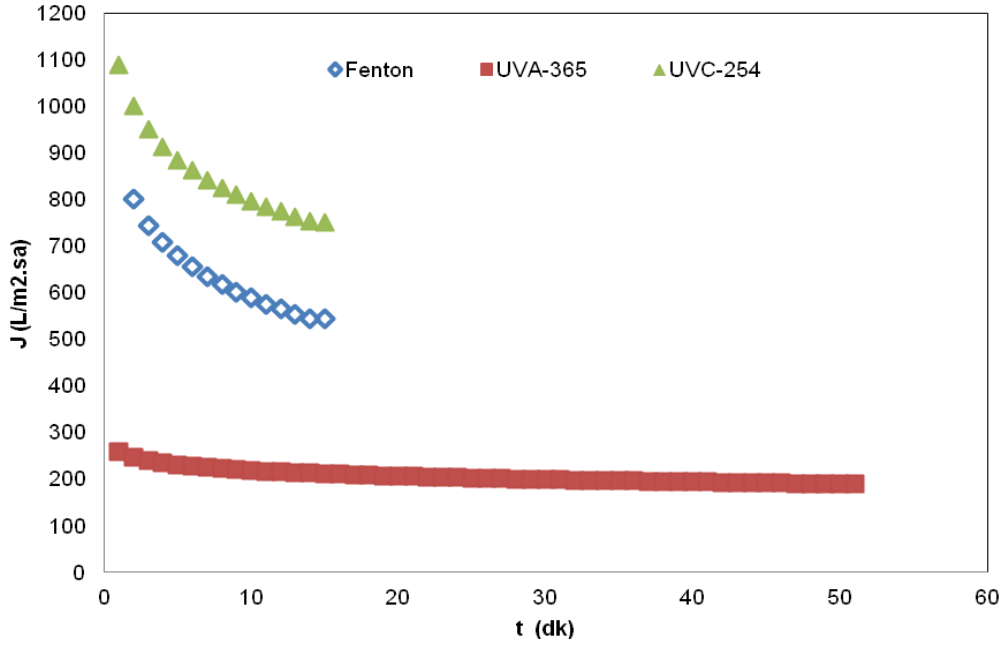
✓ **Kağıt atıksularının arıtımı**

Büyük hibrit İOP/batık UF reaktöründe ardışık olarak işletilen sistemde Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) deneyleri için daha önce belirlenen H₂O₂/TOK ve H₂O₂/Fe²⁺ oranları dahilinde optimum işletme şartlarında sırasıyla 56, 42 ve 60 dakikalık sürelerde, demir ve hidrojen peroksit ilavesi ile oksidasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra, tekstil atıksuyu ile yürütülen deneylerde olduğu gibi UF membran yaklaşık %20-25 konsantre etme oranlarında işletilmiştir.

Küçük tezgah üstü reaktörde olduğu gibi, büyük sistemde de Fenton prosesi için UH050, Foto-Fenton prosesinde ise UVA-365 için UP020 ve UVC-254 için UH050 membranları kullanılmış ve proses sonu elde edilen süzüntü akı değerleri Şekil 4.152'de verilmiştir.

Her üç proses uygulaması için kullanılan kağıt endüstrisi ham atıksuyu farklı zaman aralıklarında temin edildiği için farklı karakterizasyon değerlerine sahip olmakla birlikte, Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) prosesleri için yenilikçi reaktör ile arıtım sonucunda elde edilen tüm UF çıkış suyu kalite değerleri Tablo 4.50'deki gibidir

Büyük sistem ile elde edilen süzüntü değerleri performans parametreleri açısından özetlendiği haliyle, Şekil 4.153'da verilmiş olup, en iyi performansın Fenton prosesi ile arıtımda 530 L/m² sa UH050 UF membran süzüntü akısında %73,9 TOK ve %86,1 KOİ giderimi (TOK: 180 mg/L, KOİ: 560 mg/L) sağlandığı görülmektedir.

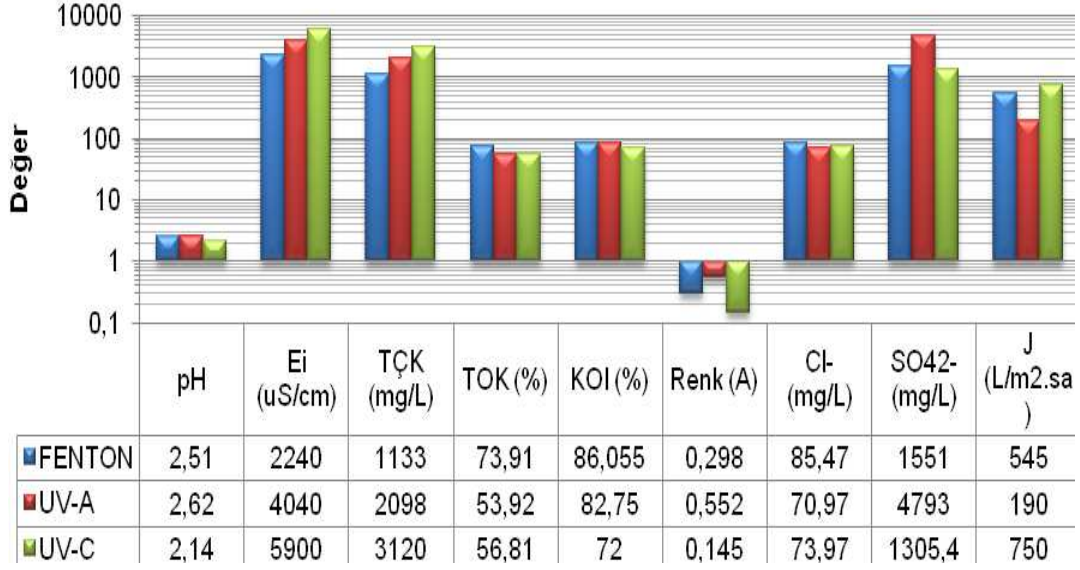


Şekil 4.152 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımında Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) proseslerinde kullanılan UH050, UP020,UH050 membranlarına ait süzüntü akıları

Tablo 4.50 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) prosesleri ile ardışık arıtımı sonucunda elde edilen analiz sonuçları

Parametre	Birim	İOP (Fenton)/UF(UH050)			İOP (foto-Fenton-UVA)/UF(UP050)			İOP (foto-Fenton-UVC)/UF(UH050)		
		Ham giriş	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)	Ham giriş	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)	Ham giriş	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)
pH	-	3,89	2,51	-	2,93	2,62	-	4,89	2,14	-
Ei	µS/cm	2370	2240	5,5	1343	4040	-200,8	2085	5900	-183
TÇK	mg/L	1202	1133	5,7	2630	2098	20,2	1053	968	8,07
TOK	mg/L	690	180	73,9	561,50	258,7	53,93	556,75	240,44	56,8
KOI	mg/L	4016	560	86,1	2296	396	82,8	1536	430	72,0
Renk ($\lambda_{ortalama}$)	abs	0,364	0,298	18,1	0,649	0,553	14,8	0,591	0,146	75,3
Cl ⁻	mg/L	85,47	49,47	42,12	79,97	70,97	11,3	79,97	73,97	7,5
SO ₄ ²⁻	mg/L	1075	1173	-9,12	494,66	479,3	8,69	554	198	64,26
J	L/m ² h	530			191,2			735		

ÖNERİLEN BÜYÜK İOP/BATIK UF SİSTEMİ



Şekil 4.153 Kağıt atıksularının önerilen İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) prosesleri ile arıtımı sonucunda elde edilen arıtım performansları

Tekstil endüstrisi atıksuları ile yürütülen deneylerde olduğu gibi, kağıt endüstrisi atıksularında da sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde Fenton sonrasında elde edilen çıkış suları, $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}/TO$, TO olmak üzere 4 ayrı konfigürasyonda, 8' li Taguchi deneysel tasarım planlamasına tabi tutularak; deneysel sonuçların analizi, organik madde giderimi ve süzüntü akı değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Sürekli İOP/batık UF hibrit reaktöründe ardışık şartlarda optimum işletme koşullarında uygulanan Fenton prosesi sonrasında elde edilen süzüntü suları ile filtrasyon deneyleri $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}/TO$, TO konfigürasyonları için ortak olarak yapılan deneysel tasarım çerçevesinde planlanmış ve yürütülmüştür. 8' li deneylerin proses performanslarının izlenmesi ise, pH, elektriksel iletkenlik (E_i), toplam çözünmüş katılar (TÇK), toplam organik karbon (TOK), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk, klorür, sülfat ve akı sonuç parametreleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, membran tipi (M_T), çapraz akış hızı (v), sıcaklık (T), membran geçiş basıncı (ΔP) olmak üzere 4 farklı değişkenin ve değişken seviyelerinin NF ve TO proseslerinin teknik performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel tasarımında dikkate alınmış giriş değişkenleri ve seviyelerine ilişkin bilgiler ile sonuç değerleri $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}/TO$, TO konfigürasyonları için sırasıyla Tablo 4.51, 4.52, 4.53 ve 4.54'de verilmiştir.

Tablo 4.51 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası NF_{gevşek} membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B v	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl^-	Y8 SO_4^{2-}	Y9 J
								Çıkış	Rejeksiyon	Çıkış	Rejeksiyon	**ortalama			
1	NP010	300	25	8	3,24	4,38	2,27	451,92	-23,54	1288	-8,97	0,488	44,98	1567,06	53,05
2	NP010	1000	40	12	3,12	4,86	2,55	464,28	-20,78	1198	-35,52	0,409	62,48	1787,02	56,37
3	NFG	300	25	12	3,18	4,33	2,225	314,56	-0,63	714	6,05	0,410	64,97	1375,13	26,53
4	NFG	1000	40	8	3,11	5,07	2,66	331,55	-4,78	850	2,30	0,273	44,98	1738,58	21,40
5	MPF-36	300	40	8	2,99	5,98	3,16	312,64	10,59	668	22,86	0,251	54,98	2160,09	49,74
6	MPF-36	1000	25	12	3,16	4,48	2,34	339,95	-0,56	848	-8,16	0,403	62,48	1577,84	59,38
7	CK3001	300	40	12	3,18	2,147	1,07	183,66	42,17	568	34,41	0,017	24,99	256,767	13
8	CK3001	1000	25	8	3,1	3,01	1,54	231,98	33,95	746	13,86	0,029	62,48	1588,62	6,63

Tablo 4.52 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası NF_{sıkı} membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B v	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl^-	Y8 SO_4^{2-}	Y9 J
								Çıkış	Rejeksiyon	Çıkış	Rejeksiyon	** $\lambda_{ortalama}$			
1	NP030	300	25	12	3,28	4140	2155	389,13	-18,34	1378	-10,77	0,454	84,97	1664,10	33,16
2	NP030	1000	40	20	3,24	4340	2260	407,61	-29,06	1338	-14,55	0,298	74,97	1806,43	39,79
3	ESNA1	300	25	20	3,31	2790	1423	231,10	21,02	718	36,12	0,249	74,97	1743,89	6,63
4	ESNA1	1000	40	12	AKI DÜŞÜK OLDUĞU İÇİN SÜZÜNTÜ NUMUNESİ TOPLANAMAMIŞTIR										3,32
5	NF270	300	40	12	3,31	2590	1317	208,52	46,10	704	48,14	0,048	64,97	536,24	63,00
6	NF270	1000	25	20	3,1	4210	2190	255,45	12,80	728	33,58	0,237	74,97	1060,28	26,53
7	DS-5DK	300	40	20	3,17	3330	1713	197,89	35,19	680	32,81	0,080	69,97	749,74	29,84
8	DS-5DK	1000	25	12	3,1	4660	2440,00	254,32	16,74	742	38,37	0,256	80,97	1526,08	43,10

Tablo 4.53 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası $NF_{\text{gevşek}}$ /TO filtrasyonunda TO membran için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A	B	C	D	Y1	Y2	Y3	Y4		Y5		Y6	Y7	Y8	Y9
	M_T	ν	T	ΔP	pH	E_i	TÇK	TOK		KOI		renk	Cl^-	SO_4^{2-}	J
							Çıkış	Rejeksiyon	Çıkış	Rejeksiyon	** $\lambda_{\text{ortalama}}$				
1	TFC-HR	300	25	20	2,31	2119	1067	130,75	39,03	444	39,23	0,042	12,49	598,788	18,00
2	TFC-HR	1000	40	40	2,66	1041	512	182,15	16,71	556	31,86	0,035	0	309,82	39,79
3	LFC-3	300	25	40	3,19	292	140	97,29	56,24	392	57,56	0,034	0	148,078	17,62
4	LFC-3	1000	40	20	2,47	1720	862	140,02	28,12	496	28,1	0,031	0	603,101	19,89
5	CPA-3	300	40	20	2,31	3230	1662	98,21	54,28	364	61,44	0,036	0	484,493	9,95
6	CPA-3	1000	25	40	2,39	2051	1035	140,65	45,16	548	39,91	0,032	0	163,175	19,89
7	BW30	300	40	40	3,17	296	141,9	131,8	46,46	700	30,00	0,031	0	310,75	33,16
8	BW30	1000	25	20	2,99	420	202	94,56	59,00	360	42,50	0,030	0	345,12	24,32

Tablo 4.54 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası TO membran ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

Deney No	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B v	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl^-	Y8 SO_4^{2-}	Y9 J
								Çıkış	Rejeksiyon	Çıkış	Rejeksiyon	** $\lambda_{ortalama}$			
1	TFC-HR	300	25	20	3,8	751	367	186,89	27,39	352	60,00	0,017	0	136,86	19,89
2	TFC-HR	1000	40	40	3,67	1163	575	119,82	50,68	554	33,09	0,028	4,90	924,419	11,61
3	LFC-3	300	25	40	3,83	781	382	119,36	49,05	412	36,42	0,023	0	154,118	3,32
4	LFC-3	1000	40	20	3,86	352	721	131,42	46,72	578	30,19	0,020	0	142,041	9,95
5	CPA-3	300	40	20	3,26	2320	1177	73,81	71,81	392	55,66	0,019	0	387,882	9,95
6	CPA-3	1000	25	40	3,64	911	447	108,41	55,69	348	66,02	0,019	0	81,6592	13,26
7	BW30	300	40	40	3,26	2082	1051,00	88,95	71,10	242	72,99	0,016	14,99	259,355	26,53
8	BW30	1000	25	20	3,04	4370	2280,00	110,89	54,62	534	22,38	0,028	74,97	508,215	13,26

Tablo 4.52 'da verildiği üzere kağıt atıksuyunun önerilen büyük İOP (Fenton prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası $NF_{sıki}$ membran ile filtrasyonu için yapılan 8' li Taguchi deneylerinde 4 numaralı deney şartlarında yürütülen deneylerde, ESNA membranı ile filtrasyon sonucundaki süzüntü akı değeri $3,32 \text{ L/m}^2\text{sa}$ ile çok düşük seviyelerde olmasından dolayı, sonuç parametrelerinin analizlerinde yeterli süzüntü numunesi toplanamadığı için analizler yapılamamıştır.

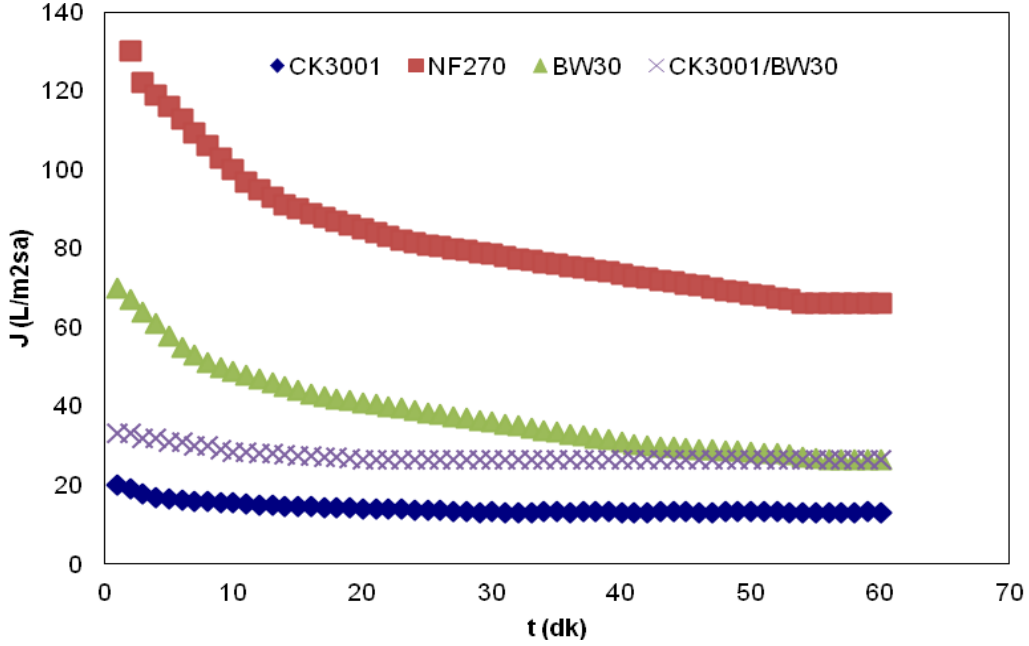
Organik madde giderimi ve süzüntü akı değerleri dikkate alındığında, sürekli İOP/batık UF hibrit reaktöründe 56 dakika ardışık olarak işletilen Fenton prosesi sonrasında elde edilen çıkış suları farklı membran konfigürasyonlarında 8' li Taguchi deneylerine tabi tutulmuş ve sırasıyla Tablo 4.51-4.54'de verildiği şekliyle, sırasıyla 7, 5, 8 ve 7 numaralı deney şartları ile kullanılan CK3001, NF270, CK3001/BW30, BW30 membran konfigürasyonlarının en iyi organik madde giderimi ile süzüntü akı değerlerini sağladığı sonucuna varılmıştır.

Kağıt endüstrisi atıksularının yenilikçi İOP/MP reaktörü ile arıtımında optimum işletme şartları dikkate alındığında, projede önerilen şekliyle büyük İOP/batık UF hibrit reaktöründe kağıt endüstrisi atıksularının Fenton prosesi ile arıtımında optimum sıcaklık $39.1 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğundan, ilave bir sıcaklık artışına gerek olmadan $NF_{gevşek}$, $NF_{sıki}$ ve TO için CK3001, NF270 ve BW30 membranların verilen deney şartlarında $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ' lik sıcaklıkta en iyi giderim verimini sağladıkları görülmüştür. Ancak, CK3001/BW30 kombinasyonu olan $NF_{gevşek}/TO$ membran konfigürasyonunda $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ' ye göre çok daha düşük akı değerleri gözlenmesine karşın, organik madde giderim verimleri daha yüksek bulunduğundan, Tablo 4.53'da verildiği üzere $NF_{gevşek}/TO$ konfigürasyonunda 8 numaralı deney seti en iyi performansı veren deney seti olarak kabul edilmiştir.

Benzer sonuç Tablo 4.52'da da görülmekle birlikte, 7 numaralı deney şartlarında DS-5DK membran ile yapılan filtrasyon deneylerinde çıkış TOK ve KOİ değerleri daha düşük olmasına karşın 5 numaralı deney şartlarındaki NF270 membran ile elde edilen $63 \text{ L/m}^2 \text{ sa}$ ' lik yüksek süzüntü akısından dolayı, Fenton prosesi sonrasında $NF_{sıki}$ membran olarak NF270 membran en iyi performansı veren membran olarak kabul edilmiştir. Aynı durum $NF_{gevşek}/NK_{sıki}$ membran konfigürasyonunda da görülmektedir. CK3001 $NF_{gevşek}$ membran ile elde edilen çıkış süzüntü suları, 3 numaralı deney şartlarında LFC-3 membrandan, 8 numaralı deney şartlarında BW30 membrandan geçirilmiş ve çıkış değerleri incelendiğinde, TOK ve KOİ giderimlerinin yakın değerler olmasına karşın, daha yüksek süzüntü akısı elde edilen BW30 membranın kullanıldığı 8 numaralı deney şartı en iyi performansın elde edildiği deney kombinasyonu olarak belirlenmiştir.

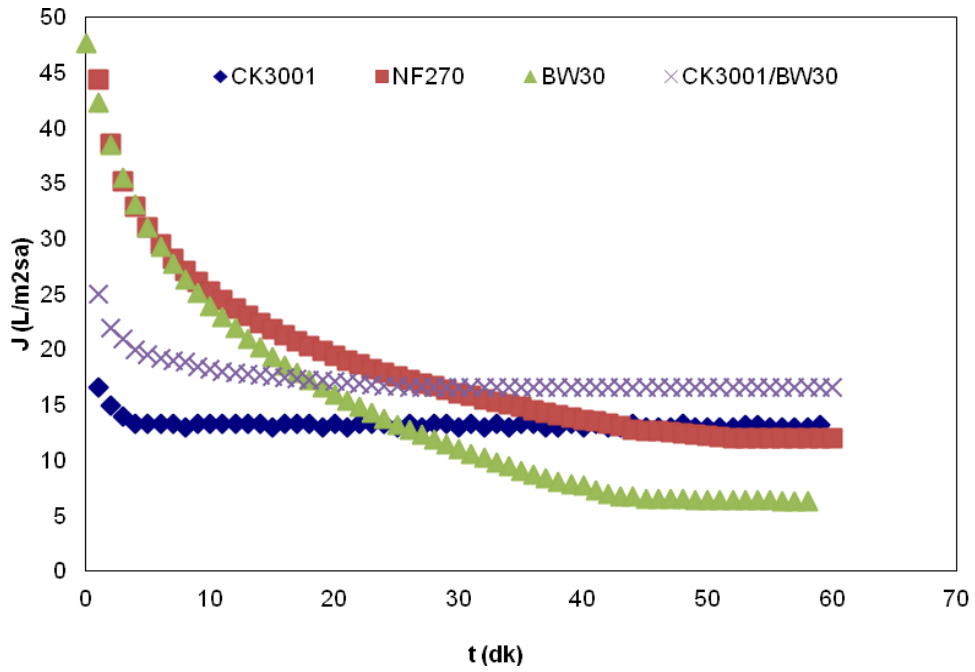
Sonuç olarak, en iyi performanların sağlandığı CK3001, NF270, CK3001/BW30, BW30 membran konfigürasyonları için filtrasyon sırasında elde edilen süzüntü akı grafikleri Şekil

4.154'da verilmiş olup, ham kağıt atıksuyunun büyük İOP/batık UF reaktöründe Fenton prosesi ile arıtımı sonrasında çıkış sularının membran filtrasyonunda en iyi membran konfigürasyonu veren membran BW30 TO membran olup, 26,53 L/m²sa' lik süzüntü akısında, deney sonunda %71,1 TOK giderimi ile çıkış TOK değeri 88,95 mg/L' ye, %72,99' luk KOİ giderim verimi ile çıkış KOİ değeri 242 mg/L' ye düşmüştür.

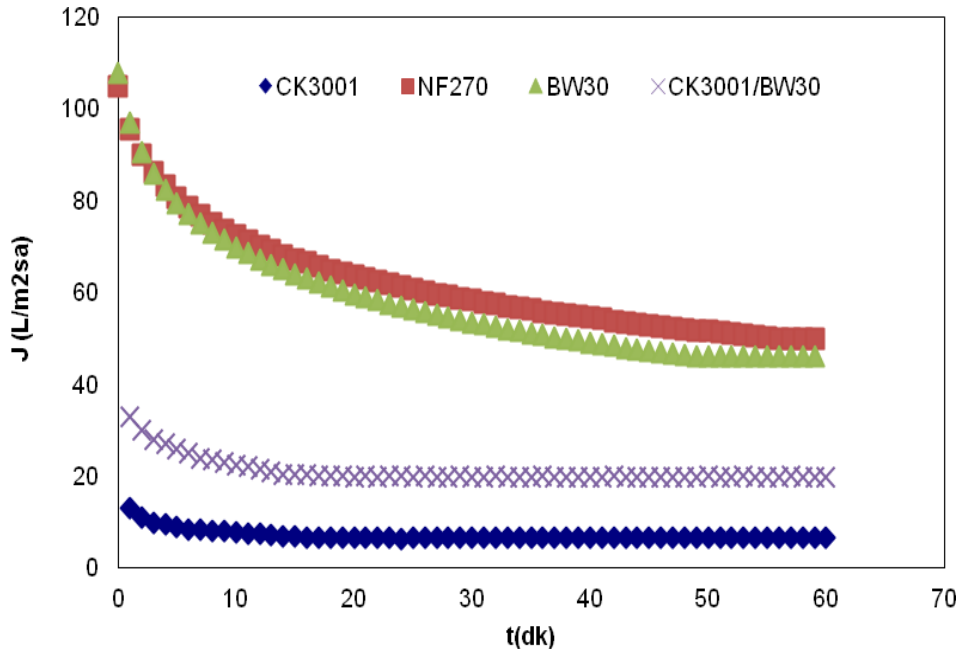


Şekil 4.154 Kağıt atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde Fenton prosesi sonrasında elde edilensüzüntü akımlarında en uygun bulunan NF_{gevşek}, NF_{sıkı}, NF_{gevşek}/TO ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri

Çalışmanın devamında, kağıt endüstrisi atıksuları sırasıyla foto-Fenton (UVA)/batık UF ve foto-Fenton (UVC)/batık UF sistemleri ile arıtılarak, elde edilen süzüntü akımları Fenton prosesinde uygulanan 8' li Taguchi deneysel tasarım sonuçlarından hareketle seçilen en uygun membranlar dikkate alınarak CK3001, NF270, CK3001/BW30 ve BW30 membran konfigürasyonları ile sırasıyla 7, 5, 8 ve 7 numaralı deney şartları kullanılarak filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) için hibrit reaktörde yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen süzüntü akı grafikleri foto-Fenton (UVA) için Şekil 4.155'de, foto-Fenton (UVC) için ise Şekil 4.156'de verilirken, her iki proses için deney sonuçları ise Tablo 4.55 ve 4.56'daki gibidir.



Şekil 4.155 Kağıt atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde foto-Fenton (UVA-365) prosesi sonrasında elde edilensüzüntü akımlarında en uygun bulunan NF_{gevşek}, NF_{sıkı}, NF_{gevşek}/TO ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri



Şekil 4.156 Kağıt atıksularının sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde foto-Fenton (UVC-254) prosesi sonrasında elde edilensüzüntü akımlarında en uygun bulunan NF_{gevşek}, NF_{sıkı}, NF_{gevşek}/TO ve TO membran konfigürasyonlarının akı grafikleri

Kesikli şartlarda tezgah üstü İOP/ batık UF membran ile yürütülen deneyler sırasında belirlenen optimum şartlar dikkate alındığında, Fenton prosesi 56 dakikalık oksidasyon süresinde 39,1 °C' de işletilirken, foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) prosesleri sırasıyla 42 ve 60 dakikada 30,7 ve 40 °C' lerde oksidasyona tabi tutulmuştur.

Büyük İOP/batık UF reaktöründe foto-Fenton (UVA-365) prosesi ile arıtımı sonrasında çıkış sularının membran filtrasyonunda en iyi membran konfigürasyonu veren membran BW30 TO membran olup, 43,5 L/m²sa' lik süzüntü akısında deney sonunda %53,97 TOK giderimi ile çıkış TOK değeri 127,5 mg/L' ye, %58,57' lik KOİ giderim verimi ile çıkış KOİ değeri 300 mg/L' ye düşmüştür. UVC ışık kaynağı ile yürütülen deneylerde BW30 membranda 44,1 L/m²sa' lik süzüntü akısında %75,58 TOK giderimi ile çıkış TOK değeri 78 mg/L' ye, %58,75' lik KOİ giderim verimi ile çıkış KOİ değeri 594 mg/L' ye düşmüştür.

Kağıt endüstrisi atıksularının arıtımı sonrasında suyun proste yeniden kullanımı ile ilgili literatürde Mauchauffee et al., (2012) tarafından yapılan deneysel çalışmada, verilen kabul edilebilir sınır değerler dikkate alınarak (iletkenlik 500µS/cm, renk 0, KOİ <50 mg/, AKM 10 mg/L, Cl⁻ <200 mg/L, Ca²⁺ <60 mg/L), önerilen sistemlerle en iyi arıtım konfigürasyonu yenilikçi İOP (Fenton)/batık UF arıtımı sonrasında BW30 TO membran olmasına karşın, proste kullanımı için yeterli kalitede süzüntü suyu elde edilemediği görülmektedir.

Farklı dönemlerde temin edilen ham kağıt atıksuları yüksek ve salınımlı organik atıklar içermesi ile suyun doğal yapısındaki farklılıklar oksidasyon adımını zorlaştırmakta, ayrıca oksidasyon işlemi ile daha küçük inert yapılara parçalanmış organik kirlilikten dolayı da sonraki adım olan membran filtrasyon işleminin performansını da düşmektedir.

Tablo 4.55 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (foto-Fenton (UVA-365) prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası CK3001, NF270, CK3001/BW30 ve BW30 membran konfigürasyonları ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

Proses	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B v	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl^-	Y8 SO_4^{2-}	Y9 J
								Çıkış	Rejeksiyon	Çıkış	Rejeksiyon	** $\lambda_{ortalama}$			
NF _{sıkı}	NF270	1000	40	20	2,23	4920	2580	129	54,58	508	50,39	0,359	61,48	2496,51	13,26
NF _{gevşek}	CK3001	1000	40	12	2,67	1463	730	207	38,76	1120	29,82	0,009	39,98	81,22	9,95
NF _{gevşek} /TO	CK3001/BW30	1000	40	40	2,81	847	247	144	21,63	308	32,76	0,00	0,00	0,00	16,58
TO	BW30	1000	40	40	2,54	2178	1102	127,50	53,97	300	58,57	0,094	62,48	685,05	43,5

Tablo 4.56 Kağıt atıksularının önerilen büyük İOP (foto-Fenton (UVC-254) prosesi) /batık UF hibrit reaktörü ile arıtımı sonrası CK3001, NF270, CK3001/BW30 ve BW30 membran konfigürasyonları ile filtrasyonu için kullanılan değişkenlerin deneysel değerlerini içeren Taguchi deneysel tasarımı ve her bir sonuç parametresi için elde edilen sonuçlar

Proses	Giriş Parametreleri				Sonuç Parametreleri										
	A M_T	B v	C T	D ΔP	Y1 pH	Y2 E_i	Y3 TÇK	Y4 TOK		Y5 KOI		Y6 renk	Y7 Cl^-	Y8 SO_4^{2-}	Y9 J
								Çıkış	Rejeksiyon	Çıkış	Rejeksiyon	** $\lambda_{ortalama}$			
NF _{sıkı}	NF270	1000	40	20	2,54	2520	1283	237	-11,53	804	-10,44	0,079	54,98	669,98	6,63
NF _{gevşek}	CK3001	1000	40	12	2,52	2179	1102	363	-10,11	736	-10,59	0,018	55,48	286,09	46,42
NF _{gevşek} /TO	CK3001/BW30	1000	40	40	2,94	588	286	90,00	43,46	520	48,57	0,00	0,00	0,00	19,89
TO	BW30	1000	40	40	2,8	827	405	78	75,58	594	58,75	0,00	39,98	0,00	44,1

4.2 Sürekli İşletimli Deneyler

4.2.1 Etkinliği Bilinen Sistem Deneyleri

4.2.1.1 Tekstil atıksularının basınç sürücülü membran filtrasyon sistemleri ile arıtımı

İlk 3 ayı projenin 1. döneminde tamamlanan 3.4 alt iş paketi kapsamında, etkinliği bilinen sistemlerin sürekli işletimi çalışmalarında tekstil atıksuyu için su geri kazanım etkinlikleri literatürden bilinen, UF/NF_{sıkı}/TO membran sistemi kombinasyonu ile büyük basınçlı çapraz akış membran sisteminde yürütülen sürekli denemeler sonucunda oluşan membran konsantreleri çeşitli oranlarda karıştırılarak küçük sistemde kesikli şartlarda İOP/batık hibrit UF reaktöründe daha önce belirlenen optimum şartlarda oksidasyona tabi tutulmuştur.

Tekstil atıksuyu ile etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemde üç kademeli UH050/NF270/LFC-3' membran konfigürasyonu ile sürekli şartlarda ardışık olarak %75-80 konsantre etme oranlarında UF membran 5 gün, NF_{sıkı} membran 4 gün, TO membran 2 gün işletilmiştir. Her üç membran için değişen süzüntü akılarının zamana karşı değişimleri UF, NF_{sıkı} ve TO membranları için Şekil 4.157'de verilmiştir. UH050 membranı ile 5 gün filtre edilen süzüntü suyu, daha sonra 4 gün NF270 membranından geçirilmiş ve en son olarak da NF_{sıkı} süzüntü suyu 2 gün LFC-3 ile filtre edilmiştir. Her 3 membran ile arıtım sonucunda elde edilen konsantre ve çıkış sularının kalite analiz sonuçları sırasıyla Tablo 4.57, 4.58 ve 4.59'de verilmektedir. Ham tekstil atıksuyunun 3 kademeli membran filtrasyonu sonucunda, UH050 membranda 5. gün sonunda 50 L/m²sa süzüntü akısında %90,87 KOİ, %92,53 TOK, NF270 membran ile 4. gün sonunda 60 L/m²sa' lik akıda %96,73 KOİ, %95,47 TOK giderimi elde edilirken, son olarak LFC-3 membranla 80 L/m² sa süzüntü akısında %98,79 KOİ giderimi ile KOİ değeri 4 mg/L' ye, %96,75 TOK giderimi ile TOK değeri 1,7 mg/L' ye kadar düşmüştür.

✓ Oluşan membran konsantrisinin İOP/batık UF prosesi ile arıtımı

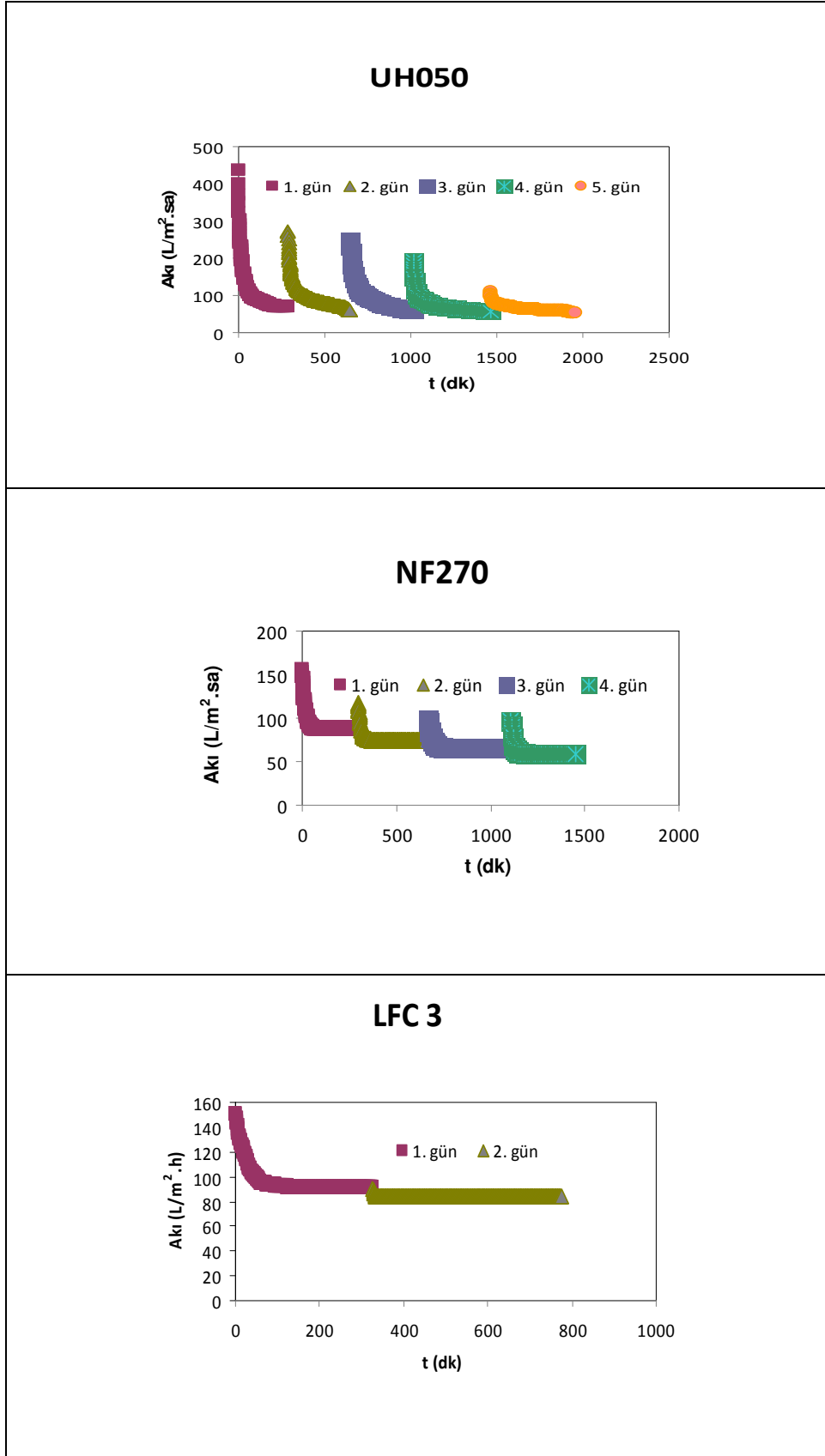
Etkinliği bilinen membran konfigürasyonlarında oluşan konsantre akımının arıtılacağı 2,5 L kapasiteli tezgah üstü hibrit İOP/batık UF reaktöründe Fenton, foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) deneyleri ayrı ayrı yürütüldüğünden deneylerde, toplamda 7,5 L olacak şekilde konsantrelerin karışımı sağlanmıştır. Tekstil endüstrisi için üç kademeli UH050/NF270/LFC-3 membran konfigürasyonu ile elde edilen konsantreler sırasıyla 2,95, 2,36 ve 2,19 L oranlarında karıştırılarak optimum işletme şartlarında oksidasyona maruz bırakılmıştır. Büyük sistem ile UH050/NF270/LFC-3' membran konfigürasyonu ile %80 oranında su geri kazanımı tamamlandıktan sonra elde edilen konsantre karışımları optimum işletme şartlarında ardışık işletme koşullarında sırasıyla Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) ile oksidasyona tabi tutulmuştur. Herbir oksidasyon prosesi için basınçlı büyük sistemle elde edilen konsantre karışımlarının karakterizasyon değerleri ve karışımlarının tezgah üstü

sistemde İOP/batık UF reaktörü ile Fenton ve foto-Fenton işletimleri sonucunda elde edilen kalite parametrelerine ait süzüntü çıkış değerleri Tablo 4.60'de görülmektedir. Projenin 1. döneminde tespit edildiği üzere, Fenton prosesi için UH050, Foto-Fenton prosesinde UVA-365 ışık türü için UV150 ve UVC-254 ışık türü için UH050 UF membranları kullanılmış ve her üç proses için UF membranlarının süzüntü akı değerleri Şekil 4.158'de verilmiştir. Elde edilen membran konsantrelerinin İOP/UF ile arıtımında organik madde giderimleri ve süzüntü akı değerleri dikkate alındığında, ardışık işletimli foto-Fenton (UVC-254)/UH050 hibrit prosesinin 9,88 H₂O₂/TOK ve 7,27 H₂O₂/Fe²⁺ oranlarında, 44.16 L/m² sa' lik süzüntü akısında %86,0 KOİ giderimi ile KOİ değeri 167 mg/L' ye ve %74,2 TOK giderimi ile TOK değeri 104 mg/L' ye kadar düşürülerek en iyi performans gösteren yenilikçi proses olmuştur. Elde edilen karışık konsantrelerin tezgah üstü İOP/batık ile arıtımında filtrasyon performansları (E_i, TÇK, TOK, KOİ, Cl⁻, SO₄²⁻ ve renk) Fenton ve foto-Fenton için Şekil 4.159'da özetlenmiştir.

4.2.1.2 Kağıt atıksularının basınç sürücülü membran filtrasyon sistemleri ile arıtımı

3.4 alt iş paketi dahilinde, etkinliği bilinen sistemlerin sürekli işletimi çalışmalarında kağıt atıksuyunun literatürden su geri kazanım etkinlikleri bilinen membran konfigürasyonu olan NF_{gevşek}/NF_{sıkı} kombinasyonu, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarında bulunan büyük basınçlı çapraz akış membran sisteminde kullanılarak yürütülen sürekli deneyler sonucunda, oluşan membran konsantreleri belirlenen oranlarda karıştırılarak yenilikçi küçük İOP/batık UF hibrit reaktörü ile projenin 1. aşamasında belirlenen optimum şartlarda ardışık işletimli olarak oksidasyona tabi tutulmuştur.

Etkinliği bilinen büyük basınçlı çapraz akış membran sisteminde iki kademeli olarak NF_{gevşek}/NF_{sıkı} membran konfigürasyonu ile sürekli şartlarda %75-80 konsantre etme oranlarında MPF36 gevşek nanofiltrasyon membranı ile 5 gün, MPF36 ile filtrasyon sonucunda elde edilen süzüntü suları ise NF_{sıkı} membran olan ESNA membranı ile 6 gün süreyle işletilmiştir. Her iki membran için filtrasyon sırasında değişen süzüntü akılarının zamana karşı değişimleri Şekil 4.160'de verilmiştir. MPF36 ve ESNA membranları ile arıtım sonucunda elde edilen konsantre akımlarının ve çıkış sularının kalite analiz sonuçları sırasıyla Tablo 4.61 ve 4.62'de verilmektedir. MPF36 NF_{gevşek} membran ile 5 gün süreyle yapılan filtrasyon işlemi sonucunda, 49 L/m²sa süzüntü akısında, %74,16 KOİ ve %73,44 TOK giderimi elde edilirken, NF_{gevşek} membran çıkışından elde edilen süzüntü suyu daha sonra NF_{sıkı} membran olan ESNA ile 6 gün filtrasyona tabi tutulmuştur. NF_{sıkı} membran ile 22 L/m²sa' lik süzüntü akısında %96,25 KOİ ve %95,99 TOK giderimi elde edilmiş ve nihai olarak çıkış suyunda 71,01 mg/L KOİ ve 19,07 mg/L TOK değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.157 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle sürekli şartlarda filtrasyonunda UF, NF_{sıklı} ve TO membranlarına ait süzöntü akıları

Tablo 4.57 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle UF prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları

Parametre	Ham Atık Su	1. Gün Sonu UF Prosesi			5. Gün Sonu UF Prosesi		
		Konsantre	Süzüntü	Rejeksiyon(%)	Konsantre	Süzüntü	Rejeksiyon(%)
pH	6,2	7,99	6,96	-	7,89	7,05	
İletkenlik (µs/cm)	706	1341	565	57,87	1384	495	64,23
TÇK (mg/L)	345	666	274	58,86	688	240	65,12
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	4,72	7,3	7,99	-9,45	8,32	8,21	1,32
KOİ (mg/L)	1116	3280	268	91,83	2672	225	91,6
TOK (mg/L)	322	968,3	70,7	92,70	770,1	71,7	90,5
AKM (mg/L)	15	75	15	80,00	20	10	50,00
AOX (mg/L)	4,03	6,8	2,68	60,59	7,13	2,515	64,73
Bulanıklık (NTU)	3,94	27,2	2,91	89,30	21,6	1,11	94,86
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0,264	1,520	0,482	68,29	0,688	0,242	64,83
Renk (λ _{ort}) (abs)	0,059	0,402	0,002	99,52	0,325	0,005	98,34
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	2,8	9,03	0,561	93,79	6,34	0,57	91,01
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	434	453	415	8,39	479	467	2,51
Cl ⁻ (mg/L)	21,94	50	19,5	61,00	36,78	18,69	49,18
Demir +2 (mg/L)	0,377	1,762	0,125	92,91	0,012	0,001	91,67
Demir +3 (mg/L)	1,28	10,24	0,64	93,75	0,01	0	100,00
Toplam Azot (mg/L)	8,89	12	7,25	39,58	9,73	4,125	57,61
Toplam Sertlik (mg/L)	82	287	20,5	92,86	246	20,50	91,67
Fenol (mg/L)	8,64	44,7	1,46	96,73	38,7	1,065	97,25
Toplam Alkalinite (mg/L)	158	278,4	162	41,81	248,4	91,20	63,29
Toksosite (EC50) (%)	7,13			-			

Tablo 4.58 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle NF_{sıkı} prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları

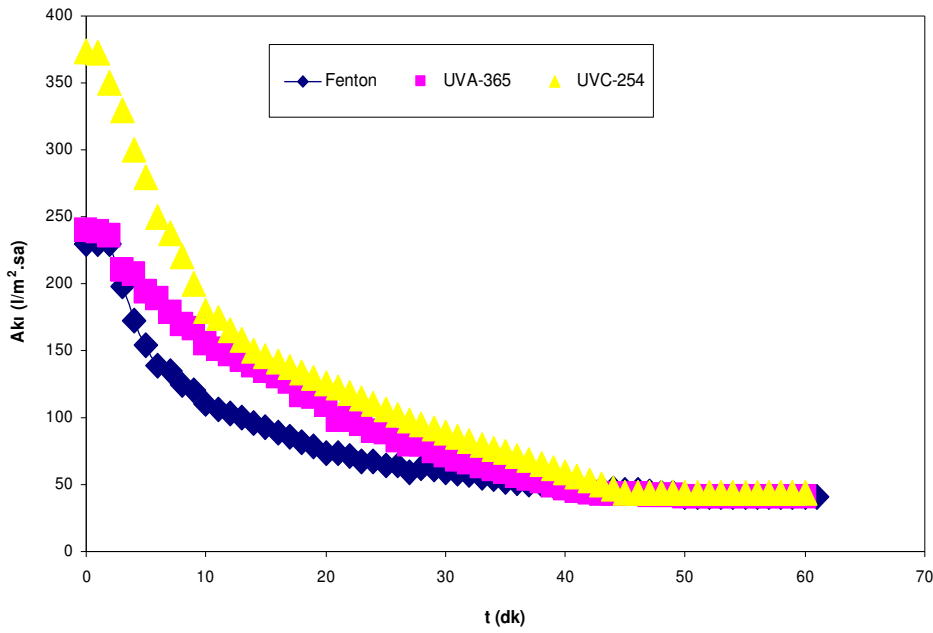
Parametre	UF Çıkış Suyu	1. Gün Sonu NF _{sıkı} Prosesi			4. Gün Sonu NF _{sıkı} Prosesi		
		Konsantre	Süzüntü	Rejeksiyon(%)	Konsantre	Süzüntü	Rejeksiyon(%)
pH	7,05	8,25	6,97	-	8,65	8,57	-
İletkenlik (µs/cm)	495	1981	102,4	94,83	1880	121,2	93,55
TÇK (mg/L)	240	997	48,5	95,14	945	57,3	93,94
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	8,21	7,19	8,28	-15,16	8,5	8,39	1,29
KOİ (mg/L)	244	712	24	96,63	808	26,4	96,73
TOK (mg/L)	57,6	249,5	10,0	95,95	218,4	9,9	95,47
AKM (mg/L)	10	9	0	100	13,3	0	100
AOX (mg/L)	2,52	4,74	2,37	50	2,8	0,60	78,54
Bulanıklık (NTU)	1,11	3,39	0,49	85,55	5,07	0,40	92,11
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0,242	0,62	0,16	74,19	1,30	0,17	86,92
Renk (λ _{ort}) (abs)	0,005	0,038	0,003	91,89	0,03	0	100
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	0,57	0,65	0,41	36,92	0,89	0,46	48,31
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	467	410	365	10,98	460	86	81,3
Cl ⁻ (mg/L)	18,69	14,79	2,99	79,78	81,67	32,8	59,84
Demir +2 (mg/L)	0,001	2,56	0,13	94,92	0,629	0,126	79,97
Demir +3 (mg/L)	0	0	0	-	0,64	0	100,00
Toplam Azot (mg/L)	4,125	2,41	1,11	53,94	5,8	2,07	64,31
Toplam Sertlik (mg/L)	20,50	20,5	2,46	88,00	90,2	0	100
Fenol (mg/L)	1,065	4,41	0,179	95,94	3,48	0,20	94,14
Toplam Alkalinite (mg/L)	91,20	543	54,7	89,93	582	55,5	90,46
Toksosite (EC50) (%)				-			

Tablo 4.59 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle TO prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları

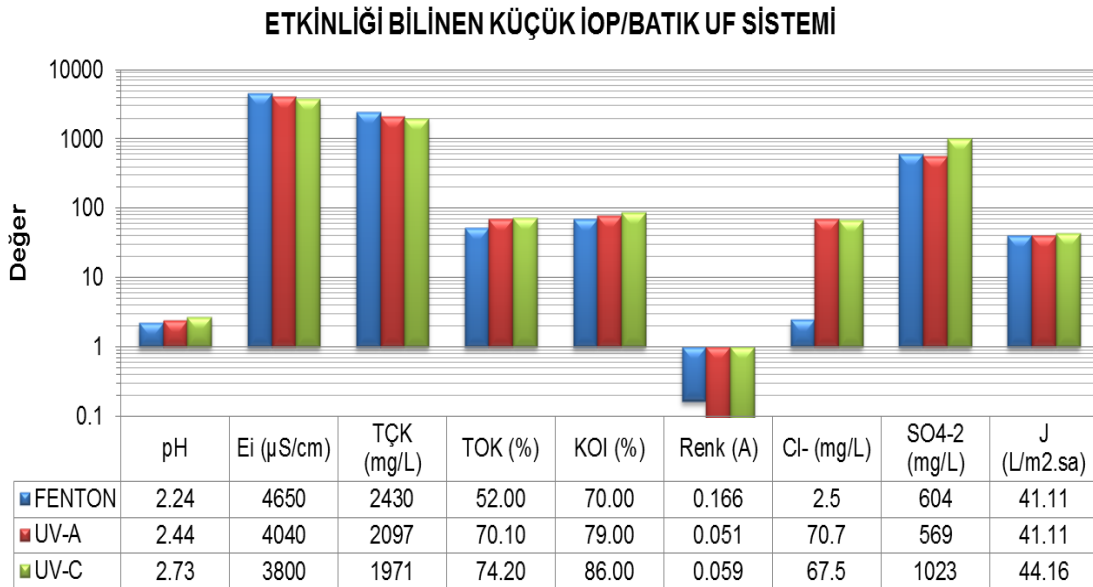
Parametre	NF _{sıkı} Çıkış Suyu	1. Gün Sonu TO Prosesi			2. Gün Sonu TO Prosesi		
		Konsantre	Süzüntü	Rejeksiyon(%)	Konsantre	Süzüntü	Rejeksiyon(%)
pH	8,57	8,34	7,05	-	8,45	6,47	-
İletkenlik (µs/cm)	121,2	771	2,01	99,74	571	4,01	99,30
TÇK (mg/L)	57,3	377	0,875	99,77	278	1,833	99,34
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	8,39	7,11	8,05	-13,22	6,7	8,1	-20,90
KOİ (mg/L)	26,4	150,4	11,2	92,55	330,4	4	98,79
TOK (mg/L)	9,9	45,4	2,1	95,39	52,8	1,7	96,75
AKM (mg/L)	0	0	0	-	0	0	-
AOX (mg/L)	0,60	2,71	0,112	95,87	0,737	0,373	49,39
Bulanıklık (NTU)	0,40	18	0,13	99,28	7,7	0,09	98,83
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0,17	0,40	0,136	65,83	0,297	0,152	48,82
Renk (λ _{ort}) (abs)	0	0,043	0,003	92,7	0,025	-	98,61
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	0,46	0,918	0,205	77,67	0,938	0,132	85,93
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	86	95,6	89	6,90	93,4	91,6	1,93
Cl ⁻ (mg/L)	32,8	41,58	0	100,00	41,58	0	100
Demir +2 (mg/L)	0,126	0	0	-	0	0	-
Demir +3 (mg/L)	0	0	0	-	0	0	-
Toplam Azot (mg/L)	2,07	2,98	0,95	68,02	2,52	0,945	62,50
Toplam Sertlik (mg/L)	0	12,3	0	100,00	8,2	0	100
Fenol (mg/L)	0,20	1,040	0,063	93,94	0,809	0,041	94,93
Toplam Alkalinite (mg/L)	55,5	361	2,5	99,31	232,7	7,2	96,91
Toksosite (EC50) (%)				-			

Tablo 4.60 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen sistemlerde membran konsantre karışımının İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) prosesleri ile ardışık arıtımı

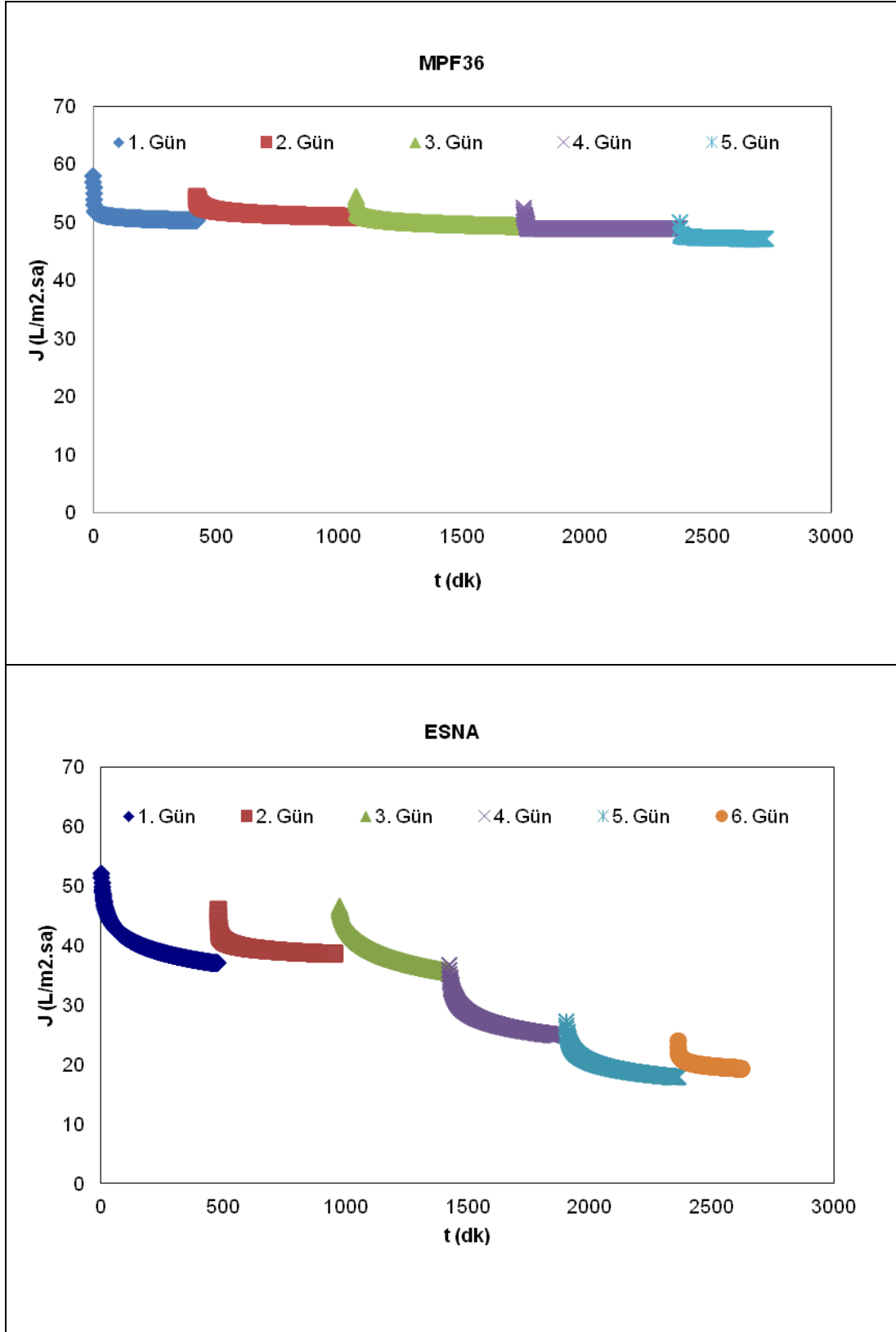
Parametre	İOP (Fenton)/UF(UH050)			İOP (foto-Fenton-UVA)/UF(UV150)			İOP (foto-Fenton-UVC)/UF(UH050)		
	Konsantre karışımı	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)	Konsantre karışımı	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)	Konsantre karışımı	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)
pH	3,77	2,24	-	4,00	2,44	-	4,44	2,73	-
Ei (µS/cm)	2021	4650	-130,1	1785	4040	-126,3	1702	3800	-123,3
TÇK (mg/L)	1019	2430	-138,5	895	2097	-134,3	853	1971	-131,1
TOK (mg/L)	384	184	52,0	398	119	70,1	403	104	74,2
KOI (mg/L)	1176	353	70,0	1192	250	79,0	1192	167	86,0
Renk (λ_{ort}) (abs)	0,179	0,166	7,4	0,196	0,051	73,9	0,340	0,059	82,5
Cl ⁻ (mg/L)	56,7	2,5	95,6	53,0	70,7	-33,4	56,0	67,5	-20,5
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	477	604	-26,6	455	569	-25,1	568	1023	-80,1
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	9,17	5,41	41	8,37	7,83	6,45	8,86	8,42	4,97
Bulanıklık (NTU)	7,89	0,96	87,8	9,43	2,17	76,99	7,69	3,44	55,27
AOX (mg/L)	1,18	2,54	-115,7	2,63	1,99	24,4	2,68	1,64	38,8
Top-N (mg/L)	0	0	-	0	0	-	0	0	-
Fenol (mg/L)	13	3,81	70,7	12,4	5,95	52,02	12,8	10,2	20,3
Toplam Sertlik (mg/L)	140	140	0	140	100	28,57	140	80	42,9
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	14,1	14,4	-2,13	17	7,81	54,06	17	7,45	56,2
AKM (mg/L)	10	30	-200	25	40	-153,7	30	70	-133,3
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	1,79	1,09	39,11	1,64	1,24	9,82	1,47	1,65	-12,2
J (L/m ² sa)	41,11			41,11			44,16		



Şekil 4.158 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen sistemlerde karışık konsantrelerinin tezgah üstü İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımında UF membranlara ait süzöntü akıları



Şekil 4.159 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen UF/NF_{sıklı}/TO prosesi ile arıtımı sonucunda elde edilen karışık konsantrelerin tezgah üstü İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımı performansları



Şekil 4.160 Kağıt atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle sürekli şartlarda filtrasyonunda $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$ membranlarına ait süzüntü akıları

Tablo 4.61 Kağıt atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle NF_{gevşek} prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları

Parametre	Ham Atık Su	1. Gün Sonu NF _{gevşek} (MPF-36) Prosesi			5. Gün Sonu NF _{gevşek} (MPF-36) Prosesi		
		Konsantre	Süzüntü	Rejeksiyon(%)	Konsantre	Süzüntü	Rejeksiyon(%)
pH	7,08	8,50	8,43	-	7,81	8,47	-
İletkenlik (µs/cm)	1995	1972	1169	40,72	3150,00	1326,00	57,90
TÇK (mg/L)	1011	993	578	41,79	1619,00	659,00	59,30
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	0,38	7,53	7,73	-2,66	8,41	8,39	0,24
KOİ (mg/L)	1433,60	968,00	672,00	30,58	1985,60	513	74,16
TOK (mg/L)	366,12	331,88	149,19	55,05	654,71	173,92	73,44
AKM (mg/L)	140,00	120,00	40,00	66,67	330,00	55,00	83,33
AOX (mg/L)	4,53	2,88	2,64	8,33	3,5	2,91	16,86
Bulanıklık (NTU)	84,40	139,00	2,38	98,29	409,00	0,40	99,90
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	1,92	1,80	0,90	50	2,00	1,50	33,33
Renk (λ _{ortalama}) (abs)	0,531	0,886	0,032	96,39	1,565	0,019	98,76
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	1,51	1,52	0,51	66,51	3,72	0,59	84,25
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	535	441	112	74	1150	240	79,13
Cl ⁻ (mg/L)	64,97	45,98	39,98	13,05	40,98	38,98	4,88
Demir +2 (mg/L)	0,879	0,96	0,2	79,17	2,89	0,02	99,45
Demir +3 (mg/L)	<0,2	<0,2	<0,2	-	5,88	0,10	98,38
Toplam Azot (mg/L)	5,20	7,84	2,30	70,66	20,00	1,83	90,85
Toplam Sertlik (mg/L)	60,50	54,50	28,45	47,80	95,70	29,02	69,68
Fenol (mg/L)	5,5	9,5	4,5	52,63	10,28	4,42	57,00
Toksosite (EC50) (%)	5,33	-					

Tablo 4.62 Kağıt atıksularının etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemlerle NF_{sıkl} prosesi ile sürekli şartlarda filtrasyonu sonucunda elde edilen su kalitesi analiz sonuçları

Parametre	NF _{gevşek} Çıkış Suyu	1. Gün Sonu NF _{sıkl} (ESNA) Prosesi			6. Gün Sonu NF _{sıkl} (ESNA) Prosesi		
		Konsantre	Süzüntü	Rejeksiyon(%)	Konsantre	Süzüntü	Rejeksiyon(%)
pH	8,47	8,82	7,78	-	8,29	7,48	-
İletkenlik (µs/cm)	1326	1733	132,8	92,34	3360	277	91,76
TÇK (mg/L)	659,00	731	62,8	91,41	1733	132,2	92,37
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	8,39	7,5	7,78	-3,73	4,47	6,12	-36,91
KOİ (mg/L)	552,80	614,4	46,8	92,38	1895	71,01	96,25
TOK (mg/L)	173,9	200,7	17,3	91,38	476,3	19,07	95,99
AKM (mg/L)	55,00	90	10	88,89	270	10	96,30
AOX (mg/L)	4,09	5,18	2,59	50	2,84	2,24	21,13
Bulanıklık (NTU)	0,40	4,29	0,5	88,34	17,1	0,37	97,84
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	2,00	1,71	0,6	64,91	1,33	0,4	69,92
Renk (λ _{ortalama}) (abs)	0,019	0,043	0,002	95,39	0,206	0,011	94,55
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	0,59	0,605	0,14	76,69	1,33	0,19	85,71
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	240,00	252	0,00	100,00	628,55	0,00	100,00
Cl ⁻ (mg/L)	38,98	49,98	0,00	100,00	179,94	0,00	100,00
Demir +2 (mg/L)	0,02	0,245	0,19	22,45	0,42	0,18	58,53
Demir +3 (mg/L)	0,10	0,281	0,16	43,06	1,06	0,05	95,09
Toplam Azot (mg/L)	1,83	1	1,00	0,00	4,26	1,26	70,42
Toplam Sertlik (mg/L)	29,02	0,22	0,22	0,00	103,50	2,58	97,51
Fenol (mg/L)	4,42	0,996	0,049	95,08	6,24	0,020	99,68
Toksosite (EC50) (%)				-			

✓ **Oluşan konsantrenin İOP/batık UF prosesi ile arıtımı**

Etkinliği bilinen membran konfigürasyonlarında oluşan konsantre akımının arıtılacağı 2,5 L kapasiteli tezgah üstü hibrit İOP/batık UF reaktöründe Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) deneyleri ayrı ayrı yürütüldüğünden, toplamda 7,5 L olacak şekilde konsantre karışımları elde edilmiştir. Kâğıt endüstrisi atıksuları için uygun membran konfigürasyonu olan çift kademeli MPF-36/ESNA-1 ile arıtım sonucunda oluşan konsantreler sırasıyla 4,16 ve 3,34 L oranlarında karıştırılarak optimum işletme şartlarında oksidasyona maruz bırakılmıştır.

Büyük basınçlı sistemde MPF36/ESNA membran konfigürasyonu ile %80 oranında su geri kazanımı sağlandıktan sonra elde edilen konsantreler ile hazırlanan karışımlar belirlenen optimum şartlarda ardışık işletme koşullarında sırasıyla Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) ile oksidasyona tabi tutulmuştur.

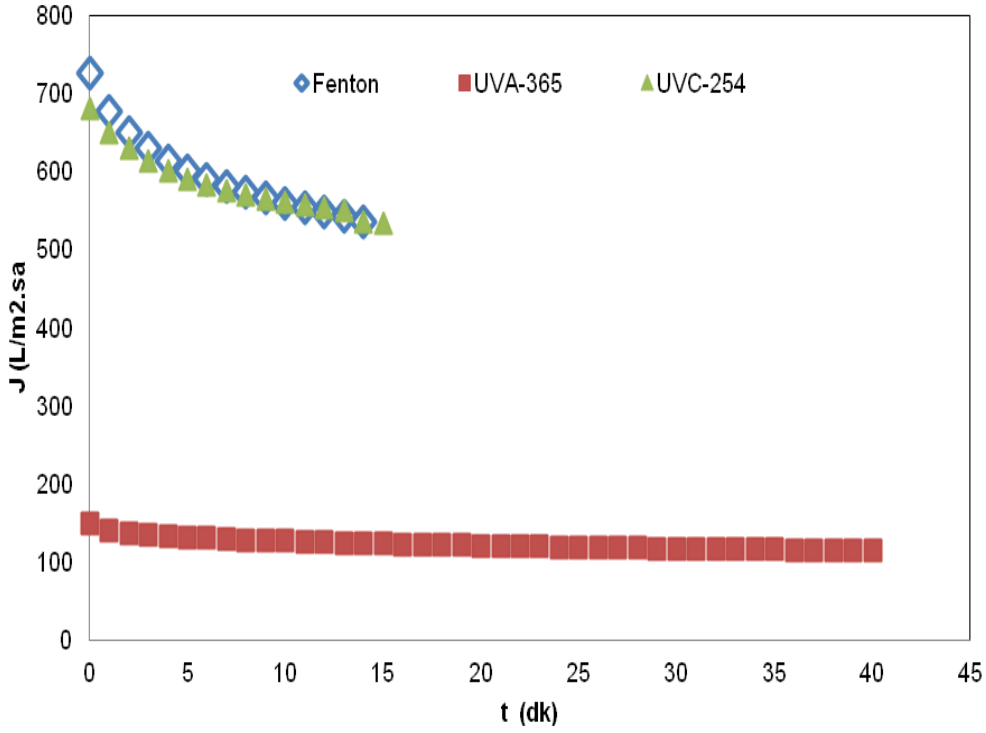
Tekstil endüstrisi atıksuları ile yürütülen deneylerde olduğu gibi, kâğıt endüstrisi atıksularında da herbir oksidasyon prosesi için basınçlı büyük sistemde elde edilen konsantre karışımlarının karakterizasyon değerleri ve konsantre karışımlarının tezgah üstü küçük hibrit İOP/batık UF reaktörü ile ardışık olarak Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) işletimleri sonucunda elde edilen İOP/UF çıkış süzüntü suyu kalite parametre değerleri Tablo 4.63'de görülmektedir.

Yenilikçi bütünleşik sistemde kâğıt endüstrisi atıksuları için projenin 1. döneminde tespit edildiği üzere, Fenton prosesi için UH050, Foto-Fenton prosesinde UVA-365 ışık türü için UP020 ve UVC-254 ışık türü için UH050 UF membranları kullanılmış ve her üç proses için UF membranlarının süzüntü akı değerleri Şekil 4.161'de verilmiştir.

Etkinliği bilinen sistemlerde, basınçlı büyük membran sistemi ile elde edilen membran konsantre karışımlarının tezgah üstü küçük İOP/batık UF hibrit reaktörü ile arıtımında organik madde giderimleri ve süzüntü akı değerleri dikkate alındığında, ardışık işletimli foto-Fenton (UVC-254)/UH050 hibrit prosesinin 6,0 H₂O₂/TOK ve 7,0 H₂O₂/Fe²⁺ oranlarında, düşük organik madde giderimi (%43,13 TOK ve %39,09 KOİ) göstermesine rağmen, 533 L/m² sa' lik çok yüksek süzüntü akısında üç proses arasında en iyi performansı gösteren yenilikçi oksidasyon prosesi olarak UF çıkış değerleri sırasıyla 323 mg/L TOK ve 1245 mg/L KOİ değerlerini almıştır.

Tablo 4.63 Kağıt endüstrisi atıksularının etkinliği bilinen sistemlerde membran konsantre karışımının İOP/batık UF hibrit reaktöründe Fenton ve foto-Fenton (UV-A, UV-C) prosesleri ile ardışık arıtımı

Parametre	Birim	Konsantre Karışımı	İOP (Fenton)/UF(UH050)			İOP (foto-Fenton-UVA)/UF(UP020)			İOP (foto-Fenton-UVC)/UF(UH050)		
			Konsantre karışımı	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)	Konsantre karışımı	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)	Konsantre karışımı	UF süzüntü çıkışı	Giderim verimi (%)
pH	-	8,26	3,88	2,57	-	3,54	2,49	-	3,50	3,17	-
İletkenlik	($\mu\text{s/cm}$)	3020	5250	4270	18,7	5190	5240	-1,00	3643	3520	3,37
TÇK	(mg/L)	1548	2760	2230	19,2	2730	2700	1,10	1925	1810	5,97
Çözünmüş Oksijen	(mg/L)	2,9	13,36	11,01	17,59	8,42	8,37	0,59	16,58	12,73	23,22
KOİ	(mg/L)	2528	2044	1504,81	26,37	1488	800	46,23	2044	1245	39,09
TOK	(mg/L)	668,98	593,69	410,70	30,81	885,20	375,40	57,60	568,21	323,1	43,13
AKM	(mg/L)	190	950	330	65,26	1740	370	78,74	1660	170	89,76
AOX	(mg/L)	2,33	1,288	0,522	59,47	0,601	0,834	-38,77	0,425	0,455	-7,06
Bulanıklık	(NTU)	300	759	0,58	99,92	2656	33,2	98,75	922	0,59	99,94
NH ₄ ⁺ -N	(mg/L)	1,1	1,6	0,5	68,75	1,5	0,8	46,67	0,9	0,8	11,11
Renk ($\lambda_{\text{ortalama}}$)	(abs)	1,253	0,287	0,087	69,82	0,653	0,786	-20,33	0,268	0,071	73,46
NO ₃ ⁻	(mg/L)	3,32	5,78	3,6	37,72	3,23	3,24	-0,31	1,57	1,28	18,5
SO ₄ ²⁻	(mg/L)	572,91	2440	2360	3,28	1970	1920	2,54	1880	1870	0,53
Klorür	(mg/L)	120,96	139,95	119,962	14,28	134,95	129,95	3,71	134,95	135,45	-0,37
Demir +2	(mg/L)	1,65	293,50	62,20	78,81	372,45	303,70	18,46	110,93	6,93	93,76
Demir +3	(mg/L)	3,03	1491,94	192,65	87,09	1492,58	1394,65	6,56	928,06	69,12	92,55
Toplam Azot	(mg/L)	7,27	8,72	5,18	40,60	4,41	3,31	24,94	6,55	3,12	52,37
Toplam Sertlik	(mg/L)	84,2	72,5	84,5	-16,55	142	56,2	60,42	57,4	88,7	-54,53
Fenol	(mg/L)	9,04	4,64	3,45	25,65	13,5	3,6	73,33	14,72	2,96	79,89
J	L/m ² sa		535			115			533		



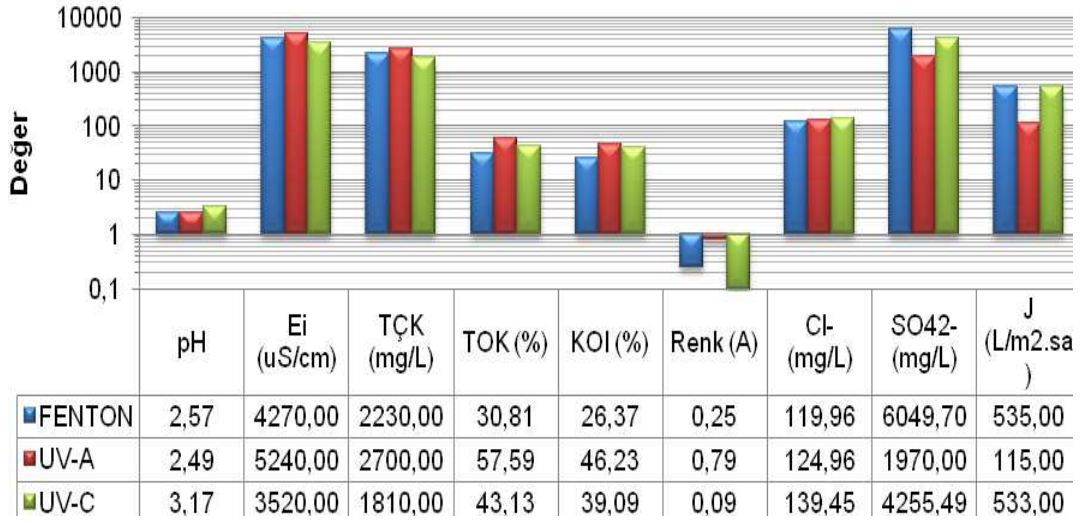
Şekil 4.161 Kağıt atıksularının etkinliği bilinen sistemlerde karışık konsantrelerin tezgah üstü İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımında UF membranlara ait ait süzüntü akıları

Hemen hemen üç proste de birbirine yakın organik madde giderim verimleri gözlenmesine rağmen, Foto-Fenton (UVA-365) prosesinde 115 L/m² sa' lik UF süzüntü akısının çok düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, Fenton ve foto-Fenton (UVC-254) uygulamalarında batık UF membran olarak UH050 membran kullanılırken, Foto-Fenton (UVA-365) prosesinde UP020 membranın kullanılmasıdır.

Ayrıca kağıt endüstrisi ile yapılan İOP/MP uygulamalarında, her üç proses için optimum olarak belirlenen sürelerde (56, 42, 60 dk), TOK ve KOİ giderim verimlerinin düşük seviyelerde olmasının nedeni olarak, deney sonunda reaktör içersinde H₂O₂' in kalması, daha yoğun bir atıksu olan konsantre akımının arıtımında belirlenen optimum sürelerin oksidasyon için yeterli olmaması gösterilebilir.

Etkinliği bilinen NF_{gevşek}/NF_{sıkı} membran prosesleri ile arıtımı sonucunda elde edilen karışık konsantrelerin tezgah üstü İOP/batık UF hibrit reaktöründe arıtımındaki filtrasyon performansları (E_i, TÇK, TOK, KOİ, Cl⁻, SO₄²⁻ ve renk) Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) için Şekil 4.162'de özetlenmiştir.

ETKİNLİĞİ BİLİLEN KÜÇÜK İOP/BATIK UF SİSTEMİ



Şekil 4.162 Kağıt atıksularının etkinliği bilinen $NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}$ membran konfigürasyonu ile arıtımı sonucunda elde edilen karışık konsantrelerin tezgah üstü İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımı performansları

4.2.2 Önerilen Sistem Deneyleri

“Önerilen sistemlerde sürekli işletimler ve konsantrasyon yönetimi/Nihai arıtma sistemlerinin tespiti/Benzeştirme ve maliyet analizleri/Değerlendirmeler” konu başlığı ile İş paketi 4 kapsamında projeye konu olan tekstil ve kağıt endüstrisi atıksuları için deneysel çalışmalar ayrı ayrı yürütülerek yerine getirilmiştir. Bu dönemde İş paketi 4 kapsamında yer alan alt iş paketleri aşağıda sırasıyla verilmiştir:

- 4.1. Önerilen sistemlerde sürekli işletimli deneyler
- 4.2. Önerilen sistemlerde konsantrasyon analizleri/sınıflamaları/değerlendirmeleri
- 4.3. Nihai proses akış şemalarının teşkili
- 4.4 Sürekli işletilmiş tüm sistemlerin saha ölçeğine benzeştirilmesi ve maliyet analizleri
- 4.5. Diğer yoğun su tüketilen endüstriyel atıksuları için değerlendirilmelerdir.

Tekstil ve kağıt atıksuları için sürekli işletimli Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) deneyleri, büyük İOP/batık UF hibrit sistemi kullanılarak daha önceden tespit edilerek, Tablo 3.7’de verilen optimum işletme şartlarında uzun süreli işletimlerde gerçekleştirilmiştir.

4.2.2.1 Tekstil atıksularının arıtımı

Proje dahilinde önerilen $\{ \text{İOP/UF} \} / [\text{NF}_{\text{sıkı}}]$, $\{ \text{İOP/UF} \} / [\text{TO}]$ ve $\{ \text{İOP/UF} \} / [\text{NF}_{\text{gevşek}} / \text{TO}]$ entegre sistemleri ile sürekli şartlarda tekstil atıksuları için deneyler ayrı ayrı yürütülmüş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

✓ $\{ \text{İOP/UF} \} / [\text{NF}_{\text{sıkı}}]$ sistemi

– $\{ \text{Fenton/UF} \} / [\text{NF}_{\text{sıkı}}]$ sistemi

32' li Taguchi deneysel tasarım uygulaması sonucunda elde edilen veriler ışığında belirlenen optimum işletme şartlarında reaktöre ham tekstil suyu ile birlikte demir ve hidrojen peroksit ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$ (g/g)= 6, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ (g/g)= 15 oranları doğrultusunda) ilave edilerek sürekli sistem işletimleri yerine getirilmiştir. Atıksuyun yapılan karakterizasyon çalışmalarında, TOK değeri 258 mg/L olarak belirlenmiş ve bu doğrultuda Fenton prosesinin gerçekleşmesi için gerekli olan demir ve hidrojen peroksit Tablo 3.15'de verilen miktarlarda reaktöre eklenmiştir. Ayrıca, literatürden de bilindiği üzere, demir çökmesini önlemek için asidik şartlarda gerçekleşen Fenton prosesi için uzun süreli deneyler başlamadan önce reaktöre H_2SO_4 ilave edilerek pH ayarlaması yapılmıştır.

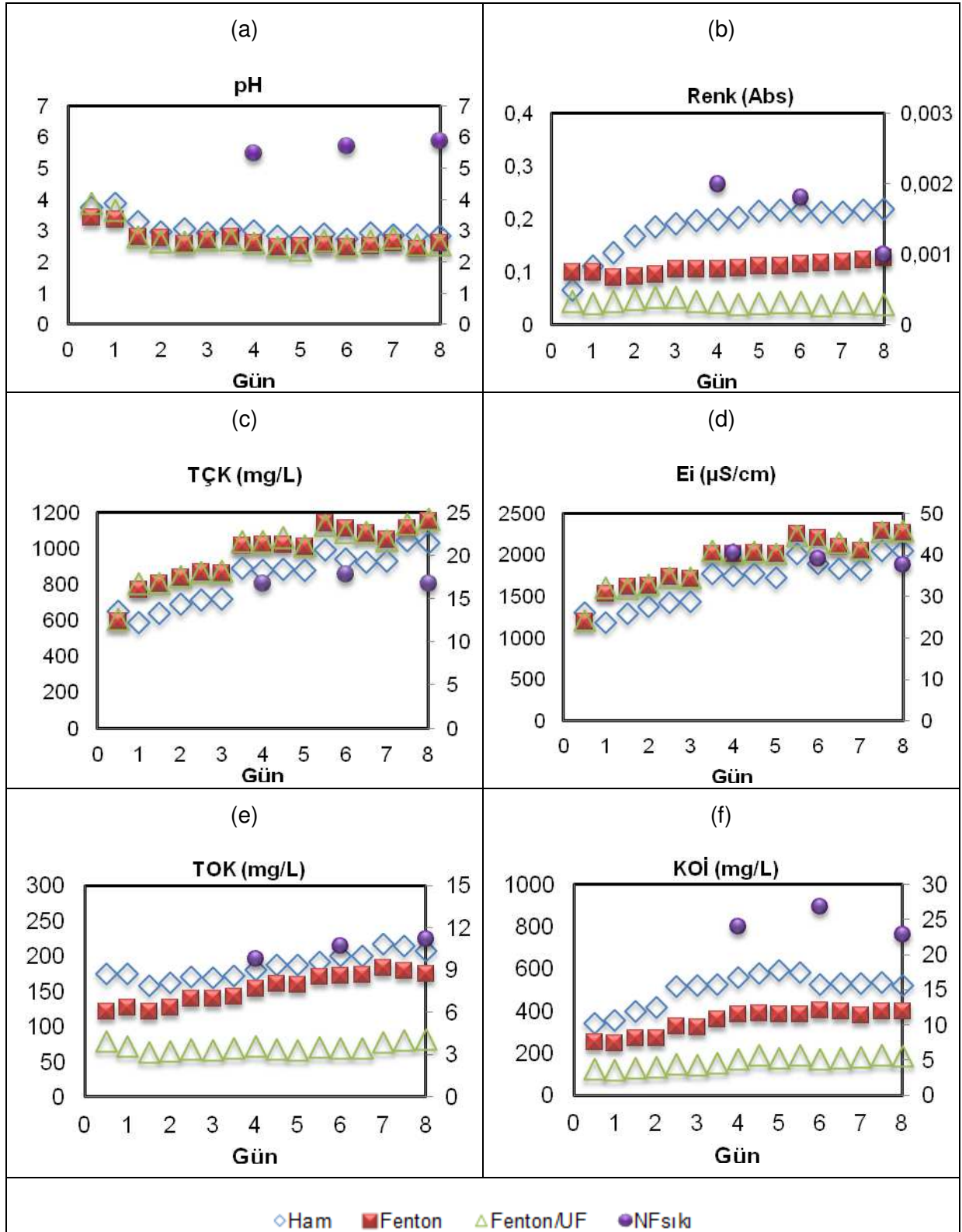
8 gün süreyle günde 2 işletim üzerinden gerçekleştirilen $\{ \text{Fenton/UF} \} / [\text{NF}_{\text{sıkı}}]$ deneylerinin her işletiminde reaktör hacmi 20 L'ye tamamlanarak reaktördeki atıksuyun yeni TOK değerleri üzerinden kimyasal ilaveleri yapılmıştır.

Her işletimde 5 L UF çıkış suyu alınmak üzere birinci, ikinci, üçüncü, beşinci ve yedinci günlerde çekilen UF çıkış suları yerine reaktör girişine 5 L ham atıksu ilave edilmiş; dördüncü, altıncı ve sekizinci günlerin birinci işletimlerinde 5 L UF çıkış suyu yerine, NF filtrasyonu sonrasında oluşan 2 L konsantre ve 3 L ham atıksu karıştırılarak İOP/UF reaktörüne ilave edilmiştir. %80 su geri kazanımı ile endüstriyel su geri kazanımının hedeflendiği işletimde her $\text{NF}_{\text{sıkı}}$ filtrasyonu 2 işletim günü sürdürülmüştür.

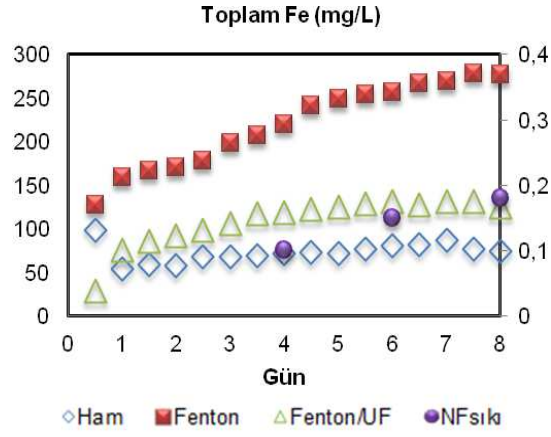
Sekizinci gün sonunda İOP/UF reaktöründe kalan tekstil atıksuyu konsantresi TÜBİTAK MAM'a gönderilerek kalan konsantrenin nihai analizleri yaptırılmıştır. Fenton/batık UF hibrit sistemi çıkış suyunun $\text{NF}_{\text{sıkı}}$ filtrasyon deneyleri değişen ardışık sürekli işletim şartları altında değişmeyen seviyelerdeki süreklilik sağlanmış işletme performansları ile süzüntü akı değerleri kararlı hale gelene kadar tekrarlanmıştır.

Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli İOP/batık UF ve sonrası $\text{NF}_{\text{sıkı}}$ bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF ve $\text{NF}_{\text{sıkı}}$ çıkış suları için Şekil 4.163'de ayrı ayrı verilmiştir.

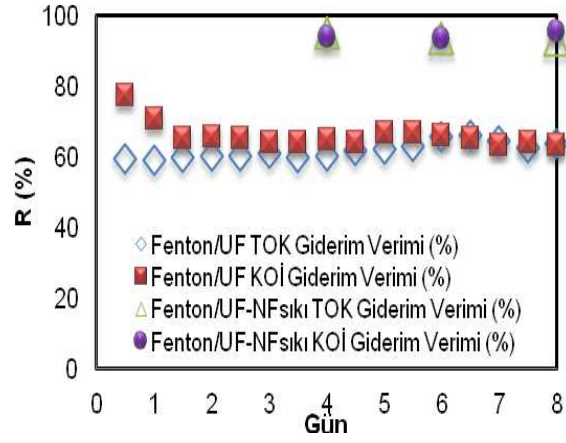
8 günlük deney süresince her işletim sonundaki toplam demir konsantrasyonları da ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF ve NF_{sıkı} çıkış suları için Şekil 4.164'deki gibidir. Şekil 4.165'de ise organik madde giderimi açısından {Fenton/UF} prosesi ile {Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] sistemi TOK ve KOİ giderim verimleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF ve NF_{sıkı} membran filtrasyon kararlı hal akıları UF için 16 işletim, NF_{sıkı} için 3 işletim üzerinden elde edilmiş ve Şekil 4.166'da gösterilmiştir. Şekil 4.163'ten görüldüğü üzere pH parametresi ilk günlerde salınım göstermesine rağmen deneyin devamında kararlı hale ulaşarak Fenton/batık UF reaktöründe 2,55 seviyelerinde kalmış, NF_{sıkı} filtrasyon çıkışında ise 5,87'ye kadar yükselmiştir. Renk, her işletim başlangıcında TOK parametresine bağlı olarak reaktöre ilave edilen demir kaynaklı olup, sürekli artış eğilimi ile ham atıksuda 0,219 A seviyelerine kadar çıkmıştır. Hibrit işletimdeki İOP/UF ortak arıtımı ile bu değer 0,038 A değerine, daha sonra uygulanan NF_{sıkı} filtrasyonu ile 0,001 A değerlerine kadar düştüğü görülmektedir. Ham atıksuda, Fenton ve Fenton/batık UF prosesleri sonrasında TÇK ve E_i değerleri benzer değişimler göstererek Fenton ve Fenton/batık UF sonrasında TÇK ve E_i değerleri ham atıksuya göre daha yüksek değerler almıştır. Ancak uygulanan NF_{sıkı} filtrasyonu ile TÇK ve E_i değerleri sırasıyla 16,71 mg/L ve 37,6 μ S/cm'lere kadar düşmüştür.



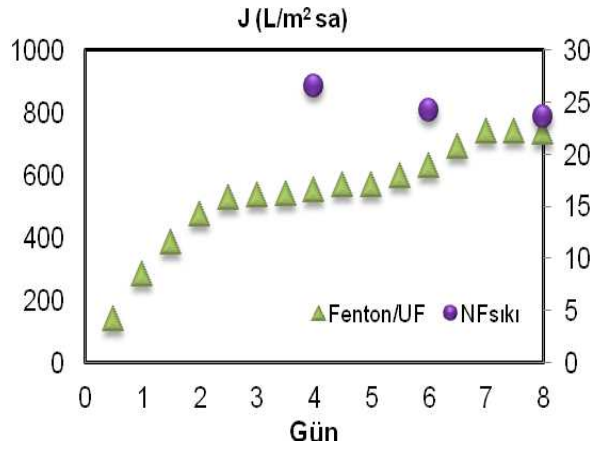
Şekil 4.163 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[NF_{sık}] bütünlük membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, Fenton, Fenton/UF sonuçlarını, sağ eksen; NF_{sık} sonuçlarını vermektedir.)



Şekil 4.164 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde toplam Fe değişimleri



Şekil 4.165 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansları



Şekil 4.166 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde akı değişimleri

Atıksudaki organik madde giderimi ile suyun yeniden kullanılabilirliğinin hedeflendiği bu çalışmada; {Fenton/UF} prosesi ile {Fenton/UF}/[NF_{sıki}] bütünleşik sisteminin performansları karşılaştırıldığında, Fenton/batık UF prosesi ile çıkış suyunda TOK ve KOİ değerleri sırasıyla 81 mg/L ve 186 mg/L değerlerini alırken, {Fenton/UF}/[NF_{sıki}] sisteminde bu değerler 13 mg/L ve 28 mg/L değerlerine kadar düşmüştür. Şekil 4.164'e bakıldığında, toplam Fe konsantrasyonu, Fenton oksidasyonu ile İOP/batık UF reaktörde 277 mg/L değerine kadar çıkmış olup, batık UF proseste %60-65, NF_{sıki} prosesinde ise %98 seviyelerinde giderimi sağlanarak toplam demir konsantrasyonunun 0,18 mg/L seviyesine düştüğü görülmüştür.

Şekil 4.165'de görüldüğü üzere, reaktör girişine ham tekstil suyu ile birlikte NF_{sıki} konsantrasyonu de ilave edilmiş olmasına rağmen, ilk iki gün haricindeki İOP/batık UF reaktörü işletimlerinde reaktör çıkışı itibarıyla %60'ın üzerinde TOK, %63'ün üzerinde KOİ ve ayrıca NF_{sıki} filtrasyonunda kararlı organik madde giderimi ile %94'ün üzerinde KOİ ve %92'nin üzerinde TOK giderimleri elde edildiği görülmektedir. 5,87 seviyelerinde olan nihai çıkış suyu pH'ı literatürde verildiği şekliyle, pH 6-8 arasında bir değere getirildikten sonra elde edilen çıkış suyunun yeniden kullanılabilir su kalitesinde olabileceği görülmüştür. Şekil 4.166'dan ise membran süzöntü akılarının kullanılan UF membran (UH050) için artarak 958,87 L/m² sa seviyelerinde değerler aldığı, NF_{sıki} (ESNA-1) membran akısının ise 23,57 L/m² sa değerinde kararlı hale ulaştığı söylenebilir.

– {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sıki}] sistemi

Tekstil atıksuyu ile optimum işletme şartlarında yürütülen sürekli deneylerde foto-Fenton destekli UVA/batık UF reaktörüne, H₂O₂/TOK (g/g) oranı 7,75 ve H₂O₂/Fe²⁺ (g/g) oranı 10,75 olacak şekilde Tablo 3.15'de verilen miktarlarda demir ve hidrojen peroksit ilaveleri yapılmıştır. {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sıki}] deneyleri öncesinde atıksuyun, TOK ve KOİ analizleri sonucunda bu değerler sırasıyla 258 mg/L ve 784 mg/L olarak bulunmuştur. Bu değerler doğrultusunda reaktöre demir ve hidrojen peroksit ilaveleri gerçekleştirildikten sonra reaktördeki atıksuda pH ayarlaması yapılmıştır. 6 gün süreyle günde 2 işletim üzerinden gerçekleştirilen deneylerin her işletiminde reaktördeki atıksuyun TOK değeri ölçülmüş ve buna göre gerekli kimyasal ilaveleri yapılmıştır. Her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu alınmak üzere birinci, ikinci ve altıncı günlerde günde iki işletim olmak üzere çekilen UF çıkış suları yerine reaktöre 5 L ham atıksu ilave edilmiştir. Her biri 2'şer gün süren ve deneylerin üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerinde tamamlanan NF_{sıki} filtrasyon deneyleri sonrasında oluşan 2 L NF konsantreleri ise aynı günlerin birinci işletimlerinde 3 L ham su ile karıştırılarak 20 L kapasiteli pilot reaktöre ilavesi sağlanmıştır. NF_{sıki} filtrasyon deneyleri, %80 su geri kazanımındaki sürekli işletim şartında yürütülerek, süzöntü akısı değerlerinin kararlı hale geldiği üçüncü tekrarda tamamlanmıştır.

Konsantre yönetimini de içerisine alan, ardışık sürekli işletim şartları altında altı gün boyunca işletilen İOP/UF reaktöründe kalan tekstil atıksuyu konsantresi TÜBİTAK MAM'a gönderilerek konsantrenin nihai analizleri yaptırılmıştır.

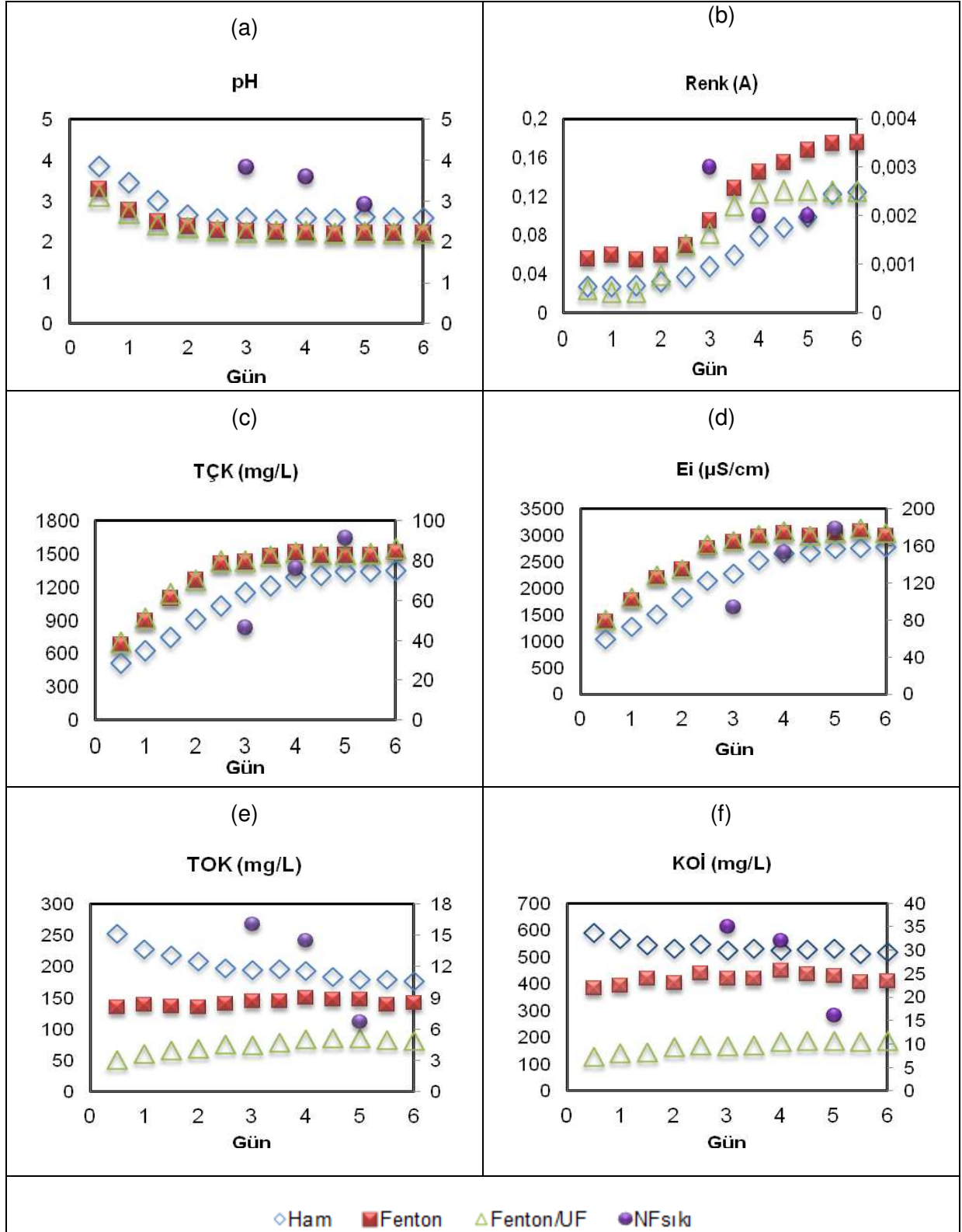
Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sıklı}] bütünleşik ileri oksidasyon/membran sisteminde pH, Renk, TÇK, E_i, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVA-Fenton, UVA-Fenton/batık UF ve NF_{sıklı} çıkış suları için Şekil 4.167'de verilmiştir.

6 günlük deney süresince her işletim sonundaki toplam demir konsantrasyonu değişimleri Şekil 4.168'de gösterilmiştir. Şekil 4.169'da ise organik madde giderimi açısından UVA-Fenton/UF ve {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sıklı}] teknolojileri karşılaştırılmıştır. Batık UF ve NF_{sıklı} membran filtrasyon kararlı hal süzüntü akıları ise UF için 12 ve NF_{sıklı} için 3 işletim üzerinden elde edilmiş ve Şekil 4.170'de verilmiştir.

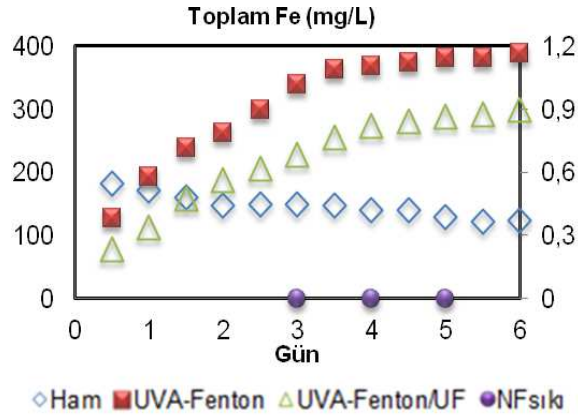
Bu çalışmada Şekil 4.167-4.170'den görüldüğü üzere, pH parametresi ilk günlerde azalış eğilimi gösterse de, daha sonra UVA-Fenton ve UVA-Fenton/batık UF için de 2,22 seviyelerinde sabitlenmiştir. Renk parametresi, demir ilavesinden dolayı ham atıksuda ve UVA oksidasyonu sırasında sürekli artış eğilimi göstermesine rağmen UVA-Fenton/batık UF prosesinde özellikle dördüncü gün itibarıyla 0,123-0,125 A arasında kararlı hale ulaşmıştır. NF_{sıklı} çıkışında ise bu değer 0,002 A'lara düşmüştür. UVA-Fenton/batık UF hibrit prosesinde TÇK ve E_i parametreleri benzer değişimler göstererek artmış ve TÇK 1546 mg/L, E_i 3040 µS/cm seviyelerine çıkarak kararlı hale gelmiştir. NF_{sıklı} çıkışında ise bu değerler 91,4 mg/L ve 178,8 µS/cm' dir.

NF_{sıklı} konsantresi olduğu zamanlarda işletim başında reaktöre ham tekstil suyu ile birlikte konsantre de ilave edilmiş olmasına rağmen, organik madde giderimi açısından TOK ve KOİ değişimleri benzerlikler göstermiş olup, İOP/batık UF adımı ile TOK giderimi yaklaşık %50, KOİ giderimi %60 seviyelerinde kararlı hale gelmiştir. NF_{sıklı} çıkışında ise %96'nın üzerinde TOK ve %96'nın üzerinde KOİ giderimi ile değerler sırasıyla 6,7 mg/L ve 16 mg/L'lere kadar düşerek geri kazanım suyu kalitesinde çıkış suyu elde edilmiştir.

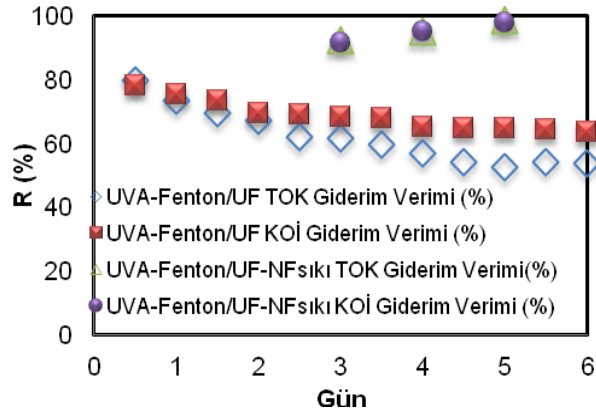
Uzun süreli işletim sırasında İOP/batık UF reaktöründe ve NF_{sıklı} filtrasyonu sırasında kararlı bir organik madde giderimi ile sürekli şartlarda hibrit sistem işletilebilmektedir. Demir konsantrasyonu her işletim başında ilave edilen demir(+2) iyonundan dolayı altı günlük deney süresince UVA-Fenton oksidasyonunda ve batık UF hibrit prosesinin çıkışında artış eğilimi gösterse de, NF_{sıklı} prosesinde %100 oranında toplam demir giderimi söz konusudur. {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sıklı}] entegre membran sisteminde hem batık UF (UV150) hem de NF_{sıklı} (ESNA-1) filtrasyon sırasında akı düşüş eğilimi göstermekte ve kararlı halde sırasıyla 388,24 L/m² sa ve 34,71 L/m² sa değerlerini almaktadır.



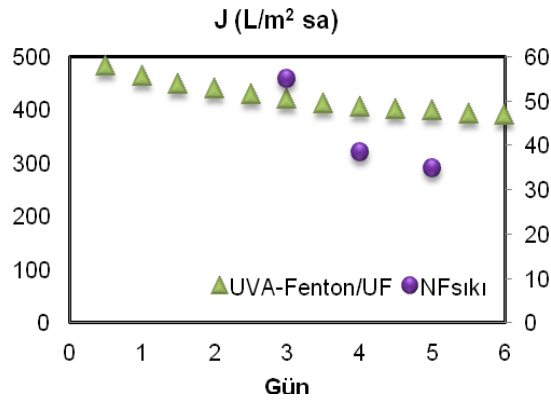
Şekil 4.167 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sık}] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, UVA-Fenton, UVA-Fenton/UF sonuçlarını, sağ eksen; NF_{sık} sonuçlarını vermektedir.)



Şekil 4.168 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde toplam Fe değişimi



Şekil 4.169 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansları



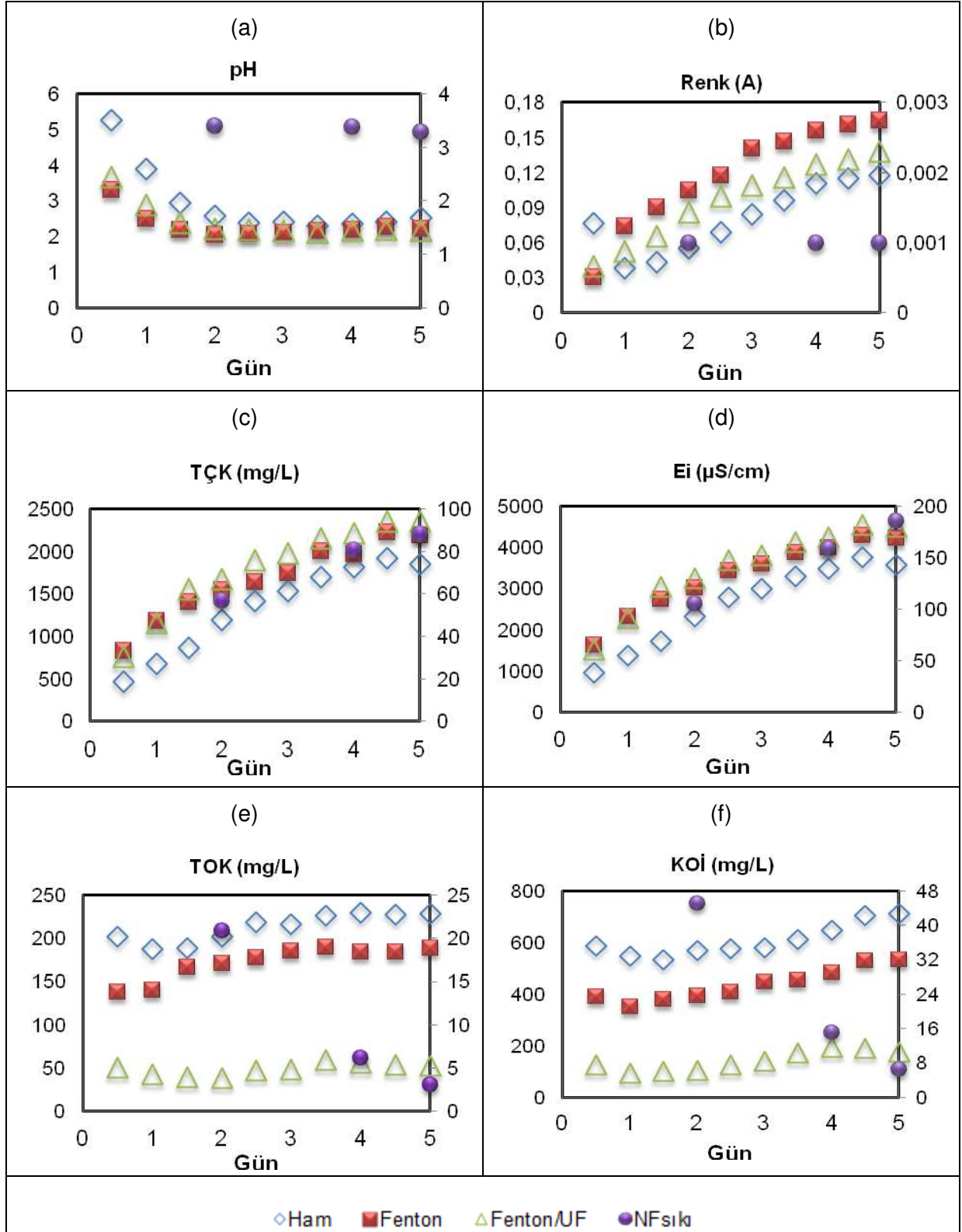
Şekil 4.170 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde akı değişimleri

– {UVC-Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] sistemi

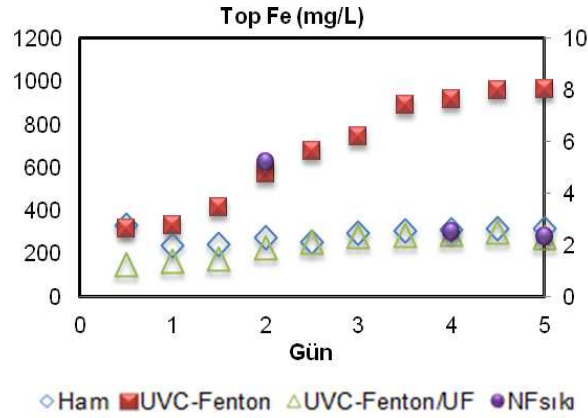
H₂O₂/TOK (g/g) oranı 9,88 ve H₂O₂/Fe²⁺ (g/g) oranı 7,27 olacak şekilde ilave edilen demir ve hidrojen peroksit miktarları Tablo 3.15’de verildiği gibidir. UVC-Fenton/batık UF deneyleri öncesinde atıksuyun, TOK değeri 258 mg/L bulunmuştur. UVC-Fenton/batık UF reaktöründe uzun süreli deneyler başlamadan önce pH ayarlaması yapılmıştır. 5 gün süreyle günde 2 işletim üzerinden gerçekleştirilen deneylerinin her işletiminde, 20 L’lik reaktördeki atıksuyun TOK değeri ölçülmüş ve buna göre kimyasal ilaveleri yapılmıştır. Her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu alınmak üzere, birinci ve üçüncü günlerde çekilen UF çıkış suları yerine reaktör girişine 5’er L ham atıksu ilave edilmiş, ikinci, dördüncü ve beşinci günlerde %80 su geri kazanımının hedeflendiği NF_{sıkı} filtrasyon deneyleri tamamlandığı için 5 L ham su yerine 2 L NF konsantresi 3 L ham su ile karıştırılarak reaktöre ilave edilmiştir. Beşinci gün sonunda reaktörde kalan tekstil atıksuyu konsantresi TÜBİTAK MAM’a gönderilerek konsantrenin nihai analizleri yaptırılmıştır. Ardışık şartlarda işletilen UF çıkış suyunun her bir NF_{sıkı} filtrasyonu 2’şer işletim günü sürmüş olup, filtrasyon akısı kararlı hale geldiği 3 işletimle tamamlanmıştır.

Şekil 4.171’de sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVC-Fenton, UVC-Fenton/batık UF ve NF_{sıkı} çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 5 günlük deney süresince her işletim sonrasında proseslerdeki toplam demir konsantrasyonları Şekil 4.172’deki gibi değişmektedir. Şekil 4.173’de organik madde giderimi {UVC-Fenton/batık UF} prosesi ile {UVC-Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] sistemi için KOİ ve TOK parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir. UF ve NF_{sıkı} membran filtrasyon kararlı hal süzüntü akıları Şekil 4.174’de verilmiştir.

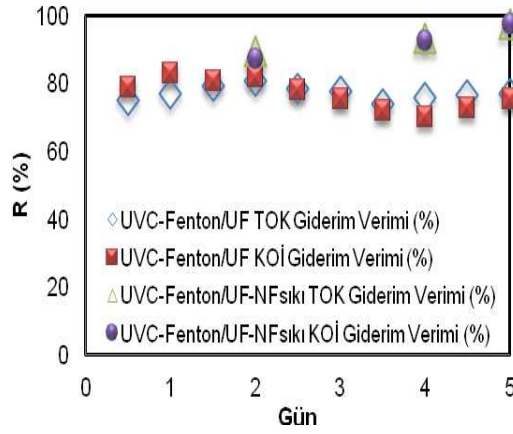
Şekil 4.171 incelendiğinde, pH parametresi sürekli sistemde 2,16’lar seviyesinde stabil halde tutulmuş olup, NF_{sıkı} süzüntü suyu ancak 3,28 seviyelerine çıkmıştır. Renk parametresi diğer iki proste olduğu gibi, başlangıçta ham atıksuda ve UVC-Fenton oksidasyonunda artış eğilimi gösterse de, UVC-Fenton/UF prosesinde üçüncü günden sonra kararlı hale ulaşarak 0,138 A değerini almış; NF_{sıkı} çıkışında da 0,001 A seviyesine kadar düşmüştür. TÇK ve Ei değerleri, UVC-Fenton/batık UF çıkışında 2350 mg/L ve 4500 µS/cm iken NF_{sıkı} çıkışında 87,9 mg/L ve 185 µS/cm değerlerini almıştır. Şekil 4.172’ de görüldüğü üzere, NF_{sıkı} filtrasyonu sonucunda süzüntü suyunda toplam demir konsantrasyonu 2,3 mg/L bulunmuştur. TOK ve KOİ değerleri, ikinci, dördüncü ve beşinci günlerde NF_{sıkı} konsantresinin reaktöre ilave edilmesine rağmen, hem reaktör içinde hem de UF çıkışında kararlı seviyelerdedir ve ayrıca NF_{sıkı} çıkışında %98 üzerinde giderim sergileyerek, TOK değeri 3,1 mg/L ve KOİ değeri de 6,5 mg/L’ seviyesine kadar azalmıştır (Şekil 4.173). Batık UF membran (UH050) süzüntü akısı artarak kararlı hale ulaşmış (447,53 L/m²sa), NF_{sıkı} (ESNA-1) membran akısı sırasıyla üç işletimde 33,85, 28,29 ve 27,43 L/m²sa seviyelerinde kalmıştır.



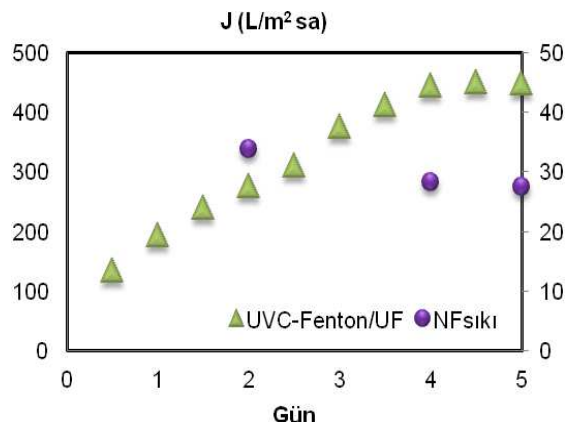
Şekil 4.171 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF_{sık}] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sağ eksen; Ham, UVC-Fenton, UVC-Fenton/UF sonuçlarını, sol eksen; NF_{sık} sonuçlarını vermektedir.)



Şekil 4.172 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde toplam Fe değişimleri



Şekil 4.173 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansları



Şekil 4.174 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde akı değişimleri

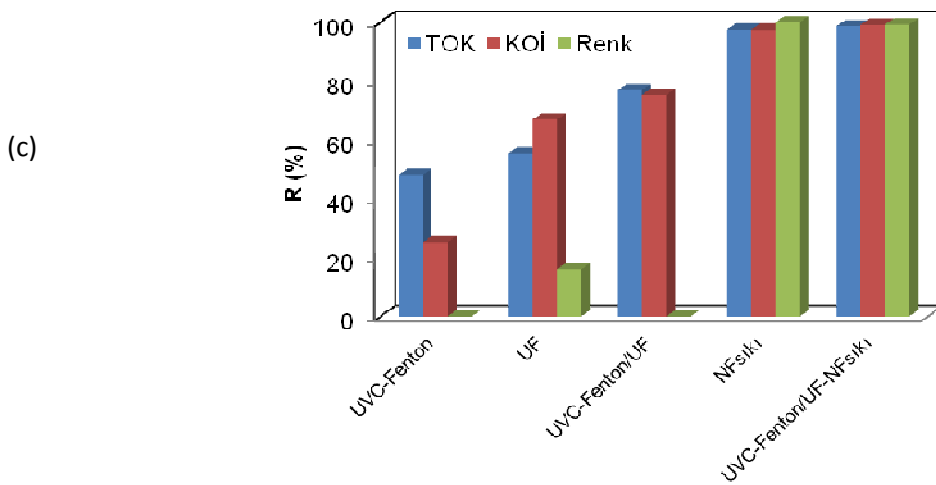
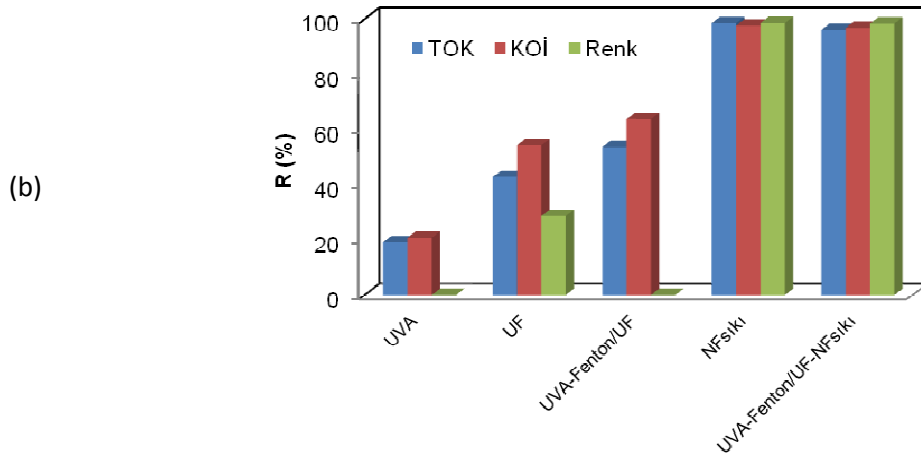
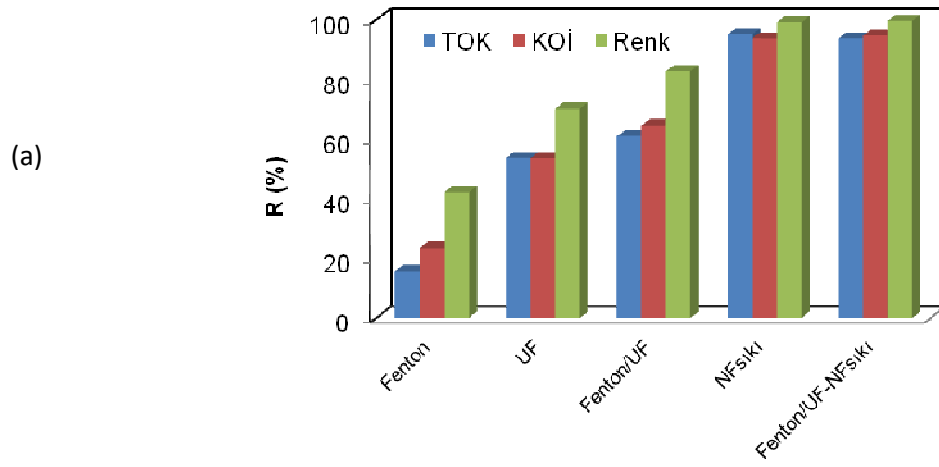
Önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF_{sıkı}] entegre membran arıtma sistemlerinde uzun süreli işletimlerle kararlı hale ulaşıldığında her bir proses adımı için organik madde ve renk giderim performansları Şekil 4.175'te verilmiştir. Önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sistemlerinde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri sırasıyla Tablo 4.64, Tablo 4.65 ve Tablo 4.66'da ayrı ayrı sunulmuştur.

Her üç hibrit sistemde oluşan NF_{sıkı} membran konsantreleri belirli günlerde İOP/batık UF reaktörüne geri devredilerek, atıksu ile birlikte konsantre bertarafı da gerçekleşmekte ve eş zamanlı olarak da reaktörde kararlı hal durumu bozulmadan geri kazanım suyu temin edilebilmektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm sistemlerde pH ve sadece {Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] sisteminde TOK ve KOİ parametreleri hariç; diğer iki sistemin çıkış suyu kalite değerlerinin tamamının herhangi bir demir kalıntısı olmaksızın, literatürde verilen ve proje kapsamında hedeflenen yeniden kullanım suyu kriterleri (Tablo 3.21 ve açıklaması) ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Fenton destekli {Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] sistemdeki TOK ve KOİ değerlerinin, hedef su kalitesi değerlerinin çok az üzerinde olduğu (*hedef TOK ve KOİ <10 mg/L ve 20 mg/L iken işletim sonu 3 ölçüm sonucu ortalaması olarak 11,2 ve 22,8 mg/L olarak ölçülmüştür.*) belirlenmiştir. Bu kalite değerlerinin, hedef değerlerin çok az üzerinde olması sebebiyle, uygulamada yeniden kullanım suyu kalitesi bakımından sorun teşkil etmeyeceği değerlendirilmiştir.

Kararlı hal işleme dayalı konsantre akım döngüsü (reaktöre ham atıksuyla beraber sonraki adımdaki MP konsantresi beraberce ilave edildiği konsantre geri besleme) altında; sistem bütününde Fenton destekli İOP/batık UF entegre sistemi ile birlikte etkin seviyelerde organik madde giderimi sağlanmasının yanı sıra batık membranda istenmeyen tıkanma problemlerine sebep olmayan membran kirlenmesi durumunun da varlığından hareketle, geri beslemeli atık minimizasyonuna dayalı konsantre yönetimi etkisi ile birlikte endüstriyel su geri kazanımını başarıyla yerine getiren bütünleşik bir atıksu arıtım, su geri kazanımı ve konsantre yönetimi uygulamasının, önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF_{sıkı}] sistemlerinin her biri ile sağlandığı tespit edilmiştir.

Nihai çıkış suyu kalite değerlerinden görülmektedir ki, tekstil endüstrisi atıksularının Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli İOP/batık UF reaktörü sonrasında NF_{sıkı} filtrasyonunun gerçekleştirildiği sistemlerde artırılarak, üretilen endüstriyel yeniden kullanım suları pH'ları 6-8 aralığına ayarlandıktan sonra, bu teknolojilerin membran konsantre yönetimini de içine alan bir yaklaşım ile saha ölçeğe uygulanabilir olduğu görülmektedir.



Şekil 4.175 Sürekli işletimli önerilen (a) {Fenton/UF}/[NF_{sıklı}] (b) {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sıklı}] (c) {UVC-Fenton/UF}/[NF_{sıklı}] sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları

Tablo 4.64 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {İOP/UF}/[NF_{sıkı}] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri

Parametre	Birim	Ham atıksu	{Fenton/UF}/[NF _{sıkı}]		
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,2	5,87	2,61	-
Sıcaklık	°C	25,0	26,5	26,5	-
İletkenlik	µs/cm	1044	37,6	2280	96,1
TÇK	mg/L	613	16,71	1167	96,0
Çözülmüş Oksijen	mg/L	5,93		9,47	-
KOİ	mg/L	784	22,8	510	95,63
TOK	mg/L	258	11,2	174,5	93,36
AKM	mg/L	10,5	-	-	-
AOX	mg/L	0,682	-	-	-
Bulanıklık	NTU	2,72	0,39	2810	100,0
Amonyak	mg/L	1,16	0,32	2,01	84,2
Renk	λ436:	0,086	0,001	0,174	98,9
	λ525:	0,080	0,001	0,018	94,4
	λ620:	0,076	0,001	0,011	90,9
Nitrat	mg/L	13,5	1,56	7,25	78,5
Sülfat	mg/L	29,5	6,2	1039	99,4
Klörür	mg/L	25,29	<0,5	<0,5	<100
Demir II	mg/L	0,76	0,0	35,5	100
Demir III	mg/L	2,56	0,18	268,2	99,9
Demir (II/III)	mg/L	3,32	0,18	303,7	99,9
Toplam Azot	mg/L	14,66	1,88	9,25	79,7
Toplam Sertlik	mg/L	77,9	11,89	307,5	96,1
Fenol	mg/L	7,50	0,01	-	-

Tablo 4.65 Sürekli işletimli önerilen UVA Foto-Fenton destekli $\{[IOP/UF]/[NF_{siki}]\}$ bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri

Parametre	Birim	Ham atıksu	$\{UVA-Fenton/UF\}/[NF_{siki}]$		
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,2	2,92	2,3	-
Sıcaklık	°C	25	40	40	-
İletkenlik	$\mu s/cm$	1044	178,8	2960	93,1
TÇK	mg/L	613	91,4	1515	93,6
Çözünmüş Oksijen	mg/L	5,93	-	8,47	-
KOI	mg/L	784	16	325	96,9
TOK	mg/L	258	6,7	132	96,6
AKM	mg/L	10,5	-	-	-
AOX	mg/L	0,682	-	-	-
Bulanıklık	NTU	2,72	0,22	4020	100,0
Amonyak	mg/L	1,16	0,17	1,46	88,2
Renk	$\lambda 436$:	0,086	0,002	0,051	94,1
	$\lambda 525$:	0,080	0,002	0,013	84,6
	$\lambda 620$:	0,076	0,001	0,005	80,0
Nitrat	mg/L	13,5	1,95	8,52	77,1
Sülfat	mg/L	29,5	0,0	1245	100
Klörür	mg/L	25,29	<0,5	<0,5	<100
Demir II	mg/L	0,76	0,0	23,2	100
Demir III	mg/L	2,56	0,0	288	100
Demir (II/III)	mg/L	3,32	0,0	311,2	100
Toplam Azot	mg/L	14,7	2,12	9,98	78,8
Toplam Sertlik	mg/L	77,9	33,6	604,8	94,4
Fenol	mg/L	7,50	0,01	-	-

Tablo 4.66 Sürekli işletimli önerilen UVC Foto-Fenton destekli {IOP/UF}/[NF_{sıkı}] bütünlük membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri

Parametre	Birim	Ham atıksu	{UVC-Fenton/UF}/[NF _{sıkı}]		
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,2	3,28	2,34	-
Sıcaklık	°C	25,0	40,0	40,0	-
İletkenlik	µs/cm	1044	185	4240	95,6
TÇK	mg/L	613	87,9	2210	96
Çözünmüş Oksijen	mg/L	5,93	-	8,54	-
KOİ	mg/L	784	6,5	420	98,9
TOK	mg/L	258	3,1	109,5	98,6
AKM	mg/L	10,5	-	-	-
AOX	mg/L	0,682	-	-	-
Bulanıklık	NTU	2,72	0,29	15,80	98,2
Amonyak	mg/L	1,16	0,25	1,38	81,9
Renk	λ436:	0,086	0,0	0,183	100
	λ525:	0,080	0,0	0,046	100
	λ620:	0,076	0,0	0,021	100
Nitrat	mg/L	13,5	1,39	10,5	86,8
Sülfat	mg/L	29,5	0,0	3087	100
Klörür	mg/L	25,29	<0,5	<0,5	<100
Demir II	mg/L	0,76	1,3	196,1	98,8
Demir III	mg/L	2,56	1	826,9	99,8
Demir (II/III)	mg/L	3,32	2,3	1023	99,6
Toplam Azot	mg/L	14,66	1,64	11,88	86,2
Toplam Sertlik	mg/L	77,9	11,89	204,1	94,2
Fenol	mg/L	7,50	0,01	-	-

✓ **{İOP/UF}/[TO] sistemi**

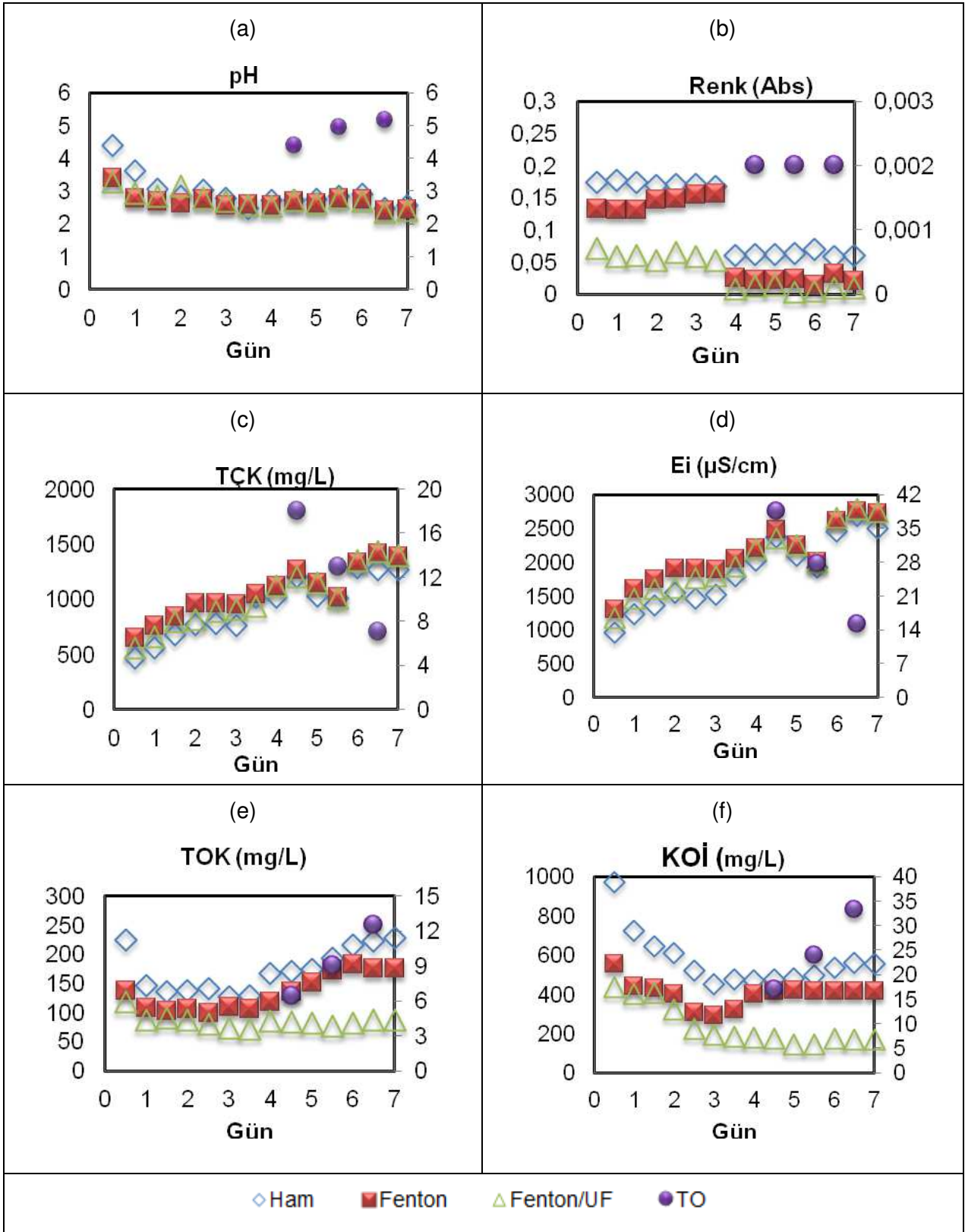
– {Fenton/UF}/[TO] sistemi

258 mg/L TOK değerine sahip ham tekstil atıksuyu 20 L kapasiteli {Fenton/UF} reaktörüne konularak TOK değerine bağlı Tablo 3.16'da verilen gerekli demir ve hidrojen peroksit (H_2O_2/TOK (g/g)= 6, H_2O_2/Fe^{2+} (g/g)= 15 oranları doğrultusunda) ilavelerinden sonra pH ayarlaması yapılarak işletilmiştir. Sistem bütününde ardışık sürekli işletimleri 7 gün devam eden deneylerde hergün iki işletim gerçekleştirilmiş ve her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu elde edilmiştir. Her işletim başlangıcında reaktördeki TOK değerinden yola çıkılarak gerekli demir ve hidrojen peroksit ilaveleri yapılmıştır.

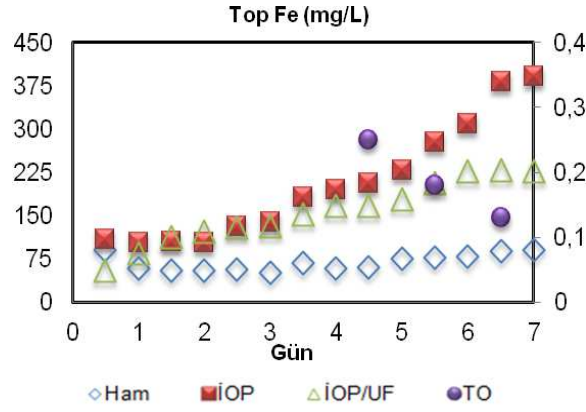
{Fenton/UF} prosesi ile iki işletim sonunda elde edilen 10 L süzüntü suyu belirlenen günlerde TO ile %80 oranında konsantre edilmiştir. Birer gün süren TO filtrasyonu sonucunda 2 L konsantre edilerek 8 L süzüntü suyu elde edilmiştir. İkinci, üçüncü ve dördüncü günlerde her işletimde süzülen 5 L çıkış suyu yerine reaktöre 5 L ham su ilave edilirken; beşinci, altıncı ve yedinci günlerde, UF süzüntüsü yerine 2 L TO konsantresi 3 L ham suyla karıştırılarak {Fenton/batık UF} reaktörüne ilave edilmiştir. Fenton/batık UF prosesi çıkış suyunun TO filtrasyon deneyleri değişen ardışık sürekli işletim şartları altında değişmeyen seviyelerdeki süreklilik sağlanmış işletme performansları ile süzüntü akı değerleri kararlı hale ulaştığı üçüncü tekrarda filtrasyon tamamlanmıştır.

Şekil 4.176'da sürekli işletimli önerilen Fenton destekli İOP/UF-TO bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF ve TO çıkış suları için verilmiştir. 7 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu ise Şekil 4.177'deki gibi değişmektedir. Şekil 4.178'de {Fenton/UF}/[TO] sistemi hibrit prosesinde organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF ve TO membran filtrasyon kararlı hal akıları UF için 14 işletim, TO için 3 işletim üzerinden elde edilmiş ve Şekil 4.179'da gösterilmiştir.

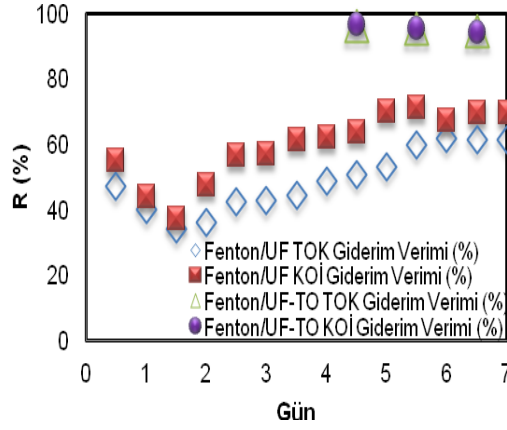
{Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sistemi ile arıtımda ardışık yürütülen deneylerden TO hariç diğer proses adımlarında kararlı halde pH 2,41-2,56 arasında değişmekte olmasına karşı, TO filtrasyonu sonrasında pH 5,17 değerine çıkmıştır. Renk parametresi üçüncü güne kadar farklı bir gidişat sergilemesine rağmen, diğer tüm sistemlerde olduğu gibi ancak TO filtrasyonu sonucunda 0,002 A mertebelerine düşmüştür. TÇK ve Ei sistem bütününde benzer değişimler göstermekte olup Fenton/batık UF adımı sonrasında sırasıyla 1400 mg/L ve 2740 μ S/cm gibi yüksek değerler alırken TO sonrasında 7,06 mg/L ve 15,3 μ S/cm'lere kadar düşmüştür.



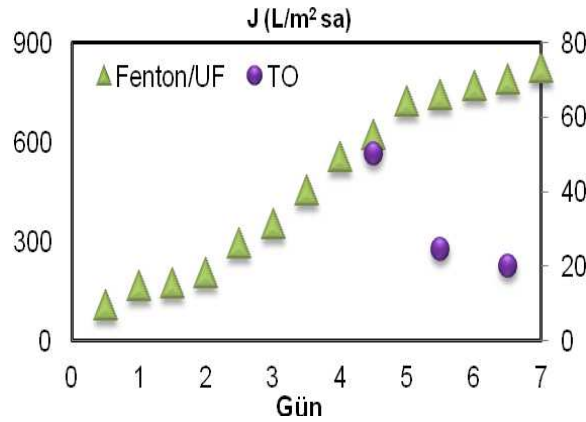
Şekil 4.176 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (*Sol eksen; Ham, İOP, İOP+UF sonuçlarını, sağ eksen; TO sonuçlarını vermektedir.*)



Şekil 4.177 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {Fenton/UF}/[TO] bütünlük membran sisteminde Top Fe değişimi



Şekil 4.178 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {Fenton/UF}/[TO] bütünlük membran sisteminde organik madde giderim performansı



Şekil 4.179 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {Fenton/UF}/[TO] bütünlük membran sisteminde akı değişimi

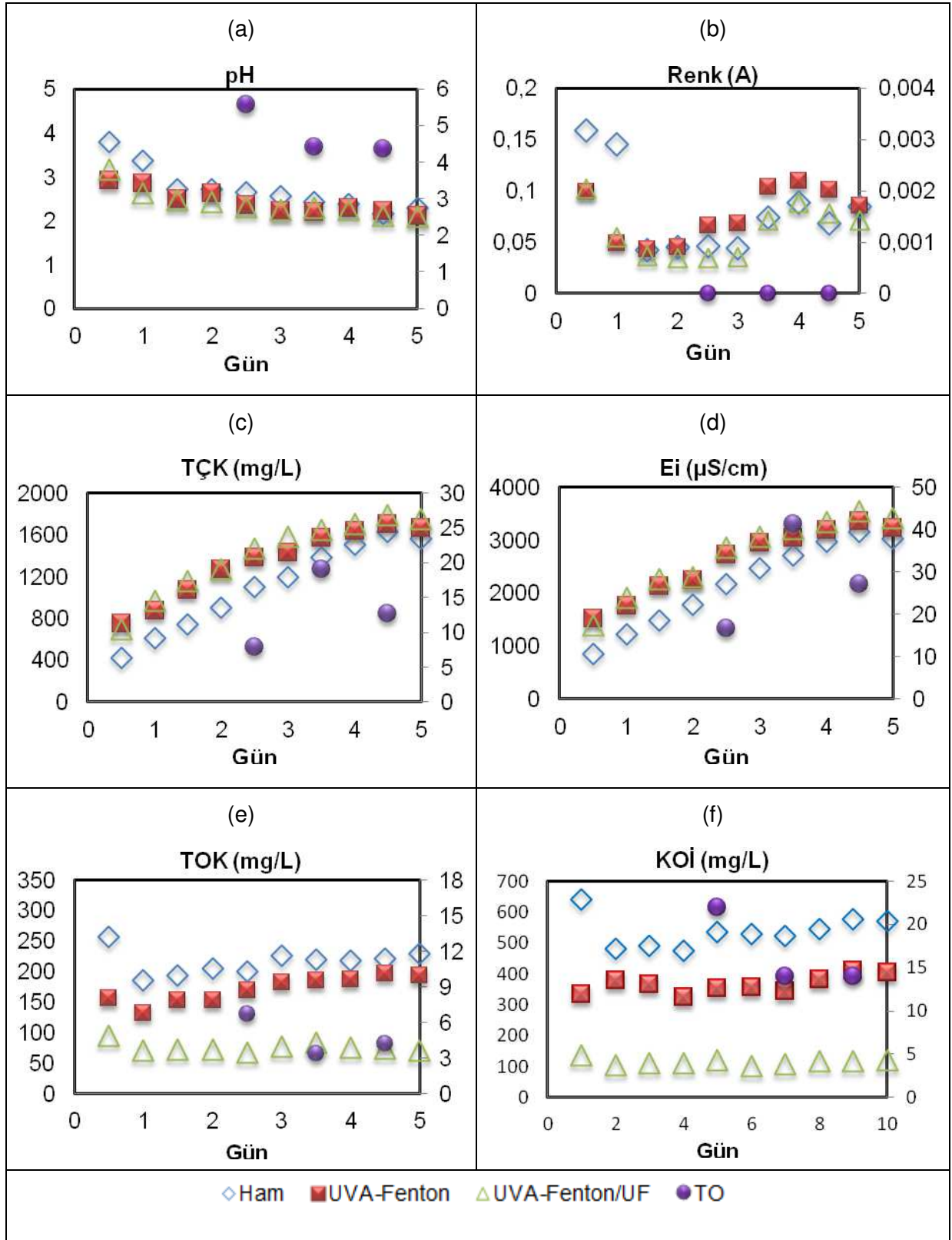
Atıksudaki organik madde giderimi ile suyun yeniden kullanılabilirliğinin hedeflendiği bu çalışmada, {Fenton/UF} prosesi ile {Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sistemi karşılaştırıldığında, {Fenton/UF} prosesi ile TOK değeri 87,7 mg/L, KOİ değeri 168 mg/L'lere düşerken, {Fenton/UF}/[TO] sisteminde sırasıyla 12,5 mg/L ve 33,25 mg/L değerlerini alarak, hedef değerlerin bir miktar üzerinde çıkmıştır.

Toplam demir konsantrasyonunun 7,14 mg/L'ye kadar düştüğü bütünleşik sistemde UF (UH050) süzüntü akısı 820 L/m² sa, TO (LFC-3) süzüntü akısı 20,01 L/m² sa değerlerini alarak kararlı hale ulaşmıştır. Fenton/batık UF prosesi ve Fenton/UF-TO sisteminde TOK giderim verimleri sırasıyla %61,6 ve %94,4; KOİ giderim verimleri sırasıyla %69,8 ve %94,1 değerlerini almıştır.

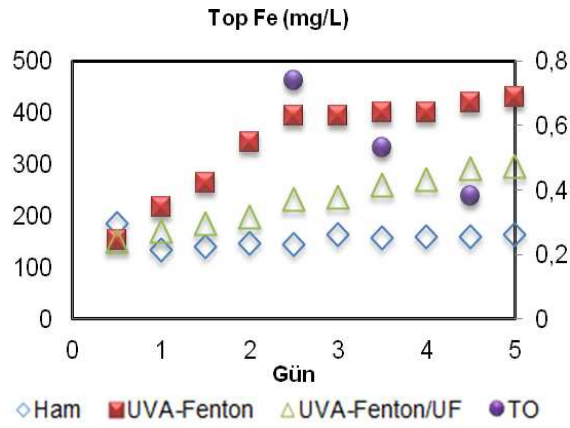
– {UVA-Fenton/UF}/[TO] sistemi

258 mg/L TOK değerine sahip ham tekstil atıksuyu 20 L kapasiteli UVA-Fenton/batık UF reaktörüne konularak TOK değerine bağlı gerekli demir ve hidrojen peroksit ilavelerinden (H₂O₂/TOK (g/g) oranı 7,75 ve H₂O₂/Fe²⁺ (g/g) oranı 10,75 olacak şekilde Tablo 3.16'da verilen değerlerde) sonra pH ayarlaması yapıldıktan sonra işletilmeye başlanmıştır. Sistem bütününde ardışık sürekli işletimleri 5 gün devam eden deneylerde her gün iki işletim gerçekleştirilmiş ve her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu elde edilmiştir. Her işletim başlangıcında reaktördeki TOK değerinden yola çıkılarak gerekli demir ve hidrojen peroksit ilaveleri yapılmıştır. {UVA-Fenton/UF} prosesi ile iki işletim sonunda elde edilen 10 L süzüntü suyu belirlenen günlerde TO filtrasyonu ile %80 oranında konsantre edilmiştir. Birer gün süren TO filtrasyon deneyleri sonucunda 2 L konsantre, 8 L süzüntü suyu elde edilmiştir. Her işletimde UVA-Fenton/batık UF çıkışında elde edilen 5 L süzüntü suyu yerine reaktöre 5 L ham su ilave edilirken; üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerde, birinci işletimlerde elde edilen 5 L UF süzüntüsü yerine 2 L TO konsantresi 3 L ham suyla karıştırılarak UVA-Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilmiştir. Batık UF ve TO membran filtrasyon kararlı hal süzüntü akıları UF 10 ve TO 3 işletim üzerinden elde edilmiştir.

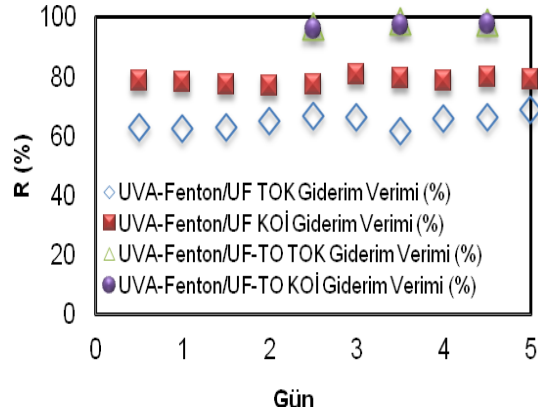
Şekil 4.180'de sürekli işletimli önerilen Fenton destekli UVA/UF-TO bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVA-Fenton, UVA-Fenton/batık UF ve TO çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 7 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu ise Şekil 4.181'deki gibi değişmektedir. Şekil 4.182'de {UVA-Fenton/UF}/[TO] hibrit sisteminde organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden karşılaştırılmış olup UF ve TO membran filtrasyonunda kararlı hal süzüntü akı değerleri Şekil 4.183'de verilmiştir.



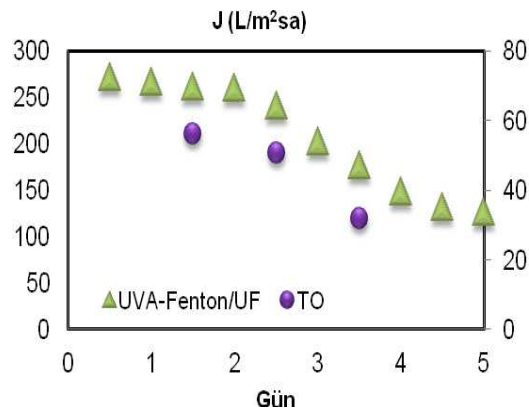
Şekil 4.180 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde (a)pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, İOP, İOP+UF sonuçlarını, sağ eksen; TO sonuçlarını vermektedir.)



Şekil 4.181 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi



Şekil 4.182 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı



Şekil 4.183 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi

Önerilen {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sistemi ile arıtmada ardışık yürütülen deneylerden TO hariç diğer proses adımlarında kararlı halde pH 2,1-2,3 arasında değişmekte olmasına karşı, TO filtrasyonu sonrasında pH 4,37 değerine çıkmıştır. Renk parametresi TO filtrasyonu sonucunda süzüntü suyunda tamamen giderilmiştir. TÇK ve Ei sistem bütününde genel olarak benzer değişimler göstermekte olup, UVA-Fenton/batık UF adımı sonrasında sırasıyla 1755 mg/L ve 3420 µS/cm gibi yüksek değerler alırken, TO sonrasında 12,7 mg/L ve 27,2 µS/cm'lere kadar düşmüştür.

TO konsantresi olduğu zamanlarda işletimlerin başında UVA-Fenton/batık UF reaktörüne ham tekstil suyu ile birlikte konsantre de ilave edilmiş olmasına rağmen, süzüntü suyunda organik madde giderimi değerlendirildiğinde, UVA-Fenton/batık UF prosesi ile TOK değeri 71,1 mg/L'ye, KOİ değeri 120 mg/L'ye düşerken, TO filtrasyonu çıkışında bu değerler sırasıyla 4,2 mg/L ve 14 mg/L değerlerine kadar düşmüştür. Toplam demir konsantrasyonunun 7,44 mg/L'lerde olduğu {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik sistemde UF (UV150) 126 L/m² sa ve TO (LFC-3) 31,85 L/m² sa kararlı hal akıllarında {UVA-Fenton/UF} prosesi ile {UVA-Fenton/UF}/[TO] sisteminde TOK giderim verimleri sırasıyla %68,9 ve %98,1 iken KOİ giderim verimleri sırasıyla %79,02 ve %97,6 değerlerini almıştır.

– {UVC-Fenton/UF}/[TO] sistemi

H₂O₂/TOK (g/g) oranı 9,88 ve H₂O₂/Fe²⁺ (g/g) oranı 7,27 olacak şekilde ilave edilen demir ve hidrojen peroksit miktarları Tablo 3.16'da verilmiştir. UVC-Fenton/batık UF deneyleri öncesinde de atıksuyun TOK analizi sonucunda TOK değeri 160 mg/L olarak bulunmuştur. 20 L kapasiteli UVC-Fenton/batık UF reaktöründe uzun süreli deneyler başlamadan önce demirin reaktörde çökmemesi için pH asidik şartlara ayarlanmıştır.

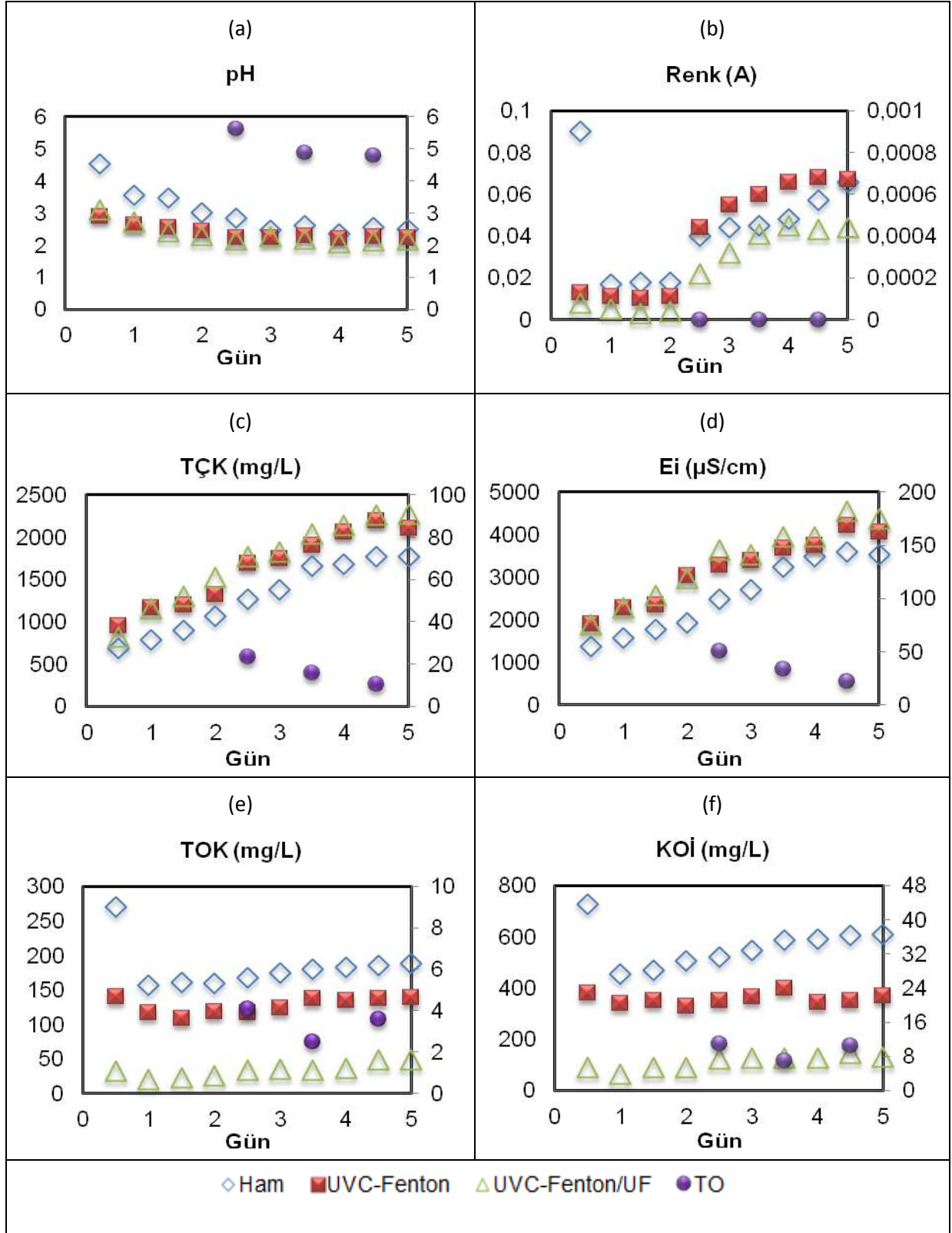
Sistem bütününde ardışık sürekli işletimleri 5 gün devam eden deneylerde hergün iki işletim gerçekleştirilmiş ve her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu elde edilmiştir. Her işletim başlangıcında reaktördeki TOK değerinden yola çıkılarak gerekli demir ve hidrojen peroksit ilaveleri yapılmıştır. UVC-Fenton/batık UF ile iki işletim sonunda elde edilen 10 L süzüntü suyu belirlenen günlerde TO ile %80 oranında konsantre edilmiştir. Birer gün süren TO filtrasyon deneyleri sonucunda 2 L konsantre ve 8 L süzüntü suyu elde edilmiştir. Her işletimde süzülen 5 L UF çıkış suyu yerine reaktöre 5 L ham su ilave edilirken; üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerde, UF süzüntü suyu yerine 2 L TO konsantresi 3 L ham suyla karıştırılarak UVC/batık UF reaktörüne ilave edilmiştir. UVC-Fenton/batık UF çıkış suyunun TO ile filtrasyonunda elde edilen akı değerlerinin kararlı hale ulaştığı üçüncü tekrarda filtrasyon deneyleri tamamlanmıştır.

Şekil 4.184'de sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVC-Fenton, UVC-Fenton/batık UF ve TO çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 7 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu ise Şekil 4.185'deki gibi değişmektedir. Şekil 4.186'da Fenton/UF-TO hibrit prosesinde organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden karşılaştırılmış olup batık UF ve TO membran filtrasyonunda kararlı hal süzöntü akı değerleri Şekil 4.187'de verilmiştir.

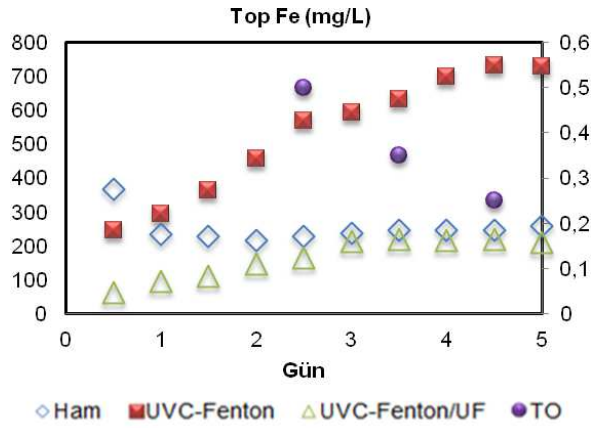
Önerilen {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sistemi ile arıtımda ardışık yürütülen deneylerden TO hariç diğer proses adımlarında kararlı halde pH 2,14-2,49 arasında değişmekte olmasına karşı, TO filtrasyonu sonrasında pH 4,79 değerine kadar çıkmıştır. Renk parametresi demir kaynaklı olarak UVC/UF sisteminde artış eğilimi göstermesine karşı TO filtrasyonu ile 0,003 A değerine kadar inmiştir. TÇK ve Ei parametreleri sistem bütününde benzer eğilimler göstermiş ve deney sonunda kararlı hal durumunda sırasıyla 10,33 mg/L ve 22,3 µS/cm değerlerini almışlardır. TOK ve KOİ üzerinden gerçekleştirilen organik madde değerlendirmeleri bu çalışmada çok önemli bir hususu oluşturmaktadır. {UVC-Fenton/UF} prosesi ile TOK değeri 49,1 mg/L'ye, KOİ değeri 130 mg/L'ye düşerken, TO filtrasyonu ile bu değerler sırasıyla 3,6 mg/L ve 10,5 mg/L değerlerine kadar düşerek, elde edilen çıkış suyu ile yeniden kullanım suyu kalitesine ulaşılmıştır.

TOK değerine bağlı olarak her işletimde ilave edilen demir (2+) kaynaklı İOP/batık UF reaktöründe toplam demir konsantrasyonu 258,9 mg/L olmasına rağmen TO filtrasyonu ile çıkış suyundaki toplam demir konsantrasyonu 0,89 mg/L değerine düşmüştür. Bütünleşik {UVC-Fenton/UF}/[TO] entegre sistemde UF (UH050) 572 L/m² sa ve TO (LFC-3) 69,85 L/m² sa yüksek kararlı hal akılarında {UVC-Fenton/UF} prosesi ile {UVC-Fenton/UF}/[TO] sisteminde TOK giderim verimleri sırasıyla %73,8 ve %98,1 iken KOİ giderim verimleri sırasıyla %78,6 ve %98,3 değerlerini almıştır.

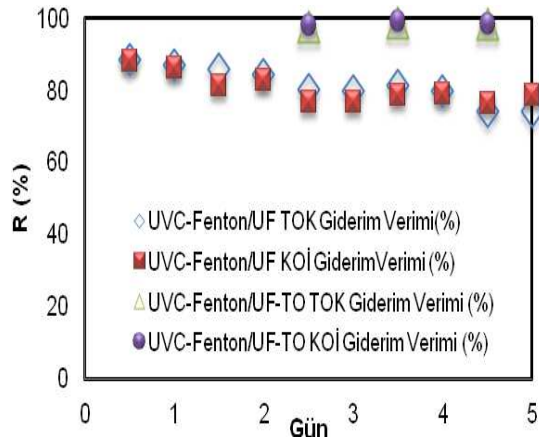
Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[TO] ve {UVC veya UVA-Fenton/UF}/[TO] entegre membran arıtma sistemlerinde kararlı hale ulaşıldığında her bir proses adımı için organik madde ve renk giderim performansları Şekil 4.188'de verilirken, bütünleşik membran sistemlerinde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri sırasıyla Tablo 4.67, 4.68 ve 4.69'de ayrı ayrı verilmiştir.



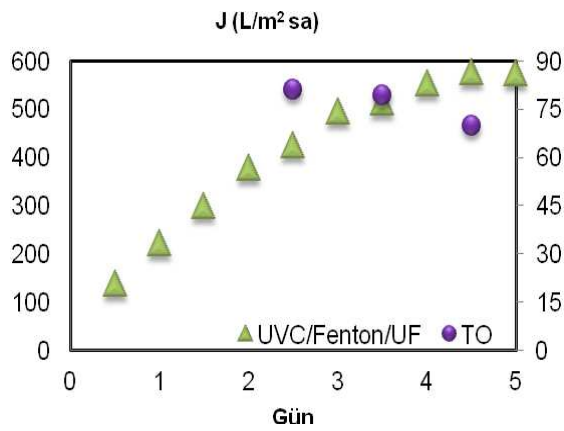
Şekil 4.184 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, İOP, İOP+UF sonuçlarını, sağ eksen; TO sonuçlarını vermektedir.)



Şekil 4.185 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi

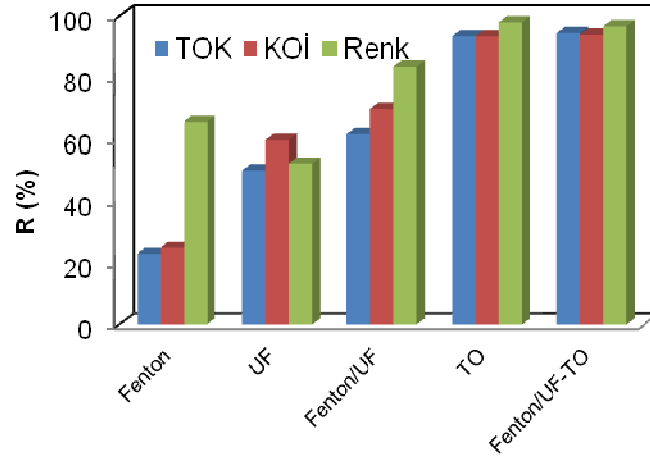


Şekil 4.186 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı

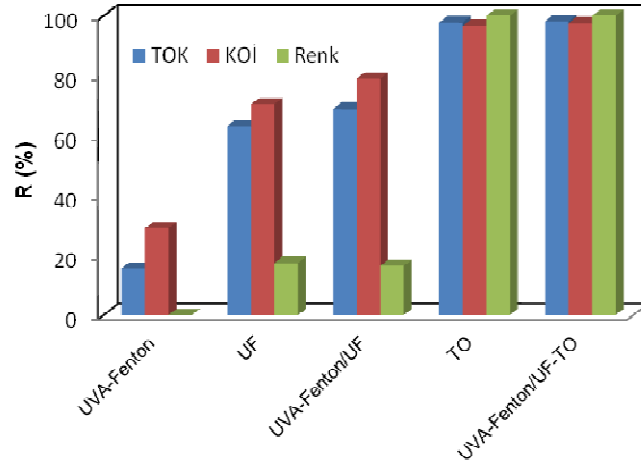


Şekil 4.187 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi

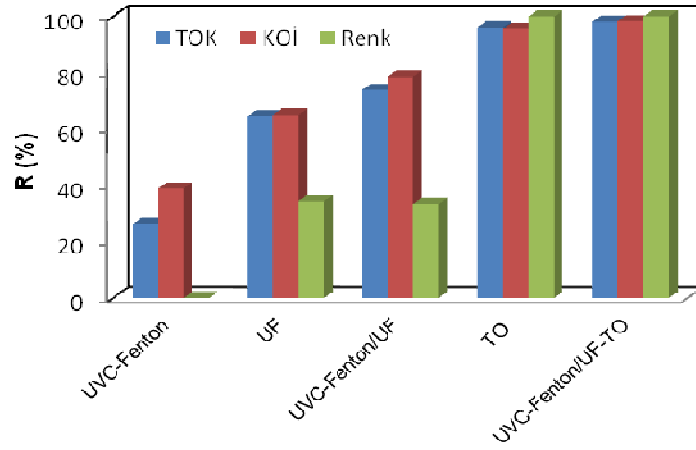
(a)



(b)



(c)



Şekil 4.188 Sürekli işletimli önerilen (a) {Fenton/UF}/[TO] (b) {UVA-Fenton/UF}/[TO] (c) {UVC-Fenton/UF}/[TO] sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları

Proje kapsamında uygulanan yenilikçi {Fenton/UF}/[TO] ve {UVA veya UVC-Fenton/UF}/[TO] sistemleri ile yürütülen deneyler sonrasında oluşan TO membran konsantreleri belirli günlerde Fenton destekli İOP/batık UF reaktörüne geri devredilerek, uygulanan bu sistemler ile oluşan membran konsantrelerinin de bertarafı gerçekleşmekte ve eş zamanlı olarak da reaktörde kararlı hal durumu bozulmadan geri kazanım suyu temin edilebilmektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm sistemlerde pH ve sadece {Fenton/UF}/[TO] sisteminde TOK ve KOİ parametreleri hariç; diğer iki sistemin çıkış suyu kalite değerlerinin tamamının çok düşük demir kalıntısı ile literatürde verilen ve proje kapsamında hedeflenen yeniden kullanım suyu kriterleri (Tablo 3.21 ve açıklaması) ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Fenton destekli sistemdeki TOK ve KOİ değerlerinin, hedef su kalitesi değerinin sadece çok az üzerinde olduğu (*hedef TOK<10 mg/L ve KOİ<20 mg/L iken işletim sonu 3 ölçüm ortalaması 12,5 ve 33,25 mg/L olarak ölçülmüştür.*) belirlenmiştir. Bu kalite değerlerinin, hedef değerlerin çok az üzerinde olması sebebiyle, uygulamada yeniden kullanım suyu kalitesi bakımından sorun teşkil etmeyeceği değerlendirilmiştir.

İOP/batık UF reaktörüne ham atıksuyla beraber sonraki adımda oluşan TO konsantrisinin beraberce ilave edildiği konsantr geri beslemesi altında; sistem bütününde Fenton destekli İOP/batık UF hibrit sistemi ile birlikte etkin seviyelerde organik madde giderimi sağlanmasının yanı sıra batık membranda istenmeyen tıkanma problemlerine sebep olmadan, geri beslemeli atık minimizasyonuna dayalı konsantr yönetimi ile birlikte endüstriyel su geri kazanımını başarıyla yerine getiren bütünleşik bir atıksu arıtım, su geri kazanımı ve konsantr yönetimi uygulamasının, önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[TO] sistemlerinin her biri ile sağlandığı tespit edilmiştir.

Nihai çıkış suyu kalite değerlerinden görülmektedir ki, tekstil endüstrisi atıksularının Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli İOP/batık UF reaktörü sonrasında TO filtrasyonunun gerçekleştirildiği sistemlerde arıtılarak, üretilen endüstriyel yeniden kullanım suları pH'ları 6-8 aralığına ayarlandıktan sonra, bu teknolojilerin membran konsantr yönetimini de içine alan bir yaklaşım ile saha ölçeğe uygulanabilir olduğu görülmektedir.

Tablo 4.67 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim

Parametre	Birim	Ham Atıksu	{Fenton/UF}/[TO]		
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verimi (%)
pH	-	6,2	5,17	2,46	-
Sıcaklık	°C	25	26,5	26,5	-
İletkenlik	µs/cm	1044	15,3	2720	99,4
TÇK	mg/L	613	7,06	1393	99,5
Çözünmüş Oksijen	mg/L	5,93	-	9,13	-
KOİ	mg/L	784	33,25	-	-
TOK	mg/L	258	12,5	198,4	93,7
Bulanıklık	NTU	2,72	0,51	3220	100,0
Amonyak	mg/L	1,16	0,50	1,41	64,5
Renk	λ436:	0,086	0,002	0,023	91,3
	λ525:	0,080	0,002	0,009	77,8
	λ620:	0,076	0,002	0,008	75,0
Nitrat	mg/L	13,5	0,3	8,5	96,3
Sülfat	mg/L	29,5	40,3	1055	96,2
Klörür	mg/L	25,29	0,50	27,49	98,2
Demir II	mg/L	0,76	0,13	25,69	99,5
Demir III	mg/L	2,56	7,01	386	98,2
Demir (II/III)	mg/L	3,32	7,14	412	98,3
Toplam Azot	mg/L	14,66	0,80	9,91	91,9
Toplam Sertlik	mg/L	77,9	11,9	410	97,1
Fenol	mg/L	7,50	0,0	-	-

Tablo 4.68 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim

Parametre	Birim	Ham Atıksu	{UVA-Fenton/UF}/[TO]		
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,2	4,37	2,16	-
Sıcaklık	°C	25	40	40	-
İletkenlik	µs/cm	1044	27,2	3340	99,2
TÇK	mg/L	613	12,7	1737	99,3
Çözünmüş Oksijen	mg/L	5,93	-	9,32	-
KOİ	mg/L	784	16	-	-
TOK	mg/L	258	4,2	165,3	97,5
Bulanıklık	NTU	2,72	0,22	2460	100,0
Amonyak	mg/L	1,16	0,52	2,91	82,1
Renk	λ436:	0,086	0,0	0,111	100
	λ525:	0,080	0,0	0,016	100
	λ620:	0,076	0,0	0,009	100
Nitrat	mg/L	13,5	0,4	7,5	94,6
Sülfat	mg/L	29,5	40,9	1612	97,5
Klörür	mg/L	25,29	0,50	23	97,8
Demir II	mg/L	0,76	0,40	68,5	99,4
Demir III	mg/L	2,56	7,04	608	98,8
Demir (II/III)	mg/L	3,32	7,44	676,5	98,9
Toplam Azot	mg/L	14,66	0,92	10,41	91,1
Toplam Sertlik	mg/L	77,9	11,8	430,5	97,3
<i>Fenol</i>	<i>mg/L</i>	<i>7,50</i>	<i>0,011</i>	-	-

Tablo 4.69 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[TO]bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim

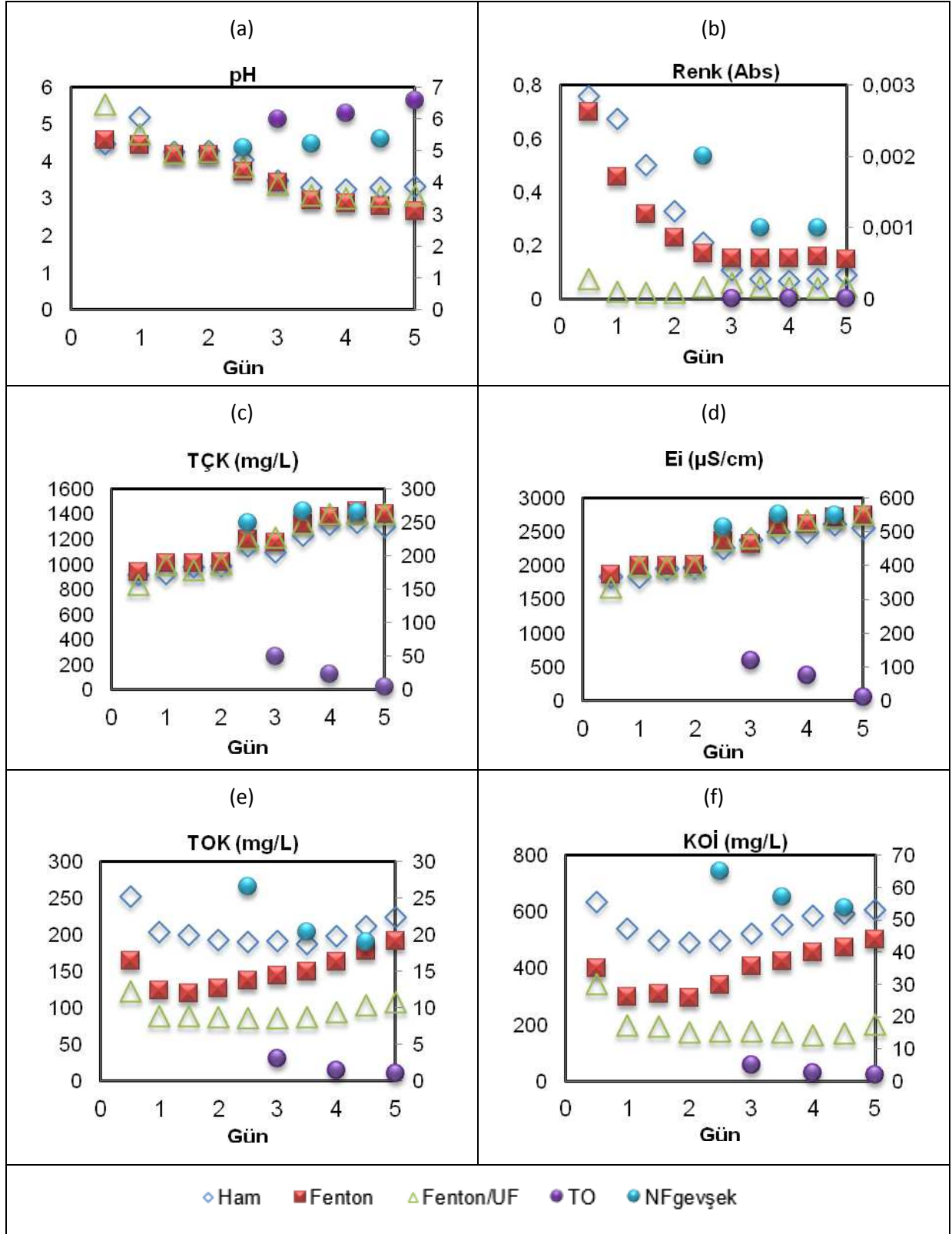
Parametre	Birim	Ham Atıksu	{UVC-Fenton/UF}/[TO]		
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,23	4,79	2,2	-
Sıcaklık	°C	25	40	40	-
İletkenlik	µs/cm	1221	22,3	4060	99,5
TÇK	mg/L	605	10,3	2115	99,5
Çözünmüş Oksijen	mg/L	5,95	-	8,52	-
KOİ	mg/L	456	10,5	-	-
TOK	mg/L	160	3,6	92,19	96,1
Bulanıklık	NTU	3,62	0,34	9700	100
Amonyak	mg/L	2,43	0,36	2,39	84,9
Renk	λ436:	0,136	0,004	0,090	95,6
	λ525:	0,144	0,004	0,030	86,7
	λ620:	0,155	0,003	0,019	84,2
Nitrat	mg/L	5,4	0,3	6,8	95,7
Sülfat	mg/L	56	31,8	782,3	95,9
Klörür	mg/L	24,6	0,50	8,50	94,1
Demir II	mg/L	1,0	0,25	103,8	99,8
Demir III	mg/L	3,8	0,64	795,6	99,9
Demir (II/III)	mg/L	4,8	0,89	899,3	99,9
Toplam Azot	mg/L	7,83	0,66	9,19	92,8
Toplam Sertlik	mg/L	52,9	6,56	235	97,2
Fenol	mg/L	6,49	0,003	-	-

✓ **{İOP/UF}/{NF_{gevşek}/TO} sistemi**

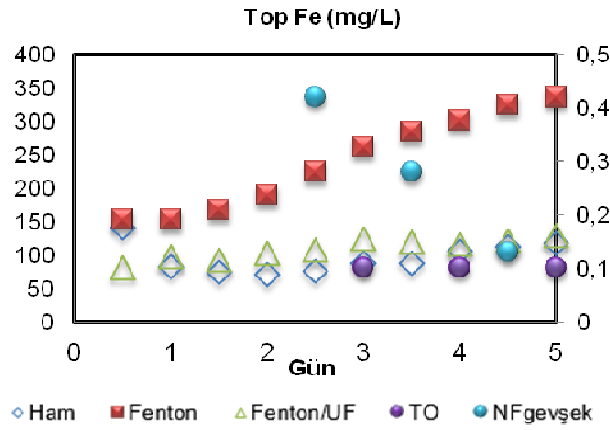
– {Fenton/UF}/{NF_{gevşek}/TO} sistemi

330 mg/L TOK değerine sahip ham tekstil atıksuyu 20 L'lik Fenton/batık UF reaktöründe 5 gün süreyle Tablo 3.7'de verilen optimum işletme şartlarında arıtıma tabi tutulmuştur. Günde 2 işletim üzerinden her işletimde 5 L UF çıkış suyu elde edilecek şekilde gerçekleştirilen {Fenton/batık UF}/{NF_{gevşek}-TO} deneylerinde her işletim öncesinde reaktördeki atıksuyun yeni TOK değerine bağlı olarak Tablo 3.17'de verilen demir ve hidrojen peroksit ilaveleri (H_2O_2/TOK (g/g)=6 ve H_2O_2/Fe^{2+} (g/g)=15) sonrasında pH düzenlemeleri yapılmıştır. 2 işletim sonrasında elde edilen 10 L UF çıkış suyu büyük basınçlı sistemde ikinci, üçüncü ve dördüncü günlerde NF_{gevşek} filtrasyonuna tabi tutulmuştur. Birinci ve ikinci günlerde her işletimde 5 L UF çıkış suyu yerine 5 L ham su Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilirken, üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerin birinci işletimlerinde elde edilen 2 L NF_{gevşek} konsantresi 3 L ham su ile karıştırılarak Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilmiştir.

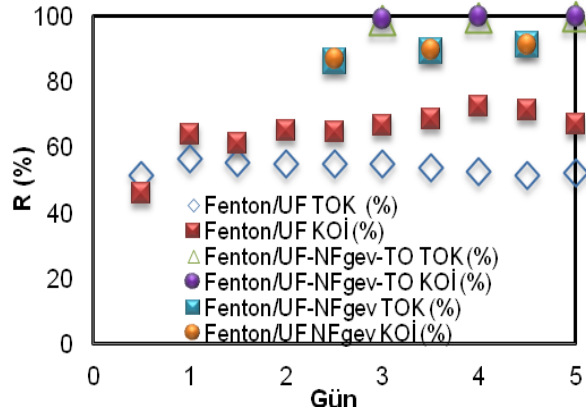
NF_{gevşek} filtrasyonu bir gün süreyle %80 konsantre etme oranında 2 L konsantre ve 8 L süzüntü suyu elde edilene kadar sürmüştür. NF_{gevşek} filtrasyonunda elde edilen 2 L konsantre 3 L ham su ile karıştırılarak Fenton/batık UF reaktörüne verilirken, elde edilen 8 L süzüntü suyu TO filtrasyonu için aynı basınçlı sistem kullanılarak deneyler yürütülmüştür. NF filtrasyonunda olduğu gibi, %80 konsantre etme oranında TO filtrasyon deneyleri tamamlandığında 1,6 L konsantre ve 6,4 L süzüntü suyu elde edilmiştir. Üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerde gerçekleştirilen TO filtrasyon deneyleri birer günde tamamlanmıştır. TO filtrasyonu sonrasında elde edilen 1,6 L TO konsantresi ise NF_{gevşek} deneylerinde kullanılmak üzere bekletilmiştir. Üçüncü günde elde edilen Fenton/batık UF reaktöründen çıkan süzüntü suyu (toplam 10 L) ile TO filtrasyonu sonucunda kalan 1,6 L TO konsantresi karıştırılarak, karışımdan alınan 10 L NF_{gevşek} sisteminde tekrar %80 konsantre edilerek (2 L konsantre-8 L süzüntü) işletim tekrarlanmıştır. NF_{gevşek} deneyi sonunda elde edilen süzüntü suyu tekrar TO filtrasyonu için basınçlı sisteme konulmuştur. Bir gün sonunda 1,6 L TO konsantresi elde edilmiştir. NF_{gevşek} süzüntü akılarının kararlı hale ulaştığı üçüncü tekrarda oluşan konsantre İOP/batık UF reaktörüne geri devredilerek deneyler tamamlanmıştır. Şekil 4.189'da sürekli işletimli önerilen Fenton destekli İOP/UF-NF_{gevşek}-TO bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF, NF_{gevşek} ve TO çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 5 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu Şekil 4.190'daki gibidir. Şekil 4.191'de {Fenton/batık UF}/{NF_{gevşek}-TO} entegre sistemi ile organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF ve NF_{gevşek} ve TO membran filtrasyonunda kararlı hal süzüntü akı değerleri Şekil 4.192'de verilmiştir.



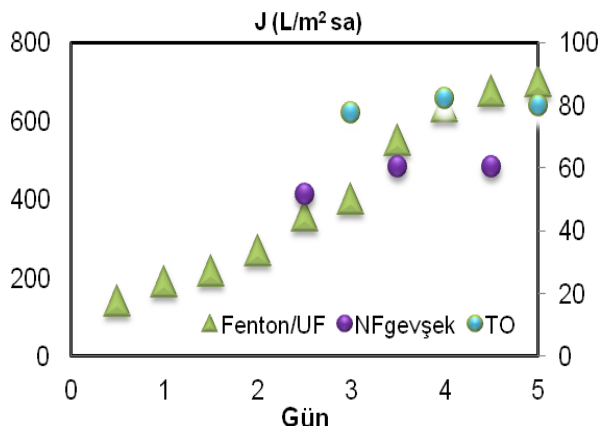
Şekil 4.189 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] entegre bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, İOP, İOP/UF sonuçlarını, sağ eksen; NF_{gevşek}, TO sonuçlarını vermektedir.)



Şekil 4.190 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi



Şekil 4.191 Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli {Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı



Şekil 4.192 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {Fenton/UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi

pH, oksidasyon basamağında düşüş eğilimi göstererek Fenton/batık UF çıkışında 3,09'lara düşmüş fakat $NF_{\text{gevşek}}$ filtrasyon çıkışında 5,37, TO filtrasyon çıkışında 6,57 değerlerine çıkararak iki kademeli membran filtrasyonu ile pH değeri suyun yeniden kullanım kriterlerine ulaşmıştır. TO filtrasyonu sonucunda süzüntü suyunda TÇK ve Ei değerleri sırasıyla 4,67 mg/L ve 10,02 $\mu\text{S/cm}$ değerlerini almıştır. Renk parametresi TO filtrasyonu ile 0,001 A değerine kadar düşmüştür. Organik madde giderimi Fenton/batık UF reaktörü girişi ve çıkışı ve 3 kez tekrarlanan $NF_{\text{gevşek}}$ filtrasyonunda kararlı hale ulaşarak nihai konsantrasyon oluşmaksızın, TO çıkışında TOK değeri %99,52 giderim verimi ile 1,06 mg/L'ye, KOİ değeri %99,67 giderim verimi ile 2 mg/L değerlerini alarak, yüksek kalitede yeniden kullanım suyu elde edilmiştir. Şekil 4.190'a bakıldığında, {Fenton/batık UF}/[$NF_{\text{gevşek}}$ -TO] entegre sisteminde demir (+) ve demir (+3) kaynaklı toplam demir konsantrasyonu 2,6 mg/L' dir. Şekil 4.192'de verildiği üzere kararlı hale ulaşıldığında, UF (UH050) akısı artarak 700 L/m² sa, $NF_{\text{gevşek}}$ (NFG) akısı 60,43 L/m² sa ve TO (LFC-3) akısı 80 L/m² sa değerlerini almıştır.

– {UVA-Fenton/UF}/[$NF_{\text{gevşek}}$ /TO] sistemi

350 mg/L TOK değerine sahip 20 L ham atıksu UVA-Fenton/batık UF reaktörüne konarak Tablo 3.17'de verilen gerekli demir ve hidrojen peroksit ilaveleri ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$ (g/g) oranı 7,75 ve $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ (g/g) oranı 10,75) sonrasında pH düzenlemesi yapılarak 5 gün süreyle işletilmiştir.

Günde 2 işletim üzerinden her işletimde 5 L UF çıkış suyu elde edilecek şekilde gerçekleştirilen {UVA-Fenton/batık UF} proses deneylerinde her işletim öncesinde reaktördeki atıksuyun TOK değerine bağlı olarak demir ve hidrojen peroksit ilaveleri gerçekleştirilmiştir. Her gün iki işletim sonunda elde edilen 10 L UF çıkış suyu büyük basınçlı sistemde $NF_{\text{gevşek}}$ filtrasyonuna tabi tutulmuştur. Birinci ve ikinci günlerde her işletimde 5 L UF çıkış suyu yerine 5 L ham su UVA-Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilirken, üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerin birinci işletimlerinde elde edilen 2 L $NF_{\text{gevşek}}$ konsantresi 3 L ham su ile karıştırılarak reaktöre verilmiştir. $NF_{\text{gevşek}}$ filtrasyonu %80 konsantrasyon oranında 2 L konsantrasyon ve 8 L süzüntü suyu elde edilene kadar işletilmiştir. Her $NF_{\text{gevşek}}$ deneyi yaklaşık olarak bir gün sürmüştür. $NF_{\text{gevşek}}$ filtrasyonunda elde edilen 2 L konsantrasyon 3 L ham su ile karıştırılarak UVA-Fenton/batık UF reaktörüne verilirken, elde edilen 8 L süzüntü suyu TO filtrasyonu için $NF_{\text{gevşek}}$ deneyi sonrasında aynı basınçlı sistem kullanılarak TO filtrasyonuna tabi tutulmuştur. NF filtrasyonunda olduğu gibi, %80 konsantrasyon oranında işletilen basınçlı filtrasyon sisteminden 1,6 L TO konsantresi ve 6,4 L TO süzüntü suyu elde edilene kadar filtrasyon deneyi devam etmiştir. Üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerde gerçekleştirilen TO deneyleri birer gün sürmüştür. TO sisteminde elde edilen 1,6 L TO konsantresi ise $NF_{\text{gevşek}}$ deneylerinde kullanılmak üzere bekletilmiştir. Üçüncü gün elde edilen

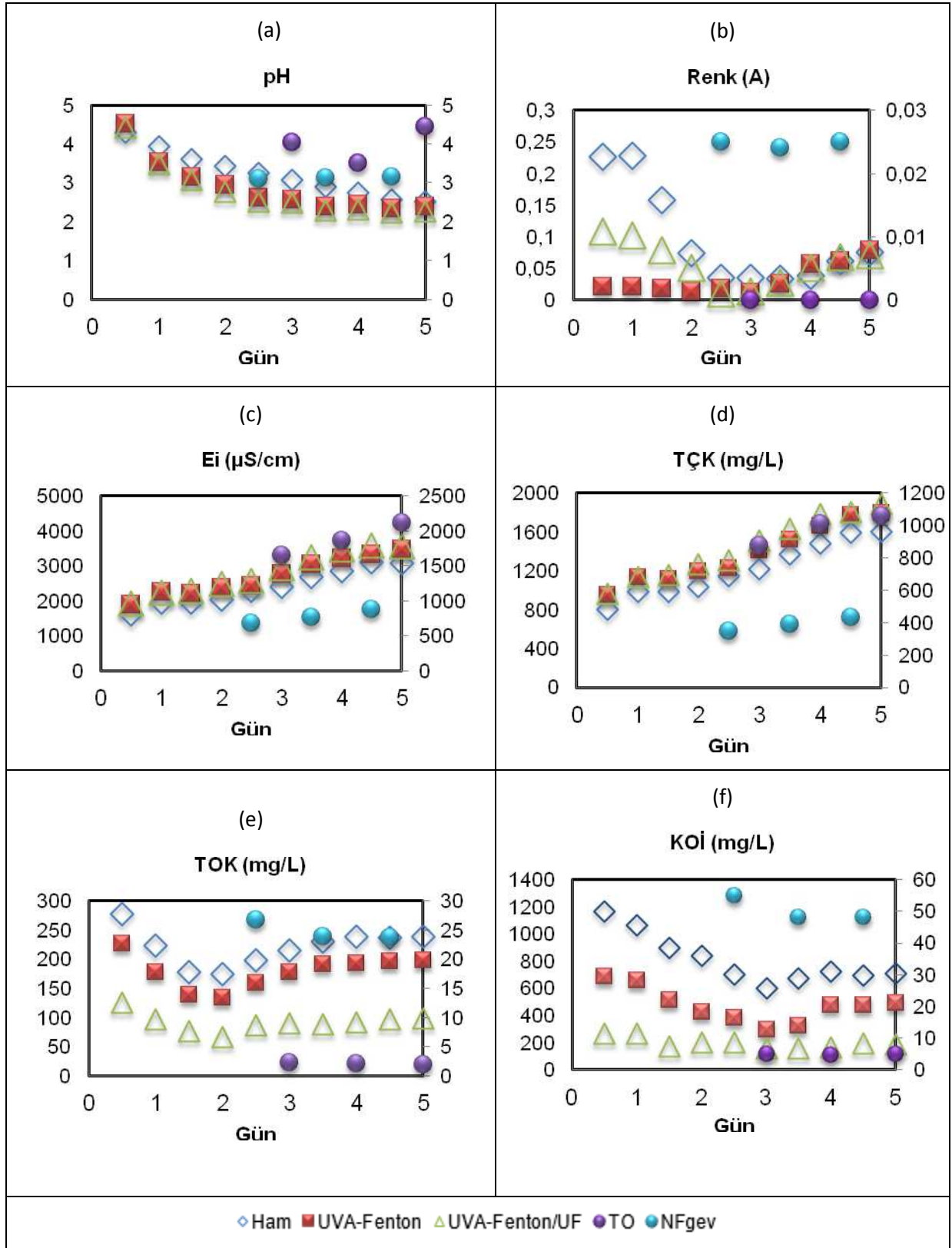
UF çıkış suyu (10 L) ile TO filtrasyonu sonucunda kalan 1,6 L konsantre karıştırılarak, karışımdan alınan 10 L atıksu $NF_{gevşek}$ sisteminde %80 konsantre edilerek (2L konsantre-8 L süzüntü) filtrasyon deneyi yapılmıştır. Bir gün süren $NF_{gevşek}$ deneyi sonunda elde edilen süzüntü tekrar TO filtrasyonu için basınçlı sistemde filtre edilmiştir. $NF_{gevşek}$ süzüntüsü kararlı hale ulaşılan üçüncü deney tekrarı sonunda UVA-Fenton/batık UF reaktörüne geri devredilerek deneyler tamamlanmıştır.

Şekil 4.193'de sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVA-Fenton/batık UF}/[$NF_{gevşek}$ -TO] bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, E_i , TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVA-Fenton, UVA-Fenton/batık UF, $NF_{gevşek}$ ve TO filtrasyon çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 5 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu ise Şekil 4.194'deki gibi değişmektedir. Şekil 4.195'de organik madde giderimi açısından {UVA-Fenton/batık UF} ve {UVA-Fenton/batık UF}/[$NF_{gevşek}$ -TO] teknolojileri TOK ve KOİ giderim verimi üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF, ve $NF_{gevşek}$ ve TO membran filtrasyonunda kararlı hal süzüntü akı değerleri ise UF için 10 ve $NF_{gevşek}$ ve TO için 3 işletim üzerinden Şekil 4.196'da verilmiştir.

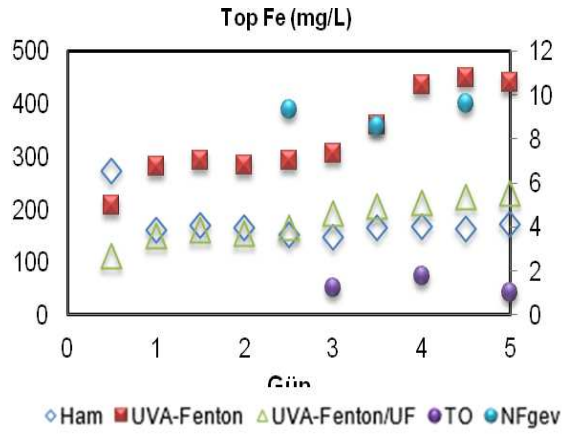
Şekil 4.193'de görüldüğü üzere pH parametresi UVA/batık UF reaktöründe genelinde bir azalma eğilimi gösterse de 2,26 seviyelerinde kararlı hale ulaşmıştır. pH, $NF_{gevşek}$ filtrasyon deneylerinin sonunda 3,16 seviyelerinde kalırken, TO filtrasyonu sonrasında 4,44 değerine çıkmıştır. Renk, her işletim başlangıcında TOK parametresine bağlı olarak reaktöre ilave edilen demir kaynaklı olup, $NF_{gevşek}$ filtrasyonu ile 0,025 A'lara, TO filtrasyonu ile 0,001 A'lara düşmüştür. E_i ve TÇK değerleri bütün işletimlerde benzer değişimler göstermiş, $NF_{gevşek}$ filtrasyonunda sırasıyla 880 μ S/cm ve 433 mg/L'lere kadar düşmesine karşın, TO filtrasyonunda 2,5 katına çıkarak 2110 μ S/cm ve 1060 mg/L değerlerini almıştır.

Su geri kazanımının hedeflendiği arıtma proseslerinde organik madde giderimi önemli bir parametredir. Bu çalışmada organik madde giderimi TOK ve KOİ parametreleri üzerinden değerlendirilmiş olup başlangıçtaki ham atıksu ile İOP sonrasındaki TOK ve KOİ değişimleri benzerlikler göstermekte olup $NF_{gevşek}$ sonrasında TOK 23,8 mg/L'ye KOİ değeri 48 mg/L'ye düşürülmüş iken TO filtrasyonu sonrasında TOK 1,9 mg/L, KOİ ise 5,0 mg/L'lere düşerek %99 seviyelerinde giderim performansı yakalanmıştır.

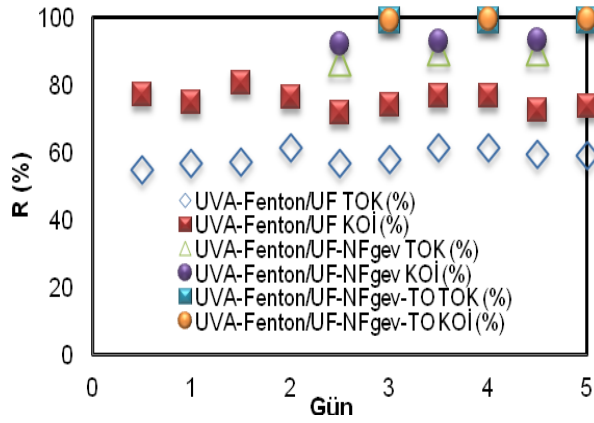
Şekil 4.194'e bakıldığında, UVA oksidasyonu ile toplam Fe konsantrasyonu 441,2 mg/L'lere kadar çıkmış ancak devamında UF membranının demiri %50-55 seviyelerinde tuttuğu, $NF_{gevşek}$ filtrasyonu ile toplam demir konsantrasyonunu 9,6 mg/L, TO filtrasyonu ile 3,6 mg/L değerindedir.



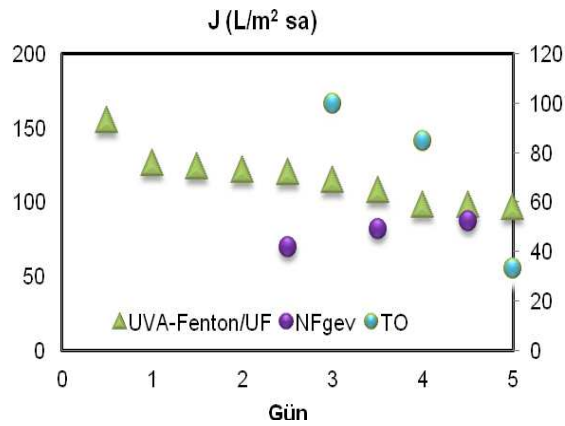
Şekil 4.193 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVA-Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) Ei, (d) TÇK, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sağ eksen; Ham, İOP, İOP/UF sonuçlarını, sol eksen; NF_{gevşek}, TO sonuçlarını vermektedir.)



Şekil 4.194 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli UVA/UF- NF_{gevşek}-TO bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi



Şekil 4.195 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli UVA/UF-NF_{gevşek}-TO bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı



Şekil 4.196 Sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli UVA/UF-NF_{gevşek}-TO bütünleşik membran sisteminde akı değişimi

Şekil 4.195'de görüldüğü üzere, sürekli şartlarda sistem bütünündeki proseslerin ardışık kararlı hal işletimleri ile UVA-Fenton/batık UF reaktörünün girişine ham tekstil suyu ile birlikte $NF_{\text{gevşek}}$ konsantresi, $NF_{\text{gevşek}}$ girişine ise TO konsantresi döndürülerek, UF (UV150) süzüntü akısı $96,4 \text{ L/m}^2 \text{ sa}$ ile reaktör içerisinde TOK ve KOİ giderimleri sırasıyla %59 ve %73,7 seviyelerinde iken, $52,14 \text{ L/m}^2 \text{ sa}$ kararlı hal akısında $NF_{\text{gevşek}}$ (NFG) sonrasında %89 ve %93,1; $33 \text{ L/m}^2 \text{ sa}$ süzüntü akısında TO (LFC-3) sonrasında %99,2 ve %99,3 performans ile sistem işletimi tamamlanmıştır. {UVA-Fenton/batık UF}/[$NF_{\text{gevşek}}$ -TO] bütünleşik membran sistemi çıkışında TOK konsantrasyonu $1,9 \text{ mg/L}$, KOİ konsantrasyonu ise $5,0 \text{ mg/L}$ değerini alarak, süzüntü suyunun hedeflenen yeniden kullanım suyu için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

– {UVC-Fenton/UF}/[$NF_{\text{gevşek}}$ /TO] sistemi

TOK değeri 375 mg/L olan ham tekstil atıksuyu $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$ (g/g) oranı $9,88$ ve $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ (g/g) oranı $7,27$ olacak şekilde Tablo 3.17'de verilen gerekli demir ve H_2O_2 ilavelerinden sonra pH ayarlaması yapılarak 20 L 'lik UVC-Fenton/batık UF reaktöründe oksidasyona tabi tutulmuştur. 5 gün süreyle devam eden deneylerde her gün iki işletim gerçekleştirilmiş ve her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu elde edilmiştir. Her işletim başlangıcında reaktördeki TOK değerinden yola çıkılarak gerekli demir ve hidrojen peroksit ilaveleri yapılmıştır.

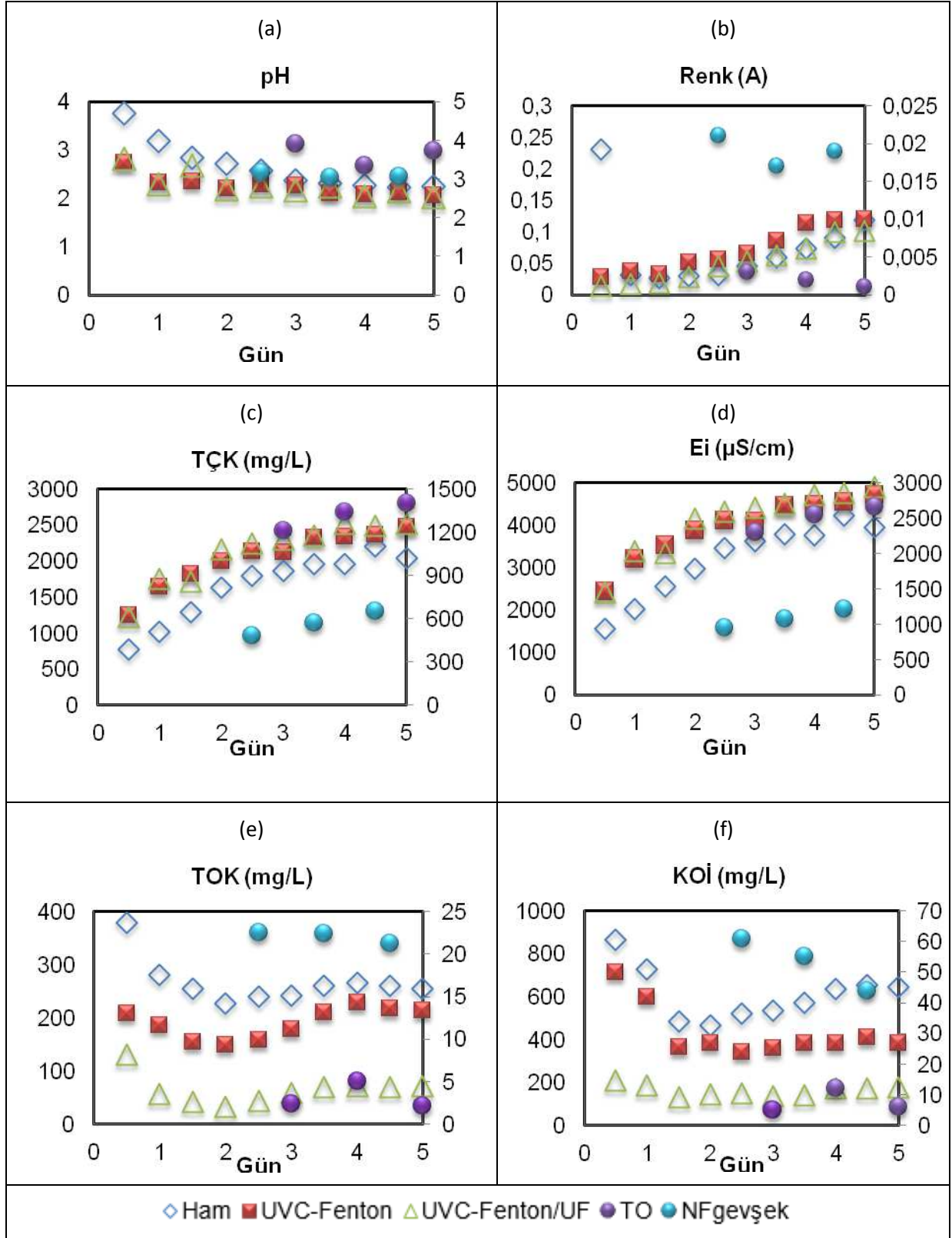
UVC-Fenton/batık UF reaktörü günde iki işletim üzerinden 10 'ar L çıkış suyu elde edilecek şekilde 10 kez işletilmiş olup çıkışta elde edilen 10 L süzüntü suyu $NF_{\text{gevşek}}$ ile %80 oranında konsantre edilmiştir. Birer gün süren deneyler sonucunda 8 L süzüntü suyu elde edilerek 2 L NF konsantresi oluşmuştur. İkinci günde her iki işletimde de 5 'er L ham su reaktöre ilave edilirken, üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerde, elde edilen 2L NF konsantresi 3 L ham suyla karıştırılarak UVC-Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilmiştir. $NF_{\text{gevşek}}$ sisteminde elde edilen 8 L süzüntü suyu TO ile filtrasyona tabi tutularak, bir günlük deney süresi sonunda %80 konsantre etme oranında $1,6 \text{ L}$ TO konsantresi ile $6,4 \text{ L}$ süzüntü suyu elde edilmiştir. TO filtrasyonu sonrasında elde edilen $1,6 \text{ L}$ konsantre, $NF_{\text{gevşek}}$ filtrasyonu için deneylerde kullanılmak üzere bekletilmiştir. İkinci gün sonunda elde edilen UVC-Fenton/batık UF çıkış suyu ($5+5 \text{ L}$) ile TO filtrasyonu sonrasında oluşan $1,6 \text{ L}$ konsantre karıştırılarak, karışımdan alınan 10 L $NF_{\text{gevşek}}$ sisteminde %80 konsantre edilerek (2L konsantre- 8 L süzüntü) işletim tekrar edilmiştir. Ardışık şartlarda işletilen batık UF çıkış suyunun $NF_{\text{gevşek}}$ ve TO filtrasyonları üçer işletim günü sürmüş olup, filtrasyon akısı kararlı hale üç işletimde tamamlanmıştır.

Şekil 4.197'de sürekli işletimli önerilen foto-Fenton destekli {UVC-Fenton/batık UF}/[$NF_{\text{gevşek}}$ -TO] bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVC-Fenton, UVC-Fenton/UF, $NF_{\text{gevşek}}$ ve TO çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 5 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu Şekil 4.198'deki

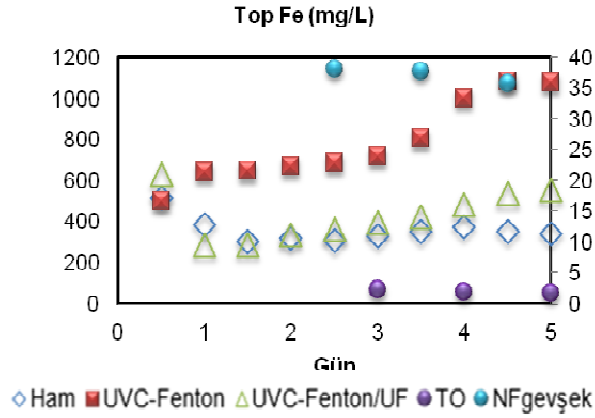
gibi değişmektedir. Şekil 4.199'da {UVC-Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] entegre sisteminde organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF, NF_{gevşek} ve TO membran filtrasyonunda kararlı hal süzüntü akı değerleri Şekil 4.200'de verilmiştir.

Ham tekstil atıksuyu UVC-Fenton oksidasyonu ve UVC-Fenton /batık UF hibrit prosesinde pH benzer değişimler göstermekte olup, pH değeri 2 seviyelerinde kararlı hale ulaşmıştır. pH değeri membran filtrasyonu ile NF_{gevşek} çıkış suyunda 3,07, TO çıkış suyunda 4,24 değerlerine çıkmıştır. Demir ilavesinden dolayı UVC-Fenton/batık UF reaktöründe renk artış eğiliminde olup membran NF ve TO filtrasyonu ile renk 0,001 A değerinin altına düşmüştür. UVC-Fenton/batık UF reaktöründe ham tekstil atıksuyunda 2044 mg/L civarında olan TÇK değeri, NF_{gevşek} ile 650 mg/L değerine kadar düşmüş, daha sonra TO membran filtrasyonunda 1400 mg/L'lere çıkmıştır. Ei ise ham atıksuda 3940 µS/cm iken NF_{gevşek} sonrasında süzüntü suyunda 1220 µS/cm'ye düşerken, TO filtrasyonu sonrasında TÇK' da olduğu gibi 2660 µS/cm'lere çıkmıştır.

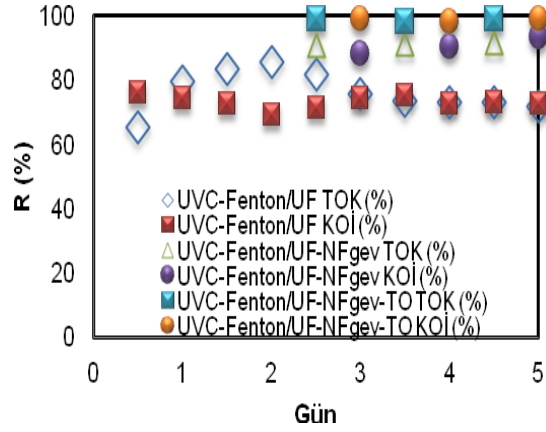
255,6 mg/L ve 646 mg/L değerlerindeki ham tekstil atıksuyu TOK ve KOİ değerleri, kararlı hale ulaştığında {UVC-Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] entegre sistemi ile sırasıyla 72,5 mg/L ve 176 mg/L'lere, NF_{gevşek} filtrasyonu ile 21,3 mg/L ve 44 mg/L'lere, TO filtrasyonu ile ise 2,2 mg/L ve 5,9 mg/L'lere kadar düşmüştür. Şekil 4.185'de görüldüğü üzere, UVC-Fenton/batık UF reaktöründe kararlı hale ulaşıldığında toplam Fe konsantrasyonu yaklaşık 554,6 mg/L değerinde olup, NF filtrasyonu sonrasında toplam demir konsantrasyonu 35,76 mg/L'ye, TO filtrasyonu sonrasında 1,7 mg/L'ye düşerek, özellikle de TO filtrasyonu ile sudaki demir hemen hemen tamamen uzaklaştırılmıştır. Şekil 4.186'da verilen TOK ve KOİ giderim verimleri, hibrit sistem bütününde ayrı ayrı değerlendirilecek olursa, {UVC-Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik sistemi en yüksek verimin elde edildiği kombinasyon olarak görülmekte olup her iki parametre için de %99'un üzerinde giderim verimi elde edilmiştir. Kararlı hal süzüntü akıları UF (UH050) prosesinde 588 L/m²sa' e kadar çıkarken, NF_{gevşek} (NFG) ve TO (LFC-3) filtrasyonlarında üçer kez işletilerek sırasıyla 48,9 L/m²sa ve 20,14 L/m²sa değerlerinde kararlı hale ulaşmıştır.



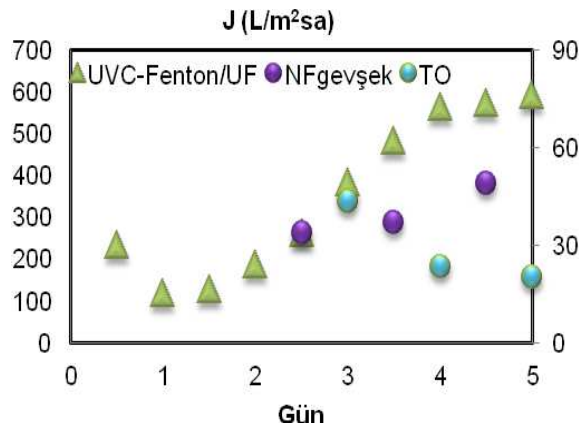
Şekil 4.197 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) Ei, (d) TÇK, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sağ eksen; Ham, İOP, İOP/UF sonuçlarını, sol eksen; NF_{gevşek}, TO sonuçlarını vermektedir.)



Şekil 4.198 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi



Şekil 4.199 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı



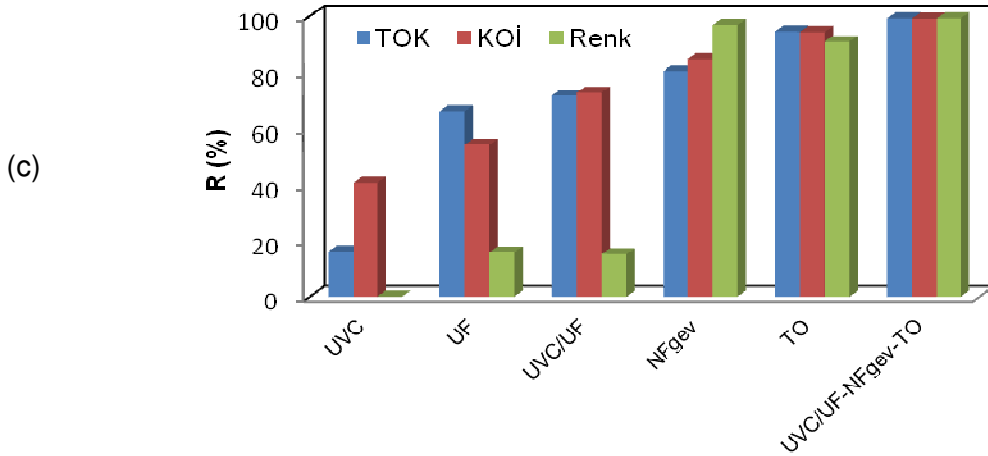
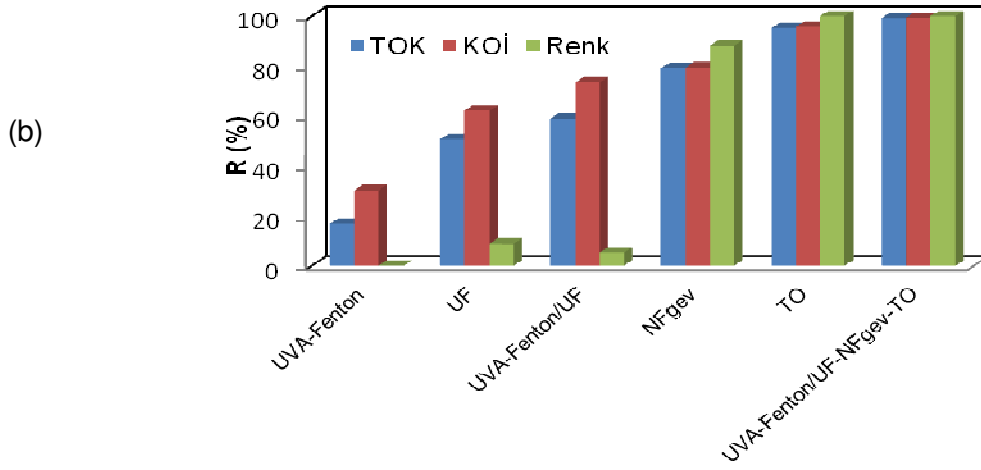
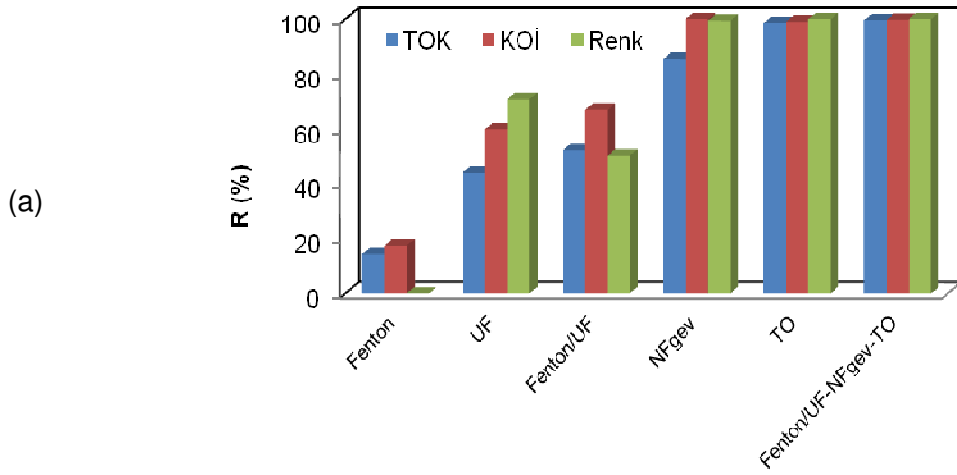
Şekil 4.200 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/batık UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi

Önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF_{gevşek}-TO] entegre membran arıtma sistemlerinde uzun süreli işletimlerle kararlı hale ulaşıldığında her bir proses adımı için organik madde ve renk giderim performansları Şekil 4.201'te verilmiştir. Önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sistemlerinde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri sırasıyla Tablo 4.70, Tablo 4.71 ve Tablo 4.72'da ayrı ayrı sunulmuştur.

Her üç hibrit sistemde oluşan NF_{gevşek} ve TO filtrasyonu sonrasında oluşan membran konsantrilerinin bertarafını da içine alan bir yaklaşımla oluşan NF_{gevşek} konsantresi belirli günlerde İOP/batık UF reaktörüne geri devredilerek, oluşan TO konsantresi ise UF çıkış suyu ile karıştırılıp NF_{gevşek} sisteminde %80 konsantre edilerek, tüm sistemde atıksu arıtımı ile birlikte konsantre bertarafı da gerçekleşmekte ve eş zamanlı olarak da reaktörde kararlı hal durumu bozulmadan geri kazanım suyu temin edilebilmektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, sadece {Fenton/UF}/[NF_{gevşek}-TO] sisteminde pH ayarlaması yapılmadan elde edilen çıkış suyu kalite değerlerinin tamamının herhangi bir demir ve renk problemi olmaksızın, literatürde verilen ve proje kapsamında hedeflenen yeniden kullanım suyu kriterleri (Tablo 3.21 ve açıklaması) ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF_{gevşek}-TO] sistemlerinde çıkış suyunda TOK ve KOİ değerleri sırasıyla 1,06 ve 2 mg/L, 1,9 ve 5,0 mg/L, 2,2 ve 5,9 mg/L gibi çok düşük değerler olarak bu sistemler ile yüksek organik madde giderimi sağlanmıştır.

Kararlı hal işleme dayalı konsantre akım döngüsü (reaktöre ham atıksuyla beraber sonraki adımdaki MP konsantresi beraberce ilave edildiği konsantre geri besleme) altında; sistem bütününde İOP/batık UF hibrit sistemi ile birlikte etkin seviyelerde organik madde giderimi sağlanmasının yanı sıra batık membranda istenmeyen tıkanma problemlerine sebep olmayan membran kirlenmesi durumunun da varlığından hareketle, geri beslemeli atık minimizasyonuna dayalı konsantre yönetimi etkisi ile birlikte endüstriyel su geri kazanımını başarıyla yerine getiren bütünleşik bir atıksu arıtım, su geri kazanımı ve konsantre yönetimi uygulamasının, önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF_{gevşek}-TO] sistemlerinin her biri ile sağlandığı tespit edilmiştir. Nihai çıkış suyu kalite değerlerinden görülmektedir ki, tekstil endüstrisi atıksularının Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli İOP/batık UF reaktörü sonrasında NF_{gevşek} ve sonrasında TO filtrasyonlarının gerçekleştirildiği sistemlerde arıtılarak, üretilen endüstriyel yeniden kullanım suları Fenton hariç diğer sistemlerde pH' ayarlamasından sonra entegre sistemin membran konsantre yönetimini de içine alan bir yaklaşım ile saha ölçeğe uygulanabilir olduğu görülmektedir.



Şekil 4.201 Sürekli işletimli önerilen (a) {Fenton/UF}/[NF_{gevşek}-TO] (b) {UVA-Fenton/UF}/[NF_{gevşek}-TO] (c) {UVC-Fenton/UF}/[NF_{gevşek}-TO] sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları

Tablo 4.70 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim

Parametre	Birim	Ham atıksu	Fenton/UF-NF _{gevşek} -TO		
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,25	6,57	3,26	-
Sıcaklık	°C	25,0	26,5	26,5	-
İletkenlik	µs/cm	1172	10,2	2730	99,6
TÇK	mg/L	580	4,67	1397	99,7
Çözünmüş Oksijen	mg/L	7,05	9,3	8,59	-
KOİ	mg/L	875	2,0	640	99,7
TOK	mg/L	330	1,06	236,8	99,6
Bulanıklık	NTU	7,69	0,27	1410	100
Amonyak	mg/L	2,14	0,57	1,75	67,4
Renk	λ436	0,189	0,001	0,030	90
	λ525	0,191	0,001	0,010	80
	λ620	0,242	0,001	0,008	87,5
Nitrat	mg/L	2,1	0,2	8,5	98,1
Sülfat	mg/L	132,0	0,0	1177	100
Klörür	mg/L	26,20	<0.5	<0.5	<100
Demir II	mg/L	0,00	0,0	30,6	100
Demir III	mg/L	0,00	2,6	304,0	99,2
Demir (II/III)	mg/L	0,00	2,6	334,6	99,2
Toplam Azot	mg/L	5,32	0,77	10,3	92,5
Toplam Sertlik	mg/L	2,16	0,0	480	100
Fenol	mg/L	9,95	0,02	-	-

Tablo 4.71 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[NF_{gevşek}-TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim

Parametre	Birim	HAM ATIKSU	Foto-Fenton (UVA)/UF-NF _{gevşek} -TO		
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,24	4,44	2,27	-
Sıcaklık	°C	25	40	40	-
İletkenlik	µs/cm	995	2110	3710	43
TÇK	mg/L	490	1060	1923	45
Çözülmüş Oksijen	mg/L	7,05	8,65	8,57	-
KOİ	mg/L	925	5,0	790	99,4
TOK	mg/L	350	1,9	294	99,4
Bulanıklık	NTU	7,77	0,44	5560	100
Amonyak	mg/L	2,32	0,69	1,90	63,7
Renk	λ436	0,205	0,001	0,125	97,6
	λ525	0,215	0,001	0,024	87,5
	λ620	0,246	0,002	0,014	85,7
Nitrat	mg/L	3,12	0,4	9,5	95,3
Sülfat	mg/L	84,4	0,0	1752	100
Klörür	mg/L	26,8	<0.5	<0.5	<100
Demir II	mg/L	0,0	1,0	81,8	98,8
Demir III	mg/L	0,0	2,6	505,6	99,5
Demir (II/III)	mg/L	0,0	3,6	587,4	99,4
Toplam Azot	mg/L	5,44	1,09	11,4	90,4
Toplam Sertlik	mg/L	2,15	2,09	520	99,6
Fenol	mg/L	10,40	0,06	-	-

Tablo 4.72 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[NF_{gevşek}/TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim

Parametre	Birim	Ham atıksu	Foto-Fenton {UVC-Fenton/UF}/[NF _{gevşek} /TO]		
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,22	4,24	2,04	-
Sıcaklık	°C	25	40	40	-
İletkenlik	µs/cm	997	2660	4660	43
TÇK	mg/L	491	1400	2450	43
Çözünmüş Oksijen	mg/L	8,39	8,86	9,39	-
KOİ	mg/L	998	5,9	280	97,9
TOK	mg/L	375	2,2	101	97,8
Bulanıklık	NTU	8,40	0,0	16100	100
Amonyak	mg/L	2,09	0,60	1,95	69,2
Renk	λ 436	0,198	0,001	0,155	98,7
	λ525	0,206	0,001	0,035	97,1
	λ620	0,235	0,000	0,015	100
Nitrat	mg/L	3,33	0,382	8,0	95,2
Sülfat	mg/L	86,9	0,0	3053	100
Klörür	mg/L	27,8	<0.5	<0.5	<100
Demir II	mg/L	0,0	1,7	138,8	98,8
Demir III	mg/L	0,0	0,0	1161	100
Demir (II/III)	mg/L	0,0	1,7	1300	99,9
Toplam Azot	mg/L	5,42	0,98	9,95	90,1
Toplam Sertlik	mg/L	2,05	2,50	265	99,1
Fenol	mg/L	9,58	0,296	-	-

4.2.2.2 Kağıt Atıksularının Arıtımı

✓ {Fenton/UF}/[MP] sistemleri

Tekstil endüstrisi atıksuları ile yürütülen deneylerde olduğu gibi projedahilinde kağıt endüstrisi atıksuları için de, önerilen Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli İOP/batık UF-NF_{sıkı}, İOP/batık UF-TO ve İOP/batık UF-NF_{gevşek}-TO bütünleşik sistemleri ile sürekli şartlarda ham kağıt atıksuyunun TOK değerine bağlı olarak daha önce belirlenen H₂O₂/TOK (g/g) oranı 6, H₂O₂/Fe²⁺ (g/g) oranı 11 olacak şekilde kimyasal ilaveleri yapılmış ve pH ayarlamasından sonra {Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] deneyleri başlatılmıştır. %50 ve %80 konsantre etme oranları dahilinde elde edilen süzüntü suyu kalite değerleri Tablo 4.73 (a)' da TOK, KOİ, TÇK ve NF_{sıkı} membran süzüntü akısı değerleri dikkate alınarak yeniden kullanım suyu kriterlerine göre değerlendirilmiştir. {Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] sisteminde %50 konsantre etme oranında 182,1 L/m² sa süzüntü akısında TOK ve KOİ konsantrasyonu sırasıyla 89,7 mg/L ve 262,5 mg/L'ye; %80 konsantre etme oranında 185,3 L/m² sa akı değerinde TOK ve KOİ değerleri sırasıyla 119,2 mg/L ve 420 mg/L'ye kadar düşmüştür. Bu değerlerin hedeflenen yeniden kullanım suyu kriterleri (Tablo 3.21 ve açıklaması) ile uyumlu olmadığı açıkça görülmektedir. Proje kapsamında, işletimi yapılan tüm bütünleşik arıtma sistemi uygulamaları neticesinde, üretilen proseste yeniden kullanım sularında ulaşılmak istenen su kalitesi değerleri; kâğıt endüstrisi için KOİ: 20-30, TOK: 10-20 mg/L, pH: 6,0-8,0 ve iletkenlik: <850'dir.

Deneysel çalışmanın devamında, organik madde giderimi üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucunda, Fenton ve foto-Fenton destekli İOP/batık UF-NF_{sıkı} deneylerine devam edilmemesine karar verilmiş olup, Fenton destekli diğer İOP/batık UF-MP sistemlerinin kesikli şartlarda performanslarının belirlenerek değerlendirilmesine karar verilmiştir.

Bu bağlamda, {Fenton/UF}/[TO] ve {Fenton/UF}/[NF_{gevşek}/TO] hibrit sistemleri ile farklı konsantre etme oranlarında Fenton prosesi için daha önceden belirlenen optimum işletme şartlarındakesikli deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar {Fenton/UF}/[TO] sistemi için Tablo 4.73 (b)'de, {Fenton/UF}/[NF_{gevşek}/TO] hibrit sistemi için ise Tablo 4.73 (c)'de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan görülmektedir ki, Fenton destekli hibrit sistemler %50 konsantre etme oranında %80 konsantre etme oranına göre daha yüksek giderim verimlerinde işletilebilir olmasına karşın, membran filtrasyonu sonrasında elde edilen süzüntü suları akı değerleri ile TOK, KOİ ve TÇK değerleri dikkate alındığında, hedeflenen su kalitesi standart değerlerine ulaşamamıştır.

{Fenton/UF}/[TO] sistemi ile yürütülen kesikli deneylerde, 7 L/m² sa'lık düşük TO süzüntü akısında TOK 65 mg/L, KOİ 181,3 mg/L ve TÇK 297 mg/L değerlerini alırken,

{Fenton/UF}/[NF_{gevşek}/TO] sisteminde her iki membran filtrasyonu sonucunda da %50 konsantre etme oranlarında, NF_{gevşek} filtrasyonunda 22,3 L/m² sa'lik süzüntü akısında TOK 125,6 mg/L, KOİ 418,6 mg/L ve TÇK 780 mg/L, TO filtrasyonunda 7,7 L/m² sa'lik süzüntü akısında TOK 66 mg/L, KOİ 195,2 mg/L ve TÇK 133 mg/L değerleri sağlanmıştır.

Tüm deneylerde, UF membran olarak UH050, NF_{sıkı} ve NF_{gevşek} membran olarak sırasıyla NF270 ve CK3001 ve TO membran olarak ise BW30 membranlar kullanılmıştır.

Elde edilen düşük akı değerleri ve yüksek çıkış suyu TOK ve KOİ değerleri nedeniyle, deneysel çalışmaların devamında projede verilen haliyle **B Planında** yer alan Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli İOP/batık UF-MD entegre sistemleri ile kağıt endüstrisi atıksularının sürekli şartlarda arıtımı çalışmalarının başlanmasına karar verilmiştir.

Tablo 4.74'de {Fenton/batık UF}/[TO/MD] ve {Fenton/batık UF}/[MD] entegre sistemleri ile kesikli şartlarda ön denemeler yapılarak bütüncül arıtmıda konsantre yönetimini de içine alan bir yaklaşım ile çıkış suyu kalite değerleri hedeflenen yeniden kullanım suyu kalite değerleri üzerinden değerlendirilmiştir.

%80 konsantre etme oranında {Fenton/batık UF}/[TO] sistemi ile çok düşük TO süzüntü akısı ve çıkış suyunda düşük giderim verimleri elde edilmesine rağmen, %50 konsantre etme oranında {Fenton/batık UF}/[TO-MD] sistemi ile 17,8 L/m² sa süzüntü akısında TOK değeri 15,3 mg/L'ye, KOİ değeri 68 mg/L'ye ve TÇK değeri 19,7 mg/L' ye kadar düşürülerek, MD prosesinin Fenton destekli İOP/batık UF prosesine entegre edilmesi ve sürekli şartlarda sistem bütününde uygun işletme koşullarında kullanılabileceği doğrultusunda bir ışık oluşturmuştur. Bu bağlamda daha sonra {Fenton/batık UF}/[MD] ile sadece membran distilasyonunun gerçekleştirildiği deneylerde %50 ve %80 konsantre etme oranlarında sırasıyla 20,8 L/m² sa ve 17,3 L/m² sa süzüntü akılarında yaklaşık %95'in üzerinde organik madde giderimi sağlanmıştır. Özellikle %50 konsantre etme oranında çıkış suyundaki TOK ve KOİ değerleri sırasıyla 15,8 mg/L ve 56,8 mg/L seviyelerine düşürülmüştür.

Şekil 202' de ön denemelerde uygulanan tüm yenilikçi sistemlerin TOK, KOİ ve TÇK giderim verimleri ile kullanılan membranların süzüntü akı değerleri özet olarak verilmiştir. Buradan açıkça görüldüğü üzere, uygulanan tüm sistemler içinde en yüksek verimin {Fenton/batık UF}/[MD] bütüncül sistemi ile elde edildiği söylenebilir. Buradan hareketle, atıksuların arıtılarak yeniden kullanımına yönelik gerçekçi bir yaklaşımla, su akısı değerleri ve sistem verimliliği karşılaştırıldığında; bu çalışmada kağıt endüstrisi atıksuları ile yürütülen sürekli deneylerde membran distilasyon (MD) prosesi sistem bütünlüğüne dahil edilmiştir.

Tablo 4.73 Önerilen (a)-,{Fenton/UF}/[NF_{sıkı}] (b)-,{Fenton/UF}/[TO] ve (c)-,{Fenton/UF}/[NF_{gevşek}/TO] sistemlerinde farklı konsantre etme oranlarında çıkış suyuTOK, KOİ ve TÇK değerleri, toplam verimleri ve membran süzöntü akıları

(a)

Parametre	Birim	Ham Atıksu	{Fenton/UF}		{Fenton/UF}/[NF _{sıkı}]			
			Fenton/Batık UF	Giderim Verimi (%)	Geri Kazanım Suyu (50% konsantre)	Giderim Verimi (%)	Geri Kazanım Suyu (80% konsantre)	Giderim Verimi (%)
TOK	mg/L	358,2	227,6	36,5	89,7	75,0	119,2	66,7
KOİ	mg/L	1128	536	52,5	262,5	76,7	420	62,8
TÇK	mg/L	1691,5	1962	-	464,4	72,5	743	56,1
Akı	L/m ² sa	-	440,1		182,1		185,3	

(b)

Parametre	Birim	Ham Atıksu	{Fenton/UF}		{Fenton/UF}/[TO]			
			Fenton/Batık UF	Giderim Verimi (%)	Geri kazanım suyu (%50 konsantre)	Giderim Verimi (%)	Geri Kazanım Suyu (%80 konsantre)	Giderim Verimi (%)
TOK	mg/L	356,9	171,9	51,8	65	81,8	91,8	74,3
KOİ	mg/L	1904	470	75,3	181,3	90,5	320,8	83,2
TÇK	mg/L	1815	2009	-	297	83,6	620	65,8
Akı	L/m ² s a	-	503,5		7,0		7,0	

(c)

Parametre	Birim	Ham Atıksu	{Fenton/UF}		{Fenton/UF}/[NF _{gevşek}]				{Fenton/UF}/[NF _{gevşek} /TO]	
			Fenton/Batık UF	Giderim Verimi (%)	Geri kazanım suyu (%50 konsantre)	Giderim Verimi (%)	Geri Kazanım Suyu (%80 konsantre)	Giderim Verimi (%)	Geri Kazanım Suyu (% 50 konsantre)	Giderim Verimi (%)
TOK	mg/L	514,7	252,7	50,9	125,6	75,6	105,8	79,4	66	87,2
KOİ	mg/L	1928	848	56	418,6	78,3	356,0	81,5	195,2	89,9
TÇK	mg/L	3420	3240	5,3	780,5	77,2	655,6	80,8	133	96,1
Akı	L/m ² sa	-	395,0		22,3		24,9		7,7	

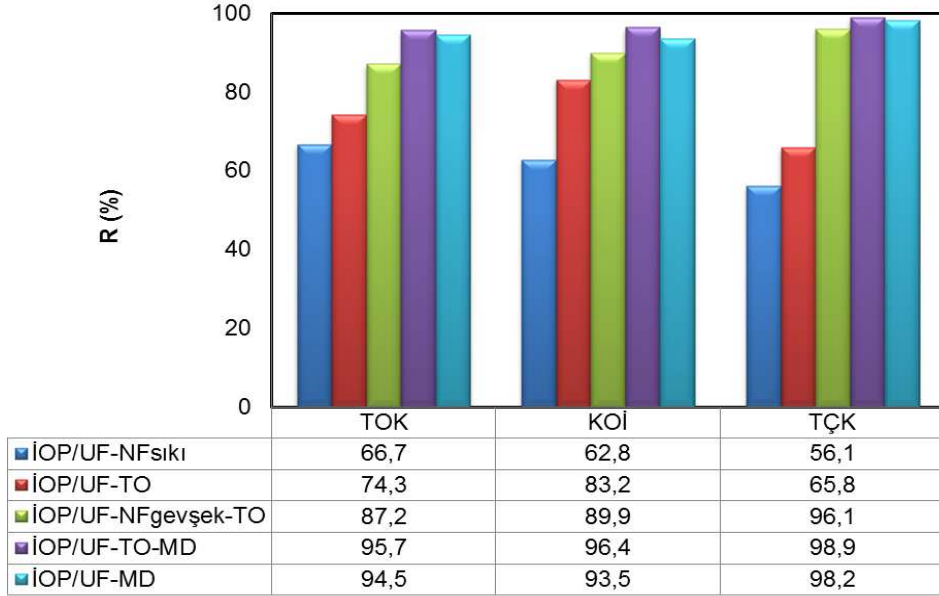
Tablo 4.74 (a)-,{Fenton/UF}/[TO/MD] (b) {Fenton/UF}/[MD] sistemlerinde farklı konsantre etme oranlarında,çıkış suyu TOK, KOİ ve TÇK değerleri, toplam verimleri ve membran süzöntü akıları

(a)

Parametre	Birim	Ham Atıksu	{Fenton/UF}		{Fenton/UF}/[TO]		{Fenton/UF}/[TO/MD]	
			Fenton/Batık UF	Giderim Verimi (%)	Geri Kazanım Suyu (%80 konsantre)	Giderim Verimi (%)	Geri kazanım suyu (%50 konsantre)	Giderim Verimi (%)
TOK	mg/L	357	171,9	51,8	65,0	81,8	15,3	95,7
KOİ	mg/L	1904	320,8	83,2	181,3	90,5	68	96,4
TÇK	mg/L	1815	2009	-	297	83,6	19,7	98,9
Akı	L/m^2sa	-	503,5		7,0		17,8	

(b)

Parametre	Birim	Ham Atıksu	{Fenton/UF}		{Fenton/UF}/[MD]		{Fenton/UF}/[MD]	
			Fenton/Batık UF	Giderim Verimi (%)	Geri kazanım suyu (%50 konsantre)	Giderim Verimi (%)	Geri Kazanım Suyu (%80 konsantre)	Giderim Verimi (%)
TOK	mg/L	417	287,1	31,2	15,8	96,2	22,9	94,5
KOİ	mg/L	1168	716	38,7	56,8	95,1	75,4	93,5
TÇK	mg/L	1686	1840	-	22,3	98,7	30,8	98,2
Akı	L/m^2sa	-	494,6		20,8		17,3	



Şekil 4.202 Kâğıt atıksuyunun {Fenton/batık UF}/[MP ve/veya MD] bütünleşik sistemler ile arıtım performansları

✓ **{İOP/UF}/[MD] sistemleri**

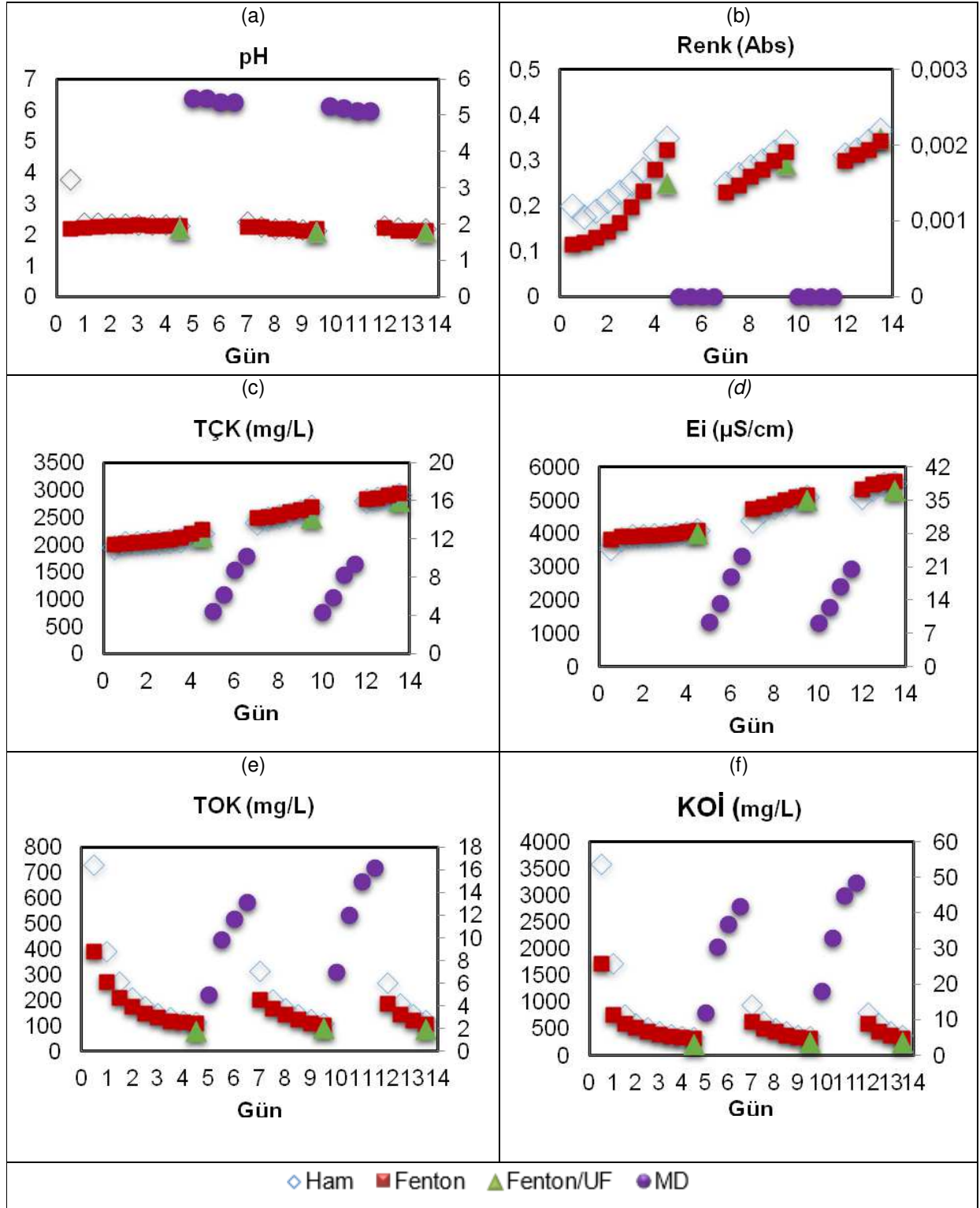
– **{Fenton/UF}/[MD] sistemi**

Atıksuyun yapılan karakterizasyon çalışmalarında, TOK değeri 729,2 mg/L olarak bulunmuş ve bu doğrultuda Fenton/batık UF prosesinin gerçekleşmesi için Tablo 3.7' de verilen optimum işletme şartlarında H_2O_2 /TOK (g/g) oranı 6, H_2O_2/Fe^{2+} (g/g) oranı 11 olacak şekilde demir ve hidrojen peroksit, Tablo 3.18'de verilen miktarlarda İOP/batık UF reaktörüne eklenmiştir. Reaktör içindeki atıksuda gerekli pH ayarlaması sülfirik asit ilavesi ile yapıldıktan sonra deneyler başlatılmıştır. Her işletimin sonunda başlangıçta reaktöre ilave edilen kimyasallar tükenmiş olup, günde iki işletim gerçekleştirilmiştir. Her işletimin başlangıcında Fenton/batık UF reaktöründeki atıksuyun TOK değerine bağlı olarak gerekli hidrojen peroksit ve demir ilaveleri tekrarlanmıştır.

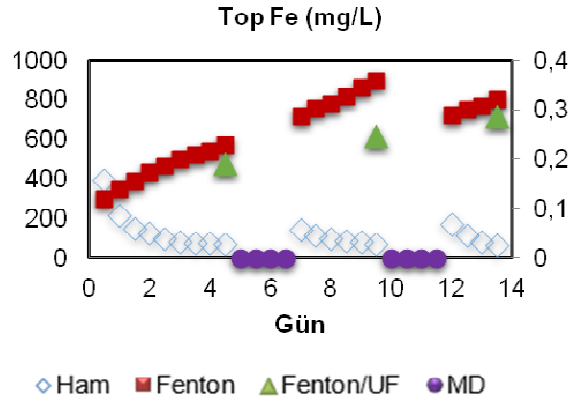
Yapılan ön denemeler ile, İOP/batık UF reaktöründe oksidasyon sonrasında kalan atıksuyun TOK değeri 100-110 mg/L seviyelerine düşürüldükten sonra UF filtrasyonu gerçekleştirilmiş olup, daha sonra %60 konsantrasyon oranında işletilen MD prosesi ile hedeflenen sulama suyu kriterlerine ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır. Birinci turda 4,5 gün süren 9 işletim sonrasında reaktördeki TOK değeri istenen seviyeye (109,15 mg/L) düşürülmüş ve sonrasında UF membranı (UH050) ile 5 L su çekimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen UF çıkış suyuna membran distilasyon uygulanmış ve %60 geri kazanım oranında 20 C° sıcaklık farkında iki gün süreyle MD

reaktörü işletilmiştir. Daha sonra oluşan 2L MD konsantresi 3L ham kağıt atısu ile karıştırılarak pH ayarlaması yapıldıktan sonra Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilmiş ve bu sayede reaktör hacmi 20 L'ye tamamlanmıştır. Reaktördeki suyun yeni TOK değerine bağlı olarak gerekli kimyasal ilavelerinden sonra 2. tur başlatılmış olup, Fenton/batık UF reaktöründe oksidasyon TOK değeri yaklaşık 100-110 mg/L'ye düşene kadar tekrarlanmıştır. Fenton/batık UF reaktöründe 2. turda gerçekleşen oksidasyon adımıdan sonra UF filtrasyonu ile 5 L süzüntü suyu tekrar MD prosesine tabi tutulmuştur. UF filtrasyonu ile süzüntü suyu eldesi beşinci, sekizinci ve onuncu günlerde olmak üzere 3 turda gerçekleşmiş olup, MD prosesinde oluşan konsantrasyon akım Fenton/batık UF reaktörüne beşinci ve sekizinci günlerin 2. işletimlerinde geri devredilmiştir. 2. tur deneyler 6 işletim, 3. tur deneyler 4 işletim devam etmiş olup İOP/batık UF deneyleri 9,5 günde tamamlanmıştır.

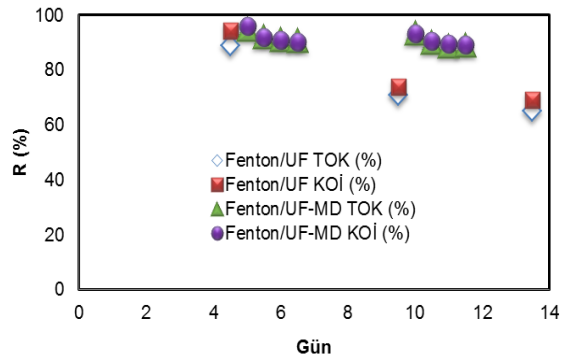
Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli İOP/batık UF ve sonrası MD bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF ve MD çıkış suları için Şekil 4.203'de ayrı ayrı verilmiştir. Toplam 10 günlük deney süresince her işletim sonundaki toplam demir konsantrasyonları da ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF ve MD çıkış suları için Şekil 4.204'deki gibidir. Şekil 4.205'de ise organik madde giderimi açısından {Fenton/UF} prosesi ile {Fenton/UF}/[MD] sistemi TOK ve KOİ giderim verimleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF ve MD membran distilasyon kararlı hal akıları UF için 3 tur, MD için 2 işletim olmak üzere Şekil 4.206'da gösterilmiştir. MD işletimlerinde %60 geri kazanım için 2 gün gerekmektedir. Bunun için günde 360 dk olmak üzere her gün için toplamda 720 dk MD işletilmiştir. MD işletimi süresince her 180. dk da ölçülen su kalite parametreleri ile birlikte kararlı hal akıları da Şekil 4.203 ve Şekil 4.206 da gösterilmiştir. Şekil 4.203'de görüldüğü üzere pH parametresi Fenton/batık UF reaktöründe kararlı halde ham atıksu, Fenton oksidasyonu sonrası ve Fenton/UF filtrasyon çıkışında yaklaşık 2,1 civarında iken, çıkış suyu distile su akımında 5,1 değerine çıkmıştır. Konsantrasyon etkinliğine bağlı olarak, TÇK konsantrasyonu 9,4 mg/L; Ei konsantrasyonu 20,66 µS/cm değerlerini alırken, renk ve Şekil 4.204'de verilen toplam demir değişimlerinden bu iki kalite parametresinin tamamen giderildiği görülmektedir. Atıksudaki organik madde giderimi ile suyun yeniden kullanılabilirliğinin hedeflendiği bu çalışmada, {Fenton/UF} prosesi ile {Fenton/UF}/[MD] entegre sisteminin performansları karşılaştırıldığında süzüntülerdeki TOK değerleri sırasıyla 85,7 mg/L ve 16,2 mg/L iken; KOİ değerleri sırasıyla 248 mg/L ve 48,6 mg/L'dir. Şekil 4.205'de verildiği şekliyle, kararlı hal durumunda {Fenton/UF} prosesi ile 875 L/m² sa süzüntü akısında TOK ve KOİ giderimi sırasıyla %65 ve %69,15 seviyelerinde olup, {Fenton/UF}/[MD] sistemi ile 15,43 L/m² sa MD akısında TOK ve KOİ giderim verimleri yaklaşık %89,3 seviyelerindedir.



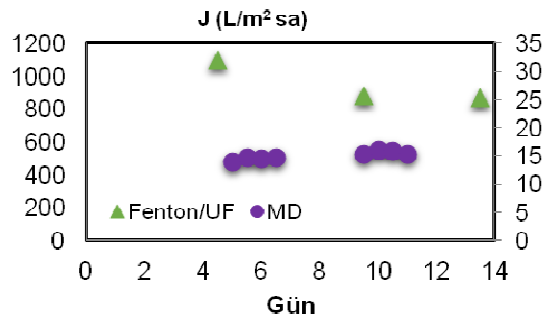
Şekil 4.203 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[MD] bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, Fenton, Fenton/UF sonuçlarını, sağ eksen; MD sonuçlarını vermektedir.)



Şekil 4.204 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[MD] bütünleşik membran sisteminde Top-Fe değişimi



Şekil 4.205 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[MD] bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı



Şekil 4.206 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/UF}/[MD] bütünleşik membran sisteminde akı değişimi

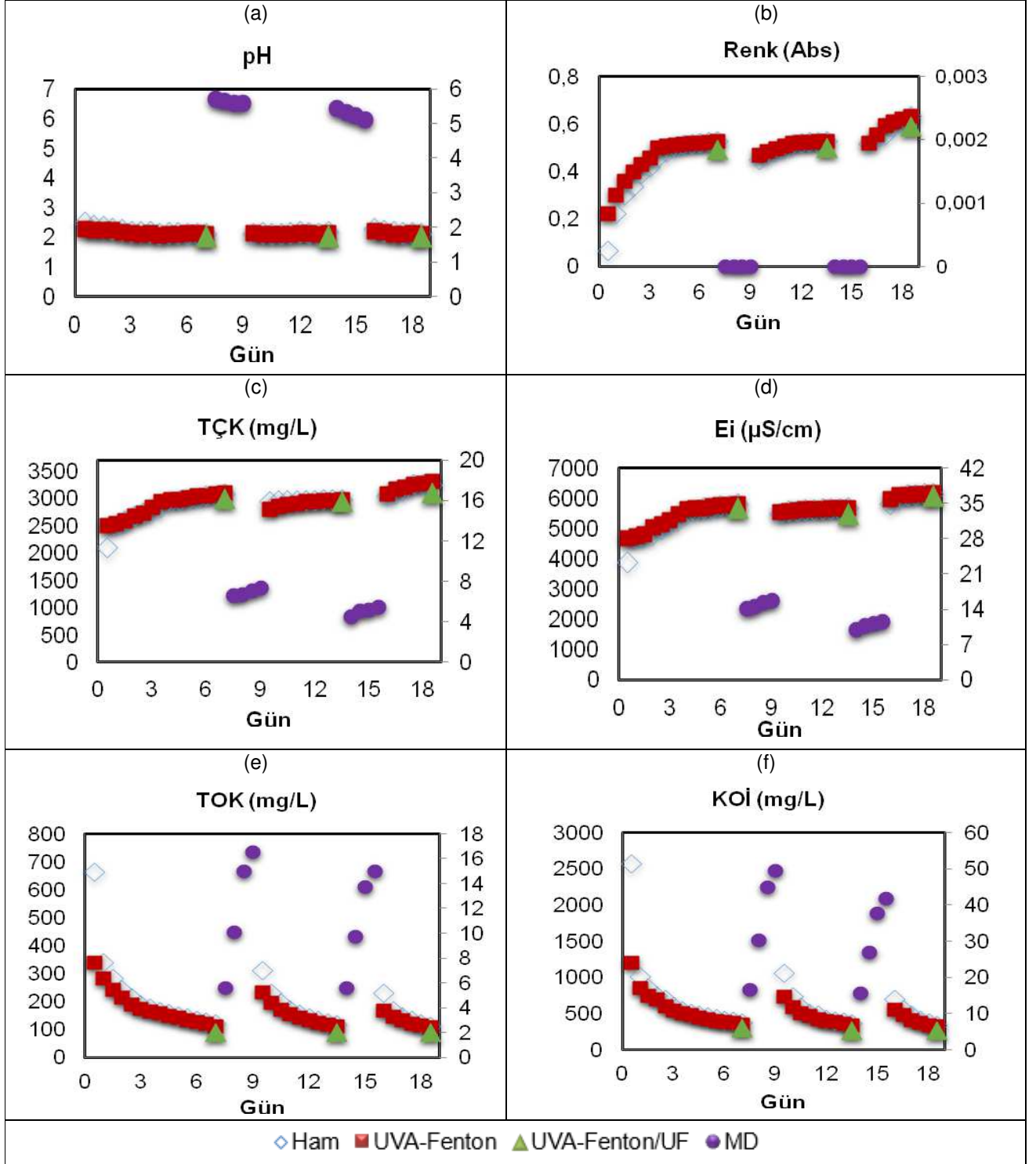
– {UVA-Fenton/UF}/[MD] sistemi

Atıksuyun yapılan karakterizasyon çalışmalarında, TOK değeri 663,9 mg/L olarak bulunmuş ve bu doğrultuda Fenton/batık UF prosesinin gerçekleşmesi için Tablo 3.7' de verilen optimum işletme şartlarında H_2O_2 /TOK (g/g) oranı 9,94, H_2O_2/Fe^{2+} (g/g) oranı 6 olacak şekilde demir ve hidrojen peroksit Tablo 3.19'da verilen miktarlarda İOP/batık UF reaktörüne ilave edilmiştir. Reaktör içindeki atıksuda gerekli pH ayarlaması sülfirik asit ilavesi ile yapıldıktan sonra deneyler başlatılmıştır. Birinci turda 7 gün süren 14 işletim sonrasındaki deneylerde reaktördeki TOK konsantrasyonu 113,09 mg/L'ye düştüğünden, UF (UP050) filtrasyonu ile reaktörden 5 L su çekimi gerçekleştirilmiştir.

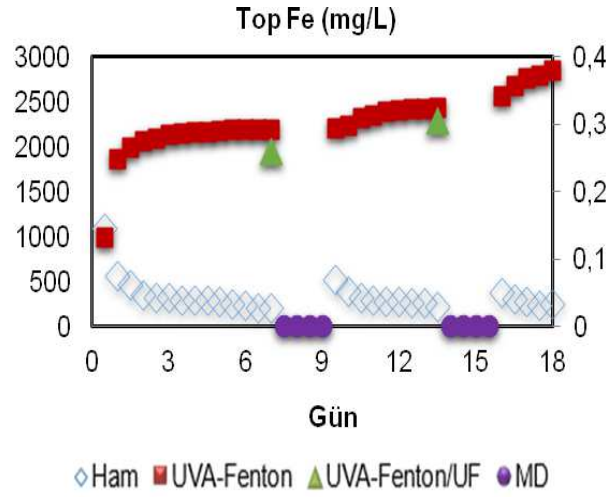
Her işletimin sonunda başlangıçta reaktöre ilave edilen kimyasallar tükenmiş olup, günde iki işletim gerçekleştirilmiştir. Her işletimin başlangıcında Fenton/batık UF reaktöründeki atıksuyun TOK değerine bağlı olarak gerekli hidrojen peroksit ve demir ilaveleri tekrarlanmıştır.

Elde edilen UF çıkış suyuna membran distilasyon uygulanmış ve %60 geri kazanım oranında 20 C° sıcaklık farkında iki gün süreyle MD reaktörü işletilmiştir. %60 geri kazanım oranında işletildiğinde oluşan 2 L MD konsantresi 3 L ham kağıt atısuyla karıştırılarak pH ayarlaması yapıldıktan sonra Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilmiş ve bu sayede reaktör hacmi 20 L'ye tamamlanarak 2. tur deneyler başlatılmıştır.

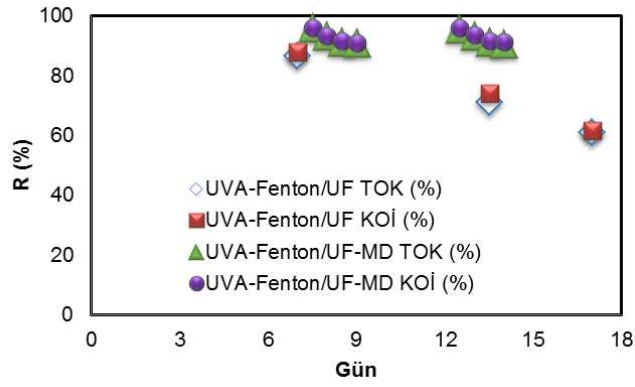
Reaktördeki suyun yeni TOK değerine bağlı olarak gerekli kimyasal ilavelerinden sonra Fenton/batık UF reaktöründe oksidasyon TOK değeri yaklaşık 100-110 mg/L'ye düşene kadar tekrarlanmıştır. Fenton/UF reaktöründe 2. turda gerçekleşen oksidasyon adımı 9 işletim sürmüştü ve daha sonra İOP/batık UF reaktöründeki atıksuyun 5 L'si UF filtrasyonu ile reaktörden çekilerek MD prosesine tabi tutulmuştur. UF filtrasyonu ile süzüntü suyu eldesi yedinci, onikinci ve onbeşinci günlerde gerçekleşmiş olup, MD prosesinde oluşan konsantre akım Fenton/batık UF reaktörüne sekizinci ve onüçüncü günlerin 1. işletimlerinde geri devredilmiştir. 2. tur deneyler 9 işletim, 3. tur deneyler 6 işletim devam etmiş olup İOP/batık UF deneyleri 14,5 günde tamamlanmıştır. Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli İOP/batık UF ve sonrası MD bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVA-Fenton, UVA-Fenton/batık UF ve MD çıkış suları için Şekil 4.207'de ayrı ayrı verilmiştir. Deney süresince her işletim sonundaki toplam demir konsantrasyonları da ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF ve MD çıkış suları için Şekil 4.208'deki gibidir. Şekil 4.209'de ise organik madde giderimi açısından {UVA-Fenton/UF} prosesi ile {UVA-Fenton/UF}/[MD] sistemi TOK ve KOİ giderim verimleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF ve MD membran distilasyon kararlı hal akıları Şekil 4.210'da gösterilmiştir.



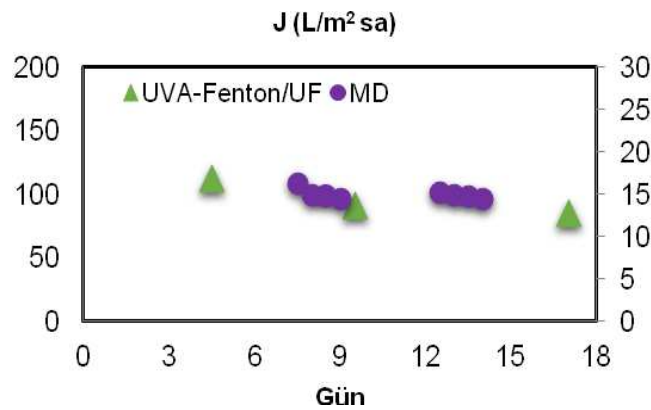
Şekil 4.207 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri(Sol eksen; Ham, İOP, İOP/UF sonuçlarını, sağ eksen; MD sonuçlarını)



Şekil 4.208 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde Top Fe değişimi



Şekil 4.209 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde organik madde giderim performansı



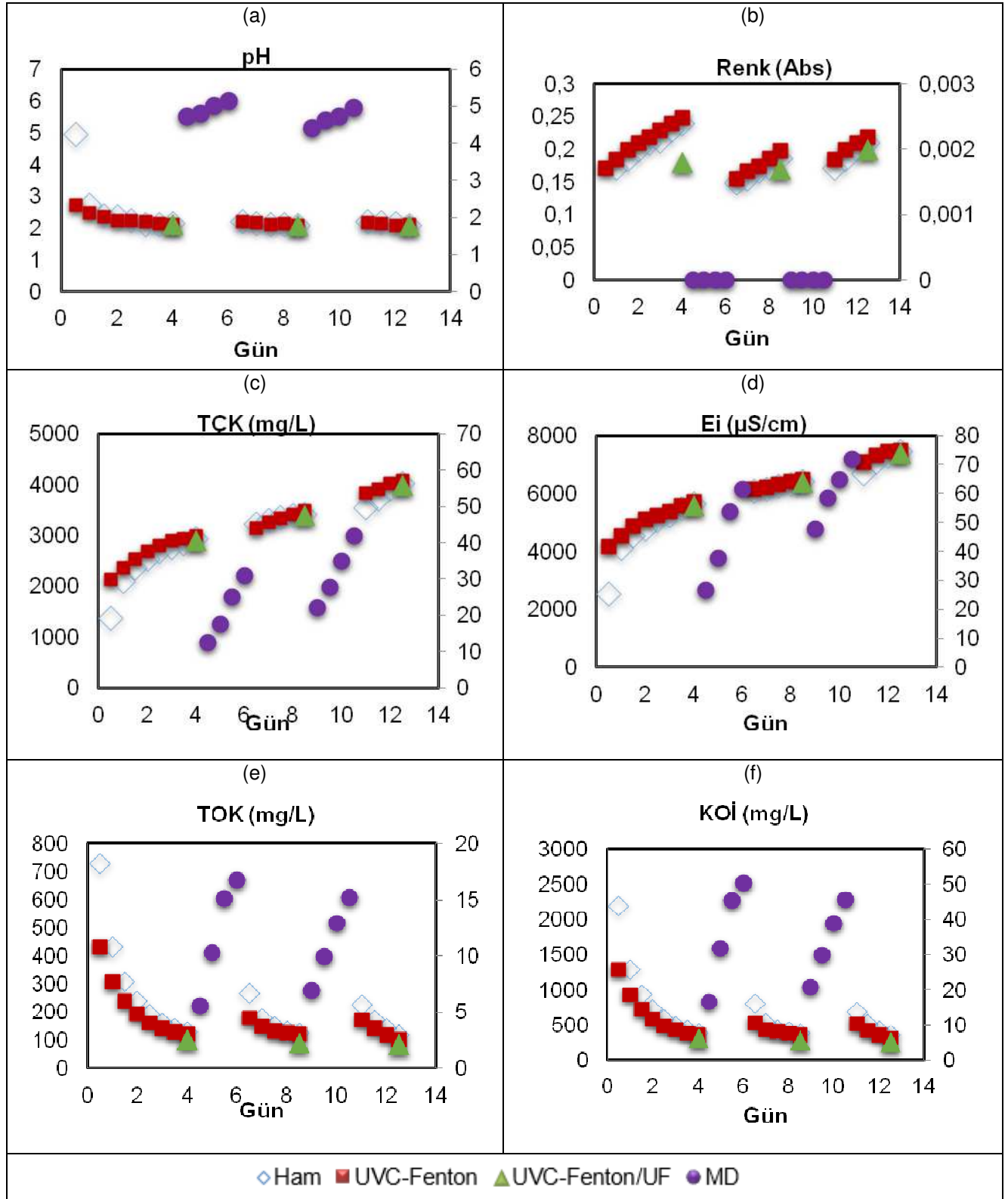
Şekil 4.210 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde akı değişimi

Şekil 4.207'de görüldüğü üzere pH parametresi UVA-Fenton/batık UF reaktöründe kararlı halde ham atıksu, Fenton oksidasyonu sonrası ve UVA-Fenton/batık UF filtrasyon çıkışında yaklaşık 2,1 civarında iken, çıkış suyu distile su akımında 5,12 değerine çıkmıştır. Konsantrasyon etkinliğine bağlı olarak, TÇK konsantrasyonu 5,46 mg/L; Ei konsantrasyonu 11,56 µS/cm değerlerini alırken, renk ve Şekil 4.208'de verilen toplam demir değişimlerinden bu iki kalite parametresinin tamamen giderildiği görülmektedir. Atıksudaki organik madde giderimi açısından, {UVA-Fenton/UF} prosesi ile {UVA-Fenton/UF}/[MD] entegre sisteminin performansları karşılaştırıldığında süzüntülerdeki TOK değerleri sırasıyla 90,0 mg/L ve 15,02 mg/L iken; KOİ değerleri sırasıyla 270 mg/L ve 42 mg/L'dir. Şekil 4.210'de verildiği şekliyle, kararlı hal durumunda {UVA-Fenton/UF} prosesi ile 85,85 L/m² sa süzüntü akısında TOK ve KOİ giderimi çok düşük değerlerde olup, {UVA-Fenton/UF}/[MD] sistemi ile 14,52 L/m² sa MD akısında ve TOK ve KOİ giderim verimleri sırasıyla 90,73% ve 91,1% seviyelerindedir.

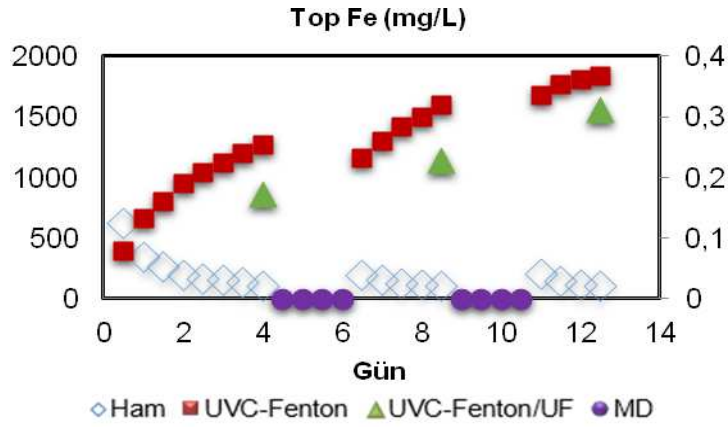
– {UVC-Fenton/UF}/[MD] sistemi

Ham kağıt atıksuyunun TOK değeri 729,22 mg/L olarak bulunmuş olup, UVC-Fenton oksidasyonun gerçekleşmesi için H₂O₂/TOK (g/g) oranı 6, H₂O₂/Fe²⁺ (g/g) oranı 7 olacak şekilde Tablo 3.20'de verilen miktarlarda hidrojen peroksit ve demir reaktöre ilave edilmiştir. Ayrıca UVC-Fenton/batık UF reaktöründe uzun süreli deneyler başlamadan önce reaktörde pH ayarlaması yapılmıştır. UVC-Fenton oksidasyon deneyleri, günde 2 işletim üzerinden her işletimin başında reaktöre atıksuyun TOK değerine bağlı olarak gereken hidrojen peroksit ve demir ilaveleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. 4 gün (8 işletim) süren 1. tur sonunda reaktördeki TOK değeri istenen seviyeye (120,7mg/L) indirilmiş ve sonrasında UF membranı (UH050) ile 5 L su çekimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra UF filtrasyonundan elde edilen süzüntü suyuna membran distilasyon uygulanmış ve %60 geri kazanım oranında 20 °C sıcaklık farkında iki gün süreyle MD reaktörü işletilmiştir. Daha sonra oluşan 2L konsantrasyon suyu 3L ham kağıt atıksuyu ile karıştırılarak pH ayarlamasından sonra tekrar Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilmiş ve tekrar UVC-Fenton oksidasyonuna tabi tutulmuştur. 2. tur deneyler 5 işletim, 3. tur deneyler 4 işletim devam etmiş olup İOP/batık UF deneyleri 9 günde tamamlanmıştır.

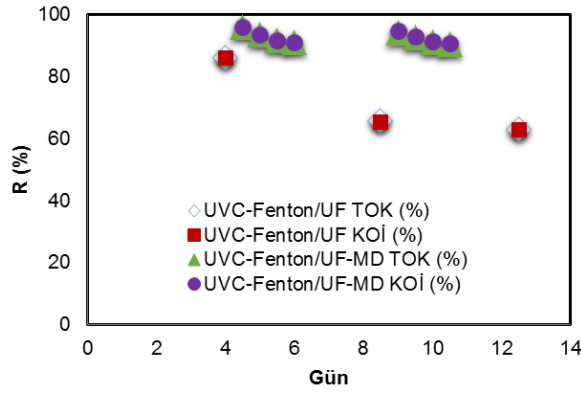
Sürekli işletimli önerilen Fenton destekli İOP/batık UF ve sonrası MD bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVC-Fenton, UVC-Fenton/batık UF ve MD çıkış suları için Şekil 4.211'de ayrı ayrı verilmiştir. Deney süresince her işletim sonundaki toplam demir konsantrasyonları da ham atıksu, UVC-Fenton, UVC-Fenton/batık UF ve MD çıkış suları için Şekil 4.212'deki gibidir. Şekil 4.213'de ise organik madde giderimi açısından {UVC-Fenton/UF} prosesi ile {UVC-Fenton/UF}/[MD] sistemi TOK ve KOİ giderim verimleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF ve MD membran distilasyon kararlı hal akıları Şekil 4.214'de gösterilmiştir.



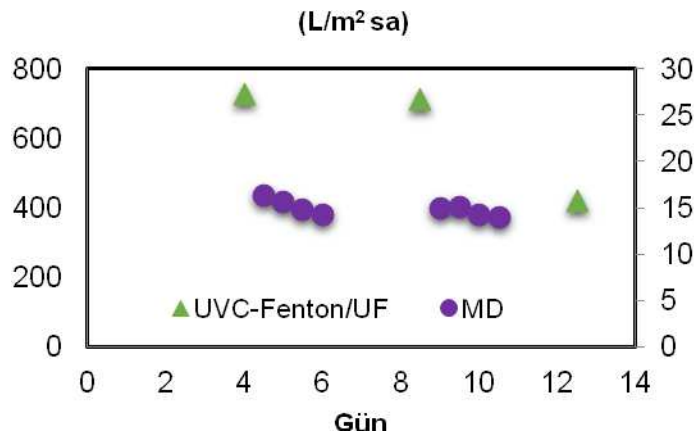
Şekil 4.211 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[MD]bütünleşik membran sisteminde (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri (Sol eksen; Ham, İOP, İOP/UF sonuçlarını, sağ eksen; MD sonuçlarını)



Şekil 4.212 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[MD] bütünlük membran sisteminde Top Fe değişimi



Şekil 4.213 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[MD] bütünlük membran sisteminde organik madde giderim performansı



Şekil 4.214 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/UF}/[MD] bütünlük membran sisteminde akı değişimi

Şekil 4.211'de görüldüğü üzere pH parametresi UVC-Fenton/batık UF reaktöründe kararlı halde ham atıksu, Fenton oksidasyonu sonrası ve UVC-Fenton/batık UF filtrasyon çıkışında yaklaşık 2 civarında iken, çıkış suyu distile su akımında 4,95 değerine çıkmıştır. Konsantre olma etkinliğine bağlı olarak, TÇK konsantrasyonu 42 mg/L; Ei konsantrasyonu 72 µS/cm değerlerini alırken diğer proseslerdekinden biraz daha yüksek çıkmıştır. Renk ve Şekil 4.208'de verilen toplam demir değişimlerinden bu iki kalite parametresinin MD prosesi ile tamamen konsantre tarafta tutulduğu ve distile su tarafına geçmediği söylenebilir.

Atıksudaki organik madde giderimi açısından, {UVC-Fenton/UF} prosesi ile {UVC-Fenton/UF}/[MD] entegre sisteminin performansları karşılaştırıldığında süzüntülerdeki TOK değerleri sırasıyla 85 mg/L ve 15,3 mg/L iken; KOİ değerleri sırasıyla 255 mg/L ve 45,9 mg/L'dir. Şekil 4.210'de verildiği şekliyle, sistem akı performanslarının kararlı işletim haline ulaştığı ve {UVC-Fenton/UF} prosesi ile 422,3 L/m² sa süzüntü akısında TOK ve KOİ giderimi çok düşük değerlerde olup, {UVC-Fenton/UF}/[MD] sistemi ile 14,33 L/m² sa MD su akısında TOK ve KOİ giderim verimleri yaklaşık olarak %90'ın üzerinde bulunmuştur.

Önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[MD] entegre membran arıtma sistemlerinde uzun süreli işletimlerle kararlı hale ulaşıldığında her bir proses adımı için organik madde ve renk giderim performansları Şekil 4.215'de özetlenmiştir.

Önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[MD] bütünleşik membran sistemlerinde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri sırasıyla Tablo 4.75, Tablo 4.76 ve Tablo 4.77'da ayrı ayrı sunulmuştur.

Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[MD] entegre membran arıtma sistemleri ile kağıt atıksularının {İOP/UF} prosesi ile arıtımı sonrasında elde edilen UF çıkış suyunun MD ile konsantre moda işletilerek %60'lara kadar konsantre edilebildiği görülmüştür. Oluşan MD konsantreleri ise belirli günlerde Fenton/batık UF reaktörüne geri devredilerek, atıksu ile birlikte konsantre bertarafını da içerisine alan bir yaklaşımla kararlı hal durumu bozulmadan geri kazanım suyu temin edilebilmiştir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm sistemlerde pH ve sadece {Fenton/UF}/[MD] sisteminde TOK ve KOİ parametreleri hariç; diğer iki sistemin çıkış suyu kalite değerlerinin tamamının herhangi bir demir kalıntısı olmaksızın, literatürde verilen ve proje kapsamında hedeflenen yeniden kullanım suyu kriterleri (Tablo 3.21 ve açıklaması) ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Fenton destekli {Fenton/UF}/[MD] sistemdeki TOK ve KOİ değerlerinin, hedef su kalitesi değerlerinin çok az üzerinde olduğu (hedef KOİ: 20-30 mg/L, TOK: 10-20 mg/L) görülmüştür.

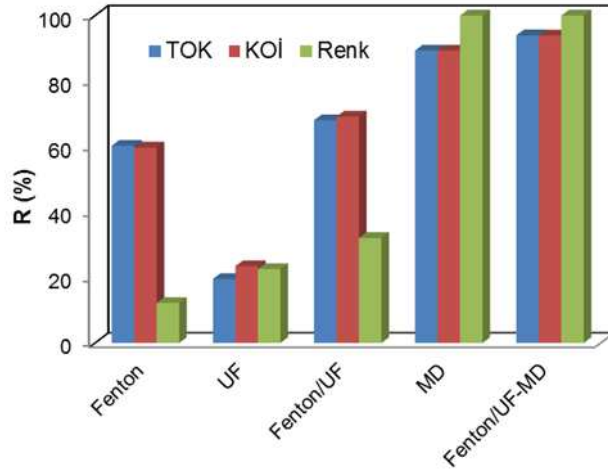
{Fenton/UF}/[MD], {UVA-Fenton/UF}/[MD], {UVC-Fenton/UF}/[MD] bütünleşik membran sistemlerinde, MD işletimleri sonu 3 ölçüm ortalama değerleri TOK için sırasıyla 16,2 mg/L, 15,0 mg/L, 15,3 mg/L; KOİ için sırasıyla 48,6 mg/L, 42 mg/L ve 45,9 mg/L bulunmuştur. Bu kalite değerlerinin, hedef değerlerin çok az üzerinde olması sebebiyle, uygulamada yeniden kullanım suyu kalitesi bakımından sorun teşkil etmeyeceği söylenebilir.

Fenton destekli İOP/UF prosesi sonrasında membran filtrasyon ile hedeflenen sulama suyu kalite değerlerine ulaşamadığı için projenin B Planında yer alan membran distilasyon prosesi ile kararlı hal işletimine dayalı konsantre akım döngüsü (reaktöre ham atıksuyla beraber sonraki adımdaki MD konsantresi beraberce ilave edildiği konsantre geri besleme) altında; sistem bütününde Fenton destekli İOP/batık UF entegre prosesi ile birlikte istenen seviyelerde organik madde giderimi sağlanmıştır.

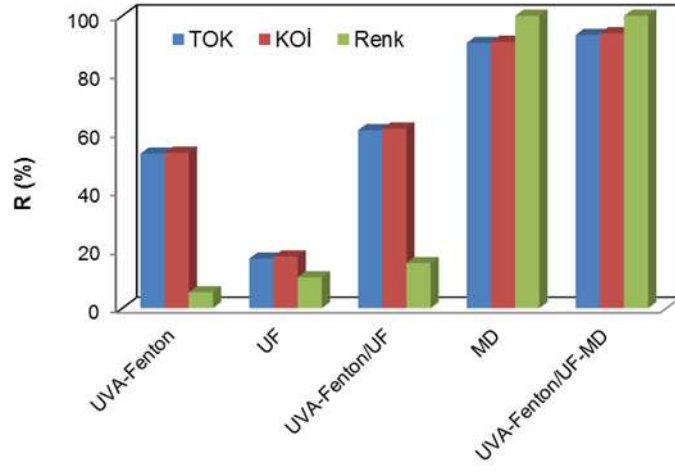
Bu sayede, İOP/batık UF hibrit proses uygulaması ile batık membranda istenmeyen tıkanma problemlerine sebep olmadan, geri beslemeli atık minimizasyonuna dayalı konsantre yönetimi etkisi altında endüstriyel su geri kazanımı başarıyla yerine getirilmiştir. Bütünleşik bir atıksu arıtımı, su geri kazanımı ve konsantre yönetimi uygulamasının, önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[MD] sistemlerin her biri ile sağlandığı açıkça görülmektedir.

Nihai çıkış suyu kalite değerlerinden kağıt endüstrisi atıksularının Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli İOP/batık UF reaktörü sonrasında MD ile %60 konsantre etme oranlarında işletilerek, üretilen endüstriyel yeniden kullanım sularının pHdeğerleri istenilen aralığa getirildiği takdirde, membran konsantre yönetimini de içine alan bir yaklaşım ile saha ölçeğine uygulanabilir olduğu görülmektedir.

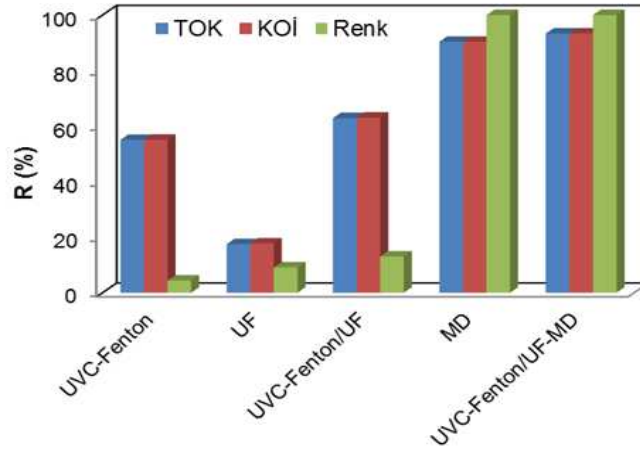
(a)



(b)



(c)



Şekil 4.215 Sürekli işletimli önerilen (a) {Fenton/batık UF}/[MD] (b) {UVA-Fenton/batık UF}/[MD] (c) {UVC-Fenton/batık UF}/[MD] sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları

Tablo 4.75 Sürekli işletimli önerilen {Fenton/batık UF}/[MD] ile bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim

Parametre	Birim	Ham atıksu	{Fenton/batık UF}/[MD]			
			Konsantre Atıksu	Geri Kazanım Suyu	Toplam Verim (%)	
pH	-	6,09	2,04	5,1	-	
Sıcaklık	°C	25	25	25	-	
İletkenlik	µS/cm	1974	5640	20,66	99,6	
TÇK	mg/L	995	2980	9,4	99,7	
ÇO ₂	mg/L	1,53	8,58	0,0	100	
KOİ	mg/L	3584	420	48,6	87,4	
TOK	mg/L	729,2	129,8	16,2	86,6	
AKM	mg/L	82,9	-	-	-	
AOX	mg/L	1,815	5,63	1,13	79,9	
Bulanıklık	NTU	190	169	0,27	99,8	
Amonyak	mg/L	18,2	45,70-	0,28	99,4	
Renk	λ436 λ525 λ620	A	0,751	0,372	0,0	100
			0,142	0,098	0,0	100
			0,014	0,013	0,0	100
Nitrat	mg/L	7,1	7,22	0,05	99,3	
Sülfat	mg/L	919	2441	2,0	99,9	
Klorür	mg/L	97,5	96,5	0,0	100	
Demir II	mg/L	2,51	30,7	0,0	99,9	
Demir III	mg/L	14,7	757,8	0,0	100	
Toplam Demir	mg/L	17,21	788,5	0,0	99,9	
Toplam Azot	mg/L	25,3	52,9	0,34	99,4	
Toplam Sertlik	mg/L	55,6	41,4	1,21	97,1	
Fenol	mg/L	6,5	-	0,04	99,8	

Tablo 4.76 Sürekli işletimli önerilen {UVA-Fenton/batık UF}/[MD] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim

Parametre	Birim	Ham Atıksu	{UVA-Fenton/batık UF}/[MD]			
			Konsantre Atıksu	Geri Kazanım Suyu	Toplam Verim (%)	
pH	-	6,09	<2	5,12	-	
Sıcaklık	0C	25	25	25	-	
İletkenlik	µS/cm	1974	6630	11,56	99,8	
TÇK	mg/L	995	3530	5,46	99,9	
ÇO ₂	mg/L	1,53	9,03	-	-	
KOİ	mg/L	3584	368	42,0	89,13	
TOK	mg/L	729,2	114,8	15,0	88,84	
AKM	mg/L	82,9	-	-	-	
AOX	mg/L	1,815	1,21	0,57	52,9	
Bulanıklık	NTU	190	51,1	0,42	99,2	
Amonyak	mg/L	18,2	79,5	0,0	100	
Renk	A	λ436	0,751	0,987	0,0	100
		λ525	0,142	0,244	0,0	100
		λ620	0,014	0,049	0,0	100
Nitrat	mg/L	7,1	8,0	0,16	98	
Sülfat	mg/L	919	3025	0,0	100	
Klorür	mg/L	97,5	167	0,0	100	
Demir II	mg/L	2,51	12,1	0,0	100	
Demir III	mg/L	14,7	3591	0,0	100	
Toplam Demir	mg/L	17,21	3603	0,0	100	
Toplam Azot	mg/L	25,3	87,5	0,16	99,8	
Toplam Sertlik	mg/L	55,6	55	0,04	99,9	
Fenol	mg/L	6,5	-	0,06	99,5	

Tablo 4.77 Sürekli işletimli önerilen {UVC-Fenton/batık UF}/[MD] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu eldesi ve toplam verim

Parametre	Birim	Ham atıksu	{UVC-Fenton/batık UF}/[MD]			
			Konsantre Atıksu	Geri Kazanım Suyu	Toplam Verim (%)	
pH	-	6,09	2,07	4,95	-	
Sıcaklık	0C	25	25	25	-	
İletkenlik	µS/cm	1974	7510	61,7	99,2	
TÇK	mg/L	995	4030	30,9	99,2	
ÇO ₂	mg/L	1,53	8,24	9,84	-	
KOİ	mg/L	3584	339	45,9	85,1	
TOK	mg/L	729,2	113,7	15,3	85,2	
AKM	mg/L	82,9	-	-	-	
AOX	mg/L	1,815	9,24	1,01	89,1	
Bulanıklık	NTU	190	29,4	0,51	98,3	
Amonyak	mg/L	18,2	22,9	0,14	99,4	
Renk	A	λ436	0,570	0,421	0,0	100
		λ525	0,138	0,164	0,0	100
		λ620	0,051	0,102	0,0	100
Nitrat	mg/L	7,1	9,2	0,29	96,8	
Sülfat	mg/L	919	7680	6,6	99,9	
Klorür	mg/L	97,5	182,9	0,0	100	
Demir II	mg/L	2,51	45	0,0	95,2	
Demir III	mg/L	14,7	1509	0,0	100	
Toplam Demir	mg/L	17,21	1554	0,0	99,8	
Toplam Azot	mg/L	25,3	32,1	0,43	98,7	
Toplam Sertlik	mg/L	55,6	9,3	0,58	93,8	
Fenol	mg/L	6,5	-	0,01	99,9	

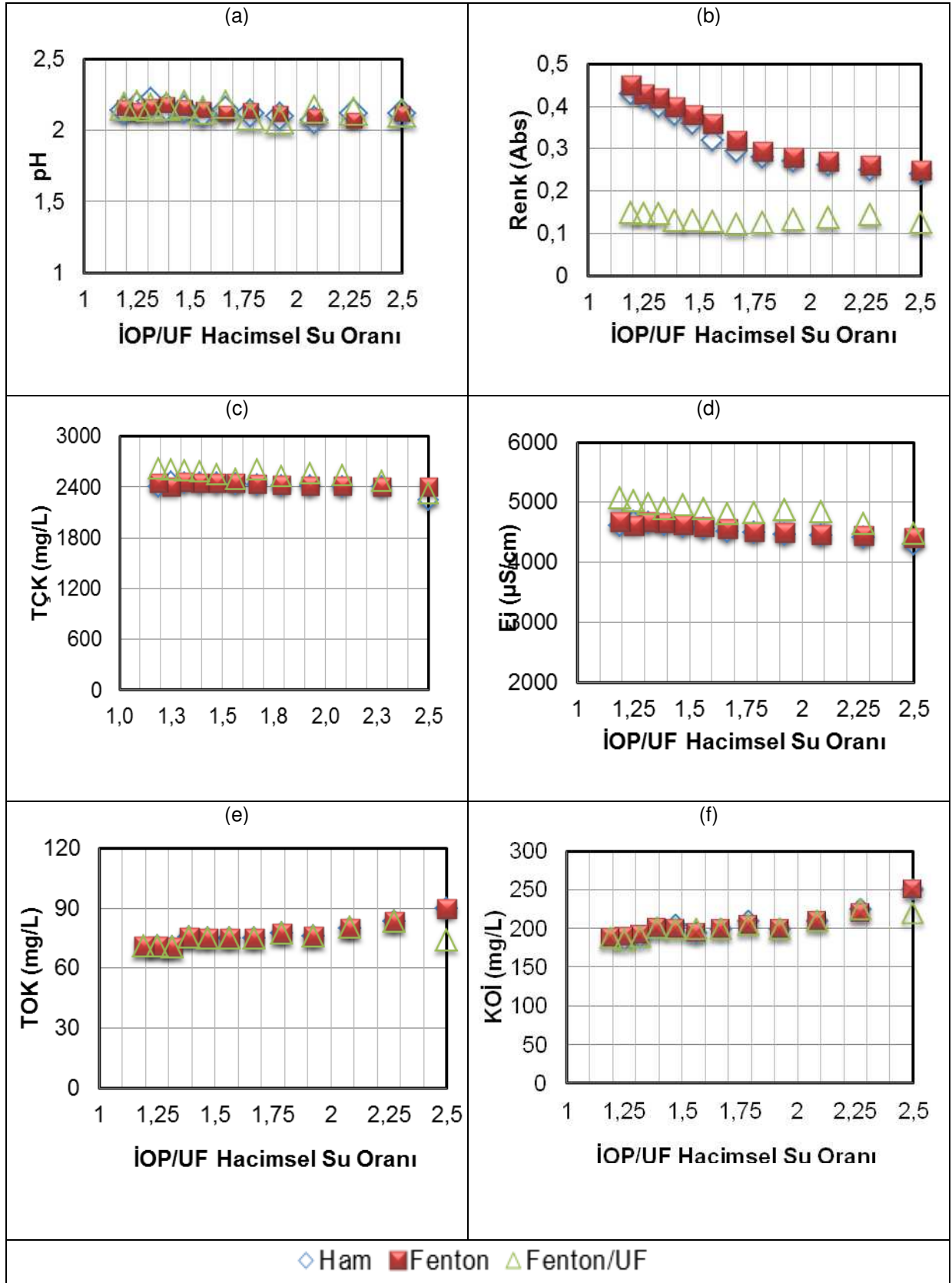
4.3 Şahit İşletim Deneyleri

Şahit işletim deneyleri, geliştirilen yenilikçi sistemlerin saha ölçek simülasyonlarında, hibrit İOP reaktörünün hidrolik bekletme süresinin hangi değere indirilerek işletilebileceğinin (rölatif daha düşük yatırım ve işletme maliyeti eldesi için) belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. İşletimler tekstil ve kağıt atıksuyu için ayrı ayrı yerine getirilmiş olup ilgili deneysel çalışmalarda, İOP reaktöründeki atıksu kalitesinin membran çıkış suyundaki hedef geri kazanım kalitesini bozmadığı işletimde, her sistemin İOP reaktörü içinde UF akısının ve TOK çıkış değerinin ve sonrasında da nihai çıkış suyunda hedeflenen TOK, TÇK ve pH ile <1,0 mg/L toplam demir konsantrasyon değerleri için kirlenici giderim verimlerinin kararlı hale ulaştığı konsantre geri devrin son turu esas alınarak tamamlanmıştır.

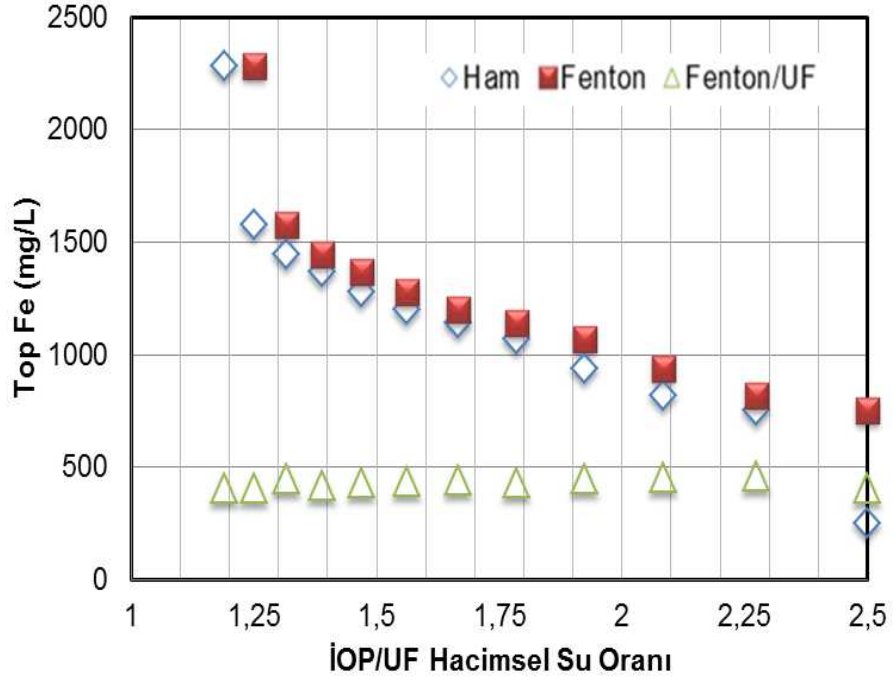
4.3.1 Tekstil Endüstrisi Nihai Konsantre Atıksuları

Fenton, UVA-Fenton ve UVC-Fenton destekli ve uzun süreli işletimli NF_{sıkı} konfigürasyonun son turlarında oluşan İOP reaktör içerisindeki konsantre içerikli arıtılmış atıksular, eşdeğer oranlarda karıştırılarak tekstil endüstrisi nihai konsantre atıksuları için İOP hidrolik bekletme süresi ya da İOP/UF hacimsel oranının hangi değere kadar temsili indirilebilir olduğu belirlenmiştir. Bu itibarla, İOP/batık UF prosesinde hacimsel su çekim oranına karşı pH, renk, TÇK, E_i, TOK, KOİ değişimleri; konsantrelerin deney başlangıcı karışım halini temsilen ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF çıkış suları için Şekil 4.215'de ayrı ayrı verilmiştir. İOP'tan azalan hacimsel su çekim oranlarında ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF süzüntü suyunda toplam demir konsantrasyonları Şekil 4.216'daki gibidir. Şekil 4.217'de ise organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden belirlenerek verilmiş olup, süzüntü suyu akı değişimleri Şekil 4.218'de sunulmuştur.

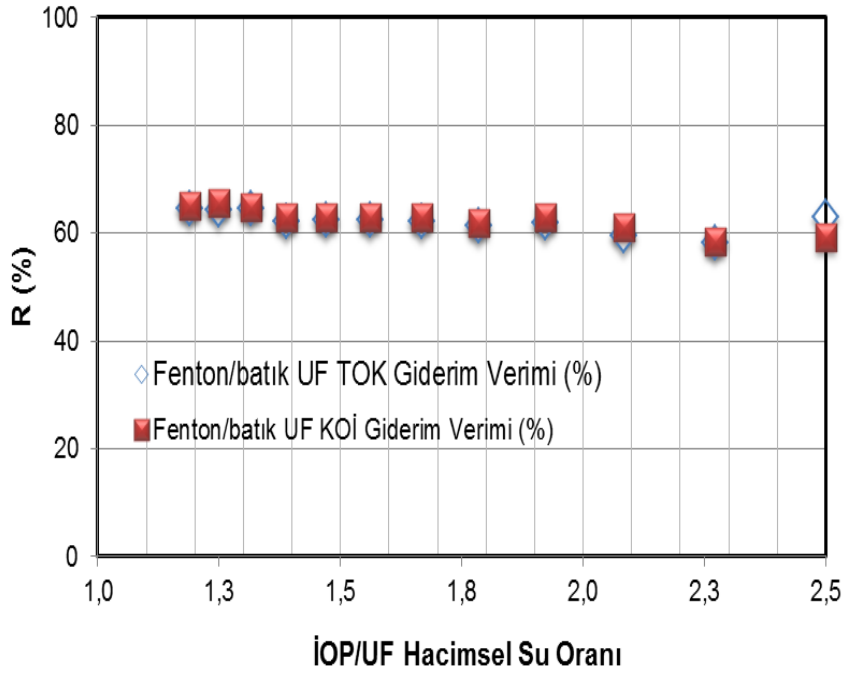
Tekstil endüstrisi atıksuları için ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF çıkış sularındaki pH değerleri hacimsel su çekim oranından etkilenmemiş olup, sistemin minimum işletilebildiği değer olan 1,19 gün'de yaklaşık 2,1 civarındadır. TÇK ve E_i su kalite parametreleri azalan su çekim oranlarında benzer değişimler göstererek, ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF çıkış sularında kararlı halde bir değişim sergilediği görülmüştür. Renk parametresi de farklı hacimsel su çekim oranlarında UF filtrasyonu sonrasında kararlı halde olup, ham ve İOP reaktörde su çekim oranı azaldıkça yaklaşık %50-60 oranlarında artış göstererek 1,19 gün'e tekabül eden 1,19'luk su çekim oranında 0,400-0,450 A değerlerine, konsantre olan reaktör atıksu hacmi dolayısıyla reaktörde artan katı ve demir içeriği ile artmıştır. Nitekim, 1,19'luk su çekim oranına doğru oldukça artan reaktör içi demir konsantrasyonu sebebiyle, toplam demir için de renk parametresiyle benzer bir değişim gözlenmiştir.



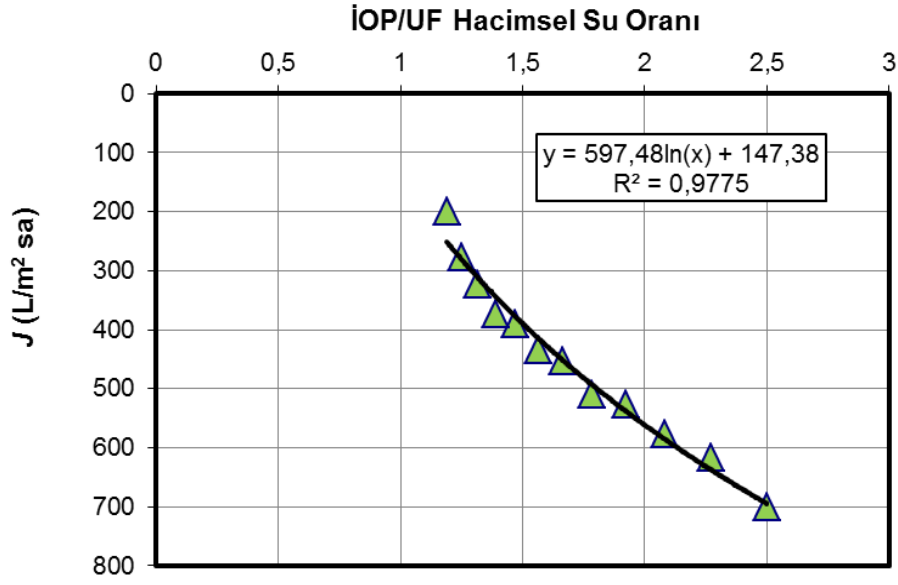
Şekil 4.215 Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri



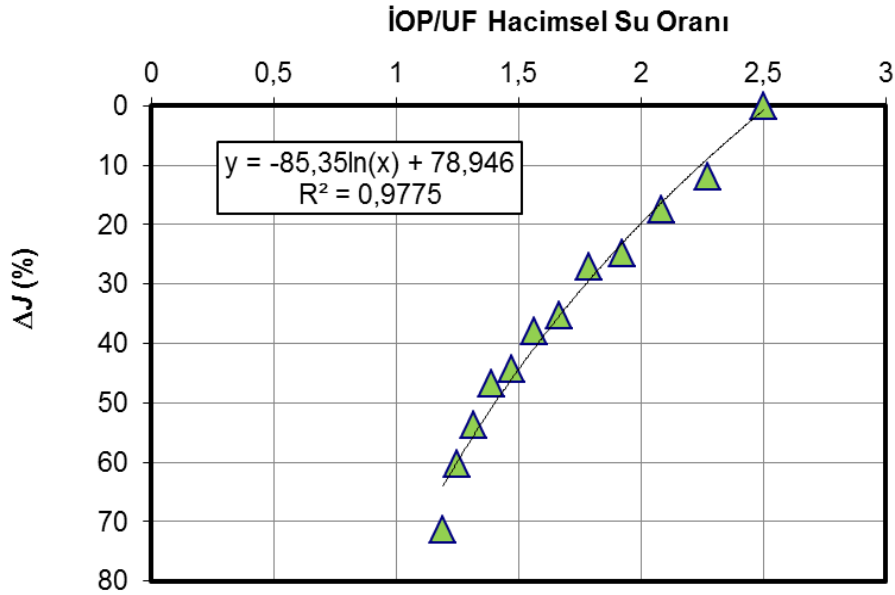
Şekil 4.216 Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen toplam Fe değerleri



Şekil 4.217 Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı organik madde giderim performansları



Şekil 4.218 Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen UF süzüntü suyu akı değerleri



Şekil 4.219 Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen akı değişimleri

Hibrit işletimin bir başka faydası olarak, düşük İOP hidrolik bekletme süresinde UF filtrasyonu ile yaklaşık %70-80 oranında yüksek seviyede bir toplam demir giderim performansının elde edilebildiği görülmüştür. Bu da, bir yandan reaktör içerisinde demir konsantre olurken, diğer yandan reaktörde eşzamanlı oksidasyon işletimi yapılmamasına karşın Fe(+3)'e dönüşümle reaktör içi katı demir miktarının arttığına göstergesidir. Zira, İOP/UF arıtılmış çıkış suyu değerleri, işletimi yapılan su çekim oranları aralığı için 403-458 mg/L arasında hemen hemen değişmeyen değerler ile kararlılık göstermiştir. Organik madde giderimi performansının değerlendirilmesinde İOP, UF ve İOP/UF proseslerinde TOK ve KOİ çıkış değerlerinin hacimsel su çekim oranı ile değişmediği, İOP/UF prosesi ile yaklaşık %58-75 aralığındaki TOK-KOİ giderim etkinliği ile TOK değerinin 70-85, KOİ değerinin de 188-220 mg/L arasında değerlerle pek değişmeyen bir performans sergilediği görülmüştür. Buradan, reaktörden çekilen su miktarındaki artışın çıkış suyundaki organik madde konsantrasyonunu etkilemediği açıkça görülmektedir. Buna karşılık hacimsel su çekim oranındaki azalmayla reaktör içi artan katı madde miktarına doğrudan bağlı olarak, hacimsel su çekim oranı 2,5'da süzüntü akısı 700 L/m²sa iken, 1,19'da süzüntü akısı 200 L/m²sa olup %71,43'lük bir azalış ile akı değerinde önemli seviyede düşüş olduğu gözlenmiştir.

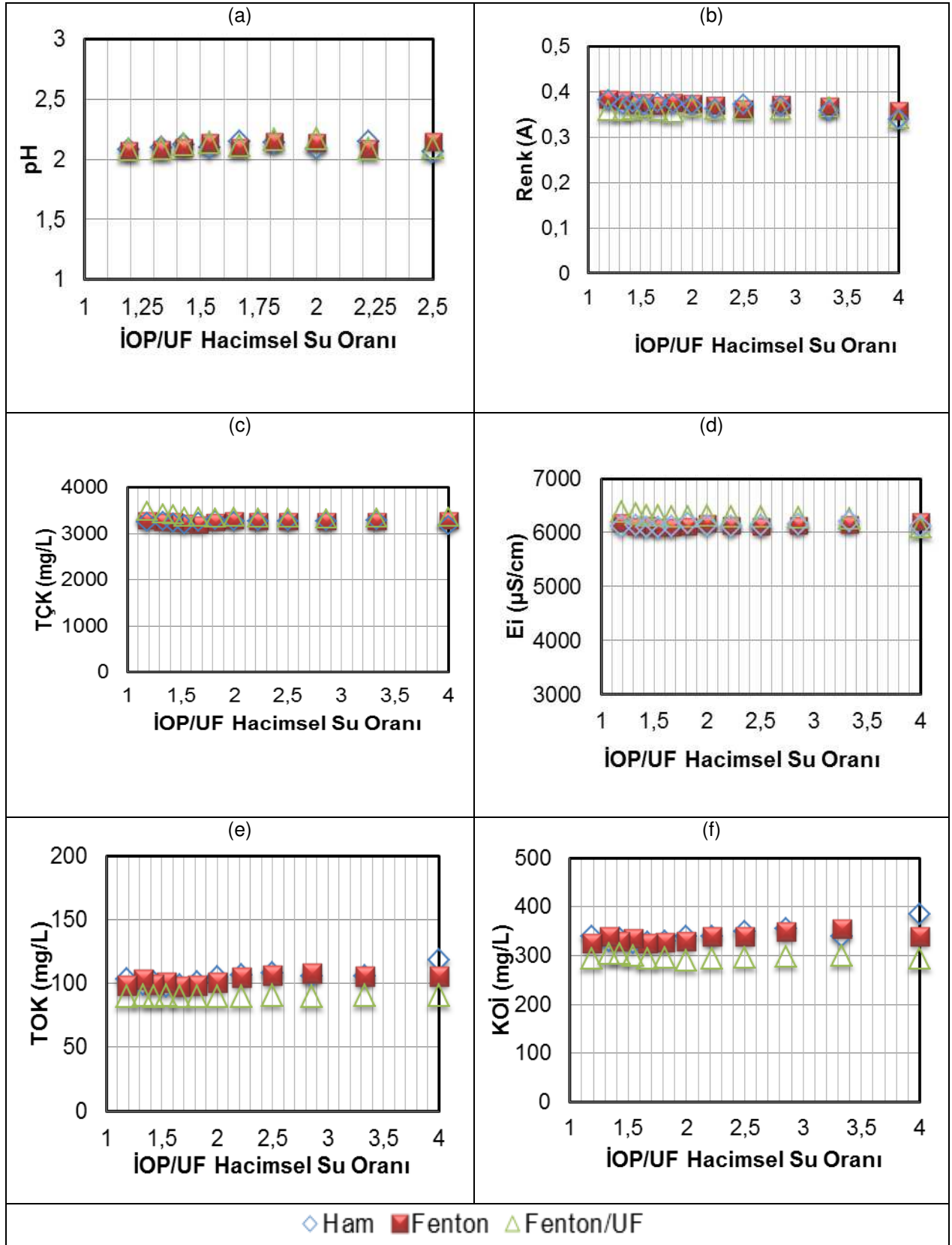
Bu sonuçlar ışığında, teknolojik olarak İOP/batık UF reaktöründen maksimum çekilebilecek süzüntü suyu miktarına bağlı olarak, saha ölçek simülasyon hesaplamalarında kabul edilebilecek minimum hacimsel su oranı değeri 1,19 (İOP hidrolik bekletme süresi 1,19 gün) olarak belirlenmiştir. Lab-ölçek pilot işletim uygulamasından görülmektedir ki, değişen hacimsel su çekim oranına karşı organik ve inorganik madde giderim verimlerinde dikkate değer bir değişim gözlenmemiş olmasına rağmen, reaktörde yüksek akı düşüşleri ile karşılaşmıştır. Hacimsel su çekim oranı azaldıkça, mühendislik uygulaması yaklaşımı altında, İOP reaktör hacmi ve batık UF modül sayısı azalacağından (tekstil atıksuyunda yaklaşık 2 kat), saha ölçek işletimli arıtma sistemlerinin daha az yatırım ve işletme maliyeti değerleri ile etkin konsantre yönetimi ve endüstriyel su geri kazanımı içerikli uygulamalarının sağlanacağı değerlendirilmektedir.

4.3.2 Kağıt Endüstrisi Nihai Konsantre Atıksuları

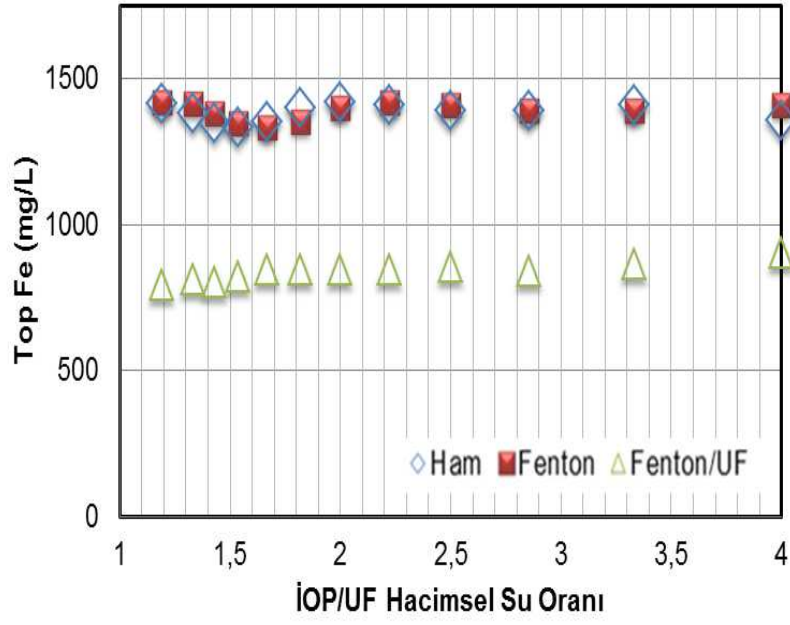
Tekstil endüstrisi atıksuları ile yürütülen deneylerde olduğu gibi kağıt endüstrisi atıksuları ile de, etkinliği bilinen ve önerilen yenilikçi sistemlerin saha ölçek uygulamalarında kullanılmak üzere, İOP/batık UF reaktördeki hidrolik bekletme süresinin hangi reaktör işletim süresine kadar azaltılabileceğini belirlemek amacıyla; Fenton, UVA-Fenton ve UVC-Fenton destekli ve uzun süreli işletimli MD konfigürasyonun son turlarında oluşan İOP reaktör içerisindeki konsantre içerikli arıtılmış atıksular, eşdeğer oranlarda karıştırılarak kağıt endüstrisi nihai konsantre atıksuları için “*şahit işletim deneyi*” de ayrıca yerine getirilmiştir. Tekstil atıksuyu

şahit işletim deneylerine göre, aynı minimumda deneyleri sürdürmek esasınca deneyler, İOP reaktörün hidrolik bekletme süresinin (İOP/UF hacimsel su oranı değeri), 4,0-1,19 gün (4,0-1,19) aralığı için gerçekleştirilmiştir. Kağıt atıksuyu ile yürütülen deneylerde, hacimsel su çekim oranını 4'e kadar çıkarmamızın asıl nedeni, verilen karakterizasyon sonuçlarından da görüldüğü üzere, kağıt atıksuyunun tekstil endüstrisi atıksularına göre daha kompleks bileşikler içermesinin yanı sıra yüksek organik kirlilik içeriğine sahip olması ve oksidasyonla arıtılabilirliğinin daha zor olmasıdır. İOP/batık UF prosesinde hacimsel su çekim oranına karşı pH, renk, TÇK, E_i, TOK, KOİ değişimleri; konsantrelerin deney başlangıcı karışım halini temsilen ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF çıkış suları için Şekil 4.220'de ayrı ayrı verilmiştir. İOP'tan azalan hacimsel su çekim oranlarında ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF süzüntü suyunda toplam demir konsantrasyonları değişimleri Şekil 4.221'deki gibidir. Şekil 4.222'de ise TOK ve KOİ giderim verimleri parametreleri için ayrı ayrı gösterilmiş, süzüntü suyu akı değişimleri Şekil 4.223'deki gibidir.

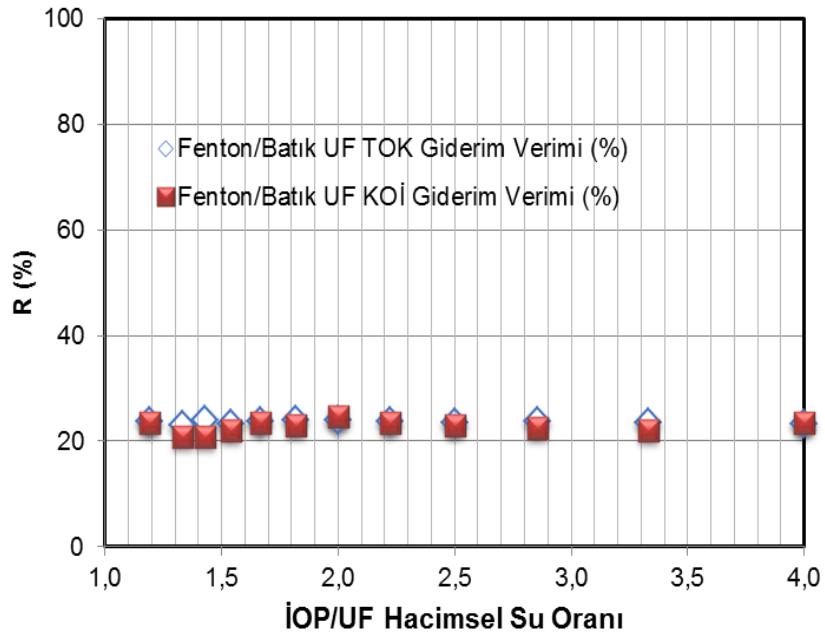
Ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF çıkış sularındaki pH değerleri hacimsel su çekim oranından pek etkilenmemiş olup, tekstil atıksuyu için gözlemediği gibi yaklaşık 2,1 civarında değerler almıştır. TÇK ve E_i su kalite parametreleri tüm çekim oranlarında benzer değişimler göstererek, pH'da olduğu gibi hacimsel su çekim oranı değişiminden etkilenmemiştir. Renk parametresi azalan hacimsel su çekim oranıyla az bir miktarda (%20-30 civarı) artış sergilemiş olup, UF filtrasyonunun renk gideriminde pek etkisinin olmadığı görülmüştür. Toplam demir için UF filtrasyonu ile yaklaşık ortalama %45 civarı demir giderimi gözlenmiştir. Ham konsantre atıksuyu, İOP reaktör içi, İOP/batık UF çıkış sularındaki toplam demir konsantrasyonu hacimsel su çekim oranındaki azalıştan pek etkilenmemiş olup, İOP/batık UF çıkış suyu değerleri yaklaşık 793-903 mg/L arasında kalmıştır. İOP/batık UF proste, kağıt atıksularındaki organik madde giderimi performanslarının, azalan İOP reaktörü hidrolik bekletme süresi ile yaklaşık %60 TOK ve %80 KOİ için pek değişmediği görülmüştür. Tekstil endüstrisi atıksularına göre daha yüksek TOK ve KOİ değerlerine sahip kağıt endüstrisi atıksularından organik madde gideriminin İOP/batık UF prosesi ile daha yüksek giderim verimi ile sağlanmış olsa dahi, daha uzun işletim sürelerinde (yani daha zor) gerçekleştirilebildiği açıkça görülmektedir. Buna karşılık hacimsel su çekim oranındaki azalmayla, hacimsel su çekim oranı 4,0'da süzüntü akısı 1022 L/m²sa iken, 1,19'da süzüntü akısı 102,8 L/m²sa olup %89,9'luk bir azalış ile akı değerinde önemli seviyede bir düşüş olduğu görülmüştür. Hem tekstil hem de kağıt endüstrisi konsantre atıksuları ile yürütülen şahit işletim deneyleri göstermiştir ki, saha ölçek simülasyonlarda her ne kadar batık UF modül sayısını azalan UF akısı sebebiyle arttıracak olsa da, genel bütünlükte yatırım ve işletme maliyetlerini azalacağından, İOP/UF reaktörden asgari çekilecek süzüntü suyu miktarına rağmen uygulanması gereken minimum İOP hidrolik bekletme süresi 1,19 gün'dür.



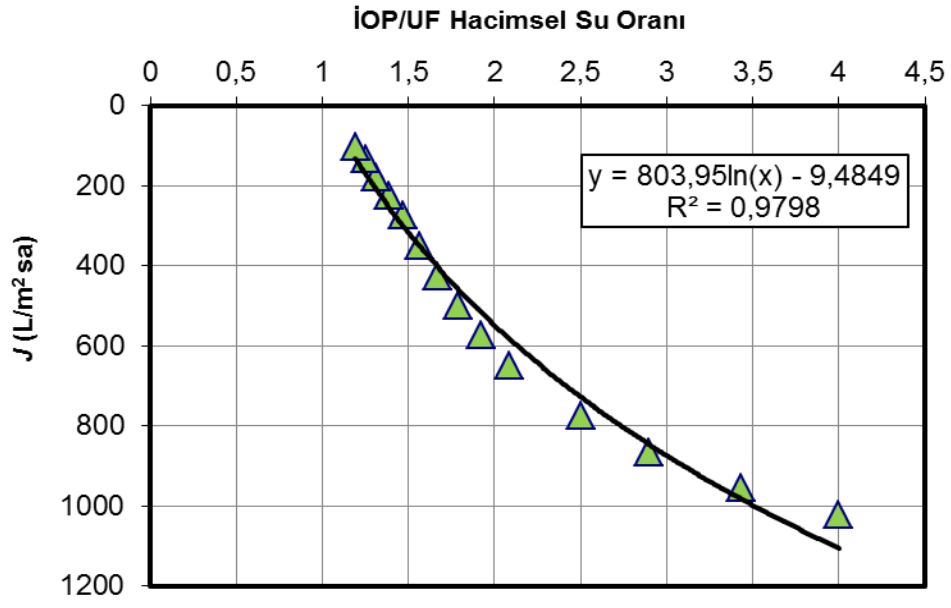
Şekil 4.220 Kağıt endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen (a) pH, (b) Renk, (c) TÇK, (d) Ei, (e) TOK, (f) KOİ değişimleri



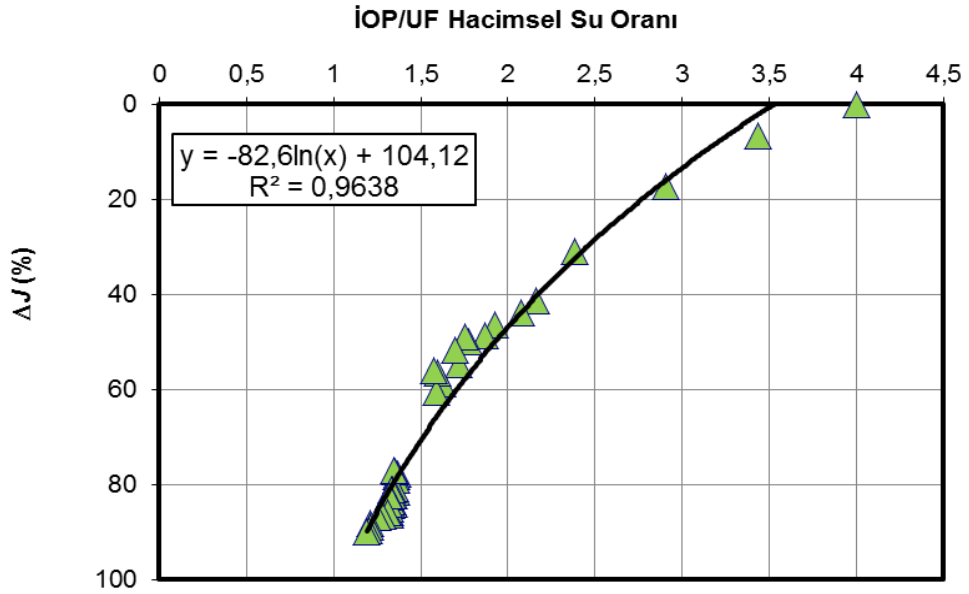
Şekil 4.221 Kağıt endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen toplam Fe değişimleri



Şekil 4.222 Kağıt endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı organik madde giderim performansları



Şekil 4.223 Kağıt endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen UF süzüntü suyu akı değerleri



Şekil 4.224 Kağıt endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen UF süzüntü suyu akı değişimi

4.4 Konsantre Yönetimi: Analizler, Sınıflandırma ve Değerlendirmeler

Bu proje kapsamında, her iki bütünleşik İOP/MP kombinasyonunda (K1 ve K2) oluşacak konsantre atıklar (atık sıvılar) için üç aşamalı bir yönetim modeli uygulanmıştır. Bu bağlamda,

- Birinci aşamada; etkinliği bilinen ve önerilen sistemlerde İOP reaktöründe oluşan konsantre atıkların tüm fiziksel, kimyasal ve toksikolojik analizleri yapılmıştır.
- İkinci aşamada; birinci aşamada elde edilen analiz bulgularına göre konsantre atıkların tehlike sınıflamaları yapılarak, arıtma seçenekleri içerisinde yönetilebilirliklerini de içerisine alan değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.
- Üçüncü aşamada; üretilen membran konsantre akımlarının farklı bertaraf etme yöntemleri ile *(insinerasyon, düzenli depolama, merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisine verme) yönetimi değerlendirilerek, etkinliği bilinen ve önerilen sistemler bütününde **en uygun çevresel konsantre yönetim metodolojisi*"ne karar verilmiştir. Bunun için temel ölçüt de, İOP reaktöründeki atıksu kalitesinin membran çıkış suyu kalitesini bozmadığı zamana/şartlara göre uzun süreli işletimin deneysel işletimlerde sağlanması olmuştur.

Konsantre atık yönetimi konusundaki test ve analizler TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü Laboratuvarları'ndan hizmet alımı vasıtasıyla gerçekleştirilmiş olup; numunelere uygulanan testler ve analiz yöntemleri Tablo 3.23'teki gibidir. Konsantre yönetim modelinin birinci aşamasında, etkinliği bilinen membran filtrasyon sistemlerinin sürekli işletimleri sonucu oluşan membran konsantreleri yenilikçi tezgâh-üstü İOP/batık UF hibrit reaktörü ile optimum işletme şartlarında oksidasyona tabi tutulmuş ve bu sayede membran konsantre yükünün azaltılması hedeflenmiştir. Elde edilen sonuç raporları, "EK-1: Etkinliği Bilinen Sistemlerin Nihai Konsantre Atık Analizleri Raporu"nda verilmiştir. Bu rapordaki kodlar; Gebze (G: Tekstil atıksuyu konsantresi) ve Kocaeli (K: Kağıt atıksuyu konsantresi) olduğu şekliyle 1, 2, 3 numaraları ile Fenton, foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) arıtımı sonucunda sırasıyla G1, G2, G3, K1, K2, K3 kodlamaları içeriğindedir.

Bu rapor için planlanmış kodlar, etkinliği bilinen konsantrelerde uygulanmış kodlarla birebir uyumlu/tutarlı olmak üzere, Gebze (G: Tekstil atıksuyu konsantresi) ve Kocaeli (K: Kağıt atıksuyu konsantresi) olduğu şekliyle; ilk sıradaki rakamlar 1, 2, 3, sırasıyla Fenton, foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) arıtımını, ikinci sıradaki rakamlar 1, 2, 3 ve 4 ise sırasıyla tekstile ait $[NF_{sıkı}]$, $[TO]$, $[NF_{gevşek}/TO]$ ve kağıda ait $[MD]$ olmak üzere önerilen sistemlerdeki MP uygulama adımlarını göstermektedir. Ekli raporda analizi yapılmış konsantreler, Fenton destekli için G1-1, G1-2; foto-Fenton (UVA) destekli için G2-1, G2-2; foto-Fenton (UVC) destekli için ise G3-1, G3-2; kodları ile tanımlanmıştır. Ayrıca tekstil atıksuyu için önerilen

sistemlerde sürekli işletimli deneyler sonucunda oluşan nihai konsantrelerin değerlendirmeleri için numuneler TÜBİTAK MAM'a ayrıca gönderilmiş olup, analiz ve değerlendirme sonuçları "EK-2: Önerilen Yenilikçi Sistemlerin Nihai Konsantre Atık Analizleri Raporu"nda sunulmuştur.

Tekstil endüstrisi için etkinliği bilinen ve önerilen membran konfigürasyonu ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} proste Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde analiz/içerik belirleme sonuçları, etkinliği bilinen UH050/NF270/LFC-3 [UF/NF_{sıkı}/TO] için Tablo 4.78'de, önerilen Fenton destekli {İOP/UF}/[NF_{sıkı}] ve {İOP/UF}/[TO] yenilikçi sistemleri için Tablo 4.79'da verilmiştir. Etkinliği bilinen ve yenilikçi söz konusu sistemlerde oluşan konsantre atıkların tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri Tablo 4.80'de değerlendirilmiştir.

Kağıt atıksularının etkinliği bilinen MPF36/ESNA-1 [NF_{gevşek}/NF_{sıkı}] membran konfigürasyonu ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} proste Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde analiz/içerik belirleme sonuçları ile tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirmeleri sırasıyla Tablo 4.81 ile 4.82'de verilmiştir.

Ekli TÜBİTAK raporlarında analizleri yapılmış konsantre atıklar, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı "Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik" çerçevesinde 161002 (Saha dışı arıtmaya gönderilecek ve 161001 dışındaki sulu sıvı atıklar) kodu ile tanımlanmaktadır. Önerilen sistem konsantrelerinin ekotoksitate analiz sonuçlarının bazılarında, Sınıf 3 "Çok toksik" olduğu için, sulu sıvı atıkların biyolojik yaşama zararlı olacağı ve ayrıca analiz raporunda da "ekotoksik özellikleri nedeniyle açıkta geçici depolanmamalı ve alıcı ortamlara karışmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır" ibaresine yer verilmiştir. Bu bilgi ve değerlendirmeden yola çıkılarak, ilgili mevzuat bilgileri ışığında proje kapsamına giren tüm nihai konsantrelerin 161001 muhtemel tehlikeli sınıfında değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Zira, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı-Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin Madde 11(1)'e göre, "muhtemel tehlikeli, (M) atıkların, tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesi gerekir" denmektedir. Bu amaçla yapılacak çalışmalarda, ek-3/A'da listelenen özelliklerden H3 (Yüksek oranda alevlenir yada Alevlenir), H4 (Tahriş edici), H5 (Zararlı), H6 (Toksik), H7 (Kanserojen), H8 (Aşındırıcı-korozif) ile H10 (Üreme sistemine toksik) ve H11 (Mutojenik) ile ilgili değerlendirmeler, ek-3/B'de yer alan konsantrasyon değerleri esas alınarak yapılır denmektedir. Bu projeye konu tekstil ve kağıt atıksularının, konsantre edilmeksizin dahi tahriş edici, zararlı, toksik ve aşındırıcı olduğu kat'idir. Nitekim bu atıksular, ileri oksidasyonla arıtmaya tabi tutularak daha da konsantre edilmiş olduklarından, bu özellikleri daha ileri seviyede barındırmaktadırlar.

Tablo 4.78 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde analiz/içerik belirleme sonuçları

Numune Kodları	Fiziko-kimyasal Analiz	Organik İçerik	İnorganik İçerik	Akut Toksikite (balıklarda)	Akut Toksikite (farelerde)
G1 Fenton	-Asidik ve nötral -Yağ ve gres 1,39 mg/L olup SKKY'ye göre düşüktür. -KOİ 2680 mg/L olup evsel atıksuların yaklaşık 5-6 katıdır. -ÇO ₂ 7,12 mg/L ile risk oluşturmaz.	-FTIR analizi sonucunda zayıf aromatik halka ve güçlü alkil gerilimi gözlemlenmiştir. Alifatik bileşiklerin olabileceği söylenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik içeriğin AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	ZSF=2 Düşük riskli ve tehlikesiz	Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı
G2 Foto-Fenton (UVA-365)	-Asidik ve nötral -Yağ ve gres 1,56 mg/L olup SKKY'ye göre düşüktür. -KOİ 294 mg/L olup evsel atıksulardan daha düşüktür. -ÇO ₂ 7,70 mg/L ile risk oluşturmaz.	-FTIR analizi sonucunda zayıf aromatik halka ve güçlü alkil gerilimi gözlemlenmiştir. Alifatik bileşiklerin olabileceği söylenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik içeriğin AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	ZSF=2 Düşük riskli ve tehlikesiz	Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı
G3 Foto-Fenton (UVC-365)	-Asidik ve nötral -Yağ ve gres 1,10 mg/L olup SKKY'ye göre düşüktür. -KOİ 742 mg/L olup evsel atıksulara yakın değerdedir. -ÇO ₂ 8,48 mg/L ile risk oluşturmaz.	-FTIR analizi sonucunda zayıf aromatik halka ve güçlü alkil gerilimi gözlemlenmiştir. Alifatik bileşiklerin olabileceği söylenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik içeriğin AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	ZSF=2 Düşük riskli ve tehlikesiz	Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı

Tablo 4.79 Tekstil atıksularının önerilen sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde analiz/içerik belirleme sonuçları

Yapılan analizler	Fiziko-kimyasal Analiz	Organik İçerik	İnorganik İçerik	Ekolojik Toksikite	Akut Toksikite (balıklarda)	Akut Toksikite (farelerde)
G1-1 (Tehlikesiz Atık)	-Asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KÖİ evsel atıksularda bulunanın altındadır	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için çok toksik etki göstermiştir. (Toksosite sınıfı 3)	ZSF=4 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı
G1-2 (Tehlikesiz Atık)	-Asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KÖİ evsel atıksularda bulunanın altındadır	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmemiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için çok toksik etki göstermiştir. (Toksosite sınıfı 3)	ZSF=4 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı
G2-1 (Tehlikeli Atık)	-Asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KÖİ evsel atıksularda bulunanın altındadır	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmemiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için oldukça çok toksik etki göstermiştir. (Toksosite sınıfı 4)	ZSF=4 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı Fare ölümü görülmüştür.
G2-2 (Tehlikeli Atık)	-Oldukça asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KÖİ evsel atıksularda bulunanın altındadır	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için oldukça çok toksik etki göstermiştir. (Toksosite sınıfı 4)	ZSF=4 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı
G3-1 (Tehlikesiz Atık)	-Oldukça asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KÖİ evsel atıksularda bulunanın üzerindedir	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için oldukça az toksik etki göstermiştir. (Toksosite sınıfı 1)	ZSF=4 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı
G3-2 (Tehlikesiz Atık)	-Asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KÖİ evsel atıksuların altındadır	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmemiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için toksik etki göstermemiştir. (Toksosite sınıfı 0)	ZSF=2 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı

Tablo 4.80 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri

Örnek No	Fenton Prosesi	^a Foto-Fenton Prosesi (UVA-365)	^b Foto-Fenton Prosesi (UVC-254)
Atık Türü/İsmi	Tekstil atıksuyu	Tekstil atıksuyu	Tekstil atıksuyu
AYY Analiz Sonucu	Tehlikeli(Zararlı) Atık	Tehlikesiz Atık	Tehlikeli (Zararlı) Atık
Tehlikelilik Özelliği	H4-Tahriş Edici H5-Zararlı	H4-Tahriş edici	H4-Tahriş Edici H5-Zararlı
Bertaraf/Geri Kazanım Yöntemleri			
Düzenli Depolama	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli
Yakma (Lisanslı)	Kek haline kadar (yaklaşık %60-70) mekanik susuzlaştırma yapılması halinde yakma için organik içeriği uygun	Mümkün değil (Organik içeriği susuzlaşma halinde de düşük olacaktır-yüksek kalorifik atıkla paçallama denenebilir)	Kek haline kadar (yaklaşık %60-70) mekanik susuzlaştırma yapılması halinde yakma için organik içeriği uygun
Katılaştırma	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.
Dengeleme+ Distilasyon	pH nötralizasyonuna ilaveten vakum distilasyonu ile organik açıdan zengin yan ürün üretimi denenmelidir (farklı reaktifler ile farklı yan ürünlerin üretimi mümkün olabilir).	Organik açıdan yeterince zengin değil	pH nötralizasyonuna ilaveten vakum distilasyonu ile organik açıdan zengin yan ürün üretimi denenmelidir (farklı reaktifler ile farklı yan ürünlerin üretimi mümkün olabilir).
Yeniden Kullanım Yöntemleri			
Dengeleme+ Distilasyon sonrası	Kek kıvamındaki atığın tarımda gübre kullanımı denenmelidir (Sodyum içeriği kısıtlayıcı olabilir).	Organik açıdan yeterince zengin değil	Kek kıvamındaki atığın tarımda gübre kullanımı denenmelidir (Sodyum içeriği kısıtlayıcı olabilir).
Merkezi atıksu arıtmaya vererek	Arıtılmış sular tehlikeli atık grubunda yer alsa bile, ön arıtılmış atıksu kapsamında değerlendirilerek; uygun debi ve/veya karışım oranları sağlamak şartıyla ya merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisi ya da kentsel atıksu arıtma tesisinde verilerek paçallama yapılmak suretiyle nihai arıtım sayesinde bertaraf edilebilir.		

^a Önerilen sistemlerden {Fenton/UF}/[NF_{sıki}] (G1-1) ve {Fenton/UF}/[TO] (G1-2) ile {UVC-Fenton/UF}/[NF_{sıki}] (G3-1) ve {UVC-Fenton/UF}/[TO] (G3-2)'e ait konsantrelerin, konvansiyoneldeki {UVA-Fenton/UF} konsantresiyle aynı tehlikelilik özelliği, bertaraf/geri kazanım yöntemi ve yeniden kullanım alternatiflerinde olduğunu ifade eder.

^b Önerilen sistemlerden {UVA-Fenton/UF}/[NF_{sıki}] (G2-1) ile {UVA-Fenton/UF}/[TO] (G2-2)'e ait konsantrelerin, konvansiyoneldeki {UVA-Fenton/UF} konsantresiyle aynı tehlikelilik özelliği, bertaraf/geri kazanım yöntemi ve yeniden kullanım alternatiflerinde olduğunu ifade eder.

Tablo 4.81 Kağıt atıksularının etkinliği bilinen sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde analiz/içerik belirleme sonuçları

Numune Kodları	Fiziko-kimyasal Analiz	Organik İçerik	İnorganik İçerik	Akut Toksikite (balıklarda)	Akut Toksikite (farelerde)
K1 Fenton	-Asidik ve nötral -Yağ ve gres 2,05 mg/L olup SKKY'ye göre düşüktür. -KOİ 1456 mg/L olup evsel atıksuların yaklaşık 3 katıdır. -ÇO ₂ 8,30 mg/L ile risk oluşturmaz.	-FTIR analizi sonucunda zayıf aromatik halka ve güçlü alkil gerilimi gözlemlenmiştir. Alifatik bileşiklerin olabileceği söylenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	ZSF=1 Tehlikesiz	Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı
K2 Foto-Fenton (UVA-365)	-Asidik ve nötral -Yağ ve gres 1,91 mg/L olup SKKY'ye göre düşüktür. -KOİ 1451 mg/L olup evsel atıksuların yaklaşık 3 katıdır. -ÇO ₂ 7,12 mg/L ile risk oluşturmaz.	-FTIR analizi sonucunda zayıf aromatik halka ve güçlü alkil gerilimi gözlemlenmiştir. Alifatik bileşiklerin olabileceği söylenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	ZSF=1 Tehlikesiz	Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı
K3 Foto-Fenton (UVC-365)	-Asidik ve nötral -Yağ ve gres 0,77 mg/L olup SKKY'ye göre düşüktür. -KOİ 1223 mg/L olup evsel atıksuların yaklaşık 3 katıdır. -ÇO ₂ 8,39 mg/L ile risk oluşturmaz.	-FTIR analizi sonucunda zayıf aromatik halka ve güçlü alkil gerilimi gözlemlenmiştir. Alifatik bileşiklerin olabileceği söylenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	ZSF=1 Tehlikesiz	Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı

Tablo 4.82 Tekstil atıksularının etkinliği bilinen sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri

Örnek No	Fenton Prosesi	Foto-Fenton (UVA-365)	Foto-Fenton (UVC-254)
Atık Türü/İsmi	Kağıt atıksuyu	Kağıt atıksuyu	Kağıt atıksuyu
AYY Analiz Sonucu	Tehlikeli (Zararlı) Atık	Tehlikeli (Zararlı) Atık	Tehlikeli (Zararlı) Atık
Tehlikelilik Özelliği	H4-Tahriş Edici H5-Zararlı	H4-Tahriş Edici H5-Zararlı	H4-Tahriş Edici H5-Zararlı
Bertaraf/Geri Kazanım Yöntemi			
Düzenli Depolama	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli
Yakma (Lisanslı)	Kek haline kadar (yaklaşık %60-70) mekanik susuzlaştırma yapılması halinde yakma için organik içeriği uygun	Kek haline kadar (yaklaşık %60-70) mekanik susuzlaştırma yapılması halinde yakma için organik içeriği uygun	Kek haline kadar (yaklaşık %60-70) mekanik susuzlaştırma yapılması halinde yakma için organik içeriği uygun
Katılaştırma	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.
Dengeleme+Distilasyon	pH nötralizasyonuna ilaveten vakum distilasyonu ile organik açıdan zengin yan ürün üretimi denenmelidir (farklı reaktifler ile farklı yan ürünlerin üretimi mümkün olabilir)	pH nötralizasyonuna ilaveten vakum distilasyonu ile organik açıdan zengin yan ürün üretimi denenmelidir (farklı reaktifler ile farklı yan ürünlerin üretimi mümkün olabilir)	pH nötralizasyonuna ilaveten vakum distilasyonu ile organik açıdan zengin yan ürün üretimi denenmelidir (farklı reaktifler ile farklı yan ürünlerin üretimi mümkün olabilir)
Yeniden Kullanım			
Dengeleme+Distilasyon sonrası	Kek kıvamındaki atığın tarımda gübre kullanımı denenmelidir (Sodyum içeriği kısıtlayıcı olabilir)	Kek kıvamındaki atığın tarımda gübre kullanımı denenmelidir (Sodyum içeriği kısıtlayıcı olabilir)	Kek kıvamındaki atığın tarımda gübre kullanımı denenmelidir (Sodyum içeriği kısıtlayıcı olabilir)
Merkezi atıksu arıtmaya vererek	Arıtılmış sular tehlikeli atık grubunda yer alsa bile, ön arıtılmış atıksu kapsamında değerlendirilerek; uygun debi ve/veya karışım oranları sağlanmak şartıyla ya merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisi ya da kentsel atıksu arıtma tesisinde verilerek paçallama yapılmak suretiyle nihai arıtım sayesinde bertaraf edilebilir.		

14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı “*Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*”nde “*Tanımlar*” başlığı altında RG-4/9/2009-27339 ile değiştirilmiş “*tehlikeli atık*” tanımı dahilinde, “*Ayrıca doğal karakterleri ya da oluşmalarına neden olan aktiviteye bağlı olarak bu Yönetmeliğin ekinde yer alan EK-3 A’da veya EK-3-B’de bulunup E- 4’te verilen maddeleri içeren atıkların, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin ekinde yer alan EK-III A’daki özelliklerden bir veya birkaçına sahip olmaları ve aynı Yönetmeliğin ekinde yer alan EK-III B’de verilen tehlikeli özellikleri göstermeleri durumunda tehlikeli atık olarak sınıflandırılan atıkları ifade eder*” denmektedir. İlgili tanımın altı çizili verilmiş kısmından, mevzuat hükümlerine göre H3-H8 ile H10-H11 özelliklerinden bir ya da birkaçını barındıran atıkların, “*M kodlu muhtemel tehlikeli atık*” olarak değil, “*A kodlu tehlikeli atık*” olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablodaki sonuçlar ve ilgili mer’i mevzuatlardan yapılan değerlendirmeler; etkinliği bilinen ve önerilen sistemlerle üretilen nihai konsantre atıksuların, “*1902: Atıkların fiziksel/kimyasal arıtımından kaynaklanan atıklar*” kodu altındaki “*190211*:Tehlikeli maddeler içeren diğer atıklar*” kapsamında olduğu ve “*Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*” uyarınca bu atıkların “*Tehlikeli Atık*” sınıfında yer aldığı sonucunu ortaya koymuştur. Konsantre atıkların sahada nihai bertarafı için pratikte tercih edilebilir 3 bertaraf etme yöntemi olarak;

- İnsinerasyonla yakma,
- Düzenli depolama ve
- Merkezi arıtma tesisine vererek arıtma

öne çıkmaktadır. Bu yöntemler esas alınarak, literatür bilgileri ışığında gerçekleştirilen piyasa fiyat araştırmaları neticesinde; yoğun su tüketimli endüstrilerin atıksularının arıtıldığı tesislerde, günlük yüksek debilerde bertaraf edilecek nihai konsantre atıksu oluşumları söz konusu olabileceğinden, bu atıkların doğrudan düzenli depolama yapılmasının, pratikte tercih edilir bir uygulama metodu olmayacağı değerlendirilmiştir. Nitekim, 190211* atık kodundaki atığın düzenli depolama yöntemiyle bertarafı için lisanslı firmalardan teklif alınamamıştır. Bu itibarla, etkinliği bilinen ve önerilen tüm sistemlerin saha ölçek maliyet analizlerinde konsantre atık bertaraf yöntemlerinin 2 ana esasta uygulanmasına karar verilmiştir. Bunlar;

1. *Sıfır Sıvı Deşarjı*: Konsantre atığın, tesise yaklaşık 10 km mesafede olduğu varsayılan bir insinerasyon tesisinde yakılarak kalan katısının endüstriyel nihai düzenli depolama sahasında depolanarak bertarafının sağlandığı uygulamayı,

Sıfıra Yakın Sıvı Deşarjı: Konsantre atığın, yine tesise yaklaşık 10 km mesafede konuşlandığı varsayılan bir merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisinde arıtılması sonrası kanala/alıcı ortama deşarj edilerek bertarafının sağlandığı uygulamayı ifade etmektedir

4.5 Saha Ölçek Tasarımlar ve Maliyet Analizleri

4.5.1 Tekstil Atıksuyu

4.5.1.1 Etkinliği bilinen arıtma sistemleri ([UF/NF_{sıkl}/TO])

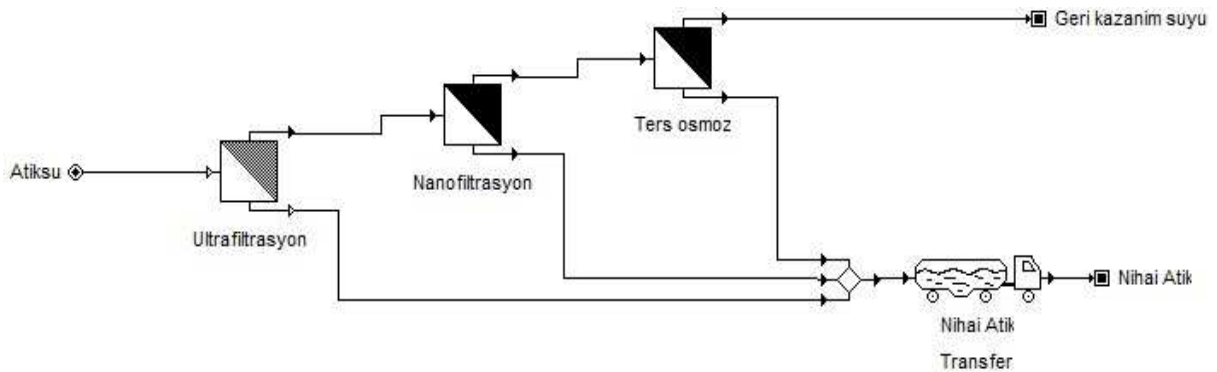
Tekstil atıksuyu için literatürden etkinliği bilinen atıksu arıtma ve su geri kazanımı/konsantre arıtım ve bertaraf sistemleri; [UF/NF_{sıkl}/TO] bütünlük membran sistemi düzeninde olmak üzere, membran konsantreleri bertarafının 3 farklı sistem/arıtma işletimi içeriğinde uygulandığı esaslarda ayrı ayrı gerçek ölçekte benzeştirilmiş; şahit işletim deneylerine göre İOP reaktörün hidrolik bekletme süresi (İOP/UF hacimsel su oranı değeri), 1,19 gün (1,19) olarak benzeşimler yerine getirilmiştir.

I. tasarım, membran konsantrelerinin bir arada toplanıp tesis dışında sıfır/sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca bertarafının yapıldığı [UF/NF_{sıkl}/TO] sistemini; II. tasarım, konsantre akım toplamlarının İOP/UF ile arıtılmaları sonrasında tesis dışında sıfır/sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca bertarafının yapıldığı [UF/NF_{sıkl}/TO]/{İOP/UF} sistemini; III. tasarım ise, konsantre akımlarda akım ayırımı yapılarak sadece UF konsantresinin İOP/UF arıtımına tabi tutulup, NF ve TO konsantrelerinin arıtma tesisi içerisinde akım yönetim ve bertarafının yapılarak sonrasında tesis dışında sıfır/sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca nihai UF konsantresi bertarafının yapıldığı [UF-{İOP/UF}]/[NF_{sıkl}/TO] sistemini ifade etmektedir.

Tekstil atıksuyu için gerçek ölçekte tasarımları yapılan 3 farklı içeriğe haiz etkinliği bilinen bütünlük membran sistemlerinin sahada uygulanmalarına ilişkin esaslar ve ölçütler, her bir tasarım örneği için ayrı ayrı başlıklar altında olmak üzere detaylarıyla aşağıda sunulmuştur.

✓ [UF/NF_{sıkl}/TO] sistemi

[UF/NF_{sıkl}/TO] atıksu arıtma, su geri kazanımı ve konsantre bertaraf sistemine ait proses akış şeması Şekil 4.225'de gösterilmiştir. Sistemde proseslerin, İOP/UF hibrit reaktörünün işletimine bağlı olarak günlük ardışık çalışma düzenleri, Şekil 4.226'de sunulmuştur.



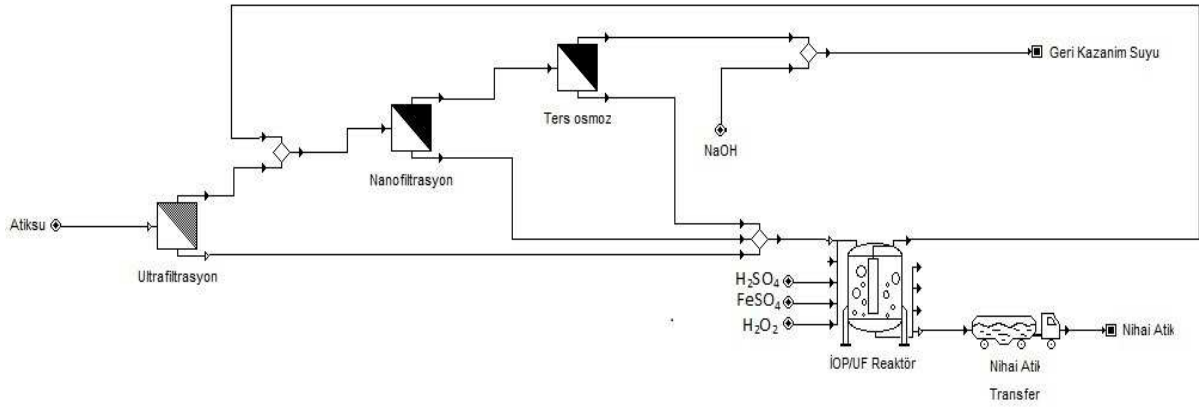
Şekil 4.225 [UF/NF_{sıkl}/TO] sistemi proses akış şeması

UF	[UF/NF _{sıkı} /TO] sistemi günlük proses çalışma düzeni			
NF				
TO				
h	8	16	24	32
day	1			2

Şekil 4.226. [UF/NF_{sıkı}/TO] sistemi günlük proses çalışma düzeni

✓ **[UF/NF_{sıkı}/TO]/{İOP/UF} sistemi**

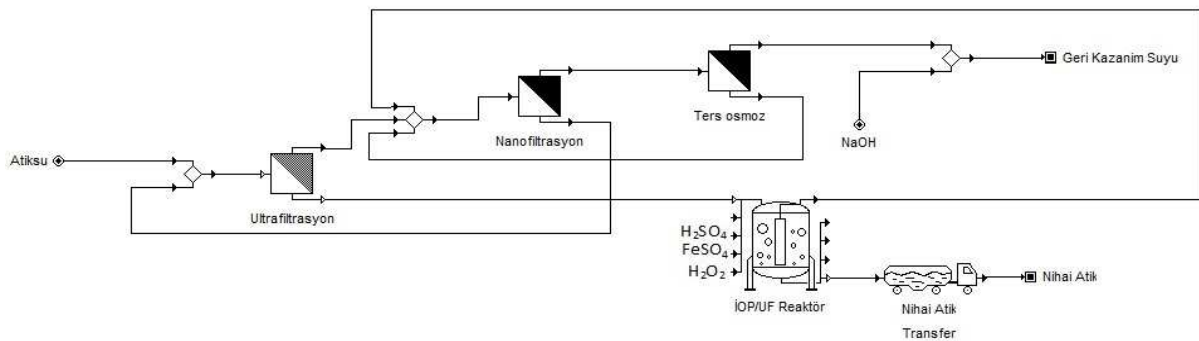
[UF/NF_{sıkı}/TO]/{İOP/UF} atıksu arıtma, su geri kazanımı, konsantre arıtım ve bertaraf sistemine ait proses akış şeması Şekil 4.227'te verilmiştir. Sistemde proseslerin, İOP/UF hibrit reaktörünün işletimine bağlı olarak günlük ardışık çalışma düzenleri, Şekil 4.228'te gösterilmiştir.



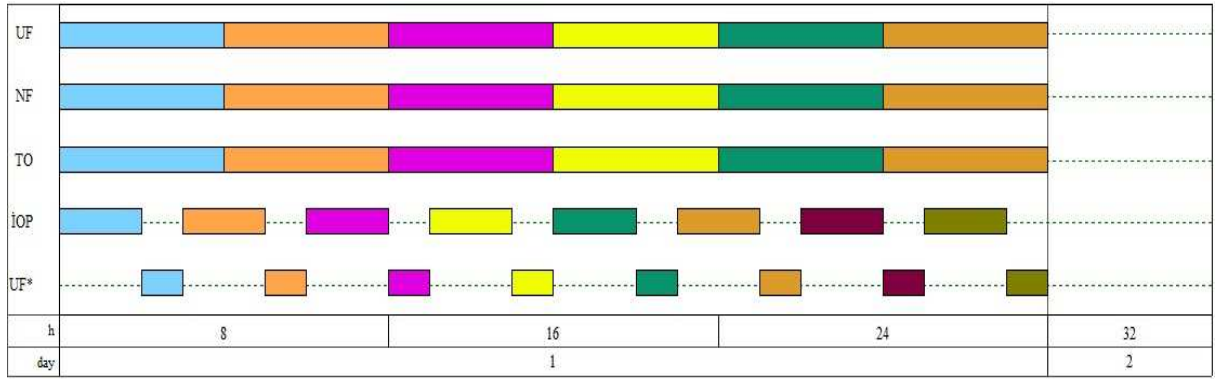
Şekil 4.227. [UF/NF_{sıkı}/TO]/{İOP/UF} sistemi proses akış şeması

✓ **[UF-İOP/UF]/[NF_{sıkı}/TO] sistemi**

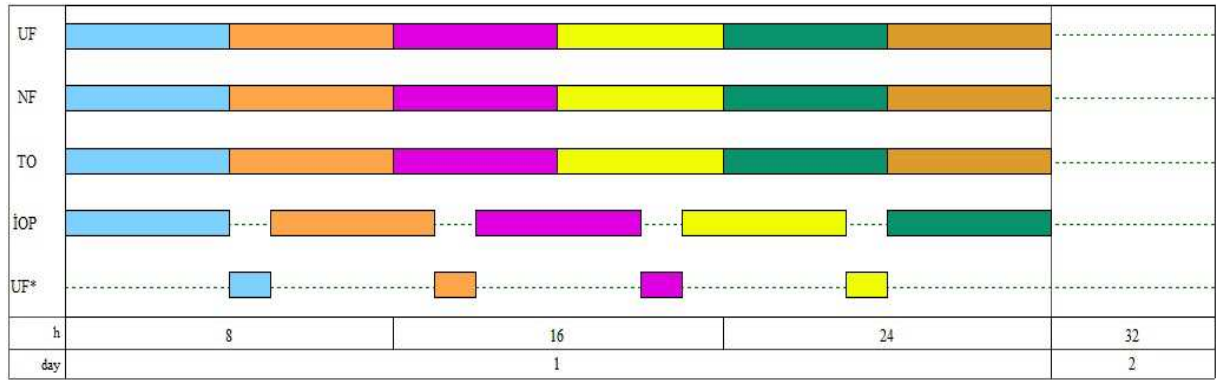
[UF-İOP/UF]/[NF_{sıkı}/TO] atıksu arıtma, su geri kazanımı ve konsantre yönetim, arıtım ve bertaraf sistemine ait proses akış şeması Şekil 4.228'te verilmiş olup; proseslerin, İOP/UF hibrit reaktörünün işletimine bağlı günlük ardışık çalışma düzenleri Şekil 4.226'tekilerle aynıdır.



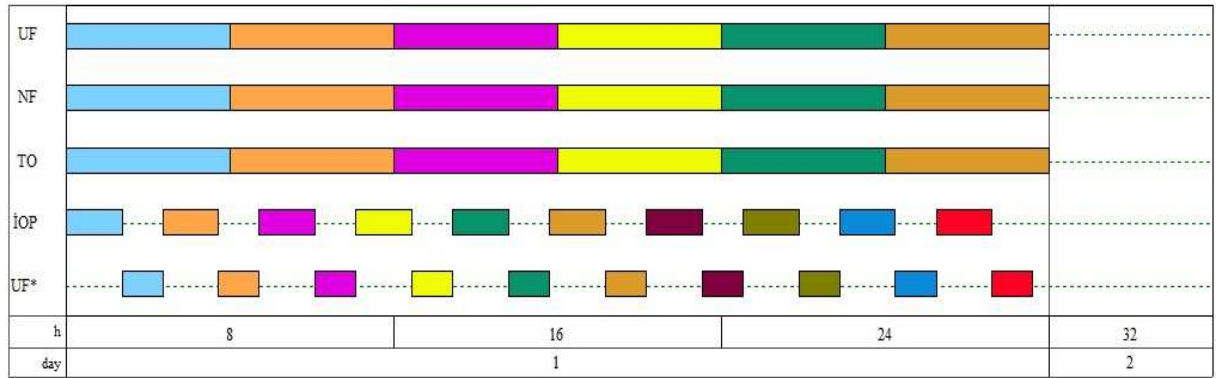
Şekil 4.228 [UF-İOP/UF]/[NF_{sıkı}/TO] sistemi proses akış şeması



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.229. $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ ve $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ sistemlerinin günlük proses çalışma düzenleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)

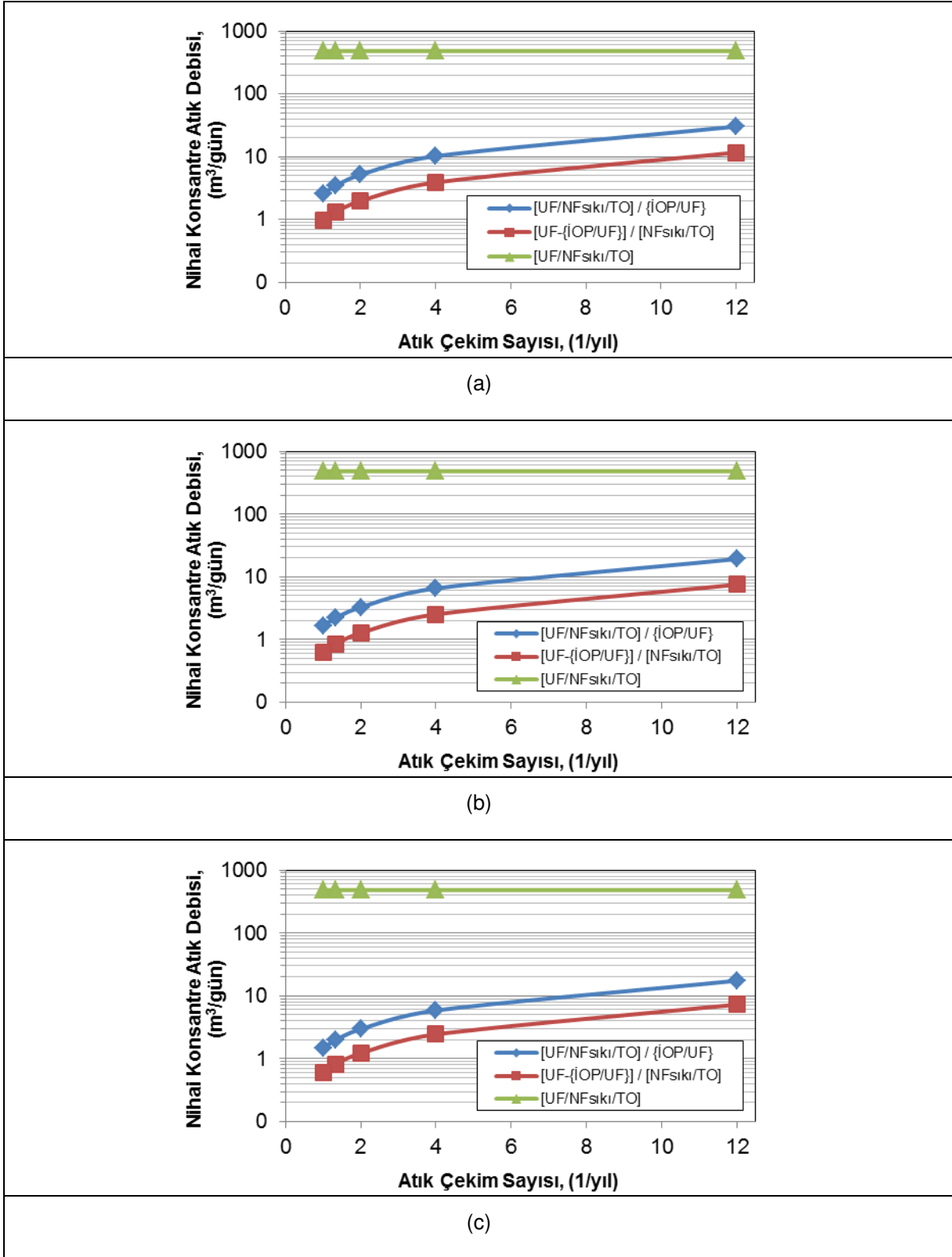
Tekstil atıksuyu için etkinliği bilinen sistemlerdeki UF, NF ve TO prosesleri, eşzamanlılık esasında sürekli işletimli gerçek ölçeğe benzeştirilmiştir. İOP reaktörde, uzun süreli kararlı hal işletim performanslarından belirlenmiş sırasıyla 120, 240 ve 82 dakikalık reaksiyon sürelerindeki Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC işletimleri, konsantre arıtımsız seçenek hariç diğer iki işletimde İOP reaktör sonrası 60 dakika süresince UF süzüntü suyu eldesinin sağlandığı konsantre arıtımı düzeninde gerçekleştirilmiştir. İOP reaktörü hacmi eşdeğeri

konsantre atığın, İOP/UF batık reaktörden günlük olarak çekiminin yapıldığı işletim altında; atık çekim sayısına bağlı İOP reaktörden çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantre atık debisinin değişimleri Şekil 4.230'da, arıtma işlemi neticesinde su geri kazanım oranlarının değişimleri ise Şekil 4.231'de verilmiştir. Konvansiyonel sistemlerden konsantre arıtımsız $[UF/NF_{sıkl}/TO]$ sisteminde, nihai konsantre atık debisi ve su geri kazanım oranı değerleri; sistemde İOP/UF reaktörüyle konsantre arıtım işlemi bulunmadığı için atık çekim sayısından bağımsız olarak sırasıyla 483,9 m³/gün ve %50,8'dir. İOP reaktörü hacmi eşdeğeri konsantre atığın, ortak konsantre arıtmalı $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ sistemindeki yılda 1-yılda 12 (veya ayda 1) atık çekim sayıları aralığı için nihai konsantre atık debileri, sıfır/sıfıra yakın sıvı deşarjları için aynı değerlerde olmak üzere Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC destekli İOP işletimlerinde sırasıyla 2,5-30,2; 1,6-19,2 ve 1,5-17,4 m³/gün'e azalmıştır. Bununla birlikte su geri kazanım oranı değerleri, konsantre arıtımsız $[UF/NF_{sıkl}/TO]$ sistemine kıyasla yukarıda anılan İOP işletimleri sırasında 99,3-96,5%; 99,4-97,6% ve 99,5-97,9%'ye artmıştır. UF konsantresi arıtmalı $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ sisteminde nihai konsantre atık debisi değerleri 1,0-11,7; 0,6-7,5 ve 0,6-7,3 m³/gün'e daha da azalmışken; su kazanım oranı yüzdeleri 99,5-98,4; 99,5-98,8 ve 99,5-98,9'a daha da artmıştır.

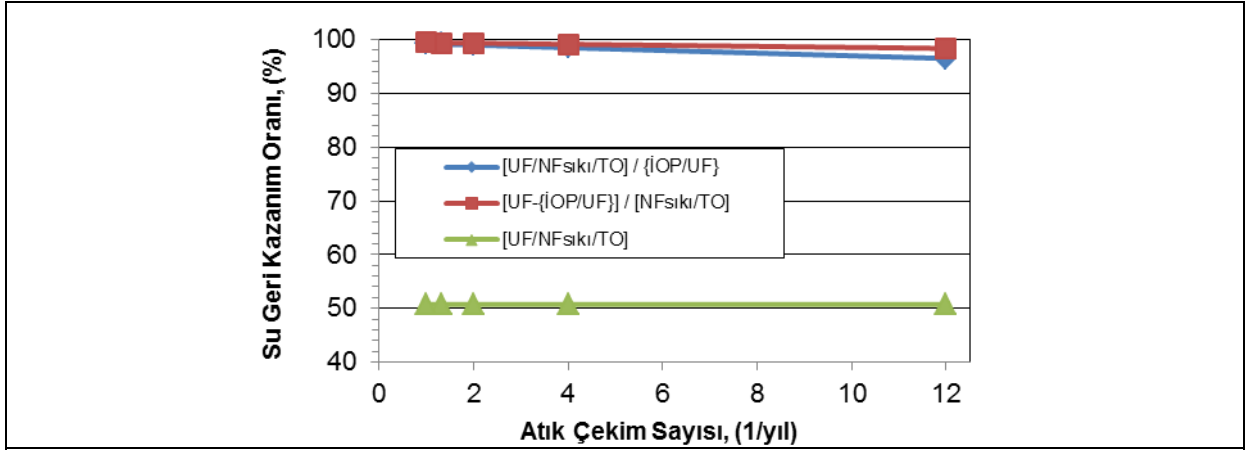
Görüldüğü üzere, geliştirilen yenilikçi hibrit İOP/batık UF reaktörüyle konsantre arıtımının yapılması ve beraberinde konsantre yönetiminin de uygulanması sayesinde, tesis dışında insinerasyonla yakılarak veya merkezi endüstriyel arıtma tesisinde arıtılarak bertaraf edilecek nihai konsantre atık miktarında, İOP reaktörden yılda 12 (veya ayda 1) atık çekilerek bertarafın sağlanacağı uygulamada bile; Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC işletimleri için sırasıyla 41.4, 64.5 ve 66.3 kat oranlara varan nihai bertaraf edilecek atık miktarı azaltımı sağlanmakta olup, hedef su kalitesi değerlerinin sağlandığı endüstriyel yeniden kullanım suyu miktarlarında sırasıyla 1.94, 1.95 ve 1.95 katlara ulaşılan değerler ile yaklaşık 2 kat seviyelerine varan su geri kazanım artışları elde edilmektedir.

✓ **Sistemlerin ekonomik performansları ve maliyet analizleri**

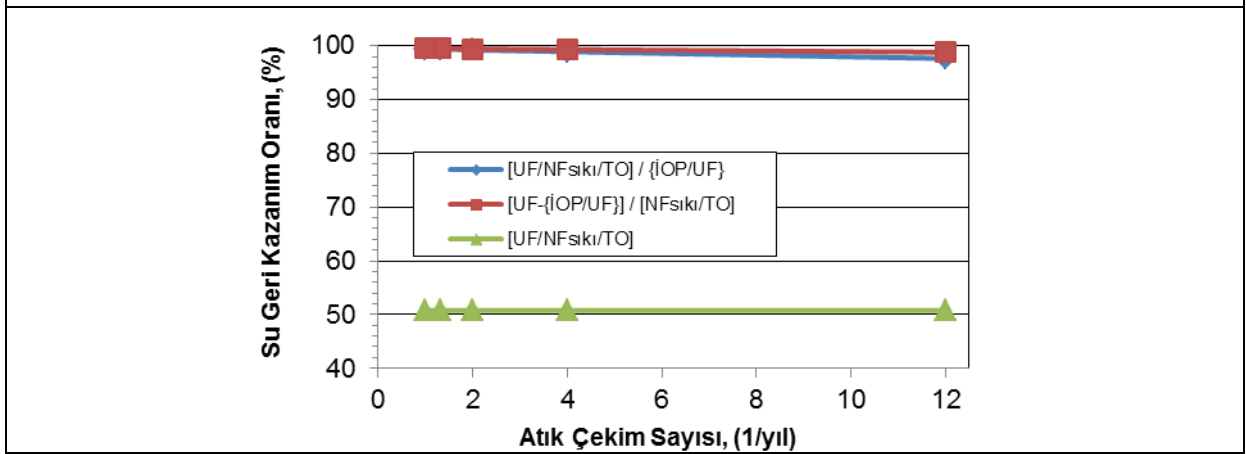
Tekstil atıksuyu için etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin saha ölçek ekonomik performansları; atıksuyun İOP reaktördeki işletim sıcaklıklarına göre Fenton (ısıtmasız) ile Fenton-UVA "doğalgaz-atıl ısı" ısıtmalı ve Fenton-UVC "doğalgaz-atıl ısı" ısıtmalı için sırasıyla, sıfır sıvı deşarjında Şekil 4.232 ile Şekil 4.233-234 ve Şekil 4.235-236'de, sıfıra yakın sıvı deşarjında ise Şekil 4.237 ile Şekil 4. 238-239 ve Şekil 4.240-241'de gösterilmiştir. Konvansiyonel sistemler için en iyi maliyetlerin elde edildiği Fenton destekli $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ ve $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ konvansiyonel sistemlerdeki işletme maliyetlerinin bileşenleri ise, sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjları için sırasıyla Şekil 4.242 ve Şekil 4.243'de sunulmuştur.



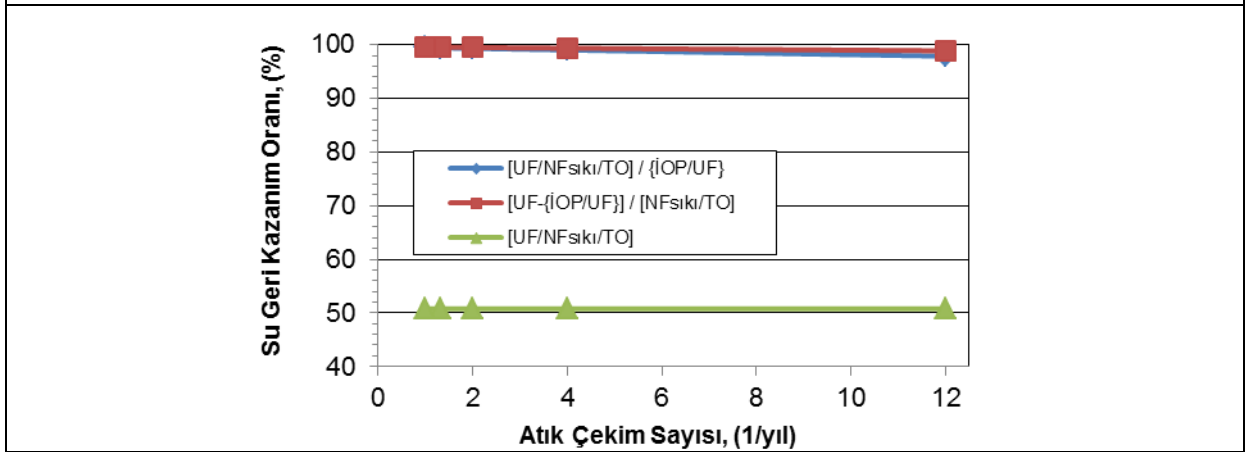
Şekil 4.230 Tekstil atıksuyu için gerçek ölçeğe benzeştirilmiş etkinliği bilinen sistemlerde, İOP reaktöründen çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantrite atık debisinin reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)



(a)

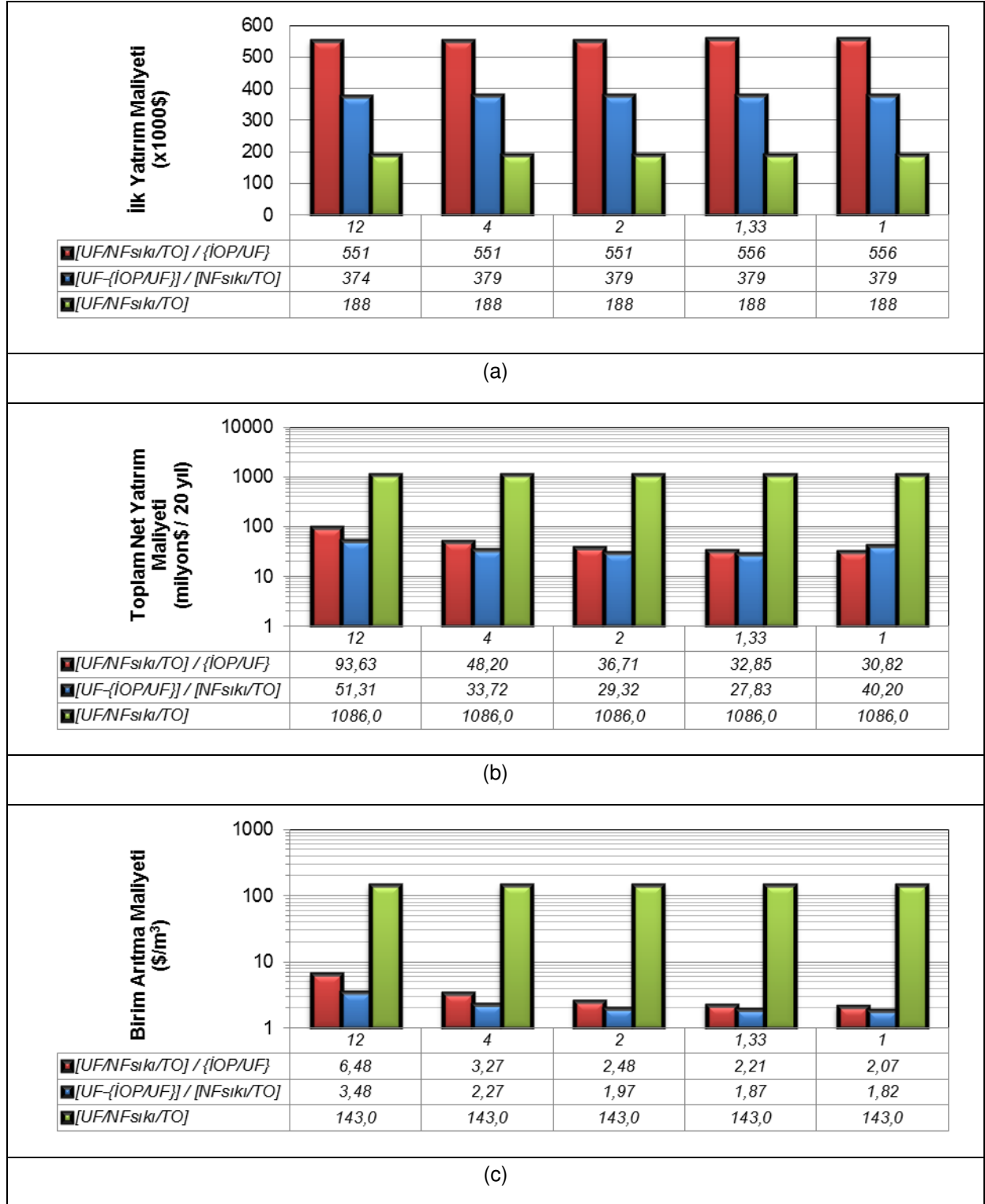


(b)

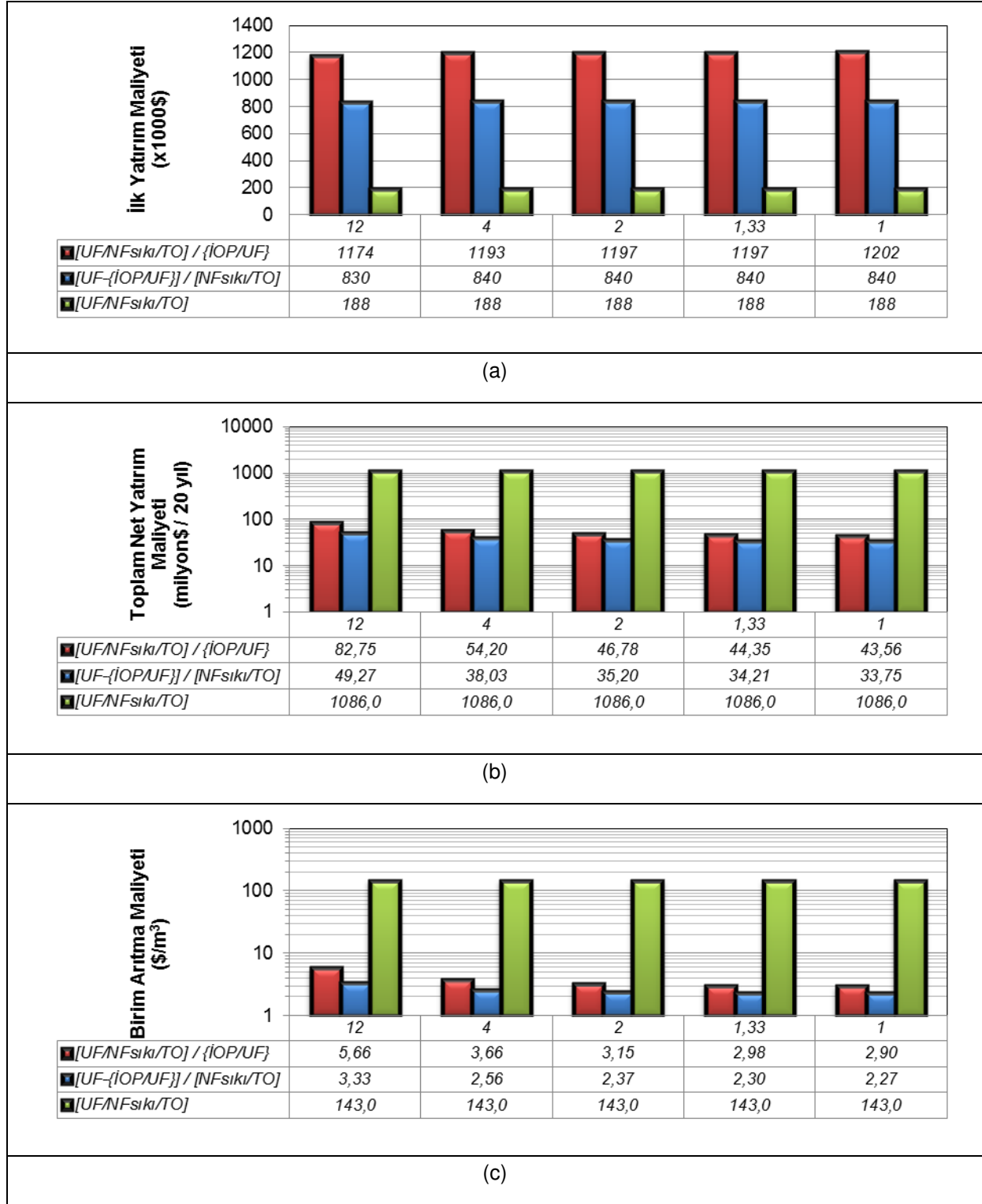


(c)

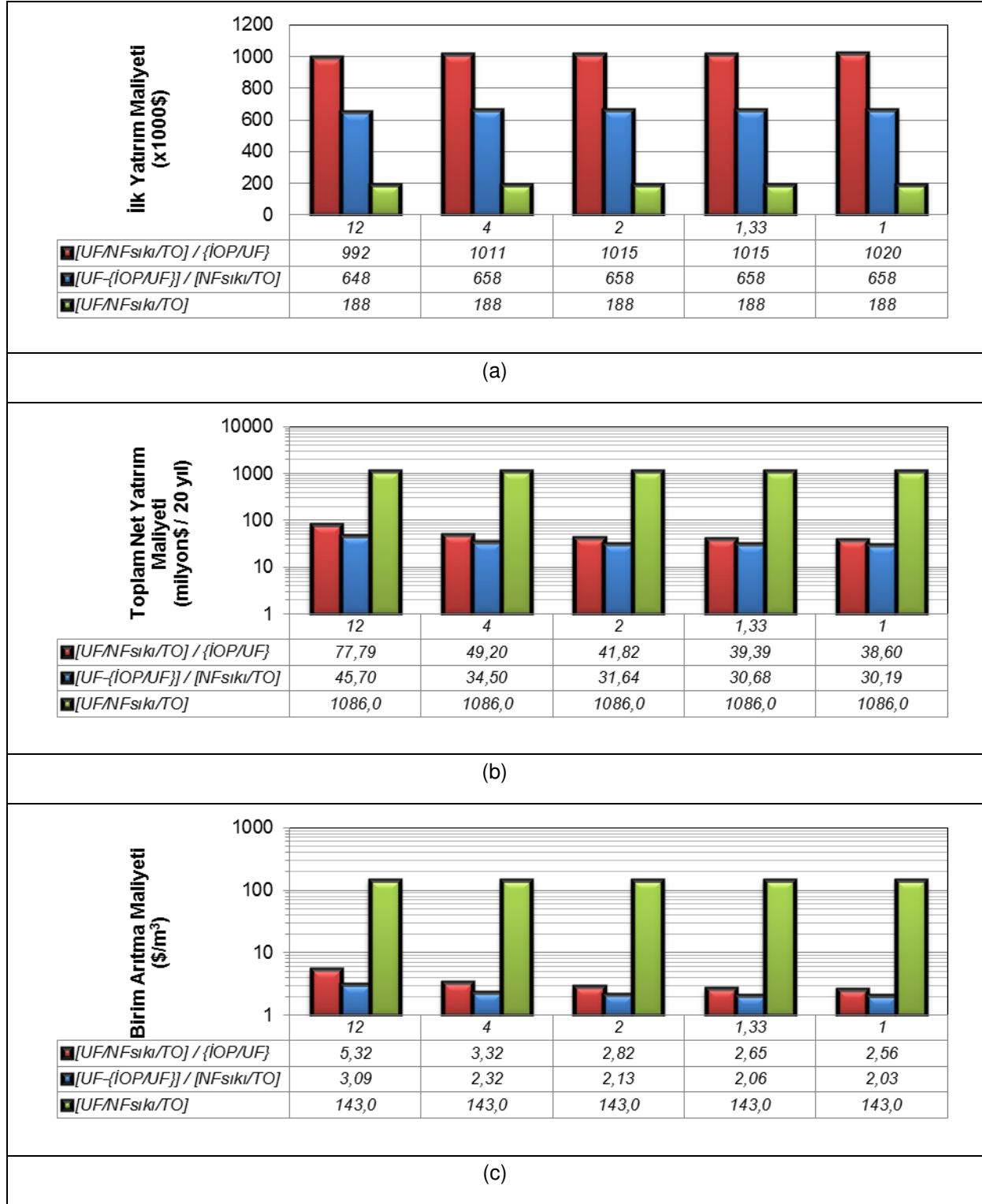
Şekil 4.231 Tekstil atıksuyu için gerçek ölçüğe benzeştirilmiş etkinliği bilinen sistemlerde, sistemdeki su geri kazanım oranlarının reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)



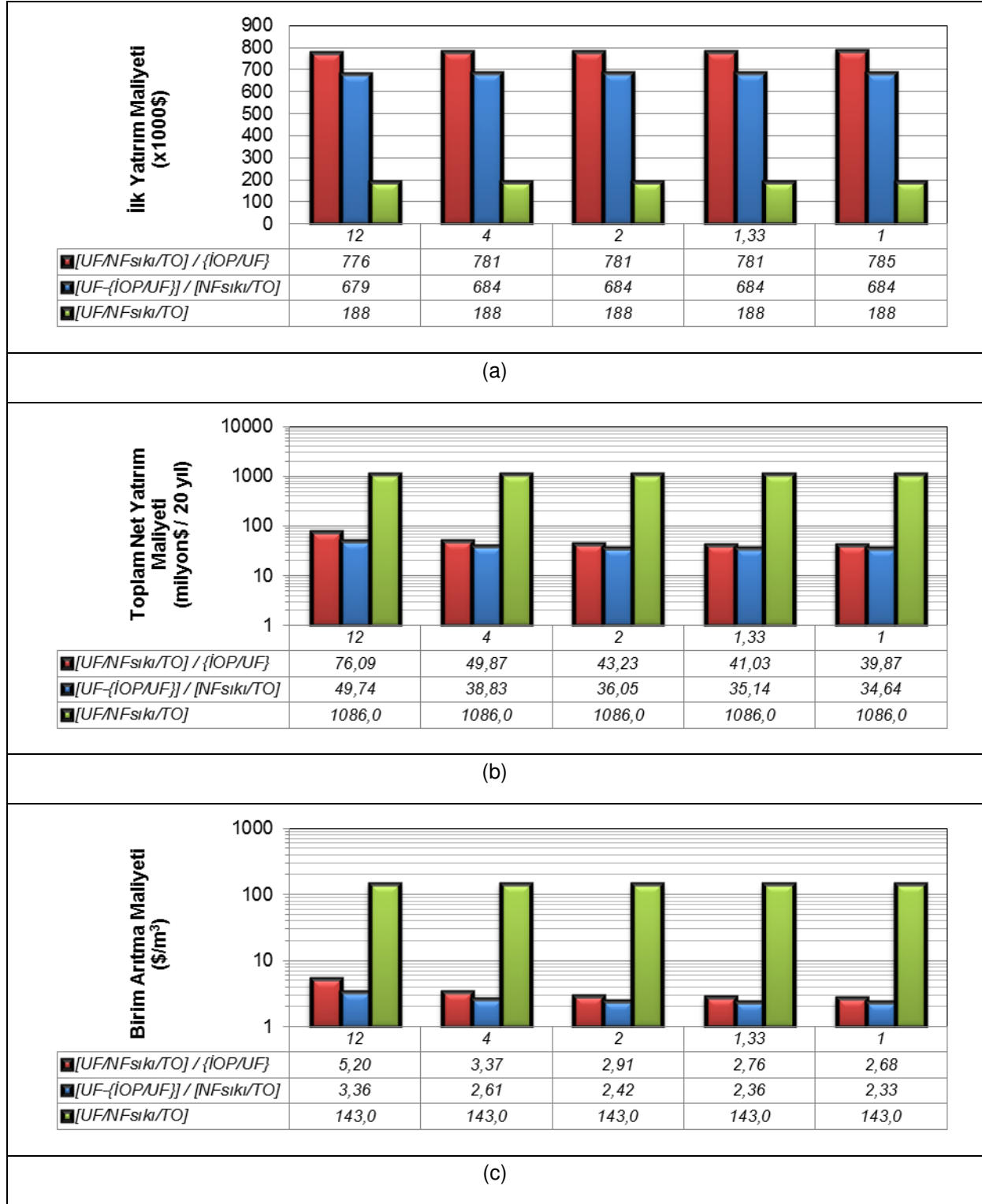
Şekil 4.232. Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton destekli konsantre arıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



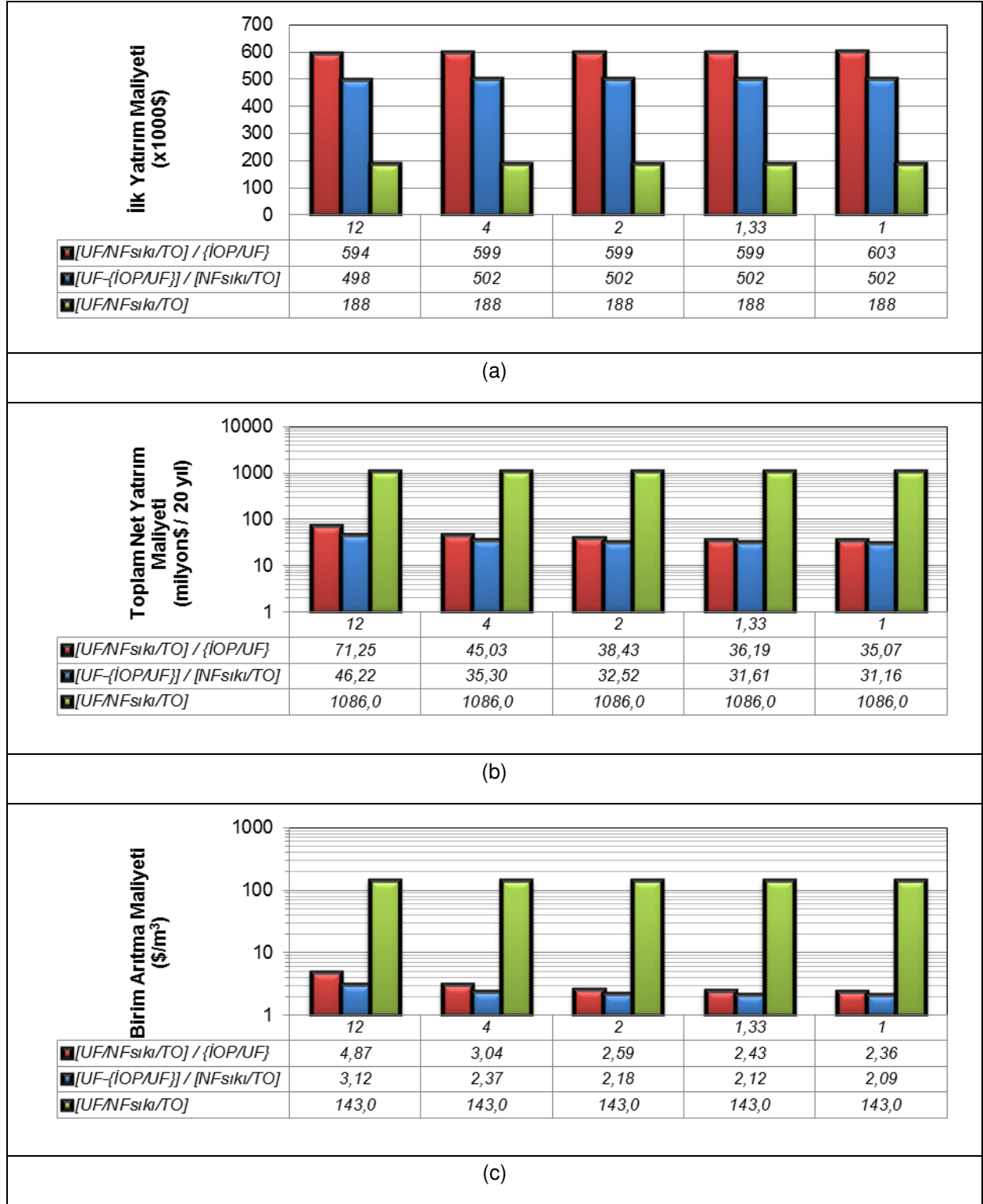
Şekil 4.233 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVA destekli konsantre arıtımlı ve doğalgaz ısıtımli etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



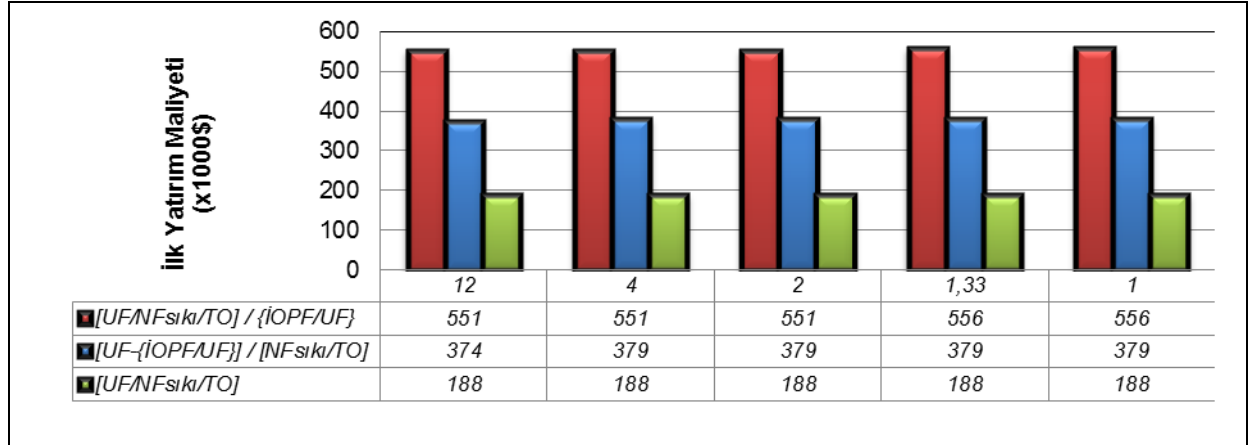
Şekil 4.234 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantrite arıtımsız ve Fenton-UVA destekli konsantrite arıtımlı ve atıl ısı ısıtılmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrite bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağılı değışen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



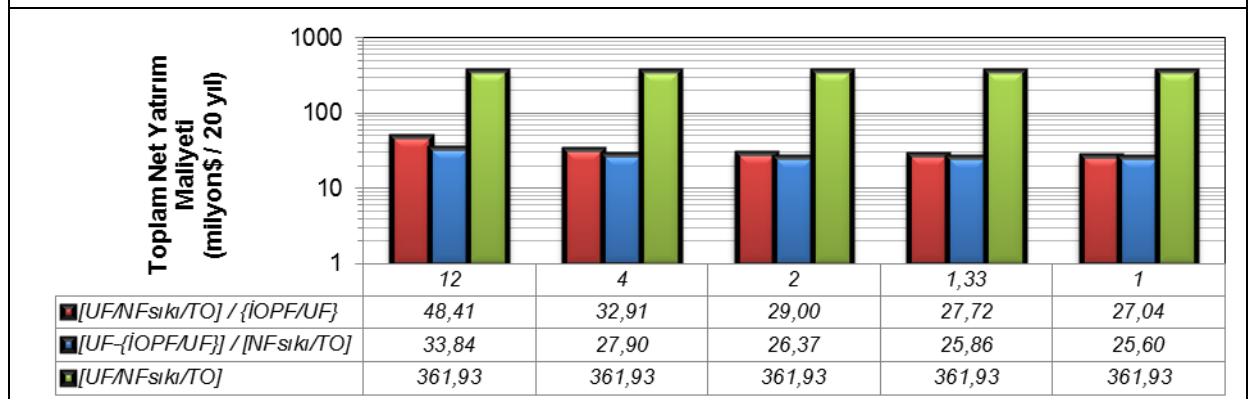
Şekil 4.235 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVC destekli konsantre arıtımlı ve doğalgaz ısıtımli etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



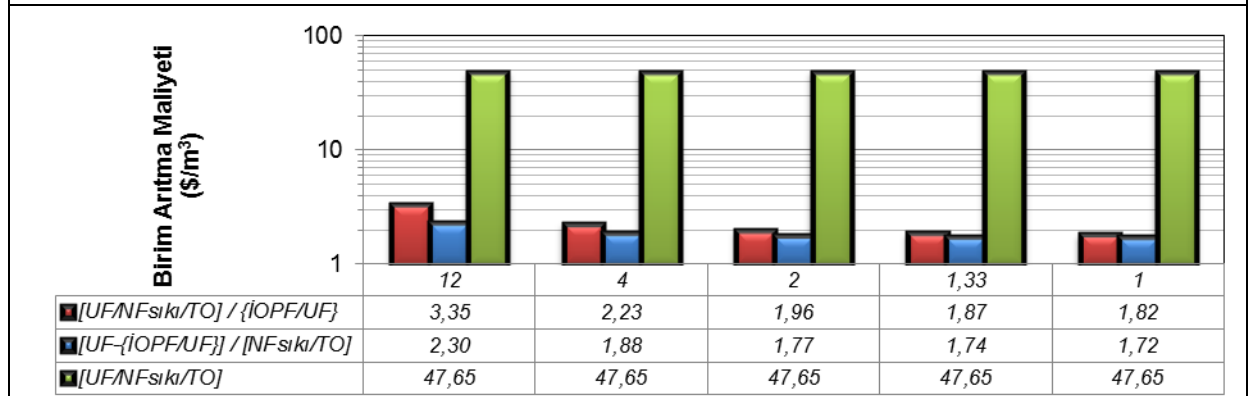
Şekil 4.236 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantrite arıtımsız ve Fenton-UVC destekli konsantrite arıtımlı ve atıl ısı ısıtılmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrite bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağılı değışen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)

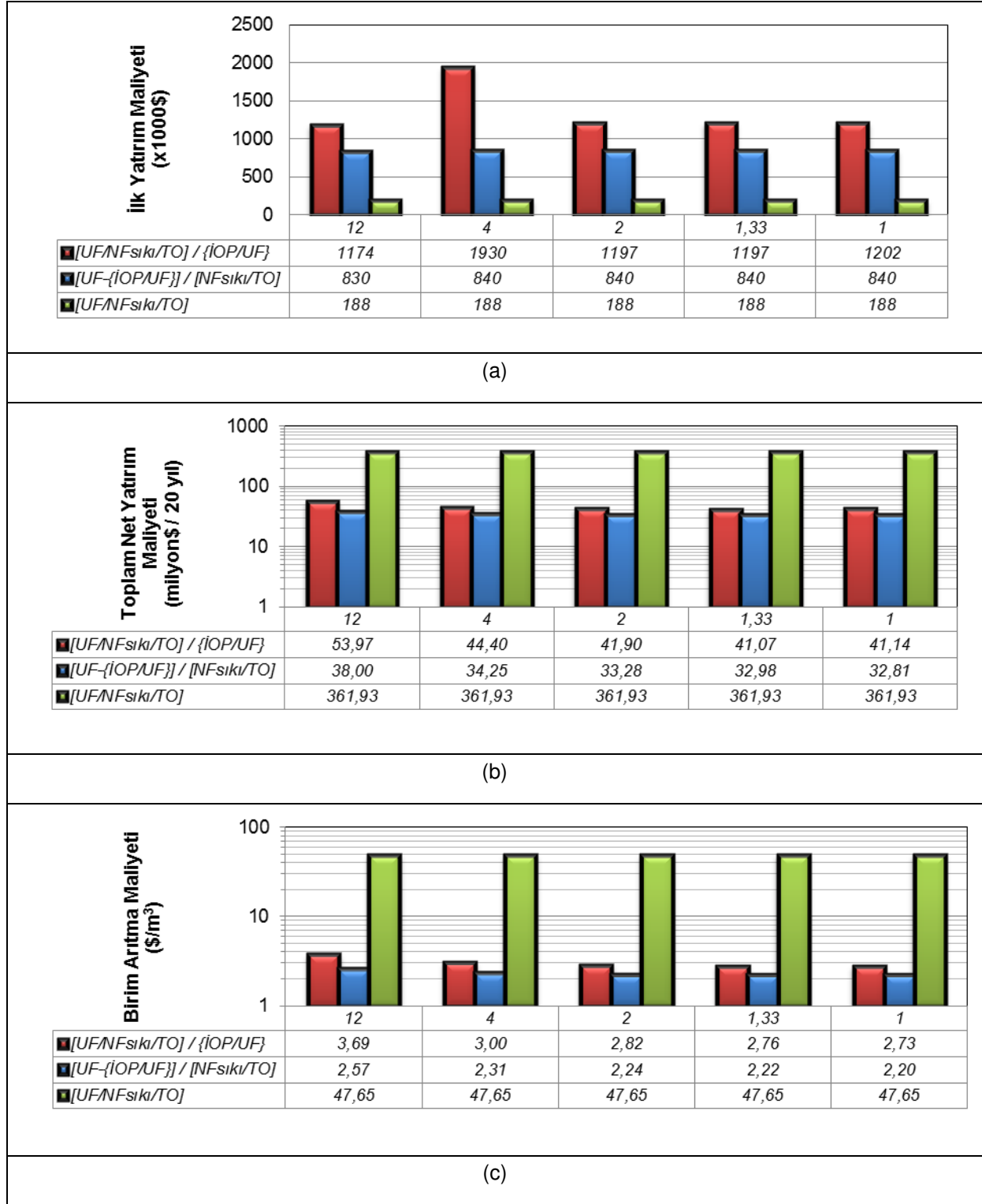


(b)

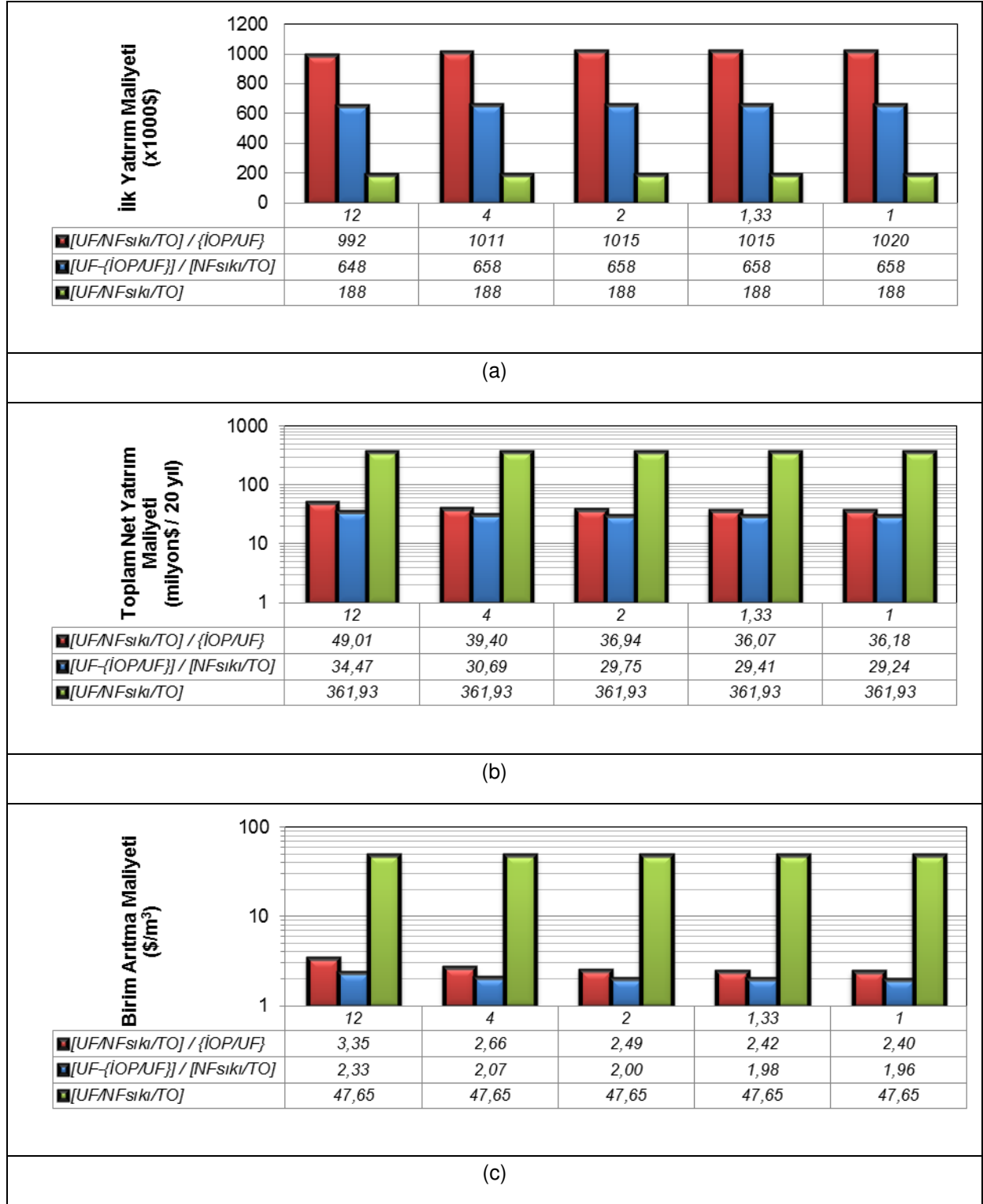


(c)

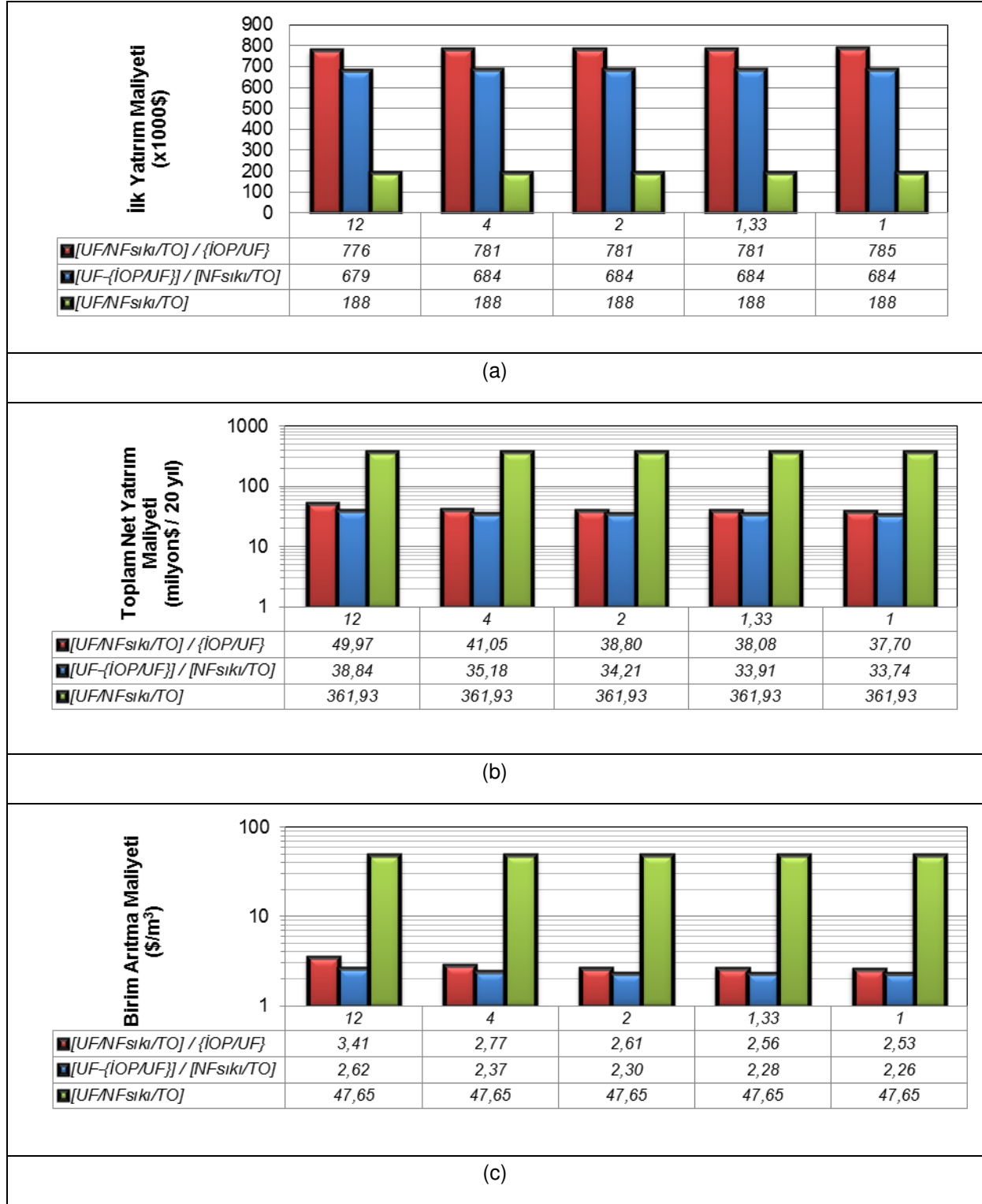
Şekil 4.237 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton destekli konsantre arıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³)



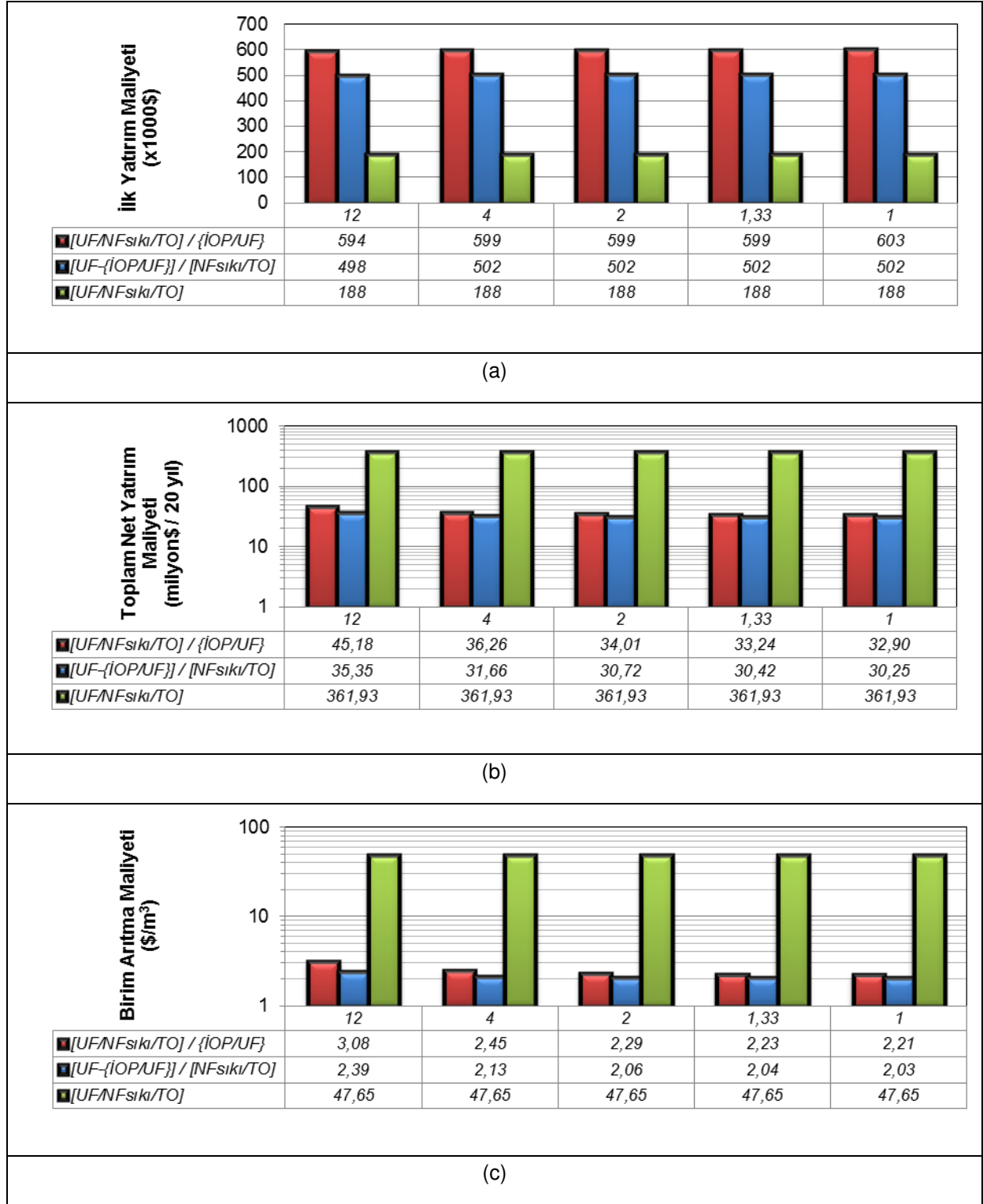
Şekil 4.238 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVA destekli konsantre arıtımlı ve doğalgaz ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



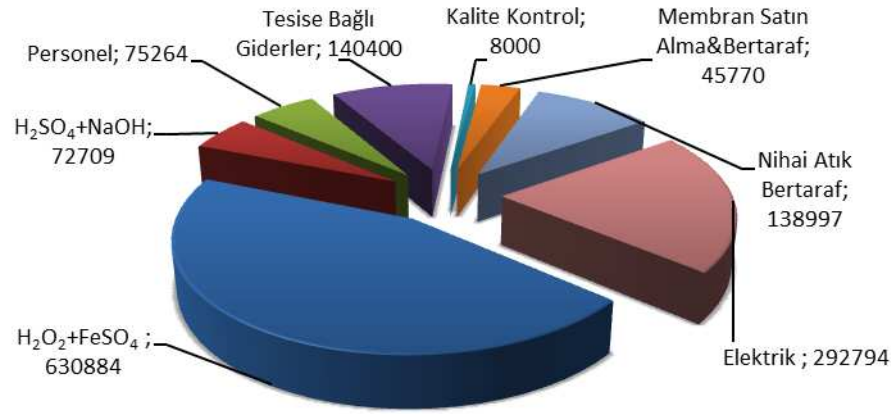
Şekil 4.239 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVA destekli konsantre arıtmılı ve atıl ısı ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



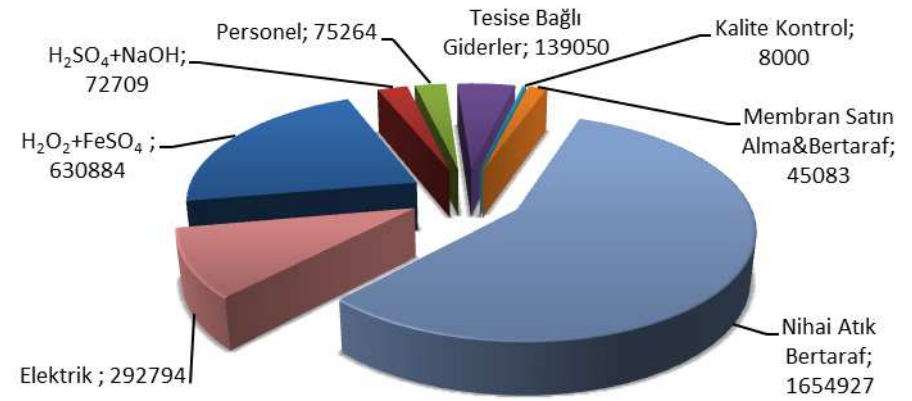
Şekil 4.240 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVC destekli konsantre arıtımlı ve doğalgaz ısıtımli etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³)



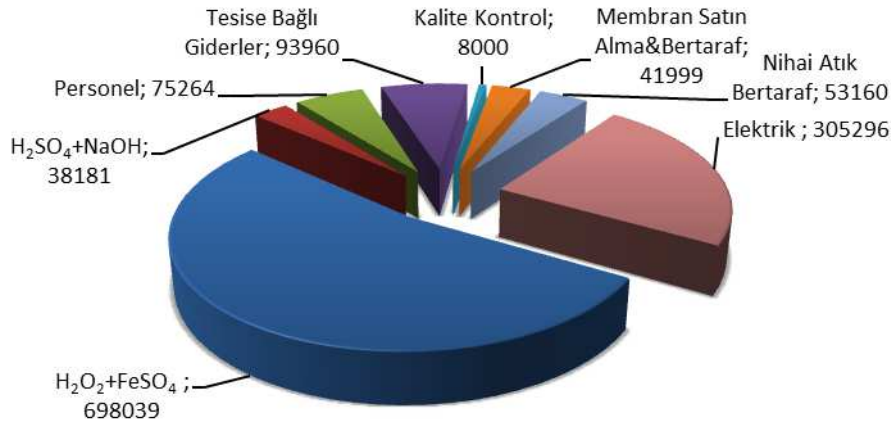
Şekil 4.241 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton-UVC destekli konsantre arıtmalı ve atıl ısı ısıtımli etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³)



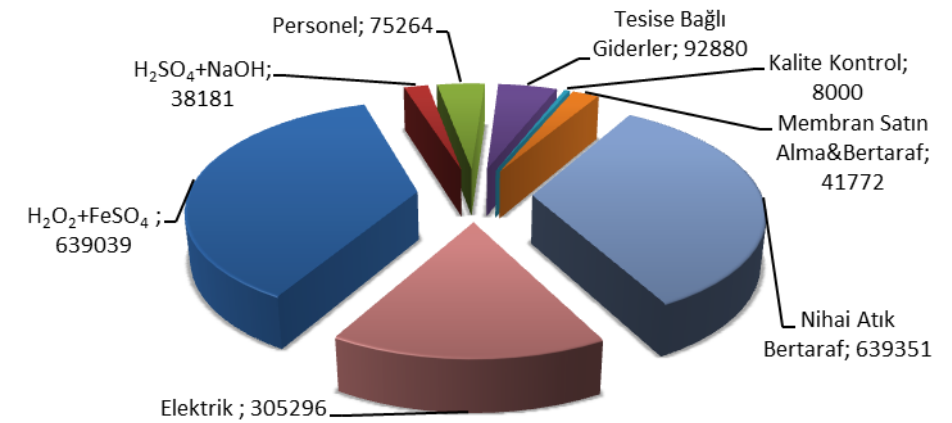
(a)



(b)

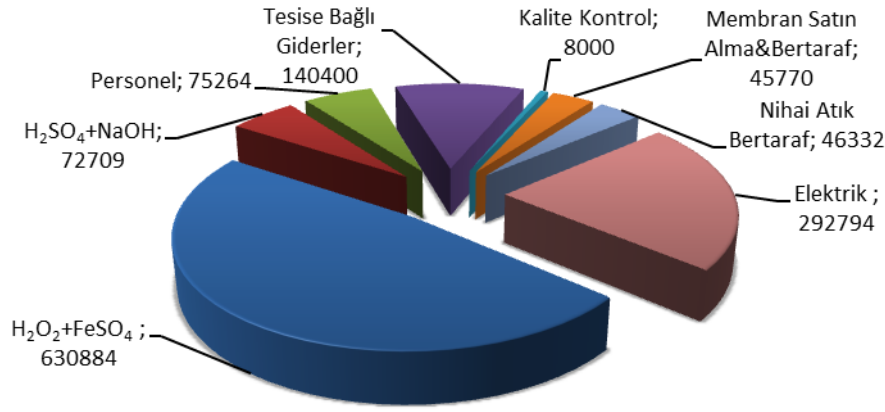


(c)

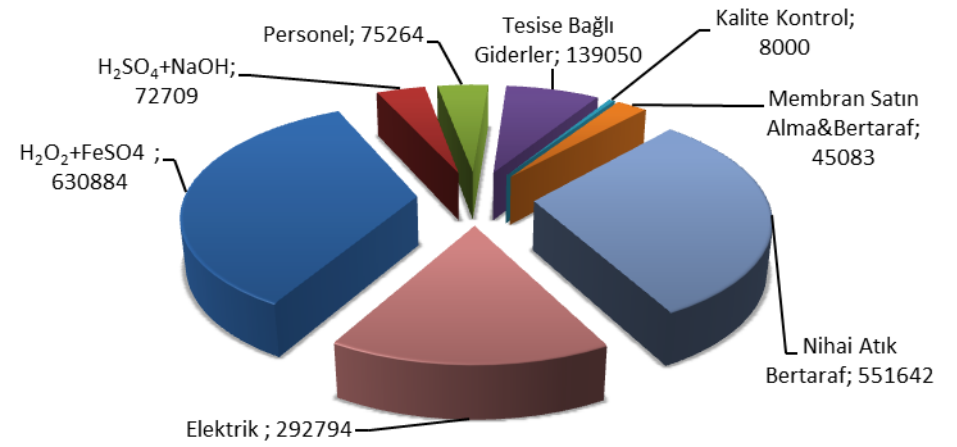


(d)

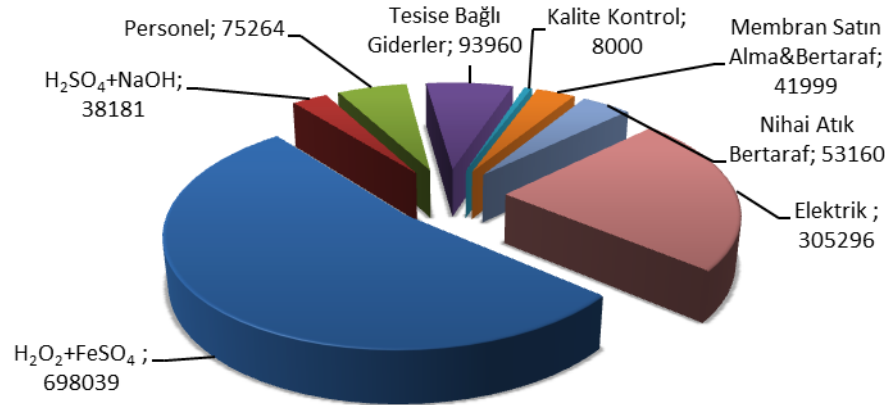
Şekil 4.242 Sıfır sıvı deşarjında Fenton destekli konvansiyonel sistemlerdeki atık çekim sayısına bağlı işletme maliyet bileşenleri ve değerleri (\$/yıl) ([UF/NF_{sıkı}/TO]/{IOP/UF}'te yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); [UF-{IOP/UF}]/[NF_{sıkı}/TO]'da yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))



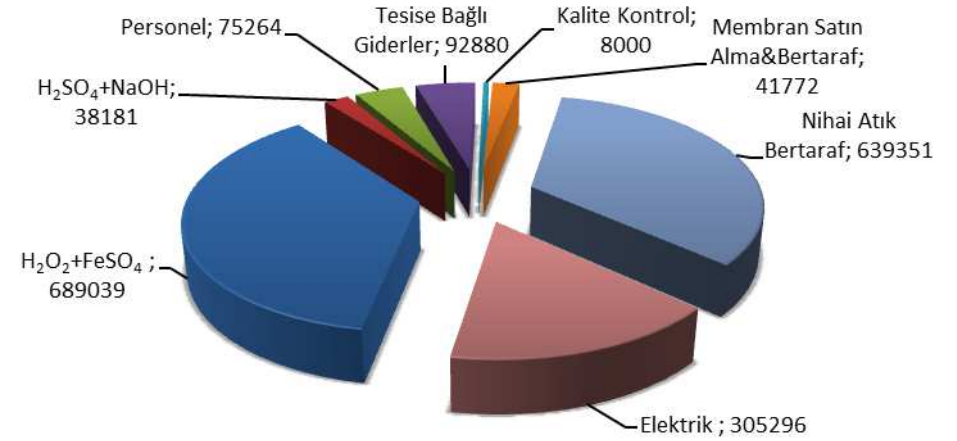
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.243 Sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli konvansiyonel sistemlerdeki atık çekim sayısına bağlı işletme maliyet bileşenleri ve değerleri (\$/yıl) ($[UF/NF_{sıkı}/TO]/\{OP/UF\}$ 'te yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); $[UF-\{OP/UF\}]/[NF_{sıkı}/TO]$ 'da yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))

Tekstil atıksuyunun $[UF/NF_{sıkl}/TO]$ bütünleşik membran sistemi düzenindeki literatürden etkinliği bilinen atıksu arıtma ve su geri kazanımı ile konsantre arıtımı/bertaraf sistemlerinin saha ölçek işletim maliyetlerinin, sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjı için farklı değerlerde olduğu görülmüştür. Nihai konsantre atığın, tesis dışında insinerasyonla yakılarak kalan nihai katısının tesise yaklaşık 10 km mesafede bulunduğu varsayılan bir endüstriyel nihai düzenli depolama sahasında depolanarak bertarafının, sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca yine tesise yaklaşık 10 km mesafede konuşlandığı varsayılan bir merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisinde arıtım sonrası kanala ya da alıcı ortama deşarj edildiği uygulamaya kıyasla daha yüksek toplam tesis arıtma maliyetlerinde sağlanabileceği belirlenmiştir. Ancak azalan atık çekim debisine ya da atık çekim sayısına bağlı olarak aradaki maliyet farklarının; ayda bir İOP reaktör hacmi eşdeğeri atık çekimindeki daha yüksek farklardan, yılda bir atık çekimindeki daha düşük farklara azaldığı saptanmıştır.

Sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjları için en ekonomik çözümlere, UVA-Fenton ve UVC-Fenton uygulamalarına kıyasla, Fenton destekli hibrit İOP arıtımıyla ulaşılmıştır. Sıfır sıvı deşarjında, konsantre arıtımsız $[UF/NF_{sıkl}/TO]$ sistemi için, ilk yatırım, toplam net yatırım ve geri kazanım suyu başına birim arıtma maliyetleri sırasıyla 188.000 \$, 1.086.000.000 \$/20 yıl ve 143.0 \$/m³ iken; Yılda 1-yılda 12 (ayda 1) atık çekimlerinde Fenton destekli ortak konsantre arıtımlı $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ sistemi için bu değerler, sırasıyla 556.000-551.000 \$, 30.820.000-93.630.000 \$/20 yıl ve 2.07-6.48 \$/m³; Yılda 1-yılda 12 (ayda 1) atık çekimlerinde Fenton destekli UF konsantresi arıtımlı $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ sistemi için ise bu değerler, sırasıyla 379.000-374.000 \$, 40.200.000-51.310.000 \$/20 yıl ve 1,82-3,48 \$/m³ değerlerine oldukça azalmıştır.

Sıfıra yakın sıvı deşarjında sistemlerin bu maliyet değerlerinden ilk yatırım maliyetlerinde herhangi bir değişme söz konusu olmazken, toplam net yatırım ve birim arıtma maliyetlerinin; konsantre arıtımsız $[UF/NF_{sıkl}/TO]$ sistemi için, sırasıyla 361.930.000 \$/20 yıl ve 47,65 \$/m³'ten; Yılda 1-yılda 12 (ayda 1) atık çekimlerinde, Fenton destekli ortak konsantre arıtımlı $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ sistemi için sırasıyla 27.040.000-48.410.000 \$/20 yıl ve 1,82-3,35 \$/m³; Yılda 1-yılda 12 (ayda 1) atık çekimlerinde Fenton destekli UF konsantresi arıtımlı $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ sistemi için de, sırasıyla 25.600.000-33.840.000 \$/20 yıl ve 1,72-2,30 \$/m³ değerlerine daha da azaldığı tespit edilmiştir.

Fenton destekli ve ortak konsantre arıtımlı $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ sistemi ile Fenton destekli ve UF konsantresi arıtımlı $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ konvansiyonel sistemlerinin sıfır sıvı deşarjındaki işletme maliyetleri bileşenlerinin, sıfıra yakına göre farklılaşan tek bileşenin nihai atık bertaraf maliyeti olduğu görülmektedir. Bu bileşenin özellikle düşük işletme periyodundaki atık üretilmesi durumu pratikte söz konusu olursa, sıfır deşarjdaki atık

maliyetlerinin sıfıra yakına göre çok yüksek değerlere çıkabileceği anlaşılmaktadır. Her iki deşarj yaklaşımı uygulamasında da, işletme maliyetlerine katkı veren temel bileşenlerin yılda 1 atık çekimi için $H_2O_2+FeSO_4$, elektrik sarfiyatı ve tesise bağılı giderler (amortisman, sigorta, yerel vergi, bakım ve onarım, vd.) ağırlıklı olduğu; ayda 1 atık çekimi halinde ise en önemli maliyet kalemini nihai atık bertarafının oluşturduğu tespit edilmiştir. Tekstil atıksuyu için yapılan saha benzeştirmeleri neticesinde maliyet sonuçları üzerinden görülen bu durumun, diğer yoğun su tüketilen endüstrilerin atıksularının arıtılması halinde, atıksudaki oksidasyonla mineralize olmaya dirençli organik kirletici yüklerinin de önemle dikkate alınması gerektiği değerlendirilmektedir.

Elde edilen maliyet sonuçlarının çok makul seviyelerde olduğu açıkça görülmektedir. Konvansiyonel membran sistemi uygulamalarının, sistemde konsantre arıtımı yapılmasına dayalı yenilikçi İOP/batık UF hibrit teknolojiyle desteklenmesi esasında geliştirilen yeni her iki teknolojik çözümün de, sahada tekno-ekonomik olarak yüksek etkinlikte oldukları ve oldukça arzu edilir bir ekonomik başarı seviyesine sahip buldukları değerlendirilmektedir.

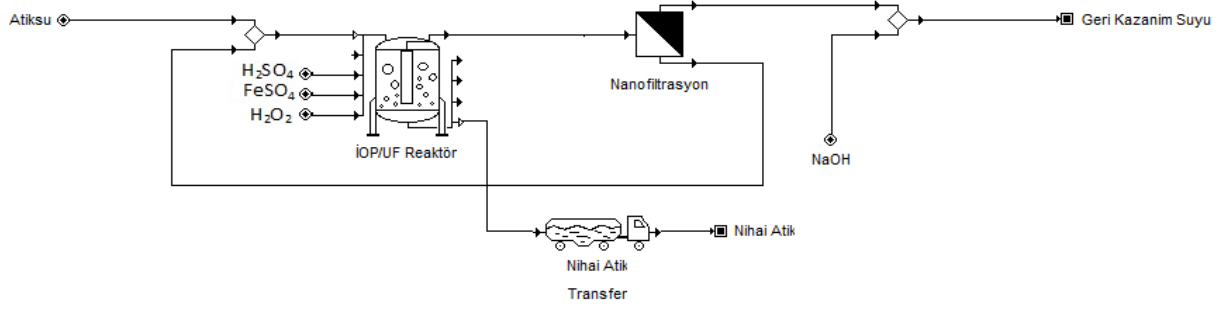
4.5.1.2 Önerilen arıtma sistemleri ({İOP/UF} sonrası basınçlı membran prosesler)

Tekstil atıksuyu için bu proje kapsamında bilimsel AR&GE çalışmaları “önerilen sistemler” adıyla yerine getirilmiş atıksu arıtma ve su geri kazanımı/konsantre arıtım ve bertaraf sistemleri; İOP sonrası membran konsantresi ya da konsantrelerinin, {İOP/UF} reaktöre beslenen ham atıksuyla birlikte ilk adımda hibrit arıtma işlemine tabi tutularak, hem atıksu/konsantre arıtma hem de nihai konsantre atık minimizasyonunun aynı reaktör içerisinde yerine getirildiği ve sonrasında da bu hibrit reaktörün $[NF_{sıki}]$, $[TO]$ ve $[NF_{gevşek}/TO]$ membran prosesleriyle entegre edilerek endüstriyel su geri kazanımının sağlandığı 3 farklı arıtma sistemi (Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC) içeriğinde ayrı ayrı gerçek ölçeğe benzeştirilmiştir.

Şahit işletim deneylerine göre İOP reaktörün hidrolik bekletme süresi (İOP/UF hacimsel su oranı değeri), 1,19 gün (1,19) üzerinden kütle dengesi benzeştirmeleri yerine getirilmiştir. Tekstil atıksuyu için gerçek ölçekte tasarımları yapılan 3 farklı içeriğe haiz yenilikçi önerilen bütünleşik membran sistemlerinin sahada uygulanmalarına ilişkin esaslar ve ölçütler, her bir tasarım örneği için ayrı ayrı başlıklar altında olmak üzere aşağıda etraflıca sunulmuştur.

✓ {İOP/UF}/ $[NF_{sıki}]$ sistemi

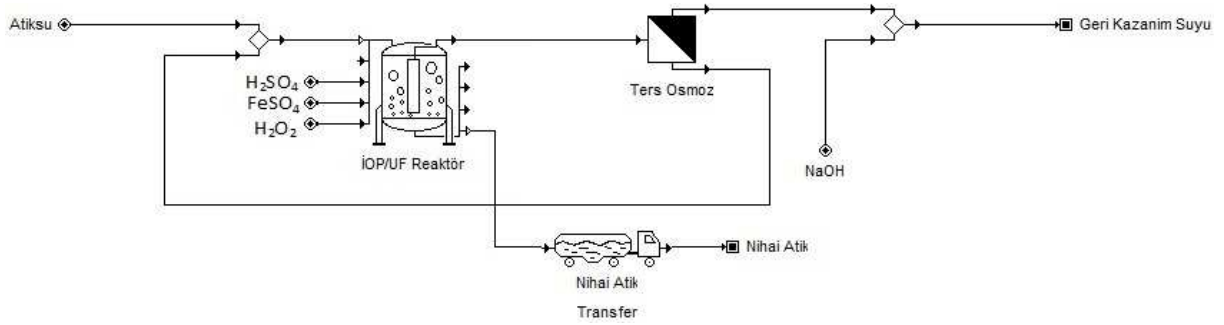
{İOP/UF}/ $[NF_{sıki}]$ atıksu arıtma, su geri kazanımı ve konsantre bertaraf sistemine ait proses akış şeması Şekil 4.244’de gösterilmiştir. Sistemde proseslerin, İOP/UF hibrit reaktörünün işletimine bağılı olarak günlük ardışık çalışma düzenleri, Şekil 4.247’de sunulmuştur.



Şekil 4.244 {IOP/UF}/[NF_{sıkı}] sistemi proses akış şeması

✓ **{IOP/UF}/[TO] sistemi**

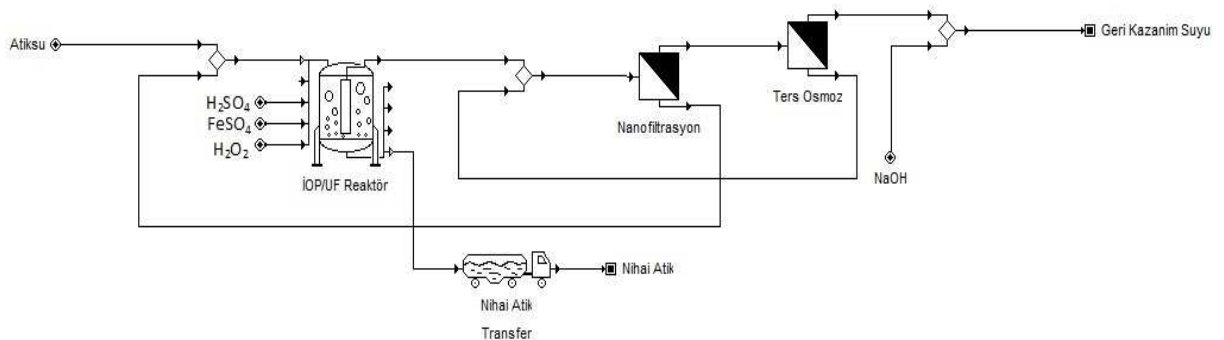
{IOP/UF}/[TO] atıksu arıtma, su geri kazanımı ve konsantre bertaraf sistemine ait proses akış şeması Şekil 4.245’de gösterilmiştir. Sistemde proseslerin, İOP/UF hibrit reaktörünün işletimine bağlı olarak günlük ardışık çalışma düzenleri, {IOP/UF}/[NF_{sıkı}] sistemindeki düzen ile aynı olup Şekil 4.248’deki gibidir ({IOP/UF}/[TO] için şekilde NF_{sıkı} yerine TO değerlendirilir).



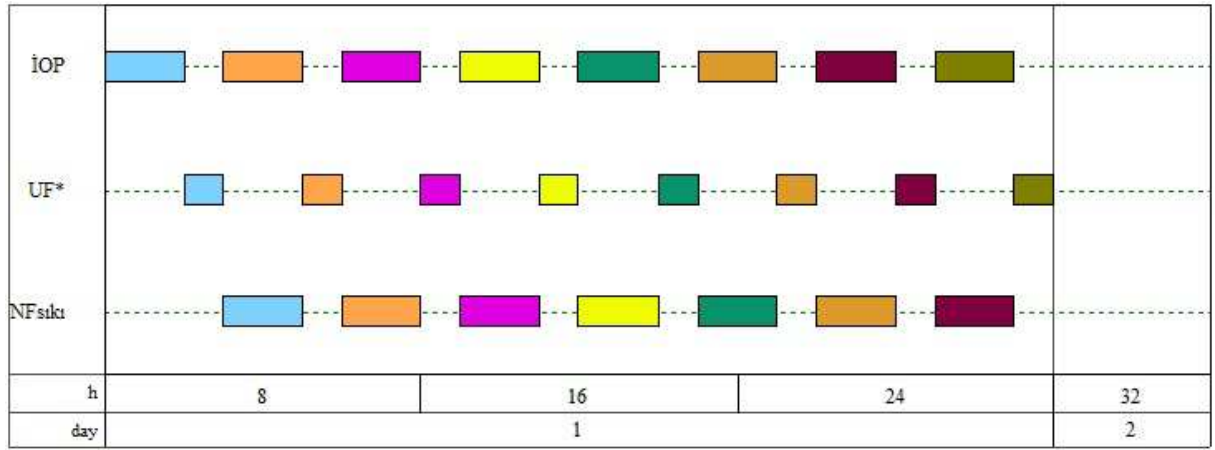
Şekil 4.245 {IOP/UF}/[TO] sistemi proses akış şeması

✓ **{IOP/UF}/[NF_{gevşek}]/[TO] sistemi**

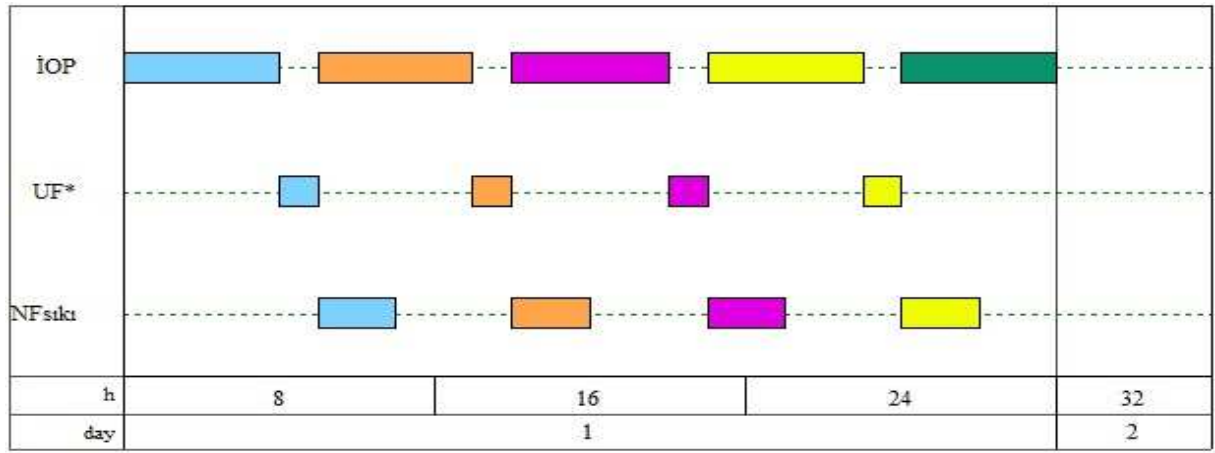
{IOP/UF}/[NF_{gevşek}]/[TO] atıksu arıtma, su geri kazanımı ve konsantre bertaraf sistemine ait proses akış şeması Şekil 4.246; proseslerin, İOP/UF hibrit reaktörünün işletimine bağlı olarak günlük ardışık çalışma düzenleri ise Şekil 4.248’te verilmiştir.



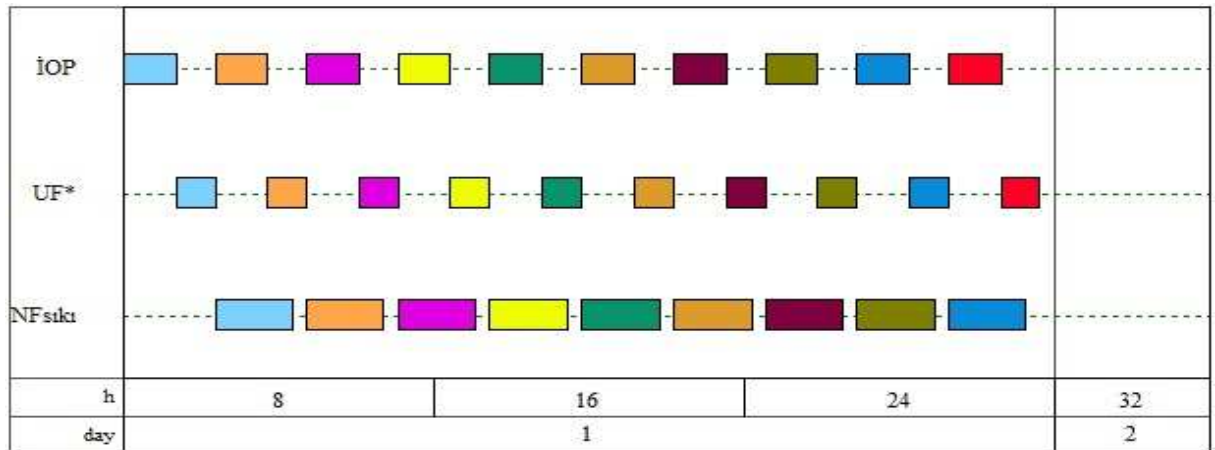
Şekil 4.246 {IOP/UF}/[NF_{gevşek}]/[TO] sistemi proses akış şeması



(a)

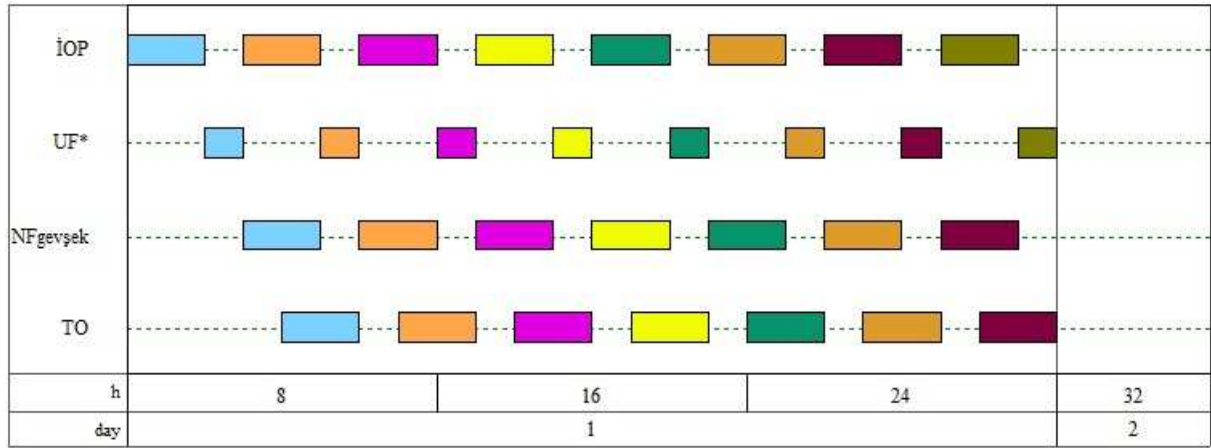


(b)

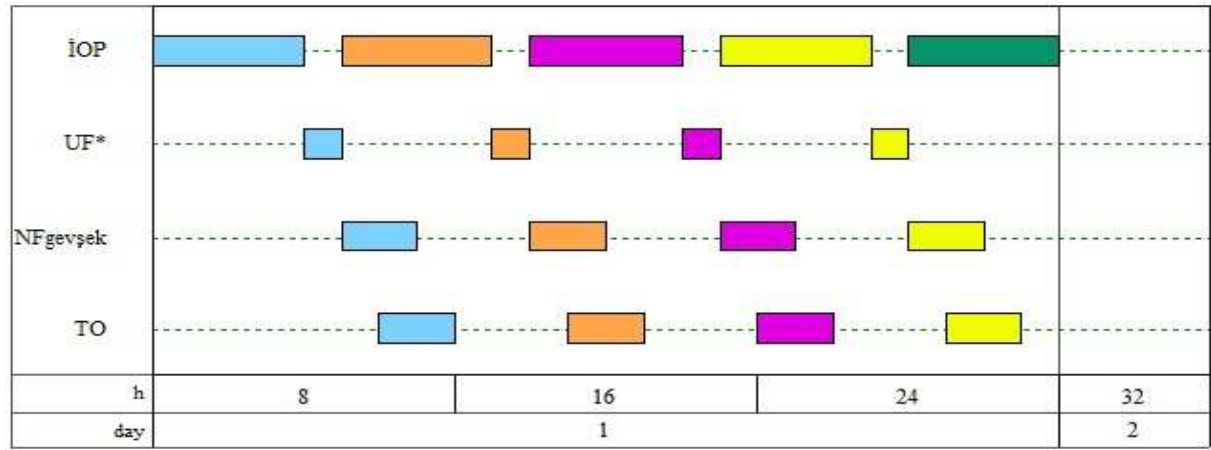


(c)

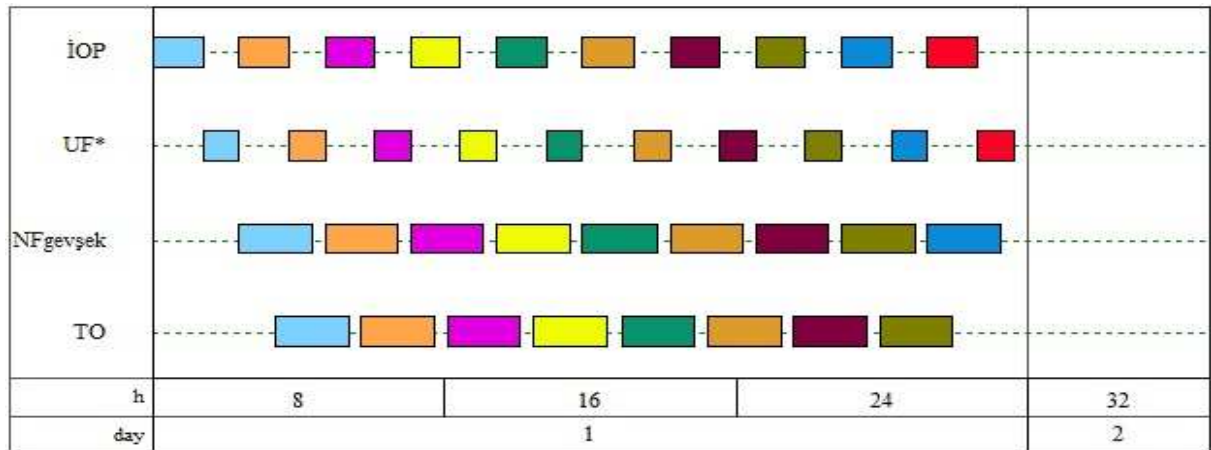
Şekil 4.247 {iOP/UF}/[NF_{sıkı}] ve {iOP/UF}/[TO] sistemlerinin günlük proses çalışma düzenleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)



(a)



(b)



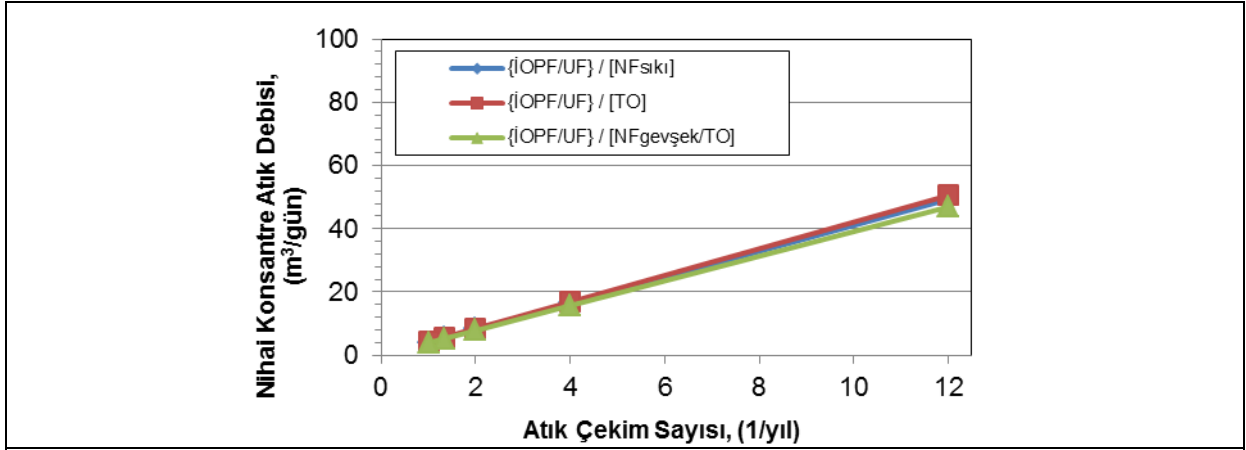
(c)

Şekil 4.248 {iOP/UF*}/[NF_{gevşek}/TO] sisteminin günlük proses çalışma düzenleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)

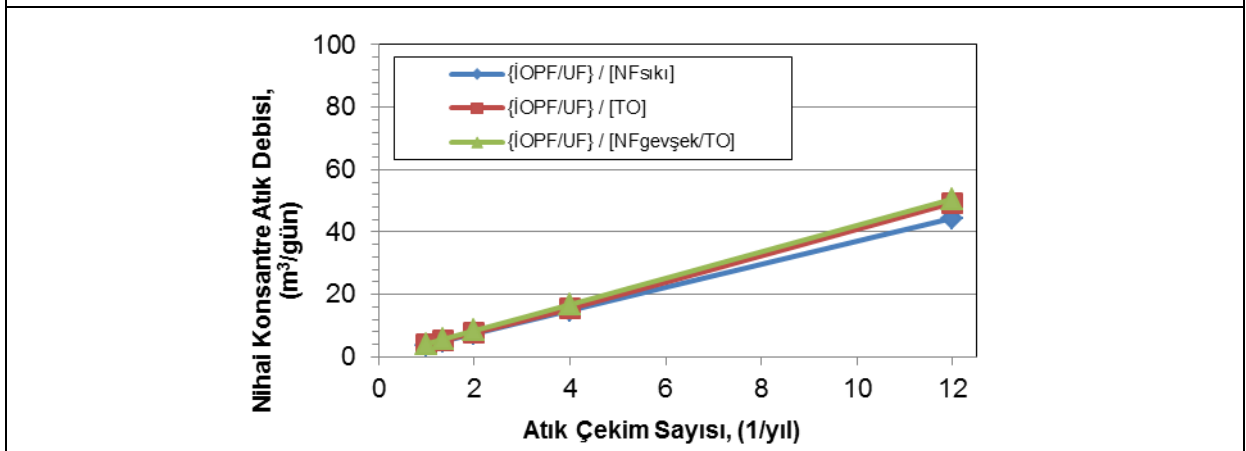
Tekstil atıksuyu için önerilen sistemlerdeki İOP reaktörde sırasıyla 120, 240 ve 82 dakikalık reaksiyon sürelerindeki Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC işletimleri, her üç sistemde de İOP reaktör işletimi sonrası 60 dakika süresince UF süzüntü suyu eldesinin sağlandığı arıtım düzeninde tasarlanmıştır. Hibrit reaktörden çıkan arıtılmış sular, sonrasındaki basınçlı tek ya da iki adımlı membran proseslere alınarak temiz su eldesinin sağlandığı ve oluşan membran konsantrelerinin hibrit reaktöre tekrardan devredildiği işletim esas alınmıştır. İOP/UF sonrası basınçlı sistemlerin işletimi 120 dakika/proses esasında tasarlanmış olup; TO'nun $NF_{\text{gevşek}}$ ile eşlenik işletimi, 1'er saatlik ardışık sürekli modda yerine getirilmiştir.

Önerilen sistemlerde, İOP reaktörü hacmi eşdeğeri konsantre atığın İOP/UF reaktörden günlük çekiminin yapıldığı işletim altında; atık çekim sayısına bağlı bertarafa gönderilecek nihai konsantre atık debisi değişimleri Şekil 4.249'da, arıtma işlemi neticesinde endüstriyel su geri kazanım oranlarının değişimleri ise Şekil 4.250'de gösterilmiştir.

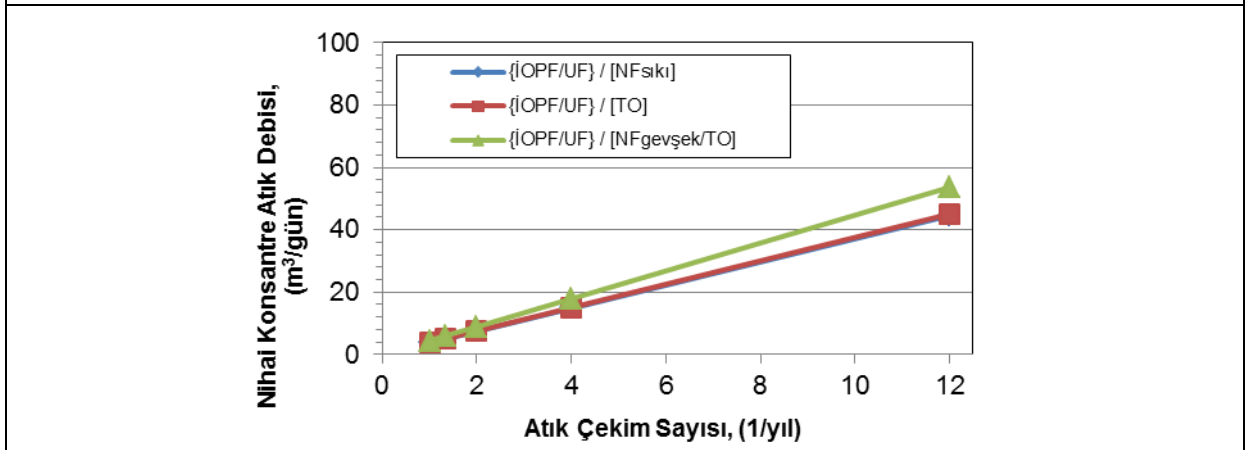
Önerilen sistemlerden $\{\text{İOP/UF}\}/[NF_{\text{sıkı}}]$ sisteminde nihai konsantre atık debisi ve su geri kazanım oranı değerleri; İOP reaktörü hacmi eşdeğeri konsantre atığın sistemden yılda 1-ayda 1 (veya yılda 12) çekileceği atık çekim sayıları aralığında Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC destekli İOP işletimler için sırasıyla 4,1-49,3; 3,7-44,5 ve 3,7-44,64 m³/gün olarak gerçekleşmiştir. Bu nihai konsantre atık debisi değerlerinin, $\{\text{İOP/UF}\}/[TO]$ sisteminde, yukarıda anılan sırada 4,2-50,6; 3,8-49,4 ve 3,7-45,1 m³/gün ile, $[NF_{\text{sıkı}}]$ içerikli yenilikçi önerilen sisteme yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. $\{\text{İOP/UF}\}/[NF_{\text{gevşek}}/TO]$ sisteminde ise nihai konsantre atık debisi değerlerinin 3,9-47,0; 4,2-50,6 ve 4,4-53,7 m³/gün olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu değerler, aynı atık çekim sayısı değerlerinde konvansiyonel içerikli sistemlere göre biraz daha yüksek seviyelerdedir. Bunun sebebi de, konvansiyonel sistemde $\{\text{İOP/UF}\}$ hibrit prosesiyle arıtılan konsantre debisinin daha düşük olması itibarıyla, sistemden çıkan aynı atık sayısındaki konsantre atık miktarının daha düşük olmasındandır. Endüstriyel su geri kazanım oranlarının yılda 1-ayda 1 (veya yılda 12) atık çekim aralığı için; $[NF_{\text{sıkı}}]$ sisteminde 98,9-94,4%; 99,2-95,1% ve 99,2-95,1%; $[TO]$ sisteminde 98,9-94,3%; 99,1-94,6% ve 99,2-95,1%; ve $[NF_{\text{gevşek}}/TO]$ sisteminde de 99,0-94,7%; 99,1-94,5% ve 99,2-94,3% değerlerinde olmak üzere birbirlerine çok yakın ve çok yüksek su geri kazanım değerlerinde oldukları görülmüştür. Bu sonuçlara göre, İOP reaktörden yılda 12 (veya ayda 1) atık çekilerek bertarafın sağlanacağı uygulamada bile; farklı oksidasyon işletimleri için birbirlerine çok yakın değerlerde olmak üzere, önerilen sistemlerde 9,0-10,9 aralığında (konsantre arıtmalı konvansiyonel sistemlerde 41,4-66,3) katlara varan nihai atık miktarı azaltımı sağlanmaktadır. Hedef su kalitesi değerlerinin sağlandığı yeniden kullanım suyu miktarlarında ise, 1,86-1,87 seviyesinde (konsantre arıtmalı konvansiyonel sistemlerde sırasıyla 1,94-1,95) geri kazanım oranı artışları elde edilmektedir.



(a)

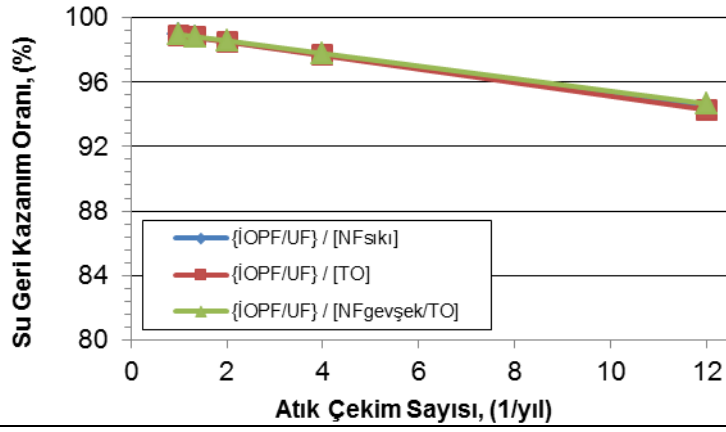


(b)

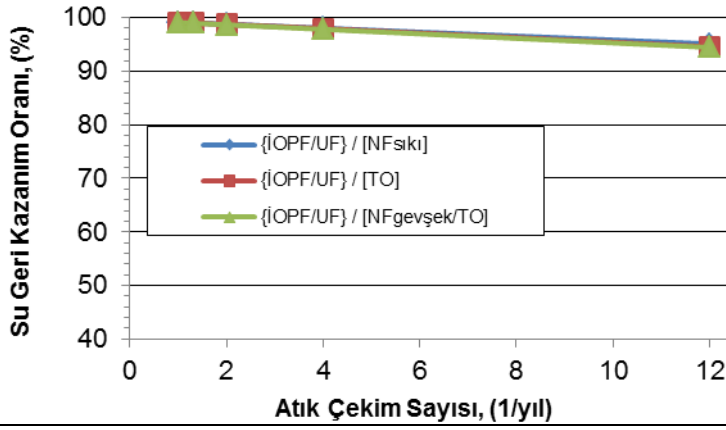


(c)

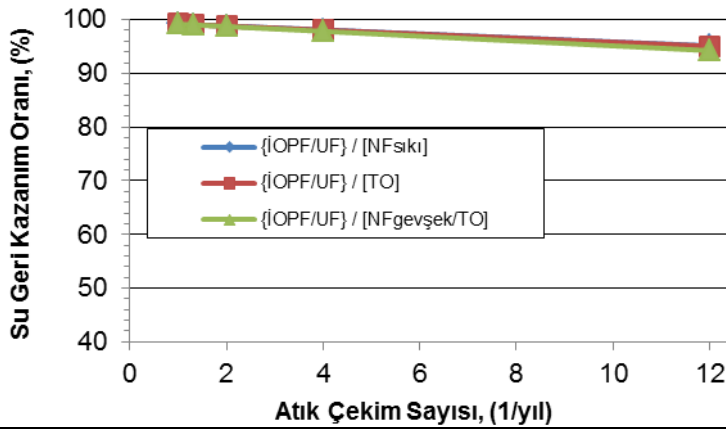
Şekil 4.249 Tekstil atıksuyu için gerçek ölçeğe benzeştirilmiş önerilen sistemlerde, İOP reaktöründen çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantr atık debisinin reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.250 Tekstil atıksuyu için gerçek ölçüğe benzeştirilmiş önerilen sistemlerde, sistemdeki su geri kazanım oranlarının reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)

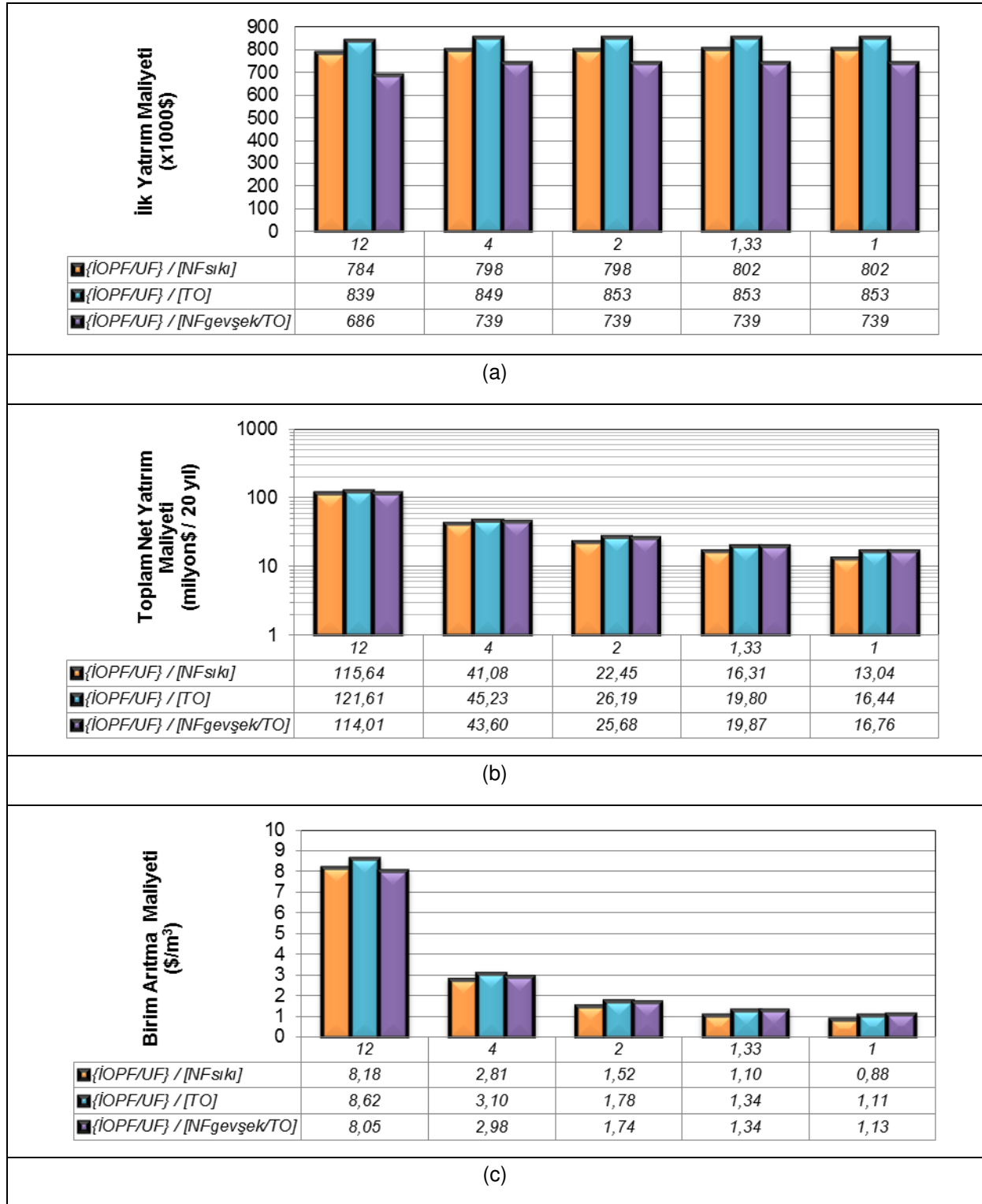
Önerilen sistemler için görüldüğü üzere, geliştirilen yenilikçi hibrit İOP/batık UF reaktörünün, ham tekstil atıksuyu ve membran konsantreleri karışımının arıtma sisteminin ilk adımında beraberce arıtılması için kullanılması ve sonrasında basınç sürücülü membran proseslerle su geri kazanımının yapılması ve bütünleşik sistemde konsantre yönetiminin gerçekleştirilmesi sayesinde; konvansiyonel membran arıtma sisteminde oluşan konsantrelerin geliştirilen bu hibrit İOP/batık UF reaktörü ile arıtılması uygulamalarına (ortak konsantre arıtmalı ve UF konsantre arıtmalı sistemler) kıyasla; Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC işletimlerinin tümü için sıfır/sıfıra yakın sıvı deşarjı yaklaşımından bağımsız olarak, kısmen biraz daha yüksek miktarlarda nihai konsantre atık debisi ve hemen hemen aynı seviyelerde endüstriyel su geri kazanım oranları söz konusu olmaktadır.

✓ Sistemlerin ekonomik performansları ve maliyet analizleri

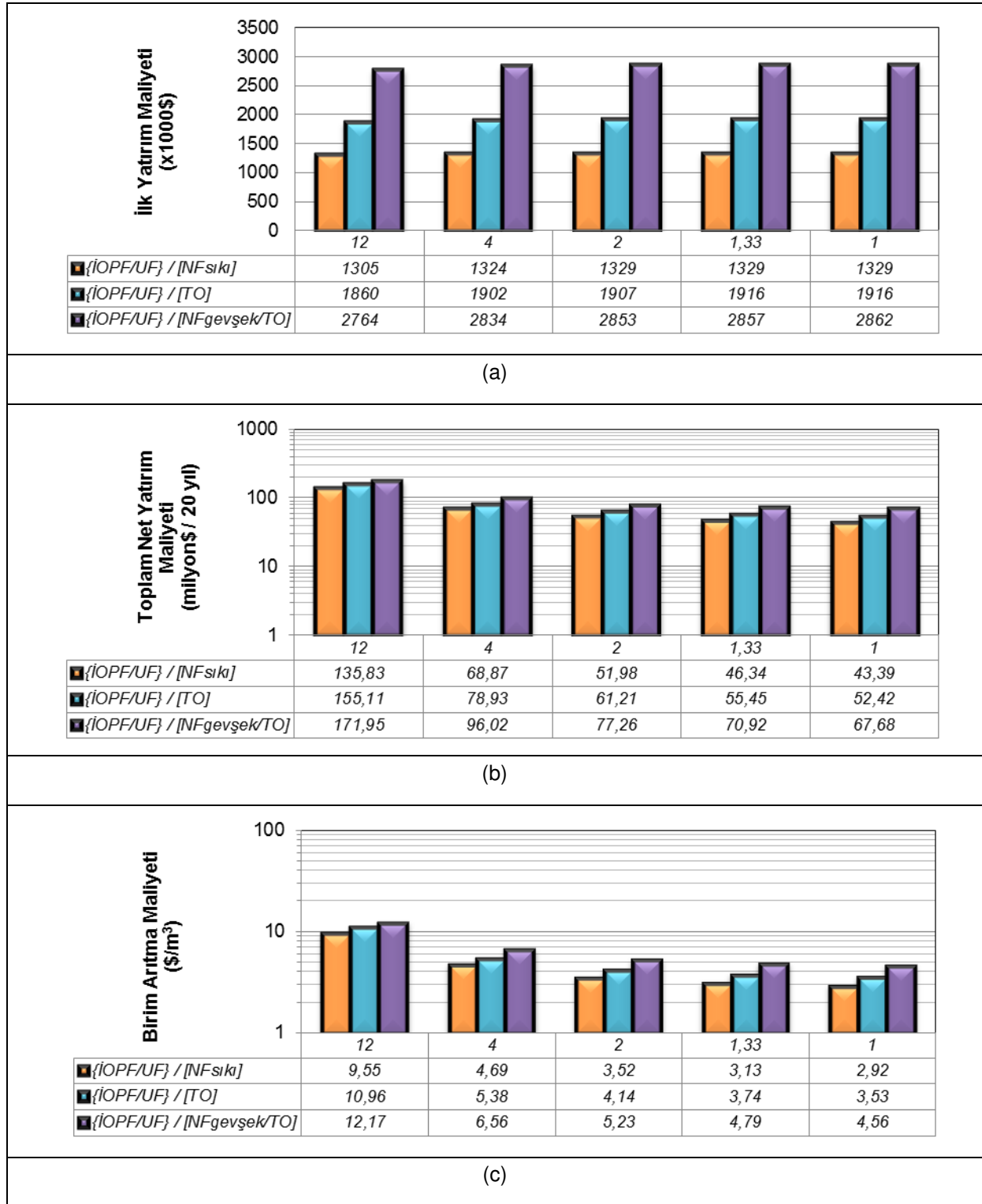
Tekstil atıksuyu için önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin saha ölçek ekonomik performansları; atıksuyun İOP reaktördeki işletim sıcaklıklarına göre Fenton (ısıtmasız) ile Fenton-UVA “doğalgaz-atıl ısı” ısıtmalı ve Fenton-UVC “doğalgaz-atıl ısı” ısıtmalı sistemler için, sıfır sıvı deşarjında sırasıyla Şekil 4.251 ile 252-253 ve Şekil 254-255’de, sıfıra yakın sıvı deşarjında sırasıyla Şekil 256 ile 257-258 ve Şekil 259-260’da gösterilmiştir.

Geliştirilen $\{\text{İOP/UF}\}/[\text{NF}_{\text{sıkı}}]$, $\{\text{İOP/UF}\}/[\text{TO}]$ ve $\{\text{İOP/UF}\}/[\text{NF}_{\text{gevşek}}/\text{TO}]$ sistemlerinin Fenton destekli işletimleri için işletme maliyetleri bileşenleri ise, sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjları için birarada olmak üzere sırasıyla Şekil 4.261, 4.262 ve 4.263’de sunulmuştur.

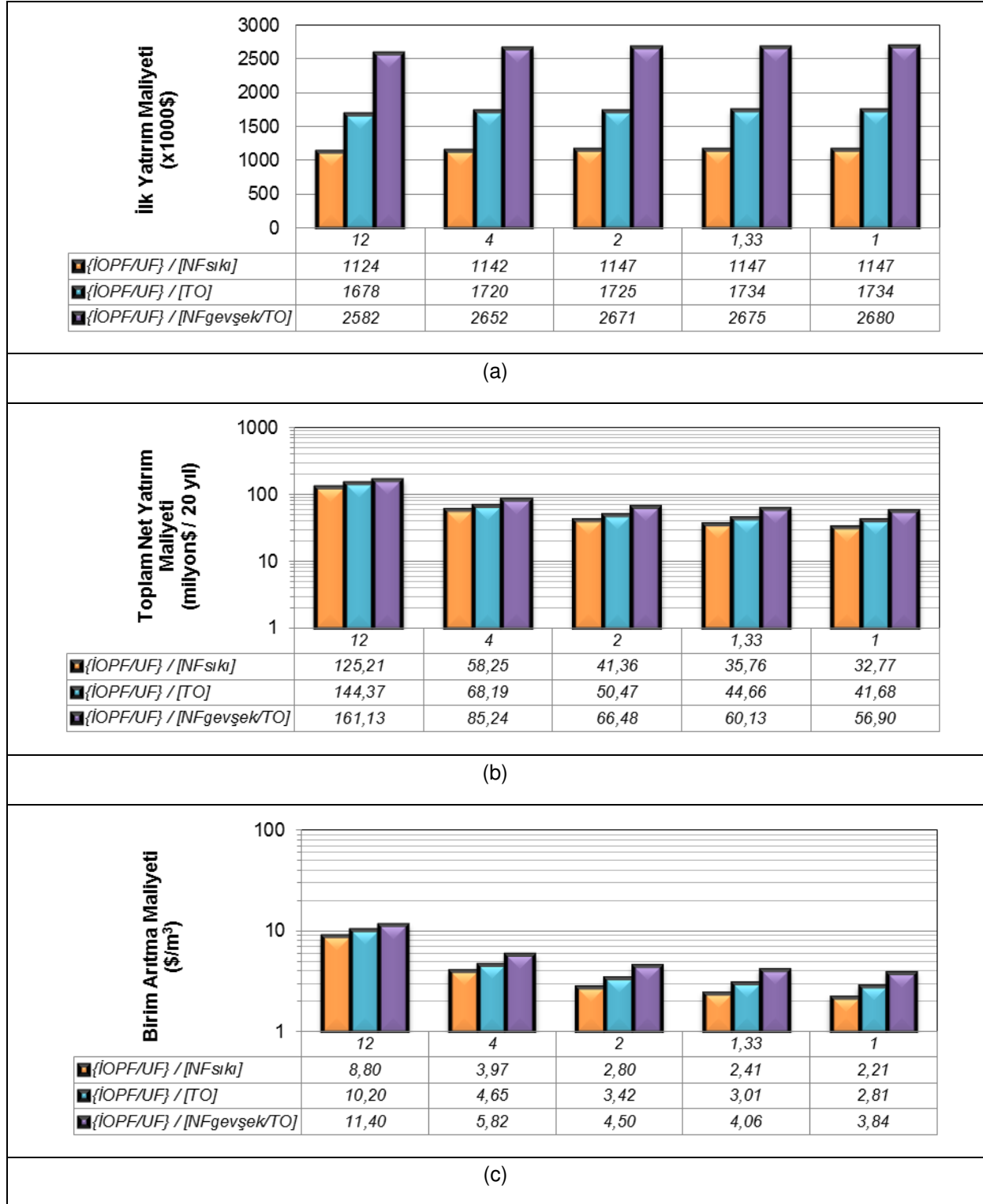
Tekstil atıksuyunun, ilk adımda yer alan hibrit $\{\text{İOP/UF}\}$ reaktörünün sonraki adımda $[\text{NF}_{\text{sıkı}}]$, $[\text{TO}]$ veya $[\text{NF}_{\text{gevşek}}/\text{TO}]$ basınç sürücülü membran proseslerle kombine edilerek geliştirilmiş atıksu arıtma ve su geri kazanımı ile konsantre arıtımı/bertaraf sistemlerinin saha ölçek işletim maliyetlerinin, tasarlanan her bir sistem için sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjları için çok farklı değerlerde olduğu belirlenmiştir. Konsantre arıtmalı konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi nihai konsantre atığın; tesis dışında insinerasyonla yakılarak kalan nihai katısının tesise yaklaşık 10 km mesafede bulunduğu varsayılan bir endüstriyel nihai düzenli depolama sahasında depolanarak bertarafının, sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca yine tesise yaklaşık 10 km mesafede konuşlandığı varsayılan bir merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisinde arıtım sonrası kanala ya da alıcı ortama deşarj edildiği uygulamaya kıyasla daha yüksek toplam tesis arıtma maliyetlerinde sağlanabileceği tespit edilmiştir. Aynı şekilde, azalan atık çekim debisine ya da atık çekim sayısına bağlı olarak aradaki maliyet farklarının da; eşdeğer konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi ayda bir İOP reaktör hacmi eşdeğeri atık çekimindeki daha yüksek farklardan, yılda bir atık çekimindeki daha düşük fark seviyelerine azaldığı saptanmıştır.



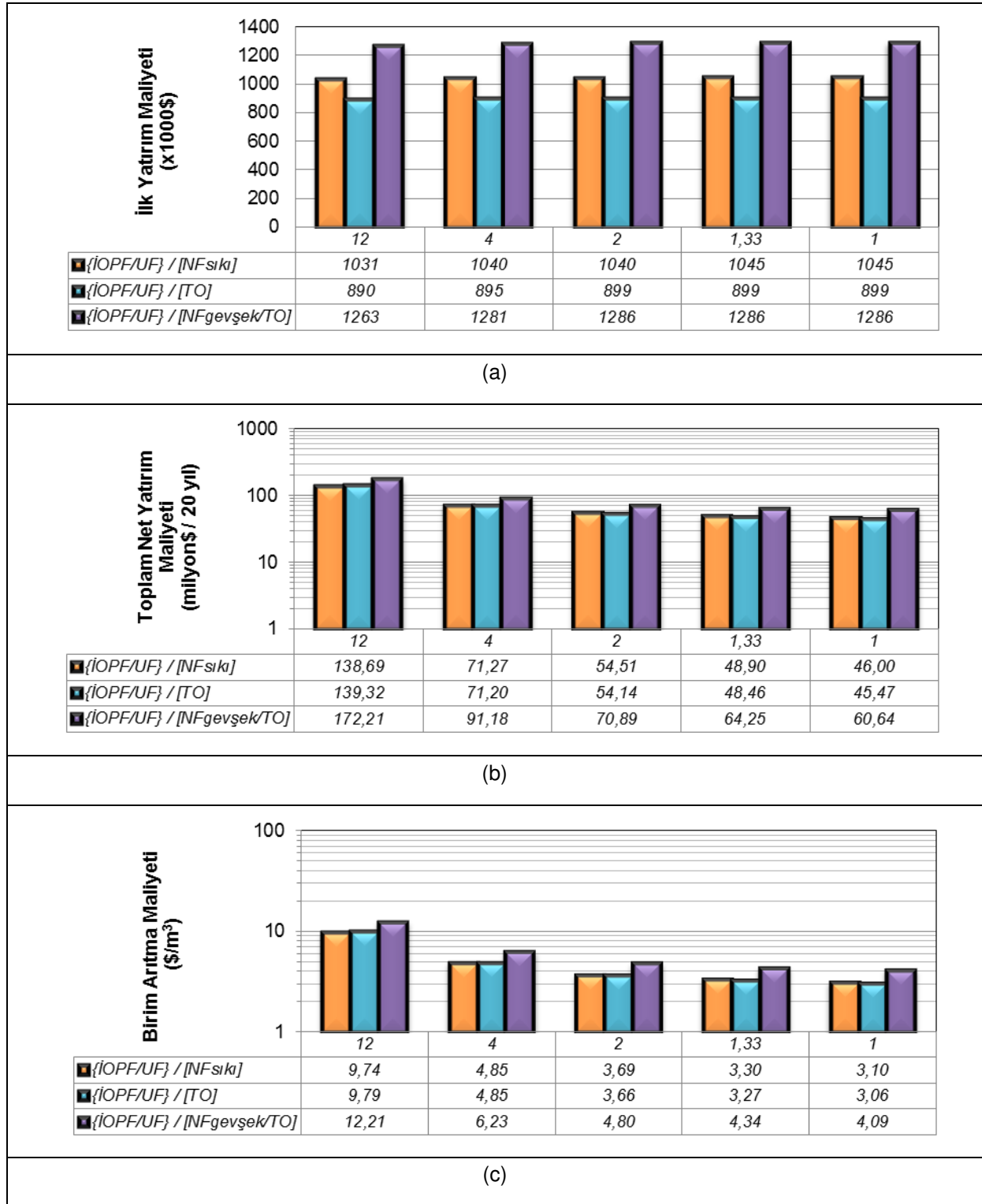
Şekil 4.251 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton destekli önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrte bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³))



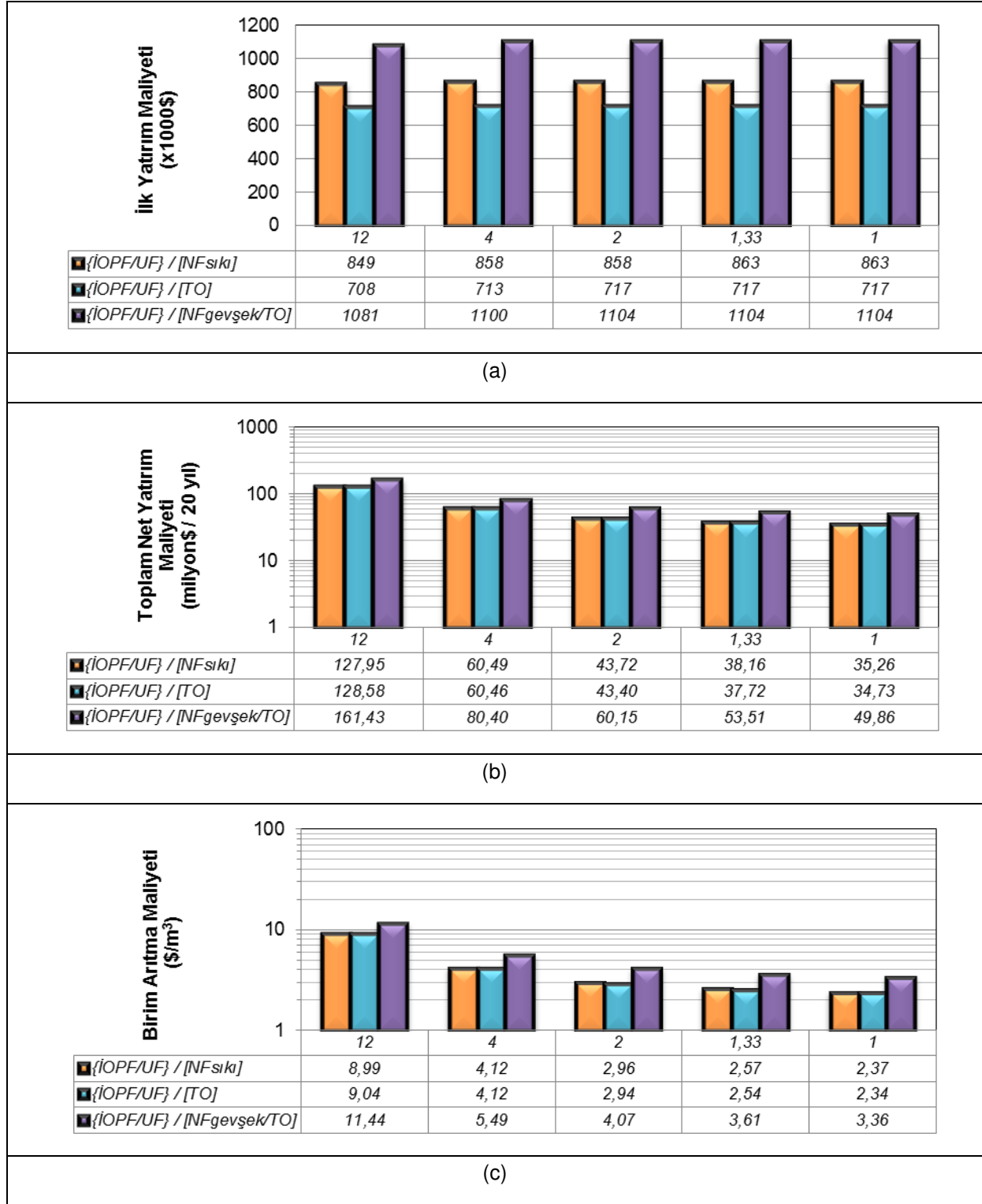
Şekil 4.252 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVA destekli doğalgaz ısıtımli önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağıli değışen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



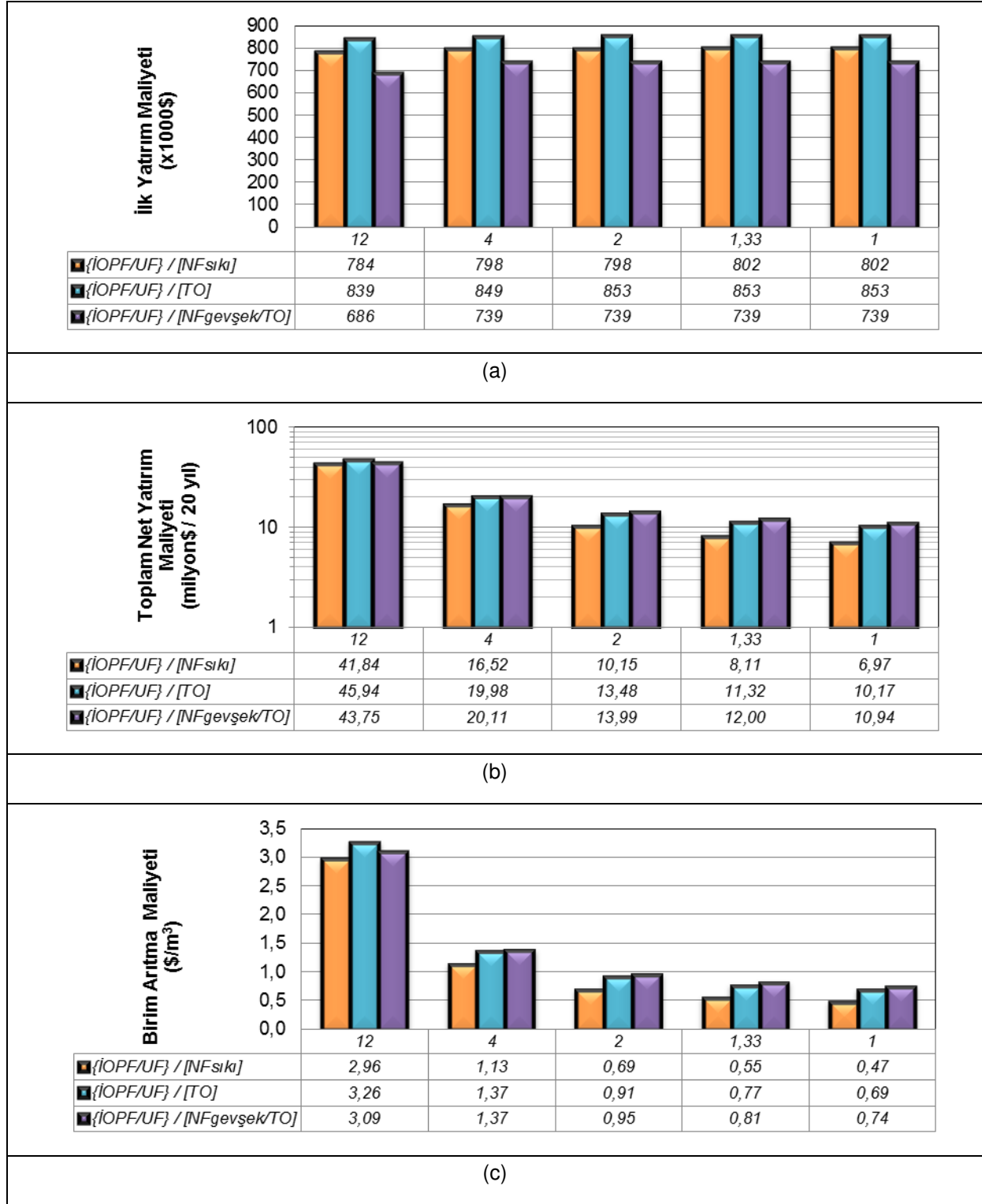
Şekil 4.253 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVA destekli atıl ısı ısıtımali önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



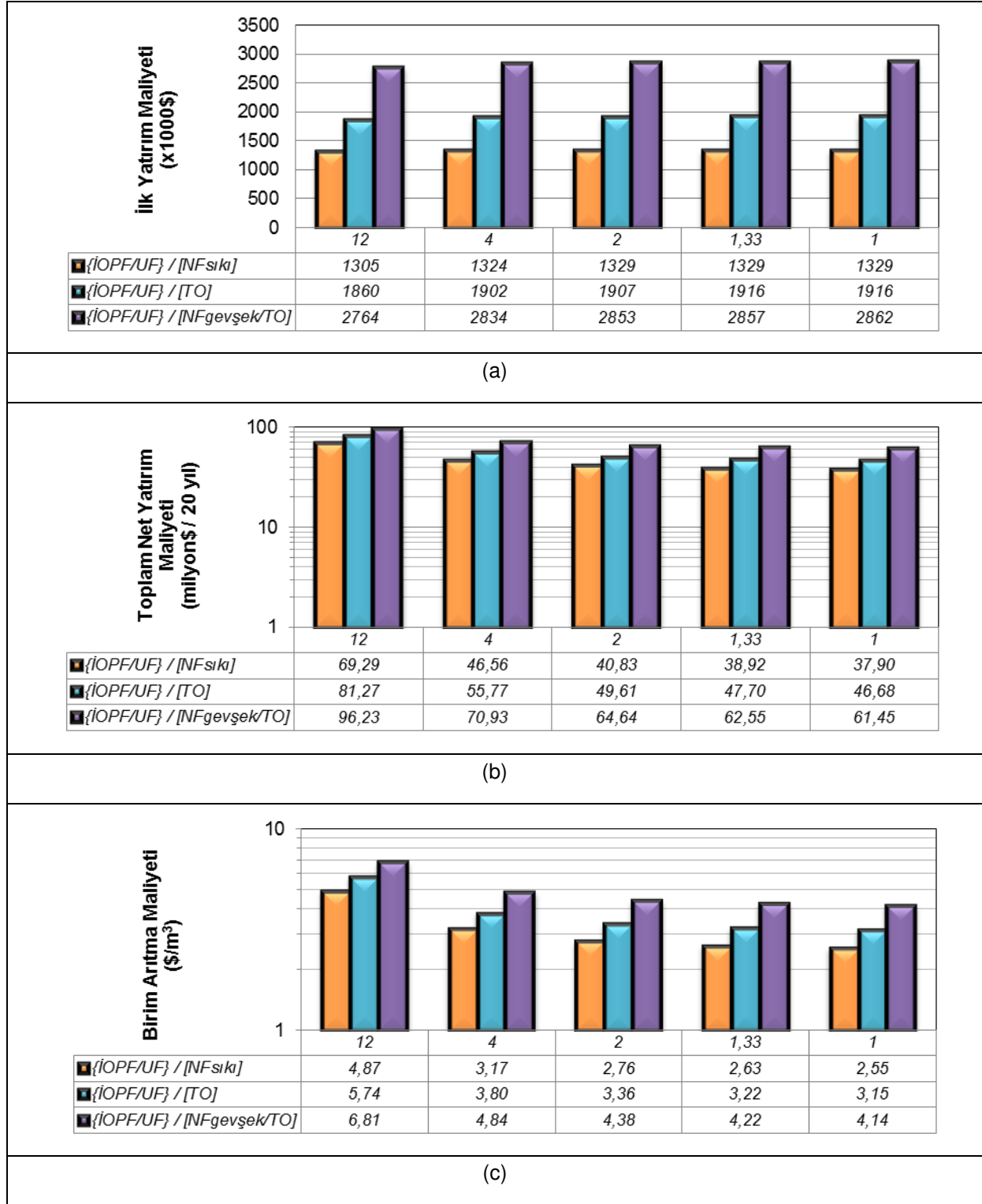
Şekil 4.254 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVC destekli doğalgaz ısıtımli önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağıli değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³))



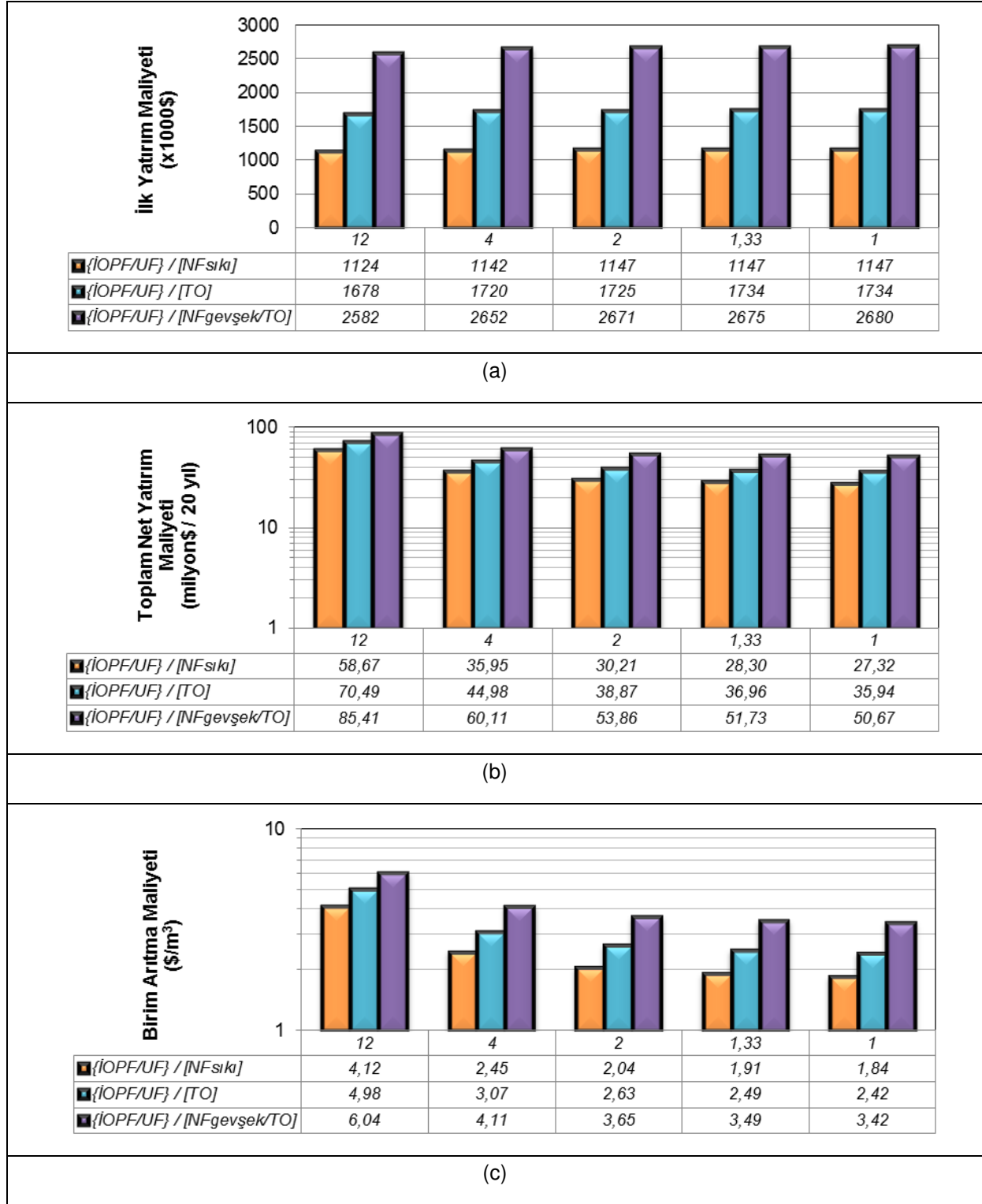
Şekil 4.255 Sıfır sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVC destekli atıl ısı ısıtımali önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³)



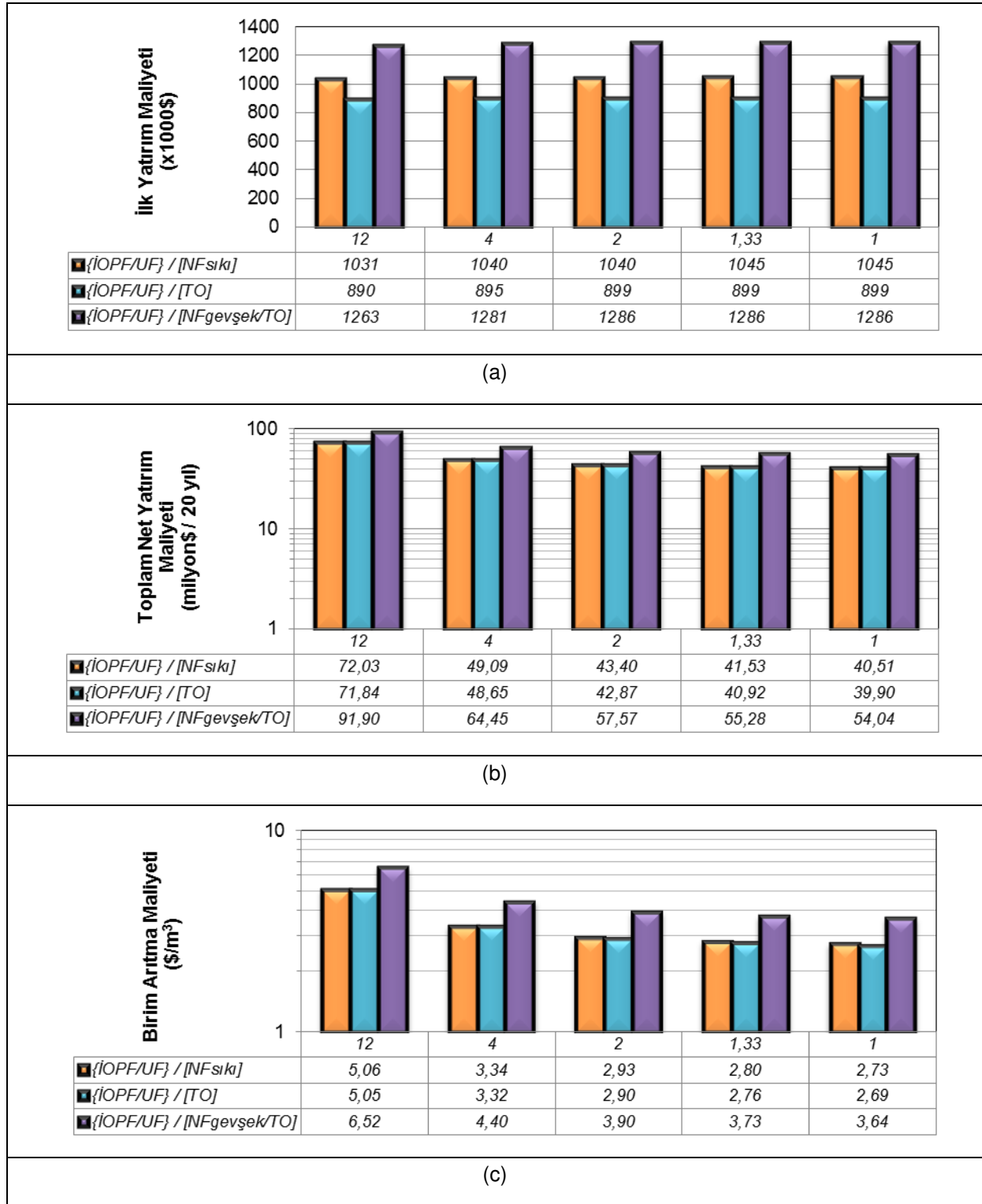
Şekil 4.256. Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton destekli önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrte bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³))



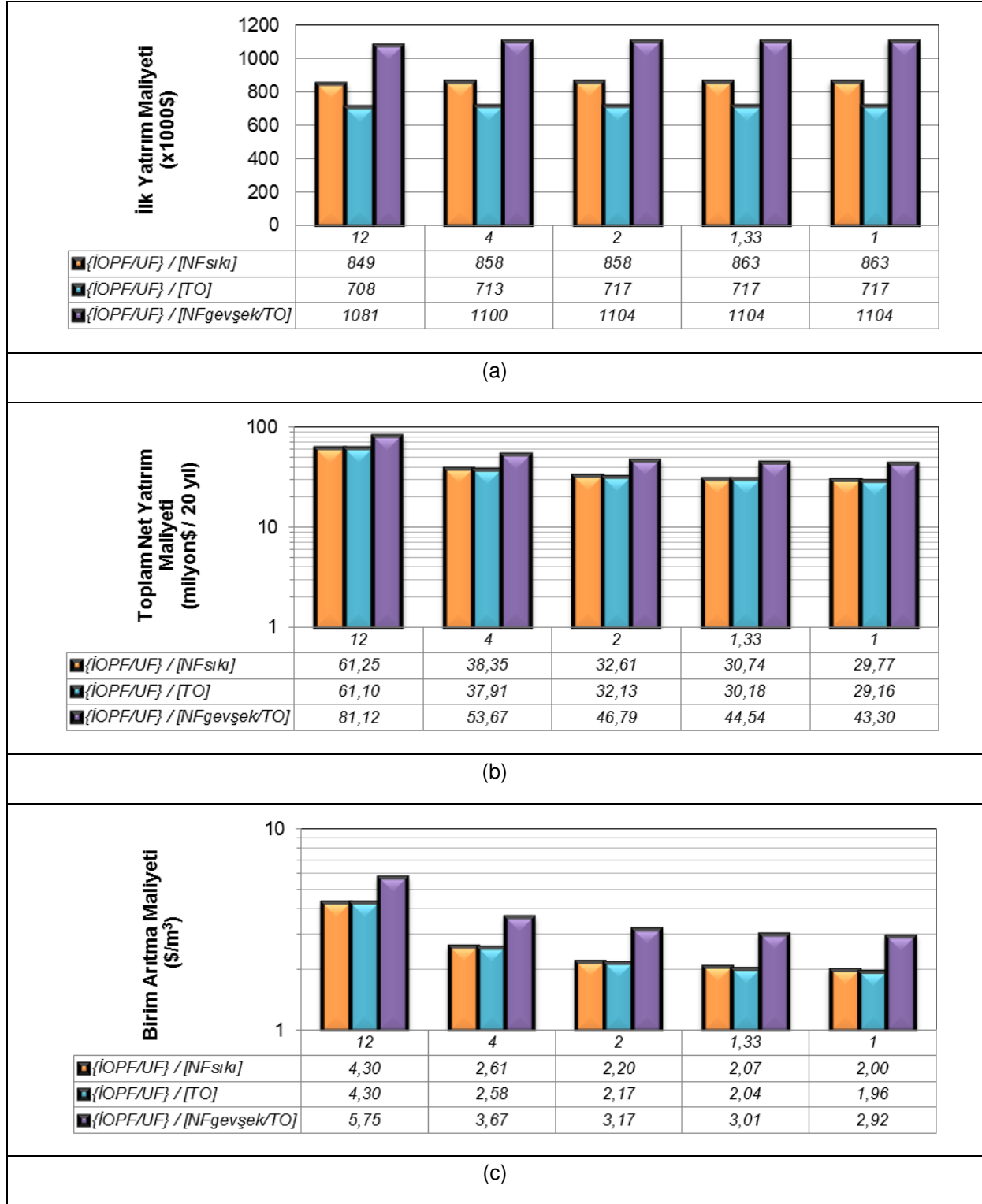
Şekil 4.257 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVA destekli doğalgaz ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrite bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³)



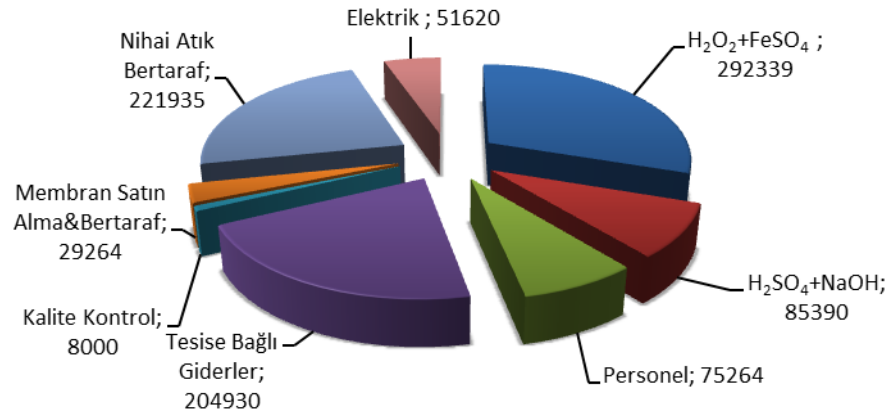
Şekil 4.258 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVA destekli atıl ısı ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrte bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağılı değışen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



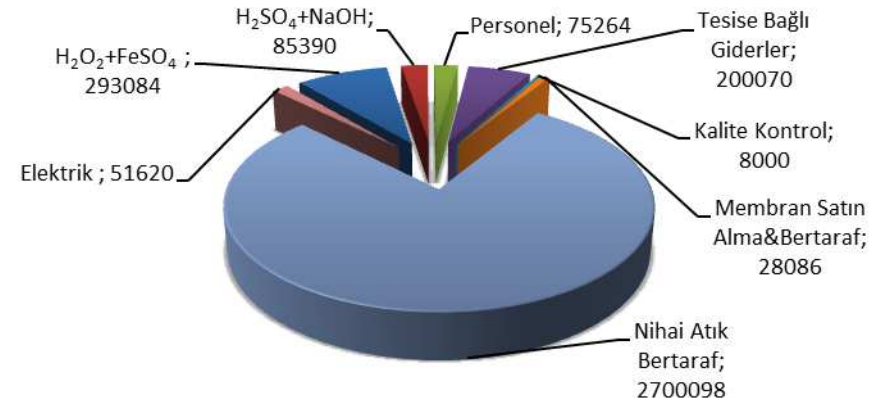
Şekil 4.259 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVC destekli doğalgaz ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrite bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³)



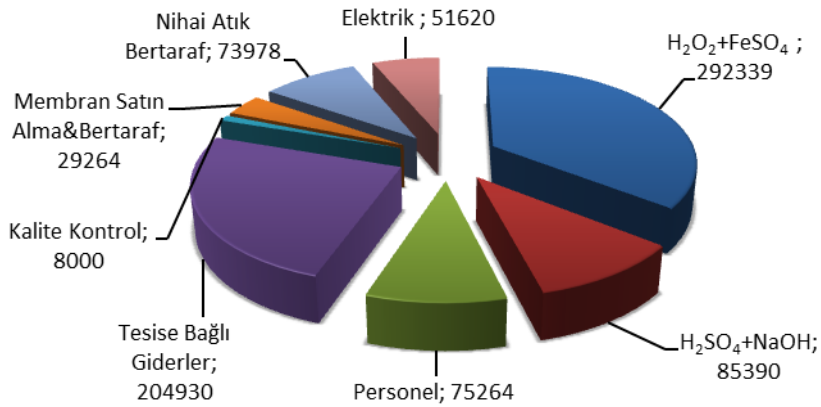
Şekil 4.260 Sıfıra yakın sıvı deşarjında tekstil atıksuyu için Fenton-UVC destekli atıl ısı ısıtılmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrte bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağılı değışen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³)



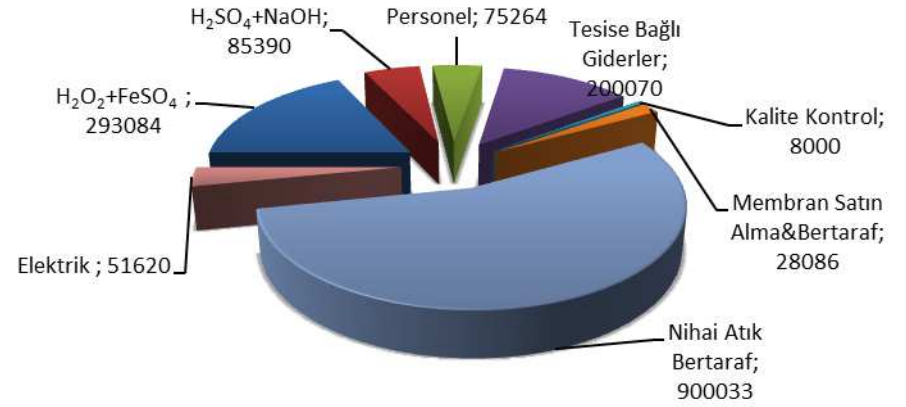
(a)



(b)

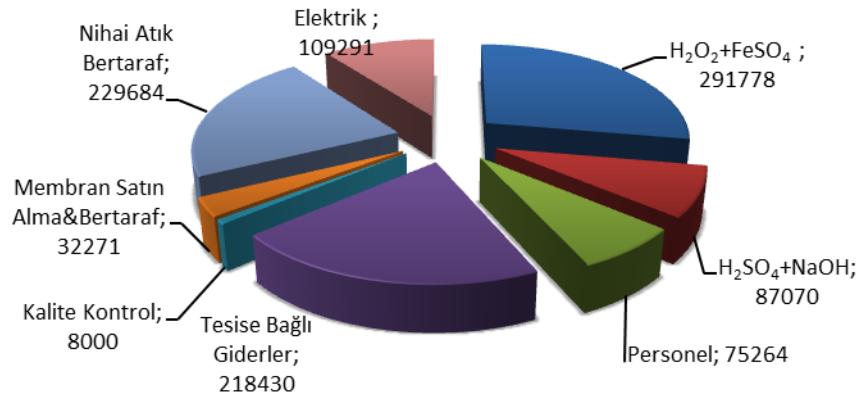


(c)

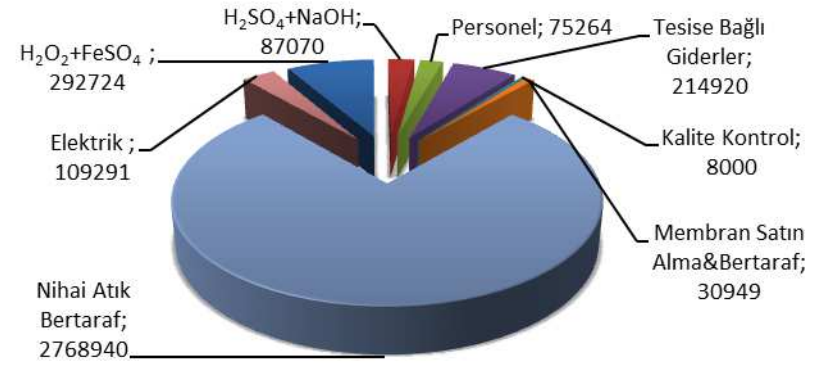


(d)

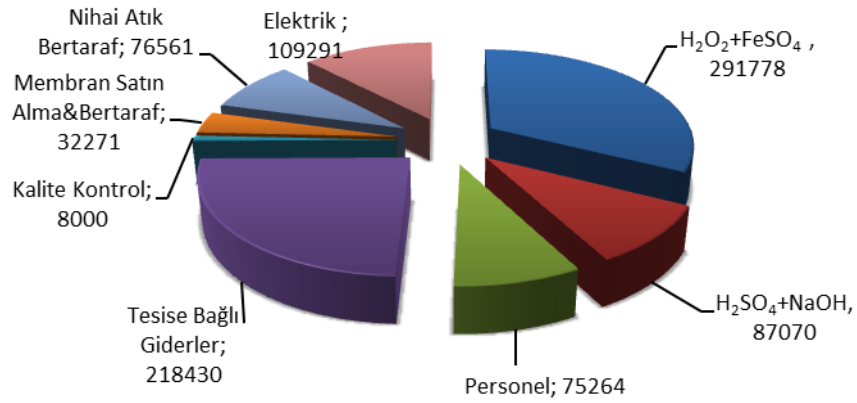
Şekil 4.261 Sıfır deşarjı yaklaşımına ve atık çekim sayısına bağlı Fenton destekli önerilen {OP/UF}/[NF_{sıkı}] sisteminin işletme maliyet bileşenleri ve değerleri (\$/yıl) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))



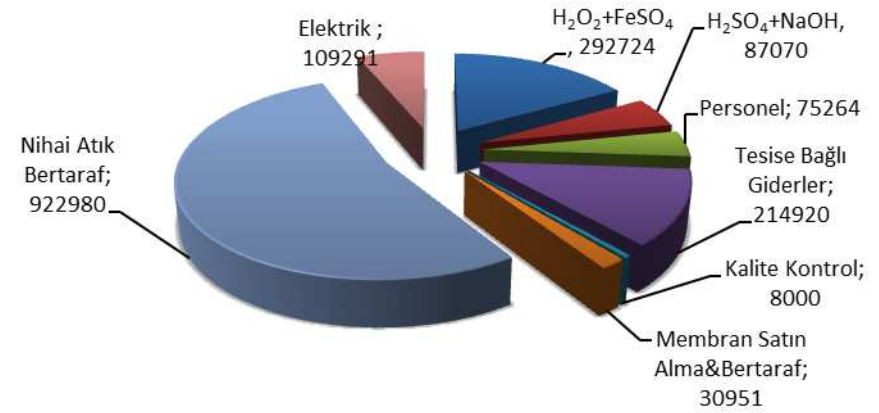
(a)



(b)

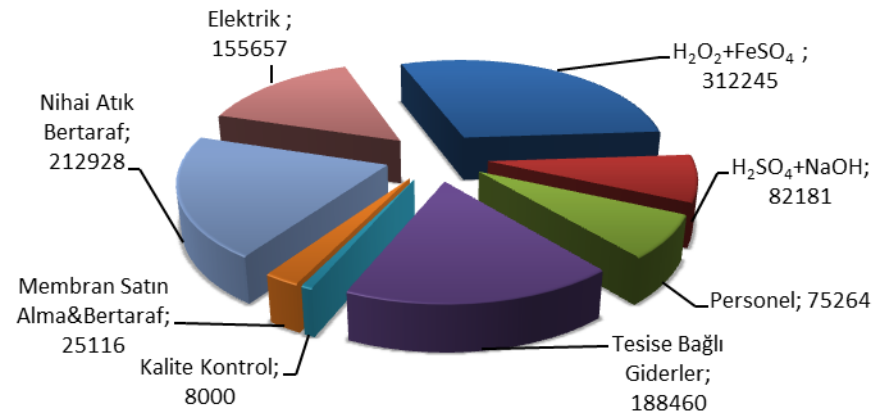


(c)

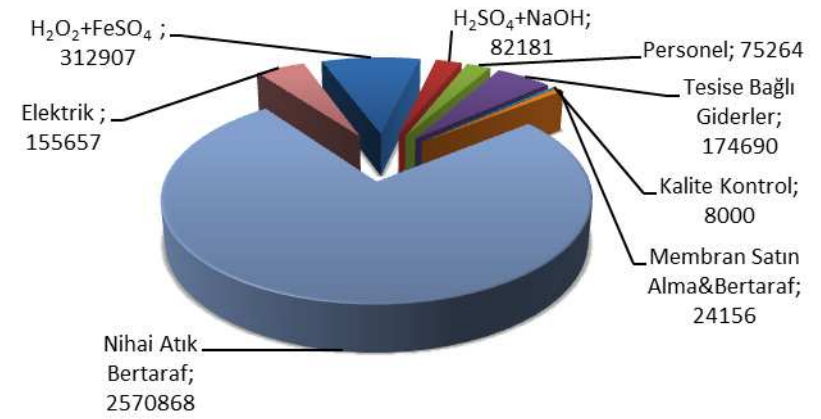


(d)

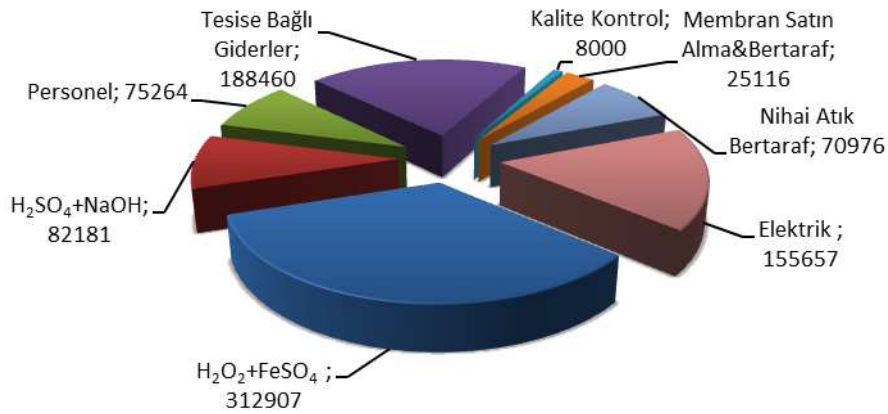
Şekil 4.262 Sıfır deşarjı yaklaşımına ve atık çekim sayısına bağlı Fenton destekli önerilen {İOP/UF}/[TO] sisteminin işletme maliyet bileşenleri ve değerleri (\$/yıl) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))



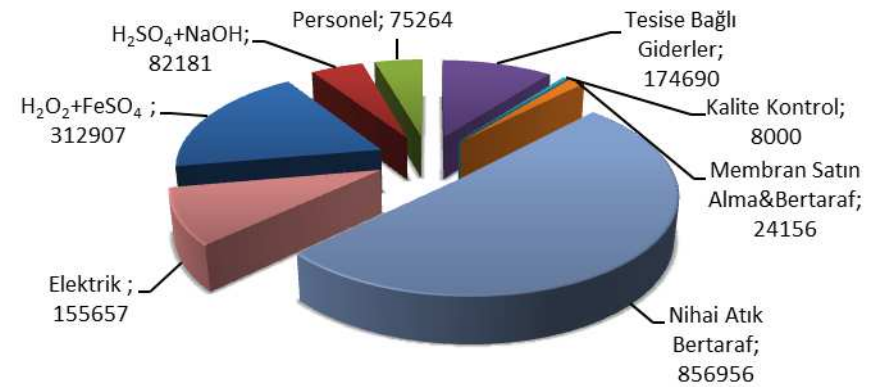
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.263 Sıvı deşarjı yaklaşımına ve atık çekim sayısına bağlı Fenton destekli önerilen $\{[OP/UF]/[NF_{gevşek}/TO]\}$ sisteminin işletme maliyet bileşenleri ve değerleri (\$/yıl) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))

Tekstil atıksuyunun sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjları için en ekonomik çözümlerine, konsantre arıtmalı konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi, UVA-Fenton ve UVC-Fenton uygulamalarına kıyasla Fenton destekli hibrit İOP arıtımıyla ulaşılmıştır. Sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjlarında, Fenton, UVA-Fenton ve UVC-Fenton destekli önerilen sistemlerde, yılda 1/yılda 12 (veya ayda 1) atık çekimlerinde ilk yatırım (\$) maliyetlerinin her bir proseste değişen atık çekim miktarına bağlı olarak pek değişmediği, ancak toplam net yatırım maliyeti değerlerinin yılda 1'den ayda 1'e farklı oranlarda artışlarla değiştiiği belirlenmiştir.

Sıfır sıvı deşarjında, Fenton proses destekli $[NF_{sıkı}]$, $[TO]$ veya $[NF_{gevşek}/TO]$ kombinasyonlu önerilen sistemlerde birim arıtma maliyeti değerlerinin; yılda 1 atık çekimi için sırasıyla 0,88, 1,11 ve 1,13 $\$/m^3$ lük uygulamada çok tercih edilir maliyet değerlerinden, ayda 1 atık çekimi için sırasıyla 8,18, 8,62 ve 8,05 $\$/m^3$ lük uygulamada pek tercih edilir olmayacak maliyet değerlerine arttığı görülmüştür. Ancak, önerilen sistemlerin, 3 ayda 1 İOP tasarım hacmi eşdeğeri atığın reaktörden çekilerek nihai atık bertarafına gönderileceği durumda, 3.0 $\$/m^3$ seviyesi ve altını gören işletimlerin, uygulamada tercih edilebilirlik bakımından dönüm noktası olacağı değerlendirilmektedir (Hem UVA-Fenton hem de UVC-Fenton'un doğal gaz ve atıl ısı ısıtmalı sistemleri için, sırasıyla yılda 1 ve yaklaşık 6 ayda 1 atık çekimi yapılması halinde).

Sıfıra yakın sıvı deşarjında ise, ayda 1 atık çekim durumunda dahi, 3,0 $\$/m^3$ seviyesi ve altını gören işletimler söz konusu olmakta ve yılda 1 atık çekiminde yukarıda anılan sıradaki Fenton proses destekli sistem kombinasyonlarında 0,47, 0,69 ve 0,74 $\$/m^3$ lük en düşük arıtım, kazanım ve bertaraf maliyetlerine ulaşılmaktadır (Hem UVA-Fenton hem de UVC-Fenton'un doğal gaz ve atıl ısı ısıtmalı sistemleri için, sırasıyla yaklaşık 6 ayda 1 ve yaklaşık 2-3 ayda 1 atık çekimi yapılması durumunda). Fenton destekli önerilen sistemlerin işletimi için belirlenmiş birim arıtma maliyetlerinin, 1,0 $\$/m^3$ seviyesinin altında ve neredeyse deniz suyu desalinasyon maliyetlerine eşdeğer mertebelerde olduğu görülmektedir.

Bu sistemlere ait tahmin edilen saha ölçek ilk yatırım ve toplam net yatırım maliyet değerleri ışığında belirlenmiş birim arıtma maliyeti değerleri; bu proje kapsamında geliştirilmiş "önerilen" endüstriyel atıksu arıtma, su geri kazanımı ve konsantre yönetim sistemlerinin, sahada tekno-ekonomik olarak başarıyla uygulanabilir ve yüksek tercih edilebilirlik önceliğine haiz yenilikçi arıtma sistemleri olduğunun açık bir kanıtı olmaktadır (Nitekim, ortak konsantre arıtmalı ve UF konsantresi arıtmalı konvansiyonel sistemler için bile, yılda 1-ayda 1 atık çekimlerdeki birim arıtma maliyetleri sırasıyla 1.82-3.35 ve 1.72-2.30 $\$/m^3$ olarak tahmin edilmişti.).

En iyi maliyetleri veren Fenton destekli $[NF_{sıki}]$, $[TO]$ veya $[NF_{gevşek}/TO]$ kombinasyonlu önerilen sistemlerin sıfır sıvı deşarjındaki işletme maliyetleri bileşenlerinin, sıfıra yakına göre farklılaşan tek bileşeninin, konsantre arıtmalı konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi nihai atık bertaraf maliyeti olduğu görülmektedir. Bu bileşenin özellikle düşük işletme periyodundaki atık üretilmesi durumu pratikte söz konusu olursa, sıfır deşarjdaki atık maliyetlerinin sıfıra yakına göre çok yüksek değerlere çıkacağı açıkça anlaşılmaktadır. Her iki deşarj yaklaşımı uygulamasında da, işletme maliyetlerine katkı veren temel bileşenlerin yılda 1 atık çekimi için $H_2O_2+FeSO_4$, nihai atık bertarafı, elektrik sarfiyatı ve tesise bağlı giderler (amortisman, sigorta, yerel vergi, bakım ve onarım, vd.) ağırlıklı olduğu; ayda 1 atık çekimi halinde ise en önemli maliyet kalemini, konsantre arıtmalı konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi nihai atık bertarafının oluşturduğu tespit edilmiştir. Tekstil atıksuyu için yapılan saha benzeştirmeleri neticesinde maliyet sonuçları üzerinden görülen bu durum sebebiyle, diğer yoğun su tüketilen endüstrilerin atıksularının arıtılması halinde; konsantre arıtmalı konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi, atıksudaki oksidasyona dirençli organik kirlenici yüklerinin de önemle dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Bu hususla ilgili değerlendirmeler, geliştirilen teknolojik çözümlerin ekonomik performanslarının, diğer endüstriyel atıksulara genelleştirilmelerinin yapıldığı bir sonraki alt bölüm başlığı altında ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

4.5.2 Kağıt Atıksuyu

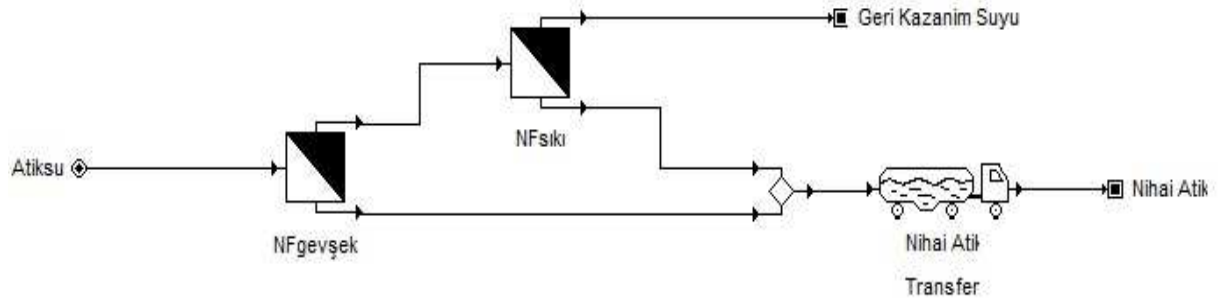
4.5.2.1 Etkinliği bilinen arıtma sistemleri ($[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]$)

Kağıt atıksuyu için literatürden etkinliği bilinen atıksu arıtma ve su geri kazanımı/konsantre arıtım ve bertaraf sistemleri; $[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]$ bütünleşik membran sistemi düzeninde olmak üzere, membran konsantreleri bertarafının 2 farklı sistem/arıtma işletimi içeriğinde uygulandığı esaslarda ayrı ayrı gerçek ölçekte benzeştirilmiş; şahit işletim deneylerine göre İOP reaktörün hidrolik bekletme süresi (İOP/UF hacimsel su oranı değeri), 1,19 gün (1,19) olarak benzeşimler yerine getirilmiştir.

I. tasarım, membran konsantrelerinin bir arada toplanıp tesis dışında sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca bertarafının yapıldığı $[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]$ sistemini; II. tasarım, konsantre akım toplamlarının İOP/UF ile arıtılmaları sonrasında tesis dışında sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca bertarafının yapıldığı $[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]/\{İOP/UF\}$ sistemini ifade etmektedir.

✓ $[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]$ sistemi

$[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]$ atıksu arıtma, su geri kazanımı ve konsantre bertaraf sistemine ait proses akış şeması Şekil 4.264'de gösterilmiştir. Sistemde membran proseslerin günlük çalışma düzenleri Şekil 4.265'de sunulmuştur.



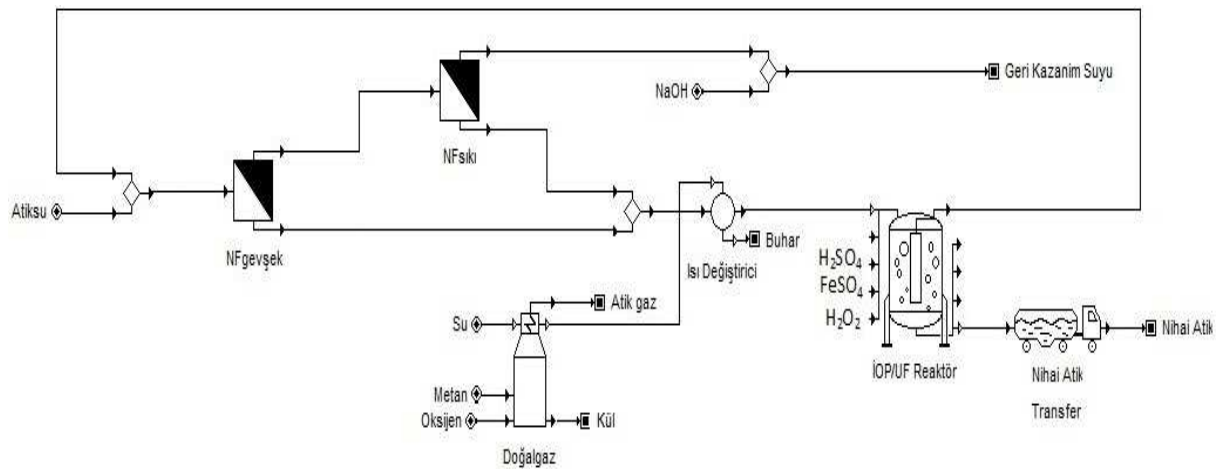
Şekil 4.264 $[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]$ sistemi proses akış şeması

NF _{gevşek}					
NF _{sıki}					
h	8	16	24	32	
day		1		2	

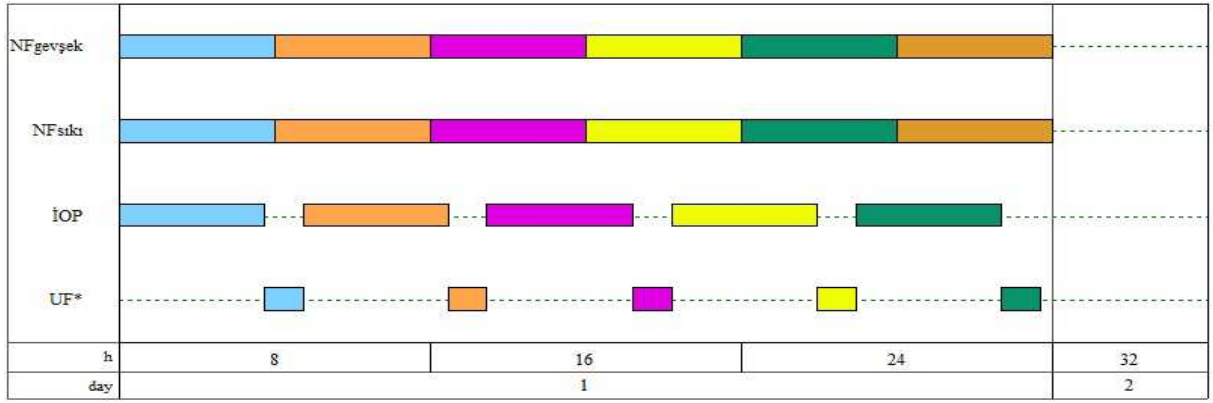
Şekil 4.265. $[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]$ sistemi günlük proses çalışma düzeni

✓ $[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]/\{İOP/UF\}$ sistemi

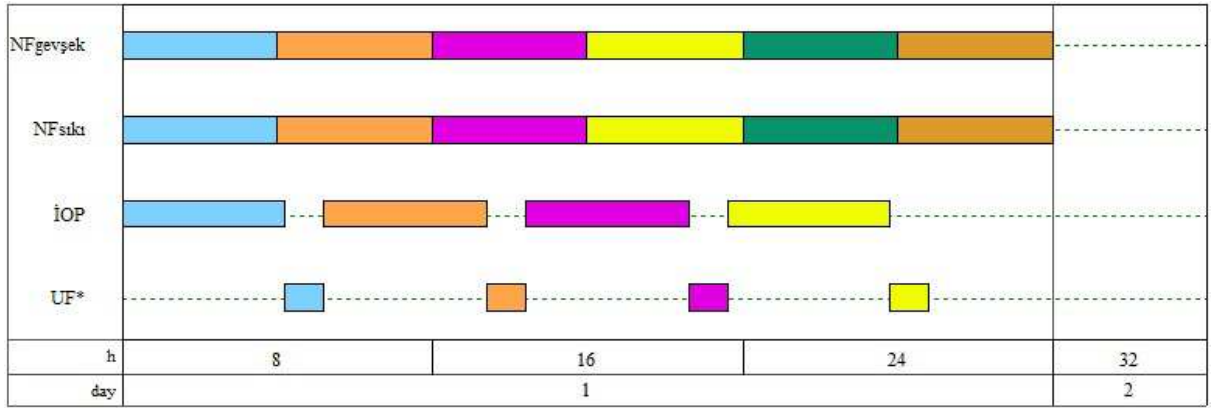
$[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]/\{İOP/UF\}$ atıksu arıtma, su geri kazanımı, konsantre arıtım ve bertaraf sistemlerine ait proses akış şemaları Şekil 4.266'de verilmiştir. Şekilde doğal gaz ısıtım tasarımları gösterilmiş olup, atıl ısı ısıtım sistemde ısıtma ünitesi bulunmamaktadır. Sistemde proseslerin, İOP/UF hibrit reaktörünün işletimine bağlı olarak günlük ardışık çalışma düzenleri, Şekil 4.267'te gösterilmiştir.



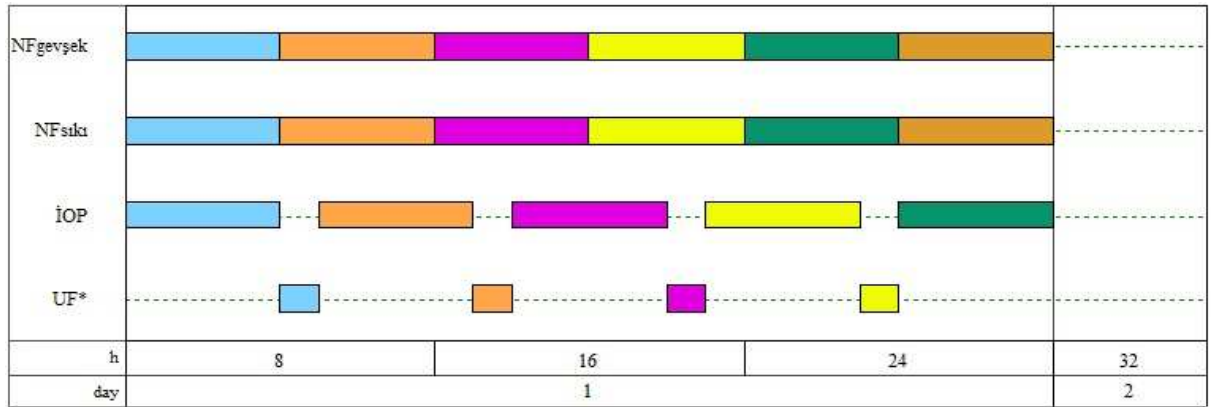
Şekil 4.266 Doğal gaz ısıtım $[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]/\{İOP/UF\}$ sistemi proses akış şeması



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.267 [NF_{gevşek}/NF_{sıkı}]/{İOP/UF} sisteminin günlük proses çalışma düzenleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)

Kağıt atıksuyu için etkinliği bilinen sistemlerdeki NF_{gevşek} ve NF_{sıkı} prosesleri, eşzamanlılık esasında sürekli işletimli gerçek ölçeğe benzeştirilmiştir. İOP reaktörde, uzun süreli kararlı

hal işletim performanslarından belirlenmiş sırasıyla 224, 252 ve 240 dakikalık reaksiyon sürelerindeki Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC işletimleri, konsantre arıtımsız uygulama hariç, İOP reaktör sonrası 60 dakika süresince UF süzöntü suyu eldesinin sağlandığı konsantre arıtımı düzeninde gerçekleştirilmiştir. İOP reaktörü hacmi eşdeğeri konsantre atığın, İOP/UF batık reaktörden günlük olarak eşdeğer miktarca atığın çekimin yapıldığı işletim altında; atık çekim sayısına bağlı İOP reaktörden çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantre atık debisinin değişimleri Şekil 4.268'te, arıtma işlemi neticesinde su geri kazanım oranlarının değişimleri ise Şekil 4.269'te sunulmuştur. Konvansiyonel sistemlerden konsantre arıtımsız $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]$ sisteminde, nihai konsantre atık debisi ve su geri kazanım oranı değerleri; sistemde İOP/UF reaktörüyle konsantre arıtım işlemi bulunmadığı için atık çekim sayısından bağımsız olarak sırasıyla 418,9 m³/gün ve %41,9'dir.

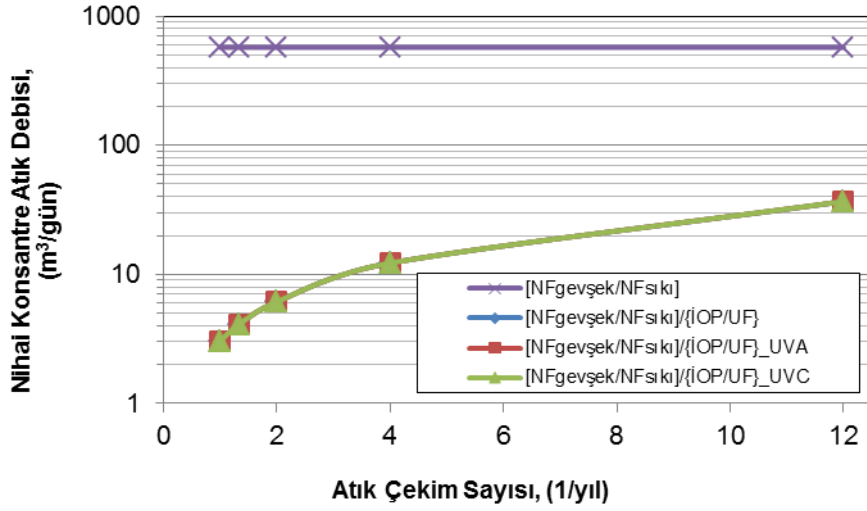
İOP reaktörü hacmi eşdeğeri konsantre atığın, ortak konsantre arıtmalı $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{\text{İOP/UF}\}$ sistemindeki yılda 1-ayda 1 (veya yılda 12) atık çekim sayıları aralığı için nihai konsantre atık debileri, sıfır/sıfıra yakın sıvı deşarjları için aynı değerlerde olmak üzere Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC destekli İOP işletimlerinde sırasıyla 3,0-36,7; 3,0-36,8 ve 3,1-36,8 m³/gün olarak tespit edilmiştir. Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC destekli konsantre arıtmalı İOP işletimlerinde saha ölçek tasarımında sistemlerin kararlı hal İOP reaktör hacimleri birbirine çok yakın olduğu için bertarafa gönderilecek atık debilerinin de birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bununla birlikte su geri kazanım oranı değerleri, konsantre arıtımsız $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]$ sistemine kıyasla yukarıda anılan İOP işletimleri sırasında 99,3-95,9%; 99,5-96,1% ve 99,3-95,9%'ye artmıştır.

Bu sonuçlar göstermektedir ki, geliştirilen yenilikçi hibrit İOP/batık UF reaktörüyle konsantre arıtımının yapılması ve beraberinde konsantre yönetiminin de uygulanması sayesinde, tesis dışında insinerasyonla yakılarak veya merkezi endüstriyel arıtma tesisinde arıtılarak bertaraf edilecek nihai konsantre atık miktarında, İOP reaktörden yılda1-yılda 12 (veya ayda 1) atık çekilerek bertarafın sağlanacağı uygulamada bile; Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC işletimleri için yaklaşık 139,6-11,4 kat oranlara varan nihai bertaraf edilecek atık miktarı azaltımı sağlanmakta olup, hedef su kalitesi değerlerinin sağlandığı endüstriyel yeniden kullanım suyu miktarlarında 2,37-2,29 katlara ulaşılan değerler ile yaklaşık 2,5 kata varan seviyelerde su geri kazanım artışları sağlanmıştır.

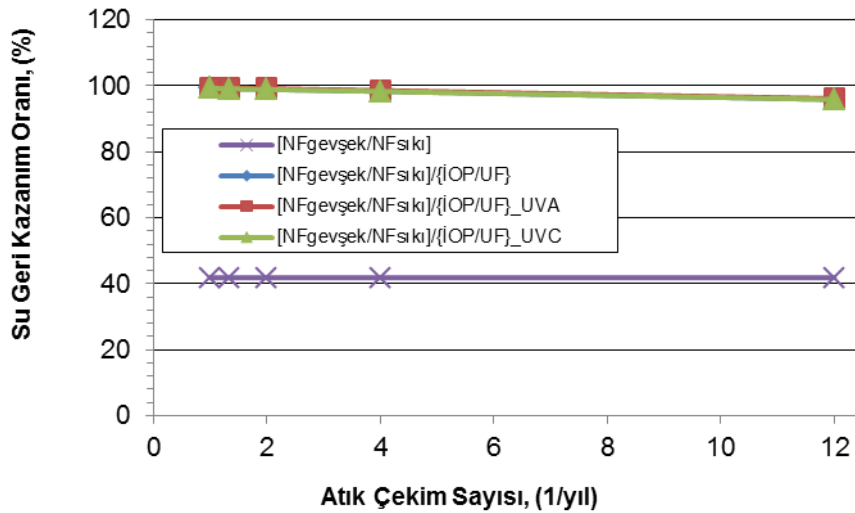
✓ **Sistemlerin ekonomik performansları ve maliyet analizleri**

Kağıt atıksuyu için etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin saha ölçek ekonomik performansları; konsantre arıtımsız ve atıksuyun İOP reaktördeki işletim sıcaklıklarına göre doğal gaz ve atıl ısı ısıtılmalı Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC destekli konsantre arıtmalı sistemlerin tamamı için sırasıyla, sıfır sıvı deşarjında

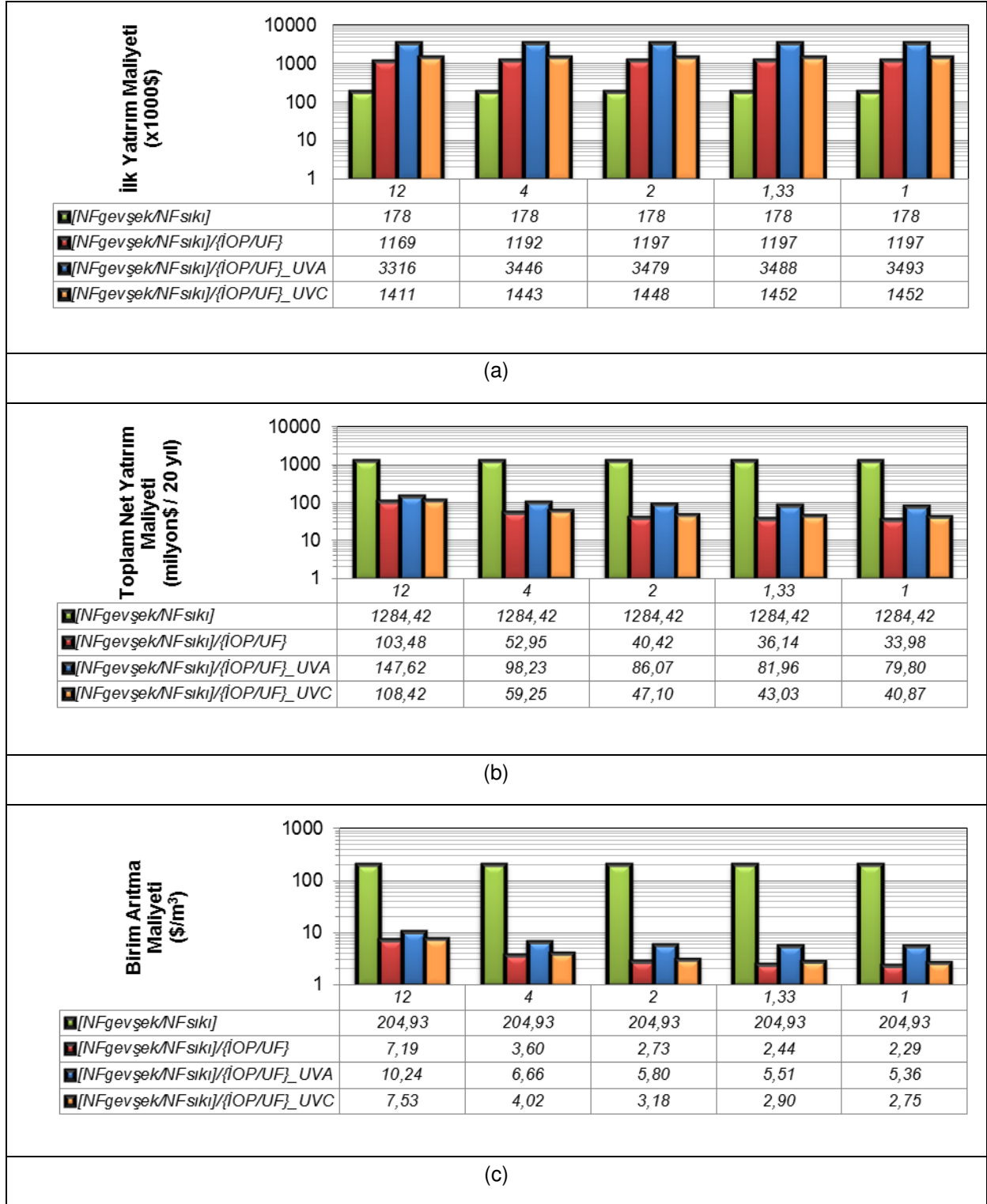
Şekil 4.270 ve 4.271’de, sıfıra yakın sıvı deşarjında Şekil 4.272 ve 4.273’de gösterilmiştir. Konsantre arıtmalı $[NF_{gevşek}/NF_{sıkı}]/\{İOP/UF\}$ sistemi için en iyi maliyetlerin elde edildiği Fenton destekli uygulamadaki işletme maliyetleri bileşenleri ve değerleri ise, sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjlarında yılda 1 ve ayda 1 atık çekim sayıları için ayrı ayrı olmak üzere, doğal gaz ve atıl ısı ısıtım sistemleri için sırasıyla Şekil 4.274 ve 4.275’de verilmiştir.



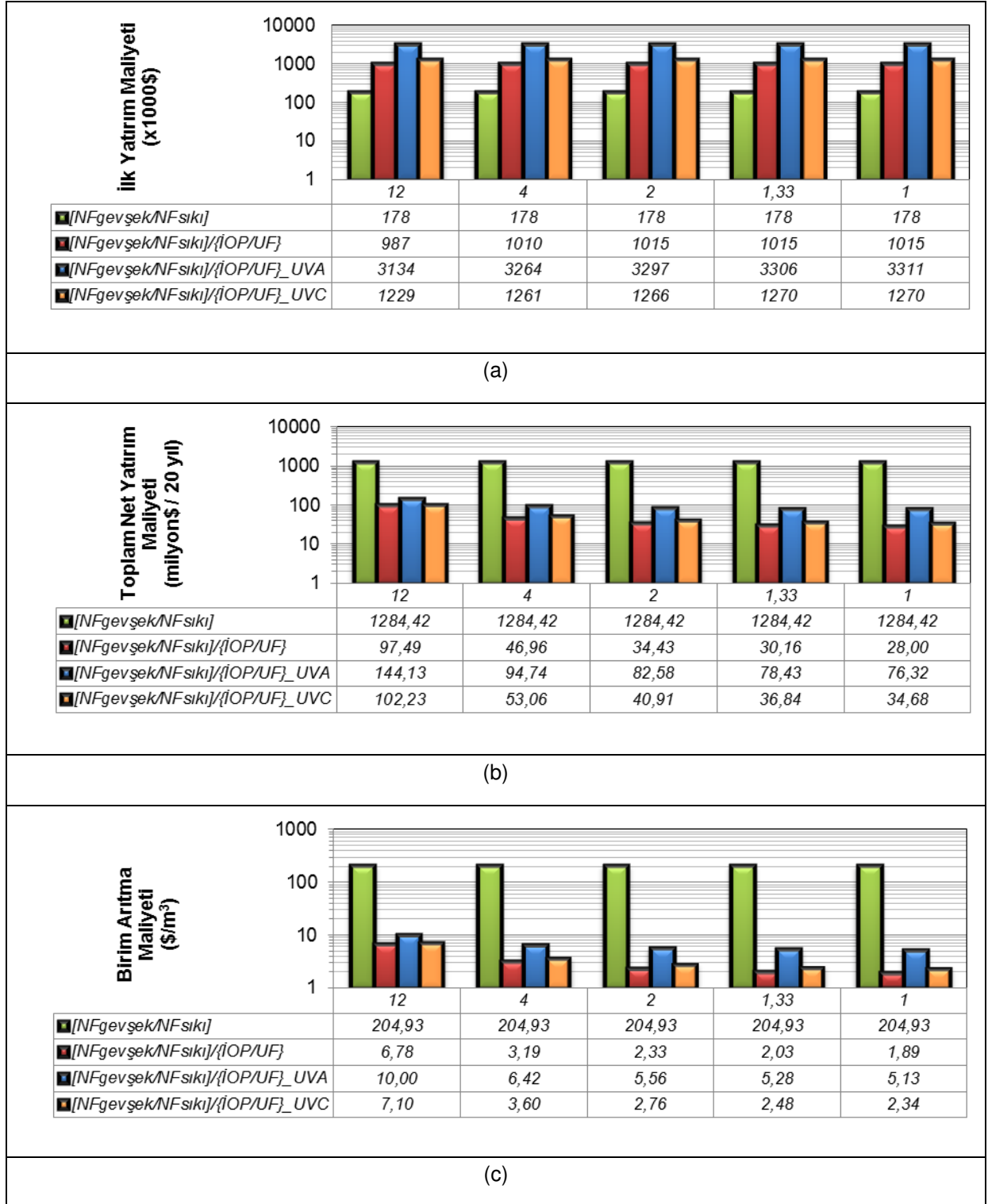
Şekil 4.268 Kağıt atıksuyu için gerçek ölçüğe benzeştirilmiş etkinliği bilinen sistemlerde, İOP reaktöründen çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantre atık debisinin reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri



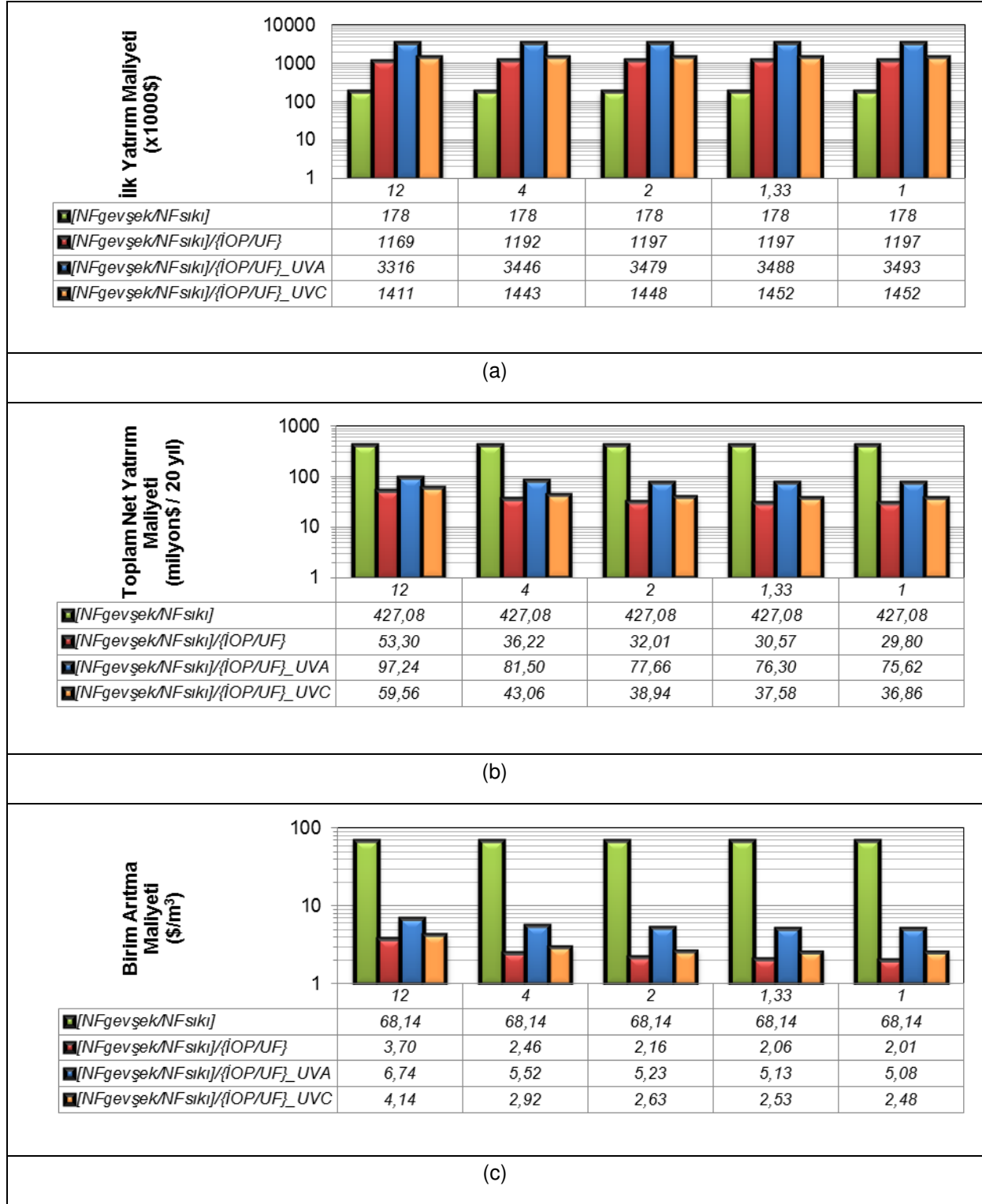
Şekil 4.269 Kağıt atıksuyu için gerçek ölçüğe benzeştirilmiş etkinliği bilinen sistemlerde, sistemdeki su geri kazanım oranlarının reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri



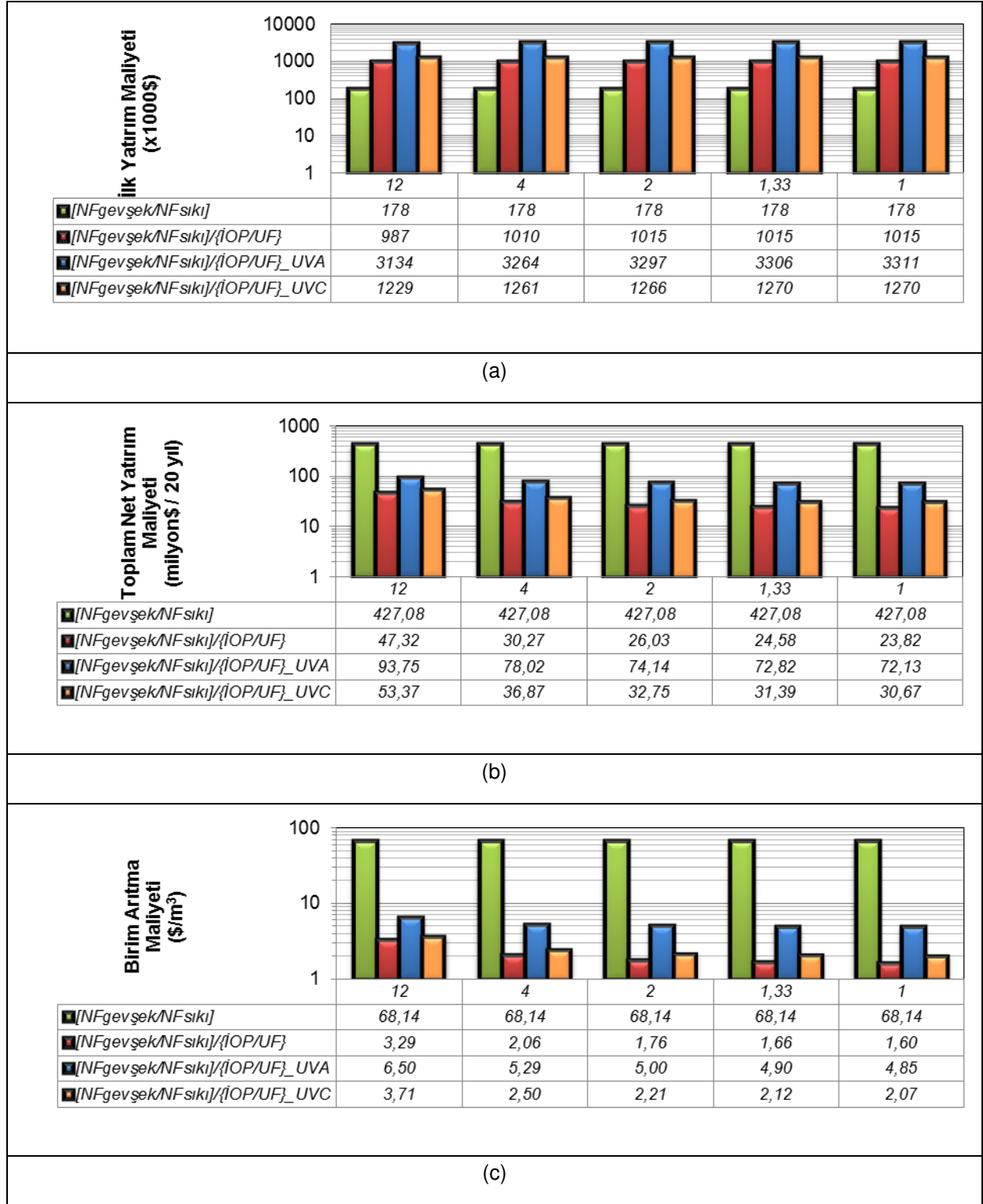
Şekil 4.270 Sıfır sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için konsantre artırımsız ve Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli konsantre arıtımlı ve doğalgaz ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³)



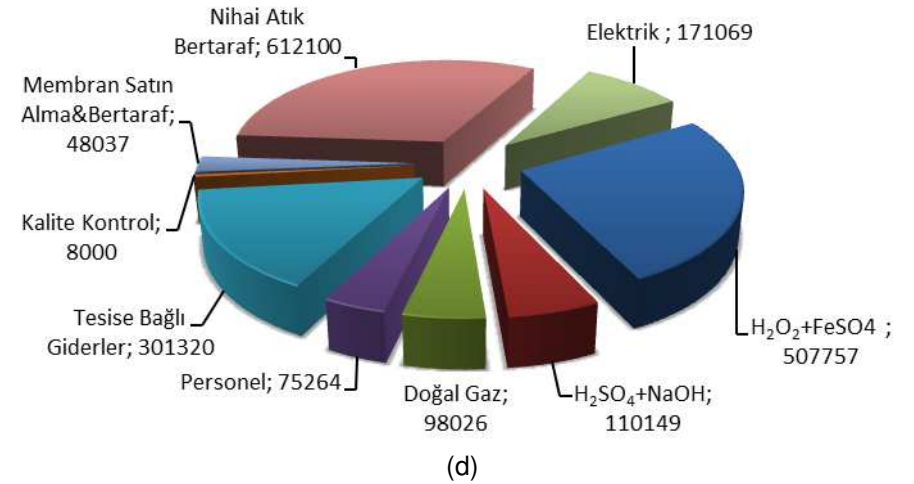
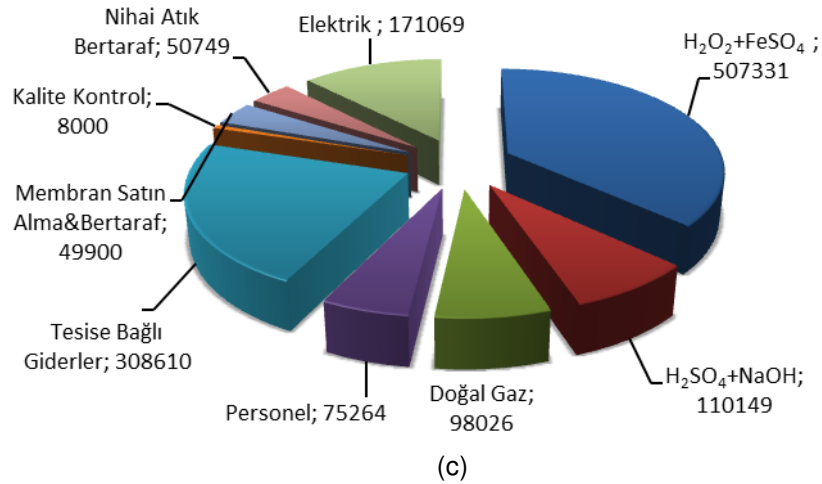
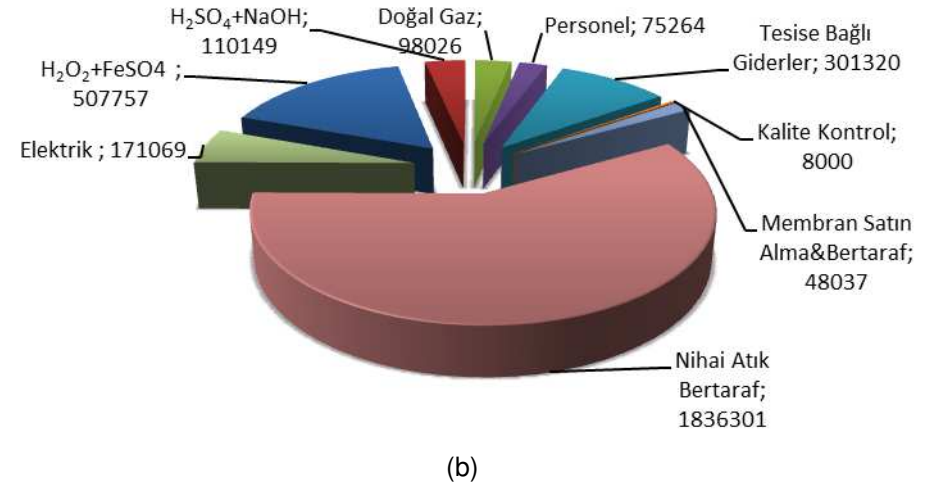
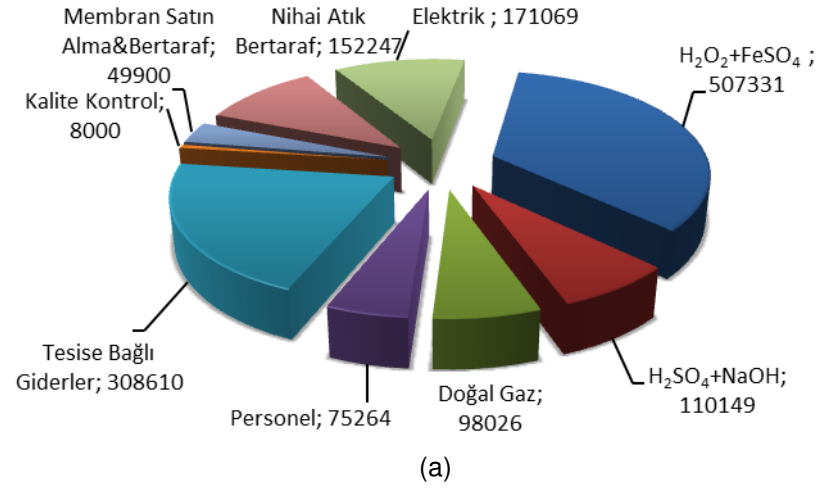
Şekil 4.271 Sıfır sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli konsantre arıtmalı ve atıl ısı ısıtmalı etkinliği bilinen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³))



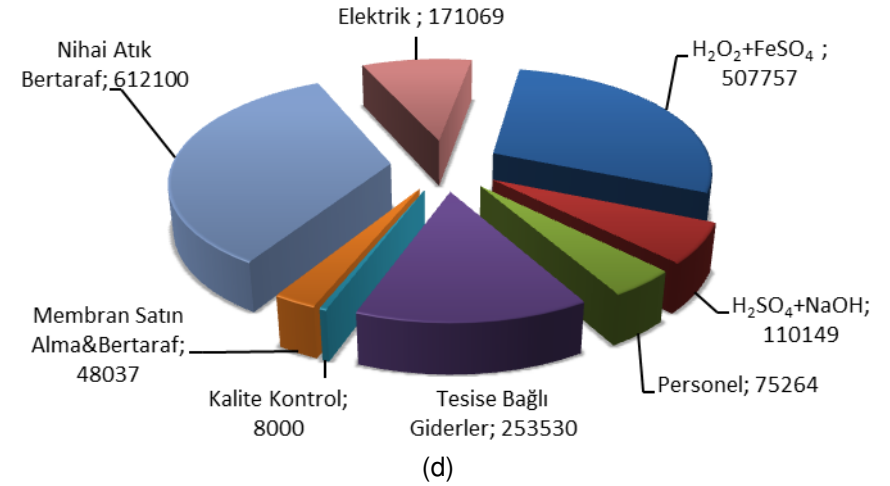
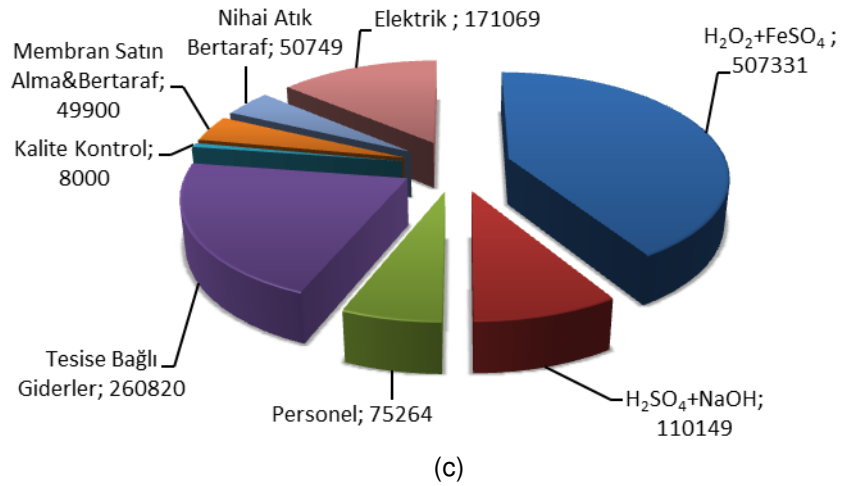
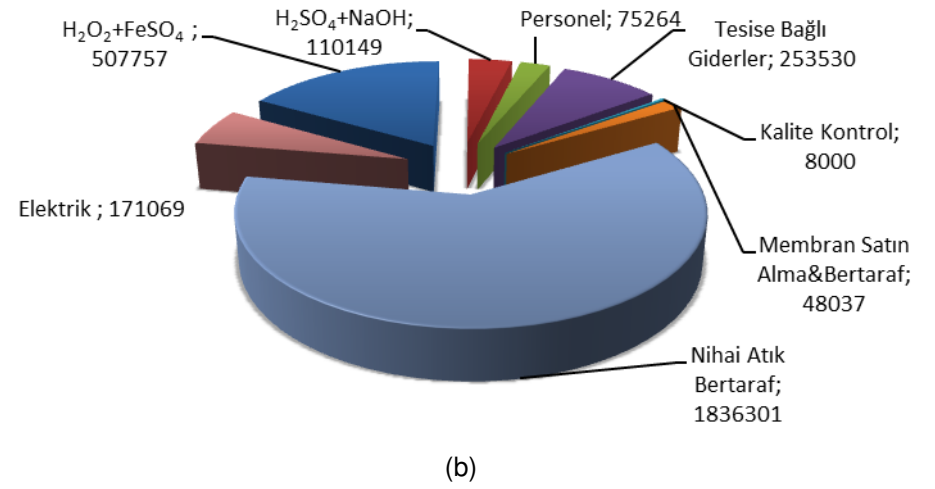
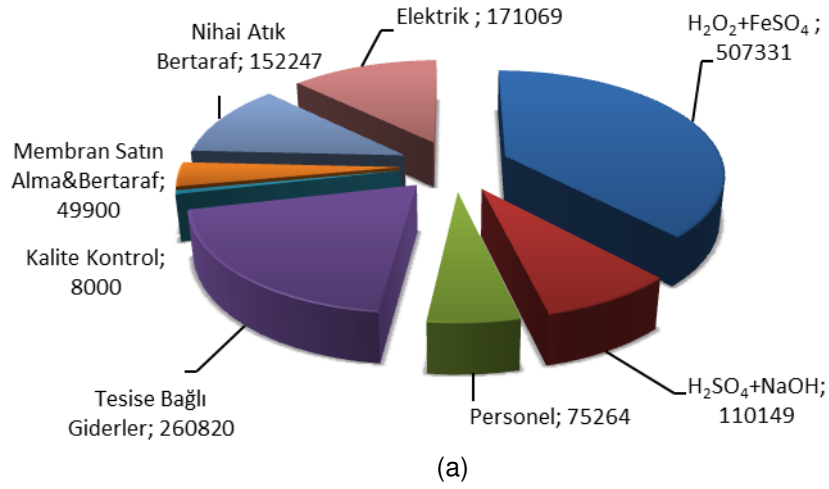
Şekil 4.272 Sıfıra yakın sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli konsantre arıtmalı ve doğalgaz ısıtmalı etkinliği bilinen sistemlerin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³))



Şekil 4.273 Sıfıra yakın sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için konsantre arıtımsız ve Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli konsantre arıtmalı ve atıl ısı ısıtmalı etkinliği bilinen sistemlerin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³))



Şekil 4.274 Fenton destekli ve doğal gaz ısıtmalı konvansiyonel $[NF_{gevşek}/NF_{sıkı}]/\{IOP/UF\}$ sisteminin atık çekim sayısına bağlı işletme maliyet bileşenleri ve değerleri (\$/yıl) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))



Şekil 4.275 Fenton destekli ve atıl ısı ısıtımli konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{IOP/UF\}$ sisteminin atık çekim sayısına bağlı işletme maliyet bileşenleri ve değerleri (\$/yıl) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))

Kağıt atıksuyunun $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]$ bütünleşik membran sistemi düzenindeki literatürden etkinliği bilinen atıksu arıtma ve su geri kazanımı ile konsantre arıtımı/bertaraf sistemlerinin saha ölçek işletim maliyetlerinin, tekstil atıksuyunun konvansiyonel sistemleriyle arıtımında olduğu gibi, sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjları için farklı değerlerde olduğu görülmüştür. Nihai konsantre atığın, tesis dışında insinerasyonla yakılarak kalan nihai katısının tesise yaklaşık 10 km mesafedeki endüstriyel nihai düzenli depolama sahasında depolanarak bertarafının, sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca ise yine tesise yaklaşık 10 km mesafede konuşlu merkezi bir endüstriyel atıksu arıtma tesisinde arıtım sonrası kanala ya da alıcı ortama deşarj edildiği uygulamaya kıyasla, tekstil atıksuyu uygulamalarındaki gibi, daha yüksek toplam tesis arıtma maliyetlerinde, sağlanabileceği belirlenmiştir. Ancak azalan atık çekim debisine ya da atık çekim sayısına bağlı olarak aradaki maliyet farklarının; ayda bir İOP reaktör hacmi eşdeğeri atık çekimindeki daha yüksek farklardan, yılda bir atık çekimindeki çok daha düşük farklara azaldığı saptanmıştır.

Elde edilen ekonomik performans sonuçları, tekstil atıksuyu konvansiyonel sistem uygulamaları için elde edilmiş sonuçlara doğrudan benzer olmak üzere, sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjları için en ekonomik çözümler; UVC-Fenton'dan biraz daha iyi seviyelerdeki Fenton destekli hibrit İOP/UF arıtımıyla elde edilmiştir. Konsantre arıtımsız $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]$ sisteminde sıvı deşarj yönteminden bağımsız olarak, ilk yatırım, toplam net yatırım ve geri kazanım suyu başına birim arıtma maliyetleri, “doğal gaz-atıl ısı” ısıtılmalı uygulama düzeninde sırasıyla 178.000-178.000 \$ (ilk yatırım maliyeti değişmiyor), 1.284.420.000-427.080.000 \$/20yıl ve 204,93-68,14 \$/m³ geri kazanım suyu olarak belirlenmiştir. Fenton destekli $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{\text{İOP/UF}\}$ arıtma sisteminin sıfır sıvı deşarjlı yılda 1-yılda 12 (ayda 1) atık çekimindeki doğal gaz ısıtılmalı uygulaması için bu maliyet parametreleri sırasıyla, 1.197.000-1.169.000 \$, 33.980.000-103.480.000 \$/20yıl ve 2,29-7,19 \$/m³; atıl ısı ısıtılmalı uygulaması için ise, sırasıyla 1.015.000-987.000 \$, 28.000.000-97.490.000 \$/20yıl ve 1,89-6,78 \$/m³ değerlerine bir miktar azalmıştır. En ekonomik uygulanabilir performansların görüldüğü Fenton destekli $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{\text{İOP/UF}\}$ arıtma sisteminin sıfıra yakın sıvı deşarjı uygulamasında; sıfır sıvı deşarjı ile aynı tesis ilk yatırım (kurulum ve devreye alma) maliyetlerinde olmak üzere yılda 1-yılda 12 (ayda 1) İOP reaktörü hacmi eşdeğeri atık çekimindeki doğal gaz ısıtılmalı uygulama için toplam net yatırım ve birim arıtma maliyetleri sırasıyla 29.800.000-53.300.000 \$/20yıl ve 2,01-3,70 \$/m³; atıl ısı ısıtılmalı uygulama için ise, sırasıyla 23.820.000-47.320.000 \$/20yıl ve 1,60-3,29 \$/m³ değerlerine önemli seviyelerde azalmıştır.

Konsantre arıtmalı $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{\text{İOP/UF}\}$ konvansiyonel arıtma sisteminde, işletme maliyet bileşenlerinin parametrik değerlerinde pek değişiklik olmadığı; değişikliğin, doğal gaz ve atıl

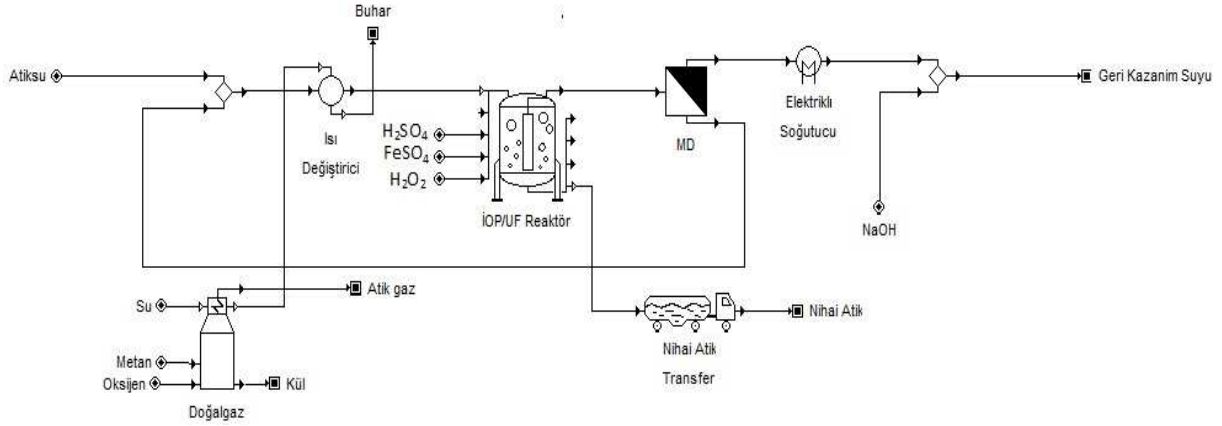
ısı arasında tüketilen doğal gaz sebebiyle doğal gaz girdi maliyeti ve tesise bağlı giderler (amortisman (yıpranma payı), sigorta, yerel vergi, bakım ve onarım, vd.) itibarıyla doğal gaz ısıtım sistemde atıl ısıya nazaran %10'ları geçmeyen bir maliyet farkı ile gerçekleştiği tespit edilmiştir. Buna karşın, nihai atık bertaraf maliyetinin yılda 1'den ayda 1'e atık debisi artışıyla aynı oranda 12 kata varan artışlarla en önemli işletme gideri bileşeni seviyesine ulaştığı görülmüştür. Her iki deşarj yaklaşımı uygulamasında da, işletme maliyetlerine katkı veren temel bileşenlerin yılda 1 atık çekimi için $H_2O_2+FeSO_4$, tesise bağlı giderler, elektrik ve nihai atık bertarafı ağırlıklı olduğu; ayda 1 atık çekimi halinde ise nihai atık bertarafının en önemli maliyet kalemini oluşturduğu tespit edilmiştir. Tekstil atıksuyu için olduğu gibi kâğıt atıksuyu için yapılan saha benzeştirmeleri neticesinde maliyet sonuçları üzerinden görülen bu durumun, diğer yoğun su tüketilen endüstrilerin atıksularının arıtılması halinde, atıksudaki oksidasyona dirençli organik kirletici yüklerinin de önemle dikkate alınması gerektiği değerlendirilmektedir.

Elde edilen maliyet sonuçlarının, tekstil atıksuyu konvansiyonel arıtma sistemleri kadar olmasa da, sahada ekonomik olarak tercih edilebilirlik noktasında makul seviyelerdedir. Konsantre arıtımı yapılmasına dayalı yenilikçi İOP/batık UF hibrit teknolojisiyle desteklenmiş konvansiyonel membran sistemi uygulamasının, konsantrenin doğrudan tesis dışında bertaraf edildiği konsantre arıtımsız konvansiyonel uygulama durumuna nazaran sahada tekno-ekonomik olarak çok daha etkin olduğu ve belirlenen ekonomik performans seviyelerinin pratikte uygulanabilme açısından arzu edilir bir ekonomik başarı seviyesinde bulunduğu değerlendirilmektedir.

4.5.2.2 Önerilen arıtma sistemleri ({İOP/UF}/[MD] sistemi)

Kâğıt atıksuyu için bu proje kapsamında bilimsel AR&GE çalışmaları "*önerilen sistemler*" adıyla yerine getirilmiş atıksu arıtma ve su geri kazanımı/konsantre arıtım ve bertaraf sistemleri, {İOP/UF} sonrası basınçlı membran prosesler olarak tasarlanmasına rağmen; hedeflenen su geri kazanım kalitelerinin sağlanmasına hibrit reaktör sonrası MD prosesi ile ulaşıldığından; saha ölçek işletim tasarım ve maliyet analizleri, B planı uygulanarak proje amaçlarının gerçekleştirildiği {İOP/UF}/[MD] için yerine getirilmiştir. Bu sistemin gerçek ölçeğe benzeştirilmesi; İOP sonrası MD konsantresinin {İOP/UF} reaktöre beslenen ham atıksuyla birlikte ilk adımda hibrit arıtma işlemine tabi tutularak, hem atıksu/konsantre arıtma hem de nihai konsantre atık minimizasyonunun aynı reaktör içerisinde yerine getirildiği ve sonrasında da bu hibrit reaktörün termal sürücülü [MD] membran prosesle entegre edilerek endüstriyel su geri kazanımının sağlandığı 3 farklı arıtma foto-oksidasyon (Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC) içeriği için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

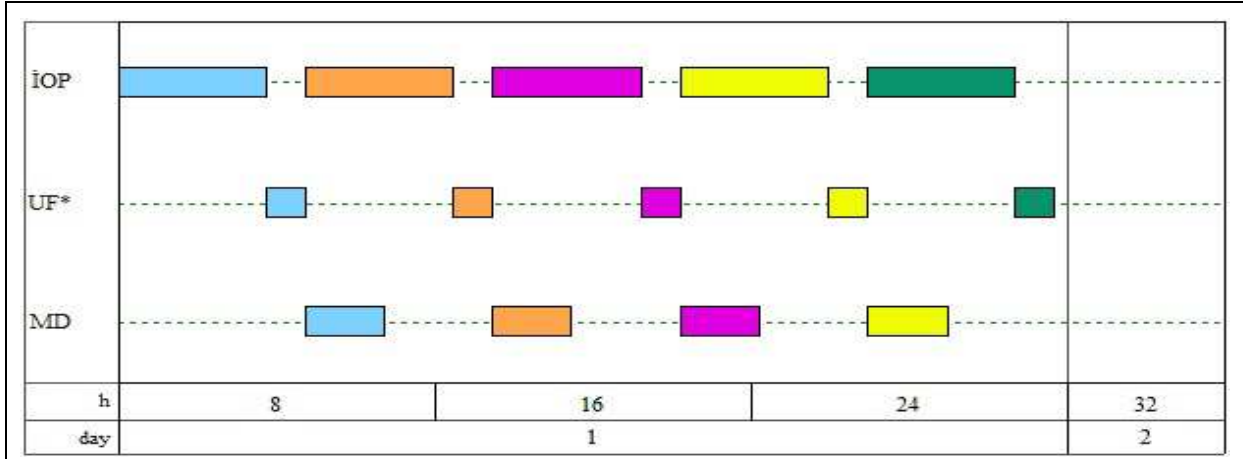
Saha ölçekte kütle dengesi benzeştirmeleri, tekstil atıksuyunda elde edildiği gibi uzun süreli işletimler sonrasındaki şahit işletim deneylerine göre belirlenmiş İOP reaktörü hidrolik bekleme süresi (İOP/UF hacimsel su oranı değeri), 1,19 gün (1,19) değerine reaktör tasarımı dayandırılarak yerine getirilmiştir. {İOP/UF}/[MD] atıksu arıtma, su geri kazanımı ve konsantre bertaraf sistemine ait proses akış şeması Şekil 4.276'da gösterilmiştir. Şekilde doğal gaz ısıtmalı tasarım sistemi gösterilmiş olup, atıl ısı ısıtmalı sistemde ısıtma ünitesi bulunmamakta, ihtiyaç duyulan ısının doğrudan atıl ısıdan elde edildiği kabul edilmektedir (Örneğin, atık buhar). Sistemde proseslerin, İOP/UF hibrit reaktörünün 3 farklı oksidasyon arıtımı içeriğine haiz yenilikçi işletimlerine bağlı günlük ardışık çalışma düzenleri, Şekil 4.277'de sunulmuştur.



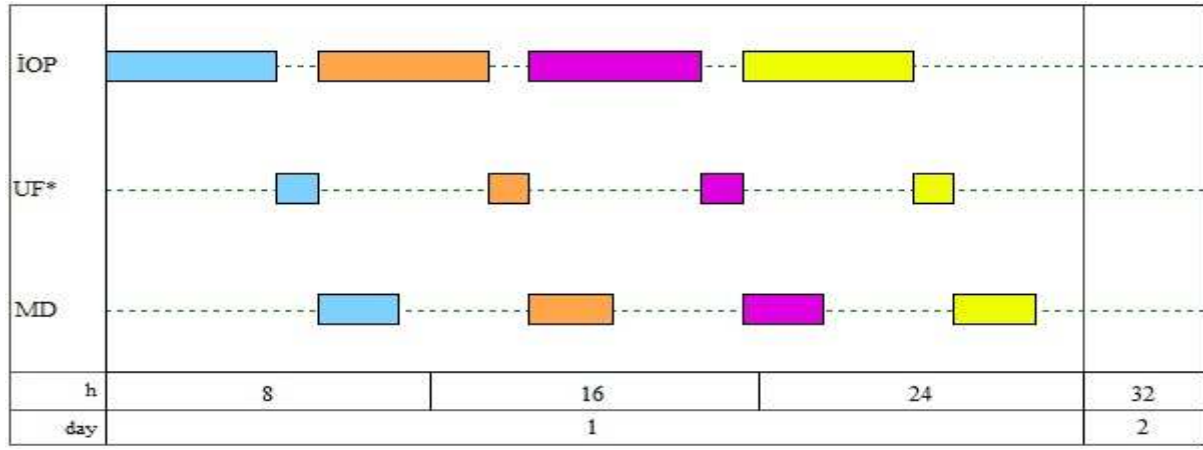
Şekil 4.276 {İOP/UF}/[MD] sistemi proses akış şeması

Kağıt atıksuyu için önerilen yenilikçi sistemdeki İOP reaktörde uzun süreli kararlı hal işletim performanslarından belirlenmiş sırasıyla 224, 252 ve 240 dakikalık reaksiyon sürelerindeki Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC işletimleri, İOP reaktör işletimi sonrası 60 dakika süresince UF süzüntü suyu eldesinin sağlandığı arıtım düzeninde tasarlanmıştır. Hibrit reaktörden çıkan arıtılmış sular, sonrasındaki sıcaklık sürücülü tek kademe membran distilasyon prosesinde filtrasyona tabi tutularak temiz su eldesinin sağlandığı ve oluşan MD membran konsantrasyonunun hibrit reaktöre tekrardan devredildiği işletim esas alınmıştır. MD prosesin işletimi, 120 dakika esasında tasarlanmıştır ve İOP/UF reaktörle ardışık sürekli moda yerine getirilmiştir.

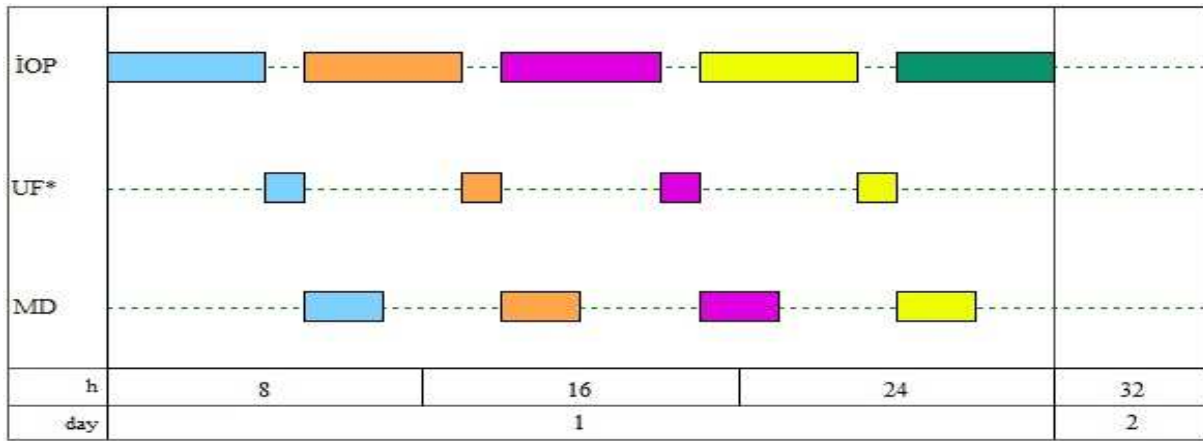
İOP reaktörü hacmi eşdeğeri konsantre atığın, İOP/UF batık reaktörden çekilerek günlük olarak alındığı işletim altında; atık çekim sayısına bağlı İOP reaktörden çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantre atık debisinin değişimleri Şekil 4.278'te, arıtma işlemi neticesinde su geri kazanım oranlarının değişimleri de Şekil 4.279'te verilmiştir.



(a)

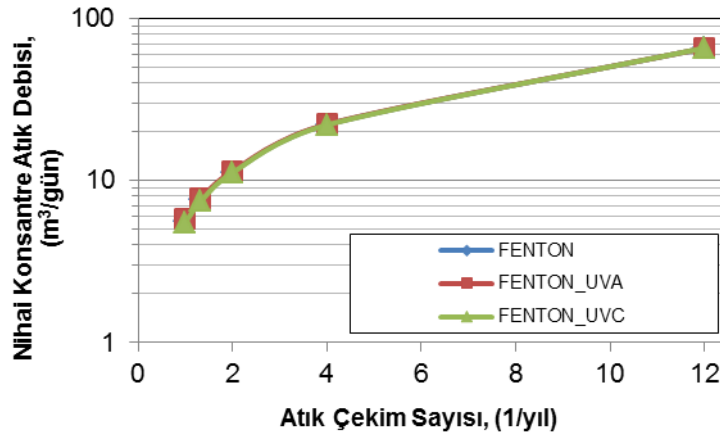


(b)

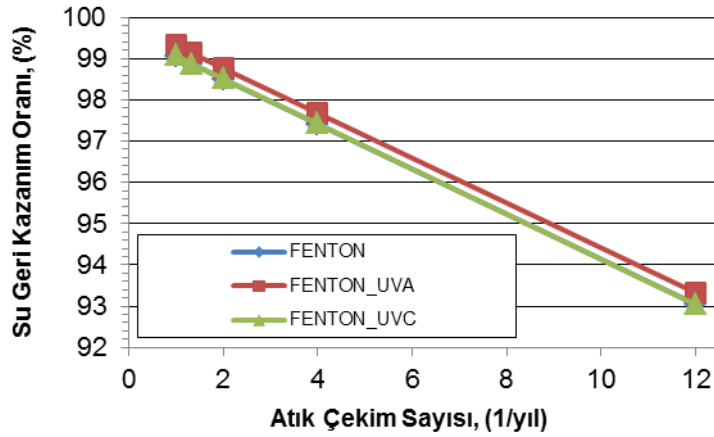


(c)

Şekil 4.277 {İOP/UF}/[MD] sisteminin günlük proses çalışma düzenleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)



Şekil 4.278 Kağıt atıksuyu için gerçek ölçeğe benzeştirilmiş önerilen sistemlerde, İOP reaktöründen çekilerek bertarafa gönderilecek nihai konsantre atık debisinin reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)



Şekil 4.279 Kağıt atıksuyu için gerçek ölçeğe benzeştirilmiş önerilen sistemlerde, sistemdeki su geri kazanım oranlarının reaktörden yılda atık çekim sayısına bağlı olarak değişimleri ((a)-Fenton, (b)-Fenton-UVA, (c)-Fenton-UVC)

Önerilen sistemlerden {İOP/UF}/[MD] sisteminde nihai konsantre atık debisi ve su geri kazanım oranı değerleri; İOP reaktörü hacmi eşdeğeri konsantre atığın sistemden yılda 1-ayda 1 (veya yılda 12) çekileceği atık çekim sayıları aralığında Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC destekli İOP işletimler için sırasıyla 5,6-65,8; 5,8-65,8 ve 5,5-65,9 m³/gün olarak hemen hemen aynı değerlerde olduğu belirlenmiştir. Yılda aynı atık çekim sayısı düzeninde ve aynı oksidasyon prosesi işletimi sırasında sistemdeki endüstriyel su geri kazanım oranlarının da, 99,1-93,0%; 99,3-93,3% ve 99,1-93,0% değerleri ile Fenton ve Fenton-UVC'de birbirlerinin aynı, Fenton-UVA'da ise diğer iki sistemdekilerle hemen hemen aynı

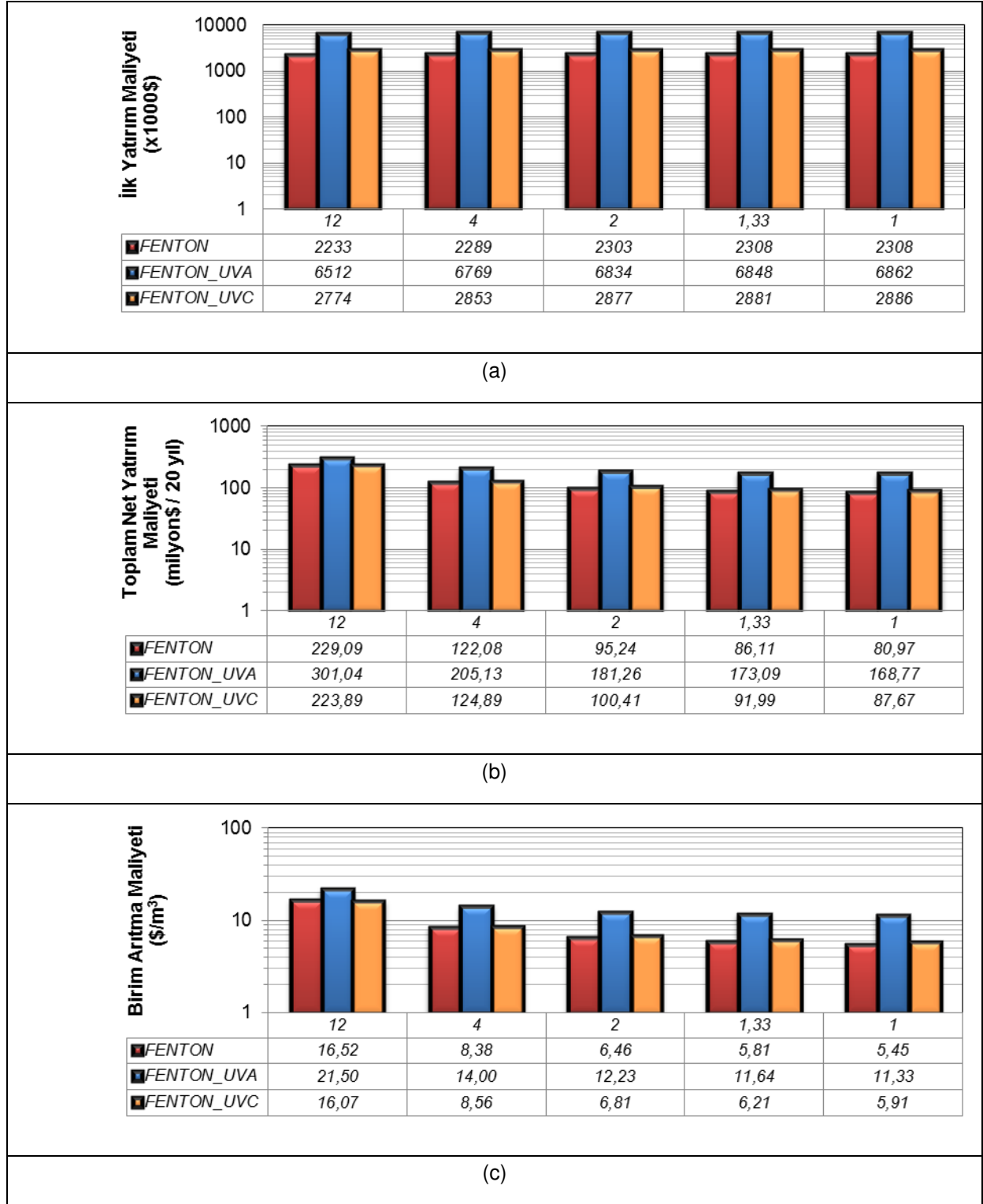
seviyelerde ve her üç sistemde de çok yüksek su geri kazanım değerlerinde oldukları tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara göre kağıt atıksuları için önerilen yenilikçi sistemler; tekstil atıksuyuna kıyasla ileri oksidasyonla doğrudan arıtımda daha uzun sürelerde kararlı hal işletimleri gerektiriyor (daha fazla kimyasal tüketimi) olmaları sebebiyle, yaklaşık aynı seviyelerdeki su geri kazanım oranlarına rağmen, nihai konsantre atık debileri itibariyle konsantre arıtmalı $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{IOP/UF\}$ sistemi baz alındığında yaklaşık 2 kata veren daha yüksek miktarlarda günlük atık oluşumlarına sebebiyet verdiği anlaşılmaktadır. Konsantre arıtımsız sisteme göre ise, İOP reaktörden yılda 1-yılda 12 (veya ayda 1) atık çekilerek bertarafın sağlanacağı uygulamayla; Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC işletimleri için yaklaşık 71,0-6,4 kat oranlara varan nihai bertaraf edilecek atık miktarı azaltımı sağlanmaktadır. Hedef su kalitesi değerlerinin sağlandığı endüstriyel yeniden kullanım suyu miktarlarındaki artış oranları ise 2,37-2,22 kat değerler ile yaklaşık 2,5 kata varan seviyelerdedir.

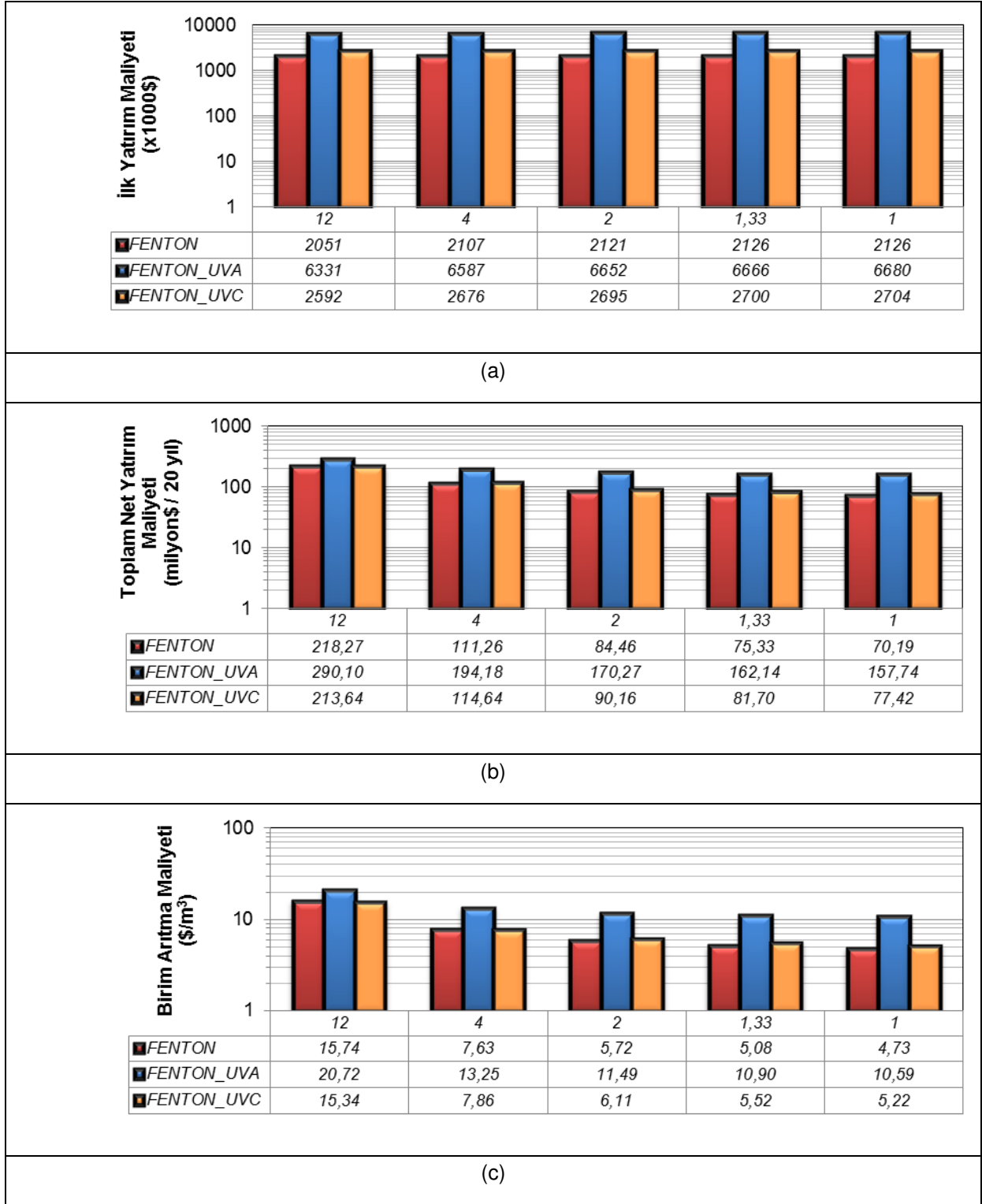
✓ Sistemlerin ekonomik performansları ve maliyet analizleri

Kağıt atıksuyu için önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin saha ölçek ekonomik performansları; Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC işletimli sistemler için atıksuyun İOP reaktördeki işletim sıcaklıklarına göre doğal gaz ve atıl ısı ısıtılmalı olarak, sıfır sıvı deşarjında sırasıyla Şekil 4.280 ve 4.281'de, sıfıra yakın sıvı deşarjında ise sırasıyla Şekil 4.282 ve 4.283'de gösterilmiştir. En iyi maliyet sonuçları elde edilmiş Fenton destekli $\{IOP/UF\}/[MD]$ sisteminin işletme maliyetleri bileşenleri ise, sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjlarında yılda 1 ve ayda 1 atık çekim sayıları için ayrı ayrı olmak üzere, doğal gaz ve atıl ısı ısıtılmalı sistemler için sırasıyla Şekil 4.284 ve 4.285'de verilmiştir.

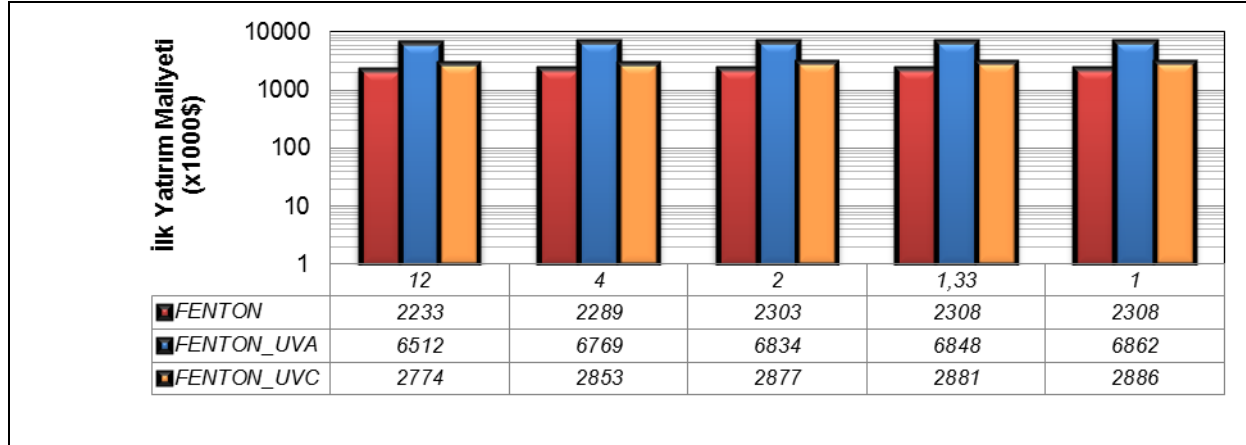
Kağıt atıksuyunun önerilen $\{IOP/UF\}/[MD]$ yenilikçi bütünleşik membran sisteminde arıtımı, endüstriyel su geri kazanımı ve konsantre arıtımı ve bertaraf uygulamalarının saha ölçek maliyetlerinin, tekstil atıksuyunun konvansiyonel ve yenilikçi sistem uygulamaları ile kağıt atıksuyunun konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{IOP/UF\}$ sisteminde olduğu gibi, sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjları için farklı değerlerdedir. Nihai konsantre atığının sıfır sıvı deşarjı uyarınca bertarafı, sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca tesise yaklaşık 10 km mesafede konuşlu merkezi bir endüstriyel atıksu arıtma tesisinde arıtım sonrası kanala ya da alıcı ortama deşarj edildiği uygulamaya kıyasla, daha yüksek toplam tesis arıtma maliyetlerinde sağlanabilmektedir. Ancak azalan atık çekim debisine ya da atık çekim sayısına bağlı olarak aradaki maliyet farklarının; ayda bir İOP reaktör hacmi eşdeğeri atık çekimindeki daha yüksek farklardan, yılda bir atık çekimindeki çok daha düşük farklara azaldığı saptanmıştır.



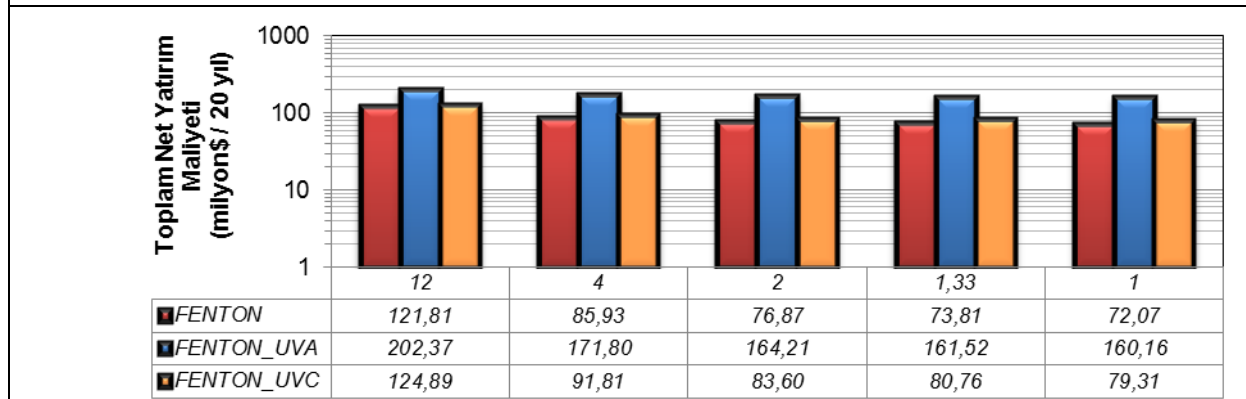
Şekil 4.280 Sıfır sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli ve doğalgaz ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



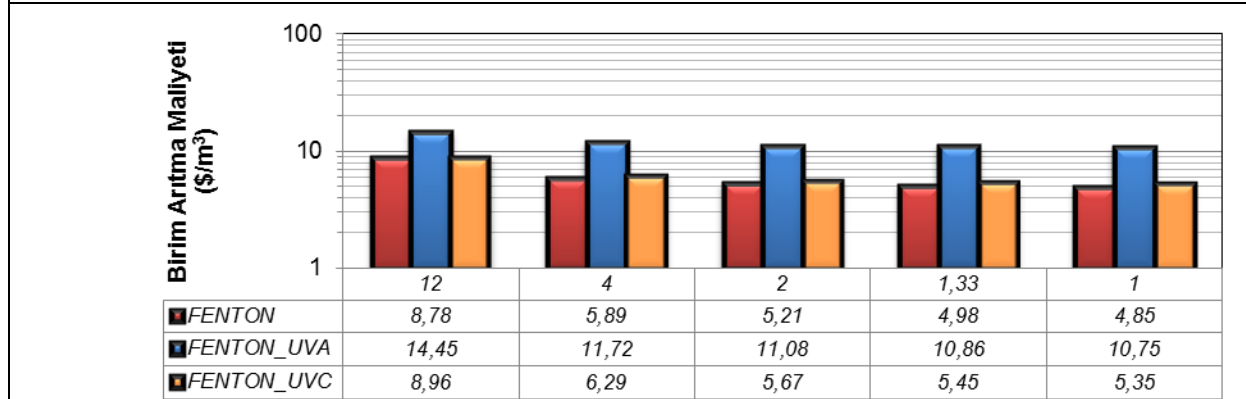
Şekil 4.281. Sıfır sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli ve atıl ısı ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantrte bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağılı değışen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)

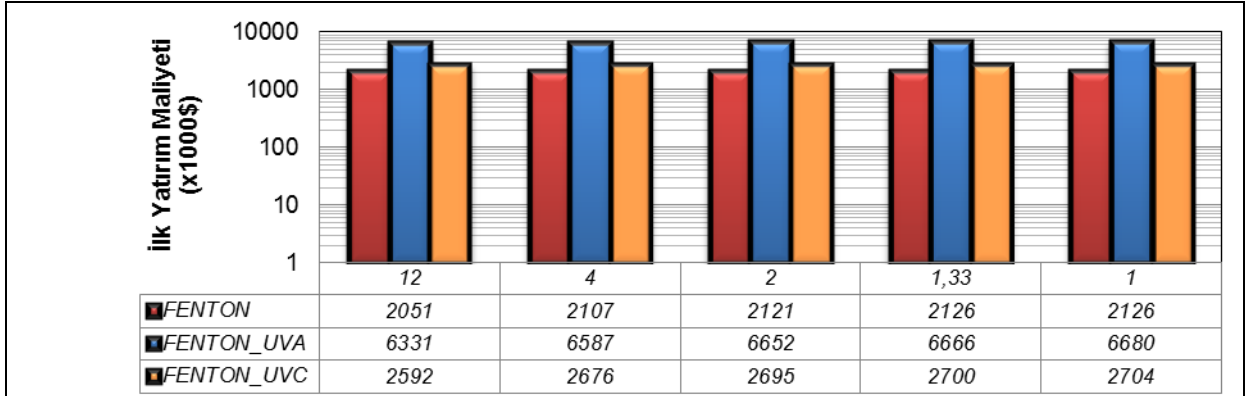


(b)

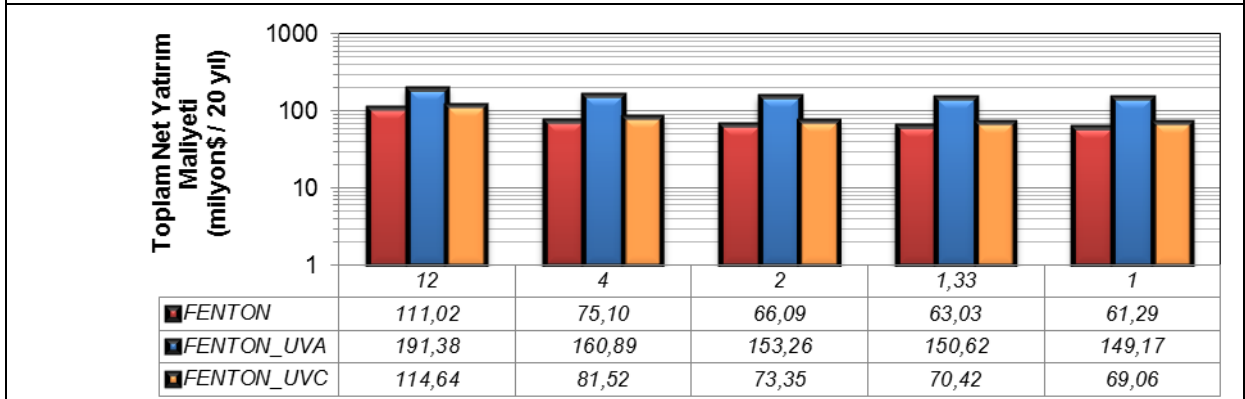


(c)

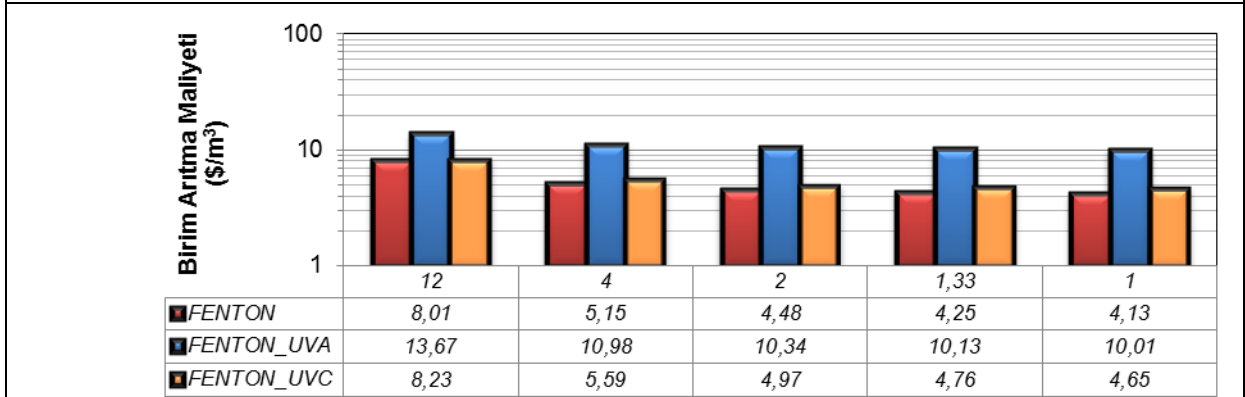
Şekil 4.282 Sıfıra yakın sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli ve doğalgaz ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağlı değişen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti (x1000\$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti (\$/m³)



(a)

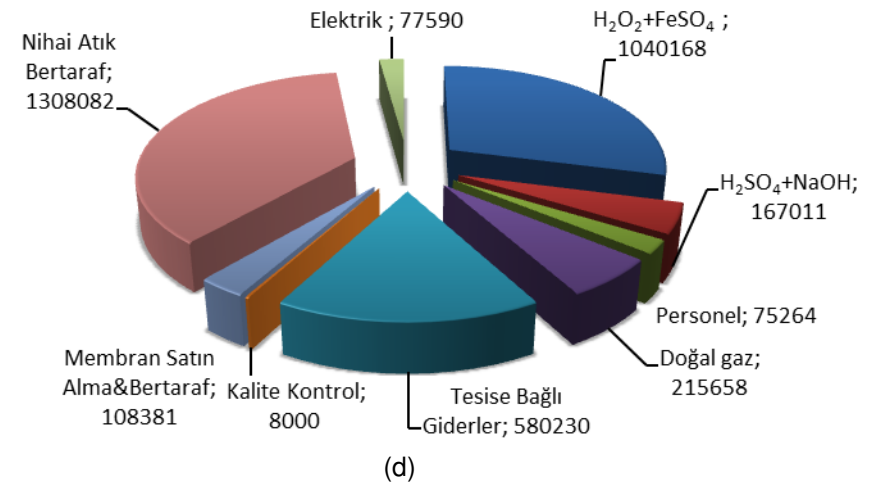
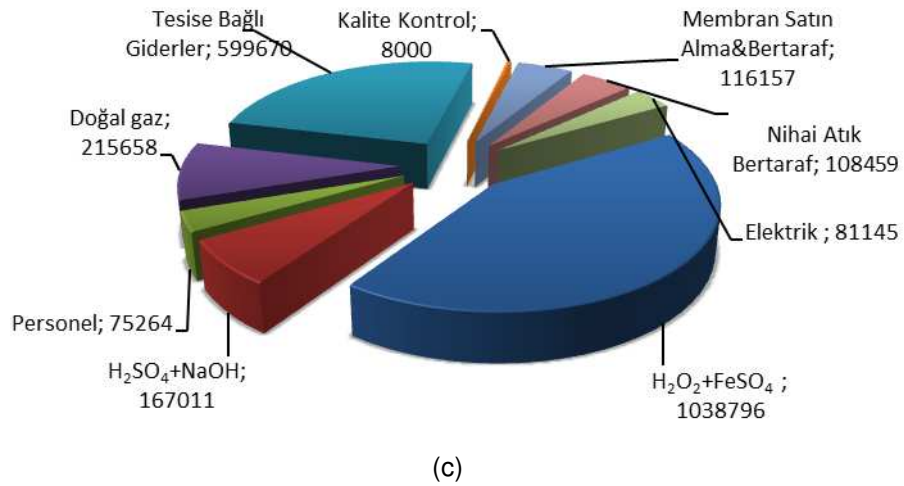
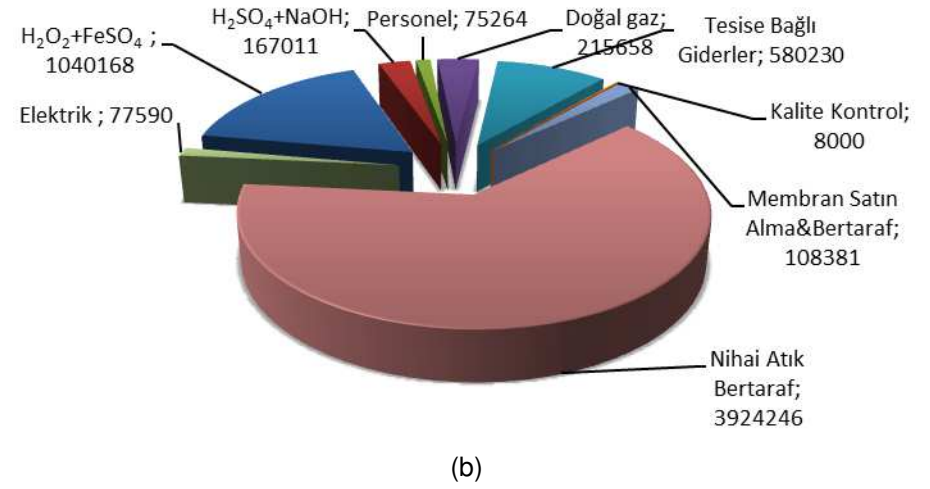
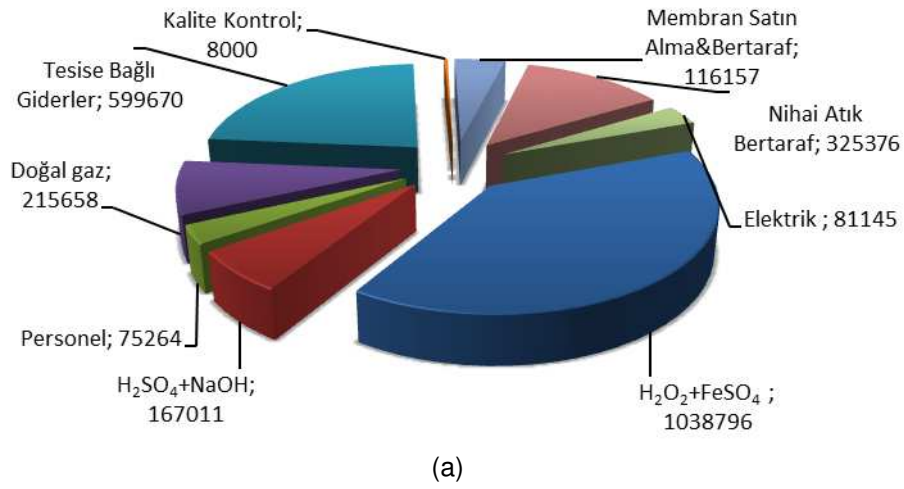


(b)

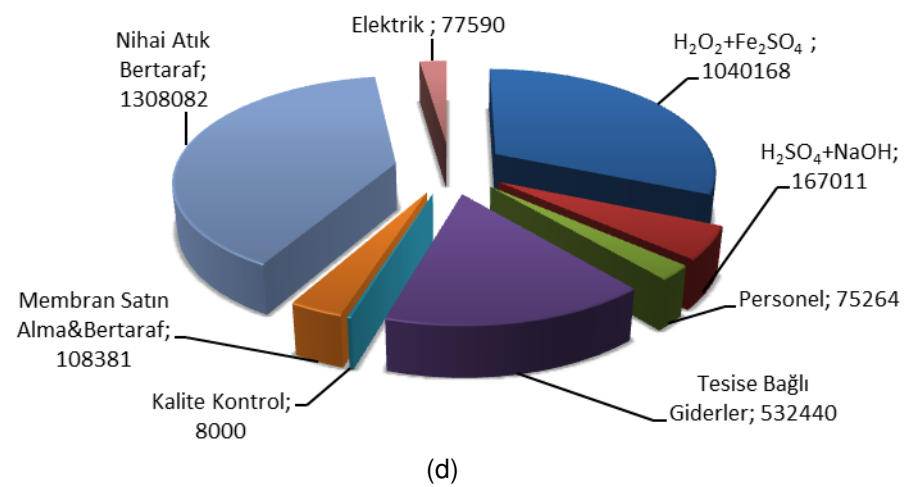
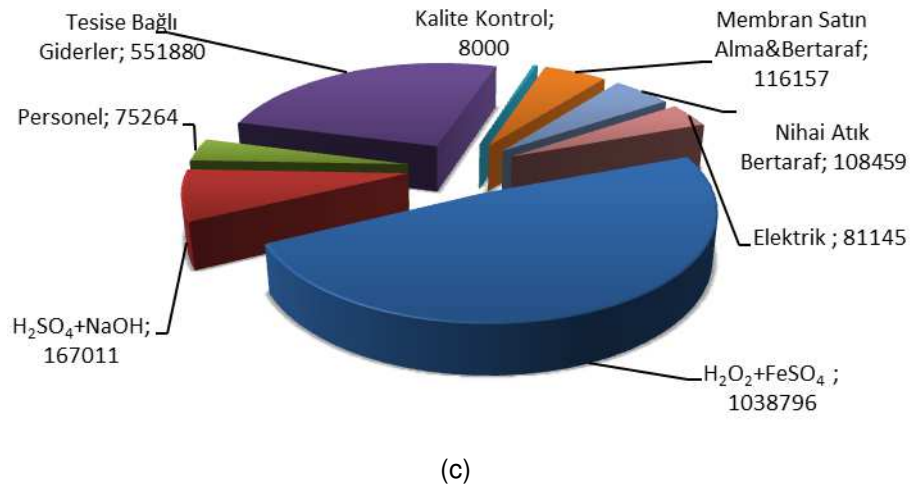
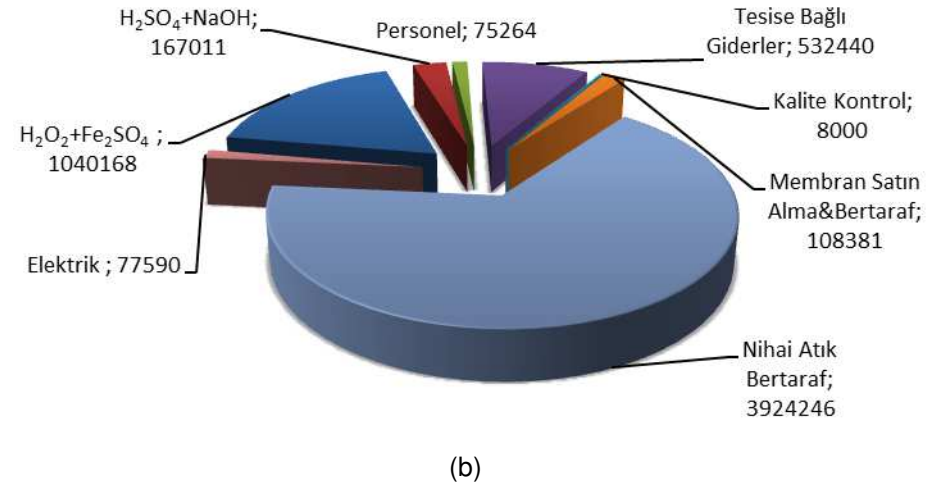
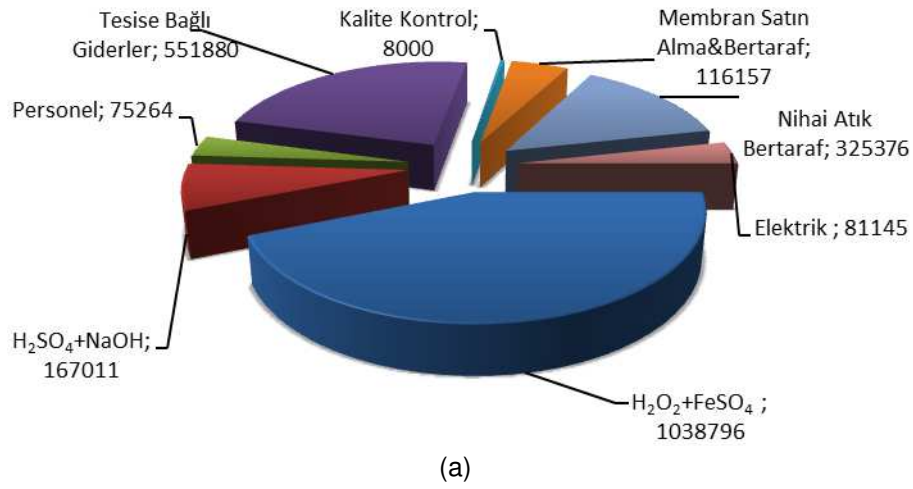


(c)

Şekil 4.283 Sıfıra yakın sıvı deşarjında kağıt atıksuyu için Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC destekli ve atıl ısı ısıtmalı önerilen atıksu arıtma, su geri kazanma ve nihai konsantre bertaraf sistemlerinin atık çekim sayısına bağılı değışen ekonomik performansları ((a)-ilk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl) ve (c)-birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



Şekil 4.284 Fenton destekli ve doğal gaz ısıtmalı önerilen {OP/UF}/[MD] sisteminin atık çekim sayısına bağlı işletme maliyet bileşenleri ve değerleri (\$/yıl) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))



Şekil 4.285 Fenton destekli ve atıl ısı ısıtmalı önerilen {OP/UF}/[MD] sisteminin atık çekim sayısına bağlı işletme maliyet bileşenleri ve değerleri (\$/yıl) (Sıfır sıvı deşarjında yılda 1 (a) ve ayda 1 (b); Sıfıra yakın sıvı deşarjında yılda 1 (c) ve ayda 1 (d))

Kâğıt atıksuyunun arıtımı için önerilen yenilikçi sistem uygulamalarının ekonomik performans sonuçları, konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{IOP/UF\}$ sistemi uygulaması için elde edilmiş sonuçlara birebir benzer olarak; sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjları için en ekonomik çözümler, UVC-Fenton'dan biraz daha iyi seviyelerdeki Fenton destekli hibrit İOP/UF arıtmalı uygulamayla elde edilmiştir. UVA-Fenton ile elde edilen ekonomik performansların ise diğer iki işletim uygulamasına kıyasla pratikte tercih edilir olmaktan uzakta olduğu görülmüştür.

En ekonomik uygulanabilir ekonomik performansların görüldüğü Fenton destekli $\{IOP/UF\}/[MD]$ önerilen arıtma sisteminin sıfır sıvı deşarjlı yılda 1-ayda 1 (yılda 12) atık çekimlerindeki doğal gaz ısıtmalı uygulaması için ilk yatırım, toplam net yatırım ve geri kazanım suyu başına birim arıtma maliyetleri sırasıyla, 2.308.000-2.233.000 \$, 80.970.000-229.090.000 \$/20yıl ve 5,45-16,52 \$/m³; atıl ısı ısıtmalı uygulaması için ise, sırasıyla 2.126.000-2.051.000 \$, 70.190.000-218.270.000 \$/20yıl ve 4,73-15,74 \$/m³ belirlenmiştir. Kâğıt atıksuyunun, tekstil atıksuyuna nazaran daha uzun sürelerde kararlı hal işletim performansları altında daha çok kimyasal malzeme tüketilerek arıtmalarının sağlanabiliyor olması dolayısıyla, yıllık atık çekim sayısı artışı (İOP reaktörden daha kısa sürelerde daha çok nihai atık çekimi yapılması gerekliliği) yüksek seviyelere artan maliyetlere neden olduğu anlaşılmıştır. Bunun da, atıksudaki organiklerin oksidasyona direnci artıkça kısmen yatırım ve özellikle işletme maliyetlerinin önemli ölçüde arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Önerilen Fenton destekli $\{IOP/UF\}/[MD]$ sisteminin sıfıra yakın sıvı deşarjı uygulamasında; sıfır sıvı deşarjı ile aynı tesis ilk yatırım (kurulum ve devreye alma) maliyetlerinde olmak üzere yılda 1-ayda 1 (yılda 12) İOP reaktörü hacmi eşdeğeri atık çekimlerindeki doğal gaz ısıtmalı uygulama için toplam net yatırım ve birim arıtma maliyetleri sırasıyla 72.070.000-121.810.000 \$/20yıl ve 4,85-8,78 \$/m³ olup; bu maliyetler atıl ısı ısıtmalı uygulama için, sırasıyla 61.290.000-111.020.000 \$/20yıl ve 4,13-8,01 \$/m³ değerlerine bir miktar azalmıştır. Ancak bu seviyelerde dahi halen daha konsantre arıtmalı konvansiyonel sistem maliyetlerinin (doğal gaz ısıtmalı konvansiyonel uygulama için 35.160.000-60.830.000 \$/20yıl ve 2,37-4,24 \$/m³; atıl ısı ısıtmalı konvansiyonel uygulama için ise, sırasıyla 29.050.000-54.680.000 \$/20yıl ve 1,96-3,81 \$/m³ idi) oldukça üzerinde kalınmaktadır. Bir başka deyişle kağıt atıksuyunun organik arıtımına dirençli içeriği dolayısıyla, bu atıksulardan etkin su geri kazanımı ve konsantre bertarafının makul ya da tercih edilebilir ekonomik maliyetlerle sahada uygulanması, önerilen $\{IOP/UF\}/[MD]$ sisteminden daha çok yenilikçi hibrit $\{IOP/UF\}$ ile konsantre arıtımı yapılan konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]$ uygulamasıyla mümkün olmuştur.

Önerilen Fenton destekli $\{IOP/UF\}/[MD]$ sisteminde, konsantre arıtmalı konvansiyonel sistemde de olduğu gibi işletme maliyet bileşenlerinin parametrik değerlerinde pek değişiklik gözlenmemiş olup; değişiklikler esas itibarıyla, doğal gaz ve atıl ısı arasındaki fark olan doğal

gaz tüketimi sebebiyle doğal gaz girdi maliyeti ve tesise bağlı giderler (amortisman, sigorta, yerel vergi, bakım ve onarım, vd.) itibarıyla doğal gaz ısıtım sistemde atıl ısıya nazaran %10'ları geçmeyen bir maliyet farkı ile ortaya çıkmaktadır. Buna karşın, nihai atık bertaraf maliyetinin yılda 1'den ayda 1'e atık debisi artışıyla aynı oranda 12 kata varan artışlarla en önemli işletme gideri bileşeni seviyesine ulaştığı görülmüştür. Her iki deşarj yaklaşımı uygulamasında da, işletme maliyetlerine katkı veren temel bileşenlerin yılda 1 atık çekimi için $H_2O_2+FeSO_4$, tesise bağlı giderler (amortisman, sigorta, yerel vergi, bakım ve onarım, vd.), nihai atık bertarafı ve doğal gaz sarfiyatı ağırlıklı olduğu; ayda 1 atık çekimi halinde ise nihai atık bertarafının en önemli maliyet kalemini oluşturduğu belirlenmiştir.

Elde edilen maliyet sonuçlarının, tekstil atıksuyunun konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistem uygulamalarındaki ile kâğıt atıksuyunun konvansiyonel $[NF_{gevşek}/NF_{sıkı}]/\{İOP/UF\}$ sistemi uygulamasındaki kadar olmasa da, sahada ekonomik olarak ancak düşük atık çekim sayıları altında tercih edilebilirlik noktasında olacağı anlaşılmıştır. Doğal gaz ve atıl ısı kullanımı altında sifıra yakın sıvı deşarjı için makul seviyeler 5 \$/m³ değerinin hemen altında olarak, sırasıyla 1,33 ve 3,5 (9 ve 3,5 ayda 1 atık çekimi) olarak kısmen kabul edilebilir olarak değerlendirilmektedir.

Tekstil atıksuyu için olduğu gibi kâğıt atıksuyu için yapılan saha benzeştirmelerinden elde edilen maliyet sonuçları da göstermektedir ki, diğer yoğun su tüketilen endüstrilerin yüksek hacimli atıksularının arıtılması halinde, atıksudaki oksidasyona dirençli organik kirletici yüklerini dikkate alacak tasarımlar için ilave değerlendirmelere gerek bulunmaktadır. Bu itibarla, elde edilen tüm tekno-ekonomik sonuçlar ışığında, etkinliği bilinen ve önerilen sistemlerin konsantre yönetimini de içerisine alan bütünlüklerdeki uygulamalarının, hem tekstil ve kâğıt endüstrilerinin atıksularına (bu projede sadece tekstil yıkama suları ve geri kazanım kâğıtlarını işleme tesisi atıksuları arıtıldığından) hem de yoğun su tüketimli diğer endüstrilerin atıksularına genelleştirilebilme potansiyelleri, devam eden bölüm alt başlığı altında ayrıntılı olarak incelenmiştir.

4.5.3 Geliştirilen Teknolojik Çözümler için Sektörel Değerlendirmeler

4.5.3.1 Hedef endüstriyel atıksular (tekstil ve kâğıt) için değerlendirmeler

Tekstil ve kâğıt atıksularından su geri kazanımı ve konsantre yönetimi amaçlı olarak, belirlenmiş tekno-ekonomik performans etkinlikleri üzerinden her bir atıksu için ayrı ayrı tasarlanmış ve farklı teknolojik muhteviyat esaslarında geliştirilmiş olan “*konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemler*”in; her iki hedef atıksu grubundaki saha ölçek tasarımlarda öne çıkan temel tasarım ölçütleri olan,

- İOP/UF hacimsel su oranının göstergesi İOP reaktörü hidrolik bekletme süresi ve

- İOP reaktörü tasarım hacmi eşdeğeri atığın günlük çekim miktarının göstergesi yılda atık çekim sayısı

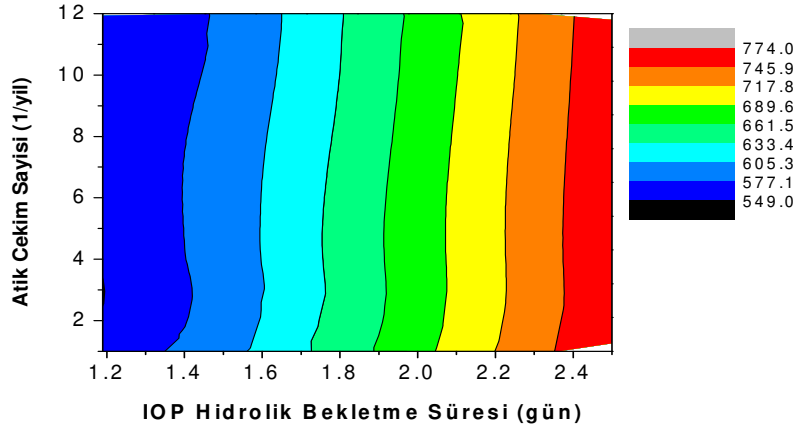
parametreleri kullanılarak, hedef iki sektör grubu için genelleştirilmiş teknolojik başarımlar seviyeleri belirlenmiştir. Bu amaçla elde edilen genelleştirilmiş ekonomik veriler üzerinden, hedef sektörler için sahada başarıyla uygulanabilirlik değerlendirmeleri yapılmıştır.

Söz konusu 2 tasarım ölçütünün değişen etkileri altında, tekstil ve kâğıt atıksuları için ayrı ayrı “*geliştirilen konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemlerin*” ilgili atıksulara saha ölçeğinde tekno-ekonomik olarak başarıyla genelleştirilebilme potansiyellerinin değerlendirilmesi; hedef atıksular için belirlenmiş uzun süreli teknik işletim performanslarının, yazılımda aynıyla saha ölçeğe benzeştirilmesi suretiyle tespit edilmiş ekonomik performans göstergeleri (İlk yatırım maliyeti (\$), toplam net yatırım maliyeti (\$/20yıl) ve birim arıtma maliyeti (\$/m³)) üzerinden yerine getirilmiştir. Bu değerlendirmeler için, değişen tasarım ölçütleri altında geri kazanım veya yeniden kullanım sularının kaliteleri, hedef endüstriler için öngörülen hedef su kalitesi değerleriyle aynı alınarak saha ölçek benzeştirmeler gerçekleştirilmiştir.

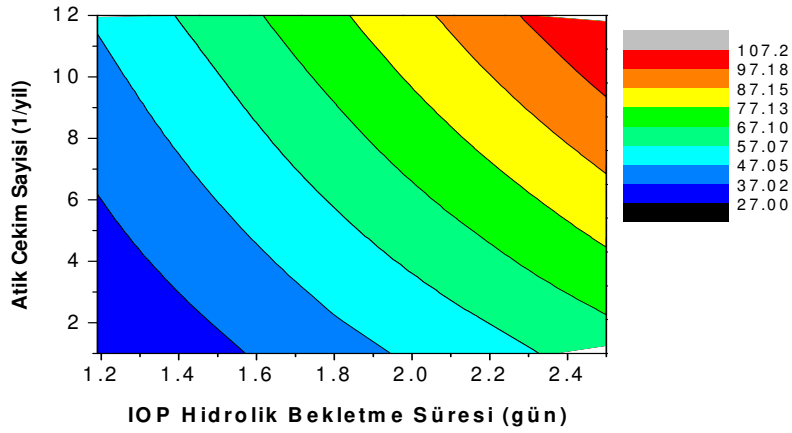
Hedef endüstrilerde, açığa çıkan atıksuların arıtımı, su geri kazanımı, konsantre yönetimi ve bertarafı amacıyla geliştirilen teknolojik uygulamaların sektör içi yaygınlaştırılabilmesine yönelik çalışmalar, sıfır sıvı deşarjı yaklaşımına göre daha ekonomik performanslar sağlamış “*sıfıra yakın sıvı deşarjı*”nda, en ekonomik çözümleri vermiş “*Fenton destekli teknolojik uygulamalar*” için yerine getirilmiştir.

Geliştirilen konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemlerin, hedef sektörlerdeki endüstriyel atıksulara genelleştirilmesine yönelik ekonomik uygulanabilirlik performansları;

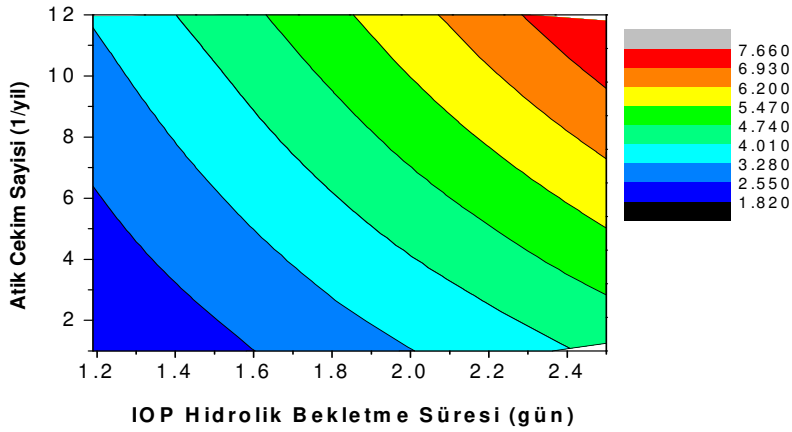
- Tekstil atıksuyu için, $[UF/NF_{sıki}/TO]/\{IOP/UF\}$ ve $[UF-\{IOP/UF\}]/[NF_{sıki}/TO]$ düzeninde konsantre arıtımı yapılan yenilikçi uygulamaya haiz konvansiyonel sistemler için sırasıyla Şekil 4.286 ve 4.287’de, $\{IOP/UF\}/[NF_{sıki}]$, $\{IOP/UF\}/[TO]$ ve $\{IOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ düzeninde geliştirilen yenilikçi sistemler için ise sırasıyla Şekil 4.288, 4.289 ve 4.290’da;
- Kâğıt atıksuyu için, $[NF_{gevşek}/NF_{sıki}]/\{IOP/UF\}$ düzeninde konsantre arıtımı yapılan yenilikçi uygulamaya haiz konvansiyonel sistem için Şekil 4.291’de, $\{IOP/UF\}/[MD]$ düzeninde geliştirilen doğal gaz ısıtımali yenilikçi sistem (*pratikteki uygulama durumunu birebir temsil etmesi bakımından (ilgili hedef endüstri alt gruplarında atıl ısının temini, her daim mümkün olmayabilecektir.)*) için Şekil 4.292’de verilmiştir.



(a)

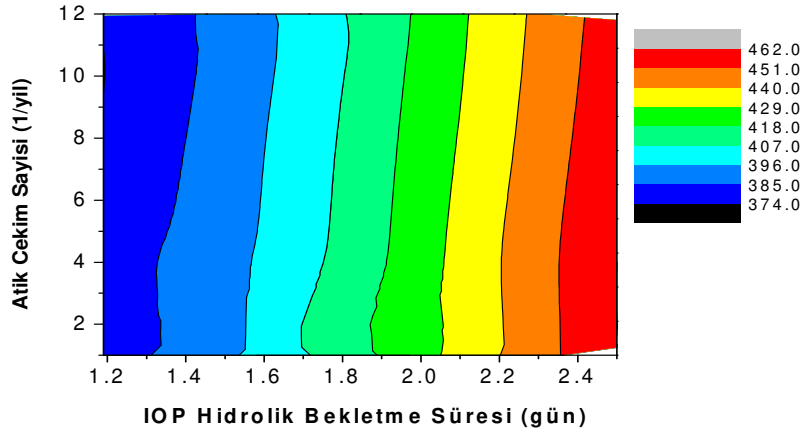


(b)

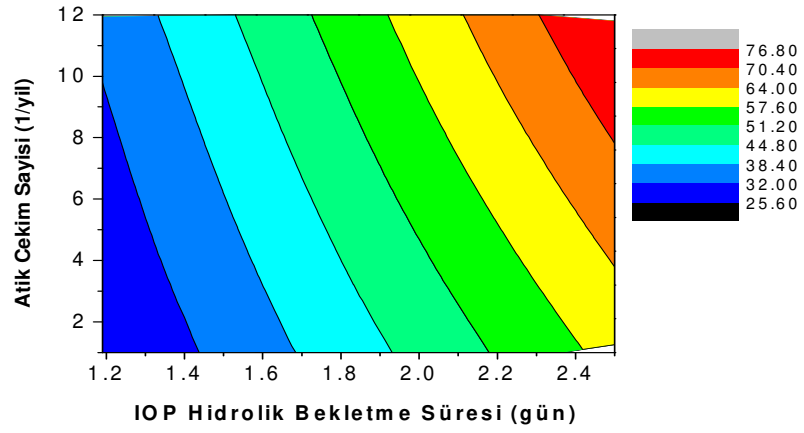


(c)

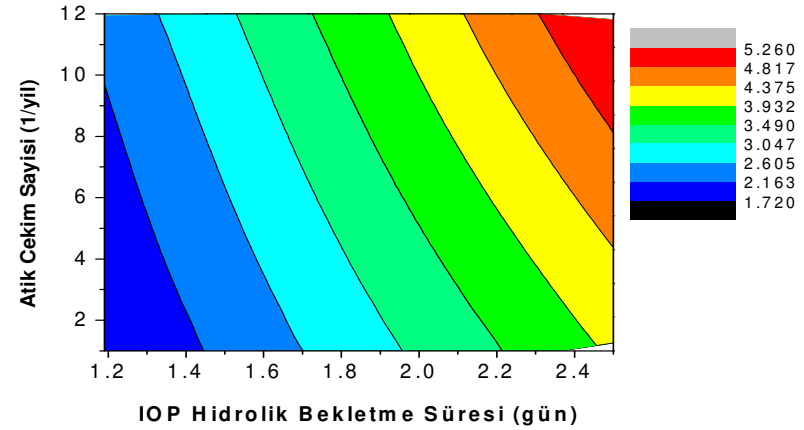
Şekil 4.286 Tekstil atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli ve ortak konsantré arıtımlı konvansiyonel $[UF/NF_{sıkr}/TO]/\{IOP/UF\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim işlemi sayısına ve İOP reaktörünün hidrolik bekletme süresine bağılı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)

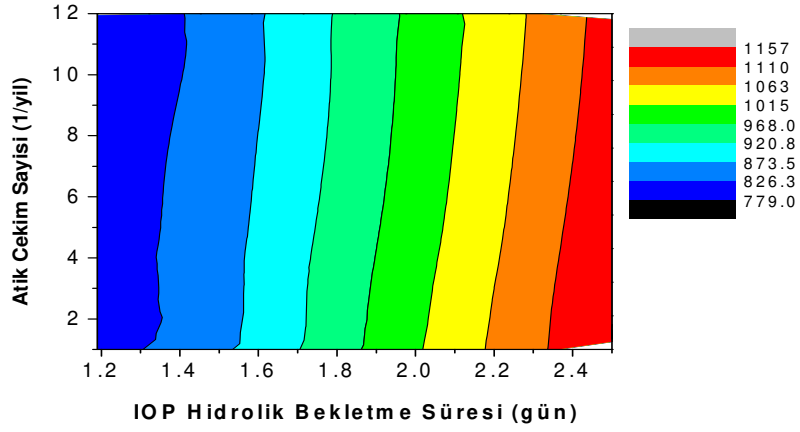


(b)

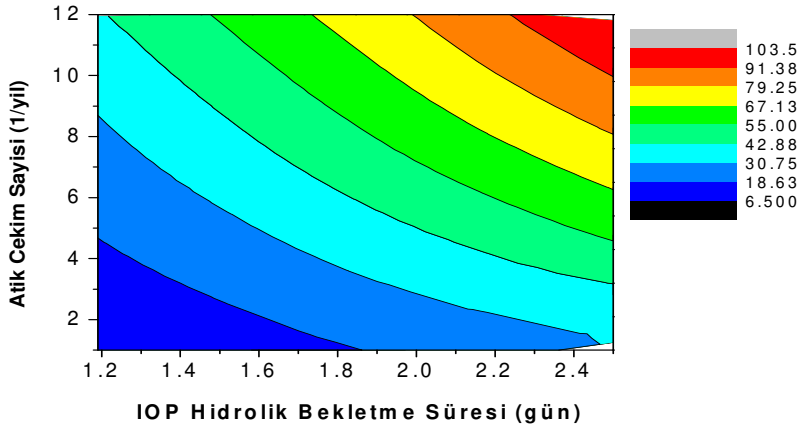


(c)

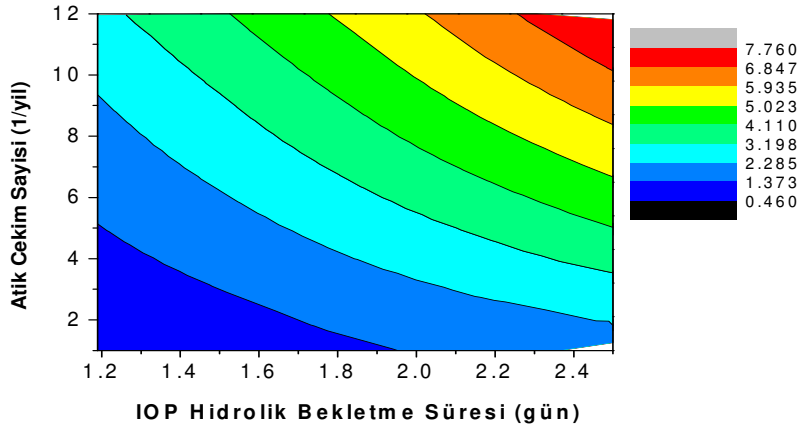
Şekil 4.287 Tekstil atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli ve UF konsantresi arıtmalı konvansiyonel $[UF - \{IOP/UF\}]/[NF_{sıkı}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti (\$/m³))



(a)

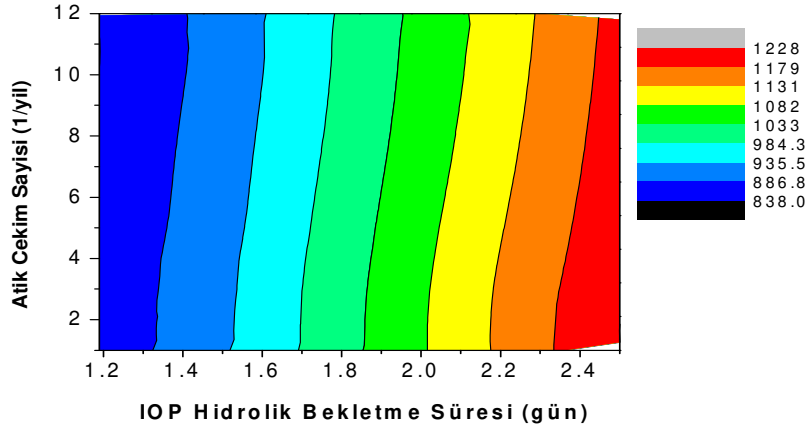


(b)

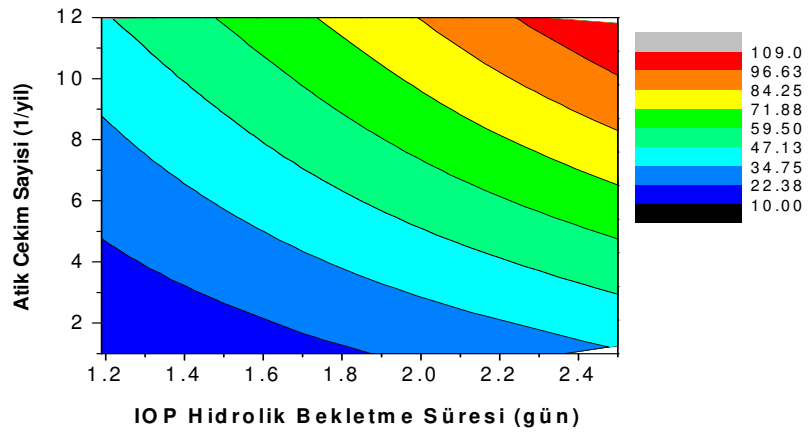


(c)

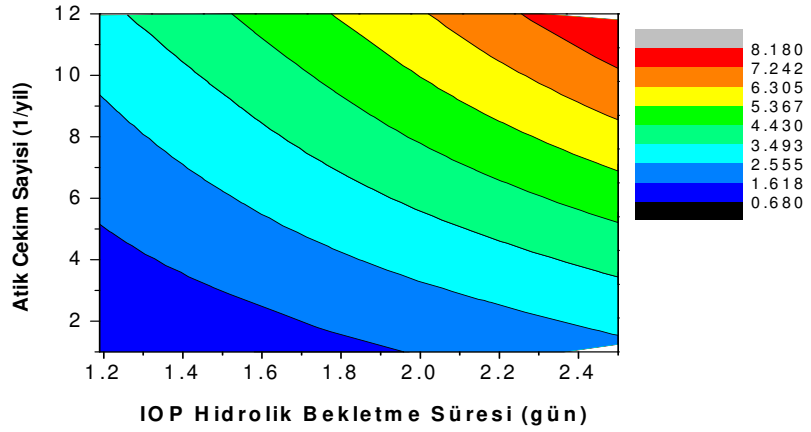
Şekil 4.288 Tekstil atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{[OP/UF]/[NF_{sıkı}]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)- İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl), (c)- Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)

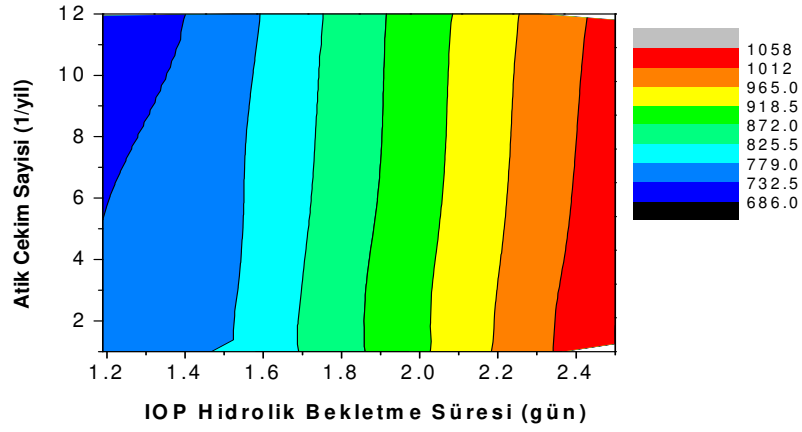


(b)

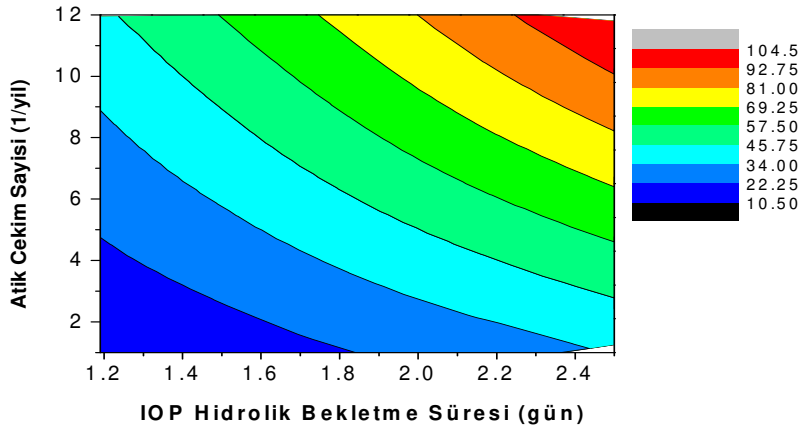


(c)

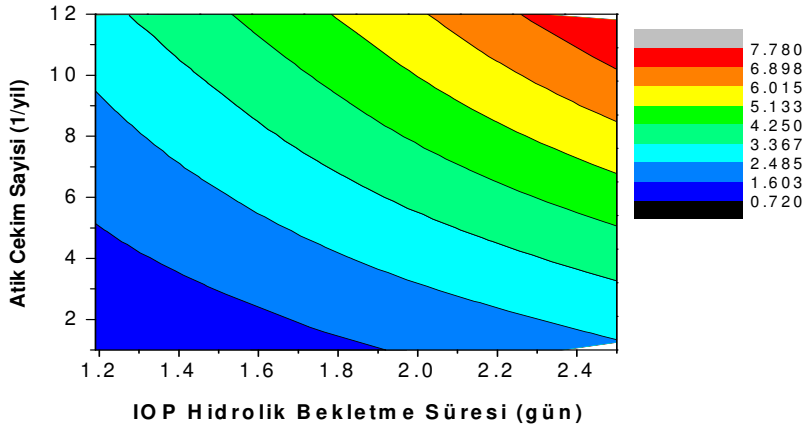
Şekil 4.289 Tekstil atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{[OP/UF]/[TO]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)

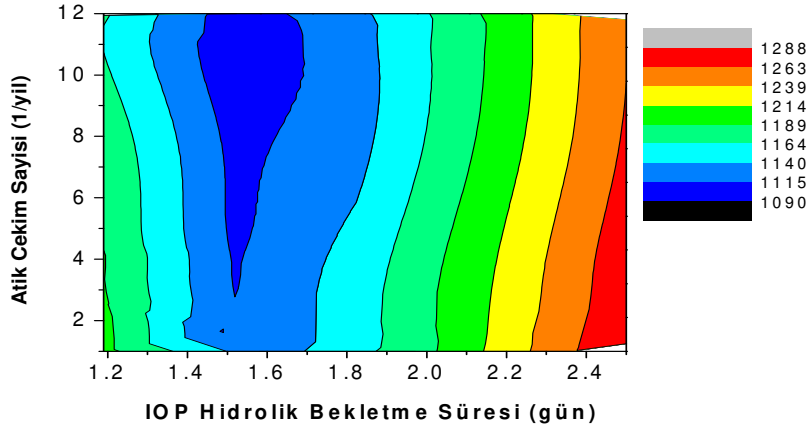


(b)

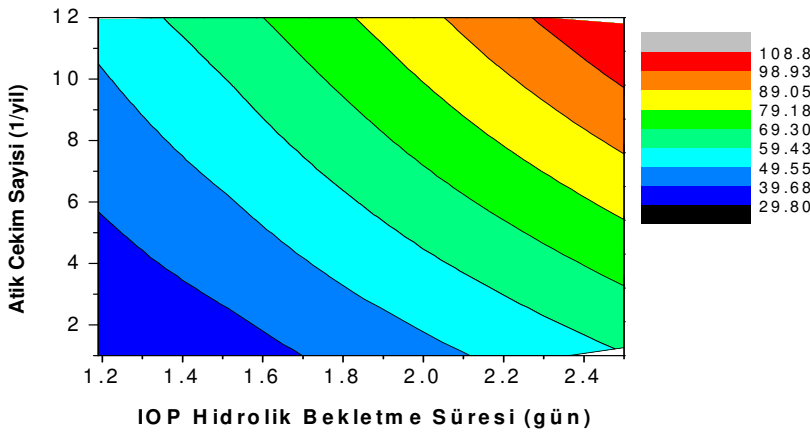


(c)

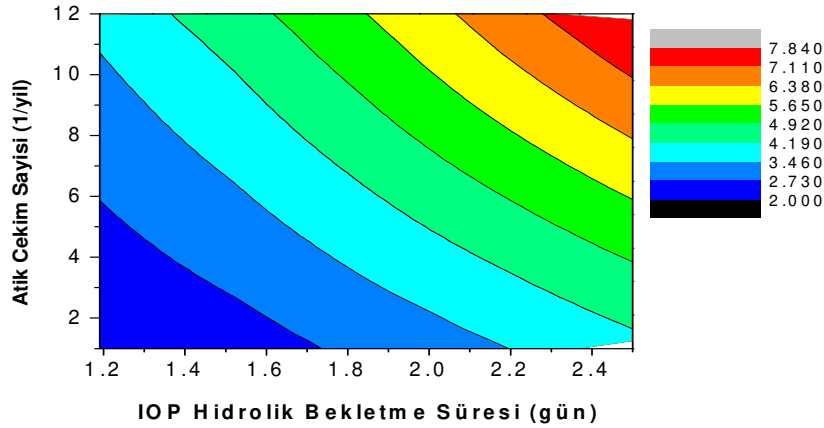
Şekil 4.290 Tekstil atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)- İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon $\$/20$ yıl), (c)- Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)

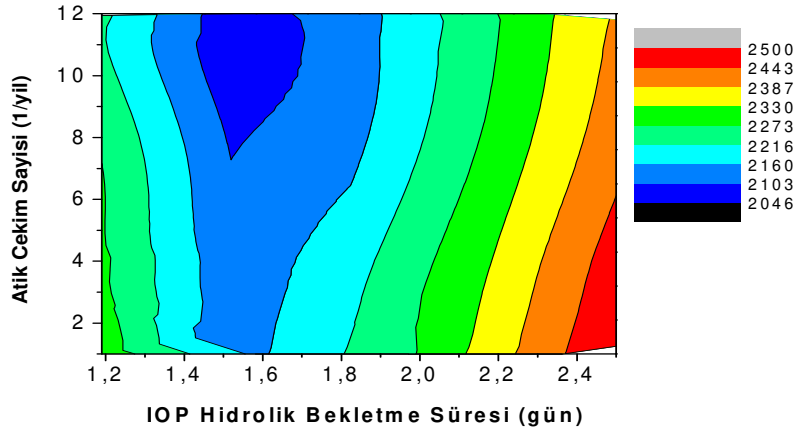


(b)

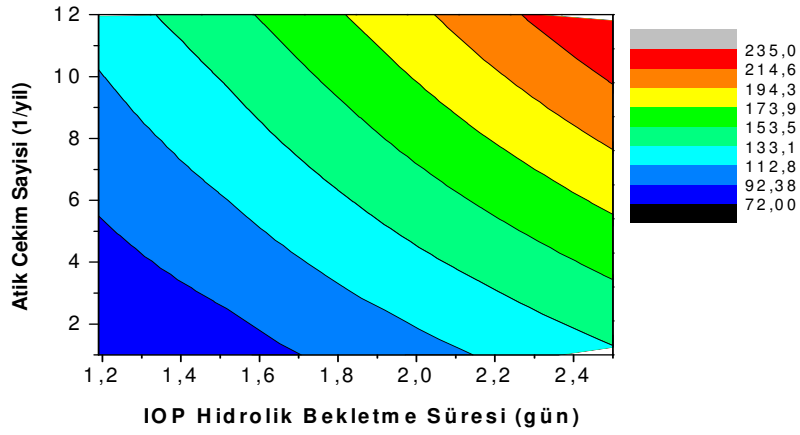


(c)

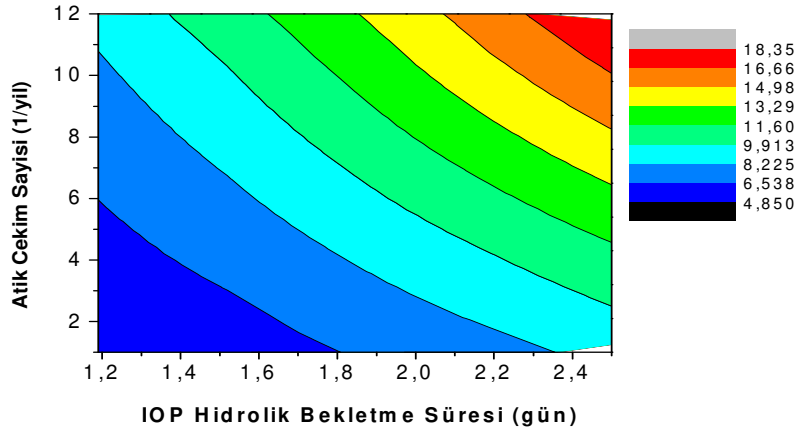
Şekil 4.291 Kağıt atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{IOP/UF\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.292 Kağıt atıksuyunun sıfıra yakın sıvı deşarjı için Fenton destekli geliştirilen yenilikçi {IOP/UF}/[MD] ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda gerçekleştirilecek atık çekim sayısına ve İOP reaktörünün hidrolik bekleme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))

Tekstil atıksuyuna özel geliştirilen konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemlerde ilk yatırım maliyetinin yıllık atık çekim sayısından daha çok İOP hidrolik bekletme süresine bağlı olarak arttığı görülmüştür. 1,19-2,5'lik İOP hidrolik bekletme süresi aralığı için ilk yatırım maliyeti değerleri; konvansiyonel $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ sistemi için 549.000-774.000 \$, konvansiyonel $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ sistemi için 374.000-462.000 \$ olup; önerilen yenilikçi sistemlerde konvansiyonel olanlardan daha yüksek maliyette olmak üzere bu değerler, $\{İOP/UF\}/[NF_{sıkl}]$ sistemi için 779.000-1.157.000 \$, $\{İOP/UF\}/[TO]$ sistemi için 838.000-1.228.000 \$ ve $\{İOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ sistemi için de 686.000-1.058.000 \$ olarak gerçekleşmektedir. İOP hidrolik bekletme süresinin iki kata yakın artışının ilk yatırım maliyetinde, 1,3-1,5 kata varan artışlara sebebiyet verdiği görülmüştür.

Kağıt atıksuyuna özel geliştirilen konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemlerde ilk yatırım maliyetinin, yıllık atık çekim sayısından daha çok İOP hidrolik bekletme süresine bağlı olarak, 1,45-1,65 günlük bekletme süresi aralığında bir minimum yaptığı görülmüştür. Bu minimum yatırım maliyeti bölgesinin, konvansiyonel $[NF_{gevşek}/NF_{sıkl}]/\{İOP/UF\}$ sistemi için atık çekim sayısının 3/yıl, yenilikçi $\{İOP/UF\}/[MD]$ sistemi için ise 7,5/yıl değerinde başladığı ve bu değerlerin üzerinde artan atık çekim sayısı değerleri için bölgenin, minimum ilk yatırım maliyetini veren maksimum İOP hidrolik bekletme süresi değerlerine ulaştığı gözlenmiştir. 1,19-2,5'lik İOP hidrolik bekletme süresi aralığı için ilk yatırım maliyeti değerleri, tekstil atıksuyu için belirlenmiş değerlerin yaklaşık iki katına varan seviyelerde olmak üzere; konvansiyonel $[NF_{gevşek}/NF_{sıkl}]/\{İOP/UF\}$ sistemi için 1.090.000-1.288.000 \$ ve önerilen yenilikçi $\{İOP/UF\}/[MD]$ sistemi için 2.046.000-2.500.000 \$ aralığında gerçekleşmiştir.

Tekstil ve kağıt atıksuları için ayrı ayrı geliştirilen konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemlerde toplam net yatırım ve birim arıtma maliyeti değerlerinin, yıllık atık çekim sayısındaki artış ile azaldığı, İOP hidrolik bekletme süresindeki artış ile de arttığı tespit edilmiştir. Her iki tasarım ölçütünün etkisi altında ilgili maliyet bileşenleri değişimlerinin tüm sistemler için üstel azalma yönlü olduğu belirlenmiştir. 1,19-2,5 gün hidrolik bekletme süreleri düzenindeki, tekstil atıksuyunda konvansiyonel $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ ve $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ ile önerilen yenilikçi $\{İOP/UF\}/[NF_{sıkl}]$, $\{İOP/UF\}/[TO]$ ve $\{İOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ sistemleri için toplam net yatırım maliyetleri sırasıyla 27.000.000-107.200.000 ve 25.600.000-76.800.000 \$/20 yıl ile 6.500.000-103.500.000, 10.000.000-109.000.000 ve 10.500.000-104.500.000 \$/20 yıl; kâğıt atıksuyunda konvansiyonel $[NF_{gevşek}/NF_{sıkl}]/\{İOP/UF\}$ ve önerilen yenilikçi $\{İOP/UF\}/[MD]$ sistemleri için toplam net yatırım maliyetleri sırasıyla 29.800.000-108.800.000 ve 72.000.000-235.000.000 \$/20 yıl olarak tespit edilmiştir. Atıksudan bağımsız olarak konvansiyonel arıtma tesislerinin toplam net yatırım maliyetleri birbirlerine yakın seviyelerdedir. Tekstil atıksuyu için uygulanan 3 kademe membran prosesli konvansiyonel

sistemlerde, sistem içerisinde membran konsantreleri akım yönetimi uygulamasının (sadece UF konsantresi artırılırken NF ve TO konsantrelerinin sistem içinde yönetimi), daha makul seviyelerde maliyet değerleri elde etme imkanı sağlamıştır. Bununla birlikte, geri kazanım suyunun m³'ü başına birim arıtma maliyeti değerlerinin ise, yukarıda anılan sıralarda olmak üzere; tekstil atıksuyu için 1,82-7,66 ve 1,72-5,26 ile 0,46-7,76, 0,68-8,18 ve 0,72-7,78 \$/m³ ve kağıt atıksuyu için de 2,00-7,84 ve 4,85-18,35 \$/m³ olarak gerçekleştiği belirlenmiştir.

Bu sonuçlar göstermektedir ki, geliştirilen konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemlerin Fenton destekli sifıra yakın sıvı deşarjı uygulamaları; kağıt atıksuyu için önerilen {İOP/UF}/[MD] sistemi hariç, arıtma sistemlerinin sahada düşük yılda atık çekim sayısı ve İOP hidrolik bekletme sürelerinde işletilmeleri durumunda, konvansiyonel ve önerilen sistemlerde sırasıyla 3,0 ve 2,0 \$/m³ değerlerinin altına inen pratikte gayet tercih edilebilir birim arıtma maliyetleriyle işletilebilecekleri görülmektedir. Tekstil atıksuyu için önerilen sistemlerle bu birim maliyet değerlerinin, her üç önerilen sistemle de 1,0 \$/m³'ün dahi aşağısına indirilebilmektedir. Bununla birlikte, her ne kadar kağıt atıksuyu için önerilen yenilikçi {İOP/UF}/[MD] sisteminin birim arıtma maliyeti yüksek seviyelerde tespit edilmiş ise de; değişen atıksu karakteristiğine bağlı maliyetler, ilerleyen alt bölümlerde teknolojinin sektöre genelleştirmesi ve sahada teknolojilerin sektör geneli uygulamalar için kıyaslamalı tercih edilebilirliklerinin tespitinde ayrıca dikkate alınarak, bu teknolojinin diğer teknolojilerle aynı atıksu karakteristiğine uygulandığındaki tekno-ekonomik performans değerlendirmeleri de ayrıca yerine getirilmiştir.

4.5.3.2 Yoğun su tüketilen endüstriyel atıksular geneli için değerlendirmeler

Yoğun su tüketimli diğer endüstrilerden açığa çıkan atıksulardan su geri kazanımının sağlanarak, bu proje kapsamında belirlenmiş esaslarda konsantre bertaraf ve yönetimlerinin gerçekleştirilmesi noktasında; tekstil ve kağıt atıksuyu için geliştirilen konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemlerin sektör geneline yaygınlaştırılabilme potansiyeli geliştirilen tüm teknolojik çözümler odaklı ayrı ayrı yerine getirilmiştir. Endüstriyel atıksuların ve membran konsantrelerinin arıtımı amacıyla geliştirilmiş hibrit İOP/batık UF teknolojisine dayalı yine bu proje kapsamında uygulaması yapılmış tüm yenilikçi teknolojik çözümlerin tekno-ekonomik etkinlikte sahada başarıyla uygulanabilme potansiyellerinin değerlendirilmesi, uygulamaların tekno-ekonomik performansları için başlıca tasarım ölçütleri olan;

- İOP/UF hacimsel su oranının göstergesi olarak İOP reaktörü hidrolik bekletme süresi ve
- İOP reaktörü tasarım hacmi eşdeğeri atığın günlük çekim miktarının göstergesi olarak yılda atık çekim sayısı

parametreleri üzerinden yerine getirilmiştir.

Kâğıt atıksularıyla tekstil arıtımı çalışılmış sistemlere benzeştirme, kâğıt atıksuları karakteristikleri altında İOP/UF performansı kâğıt için belirlenmiş olanla aynı uygulanmak suretiyle ilgili sistem simülasyonuna yazılım üzerinden girilerek sağlanmıştır. Kâğıt arıtımı çalışılmış sistemde tekstil atıksuyu performansları ise, tam tersi tekstil için benzeştirilerek uygulanmıştır. İOP/batık UF hibrit prosesi sonrasında işletilen membran proses(ler) performanslarında, o atıksu için belirlenmiş ilgili proses performanslarında herhangi bir değişim yapılmaksızın, diğer atıksu için aynı performans değerleri kullanılarak teknolojinin yoğun endüstriyel atıksu üretilen sektörlere genelleştirilebilirliği kıyaslamalı ölçütler üzerinden ortaya çıkarılmıştır. Bir başka deyişle, yazılımda ilk olarak sisteme giren atıksu karakteristiği değiştirilerek diğer hedef atıksu sistem girişinde tanımlanmış; bu atıksuya ait İOP/UF verimleri yazılıma ayrıca girilerek, sonrasındaki membran proses(ler) verimleri önceki atıksuyla aynı alınmak suretiyle (çünkü diğer atıksu için böyle bir veri yok), diğer atıksuyun o sistem için saha ölçüğe benzeştirilmesi sağlanmıştır. Bu benzeştirmelerde, endüstri genelindeki diğer yoğun su tüketilen benzer kalite içeriklerindeki atıksular olarak dikkate alınan/saha ölçüğe benzeştirilen temel atıksu karakteristikleri; tekstil atıksuyu örneğinde rölatif düşük organik ve inorganik (TOK=320 mg/L, KOI=1000 mg/L, İletkenlik=700 µS/cm ve TÇK=350 mg/L), kâğıt atıksuyu örneğinde ise rölatif yüksek organik ve inorganik (TOK=730 mg/L, KOI=2000 mg/L, İletkenlik=2000 µS/cm ve TÇK=1000 mg/L) kirlilik muhteviyatlarındadır. Bununla birlikte, $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{\text{İOP/UF}\}$ sistemi için yapılan hesaplamalarda Kağıt atıksuyu için ayrıca “ * ” tanımlaması yapılmıştır ki; bu atıksu, konvansiyonel sürekli işletilen $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{\text{İOP/UF}\}$ sistemdeki tekstil eşdeğeri rölatif düşük organik ve inorganik (TOK=350 mg/L, KOI=1000 mg/L, İletkenlik= 2000 µS/cm ve TÇK=1000 mg/L) kirlilik muhteviyatındaki kağıt atıksuyunu ifade eder. Saha ölçüğe genelleştirilebilir ekonomik performans belirlemeleri; diğer endüstrilerdeki geri kazanım suları kalitelerinin de, tekstil ve kâğıt atıksuları için öngörülen hedef su kalitesi değerleriyle aynı olduğu varsayımı üzerinden yerine getirilmiştir.

Endüstriyel atıksuların arıtımı, su geri kazanımı, konsantre yönetimi ve bertarafının sağlanması amacıyla geliştirilen teknolojik uygulamaların, diğer yoğun su tüketen endüstrilere yaygınlaştırılabilmesi üzerine yapılan değerlendirilmeler; sıfır sıvı deşarjı yaklaşımına kıyasla çok daha ekonomik performansların elde edildiği “*sıfıra yakın sıvı deşarjı*”ndaki “*Fenton destekli teknolojik uygulamalar*” içeriği üzerinedir. Değerlendirmeler, endüstrilerde sürdürülebilir su yönetiminin, endüstriyel su geri kazanımının ve konsantre atık bertarafının etkin ve başarılı bir şekilde sağlandığı 2 ayrı teknolojik çözüm grubu üzerinden ayrı ayrı yürütülmüştür.

Birinci teknolojik çözüm grubu, endüstriyel atıksuların konvansiyonel membran sistemlerle arıtıldığı ve oluşan membran konsantrelerinin İOP/batık UF yenilikçi hibrit prosesi kullanılarak arıtımlarının yerine getirildiği ve konsantre akım yönetimi ve nihai konsantre atık bertarafını da içerisine alan 3 farklı içerikte geliştirilmiş "konvansiyonel esaslı yenilikçi teknolojik uygulamalar"dır. Bu uygulamalar arıtma sistemi konfigürasyonları itibariyle;

- Ortak konsantre arıtımlı $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$
- Ortak konsantre arıtımlı $[NF_{gevşek}/NF_{sıkl}]/\{İOP/UF\}$
- Tek proste konsantre arıtımlı $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$

düzenindedir.

İkinci teknolojik çözüm grubu ise, endüstriyel atıksuların oluşan membran konsantreleriyle bir arada arıtma sisteminin ilk adımındaki İOP/batık UF yenilikçi hibrit proste arıtılarak konsantre yönetiminin yapıldığı; bu adım sonrasında kullanılan membran proses ya da proseslerle su geri kazanımının sağlanarak, akabinde nihai konsantre atık bertarafının yerine getirildiği 4 farklı içerikte geliştirilmiş "yenilikçi teknolojik uygulamalar"dır. Bu çözümler de, arıtma sistemi konfigürasyonları itibariyle;

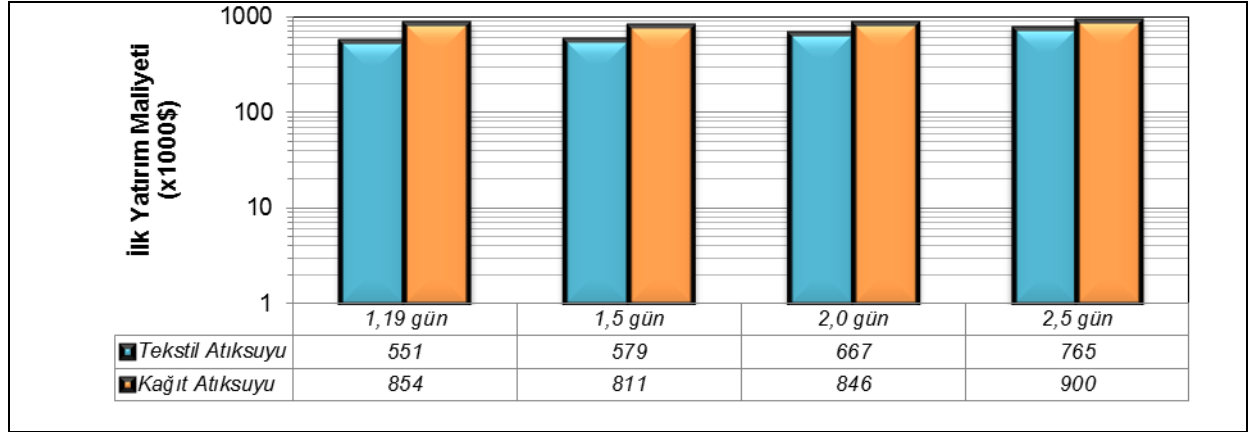
- $\{İOP/UF\}/[NF_{sıkl}]$
- $\{İOP/UF\}/[TO]$
- $\{İOP/UF\}/[MD]$
- $\{İOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$

içerikli uygulamalardır.

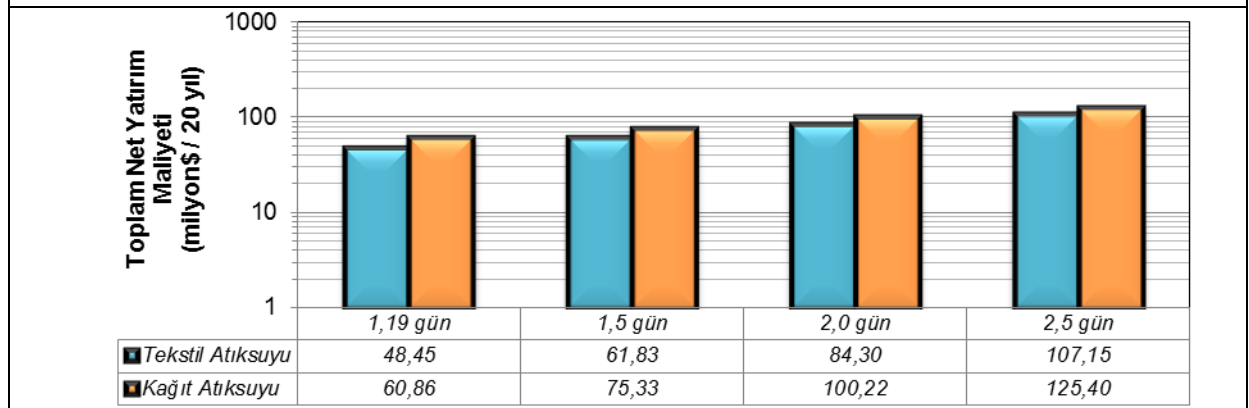
✓ **I. Teknolojik çözüm grubu – "konvansiyonel esaslı yenilikçi teknolojik uygulamalar"**

Geliştirilen konvansiyonel esaslı yenilikçi teknolojik uygulamaların, yoğun su tüketilen diğer endüstriyel atıksulara genelleştirilmesine yönelik ekonomik uygulanabilirlik performansları; ortak konsantre arıtımlı $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ ve $[NF_{gevşek}/NF_{sıkl}]/\{İOP/UF\}$ ile tek proste konsantre arıtımlı $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ düzeninde konsantre arıtımı yapılan yenilikçi uygulamaya haiz konvansiyonel sistemlerin sifıra yakın sıvı deşarjındaki Fenton destekli uygulamaları için ayda bir (yılda 12)-yılda 1 atık çekim sayılarında İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları üzerinden sırasıyla Şekil 4.293-4.294, 4.295-4.296 ve Şekil 4.297-4.298'te verilmiştir (Not: Isıtma gerektiren uygulamalardaki yakıt kaynağı doğal gazdır.).

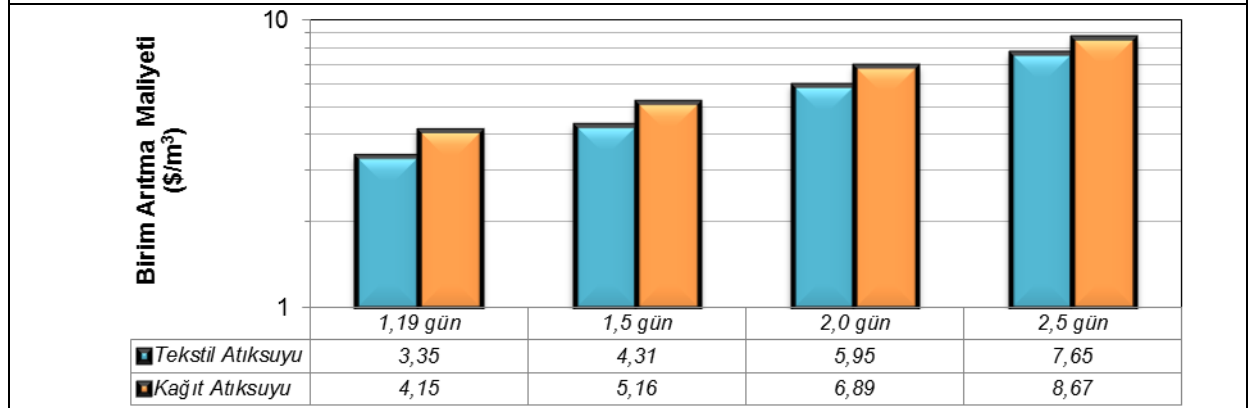
Yukarıda anılan sıradaki yenilikçi arıtma sistemlerinde, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimleri, sırasıyla Tablo 4.83, 4.84 ve 4.85'te sunulmuştur.



(a)

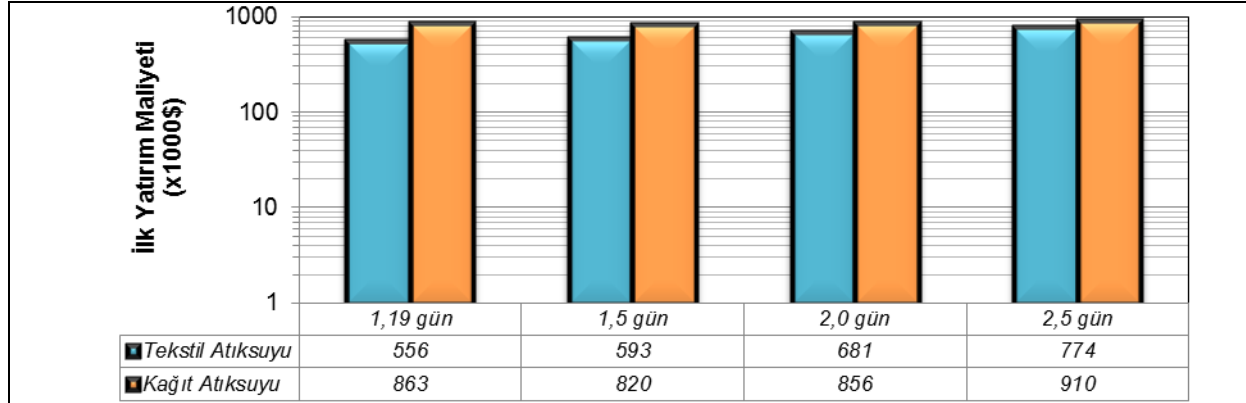


(b)

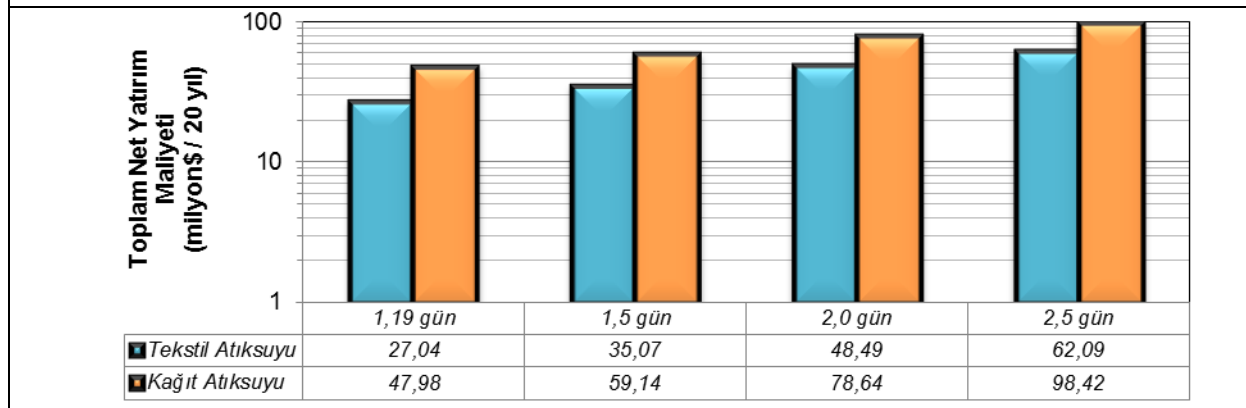


(c)

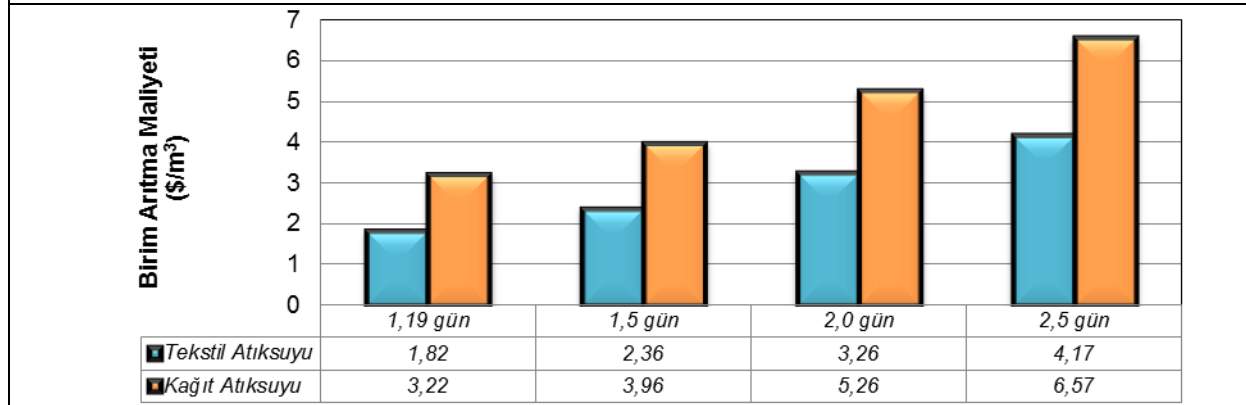
Şekil 4.293 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel [UF/NF_{sıkı}/TO]/[OP/UF] ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti (\$/m³)



(a)



(b)

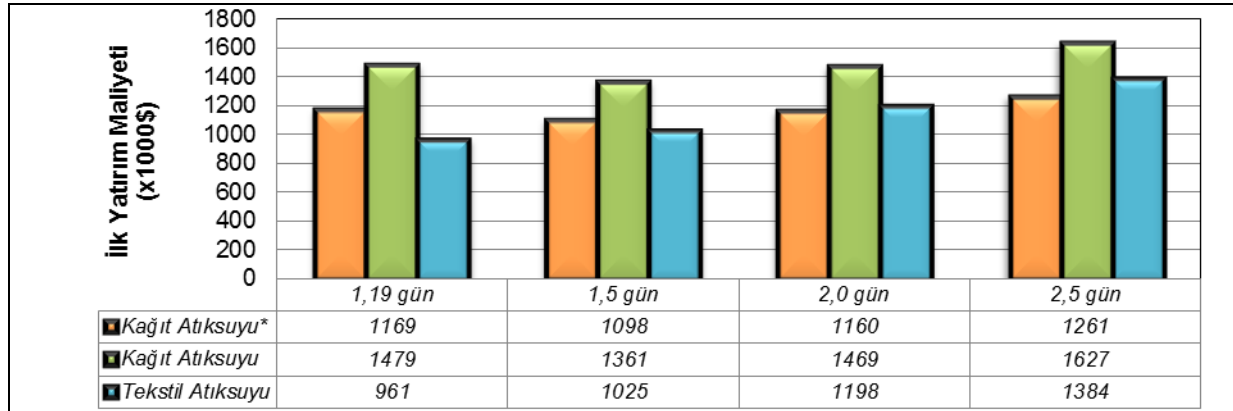


(c)

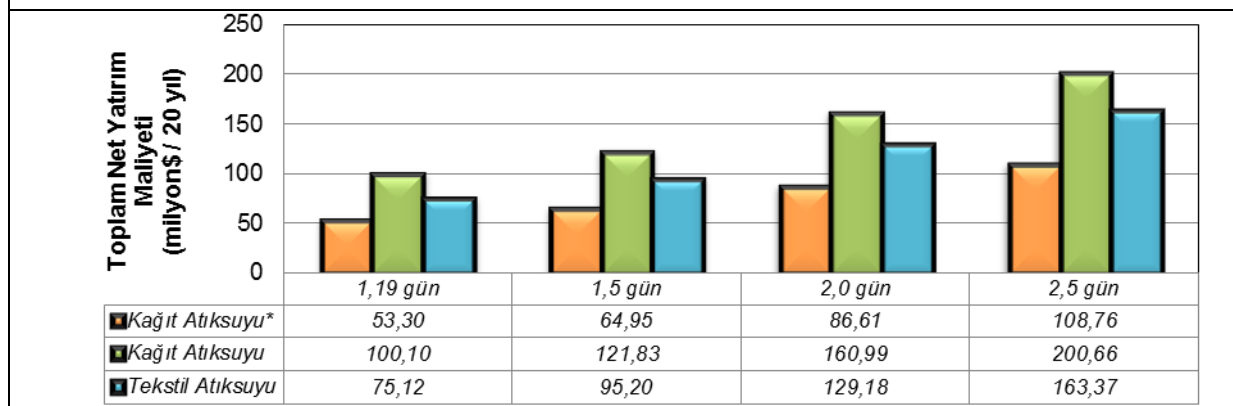
Şekil 4.294 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel [UF/NF_{sıkı}/TO]/{İOP/UF} ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekleme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti (\$/m³))

Tablo 4.83 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel [UF/NF_{sıkı}/TO]/{İOP/UF} ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağılı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi

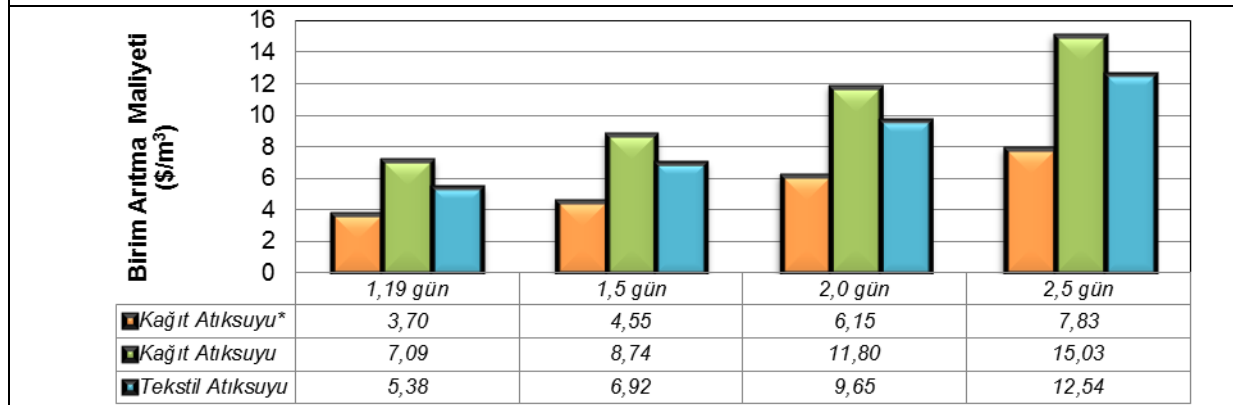
Bileşenler	Birim	Ayda bir atık çekim				Yılda bir atık çekim			
		Tekstil Atıksuyu		Kâğıt Atıksuyu		Tekstil Atıksuyu		Kâğıt Atıksuyu	
		İOP Hidrolik Bekletme Süresi (gün)							
		1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5
İOP Reaktör Hacmi	m ³	1000	2099	601	1260	1000	2099	601	1260
İOP Reaktörü Organik Madde Yüğü	kg/gün	637	1335,6	1051,05	2204,13	637	1335,6	1051,05	2204,13
UF* Ünite Sayısı	adet	12	4	25	3	12	4	26	3
UF Geri Kazanım Oranı	%	80	80	85	85	80	80	85	85
NF _{sıkı} Geri Kazanım Oranı		80	80	85	85	80	80	85	85
TO Geri Kazanım Oranı		80	80	90	90	80	80	90	90
Nihai Atık Miktarı	m ³ /gün	30,23	63,64	18,35	38,22	2,54	5,28	1,57	3,26



(a)

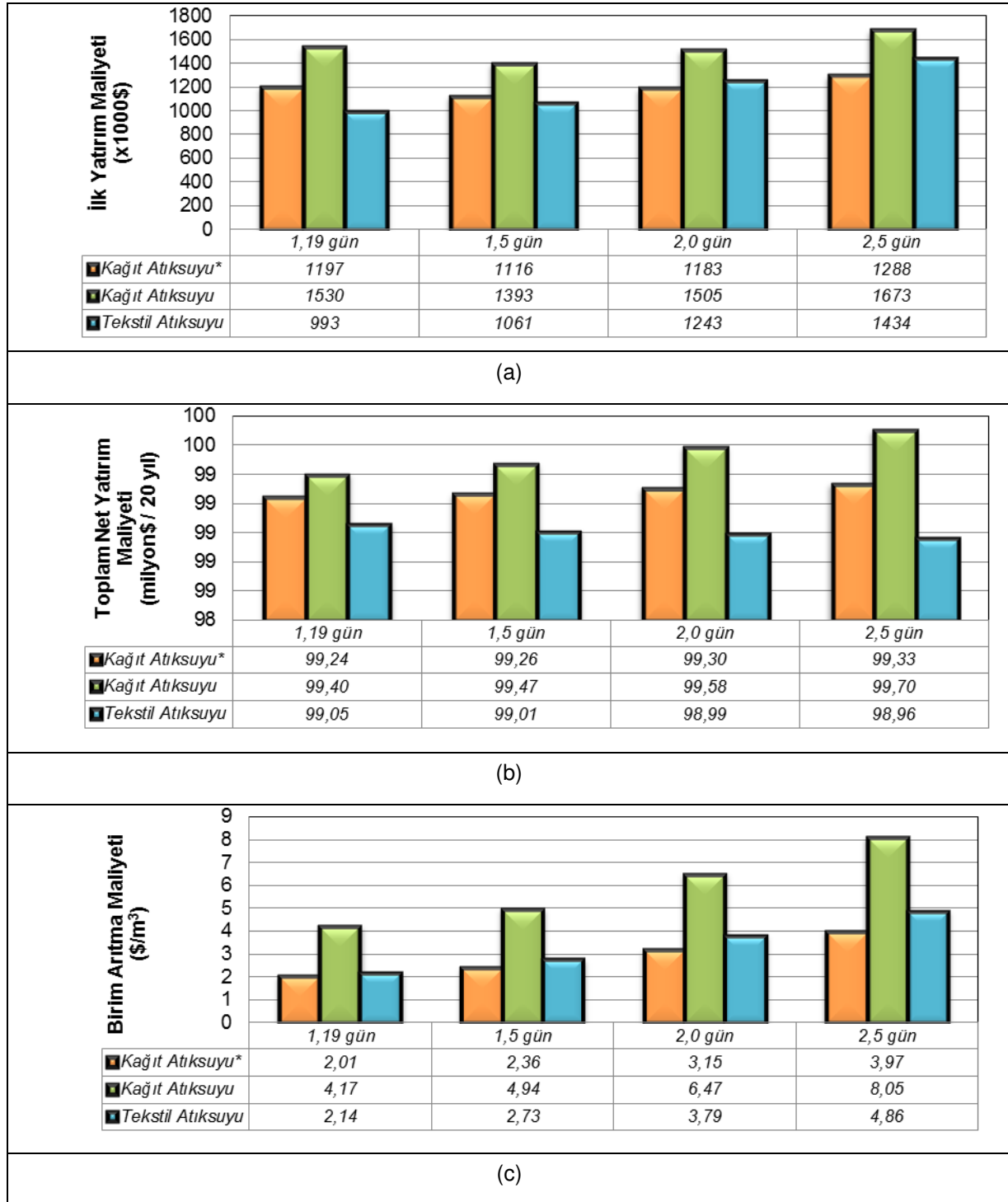


(b)



(c)

Şekil 4.295 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantrite arıtımlı konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]\{IOP/UF\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20 yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)), (*: tekstil atıksuyuna eşdeğer organik kirlilik içeriği)

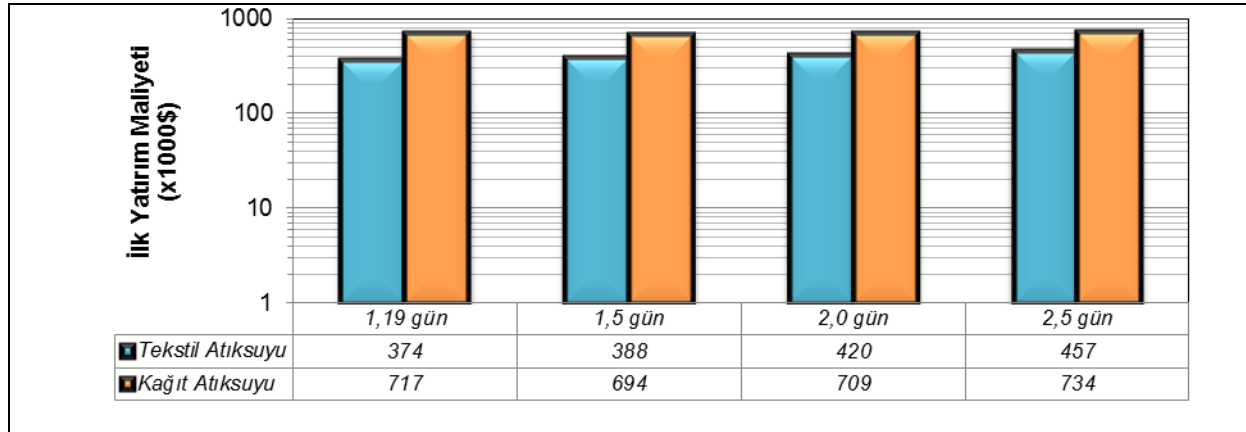


Şekil 4.296 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{IOP/UF\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekleme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20 yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)), (*: tekstil atıksuyuna eşdeğer organik kirlilik içeriği)

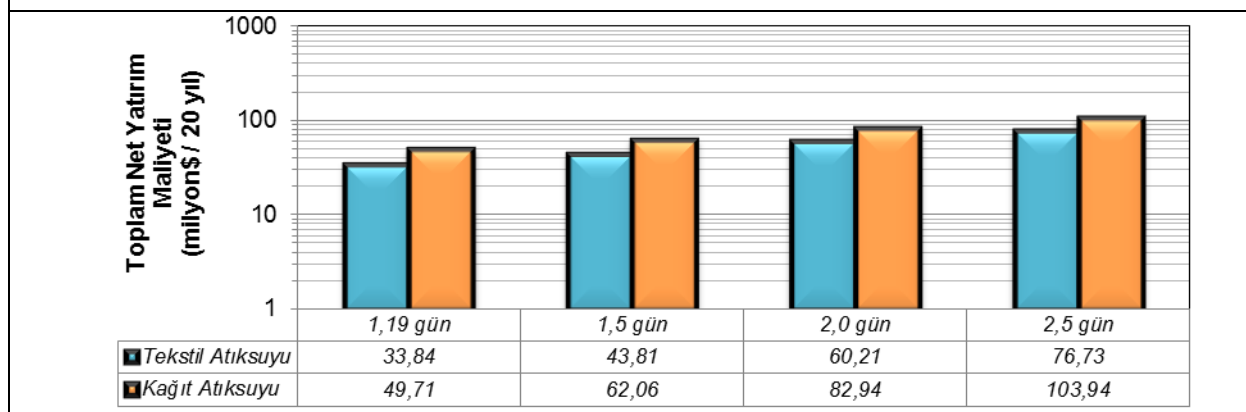
Tablo 4.84 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{\text{İOP/UF}\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağılı saha ölçek tasarım parametrelerinin değışimi

Bileşenler	Birim	Ayda bir atık çekim						Yılda bir atık çekim					
		Kağıt Atıksuyu*		Kağıt Atıksuyu		Tekstil Atıksuyu		Kağıt Atıksuyu*		Kağıt Atıksuyu		Tekstil Atıksuyu	
		İOP Hidrolik Bekletme Süresi (gün)											
		1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5
İOP Reaktör Hacmi	m ³	1118	2349	1812	3806	2049	4301	1118	2349	1812	3806	2049	4301
İOP Reaktörü Organik Madde Yükü	kg/gün	512,4	1076,7	1049,1	2204	628,6	1320	512,4	1076,7	1049,1	2204	628,6	1320
UF* Ünite Sayısı	adet	45	5	71	8	23	6	48	6	78	9	25	7
NF _{gevşek} Geri Kazanım Oranı	%	72	72	70	70	65	65	72	72	70	70	65	65
NF _{sıkı} Geri Kazanım Oranı		75	75	60	60	60	60	75	75	60	60	60	60
Nihai Atık Miktarı	m ³ /gün	33,54	70,59	54,39	114,19	61,67	129,59	2,78	5,85	4,46	9,46	5,08	10,66

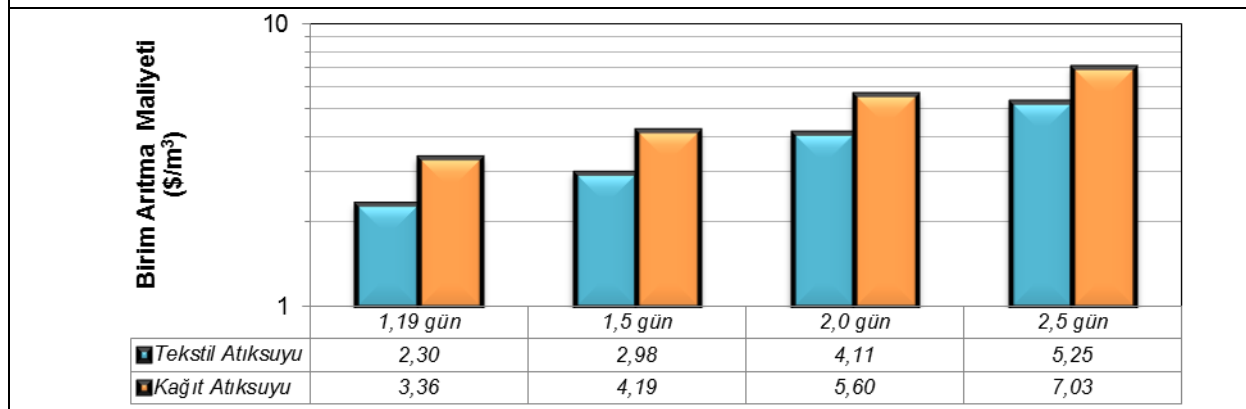
* $[NF_{\text{gevşek}}/NF_{\text{sıkı}}]/\{\text{İOP/UF}\}$ sisteminde kullanılan tekstil eşdeğeri rölatif düşük organik (TOK=350 mg/L) kirlilik muhteviyatındaki kağıt atıksuyunu ifade eder.



(a)

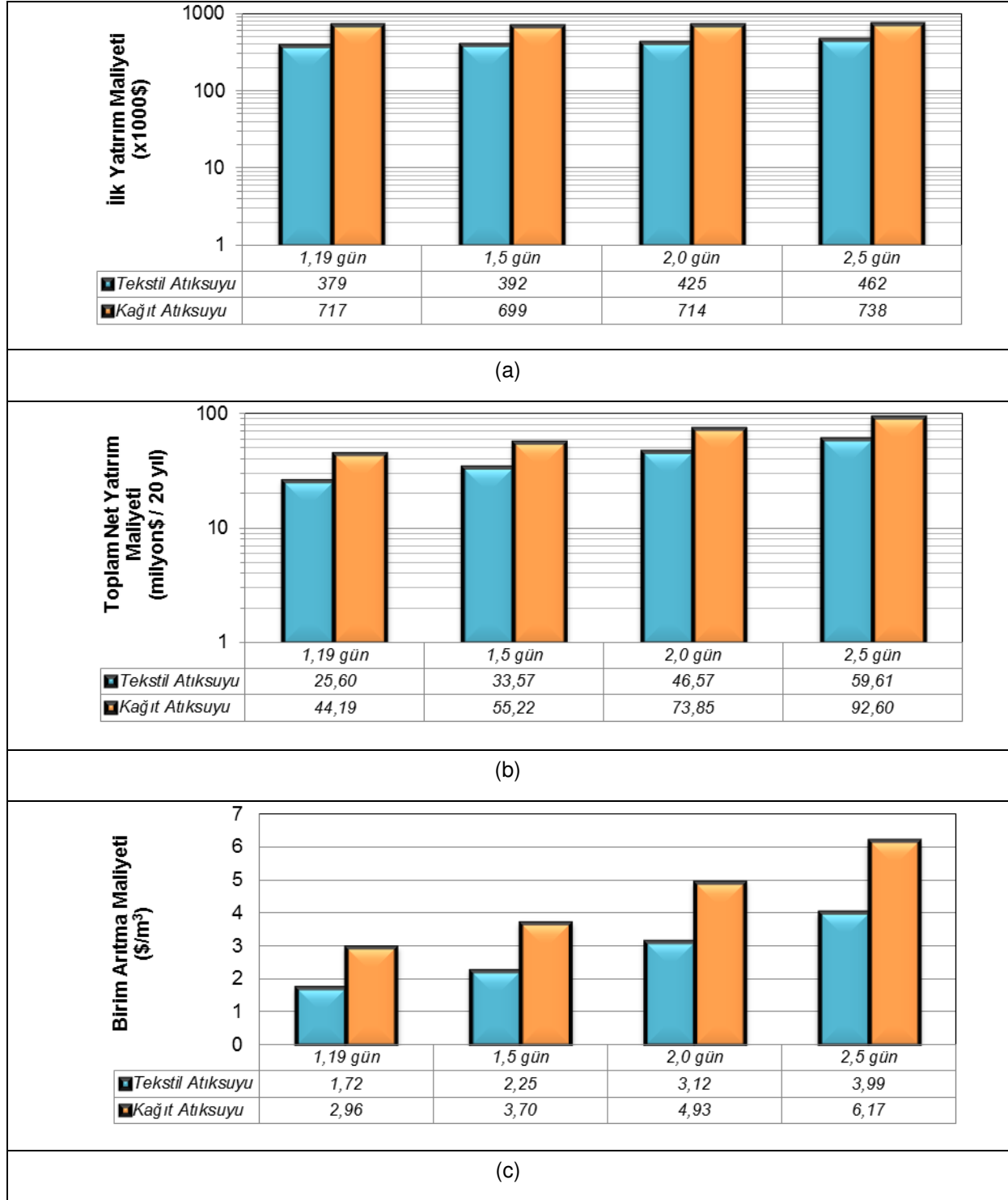


(b)



(c)

Şekil 4.297 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve UF proseste konsantre arıtımlı konvansiyonel $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekleme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20 yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



Şekil 4.298 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve UF proseste konsantre arıtımlı konvansiyonel $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkı}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))

Tablo 4.85 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel [UF- $\{[OP/UF]\}/[NF_{sıki}/TO]$] ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağılı saha ölçek tasarım parametrelerinin değışimi

Bileşenler	Birim	Ayda bir atık çekim				Yılda bir atık çekim			
		Tekstil Atıksuyu		Kağıt Atıksuyu		Tekstil Atıksuyu		Kağıt Atıksuyu	
		İOP Hidrolik Bekletme Süresi (gün)							
		1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5
İOP Reaktör Hacmi	m ³	380	798	250	523	380	798	250	523
İOP Reaktörü Organik Madde Yüğü	kg/gün	704,8	1481,2	1059,4	2216,8	704,8	1481,2	1059,4	2216,8
UF* Ünite Sayısı	adet	5	2	11	2	5	2	11	2
UF Geri Kazanım Oranı	%	80	80	85	85	80	80	85	85
NF _{sıki} Geri Kazanım Oranı		80	80	82	82	80	80	82	82
TO Geri Kazanım Oranı		80	80	85	85	80	80	85	85
Nihai Atık Miktarı	m ³ /gün	11,68	24,19	7,76	15,94	0,97	2,04	0,66	1,39

Fenton destekli sifıra yakın sıvı deşarjı uygulamasında, ortak konsantre arıtmalı ve konvansiyonel esaslı geliştirilen $[UF/NF_{sıkl}/TO]/\{İOP/UF\}$ yenilikçi arıtma sisteminde, rölatif yüksek (KOI=2000 mg/L) organik içerikli kağıt atıksularının arıtılması durumunda; rölatif düşük (KOI=1000 mg/L) organik içerikli tekstil atıksuyuna nazaran İOP hidrolik bekletme süresinin artmasıyla %17-18 seviyesinde bir farkla değişen daha fazla ilk yatırım maliyeti söz konusudur. Aynı zamanda daha yüksek toplam net yatırım maliyeti değerlerinin etkisi altında birim arıtma maliyeti değerlerinin, 1,19-2,5 gün'lük hidrolik bekletme sürelerinde sırasıyla; ayda 1 atık çekimi için tekstildeki 3,35-7,65 $\$/m^3$ 'ten kağıttaki 4,15-8,67 $\$/m^3$ 'e ve yılda 1 atık çekimi sayısı için de tekstildeki 1,82-4,17 $\$/m^3$ 'ten kağıttaki 3,22-6,57 $\$/m^3$ 'e arttığı belirlenmiştir. Tekstil atıksuyundan kağıt atıksuyuna sistemdeki maliyet artışları, esasen İOP reaktörde artan kimyasal madde sarfiyatı ve bertarafa gönderilecek nihai atık miktarı itibariyle olmak üzere kısmen de batık UF ünite sayısının artması dolayısıyladır.

Ortak konsantre arıtmalı ve konvansiyonel esaslı geliştirilen $[NF_{gevşek}/NF_{sıkl}]/\{İOP/UF\}$ yenilikçi arıtma sisteminde, rölatif düşük organik içerikli tekstil atıksuyunun arıtılması durumunda; rölatif yüksek organik içerikli kağıt atıksuyuna kıyasla İOP hidrolik bekletme süresinin artmasıyla %30'lardan %17-18'lere bir farkla değişen daha fazla ilk yatırım maliyeti söz konusudur. Tekstile eşdeğer kağıt atıksuyu organik yükünde ise ilk yatırım maliyeti değerlerinin, tekstil atıksuyunun arıtılması durumundaki değerlerle yarışabilir seviyelerde yakın olduğu görülmektedir. Toplam net yatırım maliyetleri, yılda 1 atık çekimindeki her üç atıksu içeriği türündeki yaklaşık aynı maliyet değerlerinden, ayda 1 atık çekimindeki çok farklı seviyelere değişmektedir. Sistem rölatif yüksek organik içerikli kağıt atıksuyunda en yüksek maliyetleri sergilemekte olup; azalan atıksu çeşidindeki organik yük içeriği sebebiyle rölatif düşük tekstil ve kağıt atıksularında bu değerler oldukça düşmektedir. En az batık UF modülü sayısı, nihai atık debisi ve İOP reaktörü organik yüküne sahip rölatif düşük kağıt atıksuyunda, NF membran proseslerde daha yüksek su geri kazanımı da sağlanarak, 1,19-2,5 gün'lük hidrolik bekletme sürelerinde sırasıyla; ayda 1 atık çekimi için 3,70-7,83 $\$/m^3$ ve yılda 1 atık çekimi sayısı için de 2,01-3,97 $\$/m^3$ ile en düşük birim arıtma maliyeti değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir.

UF'te konsantre arıtmalı ve konvansiyonel esaslı geliştirilen $[UF-\{İOP/UF\}]/[NF_{sıkl}/TO]$ yenilikçi arıtma sisteminde, rölatif yüksek organik içerikli kağıt atıksuyunun arıtılması durumunda; rölatif düşük organik içerikli tekstil atıksuyuna kıyasla İOP hidrolik bekletme süresinin artmasıyla %90'lardan %65'lere bir farkla değişen daha fazla ilk yatırım maliyeti söz konusudur. Daha yüksek toplam net yatırım maliyeti değerlerinin etkisi altında birim arıtma maliyeti değerlerinin, 1,19-2,5 gün'lük hidrolik bekletme sürelerinde sırasıyla; ayda 1 atık çekimi için tekstildeki 2,30-5,25 $\$/m^3$ 'ten kağıttaki 3,36-7,03 $\$/m^3$ 'e ve yılda 1 atık çekimi

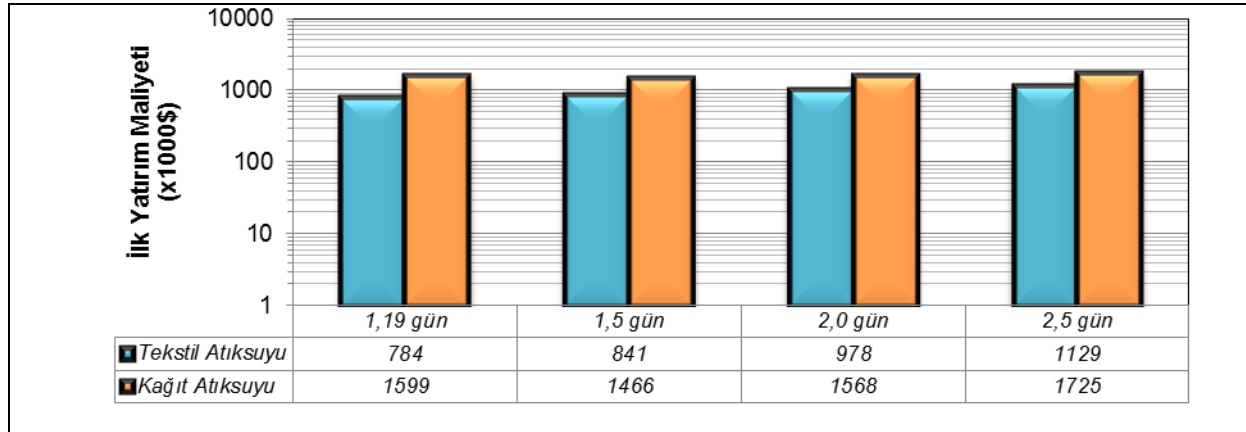
sayısı için de tekstildeki 1,72-3,99 $\$/m^3$ 'ten kağıttaki 2,96-6,17 $\$/m^3$ 'e; basınç sürücülü proseslerde artan su geri kazanım oranlarına rağmen, artan İOP reaktörü organik yüküne bağlı artan kimyasal madde sarfiyatı, daha fazla bertaraf edilecek nihai atık çekim debisi ve batık UF modülü sayısı artışları sebebiyle arttığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, konvansiyonel esaslı geliştirilen yenilikçi sistemlerde Fenton destekli sifıra yakın sıvı deşarjı uygulamaları; arıtma sistemlerinin sahada düşük yılda atık çekim sayısı ve İOP hidrolik bekletme sürelerinde işletilmeleri durumunda, rölatif yüksek ve rölatif düşük organik kirlilik içerikli atıksular için sırasıyla 3,0 ve 2,0 $\$/m^3$ değerlerinin altına inen pratikte oldukça tercih edilebilir birim arıtma maliyetleriyle işletim söz konusu olmaktadır.

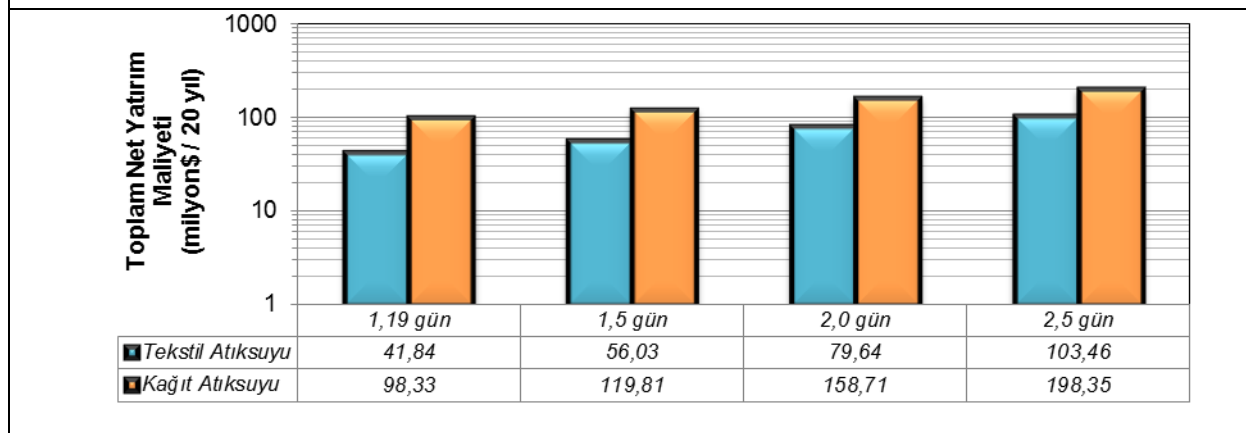
✓ II. Teknolojik çözüm grubu – “yenilikçi teknolojik uygulamalar”

Geliştirilen yenilikçi teknolojik uygulamaların, yoğun su tüketilen diğer endüstriyel atıksulara genelleştirilmesine yönelik ekonomik uygulanabilirlik performansları; $\{\dot{I}OP/UF\}/[NF_{sıkl}]$, $\{\dot{I}OP/UF\}/[TO]$, $\{\dot{I}OP/UF\}/[MD]$ ve $\{\dot{I}OP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ düzeninde geliştirilen yenilikçi sistemlerin sifıra yakın sıvı deşarjındaki Fenton destekli uygulamaları için İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12)-yılda 1 atık çekim sayılarında İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları üzerinden sırasıyla Şekil 4.299-4.300, 4.301-4.302, 4.303-4.304 ve Şekil 4.305-4.306'da verilmiştir (*Not: Isıtma gerektiren uygulamalarda yakıt kaynağı doğal gazdır.*). Yukarıda anılan sıradaki yenilikçi sistemlerde, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimleri ise sırasıyla Tablo 4.86,4.87,4.88 ve 4.89'de gösterilmiştir.

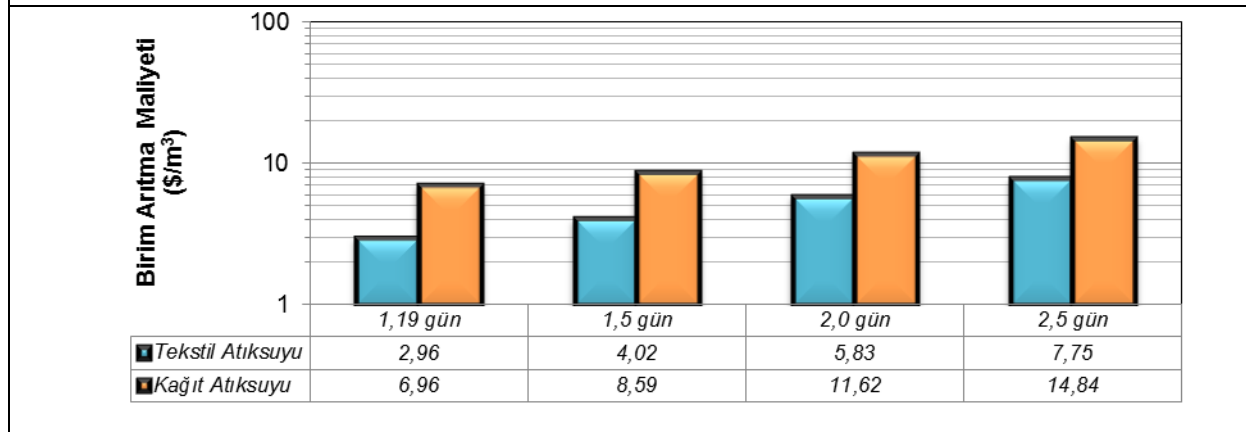
Fenton destekli sifıra yakın sıvı deşarjı uygulamasında, yenilikçi $\{\dot{I}OP/UF\}/[NF_{sıkl}]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon arıtma sisteminde, rölatif yüksek (KOI=2000 mg/L) organik içerikli kağıt atıksularının arıtılması durumunda; rölatif düşük (KOI=1000 mg/L) organik içerikli tekstil atıksuyuna nazaran İOP hidrolik bekletme süresinin 1,19 günden 2,5 gün değerine artmasıyla yaklaşık 2 kat seviyesinden %55 seviyesine bir farkla değişen daha fazla ilk yatırım maliyeti söz konusu olduğu görülmüştür. Aynı zamanda ayda 1 atık çekiminde 2 kat civarında değişen toplam net yatırım maliyeti değerlerinin etkisi altında birim arıtma maliyeti değerleri, 1,19-2,5 gün'lük hidrolik bekletme sürelerinde sırasıyla; ayda 1 atık çekimi için tekstildeki 2,96-7,75 $\$/m^3$ 'ten kağıttaki 6,96-14,84 $\$/m^3$ 'e ve yılda 1 atık çekimi sayısı için de tekstildeki 0,47-2,04 $\$/m^3$ 'ten kağıttaki 4,06-7,93 $\$/m^3$ 'e artmıştır. Tekstil atıksuyundan kağıt atıksuyuna sistemdeki maliyet artışlarının, esas itibarıyla, İOP reaktöründe artan organik madde yüküne bağlı oksidasyon için gerekli kimyasal madde sarfiyatındaki artış ile bertarafa gönderilecek nihai atık miktarındaki ve batık UF ünite sayısındaki artışlar sebebiyle olduğu belirlenmiştir.



(a)

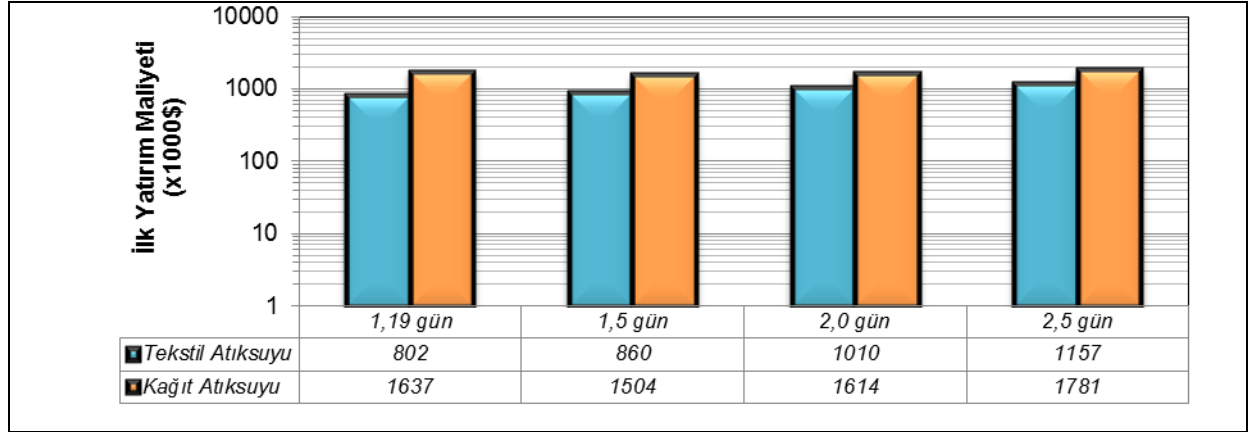


(b)

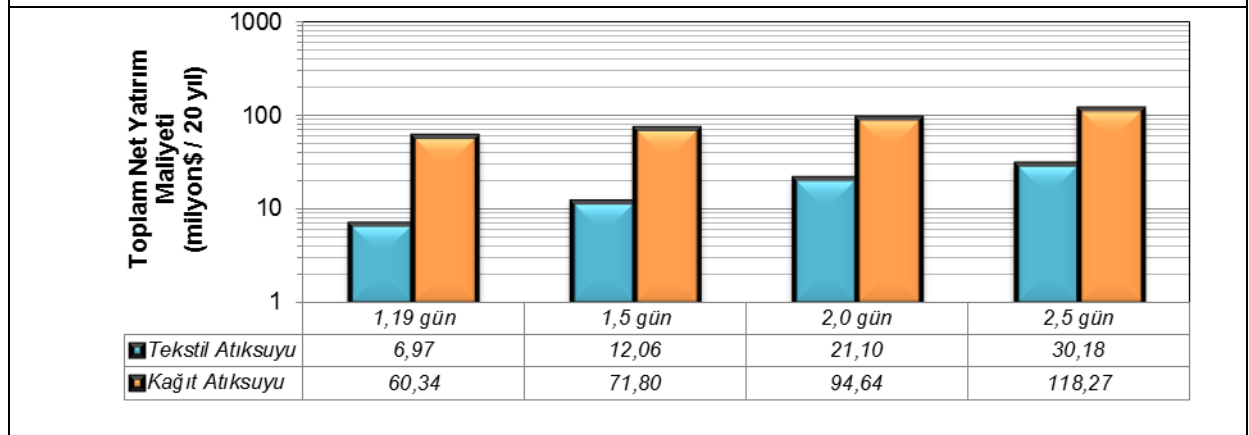


(c)

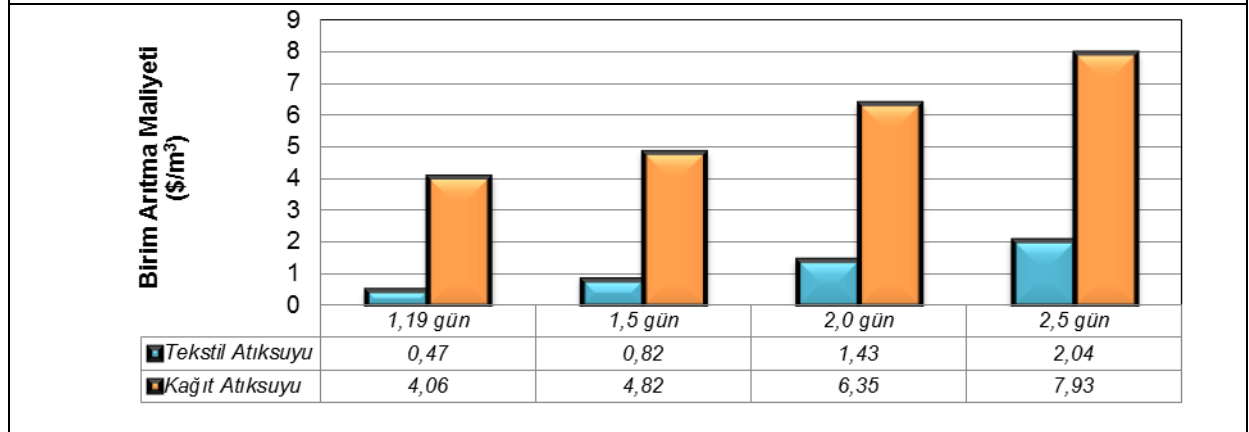
Şekil 4.299 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{[OP/UF]/[NF_{sıkı}]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)



(b)

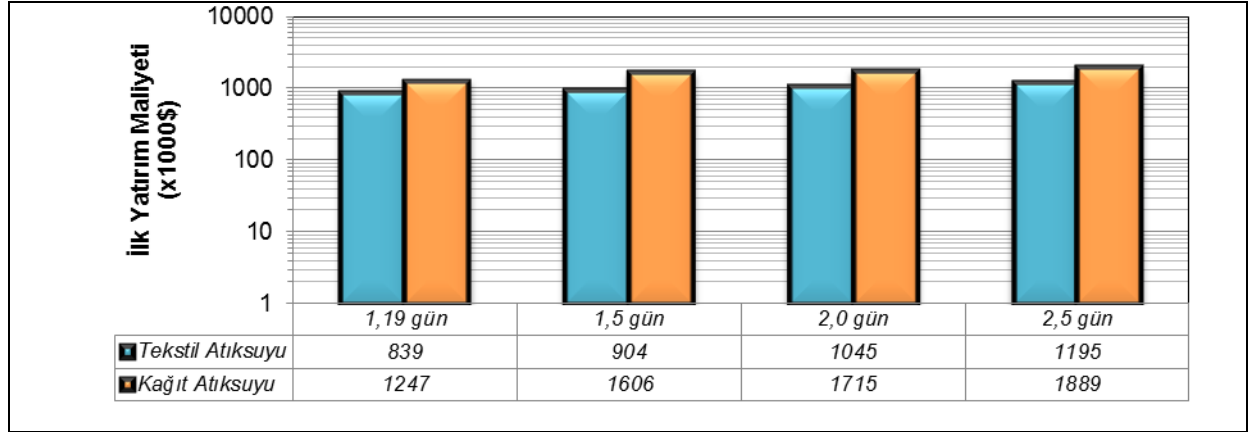


(c)

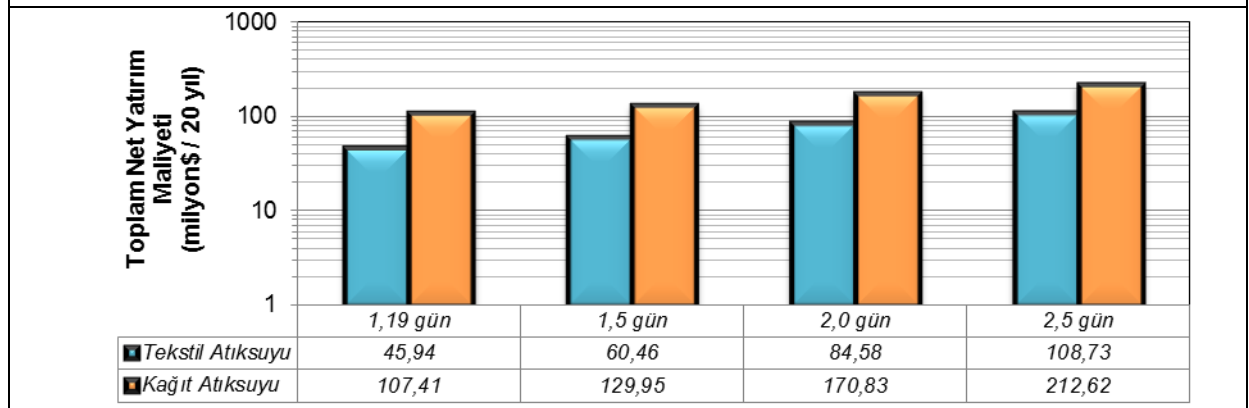
Şekil 4.300 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{[OP/UF]/[NF_{sıkı}]\}$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidroluk bekleme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))

Tablo 4.86 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantrite arıtımlı konvansiyonel {İOP/UF}/[NF_{sıkı}] ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağılı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi

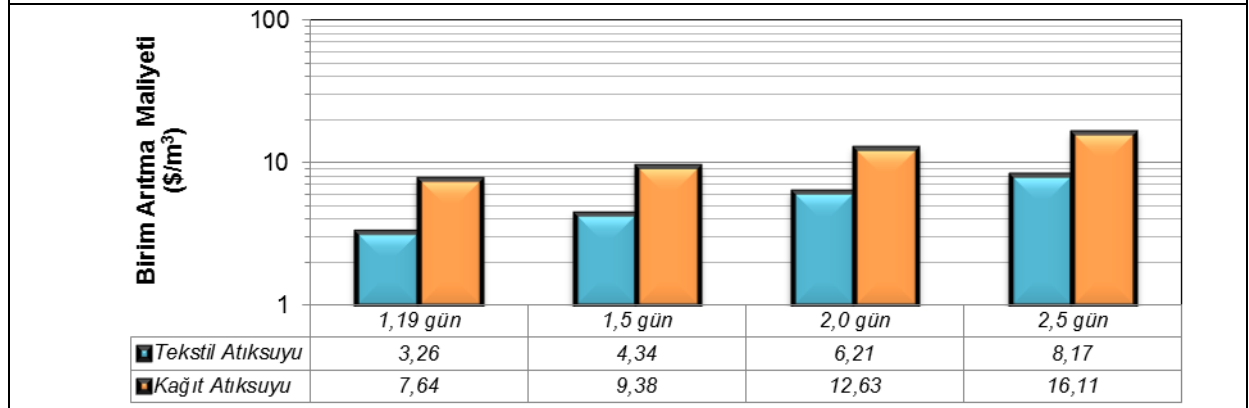
Bileşenler	Birim	Ayda bir atık çekim				Yılda bir atık çekim			
		Tekstil Atıksuyu		Kağıt Atıksuyu		Tekstil Atıksuyu		Kağıt Atıksuyu	
		İOP Hidrolik Bekletme Süresi (gün)							
		1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5
İOP Reaktör Hacmi	m3	1639	3441	1801	3782	1639	3441	1801	3782
İOP Reaktörü Organik Madde Yüğü	kg/gün	295	619,3	1049,3	2203,7	295	619,3	1049,3	2203,7
UF* Ünite Sayısı	adet	18	6	74	8	19	6	77	9
NF _{sıkı} Geri Kazanım Oranı	%	80	80	73	73	80	80	73	73
Nihai Atık Miktarı	m3/gün	49,32	103,51	54,08	113,56	4,05	8,52	4,46	9,38



(a)

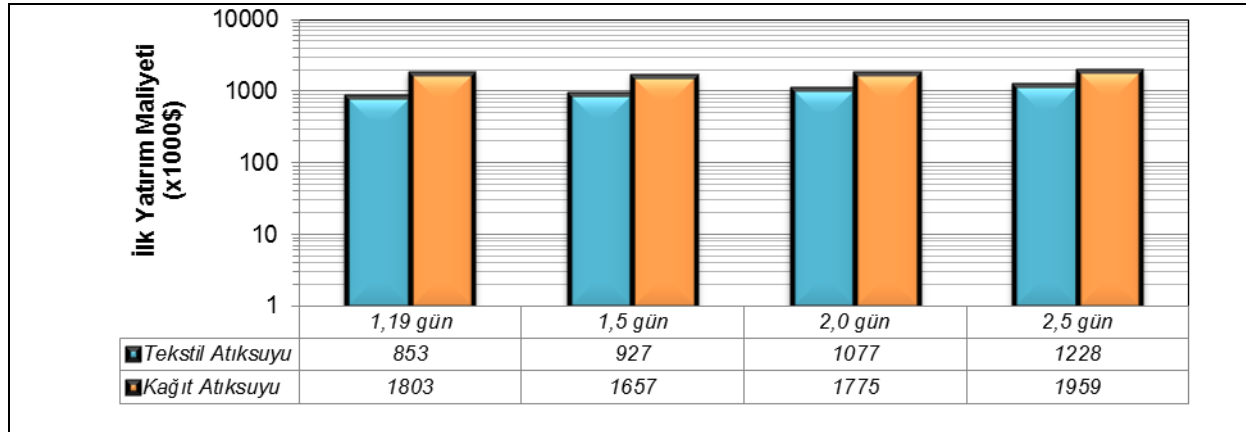


(b)

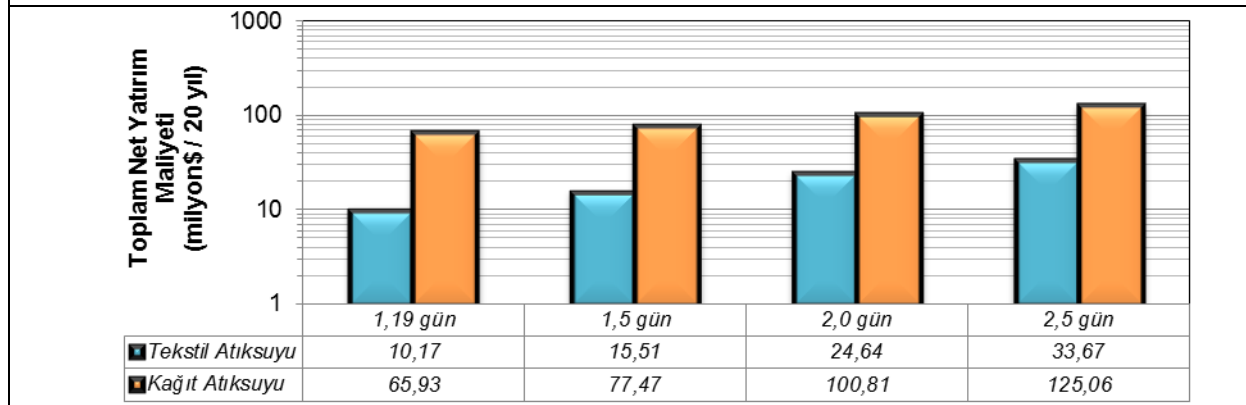


(c)

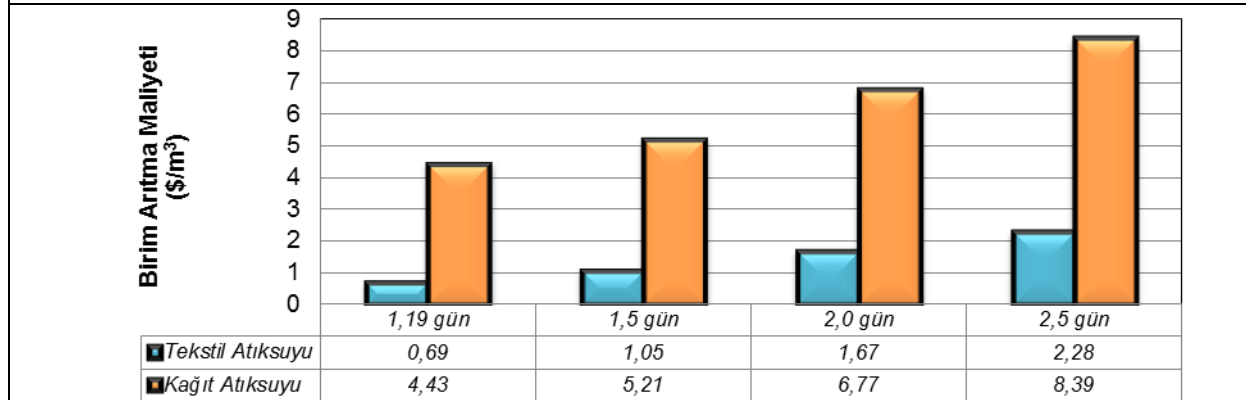
Şekil 4.301 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi {İOP/UF}/[TO] ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yilda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekleme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)



(b)

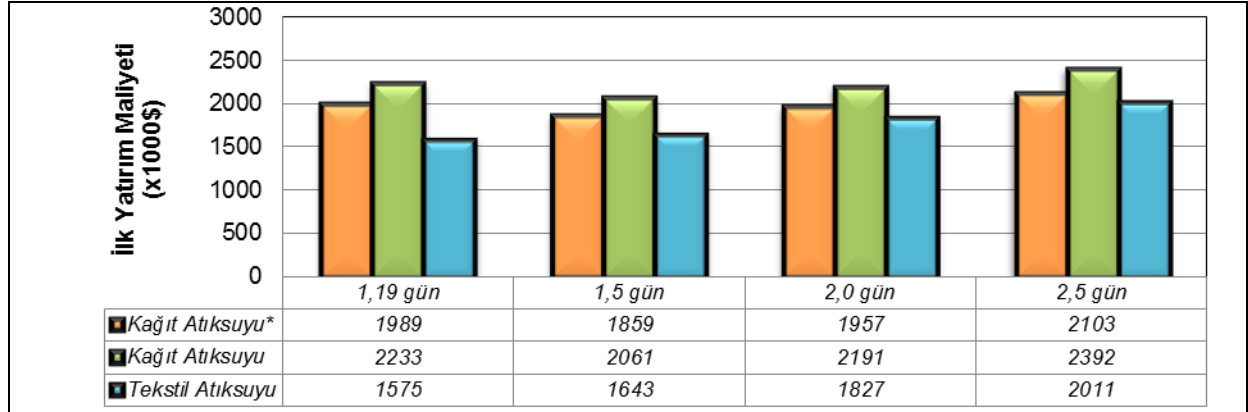


(c)

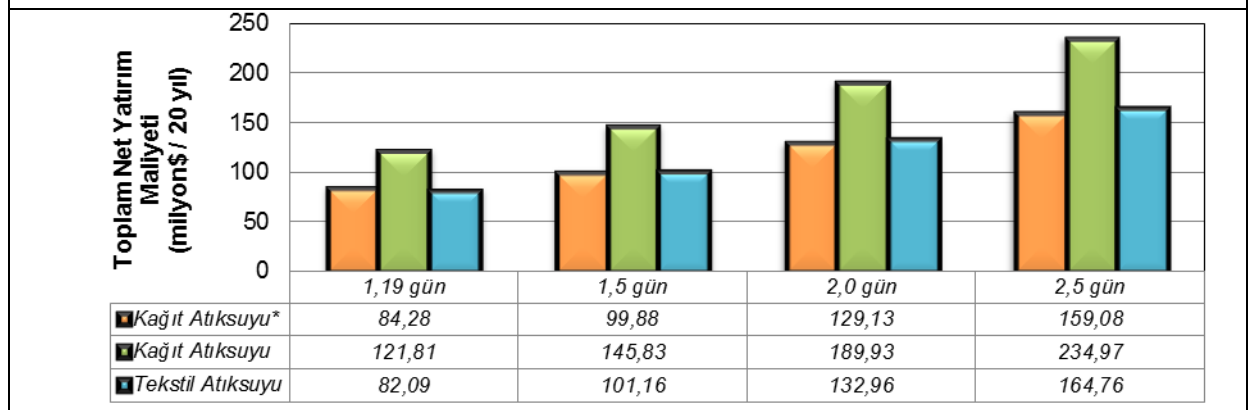
Şekil 4.302 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi {İOP/UF}/[TO] ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekleme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti (×1000\$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti (\$/m³))

Tablo 4.87 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel {İOP/UF}/[TO] ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağılı saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi

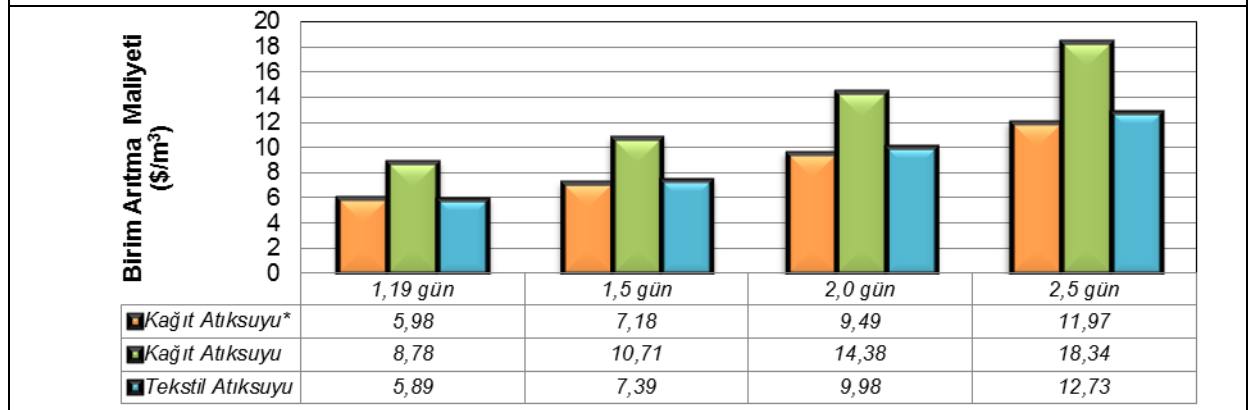
Bileşenler	Birim	Ayda bir atık çekim				Yılda bir atık çekim			
		Tekstil Atıksuyu		Kâğıt Atıksuyu		Tekstil Atıksuyu		Kâğıt Atıksuyu	
		İOP Hidrolik Bekletme Süresi (gün)							
		1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5
İOP Reaktör Hacmi	m3	1679	3526	1974	4145	1679	3526	1974	4145
İOP Reaktörü Organik Madde Yüğü	kg/gün	294,5	618,6	1050,6	2206,5	294,5	618,6	1050,6	2206,5
UF* Ünite Sayısı	adet	17	5	80	9	17	5	85	10
TO Geri Kazanım Oranı	%	78	78	66,5	66,5	78	78	66,5	66,5
Nihai Atık Miktarı	m3/gün	50,57	106,05	59,45	124,57	4,19	8,68	5,05	10,49



(a)

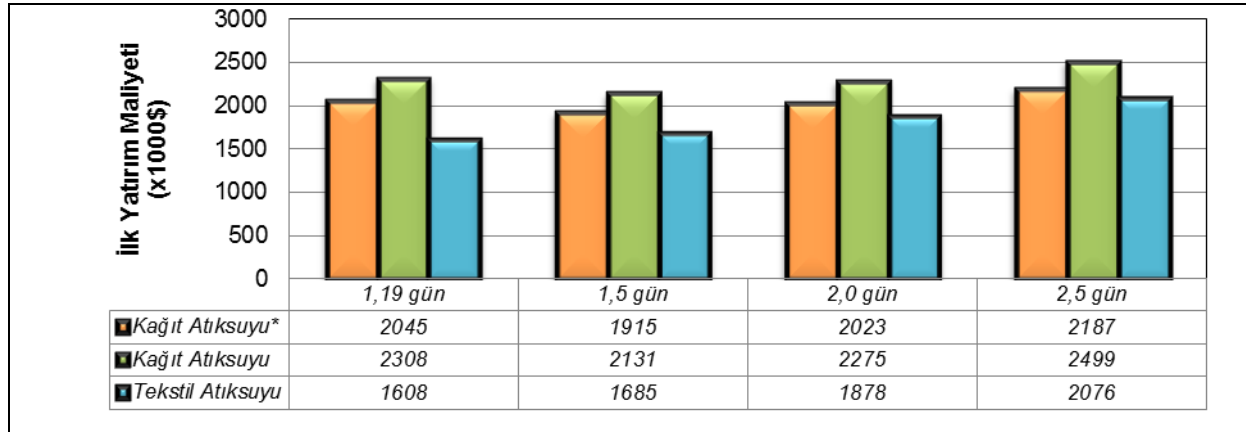


(b)

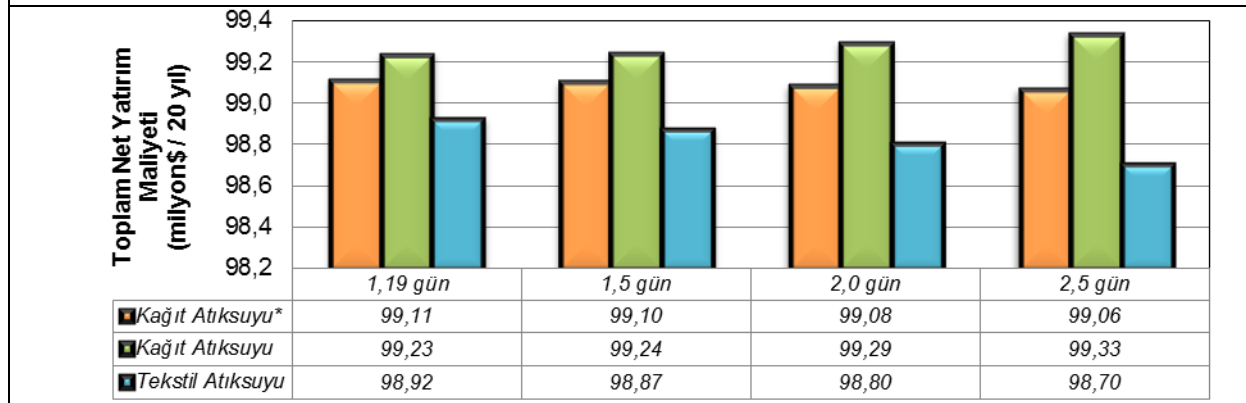


(c)

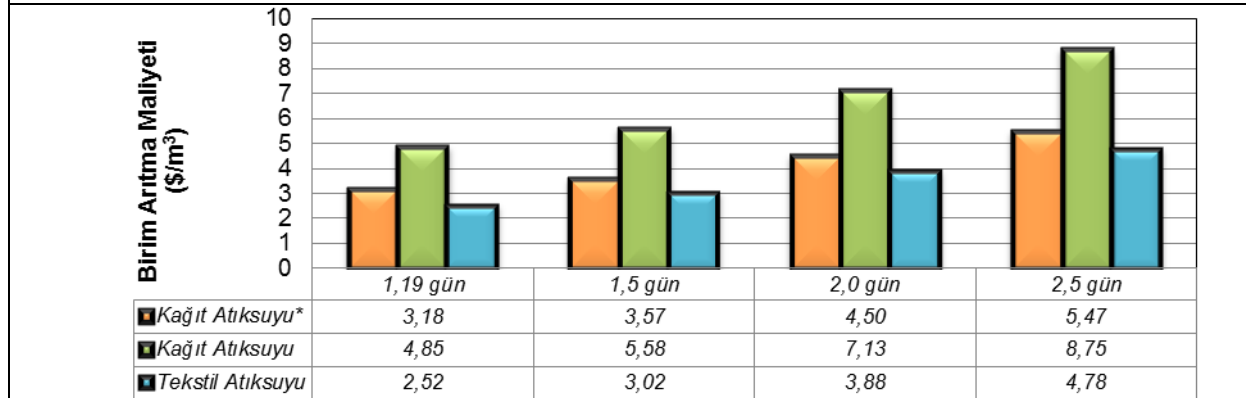
Şekil 4.303 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi {İOP/UF}/[MD] ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yilda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekleme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)



(b)

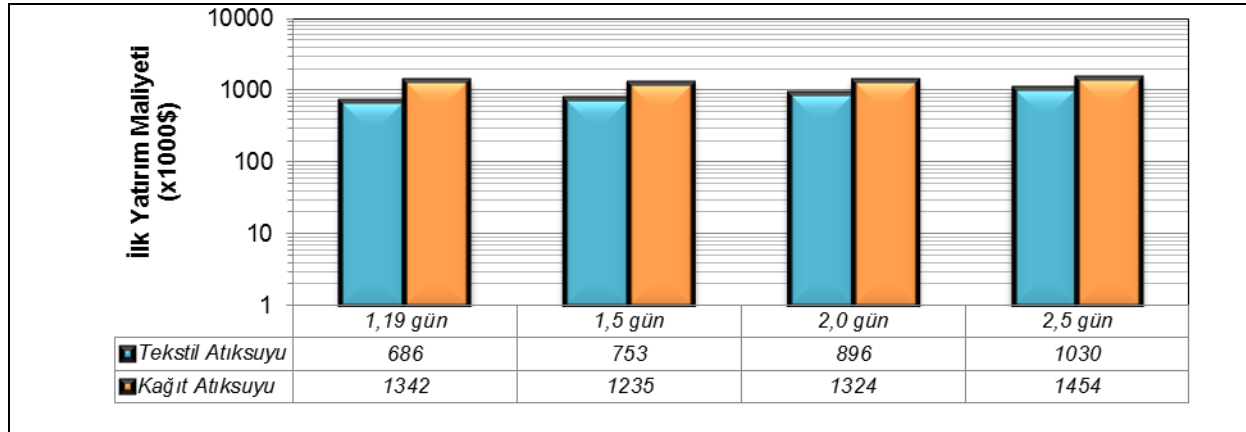


(c)

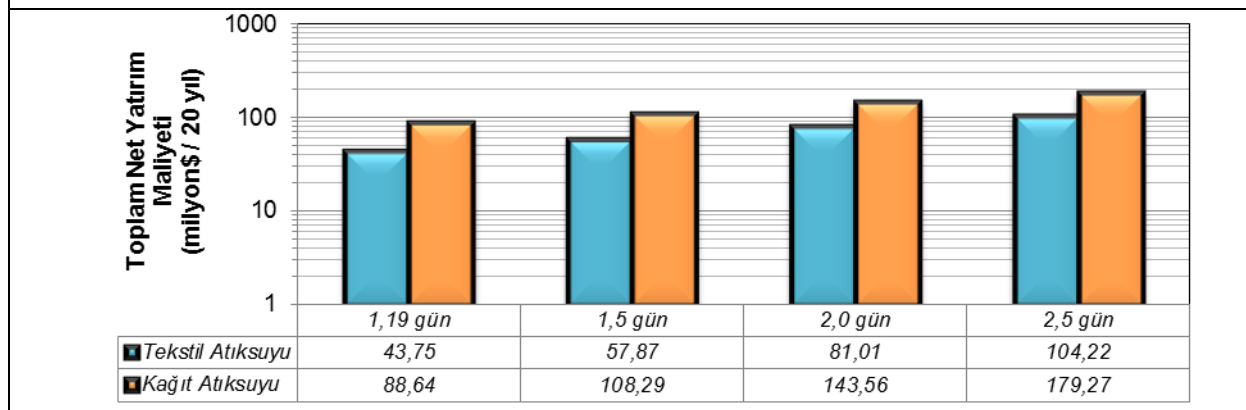
Şekil 4.304 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi {İOP/UF}/[MD] ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekleme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20 yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$)

Tablo 4.88 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantre arıtmalı konvansiyonel {İOP/UF}/[MD] ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağıli saha ölçek tasarım parametrelerinin değişimi

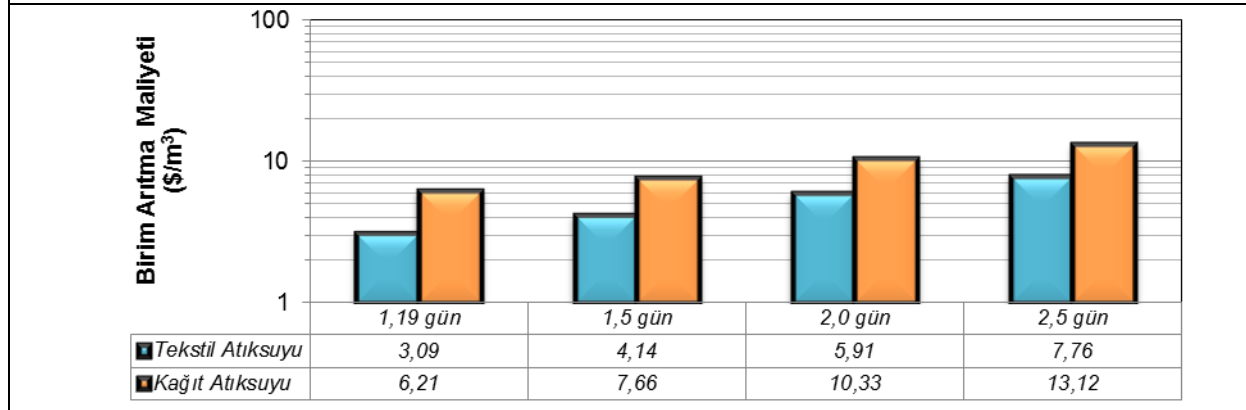
Bileşenler	Birim	Ayda bir atık çekim						Yılda bir atık çekim					
		Kağıt Atıksuyu*		Kağıt Atıksuyu		Tekstil Atıksuyu		Kağıt Atıksuyu*		Kağıt Atıksuyu		Tekstil Atıksuyu	
		İOP Hidrolik Bekletme Süresi (gün)											
		1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5
İOP Reaktör Hacmi	m ³	1774	3724	2383	5005	2118	4448	1774	3724	2383	2503	2118	4448
İOP Reaktörü Organik Madde Yüğü	kg/gün	512.62	1076.4	1048.3	2202.2	452.4	950.1	512.62	1076.4	1048.3	2202.2	452.4	950.1
UF* Ünite Sayısı	adet	72	8	96	11	23	7	72	9	102	12	24	8
MD Geri Kazanım Oranı	%	74	74	55	55	62	62	76	74	55	55	62	62
Nihai Atık Miktarı	m ³ /gün	53.44	111.84	71.68	150.19	63.67	133.63	4.55	9.46	5.94	12.69	5.31	11.11



(a)

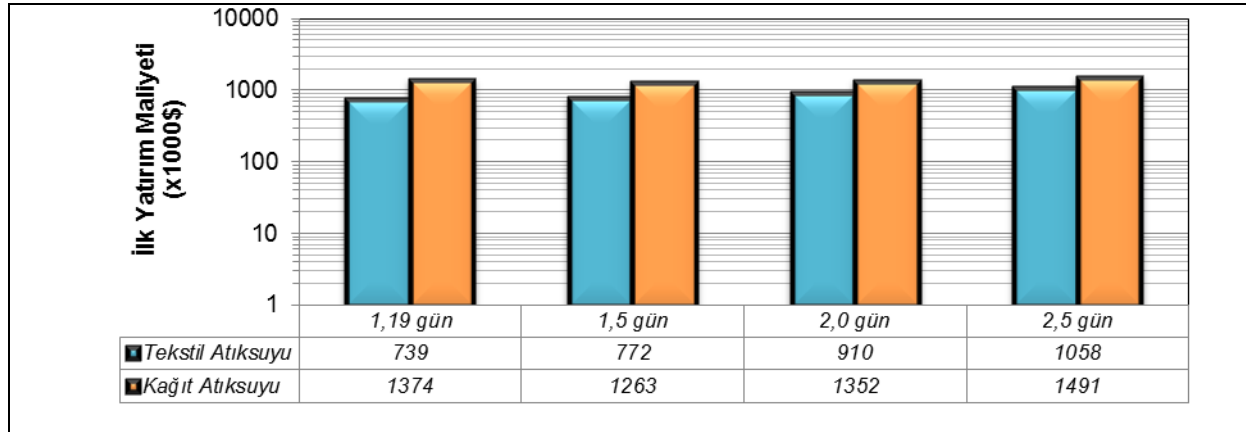


(b)

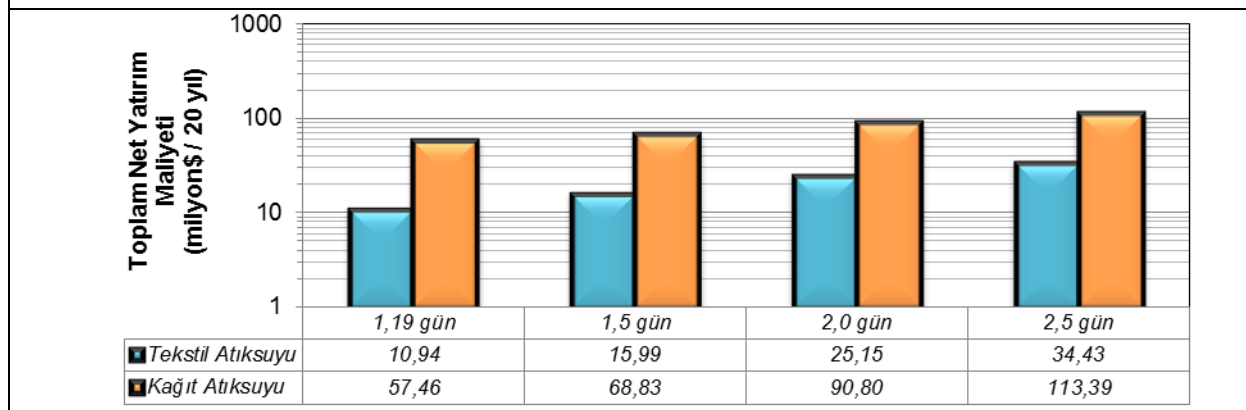


(c)

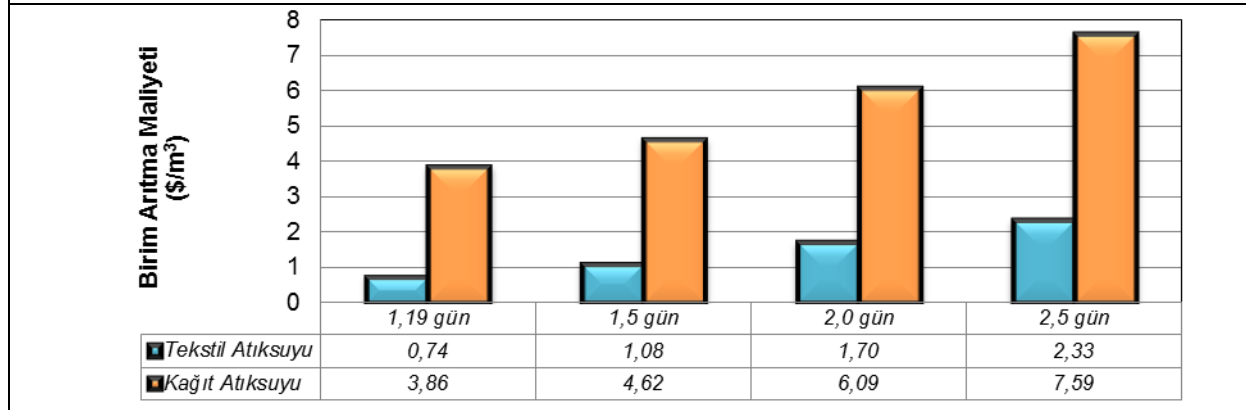
Şekil 4.305 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen ayda bir (yılda 12) atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.306 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli geliştirilen yenilikçi $\{IOP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$ ileri oksidasyon/membran filtrasyon sisteminin, İOP reaktöründen yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekleme süresine bağlı saha ölçek ekonomik performans sonuçları ((a)-İlk yatırım maliyeti ($\times 1000\$$), (b)-Toplam net yatırım maliyeti (milyon\$/20yıl), (c)-Birim arıtma maliyeti ($\$/m^3$))

Tablo 4.89 Tekstil ve kağıt atıksuları için sıfıra yakın sıvı deşarjında Fenton destekli ve ortak konsantrite arıtımlı konvansiyonel {İOP/UF}/[NF_{gevşek}/TO] ileri oksidasyon/membran filtrasyon yenilikçi sisteminin, İOP reaktöründen ayda ve yılda bir atık çekiminde İOP hidrolik bekletme süresine bağılı saha ölçek tasarım parametrelerinin değışimi

Bileşenler	Birim	Ayda bir atık çekim				Yılda bir atık çekim			
		Tekstil Atıksuyu		Kağıt Atıksuyu		Tekstil Atıksuyu		Kağıt Atıksuyu	
		İOP Hidrolik Bekletme Süresi (gün)							
		1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5	1,19	2,5
İOP Reaktör Hacmi	m ³	1562	3278	1474	1858	1562	3278	1474	1858
İOP Reaktörü Organik Madde Yüğü	kg/gün	315,2	661,6	1049,6	1322,9	315,2	661,6	1049,6	1322,9
UF* Ünite Sayısı	adet	18	5	61	20	19	6	64	21
NF _{gevşek} Geri Kazanım Oranı	%	86,7	86,7	89,9	89,9	86,7	86,7	89,9	89,9
TO Geri Kazanım Oranı		80	80	90	90	80	80	90	90
Nihai Atık Miktarı	m ³ /gün	49,96	98,59	44,31	55,82	3,89	8,15	3,67	4,62

Yenilikçi $\{ \dot{I}OP/UF \} / [TO]$ bütünleşik arıtma sisteminde, rölatif yüksek organik içerikli kâğıt atıksuyunun arıtılması; rölatif düşük organik içerikli tekstil atıksuyuna nazaran İOP hidrolik bekletme süresinin 1,19 günden 2,5 gün değerine artmasıyla değişmeyen yaklaşık %50 seviyesinde daha fazla ilk yatırım maliyeti ile gerçekleşmektedir. Aynı zamanda, $\{ \dot{I}OP/UF \} / [NF_{sık}]$ sisteminde olduğu gibi ayda 1 atık çekiminde 2 kat civarında değişen toplam net yatırım maliyeti değerlerinin (yılda 1'de sırasıyla yaklaşık 6-4 katlık artışla azalan) etkisi altında birim arıtma maliyeti değerlerinin, 1,19-2,5 gün'lük hidrolik bekletme sürelerinde sırasıyla; ayda 1 atık çekimi için tekstildeki 3,26-8,17 $\$/m^3$ 'ten kâğıttaki 7,64-16,11 $\$/m^3$ 'e ve yılda 1 atık çekimi sayısı için de tekstildeki 0,69-2,28 $\$/m^3$ 'ten kâğıttaki 4,43-8,39 $\$/m^3$ 'e arttığı tespit edilmiştir. Yenilikçi $\{ \dot{I}OP/UF \} / [TO]$ sisteminde tekstil atıksuyu arıtımına kıyasla kâğıt atıksuyu arıtımı durumunda görülen maliyet artışlarının, yine $\{ \dot{I}OP/UF \} / [NF_{sık}]$ sisteminde olduğu gibi, İOP reaktöründe artan organik madde yüküne bağlı oksidasyon için gerekli kimyasal madde sarfiyatındaki artış ile bertarafa gönderilecek nihai atık miktarındaki ve batık UF ünite sayısındaki artışlar sebebiyle olduğu belirlenmiştir.

Yenilikçi $\{ \dot{I}OP/UF \} / [MD]$ bütünleşik arıtma sisteminde, rölatif düşük organik içerikli tekstil atıksuyunun arıtılması halinde; rölatif yüksek organik içerikli kâğıt atıksuyuna ile kıyaslandığında İOP hidrolik bekletme süresinin 1,19 günden 2,5 gün değerine artmasıyla değişmeyen yaklaşık %30 seviyesinden % 13 seviyesine bir farkla daha az ilk yatırım maliyeti ile karşılaşılmaktadır. Bir başka deyişle, azalan ham atıksu organik kirlilik yükü, bu yenilikçi sistemdeki yatırım maliyetlerinin azalmasına neden olmaktadır. Aynı doğrultuda, yaklaşık %35 civarında azalan toplam net yatırım maliyeti değerlerinin (yılda 1'de yaklaşık 2 kat civarında azalan) etkisi altında birim arıtma maliyetlerinin de, 1,19-2,5 gün'lük hidrolik bekletme sürelerinde sırasıyla; ayda 1 atık çekimi için kâğıttaki 8,78-18,34 $\$/m^3$ 'ten tekstildeki 5,89-12,73 $\$/m^3$ 'e ve yılda 1 atık çekimi sayısı için de 4,85-8,75 $\$/m^3$ 'ten tekstildeki 2,52-4,78 $\$/m^3$ 'e azaldığı gözlenmiştir. Yenilikçi $\{ \dot{I}OP/UF \} / [MD]$ sisteminde kâğıt atıksuyu arıtımına kıyasla tekstil atıksuyu arıtımı durumunda görülen maliyet azalmalarının, esasen İOP reaktöründe azalan organik madde yüküne bağlı olarak gerekli kimyasal madde sarfiyatındaki, bertarafa gönderilecek nihai atık miktarındaki ve batık UF ünite sayısındaki önemli seviyedeki azalmalar sebebiyle olduğu görülmüştür.

Yenilikçi $\{ \dot{I}OP/UF \} / [NF_{gevşek} / TO]$ bütünleşik arıtma sisteminde ise, rölatif yüksek organik içerikli kâğıt atıksuyunun arıtılması; rölatif düşük organik içerikli tekstil atıksuyuna nazaran İOP hidrolik bekletme süresinin 1,19 günden 2,5 gün değerine artmasıyla değişmeyen yaklaşık 2 kat seviyesinden % 40 seviyesine bir farkla daha fazla ilk yatırım maliyeti ile gerçekleşmektedir. Aynı zamanda, yaklaşık 2 kat civarından %78 seviyesine değişen toplam net yatırım maliyeti değerlerinin (yılda 1'de sırasıyla yaklaşık 6-4 katlık artışla azalan) etkisi

altında birim arıtma maliyeti değerlerinin, 1,19-2,5 gün'lük hidrolik bekletme sürelerinde sırasıyla; ayda 1 atık çekimi için tekstildeki 3,09-7,76 \$/m³'ten kağıttaki 6,21-13,12 \$/m³'e ve yılda 1 atık çekimi sayısı için de tekstildeki 0,74-2,33 \$/m³'ten kağıttaki 3,86-7,59 \$/m³'e arttığı tespit edilmiştir. Yenilikçi {İOP/UF}/[NF_{gevşek}/TO] sisteminde tekstil atıksuyu arıtımına kıyasla kağıt atıksuyu arıtımı durumunda görülen maliyet artışlarının da, azalan İOP reaktörü hacmine rağmen İOP reaktöründe artan organik kirlilik yüküne bağlı gerekli kimyasal madde sarfiyatındaki artış ile bertarafı gönderilecek nihai atık miktarındaki ve batık UF ünite sayısındaki artışlar sebebiyle olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlar Fenton destekli sıfıra yakın sıvı deşarjı uygulamaları için göstermektedir ki, geliştirilen yenilikçi {İOP/UF}/[NF_{sıkı}], {İOP/UF}/[TO] ve {İOP/UF}/[NF_{gevşek}/TO] sistemlerinin rölatif düşük organik kirlilik (KOİ=1000 mg/l) içerikli atıksuların arıtılması, bu atıksulardan endüstriyel su geri kazanımı yapılması ve konsantre yönetiminin gerçekleştirilmesi bütünündeki saha ölçek uygulamalarının; bu projede işletimi yapılan 1,19 günlük İOP hidrolik bekletme süresinde yüksek yılda atık çekim sayısı için 3,0 \$/m³ civarında, düşük yılda atık çekim sayısı için ise 1,0 \$/m³ değerlerinin altına inen (0,47-0,74 \$/m³) birim maliyetlerle yerine getirileceğidir. Nitekim bu uygulamalardaki birim maliyetlerin, yüksek İOP hidrolik bekletme süresinde (2,5 gün) dahi düşük yılda atık çekim sayısı (yılda 1) için yaklaşık 2 \$/m³'lük (2,04-2,33 \$/m³) pratikte oldukça tercih edilebilir seviyelerde olacağı belirlenmiştir. Bununla birlikte, her ne kadar kağıt atıksuyu için önerilen yenilikçi {İOP/UF}/[MD] sisteminin birim arıtma maliyeti yüksek seviyelerde tespit edilmiş ise de; bu sistemin değişen atıksu karakteristiğine bağlı maliyetlerine bakıldığında; yılda 1 atık çekiminde bu sistem için rölatif düşük-yüksek organik kirlilik içerikli atıksu ikilisi için belirlenmiş 2,52-4,85 \$/m³'lük birim arıtma maliyetleri dolayısıyla, sistemin ancak yılda çok düşük atık çekim debilerinde iken sahada tekno-ekonomik olarak tercih edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır.

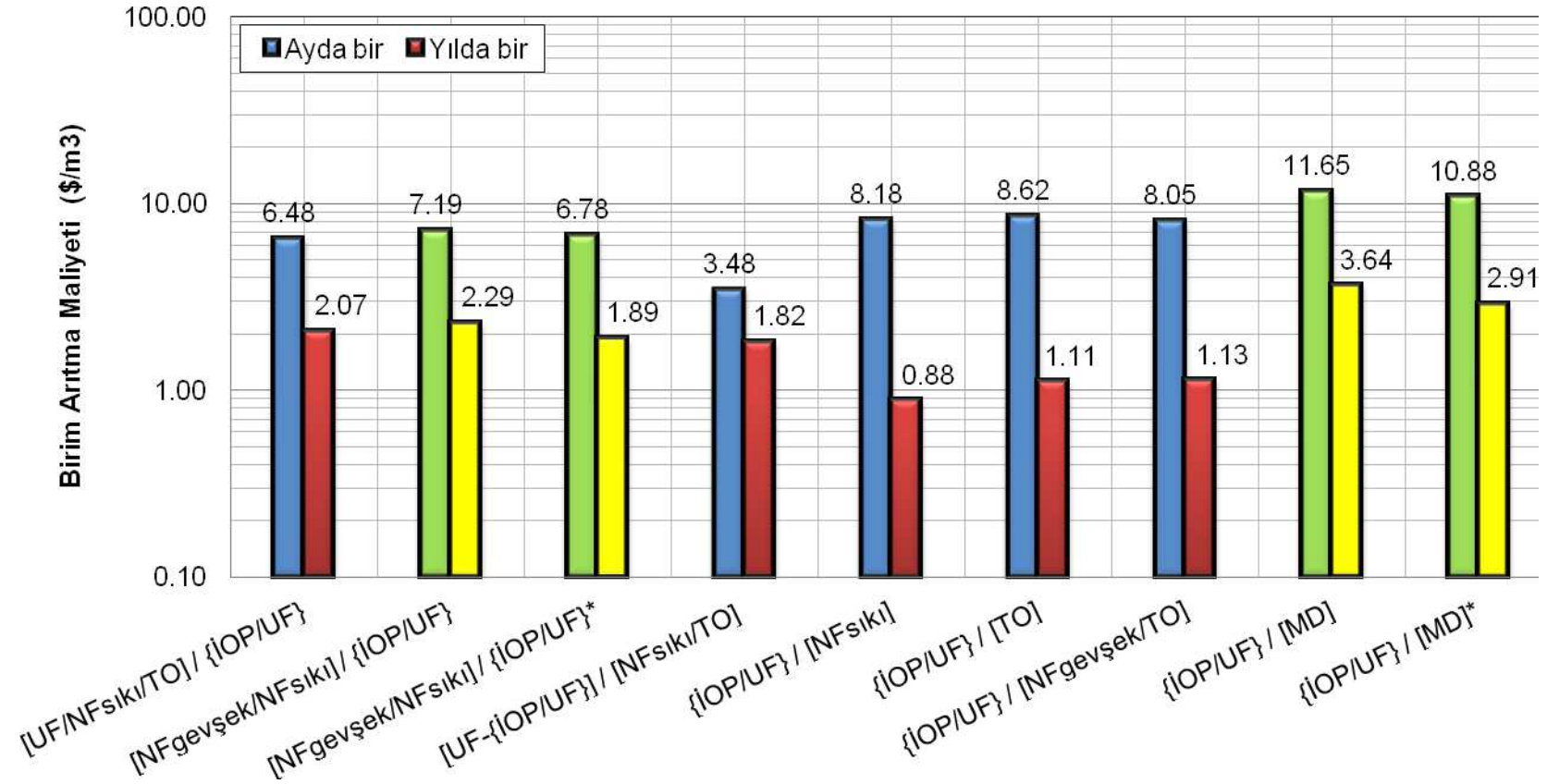
4.5.4 Geliştirilen Teknolojik Çözümlerin Endüstride Saha Ölçek Tercih Edilebilirlikleri

Geliştirilen teknolojik çözümler arasında doğrudan sektöre genellenebilir tekno-ekonomik arıtma etkinlikleri değerlendirmelerini yapabilmek amacıyla, bu proje için birbirlerine yakın ham atıksu karakteristiklerine haiz tekstil ve kağıt atıksuları özellikle seçilmiştir. Nitekim, bu atıksuların genel atıksu kalitelerinin yanı sıra hedef yeniden kullanım suları da, organik ve inorganik parametreler itibarıyla birbirlerine yakın su kalitesi değerlerine (bir ölçüde TÇK veya elektriksel iletkenlik hariç) sahiptir. Bu alt bölüm başlığı altında, konvansiyonel esaslı uygulanan ve geliştirilen yenilikçi tüm sistemlerin her birinin, hedef yeniden kullanım suyunda atıksuyun giriş organik kirlilik seviyesine bağlı olarak saha ölçek tasarımların değişkenlik gösteriyor olması dolayısıyla, rölatif düşük ve rölatif yüksek organik kirlilik içeriklerindeki atıksulardan su geri kazanımı ve konsantre yönetimi sağlanması için endüstri geneline

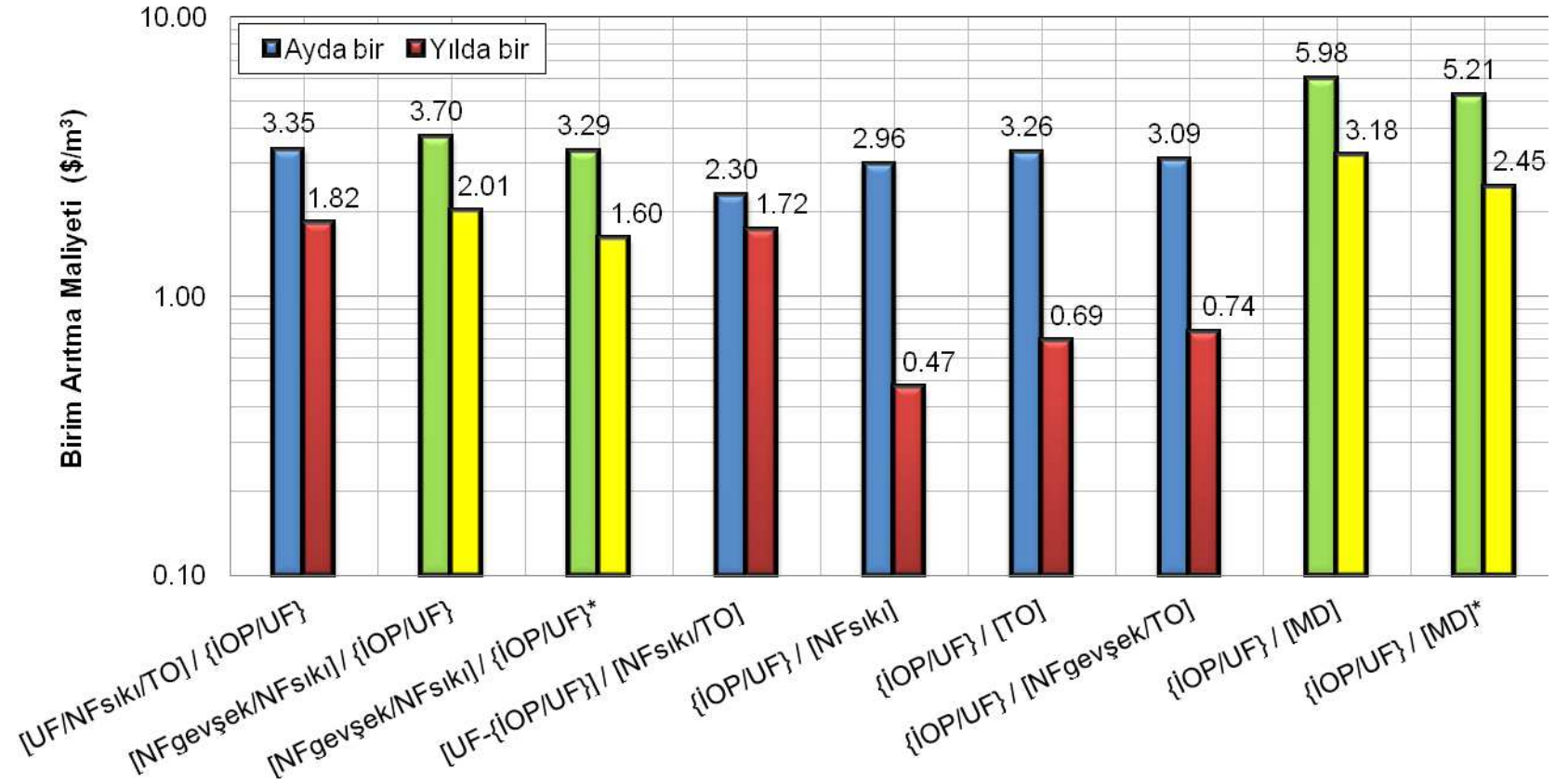
başarıyla tekno-ekonomik uygulanabilirlikleri belirlenmiştir. Bu bölüm öncesinde gerçekleştirilen tüm saha ölçek simülasyonlarda, toplam demir parametresi hariç toplam inorganikler (TÇK veya iletkenlik) hedef çıkış suyu kalitesi üzerinden saha ölçek simülasyonları hiçbir şekilde kısıtlamamış olduğundan, her bir sistemin sahada tekno-ekonomik tercih edilebilirlikleri, atıksuyun “eşdeğer organik kirlilik seviyesi” parametresi baz alınarak yerine getirilmiştir. Bu itibarla, tekstil atıksuyunun 1000 ve 2000 mg KOİ/L'ye eşdeğer sırasıyla rölatif düşük ve rölatif yüksek KOİ seviyeleri pratik uygulamalar bakımından temel tercih edilebilirlik ölçütleri olarak alınmış; birim arıtma maliyeti değerleri $\$/m^3$ geri kazanım suyu olarak her bir sisteme özgün arıtımı yapılmış atıksuyun bu kirlilik seviyelerindeki giriş ham atıksu değerleri kullanılarak, atıksu türünden bağımsız olarak teknolojilerin pratik uygulamalardaki tercih edilebilirlikleri kıyaslamalı analiz edilmiştir.

Bu proje kapsamında geliştirilen tüm yenilikçi arıtma sistemlerinin yeniden kullanım suyu hedef kalitelerinin sağlandığı mahiyette tekno-ekonomik olarak başarıyla uygulanabilirlik performansları birim arıtma maliyet değerleri üzerinden belirlenmiştir. Lab ölçekte uzun süreli işletimleri başarıyla gerçeklenmiş sistemlerin 1,19 gün'lük İOP hidrolik bekleme süresindeki saha ölçek işletimlerine ait birim arıtma maliyet değerleri; rölatif düşük organik kirlilik içerikli atıksularının sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjı uygulamaları için sırasıyla Şekil 4.307 ve 4.308'de, rölatif yüksek organik kirlilik içerikli atıksularının sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarjı uygulamaları için ise sırasıyla Şekil 4.309 ve 4.310'da gösterilmiştir.

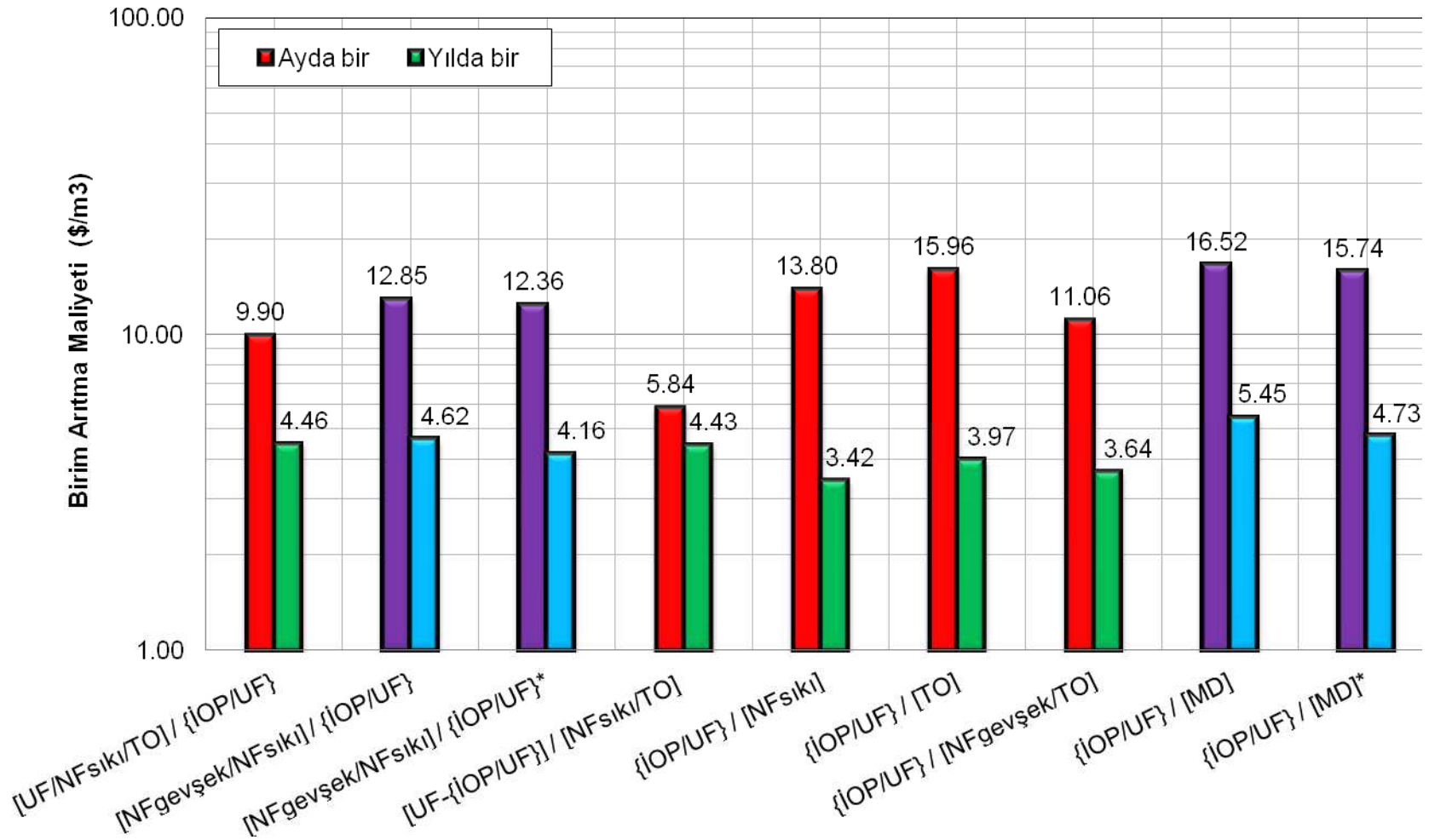
Sıfır sıvı deşarjında, rölatif düşük KOİ eşdeğeri organik kirlilik içerikli endüstriyel atıksular için konvansiyonel esaslı yenilikçi uygulamalarda birim maliyetlerin; ayda 1 atık çekiminde 3,48-7,19 $\$/m^3$ ve yılda 1 atık çekiminde 1,82-2,29 $\$/m^3$ aralığında değiştiği görülmektedir. Ayda 1 ve yılda 1 atık çekim uygulamalarında yenilikçi önerilen sistemlerdeki birim maliyet değerleri; tekstil atıksularında [8,05-8,62 $\$/m^3$] aralığından [0,88-1,13 $\$/m^3$] aralığına, kağıt atıksularında ise [10,88-11,65 $\$/m^3$] aralığından [2,91-3,98 $\$/m^3$] aralığına önemli seviyelerde azalmıştır. Bu sonuçlar göstermektedir ki, eşdeğer kirlilikte düşük atık çekim sayısında (yılda 1) işletilebilirlik, atıksuyun oksidasyonla arıtıma dirençliliği noktasında kayda değer bir maliyet azalmasına sebep olmamakta ve bu şartlar altında konvansiyonel sistemlerin sahada tekno-ekonomik tercih edilebilir olması pek söz konusu olmamaktadır. Bu durum, önerilen yenilikçi sistemlerde ise oksidasyona rölatif daha az dirençli olan ve daha kısa zamanda daha az kimyasal oksidan sarfiyatla organik kirlitici giderimi yapılabilmiş tekstil atıksuyunda, birim maliyetlerdeki daha belirgin düşüşlerle 1 $\$/m^3$ civarında gayet makul arıtma maliyetleri eldesine imkan sağlamaktadır. Atıksuyun aynı eşdeğer kirlilikte daha uzun sürelerde daha çok kimyasal oksidan sarfiyatıyla daha dirençli organik kirlitici gideriminin yapılması durumunda ise 1 $\$/m^3$ civarı değerlerin, 3 $\$/m^3$ 'ün üzerine çıktığı görülmektedir.



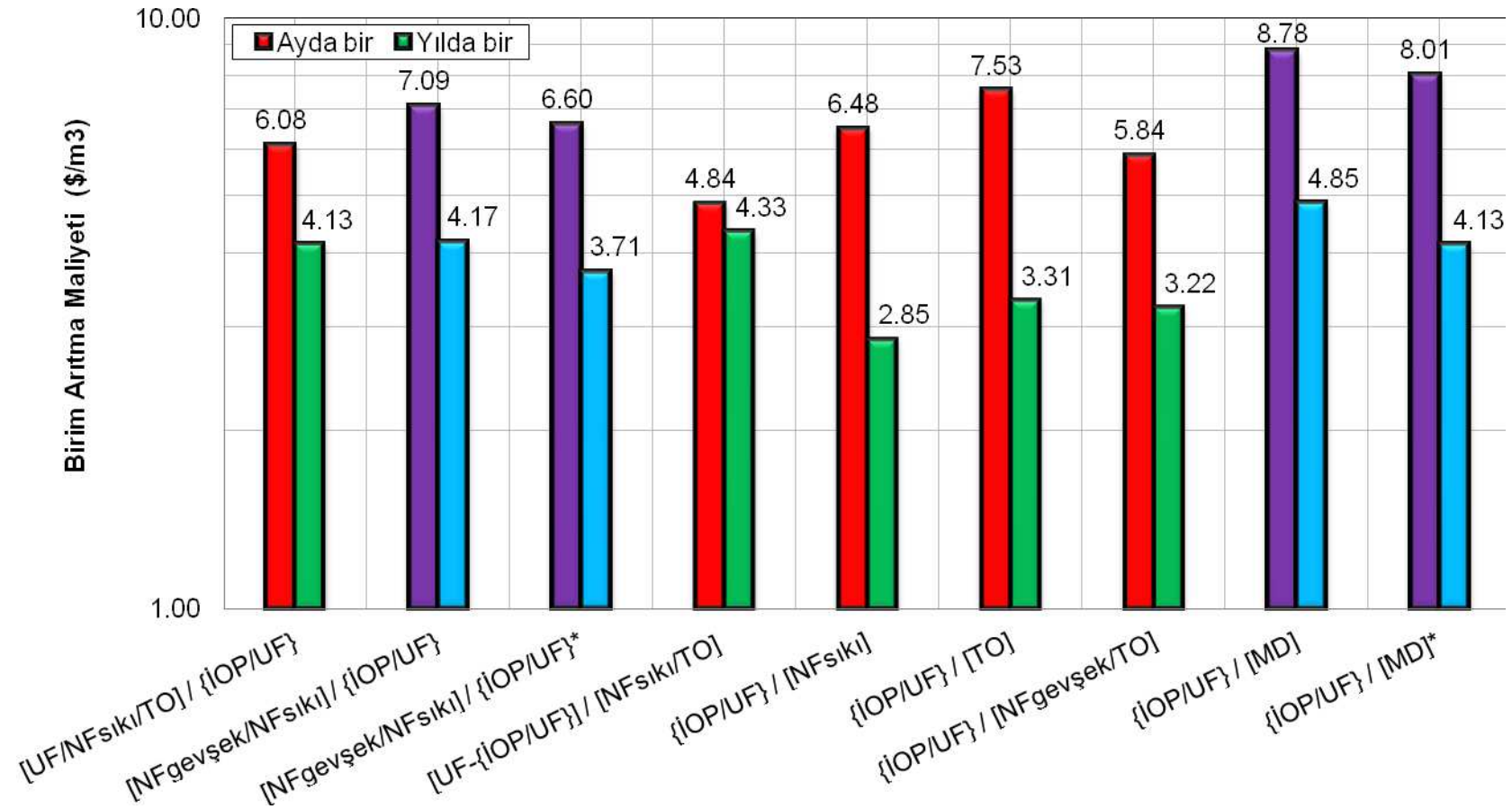
Şekil 4.307 Bütünleşik ileri oksidasyon/membran filtrasyonu yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma, proses suyu geri kazanma ve konsantre yönetimi sistemlerinin, rölatif düşük organik kirlilik içerikli (KOl=1000 mg/L eşdeğeri) atıksularının sıfır sıvı deşarjıyla konsantre atık bertarafı uygulamasındaki saha ölçek tekno-ekonomik performansları (*: Atıl ısı kullanılarak atıksu ısıtma ihtiyacı karşılanır.)



Şekil 4.308 Bütünleşik ileri oksidasyon/membran filtrasyonu yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma, proses suyu geri kazanma ve konsantre yönetimi sistemlerinin, rölatif düşük organik kirlilik içerikli (KOI=1000 mg/L eşdeğeri) atıksularının sifıra yakın sıvı deşarjıyla konsantre atık bertarafı uygulamasındaki saha ölçek tekno-ekonomik performansları (*: Atıl ısı kullanılarak atıksu ısıtma ihtiyacı karşılanır.)



Şekil 4.309 Bütünleşik ileri oksidasyon/membran filtrasyonu yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma, proses suyu geri kazanma ve konsantre yönetimi sistemlerinin, rölatif yüksek organik kirlilik içerikli (KOI=2000 mg/L eşdeğeri) atıksularının sıfır sıvı deşarjıyla konsantre atık bertarafı uygulamasındaki saha ölçek tekno-ekonomik performansları (*: Atıl ısı kullanılarak atıksu ısıtma ihtiyacı karşılanır.)



Şekil 4.310 Bütünleşik ileri oksidasyon/membran filtrasyonu yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma, proses suyu geri kazanma ve konsantrasyon yönetimi sistemlerinin, rölatif yüksek organik kirlilik içerikli (KOI=2000 mg/L eşdeğeri) atıksularının sıfıra yakın sıvı deşarjıyla konsantrasyon atık bertarafı uygulamasındaki saha ölçek teknolojik performansları (*: Atıl ısı kullanılarak atıksu ısıtma ihtiyacı karşılanır.)

Sıfır sıvı deşarjında ham atıksuyun eşdeğer KOI değerinin 2 katına artması, ayda 1-yılda atık çekim sayısı sırasında olmak üzere birim arıtma maliyetlerini; konvansiyonel esaslı geliştirilen sistemlerde %80-%100, önerilen yenilikçi sistemlerde ise arıtıma direnci rölatif az tekstil atıksularında %85-%360, arıtıma direnci rölatif yüksek kağıt atıksularında %42-%50 civarında arttırmakta ve sistemlerin saha ölçek tekno-ekonomik tercih edilebilirlikleri oldukça azaltmaktadır.

Sıfıra yakın sıvı deşarjında, rölatif düşük KOI eşdeğeri organik kirlilik içerikli endüstriyel atıksular için konvansiyonel esaslı geliştirilen yenilikçi uygulamalarda birim maliyetlerin; ayda 1 atık çekiminde 2,30-3,70 \$/m³ ve yılda 1 atık çekiminde 1,60-2,01 \$/m³ aralığında değiştiği görülmektedir. Ayda 1 ve yılda 1 atık çekim uygulamalarında yenilikçi önerilen sistemlerdeki birim maliyet değerleri; tekstil atıksularında [2,96-3,26 \$/m³] aralığından [0,47-0,74 \$/m³] aralığına, kağıt atıksularında ise [5,21-5,98 \$/m³] aralığından [2,45-3,18 \$/m³] aralığına önemli seviyelerde azalmıştır. Bu sonuçlara göre, sıfıra yakın sıvı deşarjı yaklaşımı altında geliştirilen yenilikçi uygulamalarla oksidasyona rölatif az ve çok dirençli içerikteki atıksulardan su geri kazanımının sağlanarak konsantre yönetiminin özellikle düşük atık çekimi (yılda 1) şartlarında yapılması; konvansiyonel esaslı yenilikçi uygulamaların tümünde 1,8 ve 3,4 \$/m³, önerilen yenilikçi uygulamalarda ise 0,6 ve 3,1 \$/m³ ortalamasıyla sahada en çok tercih edilir birim arıtılabilirlik maliyetlerini vermektedir.

Sıfıra yakın sıvı deşarjında ham atıksuyun eşdeğer KOI değerinin 2 katına artması, ayda 1-yılda atık çekim sayısı sırasında olmak üzere birim arıtma maliyetlerini; konvansiyonel esaslı geliştirilen yenilikçi sistemlerde %92-%107, önerilen yenilikçi sistemlerde ise arıtıma direnci rölatif düşük tekstil atıksularında %131-%380, rölatif yüksek kağıt atıksularında %47-%52 civarında arttırmakta ve sistemlerin saha ölçek tekno-ekonomik tercih edilebilirliğini oldukça azaltmaktadır.

Bu sonuçlar, endüstriyel atıksuların birbirlerine göre değişen içerikleri sebebiyle değişen organik kirlilik seviyelerinde Fenton oksidasyona karşı gösterecekleri organik kirletici giderimlerinde, geliştirilen konvansiyonel ve önerilen yenilikçi sistemler bütününde elde edilecek arıtma etkinliklerin (*oksidasyon süresi, organik madde giderme verimi ve düşük moleküler yapıya parçalanmış organiklerin sonraki adım membran prosete giderim etkinliğindeki değişimler ve geri devir konsantre akımdaki organik madde yükünün döngüsel ham atıksuyla karıştırılarak sürekli arıtılabilirliğe karşı giderim verimi tepkisi*) farklılaşıyor olması dolayısıyla; geliştirilen teknolojilerin birbirleriyle eşdeğer organik kirlilik parametresi üzerinden doğrudan kıyaslanabilirliğini bütünüyle mümkün kılmamış; ancak geliştirilen yenilikçi teknolojiler için sahada hangi ekonomik seviyelerde etkinlikler elde edileceğinin, birbirlerine rölatif kıyas üzerinden daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamıştır.

Sonuç olarak bu proje çalışması göstermiştir ki, İOP/batık UF hibrit prosesi odaklı geliştirilen konvansiyonel esaslı ve önerilen yenilikçi sistemlerle endüstriyel atıksuların arıtılarak bu atıksulardan proses suyu geri kazanılması ve oluşan membran konsantrelerinin sifıra yakın sıvı deşarjı uyarınca etkin yönetimlerinin gerçekleştirilmesi, organik kirlilik muhteviyatları 1000 mg KOİ/L veya altı endüstriyel atıksular için sahada oldukça tercih edilir tekno-ekonomik performanslarla başarıyla uygulanabilir. Buna karşın sahada mali etkinliği belirleyen temel unsurun, oluşan atığın günlük çekim debisi olduğu görülmüştür. Bu parametreyi temsil eden İOP reaktörü hacmi eşdeğeri konsantr atığın reaktörden ayda 1 çekiminin yapıldığı durumunda, oksidasyona rölaf az dirençli atıksular için teknolojilerin oldukça tekno-ekonomik etkin olduğu, atıksuyun artan oksidasyon direnci ile bu tercih edilebilirlik yönünün azaldığı ya da tamamıyla ortadan kalktığı belirlenmiştir. Diğer yandan, <1000 mg KOİ/L olan ya da tehlikeli atık bertaraf maliyetleri 50-100 \$/m³ aralığında kalan konsantr atık türlerini barındıran 1000 mg KOİ/L'lik organik kirlilik seviyesindeki endüstriyel atıksular için de, sifıra yakın sıvı deşarjı yaklaşımıyla daha da tercih edilebilir maliyetlerde geliştirilen yenilikçi sistemlerin başarıyla sahada uygulanabilir olacağı değerlendirilmektedir. Ancak, söz konusu sistemlerin organik kirlilik muhteviyatı 2000 mg KOİ/L olan endüstriyel atıksularda sıfır sıvı deşarjı uygulamasıyla tekno-ekonomik tercih edilir olmayacağı görülmüş olup, saha uygulamalarının, esasen sifıra yakın sıvı deşarjı yaklaşımıyla olması gerektiğidir. Sahada tercih edilebilirliğin, temel etkileyici parametrelerinin başında ayrıca hedef yeniden kullanım suyu kalitesi içeriği gelmekte olup; aynı organik kirlilik içeriğindeki endüstriyel bir atıksu için artan ya da azalan hedef su kalitesi değerlerinin, saha uygulama maliyetlerini, ters orantılı olarak dikkate değer seviyelerde azaltacağı ya da arttıracağıın da ayrıca dikkate alınması gerekmektedir. 1200-1500 mg KOİ/L'nin üzerinde organik kirlilik muhteviyatına sahip endüstriyel atıksularda, atıksuların arıtılabilirlik özelliklerine doğrudan bağlı olarak, geliştirilen yenilikçi sistemler öncesinde konvansiyonel (fiziksel, kimyasal, fiziko-kimyasal ve/veya biyolojik) atıksu arıtma proseslerinin uygulanması ve bu sayede atıksuların organik kirlilik seviyelerinin tercihen 1000 mg KOİ/L veya altına indirilmesi suretiyle; geliştirilen söz konusu sistemler, 2000 mg KOİ/L değerinden çok daha yüksek organik kirlilik seviyesindeki yoğun su tüketilen endüstrilerden açığa çıkan diğer atıksulara da, bir ileri arıtma adımı olarak yüksek bir tekno-ekonomik etkinlikle başarıyla uygulanabilecektir.

Bu çalışma neticesinde; bu projede geliştirilen konvansiyonel esaslı ve önerilen yenilikçi tüm sistemlerin, farklı hedef çıkış suyu kalitelerini dikkate alan farklı organik kirlilik muhteviyatlarındaki farklı endüstriyel atıksulara uygulandığı ve sahada pilot ve/veya gerçek ölçek arıtma tesisi işletimleriyle proseslerin sahadaki performanslarının ve buna bağlı birim arıtma maliyetlerinin araştırılacağı endüstriyel arıtma çalışmalarının yerine getirilmesi sürdürülebilir su yönetiminin sağlanarak çevrenin korunması bakımından önemle önerilir.

KAYNAKLAR

- Ashoor, B.B., Mansour, S., Giwa, A., Dufour, V., Hasan, S.W. 2016. "Principles and applications of direct contact membrane distillation (DCMD): A comprehensive review", *Desalination*, 398, 222-246.
- Bes-pia, A., Iborra-Clar, A., Garcia-Figueroa, C., Barredo-Damas, S., Alcaina-Miranda, M.I., Mendoza-Roca, J.A., Iborra-Clar, M.I. 2009. "Comparison of three NF membranes for the reuse of secondary textile effluents", *Desalination*, 241, 1-7.
- Bruggen, B.V., Lejon, L., Vandecasteele, C. 2003. "Critical review: Reuse, treatment, and discharge of the concentrate of pressure-driven membrane processes", *Environmental Science & Technology*, 37(17), 3733-3738.
- Bruggen, B.V., Curcio, E., Drioli, E. 2004. "Process intensification in the textile industry: the role of membrane technology", *J. Environ. Manage*, 73, 267-274.
- Ciputra, S., Antony, A., Philips, R., Richardson, D., Leslie, G. 2010. "Comparison of treatment options for removal of recalcitrant dissolved organic matter from paper mill effluent", *Chemosphere* 81, 86-91.
- Çapar, G., Yılmaz, L., Yetis, Ü. 2006. "Reclamation of acid dye bath wastewater: Effect of pH on nanofiltration performance", *Journal of Membrane Science* 281, 560–569.
- Çatalkaya, Ç.E., Kargi, F. 2007. "Color, TOC and AOX removals from pulp mill effluent by advanced oxidation processes: A comparative study, *Journal of Hazardous Materials*" B139, 244-253.
- Demirci, C. 2007. "Pamuklu Tekstil Endsütrisi Atıksularındaki Rengin Foto-Fenton Prosesiyle Giderimi, Yüksek Lisans Tezi", Fırat Üniversitesi-Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
- El-Bourawi, M.S., Ding, Z., Ma, R., Khayet, M. 2006. "A framework for better understanding membrane distillation separation process", *Journal of Membrane Science*, 285, 4-29.
- Ellouze, E., Tahri, N., Ben Amar, R. 2012. "Enhancement of textile wastewater treatment process using nanofiltration", *Desalination*, 286, 16-23.
- Feng, F., Xu, Zhenliang, Li, X., You W., Zhen, Y. 2010. "Advanced treatment of dyeing wastewater towards reuse by the combined Fenton oxidation and membrane bioreactor process", *Journal of Environmental Sciences* 22(11), 1657-1665.
- Gönder, Z.B., Arayıcı, S., Barlas, H. 2011. "Advanced treatment of pulp and paper mill wastewater by nanofiltration process: Effects of operating conditions on membrane fouling, *Separation and Purification*", *Technology*, 76, 292-302.

- Gönder, Z.B., Arayici, S., Barlas, H. 2012. "Treatment of pulp and paper mill wastewater using ultrafiltration process: optimization of the fouling and rejections", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51, 6184-6195.
- Greenlee, L.F., Lawler, D.F., Freeman, B.D., Marrot, B., Moulin, P. 2009. "Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges", *Water Research*, 43, 2317-2348.
- Grzechulska-damszel, J., Tomaszewska, M., Morawski, A.W. 2009. "Integration of photocatalysis with membrane processes for purification of water contaminated with organic dyes", *Desalination*, 241, 118-126.
- Guimaraes, J.R., Milena Guedes Maniero, Renata Nogueira de Araújo. 2012. "A comparative study on the degradation of RB-19 dye in an aqueous medium by advanced oxidation processes", *Journal of Environmental Management*, 110, 33-39.
- Hermosilla, D., Merayo, N., Ordonez, R., Blanco, A. 2012. "Optimization of conventional Fenton and ultraviolet-assisted oxidation processes for the treatment of reverse osmosis retentate from a paper mill", *Waste Management* 32, 1236-1243.
- Jamil, T.S., Ghaly, M.Y., El-Seesy, I.E., Souyada, E.R., Nasr, R.A. 2011. "A comparative study among different photochemical oxidation processes to enhance the biodegradability of paper mill wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, 185, 353-358.
- Kritikos, D.E., Xekoukoulotakis, P.N., Psillakis, E. and Mantzavinos, D. 2007. "Photocatalytic degradation of reactive black 5 in aqueous solutions: Effect of operating conditions and coupling with ultrasound irradiation", *Water Research*, 41, 2236-2246.
- Lei, Z., Chen, B., Ding, Z. 2005. "Special Distillation Processes", Elsevier, China, 241.
- Lucas, M.S., Peres, J.A., Amor, C., Prieto-Rodriguez, L., Maldonado, M.I. 2012. "Tertiary treatment of pulp mill wastewater by solar photo-Fenton", *Journal of Hazardous Materials*, 225-226, 173-181.
- Mickley, M.C. 2006. "Membrane Concentrate Disposal: Practices and Regulation, Desalination and Water Purification", Research and Development Program Report No. 123 (2nd Edition), U.S. Department of the Interior-Bureau of Reclamation.
- Mokhtar, N.M., Lau, W.J., Ismail, A.F. 2015. "Membrane distillation technology for treatment of wastewater from rubber industry in Malaysia", *CIRP*, 26, 792-796.
- Moravia, W.G., Amaral, M.C.S., Lange, L.C. 2013. "Evaluation of landfill leachate treatment by advanced oxidative process by Fenton's reagent combined with membrane separation system", *Waste Management*, 33, 89-101.

- Negaresh, E., Antony, A., Bassandeh, M., Richardson, D.E., Leslie, G. 2012. "Selective separation of contaminants from paper mill effluent using nanofiltration", *Chemical Engineering Research and Design*, 90, 576-583.
- Orman ve su işleri bakanlığı, 2011. "*Alıcı Ortam Kalitesi Açısından Membran Konsantre Akımlarının Yönetimi Tebliği*".
- Pamela, C.C., Daniel W.S., Gamal, E.M. 2009. "Membrane concentrate management options: a comprehensive critical review", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36, 1107-1119.
- Perez, M., Torrades, F., Domenech, X., Peral, J. 2002a. "Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents", *Water Research*, 36, 2703-2710.
- Perez, M., Torrades, F., Garcia-Hortal, J.A., Domenech, X., Peral, J. 2002b. "Removal of organic contaminants in paper pulp treatment effluents under Fenton and photo-Fenton conditions", *Applied Catalysis B: Environmental*, 36, 63-74.
- Perez-gonzales, A., Urtiaga, A.M., Ibanez, R., Ortiz, I. 2012. "State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates", *Water Research*, 46, 267-283.
- Pizzichini, M., Russo, C., Di Meo, C. 2005. "Purification of pulp and paper wastewater, with membrane technology, for water reuse in a closed loop", *Desalination*, 178, 351-359.
- Santos ramos, D.L.W., Poznyak, T., Chairez, I., Cordova R.I. 2009. "Remediation of lignin and its derivatives from pulp and paper industry wastewater by the combination of chemical precipitation and ozonation", *Journal of Hazardous Materials*, 169, 428-434.
- Sethi, S., Walker, S., Drewes, J., Xu, P. 2006. "Existing & emerging concentrate minimization & disposal practices for membrane systems", *Florida Water Resources Journal*, 40-48.
- Suk, D.E., Matsuura, T. 2006. "Membran based hybrid processes: A review separation", *Science and Technology*, 14, 595-626.
- Xu, M., Wang, Q., Hao, Y. 2007. "Removal of organic carbon from wastewater pulp effluent by lab-scale solar photo-Fenton process", *Journal of Hazardous Materials*, 148, 103-109.
- Vergili, I., Kaya, Y., Sen, U., Gönder, Z.B., Aydinler, C. 2012. "Techno-economic analysis of textile dye bath wastewater treatment by integrated membrane processes under the zero liquid discharge approach", *Resources Conservation and Recycling* 58, 25-35.

Vilar, V.J.P., Pinho, L.X., Pintor, AM.M.A, Boaventura, R.A.R. 2011. "Treatment of textile wastewaters by solar-driven advanced oxidation processes", *Solar Energy*, 85, 1927-1934.

T.C. Gebze Teknik Üniversitesi
Atıksu Örneği
“Atık Yönetimi Yönetmeliği”
EK-3B Test ve Analiz Raporu

ÇALIŞMAYA KATILANLAR

53727
52470
53271
51654
51903
53618
53681
53006

ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor no: 45924173-125.05-2152-7606

17 KASIM 2015

DAĞITIM

Bu rapor 2 (İKİ) adet olarak hazırlanmıştır.
Dağıtım; MAM (1 Adet), T.C. Gebze Teknik Üniversitesi (1 Adet),

NOT / AÇIKLAMA

Bu rapor 14/10/2015 tarihinde 6442 MAM Evrak Numaralı talep onay yazısı üzerine hazırlanmıştır.

Bu rapor ve sonuçları talepte bulunan kuruluş ve müşterilerince ticaret ve reklam amaçları ile kullanılamaz. Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz.

SORUMLULAR

52470

SORUMLULAR

53727

ONAYLAYAN

Dr. Özgen ERCAN
Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü
Endüstriyel Hizmet Sorumlusu



TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ

ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

T.C. GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ATIKSU ÖRNEĞİ
“ATIK YÖNETİMİ YÖNETMELİĞİ”
EK-3B TEST VE ANALİZ RAPORU

ÇALIŞMAYA KATILANLAR

53727
52470
53271
51654
51903
53618
53681
53006



T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK
BAKANLIĞI



Y-41/005/2011



MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ

P.K.21, 41470 Gebze Kocaeli T 0 262 677 20 00 F 0 262 641 23 09 mam.tubitak.gov.tr



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7706

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 1/8

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ	3
3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	4
5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	5
7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	8

1. GİRİŞ

T.C. Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 10/09/2015 tarihinde 5742 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Müşteri tarafından tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Atık Su” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme istenilmiştir. Bunun üzerine “Endüstriyel atıksuyun ileri oksidasyon ve membran filtrasyonu ile arıtımı sonucu oluşan atıksu” olarak tanımlanan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, analizler yapılarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Atık Su” örneği, ilk değerlendirmelere göre AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Foto 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Atık Su” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak (Numune alım) Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Atık Su	10/09/2015- Mühürsüz	158/1118-1-1



Foto 1. 158/1118-1 no’lu “Atık Su”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 3/8

2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 158/1118-1 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Açık sarı /Hafif Kokulu	
pH değeri (Sulu çözelti)	2,06	TS 8753 EN 12176
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	7,12	SM-4500 OG
Nem Miktarı (% ağırlık)	100	TS 9546 EN 12880
Katı Madde içeriği (% ağırlık)	<0,1	TS 9546 EN 12880
Toplam Organik Karbon (mg/l)	218,7	TS 8336
KOI (Kimyasal Oksijen İçeriği) mg/l	2680	SM-5220B
Yağ Gres (mg/l)	1,39	ASTM D 7066-04E

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Atık Su” örneğinin asidik ve nötral olduğu tespit edilmiştir. Numunenin yağ gres içeriği 1,39 mg/l bulunmuş olup, SKKY’de (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği) Tablo 10: Tekstil Sanayiinde yağ gres için verilen en düşük sınır değer olan 10 mg/l olan altındadır. (Kağıt sektörü için sınır değer mevcut değildir). Örneğin **KOI konsantrasyonu 2680 mg/l bulunmuş olup, evsel atıksuların ortalama KOI değerinden yaklaşık olarak 5-6 kat daha yüksek olması nedeniyle numunenin sucul ekosistemler için risk içerdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca SKKY Tablo 10’da verilen 300 mg/l ortalama sınır değerinin üzerindedir.** Örneğin sulu çözeltisinin çözünmüş oksijen miktarı 7,12 mg/l civarında bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde su canlıları açısından risk teşkil edebilecek bir değer değildir.

3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğindeki (158/1118-1) organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla hekzan ile ekstrakte edilmiş organik fazda ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi sonucunda numunenin organik bileşimindeki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. FTIR spektrumunda 1490 cm^{-1} frekansında oldukça zayıf aromatik halka, 2800-3200 cm^{-1} ’de ise güçlü alkil gerilimi elde edilmiştir. Bu sonuç atıksuyun çözüldüğü solvent olan hekzan içine geçebilen alifatik bileşiklerin olabileceğini düşündürmektedir.

Örnekten alınan 1 gr’lık orijinal kısım, herhangi bir ön işlem yapılmadan head space şişesine konularak EPA 3810 Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS Agilent 5975 MSD-7697 HS model GC-MS Cihazı (Kolon boyu: 60m, kolon çapı:0.25 mm, film kalınlığı: 0.25 μm) ile uçucu organik analizi yapılmıştır. Head Space vial sıcaklığı 80 $^{\circ}\text{C}$ ’dir. EI+ modu ile 18-650 gr/mol aralığında tarama yapılmıştır. GC-MS sonuçlarına göre örnekte herhangi bir uçucu organik bileşik tespit edilememiştir.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 4/8

4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Numunenin inorganik yapısını ve olası ağır metal içeriğini araştırmak için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile periyodik cetvel taraması yapılmıştır. Numune önce güçlü ait karışımı olan nitrik asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile çözülmüştür. Perkin Elmer NexION 350 model ICP-MS cihazı ile yapılan ağır metal taramasında elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin ICP-MS Sonucu* (mg/l)

Na	Mg	Al	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Pb
465,9	8,77	0,55	291,1	53,1	1,96	3,52	161,8	3,22	2,92	0,21

* 200 ppb'den düşük metaller gösterilmemiştir.

Tablo 3'teki sonuçlara göre, örneğin içeriğinde ağırlık olarak sodyum, kükürt ve demir tespit edilmiş olup diğer metaller daha da düşüktür. Risk içerebilecek seviyede ağır metale rastlanılmamıştır. **Bu sonuçlara göre, inorganik içeriğin tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

158/1118-1 no'lu numune, 100 gr/lt'lik (1'e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak SKKY Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre "Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik Seyreltme Faktörü" testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çevrilemez etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50'sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50'sinin öldüğü konsantrasyon olan LC₅₀ değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığının 10 Ekim 2009 tarihli "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği" Ek-1 Tablo 1'de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir. Yani 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu=5 hacim. Zehirlilik seyreltme faktörü=5'tir.

Balık biyodeneyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=2 bulunmuştur. Bu nedenle, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için düşük riskli ve tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 5/8

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(Gen Mühendisliği Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından analizi yapılmıştır.)

158/1118-1 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir.

Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Testing and Assessment No 33 Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokole önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/CD1 kullanılmıştır. Deney protokolünde önerildiği üzere numune 8-12 haftalık (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) 3 adet dişi fare/CD1 kullanılarak test edilmiştir. Deneyde kullanılan fareler tesadüfen hamile olmayanlar arasından seçilmiş olup, tek tek işaretlenmiş ve uygulamadan 5 gün önce kafeslere ayrılmıştır. Barınma koşulları oda sıcaklığı 22°C (\pm 3°C), nem 30% - 70% arasında, 12 saat aydınlık 12 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. Beslenme için normal laboratuvar diyeti ve sınırsız su sağlanmıştır. Aynı doza maruz kalan hayvanlar aynı kafeste muhafaza edilmiş, fakat kafesteki hayvan sayısı gözlemleri etkilemeyecek düzeyde tutulmuştur.

Genellikle test edilen numuneler belirlenen doz aralığında çeşitli konsantrasyonlarda sabit hacimde uygulanır. Test edilecek numune regülatörü otoritelerin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde dilue edilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (ml/kg vücut ağırlığı) uygulanır (Tablo 4). Muhtemel tehlikeli atık için uygulanan akut oral toksisite testi sınırlı bir testtir. OECD 423 test kılavuzuna belirtildiği gibi kimyasalların real risk değerlendirmesi açısından numunenin dilue etmeden sabit volümde 24 saat içerisinde 1 ml/100 g vücut ağırlığı olarak uygulanmıştır (suyun özgül ağırlığı 1 g/cm³).

Tablo 4. 158/1118-1 no'lu numune deney farelerinin ağırlıkları ve oral yolla verilen tek doz miktarı

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	Gavaj Hacmi (µl)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
158-1118-1	1	28,8	288	10,000
	2	28,4	284	10,000
	3	28,8	288	10,000

Sıvı numuneler risk değerlendirmeye relevant veri elde etmek için dilut edilmeden tek doz olarak direk vücut ağırlığına göre hesaplanarak (1 ml/100 mg) gavaj yolu ile deney hayvanlarına uygulanmıştır. Örneklerden elde edilen ekstraktlar, gavaj yolu ile tek seferde farelere verilmek suretiyle uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulanması gereken numune miktarının tek seferde verilememesi durumunda toplam süre 24 saati geçmemek koşuluyla uygulama miktarı birkaç seferde parça parça verilmiştir. Bunun için deneyde kullanılacak fareler deneyden önceki 24 saat boyunca su verilmekle birlikte aç bırakılmıştır. Mide gavajı uygulaması sonrasında da 2 saat süre ile farelere yem verilmemiştir.

Pozitif kontrol olarak akut oral toksisite açısından GHS kategori 4 derecesinde toksik olarak sınıflandırılan "Iron (II) chloride tetrahydrate (FeCl₂.4H₂O)" isimli kimyasal madde kullanılmıştır. Kimyasala ait toksisite



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 6/8

Bilgileri Şekil 1'de verilmiştir. Hazırlanan ekstraktlara benzer olarak söz konusu kimyasal 100 mg/ml vücut ağırlığı konsantrasyon değerine sahip solüsyon şeklinde hazırlanmıştır. Pozitif kontrol, numune ekstraktlarının uygulama dozu temel alınarak (2000 mg/kg vücut ağırlığı) üç deney hayvanına uygulanmıştır.

Exclamation Mark
GHS07



Acute toxicity (oral, dermal, inhalation), category 4
Skin irritation, category 2
Eye irritation, category 2
Skin sensitisation, category 1
Specific Target Organ Toxicity – Single exposure, category 3

Şekil 1. Iron (II) chloride tetrahydrate için toksisite verileri

Pozitif kontrolün uygulandığı üç farenin tamamı takip eden ilk 40 dakika içinde ölmüştür. Ölen farelerin tamamı uygulamayı takiben ölüme kadar; solunum hacimlerinde artma, zor nefes alma, bronkospazmik tablo, hipoksi, ekstremelerde ve kıllı deride siyanoz, pilor ereksiyon, kontrolsüz ve refleksif hareketler, toplam akciğer kapasitesinde zorlanma gibi semptomlar göstermiştir. Negatif kontrol olarak ekstraksiyon için kullanılan distile su (dH₂O) kullanılmıştır. Aynı şekilde vücut ağırlığına göre deney hayvanlarına verilmesi gereken miktar hesaplandıktan sonra farelere mide gavajı yoluyla verilmiştir. Deney süresi sonunda yapılan incelemelerde negatif kontrol grubu farelerinde herhangi bir anormal bulguya rastlanmamıştır.

Deney hayvanları bireysel olarak gözlemlenmiştir. Doz uygulaması sonrası ilk 40 dakika içinde devamlı takip altında tutulan fareler, ilk 4 saat boyunca da kısa aralıklarla sıkı gözlem altında tutulmuşlardır. Uygulama sonrası takip eden 14 gün boyunca deney hayvanları günlük olarak gözlemlenerek değerlendirilmiş ve deney süreci tamamlanmıştır. Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen bulgu ve gözlemler Tablo 5, 6, 7' de sunulmuştur. Test protokolünde belirlenen uygulama süresi sonunda deney hayvanları hayvan etik kuralları dahilinde öldürülmüştür.

Tablo 5. 158/1118-1 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	2.Gün Ağırlık (gr)	3.Gün Ağırlık (gr)	7.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)	14.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)
158-1118-1	1	28,8	28,0	28,8	28,0	-0,8	29,6	1,6
	2	28,4	28,6	28,6	28,8	0,2	28,0	-0,8
	3	28,8	28,0	29,0	29,4	0,4	31,4	2,0



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 7/8

Tablo 6. 158/1118-1 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı doğrulama deneyine ait klinik bulgular gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/Kul. fare
158-1118-1	1	Bulgu var	1,43; %4,83	Bulgu yok	0/3
	2	Bulgu var	1,45; %5,18	Bulgu yok	
	3	Bulgu yok	1,45; %4,62	Bulgu yok	
	Kontrol	Bulgu yok	1,46; %5,79	Bulgu yok	

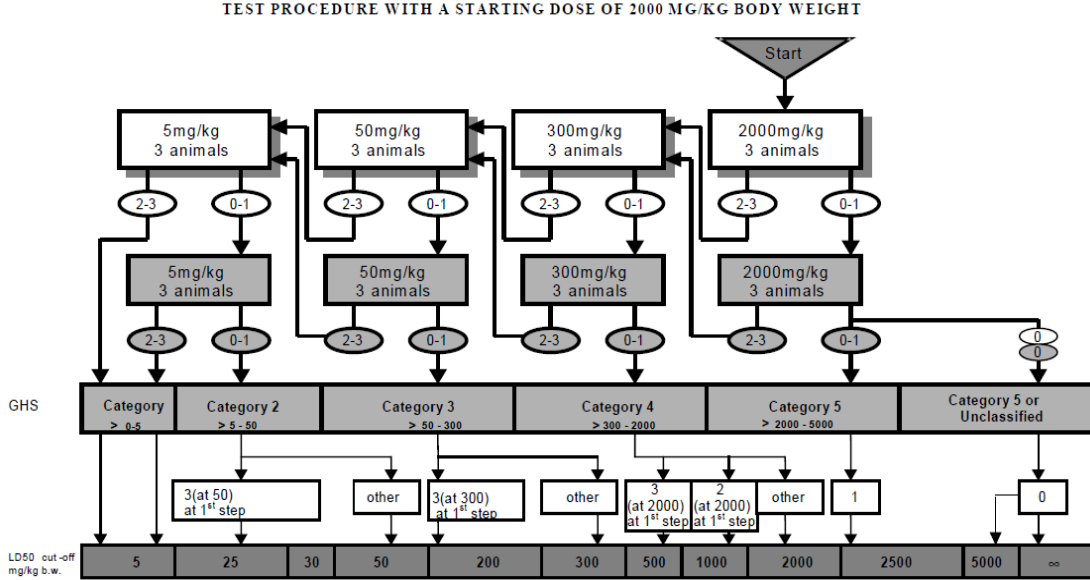
Tablo 7. 158/1118-1 numaralı numunenin uygulandığı deney hayvanlarına ait genel gözlemler

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Solunum	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

158-1118-1 numaralı numunenin uygulandığı fareler, takip edilen OECD 423 test protokolüne göre 14 gün boyunca gözlenmiştir. Deney başlangıç ve bitiş süresi dahilinde deney hayvanlarının ağırlıklarında önemli kilo değişimi (< %10) gözlenmemiştir. Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde 1 ve 2 nolu deney hayvanlarında karaciğer ve böbrek hiperemik ve bağ dokularının granüllü olduğu tespit edilmiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları normal sınırlar (%4-6) içerisinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre:

- I. 158/1118-1 numaralı test edilen atık numunesinin 2000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5)** olarak değerlendirilmiştir.
- II. **LD50 değeri > 10,000 mg/kg** vücut ağırlığı



Şekil 2. 2000 mg/kg vücut ağırlığı başlangıç dozuna göre deney ve değerlendirme prosedürü

7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

158/1118-1 no'lu "Atık Su" örneğinin:

- **Asidik olduğu (pH:2,06) ve H4-Tahriş edici özellik gösterdiği belirlenmiştir.**
- Örneğin sulu çözeltilisinin çözünmüş oksijen miktarı 7,12 mg/lit bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde risk teşkil edebilecek bir değer değildir.
- **KOI konsantrasyonu 2680 mg/lit civarında olup, numunenin sucul ekosistemler için risk içerdiği sonucuna varılmıştır.**
- İnorganik içerik bakımından AYY'e göre tehlikesiz olduğu tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre (dengelenmiş pH değerinde) ZSF=2 elde edilmiş olup, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için düşük riskli ve tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışmada ele alınmamıştır.
- **Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) bulunmuştur. Farelerde tespit edilen olumsuzluklar ilgili bölümde açıklanmıştır. LD50 değeri > 10,000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışmada ele alınmamıştır.**

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 158/1118-1 no'lu "Atık Su" örneğinin "**tehlikeli (zararlı) atık olduğu**" sonucuna varılmıştır. Atıksu örneğinin nötralize edilerek ve uygun bir kimyasal/biyolojik atıksu arıtma prosesinde arıtılarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ilgili sektör tablosu veya Tablo 25. Kanala deşarj limitlerini sağlamak kaydı ile kanalizasyona verilmesi mümkündür.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7706

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 1/8

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ	3
3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	4
7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	8

1. GİRİŞ

T.C. Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 10/09/2015 tarihinde 5742 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Müşteri tarafından tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Atık Su” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme istenilmiştir. Bunun üzerine “Endüstriyel atıksuyun ileri oksidasyon ve membran filtrasyonu ile arıtımı sonucu oluşan atıksu” olarak tanımlanan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, analizler yapılarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Atık Su” örneği, ilk değerlendirmelere göre AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Foto 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Atık Su” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak (Numune alım) Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Atık Su	10/09/2015- Mühürsüz	158/1118-2-1

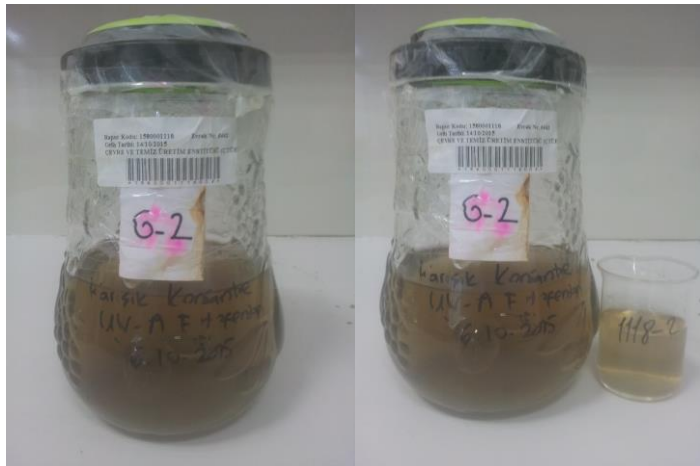


Foto 1. 158/1118-2 no’lu “Atık Su”



TUBITAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 3/8

2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 158/1118-2 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Açık sarı /Hafif Kokulu	
pH değeri (Sulu çözelti)	2,34	TS 8753 EN 12176
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	7,70	SM-4500 OG
Nem Miktarı (% ağırlık)	100	TS 9546 EN 12880
Katı Madde içeriği (% ağırlık)	<0,1	TS 9546 EN 12880
Toplam Organik Karbon (mg/l)	106	TS 8336
KOI (Kimyasal Oksijen İçeriği) mg/l	294	SM-5220B
Yağ Gres (mg/l)	1,56	ASTM D 7066-04E

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Atık Su” örneğinin asidik ve nötral olduğu tespit edilmiştir. Numunenin yağ gres içeriği 1,56 mg/l bulunmuş olup, SKKY’de (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği) Tablo 10: Tekstil Sanayiinde yağ gres için verilen en düşük sınır değer olan 10 mg/l olan altındadır. (Kağıt sektörü için sınır değer mevcut değildir). Örneğin KOI konsantrasyonu 294 mg/l bulunmuş olup, evsel atıksuların ortalama KOI değerinden düşük olması nedeniyle numunenin sucul ekosistemler için risk içermediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca SKKY Tablo 10’da verilen 300 mg/l ortalama sınır değerinin altındadır. Örneğin sulu çözeltisinin çözünmüş oksijen miktarı 7,70 mg/l civarında bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde su canlıları açısından risk teşkil edebilecek bir değer değildir.

3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğindeki (158/1118-2) organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla hekzan ile ekstrakte edilmiş organik fazda ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi sonucunda numunenin organik bileşimindeki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. FTIR spektrumunda 1490 cm^{-1} frekansında oldukça zayıf aromatik halka, 2800-3200 cm^{-1} ’de ise güçlü alkil gerilimi elde edilmiştir. Bu sonuç atıksuyun çözüldüğü solvent olan hekzan içine geçebilen alifatik bileşiklerin olabileceğini düşündürmektedir.

Örnekten alınan 1 gr’lık orijinal kısım, herhangi bir ön işlem yapılmadan head space şişesine konularak EPA 3810 Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS Agilent 5975 MSD-7697 HS model GC-MS Cihazı (Kolon boyu: 60m, kolon çapı:0.25 mm, film kalınlığı: 0.25 μm) ile uçucu organik analizi yapılmıştır. Head Space vial sıcaklığı 80 $^{\circ}\text{C}$ ’dir. EI+ modu ile 18-650 gr/mol aralığında tarama yapılmıştır. GC-MS sonuçlarına göre örnekte herhangi bir uçucu organik bileşik tespit edilememiştir.

4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Numunenin inorganik yapısını ve olası ağır metal içeriğini araştırmak için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile periyodik cetvel taraması yapılmıştır. Numune önce güçlü ait karışımı olan nitrik



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 4/8

asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile çözülmüştür. Perkin Elmer NexION 350 model ICP-MS cihazı ile yapılan ağır metal taramasında elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin ICP-MS Sonucu* (mg/l)

Na	Mg	Al	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
406,4	105,2	7,33	319,6	65,9	2,37	5,07	0,54	301,7	1,58	2,76	0,29

* 200 ppb'den düşük metaller gösterilmemiştir.

Tablo 3'teki sonuçlara göre, örneğin içeriğinde ağırlık olarak sodyum, kükürt ve demir tespit edilmiş olup diğer metaller daha da düşüktür. Risk içerebilecek seviyede ağır metale rastlanılmamıştır. **Bu sonuçlara göre, inorganik içeriğin tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

158/1118-2 no'lu numune, 100 gr/lit'lik (1'e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak SKKY Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre "Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik Seyreltme Faktörü" testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çeviremez etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50'sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC_{50}) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50'sinin öldüğü konsantrasyon olan LC_{50} değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığının 10 Ekim 2009 tarihli "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği" Ek-1 Tablo 1'de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir. Yani 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu=5 hacim. Zehirlilik seyreltme faktörü=5'tir.

Balık biyodeneyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=2 bulunmuştur. Bu nedenle, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için düşük riskli ve tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(Gen Mühendisliği Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından analizi yapılmıştır.)

158/1118-2 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 5/8

Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Testing and Assessment No 33

Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokolda önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/CD1 kullanılmıştır. Deney protokolünde önerildiği üzere numune 8-12 haftalık (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) 3 adet dişi fare/CD1 kullanılarak test edilmiştir. Deneyde kullanılan fareler tesadüfen hamile olmayanlar arasından seçilmiş olup, tek tek işaretlenmiş ve uygulamadan 5 gün önce kafeslere ayrılmıştır.

Barınma koşulları oda sıcaklığı 22°C (\pm 3°C), nem 30% - 70% arasında, 12 saat aydınlık 12 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. Beslenme için normal laboratuvar diyeti ve sınırsız su sağlanmıştır. Aynı doza maruz kalan hayvanlar aynı kafeste muhafaza edilmiş, fakat kafesteki hayvan sayısı gözlemleri etkilemeyecek düzeyde tutulmuştur.

Genellikle test edilen numuneler belirlenen doz aralığında çeşitli konsantrasyonlarda sabit hacimde uygulanır. Test edilecek numune regülatörü otoritelerin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde dilue edilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (ml/kg vücut ağırlığı) uygulanır (Tablo 4). Muhtemel tehlikeli atık için uygulanan akut oral toksisite testi sınırlı bir testtir. OECD 423 test kılavuzuna belirtildiği gibi kimyasalların real risk değerlendirmesi açısından numunenin dilue etmeden sabit volümde 24 saat içerisinde 1 ml/100 g vücut ağırlığı olarak uygulanmıştır (suyun özgül ağırlığı 1 g/cm³).

Tablo 4. 158/1118-2 no'lu numune deney farelerinin ağırlıkları ve oral yolla verilen tek doz miktarı

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	Gavaj Hacmi (μ l)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
158-1118-2	1	30,8	308	10,000
	2	28,4	284	10,000
	3	29,6	296	10,000

Sıvı numuneler risk değerlendirmeye relevant veri elde etmek için dilut edilmeden tek doz olarak direk vücut ağırlığına göre hesaplanarak (1 ml/100 mg) gavaj yolu ile deney hayvanlarına uygulanmıştır. Örneklerden elde edilen ekstraktlar, gavaj yolu ile tek seferde farelere verilmek suretiyle uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulanması gereken numune miktarının tek seferde verilememesi durumunda toplam süre 24 saati geçmemek koşuluyla uygulama miktarı birkaç seferde parça parça verilmiştir. Bunun için deneyde kullanılacak fareler deneyden önceki 24 saat boyunca su verilmekle birlikte aç bırakılmıştır. Mide gavajı uygulaması sonrasında da 2 saat süre ile farelere yem verilmemiştir.

Pozitif kontrol olarak akut oral toksisite açısından GHS kategori 4 derecesinde toksik olarak sınıflandırılan "Iron (II) chloride tetrahydrate (FeCl₂.4H₂O)" isimli kimyasal madde kullanılmıştır. Kimyasala ait toksisite bilgileri Şekil 1'de verilmiştir. Hazırlanan ekstraktlara benzer olarak söz konusu kimyasal 100 mg/ml vücut ağırlığı konsantrasyon değerine sahip solüsyon şeklinde hazırlanmıştır. Pozitif kontrol, numune ekstraktlarının uygulama dozu temel alınarak (2000 mg/kg vücut ağırlığı) üç deney hayvanına uygulanmıştır.

Exclamation Mark
GHS07



Acute toxicity (oral, dermal, inhalation), category 4
Skin irritation, category 2
Eye irritation, category 2
Skin sensitisation, category 1
Specific Target Organ Toxicity – Single exposure, category 3

Şekil 1. Iron (II) chloride tetrahydrate için toksisite verileri

Pozitif kontrolün uygulandığı üç farenin tamamı takip eden ilk 40 dakika içinde ölmüştür. Ölen farelerin tamamı uygulamayı takiben ölüme kadar; solunum hacimlerinde artma, zor nefes alma, bronkospazmik tablo, hipoksi, ekstremelerde ve kıllı deride siyanoz, pilor ereksiyon, kontrolsüz ve refleksif hareketler, toplam akciğer kapasitesinde zorlanma gibi semptomlar göstermiştir. Negatif kontrol olarak ekstraksiyon için kullanılan distile su (dH₂O) kullanılmıştır. Aynı şekilde vücut ağırlığına göre deney hayvanlarına verilmesi gereken miktar hesaplandıktan sonra farelere mide gavajı yoluyla verilmiştir. Deney süresi sonunda yapılan incelemelerde negatif kontrol grubu farelerinde herhangi bir anormal bulguya rastlanmamıştır.

Deney hayvanları bireysel olarak gözlemlenmiştir. Doz uygulaması sonrası ilk 40 dakika içinde devamlı takip altında tutulan fareler, ilk 4 saat boyunca da kısa aralıklarla sıkı gözlem altında tutulmuşlardır. Uygulama sonrası takip eden 14 gün boyunca deney hayvanları günlük olarak gözlemlenerek değerlendirilmiş ve deney süreci tamamlanmıştır. Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen bulgu ve gözlemler Tablo 5, 6, 7' de sunulmuştur. Test protokolünde belirlenen uygulama süresi sonunda deney hayvanları hayvan etik kuralları dahilinde öldürülmüştür.

Tablo 5. 158/1118-2 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	2.Gün Ağırlık (gr)	3.Gün Ağırlık (gr)	7.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)	14.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)
158-1118-2	1	30,8	28,4	28,2	28,4	0,2	30,8	2,4
	2	28,4	31,2	31,0	30,2	-0,8	28,4	-1,8
	3	29,6	29,8	30,0	30,4	0,4	29,2	-1,2

Tablo 6. 158/1118-2 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı doğrulama deneyine ait klinik bulgular gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/Kul. fare
158-1118-2	1	Bulgu yok	1,34; %4,35	Bulgu yok	0/3
	2	Bulgu yok	1,23; %4,33	Bulgu yok	
	3	Bulgu yok	1,34; %4,59	Bulgu yok	
	Kontrol	Bulgu yok	1,40; %4,93	Bulgu yok	



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 7/8

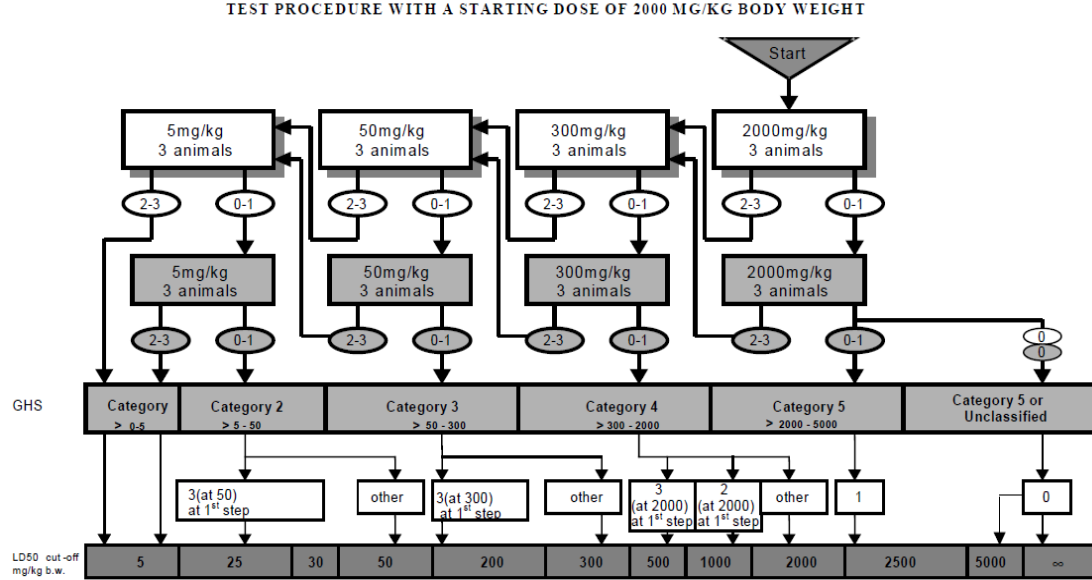
Tablo 7. 158/1118-2 numaralı numunenin uygulandığı deney hayvanlarına ait genel gözlemler

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Solunum	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

158-1118-2 numaralı numunenin uygulandığı fareler, takip edilen OECD 423 test protokolüne göre 14 gün boyunca gözlenmiştir. Deney başlangıç ve bitiş süresi dahilinde deney hayvanlarının ağırlıklarında önemli kilo değişimi (< %10) gözlenmemiştir. 158-1118-2 numaralı numunenin uygulandığı fareler, takip edilen OECD 423 test protokolüne göre 14 gün boyunca gözlenmiştir. Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde deney hayvanlarında herhangi bir patolojik bulguya rastlanılmamıştır. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları normal sınırlar (%4-6) içerisinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre:

- I. 158/1118-2 numaralı test edilen atık numunesinin 2000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan** olarak değerlendirilmiştir.
- II. **LD50 değeri > 10,000 mg/kg** vücut ağırlığı



Şekil 2. 2000 mg/kg vücut ağırlığı başlangıç dozuna göre deney ve değerlendirme prosedürü

7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

158/1118-2 no'lu "Atık Su" örneğinin:

- **Asidik olduğu (pH:2,34) ve H4-Tahriş edici özellik gösterdiği belirlenmiştir.**
- Örneğin sulu çözeltilisinin çözünmüş oksijen miktarı 7,70 mg/lit bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde risk teşkil edebilecek bir değer değildir.
- KOI konsantrasyonu 294 mg/lit civarında olup, numunenin sucul ekosistemler için risk içermediği sonucuna varılmıştır.
- İnorganik içerik bakımından AYY'e göre tehlikesiz olduğu tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre (dengelenmiş pH değerinde) ZSF=2 elde edilmiş olup, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için düşük riskli ve tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışmada ele alınmamıştır.
- Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan bulunmuştur. LD50 değeri > 10,000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışmada ele alınmamıştır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 158/1118-2 no'lu "Atık Su" örneğinin **"tehlikesiz atık olduğu"** sonucuna varılmıştır. Atıksu örneğinin nötralize edilerek Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ilgili sektör tablosu veya Tablo 25. Kanala deşarj limitlerini sağlamak kaydı ile kanalizasyona verilmesi mümkündür.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7706

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 1/8

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ	3
3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	4
7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	8

1. GİRİŞ

T.C. Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 10/09/2015 tarihinde 5742 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Müşteri tarafından tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Atık Su” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme istenilmiştir. Bunun üzerine “Endüstriyel atıksuyun ileri oksidasyon ve membran filtrasyonu ile arıtımı sonucu oluşan atıksu” olarak tanımlanan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, analizler yapılarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Atık Su” örneği, ilk değerlendirmelere göre AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Foto 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Atık Su” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak (Numune alım) Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Atık Su	10/09/2015- Mühürsüz	158/1118-3



Foto 1. 158/1118-3 no’lu “Atık Su”



TUBITAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 3/8

2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 158/1118-3 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Kahverengi /Hafif Kokulu	
pH değeri (Sulu çözelti)	2,48	TS 8753 EN 12176
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	8,48	SM-4500 OG
Nem Miktarı (% ağırlık)	100	TS 9546 EN 12880
Katı Madde içeriği (% ağırlık)	<0,1	TS 9546 EN 12880
Toplam Organik Karbon (mg/l)	232	TS 8336
KOI (Kimyasal Oksijen İçeriği) mg/l	742	SM-5220B
Yağ Gres (mg/l)	1,10	ASTM D 7066-04E

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Atık Su” örneğinin asidik ve nötral olduğu tespit edilmiştir. Numunenin yağ gres içeriği 1,10 mg/l bulunmuş olup, SKKY’de (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği) Tablo 10: Tekstil Sanayiinde yağ gres için verilen en düşük sınır değer olan 10 mg/l olan altındadır. (Kağıt sektörü için sınır değer mevcut değildir). Örneğin KOI konsantrasyonu 742 mg/l bulunmuş olup, evsel atıksuların ortalama KOI değerine yakın olması nedeniyle numunenin sucul ekosistemler için düşük risk içerdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca SKKY Tablo 10’da verilen 300 mg/l ortalama sınır değerinin üzerindedir. Örneğin sulu çözeltisinin çözünmüş oksijen miktarı 8,48 mg/l civarında bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde su canlıları açısından risk teşkil edebilecek bir değer değildir.

3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğindeki (158/1118-3) organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla hekzan ile ekstrakte edilmiş organik fazda ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi sonucunda numunenin organik bileşimindeki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. FTIR spektrumunda 1490 cm^{-1} frekansında oldukça güçlü aromatik halka (%2 soğurma), 2800-3200 cm^{-1} ’de ise güçlü alkil gerilimi elde edilmiştir. Bu sonuç atıksuyun çözüldüğü solvent olan hekzan içine geçebilen alifatik bileşiklerin olabileceğini düşündürmektedir.

Örnekten alınan 1 gr’lık orijinal kısım, herhangi bir ön işlem yapılmadan head space şişesine konularak EPA 3810 Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS Agilent 5975 MSD-7697 HS model GC-MS Cihazı (Kolon boyu: 60m, kolon çapı:0.25 mm, film kalınlığı: 0.25 μm) ile uçucu organik analizi yapılmıştır. Head Space vial sıcaklığı 80 $^{\circ}\text{C}$ ’dir. EI+ modu ile 18-650 gr/mol aralığında tarama yapılmıştır. GC-MS sonuçlarına göre örnekte herhangi bir uçucu organik bileşik tespit edilememiştir.

4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Numunenin inorganik yapısını ve olası ağır metal içeriğini araştırmak için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile periyodik cetvel taraması yapılmıştır. Numune önce güçlü ait karışımı olan nitrik



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 4/8

asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile çözülmüştür. Perkin Elmer NexION 350 model ICP-MS cihazı ile yapılan ağır metal taramasında elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin ICP-MS Sonucu* (mg/l)

Na	Mg	Al	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn
394,5	9,1	0,84	328	74,2	1,82	4,67	0,93	536,3	1,85	2,95

* 200 ppb'den düşük metaller gösterilmemiştir.

Tablo 3'teki sonuçlara göre, örneğin içeriğinde ağırlık olarak sodyum, kükürt ve demir tespit edilmiş olup diğer metaller daha da düşüktür. Risk içerebilecek seviyede ağır metale rastlanılmamıştır. **Bu sonuçlara göre, inorganik içeriğin tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

158/1118-3 no'lu numune, 100 gr/lit'lik (1'e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak SKKY Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre "Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik Seyreltme Faktörü" testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çeviremez etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50'sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC_{50}) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50'sinin öldüğü konsantrasyon olan LC_{50} değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığının 10 Ekim 2009 tarihli "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği" Ek-1 Tablo 1'de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir. Yani 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu=5 hacim. Zehirlilik seyreltme faktörü=5'tir.

Balık biyodeneyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=2 bulunmuştur. Bu nedenle, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için düşük riskli ve tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(Gen Mühendisliği Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından analizi yapılmıştır.)

158/1118-3 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 5/8

Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Testing and Assessment No 33 Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokolda önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/CD1 kullanılmıştır. Deney protokolünde önerildiği üzere numune 8-12 haftalık (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) 3 adet dişi fare/CD1 kullanılarak test edilmiştir. Deneyde kullanılan fareler tesadüfen hamile olmayanlar arasından seçilmiş olup, tek tek işaretlenmiş ve uygulamadan 5 gün önce kafeslere ayrılmıştır. Barınma koşulları oda sıcaklığı 22°C (\pm 3°C), nem 30% - 70% arasında, 12 saat aydınlık 12 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. Beslenme için normal laboratuvar diyeti ve sınırsız su sağlanmıştır. Aynı doza maruz kalan hayvanlar aynı kafeste muhafaza edilmiş, fakat kafesteki hayvan sayısı gözlemleri etkilemeyecek düzeyde tutulmuştur.

Genellikle test edilen numuneler belirlenen doz aralığında çeşitli konsantrasyonlarda sabit hacimde uygulanır. Test edilecek numune regülatöri otoritelerin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde dilue edilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (ml/kg vücut ağırlığı) uygulanır (Tablo 4). Muhtemel tehlikeli atık için uygulanan akut oral toksisite testi sınırlı bir testtir. OECD 423 test kılavuzuna belirtildiği gibi kimyasalların real risk değerlendirmesi açısından numunenin dilue etmeden sabit volümde 24 saat içerisinde 1 ml/100 g vücut ağırlığı olarak uygulanmıştır (suyun özgül ağırlığı 1 g/cm³).

Tablo 4. 158/1118-3 no'lu numune deney farelerinin ağırlıkları ve oral yolla verilen tek doz miktarı

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	Gavaj Hacmi (μ l)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
158-1118-3	1	31,6	316	10,000
	2	29,6	296	10,000
	3	28,4	284	10,000

Sıvı numuneler risk değerlendirmeye relevant veri elde etmek için dilut edilmeden tek doz olarak direk vücut ağırlığına göre hesaplanarak (1 ml/100 mg) gavaj yolu ile deney hayvanlarına uygulanmıştır. Örneklerden elde edilen ekstraktlar, gavaj yolu ile tek seferde farelere verilmek suretiyle uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulanması gereken numune miktarının tek seferde verilememesi durumunda toplam süre 24 saati geçmemek koşuluyla uygulama miktarı birkaç seferde parça parça verilmiştir. Bunun için deneyde kullanılacak fareler deneyden önceki 24 saat boyunca su verilmekle birlikte aç bırakılmıştır. Mide gavajı uygulaması sonrasında da 2 saat süre ile farelere yem verilmemiştir.

Pozitif kontrol olarak akut oral toksisite açısından GHS kategori 4 derecesinde toksik olarak sınıflandırılan "Iron (II) chloride tetrahydrate (FeCl₂.4H₂O)" isimli kimyasal madde kullanılmıştır. Kimyasala ait toksisite bilgileri Şekil 1'de verilmiştir. Hazırlanan ekstraktlara benzer olarak söz konusu kimyasal 100 mg/ml vücut ağırlığı konsantrasyon değerine sahip solüsyon şeklinde hazırlanmıştır. Pozitif kontrol, numune ekstraktlarının uygulama dozu temel alınarak (2000 mg/kg vücut ağırlığı) üç deney hayvanına uygulanmıştır.

Exclamation Mark
GHS07



Acute toxicity (oral, dermal, inhalation), category 4
Skin irritation, category 2
Eye irritation, category 2
Skin sensitisation, category 1
Specific Target Organ Toxicity – Single exposure, category 3

Şekil 1. Iron (II) chloride tetrahydrate için toksisite verileri

Pozitif kontrolün uygulandığı üç farenin tamamı takip eden ilk 40 dakika içinde ölmüştür. Ölen farelerin tamamı uygulamayı takiben ölüme kadar; solunum hacimlerinde artma, zor nefes alma, bronkospazmik tablo, hipoksi, ekstremelerde ve kıllı deride siyanoz, pilor ereksiyon, kontrolsüz ve refleksif hareketler, toplam akciğer kapasitesinde zorlanma gibi semptomlar göstermiştir. Negatif kontrol olarak ekstraksiyon için kullanılan distile su (dH₂O) kullanılmıştır. Aynı şekilde vücut ağırlığına göre deney hayvanlarına verilmesi gereken miktar hesaplandıktan sonra farelere mide gavajı yoluyla verilmiştir. Deney süresi sonunda yapılan incelemelerde negatif kontrol grubu farelerinde herhangi bir anormal bulguya rastlanmamıştır.

Deney hayvanları bireysel olarak gözlemlenmiştir. Doz uygulaması sonrası ilk 40 dakika içinde devamlı takip altında tutulan fareler, ilk 4 saat boyunca da kısa aralıklarla sıkı gözlem altında tutulmuşlardır. Uygulama sonrası takip eden 14 gün boyunca deney hayvanları günlük olarak gözlemlenerek değerlendirilmiş ve deney süreci tamamlanmıştır. Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen bulgu ve gözlemler Tablo 5, 6, 7' de sunulmuştur. Test protokolünde belirlenen uygulama süresi sonunda deney hayvanları hayvan etik kuralları dahilinde öldürülmüştür.

Tablo 5. 158/1118-3 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	2.Gün Ağırlık (gr)	3.Gün Ağırlık (gr)	7.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)	14.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)
158-1118-3	1	31,6	30,8	31,0	30,8	-0,2	31,8	1,0
	2	29,6	30,6	30,4	30,4	0	28,2	-2,2
	3	28,4	28,8	28,0	28,2	0,2	28,0	-0,2

Tablo 6. 158/1118-3 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı doğrulama deneyine ait klinik bulgular gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/Kul. fare
158-1118-3	1	Bulgu var	1,54; %4,84	Bulgu yok	0/3
	2	Bulgu var	1,75; %6,21	Bulgu yok	
	3	Bulgu var	1,42; %5,07	Bulgu yok	
	Kontrol	Bulgu yok	1,40; %4,93	Bulgu yok	

Tablo 7. 158/1118-3 numaralı numunenin uygulandığı deney hayvanlarına ait genel gözlemler

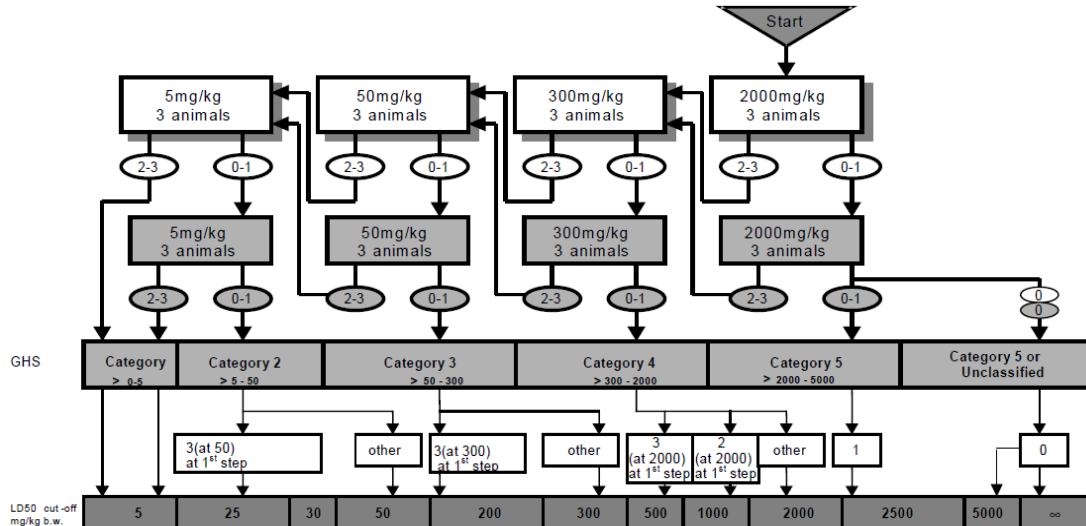
Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Solunum	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

158-1118-3 numaralı numunenin uygulandığı fareler, takip edilen OECD 423 test protokolüne göre 14 gün boyunca gözlenmiştir. Deney başlangıç ve bitiş süresi dahilinde deney hayvanlarının ağırlıklarında önemli kilo değişimi (< %10) gözlenmemiştir. 158-1118-3 numaralı numunenin uygulandığı fareler, takip edilen OECD 423 test protokolüne göre 14 gün boyunca gözlenmiştir. Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde 1, 2 ve 3 nolu deney hayvanlarında karaciğer ve böbrekte hiperemi tespit edilmiştir. 2 nolu deney hayvanının karaciğer ağırlığı normal sınırların (%4-6) biraz üzerinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre:

- I. 158/1118-3 numaralı test edilen atık numunesinin 2000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan** olarak değerlendirilmiştir.
- II. LD50 değeri > 10,000 mg/kg vücut ağırlığı

TEST PROCEDURE WITH A STARTING DOSE OF 2000 MG/KG BODY WEIGHT



Şekil 2. 2000 mg/kg vücut ağırlığı başlangıç dozuna göre deney ve değerlendirme prosedürü



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 8/8

7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

158/1118-3 no'lu "Atık Su" örneğinin:

- **Asidik olduğu (pH:2,48) ve H4-Tahriş edici özellik gösterdiği belirlenmiştir.**
- Örneğin sulu çözeltilisinin çözünmüş oksijen miktarı 8,48 mg/lit bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde risk teşkil edebilecek bir değer değildir.
- **KOI konsantrasyonu 742 mg/lit civarında olup, numunenin sucul ekosistemler için düşük risk içerdiği sonucuna varılmıştır.**
- İnorganik içerik bakımından AYY'e göre tehlikesiz olduğu tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre (dengelenmiş pH değerinde) ZSF=2 elde edilmiş olup, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için düşük riskli ve tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışmada ele alınmamıştır.
- **Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) bulunmuştur. LD50 değeri > 10,000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışmada ele alınmamıştır.**

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 158/1118-3 no'lu "Atık Su" örneğinin "**tehlikeli (zararlı) atık olduğu**" sonucuna varılmıştır. Atıksu örneğinin nötralize edilerek ve uygun bir kimyasal/biyolojik atıksu arıtma prosesinde arıtılarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ilgili sektör tablosu veya Tablo 25. Kanala deşarj limitlerini sağlamak kaydı ile kanalizasyona verilmesi mümkündür.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7706

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 1/8

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ	3
3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	4
7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	8

1. GİRİŞ

T.C. Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 10/09/2015 tarihinde 5742 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Müşteri tarafından tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Atık Su” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme istenilmiştir. Bunun üzerine “Endüstriyel atıksuyun ileri oksidasyon ve membran filtrasyonu ile arıtımı sonucu oluşan atıksu” olarak tanımlanan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, analizler yapılarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Atık Su” örneği, ilk değerlendirmelere göre AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Foto 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Atık Su” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak (Numune alım) Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Atık Su	10/09/2015- Mühürsüz	158/1118-4



Foto 1. 158/1118-4 no’lu “Atık Su”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 3/8

2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 158/1118-4 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Açık sarı /Hafif Kokulu	
pH değeri (Sulu çözelti)	2,71	TS 8753 EN 12176
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	8,30	SM-4500 OG
Nem Miktarı (% ağırlık)	99,21	TS 9546 EN 12880
Katı Madde içeriği (% ağırlık)	0,79	TS 9546 EN 12880
Toplam Organik Karbon (mg/l)	485	TS 8336
KOI (Kimyasal Oksijen İçeriği) mg/l	1456	SM-5220B
Yağ Gres (mg/l)	2,05	ASTM D 7066-04E

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Atık Su” örneğinin asidik ve nötral olduğu tespit edilmiştir. Numunenin yağ gres içeriği 2,05 mg/l bulunmuş olup, SKKY’de (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği) Tablo 10: Tekstil Sanayiinde yağ gres için verilen en düşük sınır değer olan 10 mg/l olan altındadır. (Kağıt sektörü için sınır değer mevcut değildir). Örneğin KOI konsantrasyonu 1456 mg/l bulunmuş olup, evsel atıksuların ortalama KOI değerinin yaklaşık 3 katı olması nedeniyle numunenin sucul ekosistemler için risk içerdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca SKKY Tablo 10’da verilen 300 mg/l ortalama sınır değerinin üzerindedir. Örneğin sulu çözeltisinin çözünmüş oksijen miktarı 8,30 mg/l civarında bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde su canlıları açısından risk teşkil edebilecek bir değer değildir.

3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğindeki (158/1118-4) organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla hekzan ile ekstrakte edilmiş organik fazda ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi sonucunda numunenin organik bileşimindeki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. FTIR spektrumunda 1490 cm^{-1} frekansında zayıf aromatik halka, 2800-3200 cm^{-1} ’de ise güçlü alkil gerilimi elde edilmiştir. Bu sonuç atıksuyun çözüldüğü solvent olan hekzan içine geçebilen alifatik bileşiklerin olabileceğini düşündürmektedir.

Örnekten alınan 1 gr’lık orijinal kısım, herhangi bir ön işlem yapılmadan head space şişesine konularak EPA 3810 Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS Agilent 5975 MSD-7697 HS model GC-MS Cihazı (Kolon boyu: 60m, kolon çapı:0.25 mm, film kalınlığı: 0.25 μm) ile uçucu organik analizi yapılmıştır. Head Space vial sıcaklığı 80 $^{\circ}\text{C}$ ’dir. EI+ modu ile 18-650 gr/mol aralığında tarama yapılmıştır. GC-MS sonuçlarına göre örnekte herhangi bir uçucu organik bileşik tespit edilememiştir.

4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Numunenin inorganik yapısını ve olası ağır metal içeriğini araştırmak için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile periyodik cetvel taraması yapılmıştır. Numune önce güçlü ait karışımı olan nitrik



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 4/8

asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile çözülmüştür. Perkin Elmer NexION 350 model ICP-MS cihazı ile yapılan ağır metal taramasında elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin ICP-MS Sonucu* (mg/l)

Na	Mg	Al	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Br
245,7	32,3	2,2	287,3	68,7	9,1	98,3	1,11	346	2,40	5,56	0,85
Sr	Ba	Hg									
1,01	0,25	0,37									

* 200 ppb'den düşük metaller gösterilmemiştir.

Tablo 3'teki sonuçlara göre, örneğin içeriğinde ağırlık olarak sodyum, kükürt ve demir tespit edilmiş olup diğer metaller daha da düşüktür. Risk içerebilecek seviyede ağır metale rastlanılmamıştır. **Bu sonuçlara göre, inorganik içeriğin tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

158/1118-4 no'lu numune, 100 gr/lt'lik (1'e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak SKKY Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre "Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik Seyreltme Faktörü" testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çeviremez etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50'sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50'sinin öldüğü konsantrasyon olan LC₅₀ değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığının 10 Ekim 2009 tarihli "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği" Ek-1 Tablo 1'de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir. Yani 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu=5 hacim. Zehirlilik seyreltme faktörü=5'tir.

Balık biyodeneyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=1 bulunmuştur. Bu nedenle, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(Gen Mühendisliği Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından analizi yapılmıştır.)

158/1118-4 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 5/8

Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Testing and Assessment No 33

Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokolda önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/CD1 kullanılmıştır. Deney protokolünde önerildiği üzere numune 8-12 haftalık (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) 3 adet dişi fare/CD1 kullanılarak test edilmiştir. Deneyde kullanılan fareler tesadüfen hamile olmayanlar arasından seçilmiş olup, tek tek işaretlenmiş ve uygulamadan 5 gün önce kafeslere ayrılmıştır. Barınma koşulları oda sıcaklığı 22°C (\pm 3°C), nem 30% - 70% arasında, 12 saat aydınlık 12 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. Beslenme için normal laboratuvar diyeti ve sınırsız su sağlanmıştır. Aynı doza maruz kalan hayvanlar aynı kafeste muhafaza edilmiş, fakat kafesteki hayvan sayısı gözlemleri etkilemeyecek düzeyde tutulmuştur.

Genellikle test edilen numuneler belirlenen doz aralığında çeşitli konsantrasyonlarda sabit hacimde uygulanır. Test edilecek numune regülatöri otoritelerin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde dilue edilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (ml/kg vücut ağırlığı) uygulanır (Tablo 4). Muhtemel tehlikeli atık için uygulanan akut oral toksisite testi sınırlı bir testtir. OECD 423 test kılavuzuna belirtildiği gibi kimyasalların real risk değerlendirmesi açısından numunenin dilue etmeden sabit volümde 24 saat içerisinde 1 ml/100 g vücut ağırlığı olarak uygulanmıştır (suyun özgül ağırlığı 1 g/cm³).

Tablo 4. 158/1118-4 no'lu numune deney farelerinin ağırlıkları ve oral yolla verilen tek doz miktarı

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	Gavaj Hacmi (µl)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
158-1118-4	1	33,0	330	10,000
	2	32,4	324	10,000
	3	32,8	328	10,000

Sıvı numuneler risk değerlendirmeye relevant veri elde etmek için dilut edilmeden tek doz olarak direk vücut ağırlığına göre hesaplanarak (1 ml/100 mg) gavaj yolu ile deney hayvanlarına uygulanmıştır. Örneklerden elde edilen ekstraktlar, gavaj yolu ile tek seferde farelere verilmek suretiyle uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulanması gereken numune miktarının tek seferde verilememesi durumunda toplam süre 24 saati geçmemek koşuluyla uygulama miktarı birkaç seferde parça parça verilmiştir. Bunun için deneyde kullanılacak fareler deneyden önceki 24 saat boyunca su verilmekle birlikte aç bırakılmıştır. Mide gavajı uygulaması sonrasında da 2 saat süre ile farelere yem verilmemiştir.

Pozitif kontrol olarak akut oral toksisite açısından GHS kategori 4 derecesinde toksik olarak sınıflandırılan "Iron (II) chloride tetrahydrate (FeCl₂.4H₂O)" isimli kimyasal madde kullanılmıştır. Kimyasala ait toksisite bilgileri Şekil 1'de verilmiştir. Hazırlanan ekstraktlara benzer olarak söz konusu kimyasal 100 mg/ml vücut ağırlığı konsantrasyon değerine sahip solüsyon şeklinde hazırlanmıştır. Pozitif kontrol, numune ekstraktlarının uygulama dozu temel alınarak (2000 mg/kg vücut ağırlığı) üç deney hayvanına uygulanmıştır.

Exclamation Mark
GHS07



Acute toxicity (oral, dermal, inhalation), category 4
Skin irritation, category 2
Eye irritation, category 2
Skin sensitisation, category 1
Specific Target Organ Toxicity – Single exposure, category 3

Şekil 1. Iron (II) chloride tetrahydrate için toksisite verileri

Pozitif kontrolün uygulandığı üç farenin tamamı takip eden ilk 40 dakika içinde ölmüştür. Ölen farelerin tamamı uygulamayı takiben ölüme kadar; solunum hacimlerinde artma, zor nefes alma, bronkospazmik tablo, hipoksi, ekstremelerde ve kıllı deride siyanoz, pilor ereksiyon, kontrolsüz ve refleksif hareketler, toplam akciğer kapasitesinde zorlanma gibi semptomlar göstermiştir. Negatif kontrol olarak ekstraksiyon için kullanılan distile su (dH₂O) kullanılmıştır. Aynı şekilde vücut ağırlığına göre deney hayvanlarına verilmesi gereken miktar hesaplandıktan sonra farelere mide gavajı yoluyla verilmiştir. Deney süresi sonunda yapılan incelemelerde negatif kontrol grubu farelerinde herhangi bir anormal bulguya rastlanmamıştır.

Deney hayvanları bireysel olarak gözlemlenmiştir. Doz uygulaması sonrası ilk 40 dakika içinde devamlı takip altında tutulan fareler, ilk 4 saat boyunca da kısa aralıklarla sıkı gözlem altında tutulmuşlardır. Uygulama sonrası takip eden 14 gün boyunca deney hayvanları günlük olarak gözlemlenerek değerlendirilmiş ve deney süreci tamamlanmıştır. Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen bulgu ve gözlemler Tablo 5, 6, 7' de sunulmuştur. Test protokolünde belirlenen uygulama süresi sonunda deney hayvanları hayvan etik kuralları dahilinde öldürülmüştür.

Tablo 5. 158/1118-4 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	2.Gün Ağırlık (gr)	3.Gün Ağırlık (gr)	7.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)	14.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)
158-1118-4	1	33,0	33,6	33,8	34,0	0,2	32,4	-1,6
	2	32,4	31,8	32,0	32,4	0,4	30,0	-2,4
	3	32,8	34,0	34,2	34,0	-0,2	30,6	-3,4

Tablo 6. 158/1118-4 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı doğrulama deneyine ait klinik bulgular gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/Kul. fare
158-1118-4	1	Bulgu yok	1,42; %4,38	Bulgu yok	0/3
	2	Bulgu yok	1,56; %5,20	Bulgu yok	
	3	Bulgu yok	2,23; %7,29	%11 kilo kaybı	
	Kontrol	Bulgu yok	1,40; %4,93	Bulgu yok	



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 7/8

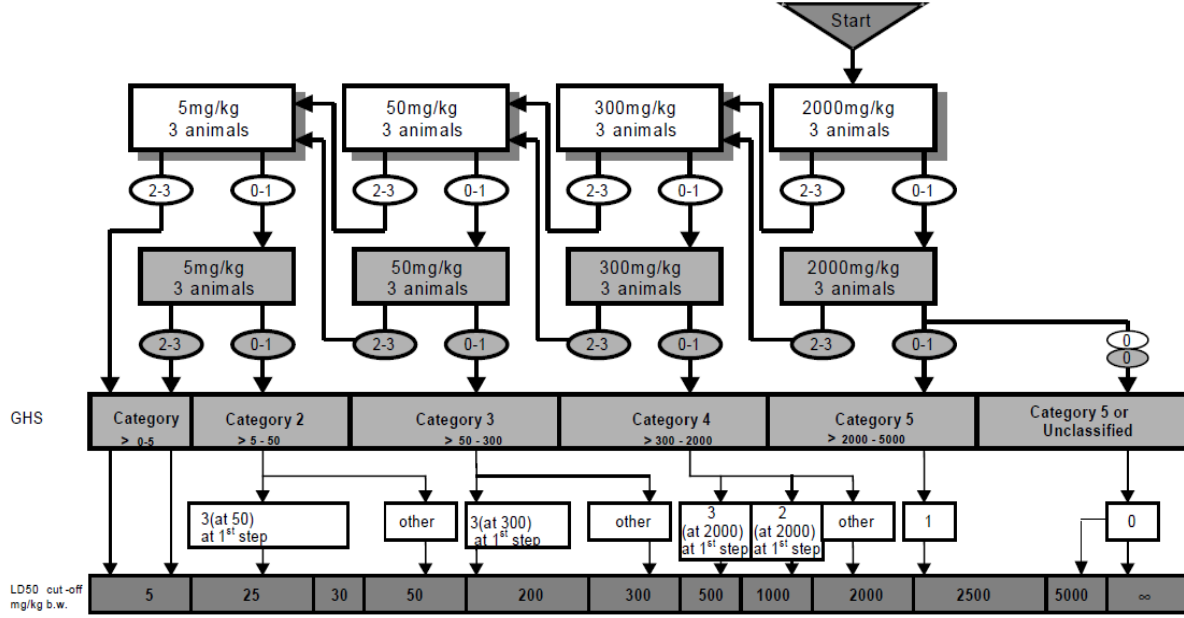
Tablo 7. 158/1118-4 numaralı numunenin uygulandığı deney hayvanlarına ait genel gözlemler

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Solunum	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

158-1118-4 numaralı numunenin uygulandığı fareler, takip edilen OECD 423 test protokolüne göre 14 gün boyunca gözlenmiştir. Deney başlangıç ve bitiş süresi dahilinde deney hayvanlarının ağırlıklarında % 11 kilo değişimi gözlenmiştir. 158-1118-4 numaralı numunenin uygulandığı fareler, takip edilen OECD 423 test protokolüne göre 14 gün boyunca gözlenmiştir. Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde 3 nolu deney hayvanında karaciğer ve böbrek hiperemik ve bağ dokuları granüllü ve karaciğerde büyüme tespit edilmiştir. 3 nolu deney hayvanının karaciğer ağırlığı normal sınırların (%4-6) üzerinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre:

- I. 158/1118-4 numaralı test edilen atık numunesinin 2000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5)** olarak değerlendirilmiştir.
- II. **LD50 değeri > 10,000 mg/kg** vücut ağırlığı



Şekil 2. 2000 mg/kg vücut ağırlığı başlangıç dozuna göre deney ve değerlendirme prosedürü

7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

158/1118-4 no'lu "Atık Su" örneğinin:

- **Asidik olduğu (pH:2,71) ve H4-Tahriş edici özellik gösterdiği belirlenmiştir.**
- Örneğin sulu çözeltilisinin çözülmüş oksijen miktarı 8,30 mg/lit bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde risk teşkil edebilecek bir değer değildir.
- **KOI konsantrasyonu 1456 mg/lit civarında olup, numunenin sucul ekosistemler için düşük risk içerdiği sonucuna varılmıştır.**
- İnorganik içerik bakımından AYY'e göre tehlikesiz olduğu tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre (dengelenmiş pH değerinde) ZSF=1 elde edilmiş olup, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışmada ele alınmamıştır.
- **Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) bulunmuştur. Farelerde gözlenen olumsuz bulgular ilgili bölümde açıklanmıştır. LD50 değeri > 10,000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışmada ele alınmamıştır.**

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 158/1118-4 no'lu "Atık Su" örneğinin "**tehlikeli (zararlı) atık olduğu**" sonucuna varılmıştır. Atıksu örneğinin nötralize edilerek ve uygun bir kimyasal/biyolojik atıksu arıtma prosesinde arıtılarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ilgili sektör tablosu veya Tablo 25. Kanala deşarj limitlerini sağlamak kaydı ile kanalizasyona verilmesi mümkündür.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7706

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 1/8

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ	3
3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	4
7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	8

1. GİRİŞ

T.C. Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 10/09/2015 tarihinde 5742 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Müşteri tarafından tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Atık Su” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme istenilmiştir. Bunun üzerine “Endüstriyel atıksuyun ileri oksidasyon ve membran filtrasyonu ile arıtımı sonucu oluşan atıksu” olarak tanımlanan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, analizler yapılarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Atık Su” örneği, ilk değerlendirmelere göre AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Foto 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Atık Su” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak (Numune alım) Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Atık Su	10/09/2015- Mühürsüz	158/1118-5



Foto 1. 158/1118-5 no’lu “Atık Su”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 3/8

2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 158/1118-5 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Koyu sarı /Hafif Kokulu	
pH değeri (Sulu çözelti)	3,27	TS 8753 EN 12176
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	7,12	SM-4500 OG
Nem Miktarı (% ağırlık)	98,38	TS 9546 EN 12880
Katı Madde içeriği (% ağırlık)	1,63	TS 9546 EN 12880
Toplam Organik Karbon (mg/l)	490,7	TS 8336
KOI (Kimyasal Oksijen İçeriği) mg/l	1451	SM-5220B
Yağ Gres (mg/l)	1,91	ASTM D 7066-04E

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Atık Su” örneğinin asidik ve nötral olduğu tespit edilmiştir. Numunenin yağ gres içeriği 1,91 mg/l bulunmuş olup, SKKY’de (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği) Tablo 10: Tekstil Sanayiinde yağ gres için verilen en düşük sınır değer olan 10 mg/l olan altındadır. (Kağıt sektörü için sınır değer mevcut değildir). Örneğin KOI konsantrasyonu 1451 mg/l bulunmuş olup, evsel atıksuların ortalama KOI değerinin yaklaşık 3 katı olması nedeniyle numunenin sucul ekosistemler için risk içerdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca SKKY Tablo 10’da verilen 300 mg/l ortalama sınır değerinin üzerindedir. Örneğin sulu çözeltisinin çözünmüş oksijen miktarı 7,12 mg/l civarında bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde su canlıları açısından risk teşkil edebilecek bir değer değildir.

3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğindeki (158/1118-5) organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla hekzan ile ekstrakte edilmiş organik fazda ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi sonucunda numunenin organik bileşimindeki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. FTIR spektrumunda 1490 cm^{-1} frekansında zayıf aromatik halka, 2800-3200 cm^{-1} ’de ise güçlü alkil gerilimi elde edilmiştir. Bu sonuç atıksuyun çözüldüğü solvent olan hekzan içine geçebilen alifatik bileşiklerin olabileceğini düşündürmektedir.

Örnekten alınan 1 gr’lık orijinal kısım, herhangi bir ön işlem yapılmadan head space şişesine konularak EPA 3810 Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS Agilent 5975 MSD-7697 HS model GC-MS Cihazı (Kolon boyu: 60m, kolon çapı:0.25 mm, film kalınlığı: 0.25 μm) ile uçucu organik analizi yapılmıştır. Head Space vial sıcaklığı 80 $^{\circ}\text{C}$ ’dir. EI+ modu ile 18-650 gr/mol aralığında tarama yapılmıştır. GC-MS sonuçlarına göre örnekte herhangi bir uçucu organik bileşik tespit edilememiştir.

4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Numunenin inorganik yapısını ve olası ağır metal içeriğini araştırmak için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile periyodik cetvel taraması yapılmıştır. Numune önce güçlü ait karışımı olan nitrik



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 4/8

asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile çözülmüştür. Perkin Elmer NexION 350 model ICP-MS cihazı ile yapılan ağır metal taramasında elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin ICP-MS Sonucu* (mg/l)

Na	Mg	Al	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Br
259,2	33,7	1,95	303,5	67,9	9,41	105,9	1,35	578,4	1,49	2,88	0,99
Sr	Ba										
1,01	0,21										

* 200 ppb'den düşük metaller gösterilmemiştir.

Tablo 3'teki sonuçlara göre, örneğin içeriğinde ağırlık olarak sodyum, kükürt ve demir tespit edilmiş olup diğer metaller daha da düşüktür. Risk içerebilecek seviyede ağır metale rastlanılmamıştır. **Bu sonuçlara göre, inorganik içeriğin tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

158/1118-5 no'lu numune, 100 gr/lt'lik (1'e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak SKKY Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre "Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik Seyreltme Faktörü" testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çeviremez etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50'sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50'sinin öldüğü konsantrasyon olan LC₅₀ değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığının 10 Ekim 2009 tarihli "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği" Ek-1 Tablo 1'de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir. Yani 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu=5 hacim. Zehirlilik seyreltme faktörü=5'tir.

Balık biyodeneyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=1 bulunmuştur. Bu nedenle, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(Gen Mühendisliği Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından analizi yapılmıştır.)

158/1118-5 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 5/8

Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Testing and Assessment No 33

Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokolda önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/CD1 kullanılmıştır. Deney protokolünde önerildiği üzere numune 8-12 haftalık (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) 3 adet dişi fare/CD1 kullanılarak test edilmiştir. Deneyde kullanılan fareler tesadüfen hamile olmayanlar arasından seçilmiş olup, tek tek işaretlenmiş ve uygulamadan 5 gün önce kafeslere ayrılmıştır.

Barınma koşulları oda sıcaklığı 22°C (\pm 3°C), nem 30% - 70% arasında, 12 saat aydınlık 12 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. Beslenme için normal laboratuvar diyeti ve sınırsız su sağlanmıştır. Aynı doza maruz kalan hayvanlar aynı kafeste muhafaza edilmiş, fakat kafesteki hayvan sayısı gözlemleri etkilemeyecek düzeyde tutulmuştur.

Genellikle test edilen numuneler belirlenen doz aralığında çeşitli konsantrasyonlarda sabit hacimde uygulanır. Test edilecek numune regülatörü otoritelerin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde dilue edilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (ml/kg vücut ağırlığı) uygulanır (Tablo 4). Muhtemel tehlikeli atık için uygulanan akut oral toksisite testi sınırlı bir testtir. OECD 423 test kılavuzuna belirtildiği gibi kimyasalların real risk değerlendirmesi açısından numunenin dilue etmeden sabit volümde 24 saat içerisinde 1 ml/100 g vücut ağırlığı olarak uygulanmıştır (suyun özgül ağırlığı 1 g/cm³).

Tablo 4. 158/1118-5 no'lu numune deney farelerinin ağırlıkları ve oral yolla verilen tek doz miktarı

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	Gavaj Hacmi (μ l)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
158-1118-5	1	39,6	396	10,000
	2	37,8	378	10,000
	3	37,4	374	10,000

Sıvı numuneler risk değerlendirmeye relevant veri elde etmek için dilut edilmeden tek doz olarak direk vücut ağırlığına göre hesaplanarak (1 ml/100 mg) gavaj yolu ile deney hayvanlarına uygulanmıştır. Örneklerden elde edilen ekstraktlar, gavaj yolu ile tek seferde farelere verilmek suretiyle uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulanması gereken numune miktarının tek seferde verilememesi durumunda toplam süre 24 saati geçmemek koşuluyla uygulama miktarı birkaç seferde parça parça verilmiştir. Bunun için deneyde kullanılacak fareler deneyden önceki 24 saat boyunca su verilmekle birlikte aç bırakılmıştır. Mide gavajı uygulaması sonrasında da 2 saat süre ile farelere yem verilmemiştir.

Pozitif kontrol olarak akut oral toksisite açısından GHS kategori 4 derecesinde toksik olarak sınıflandırılan "Iron (II) chloride tetrahydrate (FeCl₂.4H₂O)" isimli kimyasal madde kullanılmıştır. Kimyasala ait toksisite bilgileri Şekil 1'de verilmiştir. Hazırlanan ekstraktlara benzer olarak söz konusu kimyasal 100 mg/ml vücut ağırlığı konsantrasyon değerine sahip solüsyon şeklinde hazırlanmıştır. Pozitif kontrol, numune ekstraktlarının uygulama dozu temel alınarak (2000 mg/kg vücut ağırlığı) üç deney hayvanına uygulanmıştır.

Exclamation Mark
GHS07



Acute toxicity (oral, dermal, inhalation), category 4
Skin irritation, category 2
Eye irritation, category 2
Skin sensitisation, category 1
Specific Target Organ Toxicity – Single exposure, category 3

Şekil 1. Iron (II) chloride tetrahydrate için toksisite verileri

Pozitif kontrolün uygulandığı üç farenin tamamı takip eden ilk 40 dakika içinde ölmüştür. Ölen farelerin tamamı uygulamayı takiben ölüme kadar; solunum hacimlerinde artma, zor nefes alma, bronkospazmik tablo, hipoksi, ekstremelerde ve kıllı deride siyanoz, pilor ereksiyon, kontrolsüz ve refleksif hareketler, toplam akciğer kapasitesinde zorlanma gibi semptomlar göstermiştir. Negatif kontrol olarak ekstraksiyon için kullanılan distile su (dH₂O) kullanılmıştır. Aynı şekilde vücut ağırlığına göre deney hayvanlarına verilmesi gereken miktar hesaplandıktan sonra farelere mide gavajı yoluyla verilmiştir. Deney süresi sonunda yapılan incelemelerde negatif kontrol grubu farelerinde herhangi bir anormal bulguya rastlanmamıştır.

Deney hayvanları bireysel olarak gözlemlenmiştir. Doz uygulaması sonrası ilk 40 dakika içinde devamlı takip altında tutulan fareler, ilk 4 saat boyunca da kısa aralıklarla sıkı gözlem altında tutulmuşlardır. Uygulama sonrası takip eden 14 gün boyunca deney hayvanları günlük olarak gözlemlenerek değerlendirilmiş ve deney süreci tamamlanmıştır. Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen bulgu ve gözlemler Tablo 5, 6, 7' de sunulmuştur. Test protokolünde belirlenen uygulama süresi sonunda deney hayvanları hayvan etik kuralları dahilinde öldürülmüştür.

Tablo 5. 158/1118-5 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	2.Gün Ağırlık (gr)	3.Gün Ağırlık (gr)	7.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)	14.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)
158-1118-5	1	39,6	30,8	31,0	31,2	0,2	40,2	9,0
	2	37,8	32,8	37,8	37,0	-0,8	34,0	-3,0
	3	37,4	37,0	37,0	37,4	0,4	37,6	0,2

Tablo 6. 158/1118-5 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı doğrulama deneyine ait klinik bulgular gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/Kul. fare
158-1118-5	1	Bulgu var	2,12; %5,27	14. gün %22 kilo artışı	0/3
	2	Bulgu var	2,50; %7,35	Bulgu yok	
	3	Bulgu var	2,82; %7,50	Bulgu yok	
	Kontrol	Bulgu yok	1,40; %4,93	Bulgu yok	



TUBITAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 7/8

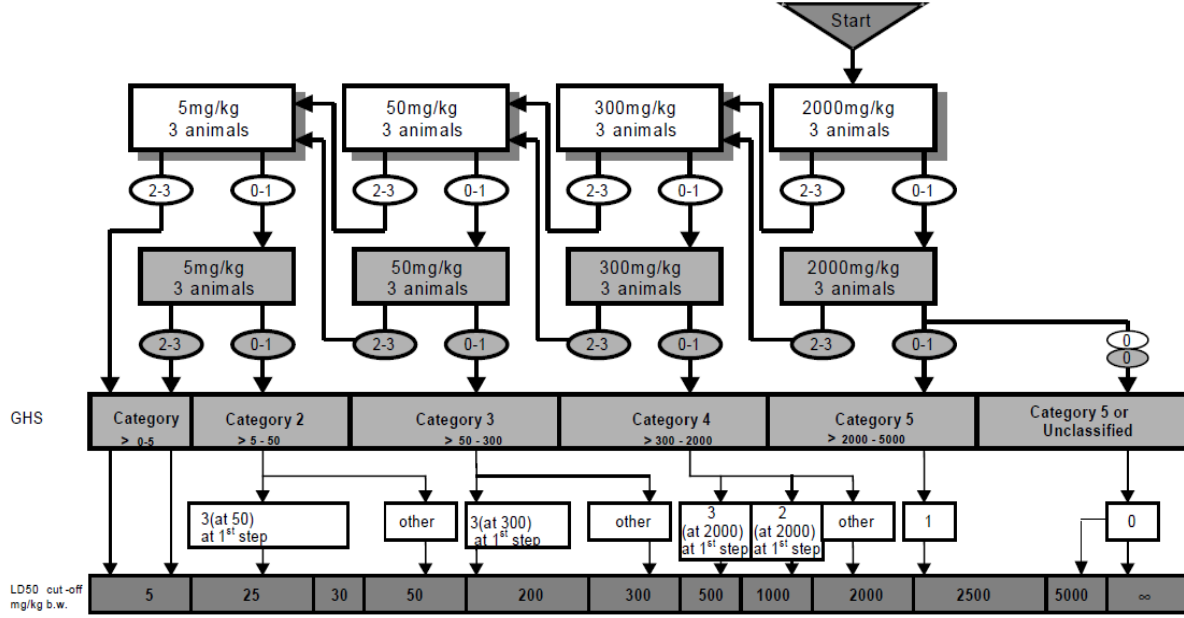
Tablo 7. 158/1118-5 numaralı numunenin uygulandığı deney hayvanlarına ait genel gözlemler

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Solunum	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

158-1118-5 numaralı numunenin uygulandığı fareler, takip edilen OECD 423 test protokolüne göre 14 gün boyunca gözlenmiştir. Deney başlangıç ve bitiş süresi dahilinde 1 no'lu deney hayvanının ağırlığında 14. gün %22 kilo kaybı görülmüştür. Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde 1, 2 ve 3 nolu deney hayvanlarında karaciğer ve böbrek hiperemik ve bağ dokularının granüllü, 2 nolu deney hayvanında dalak, thymus, lenf nodüllerinde çok büyüme, 3 nolu deney hayvanda dalakta büyüme olduğu tespit edilmiştir. 2 ve 3 no'lu deney hayvanlarında karaciğer ağırlıkları normal sınırların (%4-6) üzerinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre:

- I. 158/1118-5 numaralı test edilen atık numunesinin 2000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan** olarak değerlendirilmiştir.
- II. **LD50 değeri > 10,000 mg/kg** vücut ağırlığı



Şekil 2. 2000 mg/kg vücut ağırlığı başlangıç dozuna göre deney ve değerlendirme prosedürü

7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

158/1118-5 no'lu "Atık Su" örneğinin:

- **Asidik olduğu (pH:3,27) ve H4-Tahriş edici özellik gösterdiği belirlenmiştir.**
- Örneğin sulu çözeltisinin çözülmüş oksijen miktarı 7,12 mg/lit bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde risk teşkil edebilecek bir değer değildir.
- **KOI konsantrasyonu 1451 mg/lit civarında olup, numunenin sucul ekosistemler için düşük risk içerdiği sonucuna varılmıştır.**
- İnorganik içerik bakımından AYY'e göre tehlikesiz olduğu tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre (dengelenmiş pH değerinde) ZSF=1 elde edilmiş olup, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışmada ele alınmamıştır.
- **Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) bulunmuştur. Farelerde gözlenen olumsuz bulgular ilgili bölümde açıklanmıştır. LD50 değeri > 10,000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışmada ele alınmamıştır.**

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 158/1118-5 no'lu "Atık Su" örneğinin "**tehlikeli (zararlı) atık olduğu**" sonucuna varılmıştır. Atıksu örneğinin nötralize edilerek ve uygun bir kimyasal/biyolojik atıksu arıtma prosesinde arıtılarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ilgili sektör tablosu veya Tablo 25. Kanala deşarj limitlerini sağlamak kaydı ile kanalizasyona verilmesi mümkündür.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7706

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 1/8

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ	3
3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	4
7. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	8

1. GİRİŞ

T.C. Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 10/09/2015 tarihinde 5742 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Müşteri tarafından tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Atık Su” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme istenilmiştir. Bunun üzerine “Endüstriyel atıksuyun ileri oksidasyon ve membran filtrasyonu ile arıtımı sonucu oluşan atıksu” olarak tanımlanan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, analizler yapılarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Atık Su” örneği, ilk değerlendirmelere göre AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır olarak M kodu (Muhtemel Tehlikeli Atık) ile kodlanmıştır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Foto 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Atık Su” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak (Numune alım) Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Atık Su	10/09/2015- Mühürsüz	158/1118-6



Foto 1. 158/1118-6 no’lu “Atık Su”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 3/8

2. ÖRNEĞİN FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 158/1118-6 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Koyu sarı /Hafif Kokulu	
pH değeri (Sulu çözelti)	2,3	TS 8753 EN 12176
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	8,39	SM-4500 OG
Nem Miktarı (% ağırlık)	99,11	TS 9546 EN 12880
Katı Madde içeriği (% ağırlık)	0,89	TS 9546 EN 12880
Toplam Organik Karbon (mg/l)	397,9	TS 8336
KOI (Kimyasal Oksijen İçeriği) mg/l	1223	SM-5220B
Yağ Gres (mg/l)	0,77	ASTM D 7066-04E

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Atık Su” örneğinin asidik ve nötral olduğu tespit edilmiştir. Numunenin yağ gres içeriği 0,77 mg/l bulunmuş olup, SKKY’de (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği) Tablo 10: Tekstil Sanayiinde yağ gres için verilen en düşük sınır değer olan 10 mg/l olan altındadır. (Kağıt sektörü için sınır değer mevcut değildir). Örneğin KOI konsantrasyonu 1223 mg/l bulunmuş olup, evsel atıksuların ortalama KOI değerinin yaklaşık 3 katı olması nedeniyle numunenin sucul ekosistemler için risk içerdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca SKKY Tablo 10’da verilen 300 mg/l ortalama sınır değerinin üzerindedir. Örneğin sulu çözeltisinin çözünmüş oksijen miktarı 8,39 mg/l civarında bulunmuş olup, bu konsantrasyon sucul ortamlara karışması halinde su canlıları açısından risk teşkil edebilecek bir değer değildir.

3. ÖRNEĞİN ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

“Atık Su” örneğindeki (158/1118-6) organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla hekzan ile ekstrakte edilmiş organik fazda ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi sonucunda numunenin organik bileşimindeki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. FTIR spektrumunda 1490 cm^{-1} frekansında zayıf aromatik halka, 2800-3200 cm^{-1} ’de ise güçlü alkil gerilimi elde edilmiştir. Bu sonuç atıksuyun çözüldüğü solvent olan hekzan içine geçebilen alifatik bileşiklerin olabileceğini düşündürmektedir.

Örnekten alınan 1 gr’lık orijinal kısım, herhangi bir ön işlem yapılmadan head space şişesine konularak EPA 3810 Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS Agilent 5975 MSD-7697 HS model GC-MS Cihazı (Kolon boyu: 60m, kolon çapı:0.25 mm, film kalınlığı: 0.25 μm) ile uçucu organik analizi yapılmıştır. Head Space vial sıcaklığı 80 $^{\circ}\text{C}$ ’dir. EI+ modu ile 18-650 gr/mol aralığında tarama yapılmıştır. GC-MS sonuçlarına göre örnekte herhangi bir uçucu organik bileşik tespit edilememiştir.

4. ÖRNEĞİN İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Numunenin inorganik yapısını ve olası ağır metal içeriğini araştırmak için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile periyodik cetvel taraması yapılmıştır. Numune önce güçlü ait karışımı olan nitrik



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 4/8

asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile çözülmüştür. Perkin Elmer NexION 350 model ICP-MS cihazı ile yapılan ağır metal taramasında elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin ICP-MS Sonucu* (mg/l)

Na	Mg	Al	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Br
263,5	32,9	8,77	466,9	61,5	9,47	104,4	2,57	1.036,7	7,32	9,99	1,11
Sr	Ba										
1,02	0,21										

* 200 ppb'den düşük metaller gösterilmemiştir.

Tablo 3'teki sonuçlara göre, örneğin içeriğinde ağırlık olarak sodyum, kükürt ve demir tespit edilmiş olup diğer metaller daha da düşüktür. Risk içerebilecek seviyede ağır metale rastlanılmamıştır. **Bu sonuçlara göre, inorganik içeriğin tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

5. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

158/1118-6 no'lu numune, 100 gr/lt'lik (1'e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak SKKY Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre "Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik Seyreltme Faktörü" testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çevrilemez etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50'sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50'sinin öldüğü konsantrasyon olan LC₅₀ değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığının 10 Ekim 2009 tarihli "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği" Ek-1 Tablo 1'de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir. Yani 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu=5 hacim. Zehirlilik seyreltme faktörü=5'tir.

Balık biyodeneyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=1 bulunmuştur. Bu nedenle, örneğin sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.**

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(Gen Mühendisliği Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından analizi yapılmıştır.)

158/1118-6 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 5/8

Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Testing and Assessment No 33

Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokolda önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/CD1 kullanılmıştır. Deney protokolünde önerildiği üzere numune 8-12 haftalık (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) 3 adet dişi fare/CD1 kullanılarak test edilmiştir. Deneyde kullanılan fareler tesadüfen hamile olmayanlar arasından seçilmiş olup, tek tek işaretlenmiş ve uygulamadan 5 gün önce kafeslere ayrılmıştır. Barınma koşulları oda sıcaklığı 22°C (\pm 3°C), nem 30% - 70% arasında, 12 saat aydınlık 12 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. Beslenme için normal laboratuvar diyeti ve sınırsız su sağlanmıştır. Aynı doza maruz kalan hayvanlar aynı kafeste muhafaza edilmiş, fakat kafesteki hayvan sayısı gözlemleri etkilemeyecek düzeyde tutulmuştur.

Genellikle test edilen numuneler belirlenen doz aralığında çeşitli konsantrasyonlarda sabit hacimde uygulanır. Test edilecek numune regülatörü otoritelerin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde dilue edilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (ml/kg vücut ağırlığı) uygulanır (Tablo 4). Muhtemel tehlikeli atık için uygulanan akut oral toksisite testi sınırlı bir testtir. OECD 423 test kılavuzuna belirtildiği gibi kimyasalların real risk değerlendirmesi açısından numunenin dilue etmeden sabit volümde 24 saat içerisinde 1 ml/100 g vücut ağırlığı olarak uygulanmıştır (suyun özgül ağırlığı 1 g/cm³).

Tablo 4. 158/1118-6 no'lu numune deney farelerinin ağırlıkları ve oral yolla verilen tek doz miktarı

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	Gavaj Hacmi (µl)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
158-1118-6	1	32,2	322	10,000
	2	36,8	368	10,000
	3	36,8	368	10,000

Sıvı numuneler risk değerlendirmeye relevant veri elde etmek için dilut edilmeden tek doz olarak direk vücut ağırlığına göre hesaplanarak (1 ml/100 mg) gavaj yolu ile deney hayvanlarına uygulanmıştır. Örneklerden elde edilen ekstraktlar, gavaj yolu ile tek seferde farelere verilmek suretiyle uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulanması gereken numune miktarının tek seferde verilememesi durumunda toplam süre 24 saati geçmemek koşuluyla uygulama miktarı birkaç seferde parça parça verilmiştir. Bunun için deneyde kullanılacak fareler deneyden önceki 24 saat boyunca su verilmekle birlikte aç bırakılmıştır. Mide gavajı uygulaması sonrasında da 2 saat süre ile farelere yem verilmemiştir.

Pozitif kontrol olarak akut oral toksisite açısından GHS kategori 4 derecesinde toksik olarak sınıflandırılan "Iron (II) chloride tetrahydrate (FeCl₂.4H₂O)" isimli kimyasal madde kullanılmıştır. Kimyasala ait toksisite bilgileri Şekil 1'de verilmiştir. Hazırlanan ekstraktlara benzer olarak söz konusu kimyasal 100 mg/ml vücut ağırlığı konsantrasyon değerine sahip solüsyon şeklinde hazırlanmıştır. Pozitif kontrol, numune ekstraktlarının uygulama dozu temel alınarak (2000 mg/kg vücut ağırlığı) üç deney hayvanına uygulanmıştır.

Exclamation Mark
GHS07



Acute toxicity (oral, dermal, inhalation), category 4
Skin irritation, category 2
Eye irritation, category 2
Skin sensitisation, category 1
Specific Target Organ Toxicity – Single exposure, category 3

Şekil 1. Iron (II) chloride tetrahydrate için toksisite verileri

Pozitif kontrolün uygulandığı üç farenin tamamı takip eden ilk 40 dakika içinde ölmüştür. Ölen farelerin tamamı uygulamayı takiben ölüme kadar; solunum hacimlerinde artma, zor nefes alma, bronkospazmik tablo, hipoksi, ekstremelerde ve kıllı deride siyanoz, pilor ereksiyon, kontrolsüz ve refleksif hareketler, toplam akciğer kapasitesinde zorlanma gibi semptomlar göstermiştir. Negatif kontrol olarak ekstraksiyon için kullanılan distile su (dH₂O) kullanılmıştır. Aynı şekilde vücut ağırlığına göre deney hayvanlarına verilmesi gereken miktar hesaplandıktan sonra farelere mide gavajı yoluyla verilmiştir. Deney süresi sonunda yapılan incelemelerde negatif kontrol grubu farelerinde herhangi bir anormal bulguya rastlanmamıştır.

Deney hayvanları bireysel olarak gözlemlenmiştir. Doz uygulaması sonrası ilk 40 dakika içinde devamlı takip altında tutulan fareler, ilk 4 saat boyunca da kısa aralıklarla sıkı gözlem altında tutulmuşlardır. Uygulama sonrası takip eden 14 gün boyunca deney hayvanları günlük olarak gözlemlenerek değerlendirilmiş ve deney süreci tamamlanmıştır. Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen bulgu ve gözlemler Tablo 5, 6, 7' de sunulmuştur. Test protokolünde belirlenen uygulama süresi sonunda deney hayvanları hayvan etik kuralları dahilinde öldürülmüştür.

Tablo 5. 158/1118-6 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	1.Gün Ağırlık (gr)	2.Gün Ağırlık (gr)	3.Gün Ağırlık (gr)	7.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)	14.Gün Ağırlık (gr)	Ağırlık değişimi (gr)
158-1118-6	1	32,2	31,2	31,4	32,4	1,0	35,2	2,8
	2	36,8	38,0	38,2	37,8	-0,4	37,8	0,0
	3	36,8	37,0	37,0	36,0	-1,0	32,6	-3,4

Tablo 6. 158/1118-6 numaralı numunenin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda uygulandığı doğrulama deneyine ait klinik bulgular gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ CD1 No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/Kul. fare
158-1118-6	1	Bulgu yok	1,50; %4,26	Bulgu yok	0/3
	2	Bulgu yok	1,78; %4,71	Bulgu yok	
	3	Bulgu yok	1,66; %5,09	14.gün %10 kilo kaybı	
	Kontrol	Bulgu yok	1,40; %4,93	Bulgu yok	



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-2152-7606

Tarih: 17.11.2015

Sayfa No: 7/8

Tablo 7. 158/1118-6 numaralı numunenin uygulandığı deney hayvanlarına ait genel gözlemler

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Solunum	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

158-1118-6 numaralı numunenin uygulandığı fareler, takip edilen OECD 423 test protokolüne göre 14 gün boyunca gözlenmiştir. Deney başlangıç ve bitiş süresi dahilinde 1 no'lu deney hayvanının ağırlığında 14. gün %22 kilo kaybı görülmüştür. Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde deney hayvanlarında herhangi bir patolojik bulguya rastlanılmamıştır. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları normal sınırlar (%4-6) içerisinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 veya United Nations Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GSH) Part 3 Health Hazards Bölüm 3.1'e göre:

- I. 158/1118-6 numaralı test edilen atık numunesinin 2000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) veya sınıflandırılmayan** olarak değerlendirilmiştir.
- II. **LD50 değeri > 10,000 mg/kg** vücut ağırlığı



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 1/7

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER	3
3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	5
8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	7

1. GİRİŞ

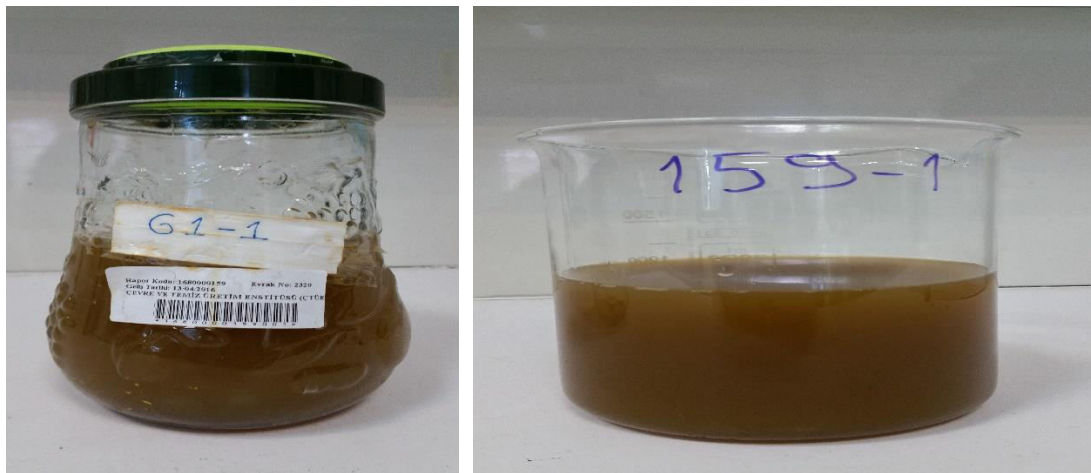
Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 13/04/2016 tarihinde 2320 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet "Endüstriyel Atıksu" örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "Atık Yönetimi Yönetmeliği" (AYY) çerçevesinde "tehlikeli atık olup olmadığı yönünde" inceleme ve değerlendirme talebinde bulunulmuştur. Bu amaçla, alınan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu "Endüstriyel Atıksu" örneği, AYY EK-IV'te verilen Atık Listesinde (16) kodlu "Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar" ana başlığında (16 10) "Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar" alt başlığı altında (16 10 01*) "Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar" olarak M kodlu (Muhtemel Tehlikeli Atık) şekilde yer almaktadır.

AYY EK-IV'te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A'da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY'de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar "Tehlikeli Atık" olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise "Tehlikesiz Atık" olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1'de; görünümü ise Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. "Endüstriyel Atıksu" örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Endüstriyel Atıksu (G1-1)	Tutanaksız-Mühürsüz	168/159-1



Şekil 1. 168/159-1 no'lu "Endüstriyel Atıksu"



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 3/7

2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER

“Endüstriyel Atıksu” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 168/159-1 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Kahverengi-Bulanık/Kokusuz	
pH değeri (Sulu çözelti)	3,95	TS ISO 10390
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l)	228	SM 5520 B
Klorür (mg/l)	32,59	SM 4110 B
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	<0,50	ASTM D 7066-04 E
Toplam Organik Karbon (TOK) (mg/l)	14,14	SM 5310 B
Parlama noktası tayini	>105 °C	ASTM D93

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Endüstriyel Atıksu” örneğinin **asidik** ve sulu olduğu gözlemlenmiştir. Numunedeki yağ ve gres ve TOK değerinin düşük olması, organik bileşenlerin numune içerisinde düşük oranda olduğunu göstermektedir. Numunedeki KOİ değeri, evsel atıksularda bulunan KOİ değerinin altındadır.

3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

168/159-1 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneğindeki organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla, numunedeki organik bileşenler hekzan ile ekstrakte edilmiştir. Organik fazda, ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi ile organik içerikteki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz neticesinde, numunede alkil grubuna dair bulgular gözlemlenmiştir.

Örnekteki organik bileşenleri tanımlamak amacıyla numune, EPA 5021 A Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS cihazı ile analiz yapılmıştır. Analiz neticesinde kayda değer uçucu/yarı uçucu bir organik içeriğe rastlanılmamıştır.

4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Olası ağır metallerin belirlenmesi için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile metal taraması yapılmıştır. Numune önce nitrik asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile iyice çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin metal analizi sonucu (µg/l)

Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg*
14.782	815	2,31	287	155	14.349	7,64	6

*Cıva ölçümü Direct Mercury Analyzer (DMA-80) Cihazı ile EPA 7473 yöntemi ile yapılmıştır.

Tablo 3’teki sonuçlara göre, numune inorganik açıdan AYY’ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 4/7

5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ

Söz konusu "Endüstriyel Atıksu" örneklerinde, ISO/EN/DIN 11348 metoduna uygun olarak ToxAlert 100 cihazı kullanarak biyoluminesans bakteri ile ekotoksosite analizi yapılmıştır. Test için seyreltmeler, numune derişimi %80, %50, %25, %12.5 ve %6.25 olacak şekilde hazırlanmıştır. Renkli numunelerde ön seyreltme yapılmış ve renk etkisi bertaraf edilmiştir. Bu seyreltmeler hesaplamada göz önüne alınmıştır. Testin temas süresi 30 dakika olup, her bir örnekten iki ölçüm yapılmıştır. Test sonunda her bir seyrelmeye karşılık bulunan % inhibisyon değeri ile numunelerin EC50 değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucu, Tablo 4'te EC50 ve toksisite derecesi cinsinden verilmiştir.

Tablo 4. 168/159-1 no'lu "Endüstriyel Atıksu" örneklerinde eko-toksosite analiz sonucu

*EC 50 (%)	**Toksosite Sınıfı	Sonuç / Açıklama
5,39	3	Çok Toksik

* EC50: bakterinin % 50 sini inhibe eden konsantrasyon oranı

**Toksosite derecesi(sınıf): toksik değil(0); az toksik(1); toksik(2); çok toksik(3); oldukça çok toksik(4)

Yukarıdaki bulgulara göre, örneğin denizel ortam bakterisi *vibrio fisheri* üzerine **çok toksik etki gösterdiği tespit edilmiştir**. Bu sonucun anlamı, 168/159-1 no'lu örneğin su ile reaksiyon sonucu sulu ortamda olumsuz ekotoksik etkilere sebep olma riskinin yüksek olmasıdır.

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

168/159-1 no'lu numune, 100 g/l'lik (1'e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre "Balıklarda Akut Toksisite-Zehirlilik SeyreltmeFaktörü" testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çevrilemez etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50'sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50'sinin öldüğü konsantrasyon olan LC₅₀ değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığının 10 Ekim 2009 tarihli "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği" Ek-1 Tablo 1'de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır. Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir.

Balık biyodenyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=4 bulunmuştur**. SKKY Tablo 19: Karışık Endüstriyel Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları'na bakıldığında sınır değer ZSF=10'dur. Bu nedenle numunenin sucul canlılar için **akut açıdan düşük riskli olduğu** sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır.

Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü "Endüstriyel Atıksu" EK-3 Test ve Analiz Raporu

"Bu rapor çevre mevzuatına ilişkin resmi işlemlerde kullanılamaz."



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 5/7

7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(TÜBİTAK-MAM Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir.)

168/159-1 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir. Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması, Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokole önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/Balb/C kullanılmıştır. Numune 8-12 haftalık 3 adet erkek/dişi fare/Balb/C (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) kullanılarak test edilmiştir.

Test edilen sıvı numune düzenleme otoritelerinin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde seyreltilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (10.000 mg/kg vücut ağırlığı) doğrudan gavaj yolu ile tek doz olarak deney hayvanlarına uygulanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Deney farelerinin ağırlıkları ve numune ekstraktının hacim ve doz miktarı

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	Gavaj Hacmi (μ l)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
168/159-1	1	20,2	202,0	10.000
	2	20,8	208,0	10.000
	3	20,2	202,0	10.000

Gözlemler ve Test Sonuçları

Numunenin tek doz gavaj uygulamasını takiben deney hayvanları ilk 4 saat boyunca kısa aralıklarla gözlem altında tutulmuştur. Daha sonra 2., 3., 7., ve 14.gün deney hayvanları gözlemlenerek klinik bulgular Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	2.Gün Ağırlık (g)	3.Gün Ağırlık (g)	7.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)	14.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)
168/159-1	1	20,2	21,0	21,2	20,4	-0,8	22,6	2,2
	2	20,8	20,0	20,4	20,2	-0,2	23,8	3,6
	3	20,2	18,8	20,0	18,0	-2,0	20,8	2,8

Akut oral toksisite testi uygulama süresi, 14 gün sonunda deney hayvanları, hayvan etik kuralları dahilinde ötenazi yapılarak gross patoloji bulguları değerlendirilmiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları belirlenerek, numunenin toksik etkisi belirlenmiştir (Tablo 7).



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 6/7

Tablo 7. Deney hayvanlarına ait klinik bulgular ve gözlem sonuçları.

Numune No	Fare/ BALB /C No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/ Kullanılan Fare Sayısı
168/159-1	1	Bulgu yok	1,13; %5,00	Bulgu yok	0/3
	2	Bulgu yok	1,38; %5,80	%15 kilo artışı	
	3	Bulgu yok	1,05; %5,05	%13 kilo artışı	
	Kontrol	Bulgu yok	1,20; %5,36	Bulgu yok	

Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen gözlemler ve bulgular Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Deney farelerine ait genel görünüm ve davranış gözlemleri

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyaire	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

Bulgular ve Değerlendirmeler:

Testin başlangıç ve bitiş süresi dahilinde 2 ve 3 nolu deney hayvanlarının 14. gün ağırlıklarında %15 ve %13 kilo artışı (\geq %10) gözlenmiştir.

Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde patolojik bulgu tespit edilmemiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları normal sınırlar (%4-6) içerisinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1’e göre:

- 168/159-1 numaralı test edilen atık numunesinin 10.000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5)** olarak değerlendirilmiştir.
- LD50 değeri >10000 mg/kg** vücut ağırlığı.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 7/7

8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

168/159-1 no'lu "Endüstriyel Atıksu-G1-1" örneğinin:

- Sulu ve **asidik** olduğu gözlemlenmiştir.
- İnorganik açıdan AYY'ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.
- Ekotoksosite analizinde **çok toksik olduğu (sınıf=3)** tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre **ZSF=4** elde edilmiş olup, sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için **akut açıdan düşük riskli olduğu** sonucuna varılmıştır.
- Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) bulunmuştur. LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 168/159-1 no'lu "Endüstriyel Atıksu" örneğinin "**tehlikesiz atık**" olduğu sonucuna varılmıştır. **Örneğin ekotoksik özellikleri nedeniyle açıkta geçici depolanmamalı ve alıcı ortamlara (deniz, göl, ırmak vb) karışmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır.** Örneğin SKKY Tablo 25 şartlarını sağlayacak şekilde artırılması tavsiye edilir. Atığın yeni kodu (16 10 02) "16 10 01 dışındaki sulu sıvı atıkları" şeklinde değerlendirilebilir. **Ayrıca atık kodu hakkında ve atık işleme yönetimine ilişkin verilen bilgiler tavsiye niteliğinde olup, nihai karar mercii T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'dır.**



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 1/7

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER	3
3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	5
8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	7

1. GİRİŞ

Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 13/04/2016 tarihinde 2320 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Endüstriyel Atıksu” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme talebinde bulunulmuştur. Bu amaçla, alınan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Endüstriyel Atıksu” örneği, AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodlu (Muhtemel Tehlikeli Atık) şekilde yer almaktadır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Endüstriyel Atıksu” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Endüstriyel Atıksu (G1-2)	Tutanaksız-Mühürsüz	168/159-2



Şekil 1. 168/159-2 no’lu “Endüstriyel Atıksu”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 3/7

2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER

“Endüstriyel Atıksu” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 168/159-2 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Kahverengi-Bulanık/Kokusuz	
pH değeri (Sulu çözelti)	3,16	TS ISO 10390
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l)	288	SM 5520 B
Klorür (mg/l)	38,71	SM 4110 B
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	<0,50	ASTM D 7066-04 E
Toplam Organik Karbon (TOK) (mg/l)	6,8	SM 5310 B
Parlama noktası tayini	>105°C	ASTM D93

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Endüstriyel Atıksu” örneğinin **asidik** ve sulu olduğu gözlemlenmiştir. Numunedeki yağ ve gres ve TOK değerinin düşük olması, organik bileşenlerin numune içerisinde düşük oranda olduğunu göstermektedir. Numunedeki KOİ değeri, evsel atıksularda bulunan KOİ değerinin altındadır.

3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

168/159-2 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneğindeki organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla, numunedeki organik bileşenler hekzan ile ekstrakte edilmiştir. Organik fazda, ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi ile organik içerikteki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz neticesinde, numunede anlamlı bir bulgu gözlemlenmemiştir.

Örnekteki organik bileşenleri tanımlamak amacıyla numune, EPA 5021 A Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS cihazı ile analiz yapılmıştır. Analiz neticesinde kayda değer uçucu/yarı uçucu bir organik içeriğe rastlanılmamıştır.

4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Olası ağır metallerin belirlenmesi için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile metal taraması yapılmıştır. Numune önce nitrik asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile iyice çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin metal analizi sonucu (µg/l)

Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg*
36.693	1.117	4,80	495	331	51.975	10,8	2,2

*Cıva ölçümü Direct Mercury Analyzer (DMA-80) Cihazı ile EPA 7473 yöntemi ile yapılmıştır.

Tablo 3’teki sonuçlara göre, numune inorganik açıdan AYY’ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 4/7

5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ

Söz konusu “Endüstriyel Atıksu” örneklerinde, ISO/EN/DIN 11348 metoduna uygun olarak ToxAlert 100 cihazı kullanarak biyoluminesans bakteri ile ekotoksosite analizi yapılmıştır. Test için seyreltmeler, numune derişimi %80, %50, %25, %12.5 ve %6.25 olacak şekilde hazırlanmıştır. Renkli numunelerde ön seyreltme yapılmış ve renk etkisi bertaraf edilmiştir. Bu seyreltmeler hesaplamada göz önüne alınmıştır. Testin temas süresi 30 dakika olup, her bir örnekten iki ölçüm yapılmıştır. Test sonunda her bir seyrelmeye karşılık bulunan % inhibisyon değeri ile numunelerin EC50 değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucu Tablo 4’te EC50 ve toksisite derecesi cinsinden verilmiştir.

Tablo 4. 168/159-2 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneklerinde eko-toksosite analiz sonucu

*EC 50 (%)	**Toksosite Sınıfı	Sonuç / Açıklama
6,51	3	Çok Toksik

* EC50: bakterinin % 50 sini inhibe eden konsantrasyon oranı

**Toksosite derecesi(sınıf): toksik değil(0); az toksik(1); toksik(2); çok toksik(3); oldukça çok toksik(4)

Yukarıdaki bulgulara göre, örneğin denizel ortam bakterisi *vibrio fischeri* üzerine **çok toksik etki gösterdiği tespit edilmiştir**. Bu sonucun anlamı, 168/159-2 no’lu örneğin su ile reaksiyon sonucu sulu ortamda olumsuz ekotoksik etkilere sebep olma riskinin yüksek olmasıdır.

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

168/159-2 no’lu numune, 100 g/l’lik (1’e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre “Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik SeyreltmeFaktörü” testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çevrelenemez etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50’sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50’sinin öldüğü konsantrasyon olan LC₅₀ değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığınının 10 Ekim 2009 tarihli “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği” Ek-1 Tablo 1’de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır. Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir.

Balık biyodenyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=4 bulunmuştur. SKKY Tablo 19: (Karışık Endüstriyel Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları) verilen sınır değer ZSF=10’dur. Bu nedenle numunenin sucul canlılar için akut açıdan düşük riskli olduğu sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır.**

Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetmeliği Bölümü Endüstriyel Atıkların Etki Test ve Analiz Raporu

“Bu rapor çevre mevzuatına ilişkin resmi işlemlerde kullanılamaz.”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 5/7

7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(TÜBİTAK-MAM Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir.)

168/159-2 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir. Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması, Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokolda önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/ Balb/C kullanılmıştır. Numune 8-12 haftalık 3 adet erkek/dişi fare/Balb/C (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) kullanılarak test edilmiştir.

Test edilen sıvı numune düzenleme otoritelerinin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde seyreltilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (10.000 mg/kg vücut ağırlığı) doğrudan gavaj yolu ile tek doz olarak deney hayvanlarına uygulanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Deney farelerinin ağırlıkları ve numune ekstraktının hacim ve doz miktarı

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	Gavaj Hacmi (μ l)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
168/159-2	1	21,8	218,0	10.000
	2	21,2	212,0	10.000
	3	21,2	212,0	10.000

Gözlemler ve Test Sonuçları

Numunenin tek doz gavaj uygulamasını takiben deney hayvanları ilk 4 saat boyunca kısa aralıklarla gözlem altında tutulmuştur. Daha sonra 2., 3., 7., ve 14.gün deney hayvanları gözlemlenerek klinik bulgular Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	2.Gün Ağırlık (g)	3.Gün Ağırlık (g)	7.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)	14.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)
168/159-2	1	21,8	20,0	19,8	20,8	1,0	20,4	-0,4
	2	21,2	21,0	21,4	20,8	-0,6	23,6	2,8
	3	21,2	20,2	20,4	21,2	0,8	25,0	3,8

Akut oral toksisite testi uygulama süresi, 14 gün sonunda deney hayvanları, hayvan etik kuralları dahilinde ötenazi yapılarak gross patoloji bulguları değerlendirilmiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları belirlenerek, numunenin toksik etkisi belirlenmiştir (Tablo 7).



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 6/7

Tablo 7. Deney hayvanlarına ait klinik bulgular ve gözlem sonuçları.

Numune No	Fare/BALB /C No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/ Kullanılan Fare Sayısı
168/159-2	1	Bulgu yok	1,14; %5,59	Bulgu yok	0/3
	2	Bulgu yok	1,14; %4,83	%12 kilo artışı	
	3	Bulgu yok	1,34; %5,36	%15 kilo artışı	
	Kontrol	Bulgu yok	1,20; %5,36	Bulgu yok	

Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen gözlemler ve bulgular Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Deney farelerine ait genel görünüm ve davranış gözlemleri

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

Bulgular ve Değerlendirmeler:

Testin başlangıç ve bitiş süresi dahilinde 2 ve 3 nolu deney hayvanlarının 14. gün ağırlıklarında %12 ve %15 kilo artışı (\geq %10) gözlenmiştir.

Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde patolojik bulgu tespit edilmemiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları normal sınırlar (%4-6) içerisinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1’e göre:

- 168/159-2 numaralı test edilen atık numunesinin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5)** olarak değerlendirilmiştir.
- LD50 değeri >10000 mg/kg** vücut ağırlığı.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 7/7

8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

168/159-2 no'lu "Endüstriyel Atıksu-G1-2" örneğinin:

- Sulu ve **asidik** olduğu gözlemlenmiştir.
- İnorganik açıdan AYY'ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.
- Ekotoksikite analizinde **çok toksik olduğu (sınıf=3)** tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre **ZSF=4** elde edilmiş olup, sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için **akut açıdan düşük riskli olduğu** sonucuna varılmıştır.
- Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) bulunmuştur. LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 168/159-2 no'lu "Endüstriyel Atıksu" örneğinin "**tehlikesiz atık**" olduğu sonucuna varılmıştır. **Örneğin ekotoksik özellikleri nedeniyle açıkta geçici depolanmamalı ve alıcı ortamlara (deniz, göl, ırmak vb) karışmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır.** Örneğin SKKY Tablo 25 şartlarını sağlayacak şekilde arıtılması gerekmektedir. Atığın yeni kodu (16 10 02) "16 10 01 dışındaki sulu sıvı atıkları" şeklinde değerlendirilebilir. **Ayrıca atık kodu hakkında ve atık işleme yönetimine ilişkin verilen bilgiler tavsiye niteliğinde olup, nihai karar mercii T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'dır.**



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 1/7

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER	3
3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	5
8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	7

1. GİRİŞ

Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 13/04/2016 tarihinde 2320 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Endüstriyel Atıksu” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme talebinde bulunulmuştur. Bu amaçla, alınan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Endüstriyel Atıksu” örneği, AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodlu (Muhtemel Tehlikeli Atık) şekilde yer almaktadır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Endüstriyel Atıksu” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Endüstriyel Atıksu (G2-1)	Tutanaksız-Mühürsüz	168/159-3



Şekil 1. 168/159-3 no’lu “Endüstriyel Atıksu”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 3/7

2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER

“Endüstriyel Atıksu” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 168/159-3 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Kahverengi-Bulanık/Kokusuz	
pH değeri (Sulu çözelti)	3,68	TS ISO 10390
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l)	382	SM 5520 B
Klorür (mg/l)	32,16	SM 4110 B
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	<0,50	ASTM D 7066-04 E
Toplam Organik Karbon (TOK) (mg/l)	4,45	SM 5310 B
Parlama noktası tayini	>105°C	ASTM D93

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Endüstriyel Atıksu” örneğinin **asidik** ve sulu olduğu gözlemlenmiştir. Numunedeki yağ ve gres ve TOK değerinin düşük olması, organik bileşenlerin numune içerisinde düşük oranda olduğunu göstermektedir. Numunedeki KOİ değeri, evsel atıksularda bulunan KOİ değerinin altındadır.

3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

168/159-3 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneğindeki organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla, numunedeki organik bileşenler hekzan ile ekstrakte edilmiştir. Organik fazda, ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi ile organik içerikteki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz neticesinde, numunede anlamlı bir bulgu gözlemlenmemiştir.

Örnekteki organik bileşenleri tanımlamak amacıyla numune, EPA 5021 A Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS cihazı ile analiz yapılmıştır. Analiz neticesinde kayda değer uçucu/yarı uçucu bir organik içeriğe rastlanılmamıştır.

4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Olası ağır metallerin belirlenmesi için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile metal taraması yapılmıştır. Numune önce nitrik asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile iyice çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin metal analizi sonucu (µg/l)

Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg*
13.815	611	3	396	1.583	29.052	7,63	2,0

*Cıva ölçümü Direct Mercury Analyzer (DMA-80) Cihazı ile EPA 7473 yöntemi ile yapılmıştır.

Tablo 3’teki sonuçlara göre, numune inorganik açıdan AYY’ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 4/7

5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ

Söz konusu “Endüstriyel Atıksu” örneklerinde, ISO/EN/DIN 11348 metoduna uygun olarak ToxAlert 100 cihazı kullanarak biyoluminesans bakteri ile ekotoksosite analizi yapılmıştır. Test için seyreltmeler, numune derişimi %80, %50, %25, %12.5 ve %6.25 olacak şekilde hazırlanmıştır. Renkli numunelerde ön seyreltme yapılmış ve renk etkisi bertaraf edilmiştir. Bu seyreltmeler hesaplamada göz önüne alınmıştır. Testin temas süresi 30 dakika olup, her bir örnekten iki ölçüm yapılmıştır. Test sonunda her bir seyrelmeye karşılık bulunan % inhibisyon değeri ile numunelerin EC50 değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucu Tablo 4’te EC50 ve toksisite derecesi cinsinden verilmiştir.

Tablo 4. 168/159-3 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneklerinde eko-toksosite analiz sonucu

*EC 50 (%)	**Toksosite Sınıfı	Sonuç / Açıklama
<1	4	Oldukça Çok Toksik

* EC50: bakterinin % 50 sini inhibe eden konsantrasyon oranı

**Toksosite derecesi(sınıf): toksik değil(0); az toksik(1); toksik(2); çok toksik(3); oldukça çok toksik(4)

Yukarıdaki bulgulara göre, örneğin denizel ortam bakterisi *vibrio fisheri* üzerine **oldukça çok toksik etki gösterdiği tespit edilmiştir**. Bu sonucun anlamı, 168/159-3 no’lu örneğin su ile reaksiyon sonucu sulu ortamda olumsuz ekotoksik etkilere sebep olma riskinin yüksek olmasıdır.

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

168/159-3 no’lu numune, 100 g/l’lik (1’e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre “Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik SeyreltmeFaktörü” testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çevrelenemez etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50’sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50’sinin öldüğü konsantrasyon olan LC₅₀ değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığının 10 Ekim 2009 tarihli “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği” Ek-1 Tablo 1’de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır. Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir.

Balık biyodenyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=4 bulunmuştur. SKKY Tablo 19: (Karışık Endüstriyel Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları) verilen sınır değer ZSF=10’dur. Bu nedenle numunenin sucul canlılar için akut açıdan düşük riskli olduğu sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır.**

Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü “Endüstriyel Atıksu” EK-3 Test ve Analiz Raporu

“Bu rapor çevre mevzuatına ilişkin resmi işlemlerde kullanılamaz.”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 5/7

7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(TÜBİTAK-MAM Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir.)

168/159-3 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir. Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması, Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokole önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/ Balb/C kullanılmıştır. Numune 8-12 haftalık 3 adet erkek/dişi fare/Balb/C (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) kullanılarak test edilmiştir.

Test edilen sıvı numune düzenleme otoritelerinin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde seyreltilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (10.000 mg/kg vücut ağırlığı) doğrudan gavaj yolu ile tek doz olarak deney hayvanlarına uygulanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Deney farelerinin ağırlıkları ve numune ekstraktının hacim ve doz miktarı

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	Gavaj Hacmi (μ l)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
168/159-3	1	22,2	222,0	10.000
	2	22,0	220,0	10.000
	3	21,0	210,0	10.000

Gözlemler ve Test Sonuçları

Numunenin tek doz gavaj uygulamasını takiben deney hayvanları ilk 4 saat boyunca kısa aralıklarla gözlem altında tutulmuştur. Daha sonra 2., 3., 7., ve 14.gün deney hayvanları gözlemlenerek klinik bulgular Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	2.Gün Ağırlık (g)	3.Gün Ağırlık (g)	7.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)	14.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)
168/159-3	1	22,2	21,0	22,0	21,0	-1,0	24,0	3,0
	2	22,0	21,8	22,0	21,6	-0,4	24,8	3,2
	3	21,0	18,2	19,0	Ölü	Ölü	Ölü	Ölü

Akut oral toksisite testi uygulama süresi, 14 gün sonunda deney hayvanları, hayvan etik kuralları dahilinde ötenazi yapılarak gross patoloji bulguları değerlendirilmiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları belirlenerek, numunenin toksik etkisi belirlenmiştir (Tablo 7).



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 6/7

Tablo 7. Deney hayvanlarına ait klinik bulgular ve gözlem sonuçları.

Numune No	Fare/ BALB /C No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/ Kullanılan Fare Sayısı
168/159-3	1	Bulgu yok	1,11; %4,63	%13 kilo artışı	1/3
	2	Bulgu yok	1,13; %4,56	%13 kilo artışı	
	3	Bulgu yok	-	Bulgu yok	
	Kontrol	Bulgu yok	1,20; %5,36	Bulgu yok	

Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen gözlemler ve bulgular Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Deney farelerine ait genel görünüm ve davranış gözlemleri

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

Bulgular ve Değerlendirmeler:

Testin başlangıç ve bitiş süresi dahilinde 1 ve 2 nolu deney hayvanlarının 14. gün ağırlıklarında %13 kilo artışı (\geq %10) gözlenmiştir.

Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde 1 ve 2 nolu hayvanlarda patolojik bulgu tespit edilmemiştir, fakat 3 nolu hayvan 7. gününde kafesinde ölü bulunmuştur, bulunduğu rigormortis şekillendiği için gross patoloji yapılamamıştır. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları normal sınırlar (%4-6) içerisinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1’e göre:

- 168/159-3 numaralı test edilen atık numunesinin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5)** olarak değerlendirilmiştir.
- LD50 değeri >10000 mg/kg** vücut ağırlığı.



TUBITAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 7/7

8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

168/159-3 no'lu "Endüstriyel Atıksu-G2-1" örneğinin:

- Sulu ve **asidik** olduğu gözlemlenmiştir.
- İnorganik açıdan AYY'ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.
- Ekotoksosite analizinde **oldukça çok toksik olduğu (sınıf=4)** tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre **ZSF=4** elde edilmiş olup, sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için **akut açıdan düşük riskli olduğu** sonucuna varılmıştır.
- Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) bulunmuştur. LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır. **Fare ölümü gözlemlenmiştir.**

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 168/159-3 no'lu "Endüstriyel Atıksu" örneğinin "**tehlikeli atık**" olduğu sonucuna varılmıştır. **Örneğin ekotoksik özellikleri nedeniyle açığa geçici depolanmamalı ve alıcı ortamlara (deniz, göl, ırmak vb) karışmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır.** Örneğin SKKY Tablo 25 şartlarını sağlayacak şekilde arıtılması gerekmektedir. **Ayrıca atık kodu hakkında ve atık işleme yönetimine ilişkin verilen bilgiler tavsiye niteliğinde olup, nihai karar mercii T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'dır.**



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 1/7

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER	3
3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	5
8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	7

1. GİRİŞ

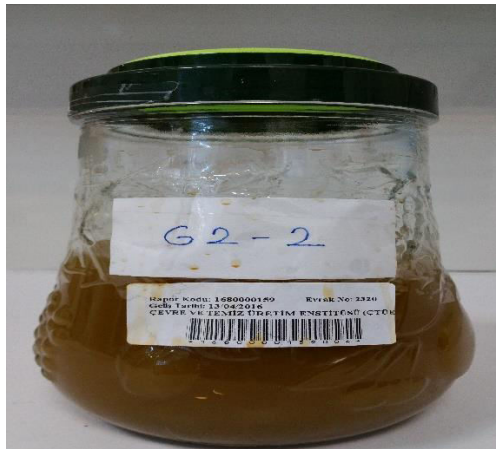
Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 13/04/2016 tarihinde 2320 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Endüstriyel Atıksu” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme talebinde bulunulmuştur. Bu amaçla, alınan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Endüstriyel Atıksu” örneği, AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodlu (Muhtemel Tehlikeli Atık) şekilde yer almaktadır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Endüstriyel Atıksu” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Endüstriyel Atıksu (G2-2)	Tutanaksız-Mühürsüz	168/159-4



Şekil 1. 168/159-4 no’lu “Endüstriyel Atıksu”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 3/7

2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER

“Endüstriyel Atıksu” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 168/159-4 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Kahverengi-Bulanık/Kokusuz	
pH değeri (Sulu çözelti)	2,93	TS ISO 10390
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l)	339	SM 5520 B
Klorür (mg/l)	35,30	SM 4110 B
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	<0,50	ASTM D 7066-04 E
Toplam Organik Karbon (TOK) (mg/l)	6,91	SM 5310 B
Parlama noktası tayini	>105°C	ASTM D93

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Endüstriyel Atıksu” örneğinin **oldukça asidik** ve sulu olduğu gözlemlenmiştir. Numunedeki yağ ve gres ve TOK değerinin düşük olması, organik bileşenlerin numune içerisinde düşük oranda olduğunu göstermektedir. Numunedeki KOİ değeri, evsel atıksularda bulunan KOİ değerinin altındadır.

3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

168/159-4 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneğindeki organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla, numunedeki organik bileşenler hekzan ile ekstrakte edilmiştir. Organik fazda, ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi ile organik içerikteki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz neticesinde, numunede alkil grubuna dair bulgular gözlemlenmiştir.

Örnekteki organik bileşenleri tanımlamak amacıyla numune, EPA 5021 A Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS cihazı ile analiz yapılmıştır. Analiz neticesinde kayda değer uçucu/yarı uçucu bir organik içeriğe rastlanılmamıştır.

4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Olası ağır metallerin belirlenmesi için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile metal taraması yapılmıştır. Numune önce nitrik asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile iyice çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin metal analizi sonucu (µg/l)

Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg*
26.098	714	2,39	395	1.486	29.488	5	1,5

*Cıva ölçümü Direct Mercury Analyzer (DMA-80) Cihazı ile EPA 7473 yöntemi ile yapılmıştır.

Tablo 3’teki sonuçlara göre, numune inorganik açıdan AYY’ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 4/7

5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ

Söz konusu “Endüstriyel Atıksu” örneklerinde, ISO/EN/DIN 11348 metoduna uygun olarak ToxAlert 100 cihazı kullanarak biyoluminesans bakteri ile ekotoksosite analizi yapılmıştır. Test için seyreltmeler, numune derişimi %80, %50, %25, %12.5 ve %6.25 olacak şekilde hazırlanmıştır. Renkli numunelerde ön seyreltme yapılmış ve renk etkisi bertaraf edilmiştir. Bu seyreltmeler hesaplamada göz önüne alınmıştır. Testin temas süresi 30 dakika olup, her bir örnekten iki ölçüm yapılmıştır. Test sonunda her bir seyrelmeye karşılık bulunan % inhibisyon değeri ile numunelerin EC50 değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucu Tablo 4’te EC50 ve toksisite derecesi cinsinden verilmiştir.

Tablo 4. 168/159-4 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneklerinde eko-toksosite analiz sonucu

*EC 50 (%)	**Toksosite Sınıfı	Sonuç / Açıklama
<1	4	Oldukça Çok Toksik

* EC50: bakterinin % 50 sini inhibe eden konsantrasyon oranı

**Toksosite derecesi(sınıf): toksik değil(0); az toksik(1); toksik(2); çok toksik(3); oldukça çok toksik(4)

Yukarıdaki bulgulara göre, örneğin denizel ortam bakterisi *vibrio fisheri* üzerine **oldukça çok toksik etki gösterdiği tespit edilmiştir**. Bu sonucun anlamı, 168/159-4 no’lu örneğin su ile reaksiyon sonucu sulu ortamda olumsuz ekotoksik etkilere sebep olma riskinin yüksek olmasıdır.

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

168/159-4 no’lu numune, 100 g/l’lik (1’e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre “Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik SeyreltmeFaktörü” testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çevrelemeyebilir etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50’sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50’sinin öldüğü konsantrasyon olan LC₅₀ değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığının 10 Ekim 2009 tarihli “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği” Ek-1 Tablo 1’de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır. Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir.

Balık biyodenyeyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=4 bulunmuştur. SKKY Tablo 19: (Karışık Endüstriyel Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları) verilen sınır değer ZSF=10’dur. Bu nedenle numunenin sucul canlılar için akut açıdan düşük riskli olduğu sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır.**

Çevre Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Endüstriyel Atıksu Ek-3 Test ve Analiz Raporu

“Bu rapor çevre mevzuatına ilişkin resmi işlemlerde kullanılamaz.”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 5/7

7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(TÜBİTAK-MAM Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir.)

168/159-4 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir. Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması, Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokolda önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/ Balb/C kullanılmıştır. Numune 8-12 haftalık 3 adet erkek/dişi fare/Balb/C (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) kullanılarak test edilmiştir.

Test edilen sıvı numune düzenleme otoritelerinin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde seyreltilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (10.000 mg/kg vücut ağırlığı) doğrudan gavaj yolu ile tek doz olarak deney hayvanlarına uygulanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Deney farelerinin ağırlıkları ve numune ekstraktının hacim ve doz miktarı

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	Gavaj Hacmi (μ l)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
168/159-4	1	22,6	226,0	10.000
	2	22,2	222,0	10.000
	3	22,0	220,0	10.000

Gözlemler ve Test Sonuçları

Numunenin tek doz gavaj uygulamasını takiben deney hayvanları ilk 4 saat boyunca kısa aralıklarla gözlem altında tutulmuştur. Daha sonra 2., 3., 7., ve 14.gün deney hayvanları gözlemlenerek klinik bulgular Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	2.Gün Ağırlık (g)	3.Gün Ağırlık (g)	7.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)	14.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)
168/159-4	1	22,6	21,8	22,0	22,8	0,8	24,8	2,0
	2	22,2	22,0	21,4	20,6	-0,8	22,8	2,2
	3	22,0	21,8	21,6	22,0	0,4	24,0	2,0

Akut oral toksisite testi uygulama süresi, 14 gün sonunda deney hayvanları, hayvan etik kuralları dahilinde ötenazi yapılarak gross patoloji bulguları değerlendirilmiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları belirlenerek, numunenin toksik etkisi belirlenmiştir (Tablo 7).



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 6/7

Tablo 7. Deney hayvanlarına ait klinik bulgular ve gözlem sonuçları.

Numune No	Fare/ BALB /C No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/ Kullanılan Fare Sayısı
168/159-4	1	Bulgu yok	1,45; %5,85	Bulgu yok	0/3
	2	Bulgu yok	1,30; %5,70	Bulgu yok	
	3	Bulgu var	1,22; %5,08	Bulgu yok	
	Kontrol	Bulgu yok	1,20; %5,36	Bulgu yok	

Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen gözlemler ve bulgular Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. Deney farelerine ait genel görünüm ve davranış gözlemleri

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

Bulgular ve Değerlendirmeler:

Testin başlangıç ve bitiş süresi dahilinde deney hayvanlarının ağırlıklarında önemli kilo değişimi (\geq %10) gözlenmemiştir.

Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde 3 nolu hayvanda karaciğer ve böbrek hiperemik olduğu tespit edilmiştir, Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları normal sınırlar (%4-6) içerisinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1'e göre:

- 168/159-4 numaralı test edilen atık numunesinin 10.000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5)** olarak değerlendirilmiştir.
- LD50 değeri >10000 mg/kg** vücut ağırlığı.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 7/7

8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

168/159-4 no'lu "Endüstriyel Atıksu-G2-2" örneğinin:

- Sulu ve **oldukça asidik** olduğu gözlemlenmiştir.
- İnorganik açıdan AYY'ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.
- Ekotoksosite analizinde **oldukça çok toksik olduğu (sınıf=4)** tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre **ZSF=4** elde edilmiş olup, sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için **akut açıdan düşük riskli olduğu** sonucuna varılmıştır.
- Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) bulunmuştur. LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 168/159-4 no'lu "Endüstriyel Atıksu" örneğinin "**tehlikeli atık**" olduğu sonucuna varılmıştır. **Örneğin ekotoksik özellikleri nedeniyle açıkta geçici depolanmamalı ve alıcı ortamlara (deniz, göl, ırmak vb) karışmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır.** Örneğin SKKY Tablo 25 şartlarını sağlayacak şekilde arıtılması gerekmektedir. **Ayrıca atık kodu hakkında ve atık işleme yönetimine ilişkin verilen bilgiler tavsiye niteliğinde olup, nihai karar mercii T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'dır.**



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 1/7

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER	3
3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	5
8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	7

1. GİRİŞ

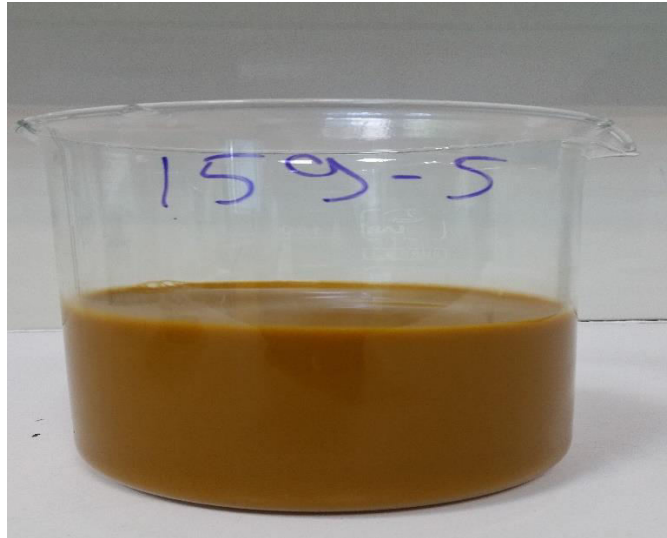
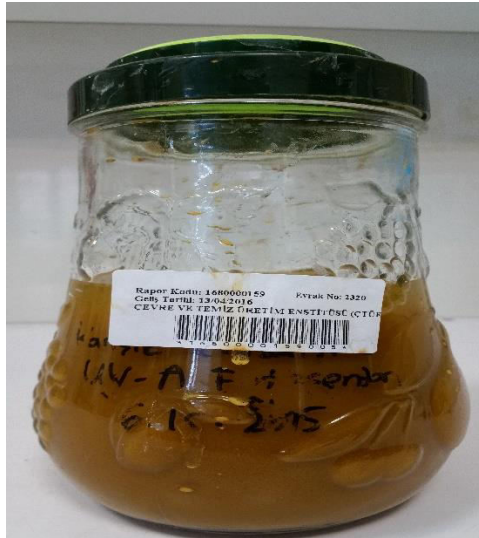
Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 13/04/2016 tarihinde 2320 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Endüstriyel Atıksu” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme talebinde bulunulmuştur. Bu amaçla, alınan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Endüstriyel Atıksu” örneği, AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodlu (Muhtemel Tehlikeli Atık) şekilde yer almaktadır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Endüstriyel Atıksu” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Endüstriyel Atıksu (G3)	Tutanaksız-Mühürsüz	168/159-5



Şekil 1. 168/159-5 no’lu “Endüstriyel Atıksu”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 3/7

2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER

“Endüstriyel Atıksu” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 168/159-5 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Kahverengi-Bulanık/Kokusuz	
pH değeri (Sulu çözelti)	2,50	TS ISO 10390
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOI) (mg/l)	827	SM 5520 B
Klorür (mg/l)	35,30	SM 4110 B
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	<0,50	ASTM D 7066-04 E
Toplam Organik Karbon (TOK) (mg/l)	7,62	SM 5310 B
Parlama noktası tayini	>105°C	ASTM D93

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Endüstriyel Atıksu” örneğinin **oldukça asidik** ve sulu olduğu gözlemlenmiştir. Numunedeki yağ ve gres ve TOK değerinin düşük olması, organik bileşenlerin numune içerisinde düşük oranda olduğunu göstermektedir. Numunedeki KOI değeri, evsel atıksularda bulunan KOI değerinin üzerindedir.

3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

168/159-5 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneğindeki organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla, numunedeki organik bileşenler hekzan ile ekstrakte edilmiştir. Organik fazda ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi ile, organik içerikteki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz neticesinde, numunede alkil grubuna dair bulgular gözlemlenmiştir.

Örnekteki organik bileşenleri tanımlamak amacıyla numune, EPA 5021 A Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS cihazı ile analiz yapılmıştır. Analiz neticesinde kayda değer uçucu/yarı uçucu bir organik içeriğe rastlanılmamıştır.

4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Olası ağır metallerin belirlenmesi için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile metal taraması yapılmıştır. Numune önce nitrik asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile iyice çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin metal analizi sonucu (µg/l)

Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg*
28.102	989	6,10	701	484	62.977	21,6	5

*Cıva ölçümü Direct Mercury Analyzer (DMA-80) Cihazı ile EPA 7473 yöntemi ile yapılmıştır.

Tablo 3’teki sonuçlara göre, numune inorganik açıdan AYY’ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 4/7

5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ

Söz konusu “Endüstriyel Atıksu” örneklerinde, ISO/EN/DIN 11348 metoduna uygun olarak ToxAlert 100 cihazı kullanarak biyoluminesans bakteri ile ekotoksosite analizi yapılmıştır. Test için seyreltmeler, numune derişimi %80, %50, %25, %12.5 ve %6.25 olacak şekilde hazırlanmıştır. Renkli numunelerde ön seyreltme yapılmış ve renk etkisi bertaraf edilmiştir. Bu seyreltmeler hesaplamada göz önüne alınmıştır. Testin temas süresi 30 dakika olup, her bir örnekten iki ölçüm yapılmıştır. Test sonunda her bir seyrelmeye karşılık bulunan % inhibisyon değeri ile numunelerin EC50 değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucu, Tablo 4’te EC50 ve toksisite derecesi cinsinden verilmiştir.

Tablo 4. 168/159-5 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneklerinde eko-toksosite analiz sonucu

*EC 50 (%)	**Toksosite Sınıfı	Sonuç / Açıklama
87,8	1	Az Toksik

* EC50: bakterinin % 50 sini inhibe eden konsantrasyon oranı

**Toksosite derecesi(sınıf): toksik değil(0); az toksik(1); toksik(2); çok toksik(3); oldukça çok toksik(4)

Yukarıdaki bulgulara göre, örneğin denizel ortam bakterisi *vibrio fisheri* üzerine **az toksik etki gösterdiği tespit edilmiştir**. Bu sonucun anlamı, 168/159-5 no’lu örneğin su ile reaksiyon sonucu sulu ortamda olumsuz ekotoksik etkilere sebep olma riskinin olmasıdır.

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

168/159-5 no’lu numune, 100 g/l’lik (1’e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre “Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik SeyreltmeFaktörü” testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çevrilemez etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50’sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50’sinin öldüğü konsantrasyon olan LC₅₀ değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığının 10 Ekim 2009 tarihli “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği” Ek-1 Tablo 1’de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır. Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir.

Balık biyodenyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=4 bulunmuştur. SKKY Tablo 19: (Karışık Endüstriyel Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları) verilen sınır değer ZSF=10’dur. Bu nedenle numunenin sucul canlılar için akut açıdan düşük riskli olduğu sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır.**

Çevre Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Endüstriyel Atıksu EK-3 Test ve Analiz Raporu

“Bu rapor çevre mevzuatına ilişkin resmi işlemlerde kullanılamaz.”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 5/7

7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(TÜBİTAK-MAM Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir.)

168/159-5 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir. Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması, Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokole önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/ Balb/C kullanılmıştır. Numune 8-12 haftalık 3 adet erkek/dişi fare/Balb/C (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) kullanılarak test edilmiştir.

Test edilen sıvı numune düzenleme otoritelerinin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde seyreltilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (10.000 mg/kg vücut ağırlığı) doğrudan gavaj yolu ile tek doz olarak deney hayvanlarına uygulanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Deney farelerinin ağırlıkları ve numune ekstraktının hacim ve doz miktarı

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	Gavaj Hacmi (μ l)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
168/159-5	1	19	190	10.000
	2	18,2	182	10.000
	3	19,6	196	10.000

Gözlemler ve Test Sonuçları

Numunenin tek doz gavaj uygulamasını takiben deney hayvanları ilk 4 saat boyunca kısa aralıklarla gözlem altında tutulmuştur. Daha sonra 2., 3., 7., ve 14.gün deney hayvanları gözlemlenerek klinik bulgular Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	2.Gün Ağırlık (g)	3.Gün Ağırlık (g)	7.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)	14.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)
168/159-5	1	19,0	18,6	19,2	18,2	-1,0	19,8	1,6
	2	18,2	17,8	18	19,8	1,8	19,8	0,0
	3	19,6	18,6	19	18,2	-0,8	21,0	2,8

Akut oral toksisite testi uygulama süresi, 14 gün sonunda deney hayvanları, hayvan etik kuralları dahilinde ötenazi yapılarak gross patoloji bulguları değerlendirilmiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları belirlenerek, numunenin toksik etkisi belirlenmiştir (Tablo 7).



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 6/7

Tablo 7. Deney hayvanlarına ait klinik bulgular ve gözlem sonuçları.

Numune No	Fare/ BALB /C No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/ Kullanılan Fare Sayısı
168/159-5	1	Bulgu yok	1,01; %5,10	Bulgu yok	0/3
	2	Bulgu yok	0,90; %4,55	Bulgu yok	
	3	Bulgu yok	1,03; %4,90	%13 kilo artışı	
	Kontrol	Bulgu yok	1,20; %5,36	Bulgu yok	

Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen gözlemler ve bulgular Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. Deney farelerine ait genel görünüm ve davranış gözlemleri

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

Bulgular ve Değerlendirmeler:

Testin başlangıç ve bitiş süresi dahilinde deney hayvanlarının ağırlıklarında önemli kilo değişimi (\geq %10) gözlenmemiştir.

Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde patolojik bulgu tespit edilmemiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları normal sınırlar (%4-6) içerisinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1'e göre:

- I. 168/159-5 numaralı test edilen atık numunesinin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5)** olarak değerlendirilmiştir.
- II. **LD50 değeri >10000 mg/kg** vücut ağırlığı.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 7/7

8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

168/159-5 no'lu "Endüstriyel Atıksu-G3" örneğinin:

- Sulu ve **oldukça asidik** olduğu gözlemlenmiştir.
- İnorganik açıdan AYY'ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.
- Ekotoksikite analizinde **az toksik olduğu (sınıf=1)** tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre **ZSF=4** elde edilmiş olup, sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için **akut açıdan düşük riskli olduğu** sonucuna varılmıştır.
- Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) bulunmuştur. LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 168/159-5 no'lu "Endüstriyel Atıksu" örneğinin "**tehlikesiz atık**" olduğu sonucuna varılmıştır. **Örneğin ekotoksik özellikleri nedeniyle açıkta geçici depolanmamalı ve alıcı ortamlara (deniz, göl, ırmak vb) karışmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır.** Örneğin SKKY Tablo 25 şartlarını sağlayacak şekilde artırılması tavsiye edilir. Atığın yeni kodu (16 10 02) "16 10 01 dışındaki sulu sıvı atıkları" şeklinde değerlendirilebilir. **Ayrıca atık kodu hakkında ve atık işleme yönetimine ilişkin verilen bilgiler tavsiye niteliğinde olup, nihai karar mercii T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'dır.**



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 1/7

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

1. GİRİŞ	2
2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER	3
3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ	3
5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ	4
6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda).....	4
7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)	5
8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	7

1. GİRİŞ

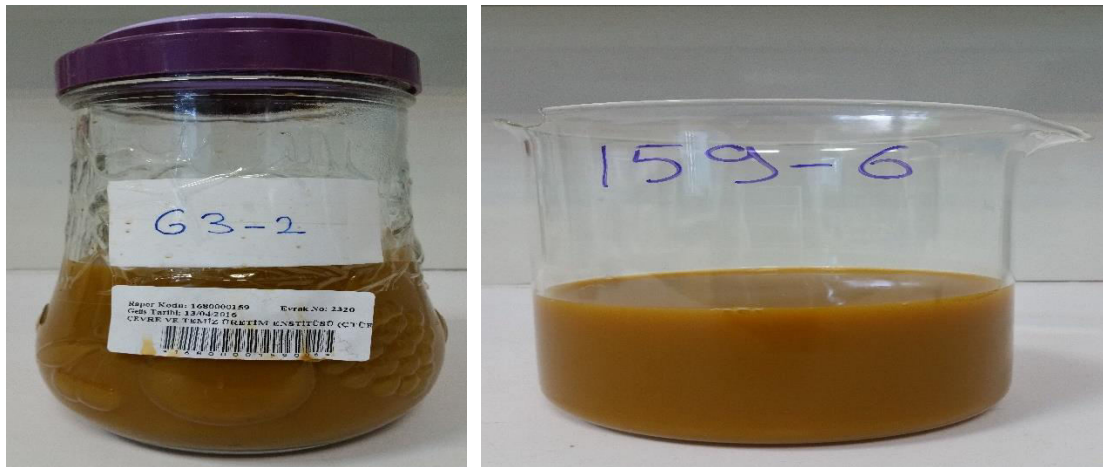
Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gönderilen analiz kabul yazısı, 13/04/2016 tarihinde 2320 MAM evrak numarası ile kayıt altına alınmıştır. Tutanaksız ve mühürsüz olarak alınan 1 adet “Endüstriyel Atıksu” örneğinde, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” (AYY) çerçevesinde “tehlikeli atık olup olmadığı yönünde” inceleme ve değerlendirme talebinde bulunulmuştur. Bu amaçla, alınan örneğin AYY EK-3B kapsamında değerlendirilebilmesi için gerekli içerik belirleme çalışmaları laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Söz konusu “Endüstriyel Atıksu” örneği, AYY EK-IV’te verilen Atık Listesinde (16) kodlu “Listede Başka Bir Şekilde Belirtilmemiş Atıklar” ana başlığında (16 10) “Saha Dışı Arıtmaya Gönderilecek Sulu Sıvı Atıklar” alt başlığı altında (16 10 01*) “Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar” olarak M kodlu (Muhtemel Tehlikeli Atık) şekilde yer almaktadır.

AYY EK-IV’te (M) işareti ile gösterilen atıklar, EK-3A’da yer alan tehlikeli özelliklerinin belirlenmesi için aynı yönetmeliğin EK-3 B bölümünde verilen eşik konsantrasyon değerlerine bakılarak tehlikeli atık olup olmadığına karar verilmesi gereken atıklar olarak tanımlanmıştır. AYY’de (A) kodu ile tanımlanmış atıklar “Tehlikeli Atık” olarak; (M) veya (A) kodu ile tanımlanmayan atıklar ise “Tehlikesiz Atık” olarak nitelendirilmektedir. Atığın TÜBİTAK-MAM örnek numarası Tablo 1’de; görünümü ise Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. “Endüstriyel Atıksu” örneği MAM kayıt numarası

Örnek Adı	Tutanak Tarihi-Mühür No	TÜBİTAK-MAM Örnek Kayıt No
Endüstriyel Atıksu (G3-2)	Tutanaksız-Mühürsüz	168/159-6



Şekil 1. 168/159-6 no’lu “Endüstriyel Atıksu”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 3/7

2. FİZİKO-KİMYASAL ANALİZLER

“Endüstriyel Atıksu” örneğinde ön tanımlama amacı ile yapılan fiziko-kimyasal testler ve sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 168/159-6 no’lu örneğin fiziksel-kimyasal analizleri

Parametre	Sonuç	Analiz Metodu
Görünüm/Koku	Kahverengi-Bulanık/Kokusuz	
pH değeri (Sulu çözelti)	3,08	TS ISO 10390
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l)	184	SM 5520 B
Klorür (mg/l)	27,81	SM 4110 B
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	<0,50	ASTM D 7066-04 E
Toplam Organik Karbon (TOK) (mg/l)	6,33	SM 5310 B
Parlama noktası tayini	>105°C	ASTM D93

Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre, “Endüstriyel Atıksu” örneğinin **asidik** ve sulu olduğu gözlemlenmiştir. Numunedeki yağ ve gres ve TOK değerinin düşük olması, organik bileşenlerin numune içerisinde düşük oranda olduğunu göstermektedir. Numunedeki KOİ değeri, evsel atıksularda bulunan KOİ değerinin altındadır.

3. ORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

168/159-6 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneğindeki organik madde içeriğinin belirlenmesi amacıyla, numunedeki organik bileşenler hekzan ile ekstrakte edilmiştir. Organik fazda, ASTM E1252 metoduna uygun olarak yapılan FTIR analizi ile organik içerikteki fonksiyonel gruplar belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz neticesinde, numunede anlamlı bir bulgu gözlemlenmemiştir.

Örnekteki organik bileşenleri tanımlamak amacıyla numune, EPA 5021 A Metoduna uygun olarak Headspace GC-MS cihazı ile analiz yapılmıştır. Analiz neticesinde kayda değer uçucu/yarı uçucu bir organik içeriğe rastlanılmamıştır.

4. İNORGANİK İÇERİK ANALİZLERİ

Olası ağır metallerin belirlenmesi için EPA 6020A metoduna uygun olarak ICP-MS cihazı ile metal taraması yapılmıştır. Numune önce nitrik asit ve hidroklorik asit karışımında mikrodalga uygulaması ile iyice çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Numunenin metal analizi sonucu (µg/l)

Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg*
13.074	685	2,74	847	303	25.565	7,87	0,7

*Cıva ölçümü Direct Mercury Analyzer (DMA-80) Cihazı ile EPA 7473 yöntemi ile yapılmıştır.

Tablo 3’teki sonuçlara göre, numune inorganik açıdan AYY’ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 4/7

5. EKOLOJİK TOKSİSİTE TESTİ

Söz konusu “Endüstriyel Atıksu” örneklerinde, ISO/EN/DIN 11348 metoduna uygun olarak ToxAlert 100 cihazı kullanarak biyoluminesans bakteri ile ekotoksosite analizi yapılmıştır. Test için seyreltmeler, numune derişimi %80, %50, %25, %12.5 ve %6.25 olacak şekilde hazırlanmıştır. Renkli numunelerde ön seyreltme yapılmış ve renk etkisi bertaraf edilmiştir. Bu seyreltmeler hesaplamada göz önüne alınmıştır. Testin temas süresi 30 dakika olup, her bir örnekten iki ölçüm yapılmıştır. Test sonunda her bir seyrelmeye karşılık bulunan % inhibisyon değeri ile numunelerin EC50 değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucu Tablo 4’te EC50 ve toksisite derecesi cinsinden verilmiştir.

Tablo 4. 168/159-6 no’lu “Endüstriyel Atıksu” örneklerinde eko-toksosite analiz sonucu

*EC 50 (%)	**Toksosite Sınıfı	Sonuç / Açıklama
Bulunamadı	0	Toksik Değil

* EC50: bakterinin % 50 sini inhibe eden konsantrasyon oranı

**Toksosite derecesi(sınıf): toksik değil(0); az toksik(1); toksik(2); çok toksik(3); oldukça çok toksik(4)

Yukarıdaki bulgulara göre, örneğin denizel ortam bakterisi *vibrio fisheri* üzerine **toksik etki göstermediği tespit edilmiştir**. Bu sonucun anlamı, 168/159-6 no’lu örneğin su ile reaksiyon sonucu sulu ortamda olumsuz ekotoksik etkilere sebep olma riskinin düşük olmasıdır.

6. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Balıklarda)

168/159-6 no’lu numune, 100 g/l’lik (1’e 10 seyreltme) sulu çözeltisi hazırlanarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Teknik Usuller Tebliği şartlarına göre “Balıklarda Akut Toksikite-Zehirlilik SeyreltmeFaktörü” testine tabi tutulmuştur. Akut toksisite, su içindeki maddeye maruz kalan organizmanın kısa zamanda (günler içinde) geri çevrelemeyebilir etkisidir. Bu test için akut toksisite, test balıklarının %50’sinin öldüğü ortalama ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) olarak ifade edilmektedir. Bu analiz metodu en az 96 saat boyunca devam ettirilir ve 24 saatlik aralıklar ile balık ölümleri kayıt edilir. Balıkların %50’sinin öldüğü konsantrasyon olan LC₅₀ değeri de kayıt edilir.

Çevre ve Orman Bakanlığınının 10 Ekim 2009 tarihli “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği” Ek-1 Tablo 1’de zehirlilik seyreltme faktörü (ZSF) aşağıdaki gibi açıklanmıştır. Toksik etki, atıksuyun seyreltme suyu ile seyreltildiği hacimle orantılı olarak da saptanabilir. Buna göre, tüm balıkların yaşatılabildiği en küçük seyreltme değeri esas alınarak, atık suyun balıklara toksik etkisi seyreltme faktörü (ZSF) ile ifade edilir. Seyreltme faktörü, kullanılan birim atıksu hacmine bağlı birim seyreltme suyu hacmi ile birim atıksu hacminin toplamıdır. Seyreltme faktörü; kaç hacim atıksuyun kaç hacim seyreltme suyu ile seyreltildiğini ifade eder. Örneğin, 1 hacim atıksu + 4 hacim seyreltme suyu = seyreltme faktörü (ZSF)=5 tir.

Balık biyodenyeyi için SKKY Teknik Usuller Tebliğinden verilen şartlara uygun olarak ile yapılan testlerde **ZSF=2 bulunmuştur. SKKY Tablo 19: (Karışık Endüstriyel Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları) verilen sınır değer ZSF=10’dur. Bu nedenle numunenin sucul canlılar için akut açıdan düşük riskli olduğu sonucuna varılmıştır. Olası kronik etkiler bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır.**

Çevre Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Endüstriyel Atıksu Ek-3 Test ve Analiz Raporu

“Bu rapor çevre mevzuatına ilişkin resmi işlemlerde kullanılamaz.”



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 5/7

7. AKUT TOKSİSİTE TESTİ (Farelerde)

(TÜBİTAK-MAM Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir.)

168/159-6 no'lu numune "Akut Oral Toksikite – Akut Toksik Sınıf Metodu", OECD TG 423 uluslararası standart test protokolü kullanılarak test edilmiştir. Test edilen numunenin zararlılık sınıflandırması OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması, Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1'e göre yapılmıştır.

Söz konusu protokolda önerildiği üzere gerçekleştirilen testte deney hayvanı olarak laboratuvar faresi/ Balb/C kullanılmıştır. Numune 8-12 haftalık 3 adet erkek/dişi fare/Balb/C (ağırlıkları arasındaki fark \pm 20%'den az) kullanılarak test edilmiştir.

Test edilen sıvı numune düzenleme otoritelerinin önerdiği gibi deney sonucuna göre yapılacak risk değerlendirmeye daha uygun olduğundan sabit hacimde seyreltilmeden farenin ağırlığına göre gereken dozda (10.000 mg/kg vücut ağırlığı) doğrudan gavaj yolu ile tek doz olarak deney hayvanlarına uygulanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Deney farelerinin ağırlıkları ve numune ekstraktının hacim ve doz miktarı

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	Gavaj Hacmi (μ l)	Maruz bırakılan doz (mg/kg vücut ağırlığı)
168/159-6	1	20,0	200,0	10.000
	2	20,4	204,0	10.000
	3	20,4	204,0	10.000

Gözlemler ve Test Sonuçları

Numunenin tek doz gavaj uygulamasını takiben deney hayvanları ilk 4 saat boyunca kısa aralıklarla gözlem altında tutulmuştur. Daha sonra 2., 3., 7., ve 14.gün deney hayvanları gözlemlenerek klinik bulgular Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Deney hayvanlarına ait ağırlık takip ve gözlem sonuçları

Numune No	Fare/ BALB /C No	1.Gün Ağırlık (g)	2.Gün Ağırlık (g)	3.Gün Ağırlık (g)	7.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)	14.Gün Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (g)
168/159-6	1	20,0	20,2	20,8	20,6	-0,2	22,6	2,0
	2	20,4	22,0	21,4	21,2	-0,2	21,8	0,6
	3	20,4	20,6	20,6	20,4	-0,2	22,6	2,2

Akut oral toksisite testi uygulama süresi, 14 gün sonunda deney hayvanları, hayvan etik kuralları dahilinde ötenazi yapılarak gross patoloji bulguları değerlendirilmiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları belirlenerek, numunenin toksik etkisi belirlenmiştir (Tablo 7).



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 6/7

Tablo 7. Deney hayvanlarına ait klinik bulgular ve gözlem sonuçları.

Numune No	Fare/ BALB /C No	Nekropsi Bulgu	Karaciğer ağırlığı (g), b.w. oranı (%)	Klinik Muayene	Ölen/ Kullanılan Fare Sayısı
168/159-6	1	Bulgu var	1,34; %5,93	Bulgu yok	0/3
	2	Bulgu var	1,18; %5,41	Bulgu yok	
	3	Bulgu var	1,20; %5,31	Bulgu yok	
	Kontrol	Bulgu yok	1,20; %5,36	Bulgu yok	

Gözlemler deride, kıllarda, gözde, mukoz membranda, solunum, dolaşım, otonom ve merkezi sinir sisteminde, somatomotor aktivite ve davranış paternindeki değişimleri içermektedir. Gözlemler sırasında özellikle titreme, konvülsiyon, salya salgılanması, diare, uyuklama, uyku ve koma gibi durumlara dikkat edilmiştir. Elde edilen gözlemler ve bulgular Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. Deney farelerine ait genel görünüm ve davranış gözlemleri

Gözlemler	4. Saat	7. Gün	14. Gün
Deri ve Kürk	Normal	Normal	Normal
Gözler	Normal	Normal	Normal
Mukoz Membran	Normal	Normal	Normal
Davranış	Normal	Normal	Normal
Tükürük, Salya	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Uyku	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Rehavet	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Diyare	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Koma	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi
Titreme	Gözlenmedi	Gözlenmedi	Gözlenmedi

Bulgular ve Değerlendirmeler:

Testin başlangıç ve bitiş süresi dahilinde deney hayvanlarının ağırlıklarında önemli kilo değişimi (\geq %10) gözlenmemiştir.

Yapılan otopsi sonucu gerçekleştirilen gross patoloji muayenesinde 1, 2 ve 3 nolu hayvanlarda karaciğer ve böbrek hiperemik olduğu, 3 nolu deney hayvanında akciğer normal renginden çok daha sarı renkte olduğu görülmüş ve yer yer lokal hemorajik alanlar tespit edilmiştir. Deney hayvanlarının karaciğer ağırlıkları normal sınırlar (%4-6) içerisinde bulunmuştur.

Belirlenen gözlemler ve yukarıda verilen sonuçlar temel alınarak OECD 423 ve OECD Test Etme ve Değerlendirme No 33 Bölüm 2.1 ve Birleşmiş Milletler, Kimyasalların Etiketlenmesi ve Sınıflandırılması Global Harmonize Sistemi (GHS) Sağlık Zararlıları Bölüm 3.1'e göre:

- I. 168/159-6 numaralı test edilen atık numunesinin 10000 mg/kg vücut ağırlığı dozunda akut oral toksisite sonucunda Kimyasalların Sınıflandırılması ve Etiketlenmesi **Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5)** olarak değerlendirilmiştir.
- II. **LD50 değeri >10000 mg/kg** vücut ağırlığı.



TÜBİTAK MAM ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

Rapor No: 45924173-125.05-1035/3743-R

Tarih: 08.06.2016

Sayfa No: 7/7

8. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

168/159-6 no'lu "Endüstriyel Atıksu-G3-2" örneğinin:

- Sulu ve **asidik** olduğu gözlemlenmiştir.
- İnorganik açıdan AYY'ye göre tehlikesiz olduğu sonucuna varılmıştır.
- Ekotoksikite analizinde toksik olmadığı (sınıf=0) tespit edilmiştir.
- Balık biyodeneysel sonuçlarına göre **ZSF=2** elde edilmiş olup, sucul ortamlarda yaşayan su canlıları için **akut açıdan düşük riskli olduğu** sonucuna varılmıştır.
- Farelerde yapılan akut toksisite sonuçlarına göre Global Harmonize Sistemine göre kategori 5 (GHS 5) bulunmuştur. LD50 değeri >10000 mg/kg vücut ağırlığı şeklinde tanımlanmıştır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında 168/159-6 no'lu "Endüstriyel Atıksu" örneğinin "**tehlikesiz atık**" olduğu sonucuna varılmıştır. **Örneğin ekotoksik özellikleri nedeniyle açıkta geçici depolanmamalı ve alıcı ortamlara (deniz, göl, ırmak vb) karışmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır.** Örneğin SKKY Tablo 25 şartlarını sağlayacak şekilde artırılması tavsiye edilir. Atığın yeni kodu (16 10 02) "16 10 01 dışındaki sulu sıvı atıkları" şeklinde değerlendirilebilir. **Ayrıca atık kodu hakkında ve atık işleme yönetimine ilişkin verilen bilgiler tavsiye niteliğinde olup, nihai karar mercii T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'dır.**



ariaritma.com

Tarih :	24/10/2016	Teklif Ref. No :	KO1-34-801
Hazırlayan :	MURAT PUT	Firma Ref. No :	KO1-34-801
Firma Adı :	GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	Adres :	GEBZE/KOCAELİ
İlgili Kişi :	ESRA CAN DOĞAN	Web Adresi :	
Telefon :		E-Posta :	
Faks :		V.D	V.N

HİZMET TÜRÜ	BİRİM FİYAT (TL/m ³)+KDV
ENDÜSTRİYEL Nitelikli Atık Suyun Arıtılması Bedeli 1 m ³	100 TL/m ³
	350-7500
NAKLIYE Bedeli (15 tonluk vidanjör)	TL/sefer lisanssız vidanjörle nakliye bedeli

- Ödemeler, fatura kesim tarihinden itibaren 30 gün içerisinde Banka Havalesi ile yapılacaktır. Fatura bedelinin ödenmesi hususundaki gecikmeler için günlük % 0,3 vade farkı tahakkuk ettirilecektir. Fatura bedelinin tahsili için hukuki takibat başlatılması halinde asıl fatura ve varsa vade farkı faturalarına aylık % 5 gecikme faizi işletilecektir.
- Nakliye dahil tekliflerde nakliye aracı, firmanın daveti üzerine atıksu çekimine gittikten sonra firma kaynaklı bir sebeple boş olarak geri dönmesi durumunda nakliye bedeli firmaya fatura edilecektir.
- Limit değer üzerin de çıkması durumunda her parametre için ayrı ayrı ek bertaraf bedeli An Arıtma İnşaat San. ve Tic. A.Ş. tarafından firmaya fatura edilir. Ek bertaraf bedeli hesaplama yöntemi; sözleşme de yer alan fiyatlandırma formülü taraflar tarafından kabul edilmiş olur.
- Firma tarafından bertaraf edilmek üzere An Arıtma İnşaat San. ve Tic. A.Ş. ait tesislere gönderilen atıklar; Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik Ek - 4 tabloların da yer alan tehlikeli atıkları içermemelidir. Bu durumun İdari Kurum ve Kuruluşlar tarafından tespit edilmesi durumunda ortaya çıkabilecek Mali, idari ceza ve bunun ile birlikte An Arıtma İnşaat San. ve Tic. A.Ş. tesislerine gelebilecek cezai durumları atık gönderen firmanın sorumluluğun da olduğunu taahhüt etmiş olacaktır.
- Atıksuların vidanjör vb. araçlarla taşınması sırasında ilgili bertaraf formu, firma tarafından Kaşe / Onay olarak imzalanmalıdır. Kaşe / Onay olmayan vidanjör tesise Kabul edilmeyecektir. Atıksular vidanjörlerden kontrollü olarak boşaltılacak olup; sözleşme de beyan edilen atıksu dışında gelen atıksular firmaya geri gönderilecektir.

ÖDEME ŞARTLARI

Atıkların tesise kabulünden ve Ulusal Atık Taşıma Formlarının imzalanmasından sonra anlaşılan fiyat teklifi üzerinden fatura düzenlenerek Atık Üretici firmaya gönderilecektir. Fatura bedelleri fatura kesim tarihine istinaden 30 (otuz) gün içerisinde, faturada yazılı banka hesap numarasına banka havalesi yapılarak

BANKA HESAP NUMARALARIMIZ

BANKA ADI	KUVEYTTÜRK	İŞ BANKASI
ŞUBE ADI	İZMİT	İZMİT TİCARİ
ŞUBE NO	55	2399

ARI ARITMA İNŞAAT SAN. TİC. A. Ş.
Tic. Sicil No : 19943 / 28270
info@ariaritma.com
T. +90 262 351 40 30 / F. +90 262 351 44 08
Kemal Paşa Mh. Cumhuriyet Cd
Dündar Raf İş Merkezi K:5 / 116
İzmit / Kocaeli / TÜRKİYE





ariaritma.com

veya çek verilmesi suretiyle ödenecektir. Fatura bedelinin ödenmesi hususundaki gecikmeler için günlük % 0,3 vade farkı tahakkuk ettirilecektir. Fatura bedelinin tahsil için hukuki takibat başlatılması halinde asıl fatura ve varsa vade farkı faturalarına aylık % 5 gecikme faizi işletilecektir.

HESAP
NO

6143443-001

10259

IBAN NO

TR52002050000614344300001

TR550006400000123990010259

HAZIRLAYAN

FİRMA ONAYI

ARI ARITMA İNŞAAT SAN. TİC. A. Ş.

Tic. Sicil No : 19943 / 28270

info@ariaritma.com

T. +90 262 351 40 30 / F. +90 262 351 44 08

Kemal Paşa Mh. Cumhuriyet Cd

Dündar Rof İş Merkezi K5 / 116

Izmit / Kocaeli / TÜRKİYE



Sayı : 80327932-948.01.01.709-E.2/6804
Konu : Atıkların Bertarafı İhk

Tarih :01.07.2016

ÇÖP ADAM ENTEGRE ATIK YÖNETİMİ SAN TİC LTD ŞTİ KOCAELİ
(Sn. CAN ÇAPA, Tel: 0 262 349 49 09,e-mail:can.capa@copadam.net)

Başvurunuz çerçevesinde, beyan ettiğiniz atıklarınızla ilgili 31.12.2016 tarihine kadar geçerli **bertaraf fiyatı ve atık kabul koşulları** tarafınıza sunulmuştur.

FİYAT TEKLİFİ				
Atık Kodu	Niteliği	Atığın Tanımı	Bertaraf Fiyatı (TL/ton)	Bertaraf Yöntemi
19 02 11*	Tehlikeli	Çamurlu su	570/741	Yakma
▪ Bertaraf edilmek üzere sevk etmiş olduğunuz maksimum 250 kg.' a kadar olan atıkların (her atık tipi için ayrı olmak üzere) bertaraf fiyatı aşağıdaki gibi uygulanacaktır.				
0 - 50 kg 250,- TL		51 - 100 kg 350,- TL	101 – 250 kg 450,-TL	
▪ Miktar sınırı olmaksızın tüm tehlikeli atıklar için "Atıkların Karayolunda Taşınmasına İlişkin Tebliğ"de belirtildiği üzere Ulusal Atık Taşıma Formu doldurması zorunludur.				
▪ Fiyatlarımıza KDV (%18) dahil değildir.				
Nakliye Fiyatı (TL/Sefer)				
Başiskele			295 TL + KDV	

RANDEVU SİSTEMİ: <http://envanterbeyan.izaydas.com.tr/envanterrandevu/> adresinden Sevkiyat tarihli taleplerinizi yapmanız gerekmektedir. Sisteme giriş için gerekli olan kullanıcı adı ve şifreniz aşağıdadır.

Kullanıcı Adı : 7107

Şifre: 0

Fatura işlemlerinde İZAYDAŞ tartımları esas alınmakta olup sevk edilen atığın ağırlığı; fiçı, palet, varil, vb. (dökme değil ise) ambalaj malzemesi dahil olarak hesaplanmaktadır.

Not: BELGENİN ASLI ELEKTRONİK İMZALIDIR.



Merkez / Fabrika : Alibeyli Atatürk Mah. Çarşıbaşı Cad. No: 350 İzmit / KOCAELİ
Tel : +90 262 316 60 00
Fax : +90 262 316 60 50
Web : www.izaydas.com.tr

Belge Doğrulama Kodu : 694565CE-3D3F-44D3-B46E-649F38D35FB5
Belge Doğrulama: www.izaydas.com.tr/belgedogrulama

Bilgi için: Özge MİRDANOĞLU
BÜRO PERSONELİ
Telefon No: 0 262 319 1212



Kağıttest
ISO 14001:2004

Kağıttest
ISO 9001:2008

Kağıttest
ISO 14001:2004

Kağıttest
OHSAS 18001

Kağıttest
ISO 50001:2011

Ödemelerinizi fatura kesim tarihinden itibaren 30 günlük ödeme süresi içerisinde, faturada belirtilen hesap numaralarımıza yapabilirsiniz. Atıklarınıza ilişkin bertaraf işlemleri konusunda bilgilerinizi ve gereğini rica eder iyi çalışmalar dileriz.

Ayfer ÇALIK NEFESOĞLU
Pazarlama Müdürü

Ek: Atık Kabul Koşulları

Not: BELGENİN ASLI ELEKTRONİK İMZALIDIR.



Merkez / Fabrika : Alibeyo Atatürk Mah. Çerçobası Cad. No: 350 İzmit / KOCAELİ
Tel : +90 262 316 60 00
Fax : +90 262 316 60 50
Web : www.izaydas.com.tr

Belge Doğrulama Kodu : 694565CE-3D3F-44D3-B46E-649F38D35FB5
Belge Doğrulama: www.izaydas.com.tr/belgedogrulama

Bilgi İçin: Özge
MERDANOĞLU
BÜRO
PERSONELİ
Telefon No: 0 262 319 1212

ATIK KABUL KOŞULLARI

Tesislerimize atık kabulü hafta içi 08:00 – 16:00 saatleri arasında yapılmaktadır. Belirtilen saatlerin dışında atık gönderilmesi durumunda atık kabul edilmeyecektir.

ATIK ADI VE AMBALAJLAMA

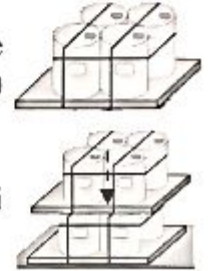
Camurlu su:

Atıklar dökme olarak damperli kamyonlarda veya ambalajlı gönderildiği takdirde **içerisine naylon torba konulmuş 200 lt.’ lik klape kapaklı saç varillerde (paletlenerek) veya 1 tonluk IBC konteynerlerde** sevk edilmelidir.

PALETTELEME VE ETİKETLEME

Paletleme

- Varil/Fıçı veya Big-Bag’ lerdeki atıklar, paletlerin üzerine konmalı (her palet üzerinde sadece tek tip olacak şekilde olup, Big-Bag’ ler paletler üzerinde üst üste konmamalıdır) yatay ve dikey bantlar ile bağlanarak, güvenli biçimde taşınması sağlanmalıdır.
- **Paletler üzerine yerleştirilecek olan kolilerin yüksekliği maks. 1 metre olmalıdır.**
- Variller araca palet üzerinde tek sıra olacak şekilde yüklenmeli, iki sıra yüklenmesi durumunda iki varil arasına palet yerleştirilmelidir.



Etiketleme

- Her atık ambalajı (varil/fıçı/konteyner/big-bag), içindeki atık ile ilgili tüm bilgileri içeren atık etiketi ve Tehlikeli Maddelerin ve Müstahzarların Sınıflandırılması, Ambalajlanması ve Etiketlenmesi Hakkında Yönetmelik Ek-4’de belirtilen tehlikeli atık işaretleri ile etiketlenmelidir.
- Atık Etiketi üzerindeki atık tanımı ile Ulusal Atık Taşıma Formu üzerindeki atık tanımı aynı olmalıdır. Etiket örneğini (bkz. www.izaydas.com.tr) adresinden bulabilirsiniz.



TAŞIMA

TEHLİKELİ ATIKLAR

Lisanslı Araç

- Taşıma işlemi tarafınıza ait olup, “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”ne göre **tehlikeli atık sınıfına giren atıkların, tehlikeli atık taşıma lisansı olan araçlarla** (bkz. www.izaydas.com.tr) sevk edilmesi zorunludur.
- Taşıma yapan aracın lisansında belirtilen atık kodu ya da H numarası ile taşınan atığın Ulusal Atık Taşıma Formunda belirtilen atık kodu ya da H numarası uyumlu olmalıdır.



- Fıçı ve konteynerle sevk edilen atıklar yan kapakları açılabilen kamyonlarla taşınmalıdır.
- Gönderilen her **tehlikeli atık** cinsi için ayrı ayrı olmak üzere Ulusal Atık Taşıma Formu (UATF) ve Sevk İrsaliyesi doldurularak atığı taşıyan araç ile İzaydaş’ a gönderilmelidir.

- UATF' ler, bağlı bulunduğunuz ilin, **Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'** nden tarafınızca temin edilecektir.

50 kg ve Altındaki Tehlikeli Atıkların Gönderimi

- Toplamı 50 kg ve altında yer alan tehlikeli kodlu atıklarınızı ancak mevzuatta belirtilen niteliklerdeki kargo firmaları ile gönderebilirsiniz. Yetkisiz kargo firmaları ile gönderilen tehlikeli atıklar yasal olarak kabul edilemeyecektir.
- Altı aylık periyotlarda (Ocak-Haziran/Temmuz-Aralık) sadece bir kez 50 kg ve altında yer alan tehlikeli kodlu atığı yetkili kargo veya kendi aracınızla gönderebilirsiniz. Altı aylık süre içerisinde iki kez 50 kg ve altı atık gelmesi halinde yasal olarak kabul edilemeyecektir

Ayfer NEFESOĞLU
Pazarlama Müdürü

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Ayda Bir_Tekstil_Konvansiyonel Ortak Konsantre Aritımı_[UF-NFsıkı-TO]-{İOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	551000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	551000,00	\$
Operating Cost	2918000,00	\$/yr
Revenues	634000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	319598236,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	9,13	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	9,13	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 360.20	%
Return On Investment	- 406.15	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 20,017,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	UF	Ultrafilter Membrane Area = 39.22 m2	1000,00	17000,00
22 / 0 / 0	NF	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 38.39 m2	1000,00	22000,00
13 / 0 / 0	TO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 38.99 m2	1000,00	13000,00
12 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1000.00 m3	4000,00	48000,00
12 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 37.52 m2	1000,00	12000,00
		Unlisted Equipment		29000,00
			TOTAL	143000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	143000,00
2. Installation	71000,00
3. Process Piping	50000,00
4. Instrumentation	57000,00
5. Insulation	4000,00
6. Electrical	14000,00
7. Buildings	14000,00
8. Yard Improvement	7000,00
9. Auxiliary Facilities	29000,00
TPDC	389000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	39000,00
11. Construction	58000,00
TPIC	97000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	486000,00
------------	------------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	15000,00
13. Contingency	15000,00
CFC = 12+13	29000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	515000,00
------------	------------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	2,00	ton	254,00	0,04
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	1261,00	MT	630630,00	89,63
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	2,43
Sulfuric Acid	420,00	132,00	ton	55612,00	7,90
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				703593,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
NF	30,00	282,00	m2	8446,00	20,56
Cartridge Filter	10,00	34,00	item	343,00	0,84
UF	100,00	272,00	m2	27225,00	66,27
RO	30,00	169,00	m2	5068,00	12,34
TOTAL				41083,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				1654927,00	100,00
Nihai Atik	150,00	11033,00	ton	1654927,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				1654927,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	282,00	m2	1500,00	37,50
UF	5,00	272,00	m2	1500,00	37,50
RO	5,00	169,00	m2	1000,00	25,00
TOTAL				4000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2927945,00	kW-h	292794,00	100,00
TOTAL				292794,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	704000,00	24,11
Labor-Dependent	75000,00	2,58
Facility-Dependent	139000,00	4,77
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,26
Consumables	41000,00	1,41
Waste Treatment/Disposal	1659000,00	56,84
Utilities	293000,00	10,03
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	2918000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	515000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	15000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	551000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	551000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	352297,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	634134,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	634134,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	2918000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	2918000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	9,13	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	9,13	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 2,285,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 2,238,000	\$/yr
	Gross Margin	- 360.20	%
	Return On Investment	- 406.15	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Yılda Bir_Tekstil_Konvansiyonel Ortak Konsantre Arıtımı_[UF-NFsıki-TO]-{iOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	556000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	556000,00	\$
Operating Cost	1404000,00	\$/yr
Revenues	652000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	328762462,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	4,27	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	4,27	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 115.28	%
Return On Investment	- 126.91	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 6,730,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	UF	Ultrafilter Membrane Area = 39.22 m2	1000,00	17000,0
22 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.49 m2	1000,00	22000,0
14 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 37.23 m2	1000,00	14000,0
12 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1000.00 m3	4000,00	48000,0
12 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.78 m2 Unlisted Equipment	1000,00	12000,0
			TOTAL	144000,0

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	144000,0
2. Installation	72000,0
3. Process Piping	50000,0
4. Instrumentation	58000,0
5. Insulation	4000,0
6. Electrical	14000,0
7. Buildings	14000,0
8. Yard Improvement	7000,0
9. Auxiliary Facilities	29000,0
TPDC	392000,0

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	39000,0
11. Construction	59000,0
TPIC	98000,0

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	491000,0
------------	-----------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	15000,0
13. Contingency	15000,0
CFC = 12+13	29000,0

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	520000,0
------------	-----------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,0
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,6
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,4
TOTAL		10534,00	75264,00	100,0

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Unit	Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	2,00	ton	254,00	0,0
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,0
Hydroje Peroxid	500,00	1261,00	MT	630630,00	89,6
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,0
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	2,4
Sulfuric Acid	420,00	132,00	ton	55612,00	7,9
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,0
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,0
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,0
TOTAL				703593,00	100,0

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount	Unit	Annual Cost (\$)	%
NF	30,00	290,00	m2	8688,00	20,8
Cartridge Filter	10,00	34,00	item	343,00	0,8
UF	100,00	275,00	m2	27526,00	65,9
RO	30,00	174,00	m2	5213,00	12,4
TOTAL				41770,00	100,0

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,0
Aqueous Liquid				138997,00	100,0
Nihai Atik	150,00	927,00	ton	138997,00	100,0
Organic Liquid				0,00	0,0
Emissions				0,00	0,0
TOTAL				138997,00	100,0

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	290,00	m2	1500,00	37,5
UF	5,00	275,00	m2	1500,00	37,5
RO	5,00	174,00	m2	1000,00	25,0
TOTAL				4000,00	100,0

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2927945,00	kW-h	292794,00	100,0
TOTAL				292794,00	100,0

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	704000,00	50,1
Labor-Dependent	75000,00	5,3
Facility-Dependent	141000,00	10,0
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,5
Consumables	42000,00	2,9
Waste Treatment/Disposal	143000,00	10,1
Utilities	293000,00	20,8
Transportation	0,00	0,0
Miscellaneous	0,00	0,0
Advertising/Selling	0,00	0,0
Running Royalties	0,00	0,0
Failed Product Disposal	0,00	0,0
TOTAL	1404000,00	100,0

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	520000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	16000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	556000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	556000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	362399,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	652317,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	652317,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1404000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1404000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	4,27	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	4,27	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 753,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 706,000	\$/yr
	Gross Margin	- 115.28	%
	Return On Investment	- 126.91	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Ayda Bir_Tekstil_Konvansiyonel Ortak Konsantre Arıtımı_[UF-NFsıkı-TO]-{iOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	551000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	551000,00	\$
Operating Cost	1816000,00	\$/yr
Revenues	634000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	319598236,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	5,68	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	5,68	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 186.37	%
Return On Investment	- 205.89	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 10,448,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	UF	Ultrafilter Membrane Area = 39.22 m2	1000,00	17000,00
22 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 38.39 m2	1000,00	22000,00
13 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 38.99 m2	1000,00	13000,00
12 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1000.00 m3	4000,00	48000,00
12 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 37.52 m2	1000,00	12000,00
		Unlisted Equipment		29000,00
			TOTAL	143000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	143000,00
2. Installation	71000,00
3. Process Piping	50000,00
4. Instrumentation	57000,00
5. Insulation	4000,00
6. Electrical	14000,00
7. Buildings	14000,00
8. Yard Improvement	7000,00
9. Auxiliary Facilities	29000,00
TPDC	389000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	39000,00
11. Construction	58000,00
TPIC	97000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	486000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	15000,00
13. Contingency	15000,00
CFC = 12+13	29000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	515000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	2,00	ton	254,00	0,04
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	1261,00	MT	630630,00	89,63
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	2,43
Sulfuric Acid	420,00	132,00	ton	55612,00	7,90
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				703593,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
NF	30,00	282,00	m2	8446,00	20,56
Cartridge Filter	10,00	34,00	item	343,00	0,84
UF	100,00	272,00	m2	27225,00	66,27
RO	30,00	169,00	m2	5068,00	12,34
TOTAL				41083,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				551642,00	100,00
Nihai Atik	50,00	11033,00	ton	551642,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				551642,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	282,00	m2	1500,00	37,50
UF	5,00	272,00	m2	1500,00	37,50
RO	5,00	169,00	m2	1000,00	25,00
TOTAL				4000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2927945,00	kW-h	292794,00	100,00
TOTAL				292794,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	704000,00	38,74
Labor-Dependent	75000,00	4,14
Facility-Dependent	140000,00	7,73
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,41
Consumables	41000,00	2,26
Waste Treatment/Disposal	555000,00	30,59
Utilities	293000,00	16,12
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1816000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	515000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	15000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	551000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	551000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	352297,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	634134,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	634134,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1816000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1816000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	5,68	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	5,68	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,182,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,135,000	\$/yr
	Gross Margin	- 186.37	%
	Return On Investment	- 205.89	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Yılda Bir_Tekstil_Konvansiyonel Ortak Konsantre Arıtımı_{UF-NFsıkı-TO}-{İOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	556000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	556000,00	\$
Operating Cost	1312000,00	\$/yr
Revenues	652000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	328762462,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 101.08	%
Return On Investment	- 110.23	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 5,926,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	UF	Ultrafilter Membrane Area = 39.22 m2	1000,00	17000,00
22 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.49 m2	1000,00	22000,00
14 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 37.23 m2	1000,00	14000,00
12 / 0 / 0	İOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1000.00 m3	4000,00	48000,00
12 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.78 m2	1000,00	12000,00
		Unlisted Equipment		29000,00
			TOTAL	144000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	144000,00
2. Installation	72000,00
3. Process Piping	50000,00
4. Instrumentation	58000,00
5. Insulation	4000,00
6. Electrical	14000,00
7. Buildings	14000,00
8. Yard Improvement	7000,00
9. Auxiliary Facilities	29000,00
TPDC	392000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	39000,00
11. Construction	59000,00
TPIC	98000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	491000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	15000,00
13. Contingency	15000,00
CFC = 12+13	29000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	520000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	2,00	ton	254,00	0,04
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	1261,00	MT	630630,00	89,63
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	2,43
Sulfuric Acid	420,00	132,00	ton	55612,00	7,90
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				703593,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
NF	30,00	290,00	m2	8688,00	20,80
Cartridge Filter	10,00	34,00	item	343,00	0,82
UF	100,00	275,00	m2	27526,00	65,90
RO	30,00	174,00	m2	5213,00	12,48
TOTAL				41770,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				46332,00	100,00
Nihai Atik	50,00	927,00	ton	46332,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				46332,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	290,00	m2	1500,00	37,50
UF	5,00	275,00	m2	1500,00	37,50
RO	5,00	174,00	m2	1000,00	25,00
TOTAL				4000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2927945,00	kW-h	292794,00	100,00
TOTAL				292794,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	704000,00	53,64
Labor-Dependent	75000,00	5,74
Facility-Dependent	141000,00	10,71
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,57
Consumables	42000,00	3,18
Waste Treatment/Disposal	50000,00	3,83
Utilities	293000,00	22,32
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1312000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	520000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	16000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	556000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	556000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	362399,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	652317,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	652317,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1312000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1312000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 660,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 613,000	\$/yr
	Gross Margin	- 101.08	%
	Return On Investment	- 110.23	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Yılda Bir_Tekstil_Konvansiyonel Ortak Konsantre Arıtımı_[UF-NFsıkı-TO]-{İOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	556000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	556000,00	\$
Operating Cost	1312000,00	\$/yr
Revenues	652000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	328762462,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 101.08	%
Return On Investment	- 110.23	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 5,926,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	UF	Ultrafilter Membrane Area = 39.22 m2	1000,00	17000,00
22 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.49 m2	1000,00	22000,00
14 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 37.23 m2	1000,00	14000,00
12 / 0 / 0	İOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1000.00 m3	4000,00	48000,00
12 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.78 m2	1000,00	12000,00
		Unlisted Equipment		29000,00
			TOTAL	144000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	144000,00
2. Installation	72000,00
3. Process Piping	50000,00
4. Instrumentation	58000,00
5. Insulation	4000,00
6. Electrical	14000,00
7. Buildings	14000,00
8. Yard Improvement	7000,00
9. Auxiliary Facilities	29000,00
TPDC	392000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	39000,00
11. Construction	59000,00
TPIC	98000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	491000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	15000,00
13. Contingency	15000,00
CFC = 12+13	29000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	520000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	2,00	ton	254,00	0,04
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	1261,00	MT	630630,00	89,63
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	2,43
Sulfuric Acid	420,00	132,00	ton	55612,00	7,90
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				703593,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
NF	30,00	290,00	m2	8688,00	20,80
Cartridge Filter	10,00	34,00	item	343,00	0,82
UF	100,00	275,00	m2	27526,00	65,90
RO	30,00	174,00	m2	5213,00	12,48
TOTAL				41770,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				46332,00	100,00
Nihai Atik	50,00	927,00	ton	46332,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				46332,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	290,00	m2	1500,00	37,50
UF	5,00	275,00	m2	1500,00	37,50
RO	5,00	174,00	m2	1000,00	25,00
TOTAL				4000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2927945,00	kW-h	292794,00	100,00
TOTAL				292794,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	704000,00	53,64
Labor-Dependent	75000,00	5,74
Facility-Dependent	141000,00	10,71
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,57
Consumables	42000,00	3,18
Waste Treatment/Disposal	50000,00	3,83
Utilities	293000,00	22,32
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1312000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	520000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	16000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	556000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	556000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	362399,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	652317,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	652317,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1312000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1312000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 660,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 613,000	\$/yr
	Gross Margin	- 101.08	%
	Return On Investment	- 110.23	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Ayda Bir_Kağıt_Konvansiyonel_Doğal Gaz_[NFgevşek-NFsıki]-{İOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	1479000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	1479000,00 \$
Operating Cost	5047000,00 \$/yr
Revenues	620000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	312591228,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	16,15 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	16,15 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 713.74 %
Return On Investment	- 290.64 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 38,845,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
46 / 0 / 0	NFsıki	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.27 m2	1000,00	46000,00
34 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.76 m2	1000,00	34000,00
1 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1812.00 m3	91000,00	91000,00
71 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.95 m2	1000,00	71000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 10.82 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	SG-101	Steam Generator Throughput = 569.44 kg/h	30000,00	30000,00
		Unlisted Equipment		77000,00
		TOTAL		383000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	383000,00
2. Installation	215000,00
3. Process Piping	134000,00
4. Instrumentation	153000,00
5. Insulation	11000,00
6. Electrical	38000,00
7. Buildings	38000,00
8. Yard Improvement	19000,00
9. Auxiliary Facilities	77000,00
TPDC	1069000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	107000,00
11. Construction	160000,00
TPIC	267000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	1336000,00
------------	-------------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	40000,00
13. Contingency	40000,00
CFC = 12+13	80000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	1417000,00
------------	-------------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	4,00	ton	512,00	0,04
Fe+3	0,00	66,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2077,00	MT	1038647,00	78,23
Methane	0,46	264000,00	kg	120648,00	9,09
Oxygen	0,00	1121157,00	kg	0,00	0,00
pH	0,00	2336,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	1,29
Sulfuric Acid	420,00	359,00	ton	150794,00	11,36
TDS	0,00	328350,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240570,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	332350544,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				1327698,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Cartrige Filter	10,00	69,00	item	687,00	1,31
NF	30,00	1053,00	m2	31582,00	60,45

UF	100,00	200,00	m2	19976,00	38,24
TOTAL				52245,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				2978304,00	100,00
Nihai Atik	150,00	19855,00	ton	2978304,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				2978304,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	1053,00	m2	5500,00	84,62
UF	5,00	200,00	m2	1000,00	15,38
TOTAL				6500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2169120,00	kW-h	216912,00	100,00
TOTAL				216912,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1328000,00	26,31
Labor-Dependent	75000,00	1,49
Facility-Dependent	383000,00	7,59
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,15
Consumables	52000,00	1,04
Waste Treatment/Disposal	2985000,00	59,13
Utilities	217000,00	4,30
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	5047000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	1417000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	42000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	1479000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	1479000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	344573,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	620231,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	620231,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	5047000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	5047000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	16,15	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	16,15	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 4,427,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 4,299,000	\$/yr
	Gross Margin	- 713.74	%
	Return On Investment	- 290.64	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Yilda Bir_Kağıt_Konvansiyonel_Doğal Gaz_[NFgevşek-NFsıki]-{iOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	1530000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	1530000,00 \$
Operating Cost	2330000,00 \$/yr
Revenues	653000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	329120738,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	7,08 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	7,08 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 256.78 %
Return On Investment	- 100.96 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 15,007,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
48 / 0 / 0	NFsıki	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.62 m2	1000,00	48000,00
36 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.53 m2	1000,00	36000,00
1 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1812.00 m3	91000,00	91000,00
78 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.80 m2	1000,00	78000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 10.82 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	SG-101	Steam Generator Throughput = 569.44 kg/h Unlisted Equipment	30000,00	30000,00
		TOTAL		397000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	397000,00
2. Installation	221000,00
3. Process Piping	139000,00
4. Instrumentation	159000,00
5. Insulation	12000,00
6. Electrical	40000,00
7. Buildings	40000,00
8. Yard Improvement	20000,00
9. Auxiliary Facilities	79000,00
TPDC	1106000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	111000,00
11. Construction	166000,00
TPIC	277000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	1383000,00
------------	-------------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	41000,00
13. Contingency	41000,00
CFC = 12+13	83000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	1466000,00
------------	-------------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	1,00	ton	86,00	0,01
Fe+3	0,00	66,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2077,00	MT	1038647,00	78,25
Methane	0,46	264000,00	kg	120648,00	9,09
Oxygen	0,00	1121157,00	kg	0,00	0,00
pH	0,00	2336,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	1,29
Sulfuric Acid	420,00	359,00	ton	150794,00	11,36
TDS	0,00	328350,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240570,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	332350544,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				1327272,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Cartridge Filter	10,00	73,00	item	727,00	1,30
NF	30,00	1108,00	m2	33249,00	59,55

UF	100,00	219,00	m2	21860,00	39,15
TOTAL				55836,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				244271,00	100,00
Nihai Atik	150,00	1628,00	ton	244271,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				244271,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	1108,00	m2	5500,00	84,62
UF	5,00	219,00	m2	1000,00	15,38
TOTAL				6500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2169120,00	kW-h	216912,00	100,00
TOTAL				216912,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1327000,00	56,97
Labor-Dependent	75000,00	3,23
Facility-Dependent	396000,00	17,00
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,32
Consumables	56000,00	2,40
Waste Treatment/Disposal	251000,00	10,77
Utilities	217000,00	9,31
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	2330000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	1466000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	44000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	1530000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	1530000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	362794,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	653028,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	653028,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	2330000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	2330000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	7,08	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	7,08	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,677,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,545,000	\$/yr
	Gross Margin	- 256.78	%
	Return On Investment	- 100.96	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Ayda Bir_Kağıt_Konvansiyonel_Doğal Gaz_[NFgevşek-NFsıki]-{İOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	1479000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	1479000,00	\$
Operating Cost	3062000,00	\$/yr
Revenues	620000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	312591228,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	9,79	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	9,79	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 393.61	%
Return On Investment	- 156.40	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 21,624,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
46 / 0 / 0	NFsıki	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.27 m2	1000,00	46000,00
34 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.76 m2	1000,00	34000,00
1 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1812.00 m3	91000,00	91000,00
71 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.95 m2	1000,00	71000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 10.82 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	SG-101	Steam Generator Throughput = 569.44 kg/h Unlisted Equipment	30000,00	30000,00
			TOTAL	383000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	383000,00
2. Installation	215000,00
3. Process Piping	134000,00
4. Instrumentation	153000,00
5. Insulation	11000,00
6. Electrical	38000,00
7. Buildings	38000,00
8. Yard Improvement	19000,00
9. Auxiliary Facilities	77000,00
TPDC	1069000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	107000,00
11. Construction	160000,00
TPIC	267000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	1336000,00
------------	-------------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	40000,00
13. Contingency	40000,00
CFC = 12+13	80000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	1417000,00
------------	-------------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	4,00	ton	512,00	0,04
Fe+3	0,00	66,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2077,00	MT	1038647,00	78,23
Methane	0,46	264000,00	kg	120648,00	9,09
Oxygen	0,00	1121157,00	kg	0,00	0,00
pH	0,00	2336,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	1,29
Sulfuric Acid	420,00	359,00	ton	150794,00	11,36
TDS	0,00	328350,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240570,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	332350544,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				1327698,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Cartrige Filter	10,00	69,00	item	687,00	1,31
NF	30,00	1053,00	m2	31582,00	60,45

UF	100,00	200,00	m2	19976,00	38,24
TOTAL				52245,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				992768,00	100,00
Nihai Atik	50,00	19855,00	ton	992768,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				992768,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	1053,00	m2	5500,00	84,62
UF	5,00	200,00	m2	1000,00	15,38
TOTAL				6500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2169120,00	kW-h	216912,00	100,00
TOTAL				216912,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1328000,00	43,37
Labor-Dependent	75000,00	2,46
Facility-Dependent	383000,00	12,51
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,25
Consumables	52000,00	1,71
Waste Treatment/Disposal	999000,00	32,63
Utilities	217000,00	7,09
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	3062000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	1417000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	42000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	1479000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	1479000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	344573,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	620231,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	620231,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	3062000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	3062000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	9,79	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	9,79	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 2,442,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 2,314,000	\$/yr
	Gross Margin	- 393.61	%
	Return On Investment	- 156.40	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Yılda Bir_Kağıt_Konvansiyonel_Doğal Gaz_[NFgevşek-NFsıki]-{İOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	1530000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	1530000,00	\$
Operating Cost	2167000,00	\$/yr
Revenues	653000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	329120738,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	6,58	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	6,58	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 231.84	%
Return On Investment	- 90.32	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 13,595,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
48 / 0 / 0	NFsıki	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.62 m2	1000,00	48000,00
36 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.53 m2	1000,00	36000,00
1 / 0 / 0	İOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1812.00 m3	91000,00	91000,00
78 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.80 m2	1000,00	78000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 10.82 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	SG-101	Steam Generator Throughput = 569.44 kg/h Unlisted Equipment	30000,00	30000,00
			TOTAL	397000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	397000,00
2. Installation	221000,00
3. Process Piping	139000,00
4. Instrumentation	159000,00
5. Insulation	12000,00
6. Electrical	40000,00
7. Buildings	40000,00
8. Yard Improvement	20000,00
9. Auxiliary Facilities	79000,00
TPDC	1106000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	111000,00
11. Construction	166000,00
TPIC	277000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	1383000,00
------------	-------------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	41000,00
13. Contingency	41000,00
CFC = 12+13	83000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	1466000,00
------------	-------------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	1,00	ton	86,00	0,01
Fe+3	0,00	66,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2077,00	MT	1038647,00	78,25
Methane	0,46	264000,00	kg	120648,00	9,09
Oxygen	0,00	1121157,00	kg	0,00	0,00
pH	0,00	2336,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	1,29
Sulfuric Acid	420,00	359,00	ton	150794,00	11,36
TDS	0,00	328350,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240570,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	332350544,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				1327272,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Cartrige Filter	10,00	73,00	item	727,00	1,30
NF	30,00	1108,00	m2	33249,00	59,55

UF	100,00	219,00	m2	21860,00	39,15
TOTAL				55836,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				81424,00	100,00
Nihai Atik	50,00	1628,00	ton	81424,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				81424,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	1108,00	m2	5500,00	84,62
UF	5,00	219,00	m2	1000,00	15,38
TOTAL				6500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2169120,00	kW-h	216912,00	100,00
TOTAL				216912,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1327000,00	61,25
Labor-Dependent	75000,00	3,47
Facility-Dependent	396000,00	18,28
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,35
Consumables	56000,00	2,58
Waste Treatment/Disposal	88000,00	4,06
Utilities	217000,00	10,01
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	2167000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	1466000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	44000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	1530000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	1530000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	362794,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	653028,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	653028,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	2167000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	2167000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	6,58	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	6,58	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,514,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,382,000	\$/yr
	Gross Margin	- 231.84	%
	Return On Investment	- 90.32	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Ayda Bir_Kağıt_Konvansiyonel_Atıl Isı_[NFgevşek-NFsıki]-{iOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	1297000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	1297000,00	\$
Operating Cost	4879000,00	\$/yr
Revenues	620000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	312591227,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	15,61	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	15,61	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 686.59	%
Return On Investment	- 319.64	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 37,337,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
46 / 0 / 0	NFsıki	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.27 m2	1000,00	46000,00
34 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.76 m2	1000,00	34000,00
1 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1812.00 m3	91000,00	91000,00
71 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.96 m2	1000,00	71000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 11.30 m2	35000,00	35000,00
		Unlisted Equipment		69000,00
			TOTAL	346000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	346000,00
2. Installation	165000,00
3. Process Piping	121000,00
4. Instrumentation	138000,00
5. Insulation	10000,00
6. Electrical	35000,00
7. Buildings	35000,00
8. Yard Improvement	17000,00
9. Auxiliary Facilities	69000,00
TPDC	936000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	94000,00
11. Construction	140000,00
TPIC	234000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	1170000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	35000,00
13. Contingency	35000,00
CFC = 12+13	70000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	1240000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	4,00	ton	512,00	0,04
Fe+3	0,00	66,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2077,00	MT	1038647,00	86,05
pH	0,00	2336,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	1,42
Sulfuric Acid	420,00	359,00	ton	150794,00	12,49
TDS	0,00	328350,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240570,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	332213046,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				1207050,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Cartridge Filter	10,00	69,00	item	687,00	1,31
NF	30,00	1053,00	m2	31585,00	60,45
UF	100,00	200,00	m2	19979,00	38,24
TOTAL				52251,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				2978305,00	100,00
Nihai Atik	150,00	19855,00	ton	2978305,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				2978305,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	1053,00	m2	5500,00	84,62
UF	5,00	200,00	m2	1000,00	15,38
TOTAL				6500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2169120,00	kW-h	216912,00	100,00
TOTAL				216912,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1207000,00	24,74
Labor-Dependent	75000,00	1,54
Facility-Dependent	335000,00	6,87
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,15
Consumables	52000,00	1,07
Waste Treatment/Disposal	2985000,00	61,18
Utilities	217000,00	4,45
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	4879000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	1240000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	37000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	1297000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	1297000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	344573,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	620231,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	620231,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	4879000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	4879000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	15,61	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	15,61	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 4,259,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 4,147,000	\$/yr
	Gross Margin	- 686.59	%
	Return On Investment	- 319.64	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Yılda Bir_Kağıt_Konvansiyonel_Atıl Isı_[NFgevşek-NFsıki]-{iOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	1348000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	1348000,00	\$
Operating Cost	2161000,00	\$/yr
Revenues	653000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	329120738,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	6,57	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	6,57	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 231.00	%
Return On Investment	- 103.28	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 13,499,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
48 / 0 / 0	NFsıki	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.62 m2	1000,00	48000,00
36 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.53 m2	1000,00	36000,00
1 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1812.00 m3	91000,00	91000,00
78 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.80 m2	1000,00	78000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 11.27 m2	35000,00	35000,00
		Unlisted Equipment		72000,00
			TOTAL	360000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	360000,00
2. Installation	171000,00
3. Process Piping	126000,00
4. Instrumentation	144000,00
5. Insulation	11000,00
6. Electrical	36000,00
7. Buildings	36000,00
8. Yard Improvement	18000,00
9. Auxiliary Facilities	72000,00
TPDC	973000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	97000,00
11. Construction	146000,00
TPIC	243000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	1216000,00
------------	-------------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	36000,00
13. Contingency	36000,00
CFC = 12+13	73000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	1289000,00
------------	-------------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	1,00 ton	86,00	0,01
Fe+3	0,00	66,00 kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2077,00 MT	1038647,00	86,08
pH	0,00	2336,00 kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00 ton	17097,00	1,42
Sulfuric Acid	420,00	359,00 ton	150794,00	12,50
TDS	0,00	328350,00 kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240570,00 kg	0,00	0,00
Water	0,00	332213046,00 kg	0,00	0,00
TOTAL			1206624,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Cartridge Filter	10,00	73,00 item	727,00	1,30
NF	30,00	1108,00 m2	33250,00	59,55
UF	100,00	219,00 m2	21862,00	39,15
TOTAL			55839,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				244271,00	100,00
Nihai Atik	150,00	1628,00	ton	244271,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				244271,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	1108,00	m2	5500,00	84,62
UF	5,00	219,00	m2	1000,00	15,38
TOTAL				6500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2169120,00	kW-h	216912,00	100,00
TOTAL				216912,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1207000,00	55,82
Labor-Dependent	75000,00	3,48
Facility-Dependent	348000,00	16,12
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,35
Consumables	56000,00	2,58
Waste Treatment/Disposal	251000,00	11,61
Utilities	217000,00	10,04
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	2161000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	1289000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	39000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	1348000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	1348000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	362794,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	653028,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	653028,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	2161000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	2161000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	6,57	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	6,57	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,509,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,393,000	\$/yr
	Gross Margin	- 231.00	%
	Return On Investment	- 103.28	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Ayda Bir_Kağıt_Konvansiyonel_Atıl Isı_[NFgevşek-NFsıki]-{iOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	1297000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	1297000,00	\$
Operating Cost	2893000,00	\$/yr
Revenues	620000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	312591227,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	9,26	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	9,26	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 366.46	%
Return On Investment	- 166.58	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 20,116,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
46 / 0 / 0	NFsıki	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.27 m2	1000,00	46000,00
34 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.76 m2	1000,00	34000,00
1 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1812.00 m3	91000,00	91000,00
71 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.96 m2	1000,00	71000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 11.30 m2 Unlisted Equipment	35000,00	35000,00
			TOTAL	346000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	346000,00
2. Installation	165000,00
3. Process Piping	121000,00
4. Instrumentation	138000,00
5. Insulation	10000,00
6. Electrical	35000,00
7. Buildings	35000,00
8. Yard Improvement	17000,00
9. Auxiliary Facilities	69000,00
TPDC	936000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	94000,00
11. Construction	140000,00
TPIC	234000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	1170000,00
------------	-------------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	35000,00
13. Contingency	35000,00
CFC = 12+13	70000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	1240000,00
------------	-------------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	4,00 ton	512,00	0,04
Fe+3	0,00	66,00 kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2077,00 MT	1038647,00	86,05
pH	0,00	2336,00 kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00 ton	17097,00	1,42
Sulfuric Acid	420,00	359,00 ton	150794,00	12,49
TDS	0,00	328350,00 kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240570,00 kg	0,00	0,00
Water	0,00	332213046,00 kg	0,00	0,00
TOTAL			1207050,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Cartridge Filter	10,00	69,00 item	687,00	1,31
NF	30,00	1053,00 m2	31585,00	60,45
UF	100,00	200,00 m2	19979,00	38,24
TOTAL			52251,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				992768,00	100,00
Nihai Atik	50,00	19855,00	ton	992768,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				992768,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	1053,00	m2	5500,00	84,62
UF	5,00	200,00	m2	1000,00	15,38
TOTAL				6500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2169120,00	kW-h	216912,00	100,00
TOTAL				216912,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1207000,00	41,72
Labor-Dependent	75000,00	2,60
Facility-Dependent	335000,00	11,58
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,26
Consumables	52000,00	1,81
Waste Treatment/Disposal	999000,00	34,53
Utilities	217000,00	7,50
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	2893000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	1240000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	37000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	1297000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	1297000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	344573,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	620231,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	620231,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	2893000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	2893000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	9,26	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	9,26	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 2,273,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 2,162,000	\$/yr
	Gross Margin	- 366.46	%
	Return On Investment	- 166.58	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Yılda Bir_Kağıt_Konvansiyonel_Atıl Isı_[NFgevşek-NFsıki]-{İOP-UF}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	1348000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	1348000,00	\$
Operating Cost	1999000,00	\$/yr
Revenues	653000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	329120738,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	6,07	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	6,07	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 206.06	%
Return On Investment	- 91.20	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 12,086,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
48 / 0 / 0	NFsıki	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.62 m2	1000,00	48000,00
36 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.53 m2	1000,00	36000,00
1 / 0 / 0	İOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1812.00 m3	91000,00	91000,00
78 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.80 m2	1000,00	78000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 11.27 m2 Unlisted Equipment	35000,00	35000,00
			TOTAL	360000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	360000,00
2. Installation	171000,00
3. Process Piping	126000,00
4. Instrumentation	144000,00
5. Insulation	11000,00
6. Electrical	36000,00
7. Buildings	36000,00
8. Yard Improvement	18000,00
9. Auxiliary Facilities	72000,00
TPDC	973000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	97000,00
11. Construction	146000,00
TPIC	243000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	1216000,00
------------	-------------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	36000,00
13. Contingency	36000,00
CFC = 12+13	73000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	1289000,00
------------	-------------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	1,00 ton	86,00	0,01
Fe+3	0,00	66,00 kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2077,00 MT	1038647,00	86,08
pH	0,00	2336,00 kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00 ton	17097,00	1,42
Sulfuric Acid	420,00	359,00 ton	150794,00	12,50
TDS	0,00	328350,00 kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240570,00 kg	0,00	0,00
Water	0,00	332213046,00 kg	0,00	0,00
TOTAL			1206624,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Cartridge Filter	10,00	73,00 item	727,00	1,30
NF	30,00	1108,00 m2	33250,00	59,55
UF	100,00	219,00 m2	21862,00	39,15
TOTAL			55839,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				81424,00	100,00
Nihai Atik	50,00	1628,00	ton	81424,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				81424,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	1108,00	m2	5500,00	84,62
UF	5,00	219,00	m2	1000,00	15,38
TOTAL				6500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	2169120,00	kW-h	216912,00	100,00
TOTAL				216912,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1207000,00	60,37
Labor-Dependent	75000,00	3,77
Facility-Dependent	348000,00	17,43
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,38
Consumables	56000,00	2,79
Waste Treatment/Disposal	88000,00	4,41
Utilities	217000,00	10,85
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1999000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	1289000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	39000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	1348000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	1348000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	362794,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	653028,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	653028,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1999000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1999000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	6,07	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	6,07	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,346,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,230,000	\$/yr
	Gross Margin	- 206.06	%
	Return On Investment	- 91.20	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Ayda Bir_Tekstil_Konvansiyonel UF Konsantre Aritımı_[UF-{[OP-UF]}]-[NFsıki-TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	374000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	374000,00	\$
Operating Cost	1898000,00	\$/yr
Revenues	646000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	325804165,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	5,83	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	5,83	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 193.68	%
Return On Investment	- 326.52	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 11,019,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	UF	Ultrafilter Membrane Area = 39.22 m2	1000,00	17000,00
22 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.14 m2	1000,00	22000,00
13 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.74 m2	1000,00	13000,00
5 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 34.71 m2	1000,00	5000,00
5 / 0 / 0	V-101	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 380.00 m3 Unlisted Equipment	4000,00	20000,00
			TOTAL	95000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	95000,00
2. Installation	48000,00
3. Process Piping	33000,00
4. Instrumentation	38000,00
5. Insulation	3000,00
6. Electrical	10000,00
7. Buildings	10000,00
8. Yard Improvement	5000,00
9. Auxiliary Facilities	19000,00
TPDC	259000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	26000,00
11. Construction	39000,00
TPIC	65000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	324000,00
------------	------------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	10000,00
13. Contingency	10000,00
CFC = 12+13	19000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	344000,00
------------	------------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Turk Muhendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Turk Operator	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	2,00	ton	254,00	0,03
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	1396,00	MT	697785,00	94,78
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	2,32
Sulfuric Acid	420,00	50,00	ton	21084,00	2,86
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106438,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				736220,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
NF	30,00	287,00	m2	8611,00	22,50
Cartridge Filter	10,00	34,00	item	343,00	0,90
UF	100,00	242,00	m2	24151,00	63,10
RO	30,00	172,00	m2	5167,00	13,50
TOTAL				38272,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				639351,00	100,00
Nihai Atik	150,00	4262,00	ton	639351,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				639351,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	287,00	m2	1500,00	42,86
UF	5,00	242,00	m2	1000,00	28,57
RO	5,00	172,00	m2	1000,00	28,57
TOTAL				3500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	3052955,00	kW-h	305296,00	100,00
TOTAL				305296,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	736000,00	38,78
Labor-Dependent	75000,00	3,96
Facility-Dependent	93000,00	4,89
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,40
Consumables	38000,00	2,02
Waste Treatment/Disposal	643000,00	33,87
Utilities	305000,00	16,08
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1898000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	344000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	10000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	374000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	374000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	359138,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	646448,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	646448,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1898000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1898000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	5,83	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	5,83	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,253,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,222,000	\$/yr
	Gross Margin	- 193.68	%
	Return On Investment	- 326.52	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Yılda Bir_Tekstil_Konvansiyonel UF Konsantre Aritımı_[UF-~~{iOP-UF}~~]-[NFsıki-TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	379000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	379000,00	\$
Operating Cost	1314000,00	\$/yr
Revenues	653000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	329342999,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 101.04	%
Return On Investment	- 166.10	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 5,888,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	UF	Ultrafilter Membrane Area = 39.22 m2	1000,00	17000,00
22 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.56 m2	1000,00	22000,00
14 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 37.30 m2	1000,00	14000,00
5 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 36.13 m2	1000,00	5000,00
5 / 0 / 0	V-101	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 380.00 m3 Unlisted Equipment	4000,00	20000,00
			TOTAL	96000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	96000,00
2. Installation	48000,00
3. Process Piping	34000,00
4. Instrumentation	39000,00
5. Insulation	3000,00
6. Electrical	10000,00
7. Buildings	10000,00
8. Yard Improvement	5000,00
9. Auxiliary Facilities	19000,00
TPDC	263000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	26000,00
11. Construction	39000,00
TPIC	66000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	328000,00
------------	------------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	10000,00
13. Contingency	10000,00
CFC = 12+13	20000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	348000,00
------------	------------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Turk Muhendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Turk Operator	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	2,00	ton	254,00	0,03
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	1396,00	MT	697785,00	94,78
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	2,32
Sulfuric Acid	420,00	50,00	ton	21084,00	2,86
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106438,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				736220,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
NF	30,00	290,00	m2	8704,00	22,61
Cartridge Filter	10,00	34,00	item	343,00	0,89
UF	100,00	242,00	m2	24230,00	62,94
RO	30,00	174,00	m2	5222,00	13,56
TOTAL				38499,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				53160,00	100,00
Nihai Atik	150,00	354,00	ton	53160,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				53160,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
NF	5,00	290,00	m2	1500,00	42,86
UF	5,00	242,00	m2	1000,00	28,57
RO	5,00	174,00	m2	1000,00	28,57
TOTAL				3500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	3052955,00	kW-h	305296,00	100,00
TOTAL				305296,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	736000,00	56,04
Labor-Dependent	75000,00	5,73
Facility-Dependent	94000,00	7,16
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,57
Consumables	38000,00	2,93
Waste Treatment/Disposal	57000,00	4,33
Utilities	305000,00	23,24
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1314000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	348000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	10000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	379000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	379000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	363039,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	653469,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	653469,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1314000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1314000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	3,99	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 661,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 629,000	\$/yr
	Gross Margin	- 101.04	%
	Return On Investment	- 166.10	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Ayda Bir_Tekstil_Konvansiyonel UF Konsantre Aritımı_[UF-~~{iOP-UF}~~]-[NFsıki-TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	374000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	374000,00	\$
Operating Cost	1472000,00	\$/yr
Revenues	646000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	325804165,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	4,52	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	4,52	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 127.74	%
Return On Investment	- 212.54	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 7,322,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	UF	Ultrafilter Membrane Area = 39.22 m2	1000,00	17000,0
22 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.14 m2	1000,00	22000,0
13 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.74 m2	1000,00	13000,0
5 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 34.71 m2	1000,00	5000,0
5 / 0 / 0	V-101	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 380.00 m3 Unlisted Equipment	4000,00	20000,0
			TOTAL	95000,0

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	95000,0
2. Installation	48000,0
3. Process Piping	33000,0
4. Instrumentation	38000,0
5. Insulation	3000,0
6. Electrical	10000,0
7. Buildings	10000,0
8. Yard Improvement	5000,0
9. Auxiliary Facilities	19000,0
TPDC	259000,0

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	26000,0
11. Construction	39000,0
TPIC	65000,0

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	324000,0
------------	-----------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	10000,0
13. Contingency	10000,0
CFC = 12+13	19000,0

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	344000,0
------------	-----------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	9
Operator	0,00	0,00	0,00	0,0
Turk Muhendis	9,10	2614,00	23784,00	31,6
Turk Operator	6,50	7920,00	51480,00	68,4
TOTAL		10534,00	75264,00	100,0

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	9
Fe+2	130,00	2,00	ton	254,00	0,0
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,0
Hydroje Peroxid	500,00	1396,00	MT	697785,00	94,7
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,0
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	2,3
Sulfuric Acid	420,00	50,00	ton	21084,00	2,8
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,0
TOC	0,00	106438,00	kg	0,00	0,0
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,0
TOTAL				736220,00	100,0

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	9
NF	30,00	287,00	m2	8611,00	22,5
Cartridge Filter	10,00	34,00	item	343,00	0,9
UF	100,00	242,00	m2	24151,00	63,1
RO	30,00	172,00	m2	5167,00	13,5
TOTAL				38272,00	100,0

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	9
Solid Waste				0,00	0,0
Aqueous Liquid				213117,00	100,0
Nihai Atik	50,00	4262,00	ton	213117,00	100,0
Organic Liquid				0,00	0,0
Emissions				0,00	0,0
TOTAL				213117,00	100,0

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	9
NF	5,00	287,00	m2	1500,00	42,8
UF	5,00	242,00	m2	1000,00	28,5
RO	5,00	172,00	m2	1000,00	28,5
TOTAL				3500,00	100,0

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	9
Std Power	0,10	3052955,00	kW-h	305296,00	100,0
TOTAL				305296,00	100,0

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	9
Raw Materials	736000,00	50,0
Labor-Dependent	75000,00	5,1
Facility-Dependent	93000,00	6,3
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,5
Consumables	38000,00	2,6
Waste Treatment/Disposal	217000,00	14,7
Utilities	305000,00	20,7
Transportation	0,00	0,0
Miscellaneous	0,00	0,0
Advertising/Selling	0,00	0,0
Running Royalties	0,00	0,0
Failed Product Disposal	0,00	0,0
TOTAL	1472000,00	100,0

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	344000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	10000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	374000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	374000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	359138,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	646448,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	646448,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1472000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1472000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	4,52	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	4,52	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 826,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 795,000	\$/yr
	Gross Margin	- 127.74	%
	Return On Investment	- 212.54	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Yılda Bir_Tekstil_Konvansiyonel UF Konsantre Aritımı_[UF-~~{iOP-UF}~~]-[NFsıki-TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	379000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	379000,00	\$
Operating Cost	1278000,00	\$/yr
Revenues	653000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	329342999,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	3,88	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	3,88	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 95.62	%
Return On Investment	- 156.74	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 5,581,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	UF	Ultrafilter Membrane Area = 39.22 m2	1000,00	17000,0
22 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.56 m2	1000,00	22000,0
14 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 37.30 m2	1000,00	14000,0
5 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 36.13 m2	1000,00	5000,0
5 / 0 / 0	V-101	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 380.00 m3 Unlisted Equipment	4000,00	20000,0
			TOTAL	96000,0

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	96000,0
2. Installation	48000,0
3. Process Piping	34000,0
4. Instrumentation	39000,0
5. Insulation	3000,0
6. Electrical	10000,0
7. Buildings	10000,0
8. Yard Improvement	5000,0
9. Auxiliary Facilities	19000,0
TPDC	263000,0

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	26000,0
11. Construction	39000,0
TPIC	66000,0

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC	328000,0
------------	-----------------

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee	10000,0
13. Contingency	10000,0
CFC = 12+13	20000,0

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC	348000,0
------------	-----------------

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	€
Operator	0,00	0,00	0,00	0,0
Turk Muhendis	9,10	2614,00	23784,00	31,6
Turk Operator	6,50	7920,00	51480,00	68,4
TOTAL		10534,00	75264,00	100,0

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Unit	Annual Cost (\$)	€
Fe+2	130,00	2,00	ton	254,00	0,0
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,0
Hydroje Peroxid	500,00	1396,00	MT	697785,00	94,7
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,0
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	2,3
Sulfuric Acid	420,00	50,00	ton	21084,00	2,8
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,0
TOC	0,00	106438,00	kg	0,00	0,0
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,0
TOTAL				736220,00	100,0

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount	Unit	Annual Cost (\$)	€
NF	30,00	290,00	m2	8704,00	22,6
Cartridge Filter	10,00	34,00	item	343,00	0,8
UF	100,00	242,00	m2	24230,00	62,9
RO	30,00	174,00	m2	5222,00	13,5
TOTAL				38499,00	100,0

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	¢
Solid Waste				0,00	0,0
Aqueous Liquid				17720,00	100,0
Nihai Atik	50,00	354,00	ton	17720,00	100,0
Organic Liquid				0,00	0,0
Emissions				0,00	0,0
TOTAL				17720,00	100,0

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	¢
NF	5,00	290,00	m2	1500,00	42,8
UF	5,00	242,00	m2	1000,00	28,5
RO	5,00	174,00	m2	1000,00	28,5
TOTAL				3500,00	100,0

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	¢
Std Power	0,10	3052955,00	kW-h	305296,00	100,0
TOTAL				305296,00	100,0

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	¢
Raw Materials	736000,00	57,5
Labor-Dependent	75000,00	5,8
Facility-Dependent	94000,00	7,3
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,5
Consumables	38000,00	3,0
Waste Treatment/Disposal	21000,00	1,6
Utilities	305000,00	23,8
Transportation	0,00	0,0
Miscellaneous	0,00	0,0
Advertising/Selling	0,00	0,0
Running Royalties	0,00	0,0
Failed Product Disposal	0,00	0,0
TOTAL	1278000,00	100,0

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	348000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	10000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	379000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	379000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	363039,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	653469,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	653469,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1278000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1278000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	3,88	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	3,88	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 625,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 594,000	\$/yr
	Gross Margin	- 95.62	%
	Return On Investment	- 156.74	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Ayda Bir_Tekstil_Önerilen_{[OP-UF]}-[NFsıki]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	784000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	784000,00 \$
Operating Cost	3441000,00 \$/yr
Revenues	620000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	312632698,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	11,01 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	11,01 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 454.74 %
Return On Investment	- 351.45 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 24,733,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
18 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1639.00 m3	5000,00	90000,00
18 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 38.79 m2	1000,00	18000,00
64 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.44 m2	1000,00	64000,00
		Unlisted Equipment		41000,00
		TOTAL		205000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	205000,00
2. Installation	102000,00
3. Process Piping	72000,00
4. Instrumentation	82000,00
5. Insulation	6000,00
6. Electrical	20000,00
7. Buildings	20000,00
8. Yard Improvement	10000,00
9. Auxiliary Facilities	41000,00
TPDC	559000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	56000,00
11. Construction	84000,00
TPIC	140000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC 699000,00

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee 21000,00

13. Contingency 21000,00

CFC = 12+13 42000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC 741000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	7,00	ton	869,00	0,23
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	584,00	MT	292215,00	77,21
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,52
Sulfuric Acid	420,00	163,00	ton	68293,00	18,04
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				378474,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	78,00	m2	7759,00	31,56
NF	30,00	561,00	m2	16827,00	68,44
TOTAL				24586,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Solid Waste			0,00	0,00
Aqueous Liquid			2700098,00	100,00
Nihai Atik	150,00	18001,00 ton	2700098,00	100,00
Organic Liquid			0,00	0,00
Emissions			0,00	0,00
TOTAL			2700098,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount	Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	78,00 m2	500,00	14,29
NF	5,00	561,00 m2	3000,00	85,71
TOTAL			3500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	516203,00	kW-h	51620,00	100,00
TOTAL				51620,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	378000,00	11,00
Labor-Dependent	75000,00	2,19
Facility-Dependent	200000,00	5,82
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,22
Consumables	25000,00	0,71
Waste Treatment/Disposal	2703000,00	78,56
Utilities	52000,00	1,50
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	3441000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	741000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$
C.	Startup Cost	22000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$

F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	784000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	784000,00 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	344619,00 ton /yr
I. Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J. Revenues/Savings		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	620313,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	620313,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	3441000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	3441000,00 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	11,01 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	11,01 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 2,821,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 2,754,000 \$/yr
	Gross Margin	- 454.74 %
	Return On Investment	- 351.45 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Yılda Bir_Tekstil_Önerilen_{[OP-UF]-[NFsıkı]}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	802000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	802000,00	\$
Operating Cost	968000,00	\$/yr
Revenues	650000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	327612341,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	2,96	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	2,96	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 48.98	%
Return On Investment	- 31.14	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 3,034,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
19 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1639.00 m3	4000,00	76000,00
19 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 38.51 m2	1000,00	19000,00
67 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.48 m2	1000,00	67000,00
		Unlisted Equipment		42000,00
		TOTAL		210000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	210000,00
2. Installation	105000,00
3. Process Piping	73000,00
4. Instrumentation	84000,00
5. Insulation	6000,00
6. Electrical	21000,00
7. Buildings	21000,00
8. Yard Improvement	10000,00
9. Auxiliary Facilities	42000,00
TPDC	573000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	57000,00
11. Construction	86000,00
TPIC	143000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC 716000,00

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee 21000,00

13. Contingency 21000,00

CFC = 12+13 43000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC 759000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	1,00	ton	124,00	0,03
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	584,00	MT	292215,00	77,36
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,53
Sulfuric Acid	420,00	163,00	ton	68293,00	18,08
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				377729,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	81,00	m2	8130,00	31,56
NF	30,00	588,00	m2	17632,00	68,44
TOTAL				25762,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				221935,00	100,00
Nihai Atik	150,00	1480,00	ton	221935,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				221935,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	81,00	m2	500,00	14,29
NF	5,00	588,00	m2	3000,00	85,71
TOTAL				3500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	516203,00	kW-h	51620,00	100,00
TOTAL				51620,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	378000,00	39,00
Labor-Dependent	75000,00	7,77
Facility-Dependent	205000,00	21,19
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,78
Consumables	26000,00	2,66
Waste Treatment/Disposal	225000,00	23,26
Utilities	52000,00	5,33
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	968000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	759000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$
C.	Startup Cost	23000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$

F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	802000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	802000,00 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	361131,00 ton /yr
I. Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J. Revenues/Savings		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	650035,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	650035,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	968000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	968000,00 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	2,96 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	2,96 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 319,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 250,000 \$/yr
	Gross Margin	- 48.98 %
	Return On Investment	- 31.14 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Ayda Bir_Tekstil_Önerilen_{[OP-UF]-[NFSıkı]}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	784000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	784000,00 \$
Operating Cost	1641000,00 \$/yr
Revenues	620000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	312632698,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	5,25 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	5,25 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 164.55 %
Return On Investment	- 121.73 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 9,121,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
18 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1639.00 m3	5000,00	90000,00
18 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 38.79 m2	1000,00	18000,00
64 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.44 m2	1000,00	64000,00
		Unlisted Equipment		41000,00
		TOTAL		205000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	205000,00
2. Installation	102000,00
3. Process Piping	72000,00
4. Instrumentation	82000,00
5. Insulation	6000,00
6. Electrical	20000,00
7. Buildings	20000,00
8. Yard Improvement	10000,00
9. Auxiliary Facilities	41000,00
TPDC	559000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	56000,00
11. Construction	84000,00
TPIC	140000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC 699000,00

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee 21000,00

13. Contingency 21000,00

CFC = 12+13 42000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC 741000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	7,00	ton	869,00	0,23
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	584,00	MT	292215,00	77,21
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,52
Sulfuric Acid	420,00	163,00	ton	68293,00	18,04
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				378474,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	78,00	m2	7759,00	31,55
NF	30,00	561,00	m2	16827,00	68,44
TOTAL				24586,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Solid Waste			0,00	0,00
Aqueous Liquid			900033,00	100,00
Nihai Atik	50,00	18001,00 ton	900033,00	100,00
Organic Liquid			0,00	0,00
Emissions			0,00	0,00
TOTAL			900033,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount	Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	78,00 m2	500,00	14,29
NF	5,00	561,00 m2	3000,00	85,71
TOTAL			3500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	516203,00	kW-h	51620,00	100,00
TOTAL				51620,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	378000,00	23,06
Labor-Dependent	75000,00	4,59
Facility-Dependent	200000,00	12,21
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,46
Consumables	25000,00	1,50
Waste Treatment/Disposal	903000,00	55,04
Utilities	52000,00	3,15
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1641000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	741000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$
C.	Startup Cost	22000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$

F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	784000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	784000,00 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	344619,00 ton /yr
I. Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J. Revenues/Savings		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	620313,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	620313,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1641000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1641000,00 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	5,25 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	5,25 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,021,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 954,000 \$/yr
	Gross Margin	- 164.55 %
	Return On Investment	- 121.73 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sifira Yakın Deşarj_Yilda Bir_Tekstil_Önerilen_{[OP-UF]-[NFsıki]}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	802000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	802000,00 \$
Operating Cost	820000,00 \$/yr
Revenues	650000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	327612341,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	2,50 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	2,50 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 26.22 %
Return On Investment	- 12.70 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 1,751,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
19 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1639.00 m3	4000,00	76000,00
19 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 38.51 m2	1000,00	19000,00
67 / 0 / 0	NF1	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.48 m2	1000,00	67000,00
		Unlisted Equipment		42000,00
		TOTAL		210000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	210000,00
2. Installation	105000,00
3. Process Piping	73000,00
4. Instrumentation	84000,00
5. Insulation	6000,00
6. Electrical	21000,00
7. Buildings	21000,00
8. Yard Improvement	10000,00
9. Auxiliary Facilities	42000,00
TPDC	573000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	57000,00
11. Construction	86000,00
TPIC	143000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC 716000,00

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee 21000,00

13. Contingency 21000,00

CFC = 12+13 43000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC 759000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	1,00	ton	124,00	0,03
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	584,00	MT	292215,00	77,36
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,53
Sulfuric Acid	420,00	163,00	ton	68293,00	18,08
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				377729,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	81,00	m2	8130,00	31,55
NF	30,00	588,00	m2	17632,00	68,44
TOTAL				25762,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Solid Waste			0,00	0,00
Aqueous Liquid			73978,00	100,00
Nihai Atik	50,00	1480,00 ton	73978,00	100,00
Organic Liquid			0,00	0,00
Emissions			0,00	0,00
TOTAL			73978,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount	Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	81,00 m2	500,00	14,29
NF	5,00	588,00 m2	3000,00	85,71
TOTAL			3500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	516203,00	kW-h	51620,00	100,00
TOTAL				51620,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	378000,00	46,04
Labor-Dependent	75000,00	9,17
Facility-Dependent	205000,00	25,02
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,92
Consumables	26000,00	3,14
Waste Treatment/Disposal	77000,00	9,42
Utilities	52000,00	6,29
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	820000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	759000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$
C.	Startup Cost	23000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$

F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	802000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	802000,00 \$
H.	Revenue/Savings Rates	
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	361131,00 ton /yr
I.	Revenue/Savings Price	
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J.	Revenues/Savings	
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	650035,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	650035,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)	
1,00	Actual AOC	820000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	820000,00 \$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue	
	Unit Production Cost	2,50 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	2,50 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 171,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 102,000 \$/yr
	Gross Margin	- 26.22 %
	Return On Investment	- 12.70 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Ayda Bir_Tekstil_Önerilen_{IOP-UF}-[TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	839000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	839000,00 \$
Operating Cost	3586000,00 \$/yr
Revenues	619000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	312221119,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	11,49 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	11,49 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 478.93 %
Return On Investment	- 344.87 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 26,015,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1679.00 m3	5000,00	85000,00
17 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 37.81 m2	1000,00	17000,00
75 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.61 m2	1000,00	75000,00
		Unlisted Equipment		44000,00
		TOTAL		220000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	220000,00
2. Installation	110000,00
3. Process Piping	77000,00
4. Instrumentation	88000,00
5. Insulation	7000,00
6. Electrical	22000,00
7. Buildings	22000,00
8. Yard Improvement	11000,00
9. Auxiliary Facilities	44000,00
TPDC	600000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	60000,00
11. Construction	90000,00
TPIC	150000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC 751000,00

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee 23000,00

13. Contingency 23000,00

CFC = 12+13 45000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC 796000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	9,00	ton	1153,00	0,30
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	583,00	MT	291571,00	76,77
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,50
Sulfuric Acid	420,00	167,00	ton	69973,00	18,42
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				379795,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	71,00	m2	7143,00	26,50
RO	30,00	660,00	m2	19806,00	73,50
TOTAL				26949,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Solid Waste			0,00	0,00
Aqueous Liquid			2768940,00	100,00
Nihai Atik	150,00	18460,00 ton	2768940,00	100,00
Organic Liquid			0,00	0,00
Emissions			0,00	0,00
TOTAL			2768940,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount	Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	71,00 m2	500,00	12,50
RO	5,00	660,00 m2	3500,00	87,50
TOTAL			4000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	1092907,00	kW-h	109291,00	100,00
TOTAL				109291,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	380000,00	10,59
Labor-Dependent	75000,00	2,10
Facility-Dependent	215000,00	6,00
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,21
Consumables	27000,00	0,75
Waste Treatment/Disposal	2773000,00	77,31
Utilities	109000,00	3,05
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	3586000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	796000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$
C.	Startup Cost	24000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$

F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	839000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	839000,00 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	344165,00 ton /yr
I. Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J. Revenues/Savings		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	619497,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	619497,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	3586000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	3586000,00 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	11,49 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	11,49 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 2,967,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 2,896,000 \$/yr
	Gross Margin	- 478.93 %
	Return On Investment	- 344.87 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Yılda Bir_Tekstil_Önerilen_{IOP-UF}-[TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	853000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	853000,00 \$
Operating Cost	1051000,00 \$/yr
Revenues	650000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	327568882,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	3,21 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	3,21 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 61.77 %
Return On Investment	- 38.48 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 3,768,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1679.00 m3	5000,00	85000,00
17 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.67 m2	1000,00	17000,00
78 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.96 m2	1000,00	78000,00
		Unlisted Equipment		45000,00
			TOTAL	224000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	224000,00
2. Installation	112000,00
3. Process Piping	78000,00
4. Instrumentation	89000,00
5. Insulation	7000,00
6. Electrical	22000,00
7. Buildings	22000,00
8. Yard Improvement	11000,00
9. Auxiliary Facilities	45000,00
TPDC	611000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	61000,00
11. Construction	92000,00
TPIC	153000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC 763000,00

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee 23000,00

13. Contingency 23000,00

CFC = 12+13 46000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC 809000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	2,00	ton	207,00	0,05
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	583,00	MT	291571,00	76,96
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,51
Sulfuric Acid	420,00	167,00	ton	69973,00	18,47
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				378849,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	75,00	m2	7493,00	26,50
RO	30,00	693,00	m2	20778,00	73,50
TOTAL				28271,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Solid Waste			0,00	0,00
Aqueous Liquid			229684,00	100,00
Nihai Atik	150,00	1531,00 ton	229684,00	100,00
Organic Liquid			0,00	0,00
Emissions			0,00	0,00
TOTAL			229684,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount	Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	75,00 m2	500,00	12,50
RO	5,00	693,00 m2	3500,00	87,50
TOTAL			4000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	1092907,00	kW-h	109291,00	100,00
TOTAL				109291,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	379000,00	36,03
Labor-Dependent	75000,00	7,16
Facility-Dependent	219000,00	20,80
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,72
Consumables	28000,00	2,69
Waste Treatment/Disposal	234000,00	22,21
Utilities	109000,00	10,39
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1051000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	809000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$
C.	Startup Cost	24000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$

F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	853000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	853000,00 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	361083,00 ton /yr
I. Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J. Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	649949,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	649949,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1051000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1051000,00 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	3,21 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	3,21 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 402,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 329,000 \$/yr
	Gross Margin	- 61.77 %
	Return On Investment	- 38.48 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Ayda Bir_Tekstil_Önerilen_{İOP-UF}-[TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	839000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	839000,00	\$
Operating Cost	1740000,00	\$/yr
Revenues	619000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	312221119,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	5,57	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	5,57	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 180.95	%
Return On Investment	- 124.98	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 10,005,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1679.00 m3	5000,00	85000,00
17 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 37.81 m2	1000,00	17000,00
75 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.61 m2	1000,00	75000,00
		Unlisted Equipment		44000,00
			TOTAL	220000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	220000,00
2. Installation	110000,00
3. Process Piping	77000,00
4. Instrumentation	88000,00
5. Insulation	7000,00
6. Electrical	22000,00
7. Buildings	22000,00
8. Yard Improvement	11000,00
9. Auxiliary Facilities	44000,00
TPDC	600000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	60000,00
11. Construction	90000,00
TPIC	150000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC 751000,00

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee 23000,00

13. Contingency 23000,00

CFC = 12+13 45000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC 796000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	9,00	ton	1153,00	0,30
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	583,00	MT	291571,00	76,77
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,50
Sulfuric Acid	420,00	167,00	ton	69973,00	18,42
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				379795,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	71,00	m2	7143,00	26,50
RO	30,00	660,00	m2	19806,00	73,49
TOTAL				26949,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Solid Waste			0,00	0,00
Aqueous Liquid			922980,00	100,00
Nihai Atik	50,00	18460,00 ton	922980,00	100,00
Organic Liquid			0,00	0,00
Emissions			0,00	0,00
TOTAL			922980,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount	Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	71,00 m2	500,00	12,50
RO	5,00	660,00 m2	3500,00	87,50
TOTAL			4000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	1092907,00	kW-h	109291,00	100,00
TOTAL				109291,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	380000,00	21,82
Labor-Dependent	75000,00	4,32
Facility-Dependent	215000,00	12,35
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,43
Consumables	27000,00	1,55
Waste Treatment/Disposal	927000,00	53,24
Utilities	109000,00	6,28
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1740000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	796000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$
C.	Startup Cost	24000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$

F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	839000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	839000,00 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	344165,00 ton /yr
I. Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J. Revenues/Savings		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	619497,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	619497,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1740000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1740000,00 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	5,57 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	5,57 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,121,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,050,000 \$/yr
	Gross Margin	- 180.95 %
	Return On Investment	- 124.98 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Yılda Bir_Tekstil_Önerilen_{IOP-UF}-[TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	853000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	853000,00	\$
Operating Cost	898000,00	\$/yr
Revenues	650000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	327568882,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	2,74	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	2,74	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 38.21	%
Return On Investment	- 20.54	%
Payback Time	N/A	
IRR (After Taxes)	N/A	
NPV (at 7.0% Interest)	- 2,440,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
17 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1679.00 m3	5000,00	85000,00
17 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.67 m2	1000,00	17000,00
78 / 0 / 0	RO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.96 m2	1000,00	78000,00
		Unlisted Equipment		45000,00
		TOTAL		224000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	224000,00
2. Installation	112000,00
3. Process Piping	78000,00
4. Instrumentation	89000,00
5. Insulation	7000,00
6. Electrical	22000,00
7. Buildings	22000,00
8. Yard Improvement	11000,00
9. Auxiliary Facilities	45000,00
TPDC	611000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	61000,00
11. Construction	92000,00
TPIC	153000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC 763000,00

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee 23000,00

13. Contingency 23000,00

CFC = 12+13 46000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC 809000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	2,00	ton	207,00	0,05
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	583,00	MT	291571,00	76,96
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,51
Sulfuric Acid	420,00	167,00	ton	69973,00	18,47
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				378849,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	75,00	m2	7493,00	26,50
RO	30,00	693,00	m2	20778,00	73,50
TOTAL				28271,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Solid Waste			0,00	0,00
Aqueous Liquid			76561,00	100,00
Nihai Atik	50,00	1531,00 ton	76561,00	100,00
Organic Liquid			0,00	0,00
Emissions			0,00	0,00
TOTAL			76561,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount	Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	75,00 m2	500,00	12,50
RO	5,00	693,00 m2	3500,00	87,50
TOTAL			4000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	1092907,00	kW-h	109291,00	100,00
TOTAL				109291,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	379000,00	42,17
Labor-Dependent	75000,00	8,38
Facility-Dependent	219000,00	24,34
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,84
Consumables	28000,00	3,15
Waste Treatment/Disposal	80000,00	8,95
Utilities	109000,00	12,17
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	898000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	809000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$
C.	Startup Cost	24000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$

F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	853000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	853000,00 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	361083,00 ton /yr
I. Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J. Revenues/Savings		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	649949,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	649949,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	898000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	898000,00 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	2,74 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	2,74 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 249,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 176,000 \$/yr
	Gross Margin	- 38.21 %
	Return On Investment	- 20.54 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Ayda Bir_Tekstil_Önerilen_{İOP-UF}-[NFgevşek-TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	686000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	686000,00 \$
Operating Cost	3403000,00 \$/yr
Revenues	622000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	313444752,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	10,86 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	10,86 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 447.16 %
Return On Investment	- 396.90 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 24,362,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
19 / 0 / 0	TO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.25 m2	1000,00	19000,00
32 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 38.84 m2	1000,00	32000,00
18 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1562.00 m3	4000,00	72000,00
18 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.49 m2	1000,00	18000,00
		Unlisted Equipment		36000,00
		TOTAL		179000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	179000,00
2. Installation	89000,00
3. Process Piping	63000,00
4. Instrumentation	71000,00
5. Insulation	5000,00
6. Electrical	18000,00
7. Buildings	18000,00
8. Yard Improvement	9000,00
9. Auxiliary Facilities	36000,00
TPDC	488000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	49000,00
11. Construction	73000,00

TPIC	122000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	610000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	18000,00
13. Contingency	18000,00
CFC = 12+13	37000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	647000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	6,00	ton	727,00	0,18
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	624,00	MT	312180,00	79,02
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,33
Sulfuric Acid	420,00	155,00	ton	65084,00	16,47
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				395089,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:
- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	79,00	m2	7899,00	37,34
RO	30,00	166,00	m2	4971,00	23,50
NFloose	30,00	276,00	m2	8285,00	39,16
TOTAL				21156,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				2570868,00	100,00
Nihai Atik	150,00	17139,00	ton	2570868,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				2570868,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	79,00	m2	500,00	16,67
RO	5,00	166,00	m2	1000,00	33,33
NFloose	5,00	276,00	m2	1500,00	50,00
TOTAL				3000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	1556570,00	kW-h	155657,00	100,00
TOTAL				155657,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	395000,00	11,61
Labor-Dependent	75000,00	2,21
Facility-Dependent	175000,00	5,13
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,22
Consumables	21000,00	0,62
Waste Treatment/Disposal	2573000,00	75,63
Utilities	156000,00	4,57
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	3403000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	647000,00 \$
----	----------------------	--------------

B.	Working Capital	20000,00 \$
C.	Startup Cost	19000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	686000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	686000,00 \$
H.	Revenue/Savings Rates	
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	345514,00 ton /yr
I.	Revenue/Savings Price	
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J.	Revenues/Savings	
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	621925,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	621925,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)	
1,00	Actual AOC	3403000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	3403000,00 \$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue	
	Unit Production Cost	10,86 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	10,86 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 2,781,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 2,723,000 \$/yr
	Gross Margin	- 447.16 %
	Return On Investment	- 396.90 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanım Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Yılda Bir_Tekstil_Önerilen_{İOP-UF}-[NFgevşek-TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	739000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	739000,00	\$
Operating Cost	1059000,00	\$/yr
Revenues	650000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	327697641,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	3,23	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	3,23	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 62.93	%
Return On Investment	- 46.82	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 3,805,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
20 / 0 / 0	TO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 38.98 m2	1000,00	20000,00
33 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.37 m2	1000,00	33000,00
19 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1562.00 m3	4000,00	76000,00
19 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.11 m2	1000,00	19000,00
		Unlisted Equipment		39000,00
			TOTAL	193000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	193000,00
2. Installation	97000,00
3. Process Piping	68000,00
4. Instrumentation	77000,00
5. Insulation	6000,00
6. Electrical	19000,00
7. Buildings	19000,00
8. Yard Improvement	10000,00
9. Auxiliary Facilities	39000,00
TPDC	527000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	53000,00
11. Construction	79000,00

TPIC 132000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC 659000,00

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee 20000,00

13. Contingency 20000,00

CFC = 12+13 40000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC 698000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	1,00	ton	65,00	0,02
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	624,00	MT	312180,00	79,15
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,33
Sulfuric Acid	420,00	155,00	ton	65084,00	16,50
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				394427,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	83,00	m2	8257,00	37,34
RO	30,00	173,00	m2	5197,00	23,50
NFloose	30,00	289,00	m2	8661,00	39,16
TOTAL				22116,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				212928,00	100,00
Nihai Atik	150,00	1420,00	ton	212928,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				212928,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	83,00	m2	500,00	16,67
RO	5,00	173,00	m2	1000,00	33,33
NFloose	5,00	289,00	m2	1500,00	50,00
TOTAL				3000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	1556570,00	kW-h	155657,00	100,00
TOTAL				155657,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	394000,00	37,23
Labor-Dependent	75000,00	7,10
Facility-Dependent	189000,00	17,81
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,71
Consumables	22000,00	2,09
Waste Treatment/Disposal	216000,00	20,36
Utilities	156000,00	14,69
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1059000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A. Direct Fixed Capital	698000,00 \$
-------------------------	--------------

B.	Working Capital	20000,00 \$
C.	Startup Cost	21000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	739000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	739000,00 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	361225,00 ton /yr
I. Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J. Revenues/Savings		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	650205,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	650205,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1059000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1059000,00 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	3,23 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	3,23 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 410,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 347,000 \$/yr
	Gross Margin	- 62.93 %
	Return On Investment	- 46.82 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanım Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Ayda Bir_Tekstil_Önerilen_{İOP-UF}-[NFgevşek-TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	686000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	686000,00 \$
Operating Cost	1689000,00 \$/yr
Revenues	622000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	313444752,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	5,39 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	5,39 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 171.57 %
Return On Investment	- 147.05 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 9,497,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
19 / 0 / 0	TO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.25 m2	1000,00	19000,00
32 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 38.84 m2	1000,00	32000,00
18 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1562.00 m3	4000,00	72000,00
18 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.49 m2	1000,00	18000,00
		Unlisted Equipment		36000,00
			TOTAL	179000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	179000,00
2. Installation	89000,00
3. Process Piping	63000,00
4. Instrumentation	71000,00
5. Insulation	5000,00
6. Electrical	18000,00
7. Buildings	18000,00
8. Yard Improvement	9000,00
9. Auxiliary Facilities	36000,00
TPDC	488000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	49000,00
11. Construction	73000,00

TPIC	122000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	610000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	18000,00
13. Contingency	18000,00
CFC = 12+13	37000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	647000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	6,00	ton	727,00	0,18
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	624,00	MT	312180,00	79,02
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,33
Sulfuric Acid	420,00	155,00	ton	65084,00	16,47
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				395089,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:
- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	79,00	m2	7899,00	37,34
RO	30,00	166,00	m2	4971,00	23,50
NFloose	30,00	276,00	m2	8285,00	39,16
TOTAL				21156,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				856956,00	100,00
Nihai Atik	50,00	17139,00	ton	856956,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				856956,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	79,00	m2	500,00	16,67
RO	5,00	166,00	m2	1000,00	33,33
NFloose	5,00	276,00	m2	1500,00	50,00
TOTAL				3000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	1556570,00	kW-h	155657,00	100,00
TOTAL				155657,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	395000,00	23,39
Labor-Dependent	75000,00	4,46
Facility-Dependent	175000,00	10,35
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,45
Consumables	21000,00	1,25
Waste Treatment/Disposal	860000,00	50,89
Utilities	156000,00	9,22
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	1689000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A. Direct Fixed Capital	647000,00 \$
-------------------------	--------------

B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	19000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	686000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	686000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	345514,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	621925,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	621925,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	1689000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	1689000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	5,39	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	5,39	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,068,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,009,000	\$/yr
	Gross Margin	- 171.57	%
	Return On Investment	- 147.05	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanım Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Yılda Bir_Tekstil_Önerilen_{İOP-UF}-[NFgevşek-TO]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	739000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	739000,00 \$
Operating Cost	917000,00 \$/yr
Revenues	650000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	327697641,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	2,80 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	2,80 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 41.10 %
Return On Investment	- 27.62 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 2,573,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
20 / 0 / 0	TO	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 38.98 m2	1000,00	20000,00
33 / 0 / 0	NFgevşek	Reverse Osmosis Filter Membrane Area = 39.37 m2	1000,00	33000,00
19 / 0 / 0	iOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 1562.00 m3	4000,00	76000,00
19 / 0 / 0	UF*	Ultrafilter Membrane Area = 39.11 m2	1000,00	19000,00
		Unlisted Equipment		39000,00
			TOTAL	193000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	193000,00
2. Installation	97000,00
3. Process Piping	68000,00
4. Instrumentation	77000,00
5. Insulation	6000,00
6. Electrical	19000,00
7. Buildings	19000,00
8. Yard Improvement	10000,00
9. Auxiliary Facilities	39000,00
TPDC	527000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	53000,00
11. Construction	79000,00

TPIC 132000,00

3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)

TPC 659000,00

3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)

12. Contractor's Fee 20000,00

13. Contingency 20000,00

CFC = 12+13 40000,00

3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)

DFC 698000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2614,00	23784,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7920,00	51480,00	68,40
TOTAL		10534,00	75264,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	1,00	ton	65,00	0,02
Fe+3	0,00	422,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	624,00	MT	312180,00	79,15
pH	0,00	2046,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	18,00	ton	17097,00	4,33
Sulfuric Acid	420,00	155,00	ton	65084,00	16,50
TDS	0,00	113869,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	106278,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	328085022,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				394427,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	83,00	m2	8257,00	37,34
RO	30,00	173,00	m2	5197,00	23,50
NFloose	30,00	289,00	m2	8661,00	39,16
TOTAL				22116,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				70976,00	100,00
Nihai Atik	50,00	1420,00	ton	70976,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				70976,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	83,00	m2	500,00	16,67
RO	5,00	173,00	m2	1000,00	33,33
NFloose	5,00	289,00	m2	1500,00	50,00
TOTAL				3000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	1556570,00	kW-h	155657,00	100,00
TOTAL				155657,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	394000,00	42,99
Labor-Dependent	75000,00	8,20
Facility-Dependent	189000,00	20,57
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,82
Consumables	22000,00	2,41
Waste Treatment/Disposal	74000,00	8,03
Utilities	156000,00	16,97
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	917000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	698000,00 \$
----	----------------------	--------------

B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	21000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	739000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	739000,00	\$
H. Revenue/Savings Rates			
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	361225,00	ton /yr
I. Revenue/Savings Price			
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J. Revenues/Savings			
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	650205,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	650205,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)			
1,00	Actual AOC	917000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	917000,00	\$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue			
	Unit Production Cost	2,80	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	2,80	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 268,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 205,000	\$/yr
	Gross Margin	- 41.10	%
	Return On Investment	- 27.62	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanım Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Ayda Bir_Kağıt_Önerilen_Doğal Gaz_{İOP-UF}-[MD]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	2233000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	2233000,00 \$
Operating Cost	6197000,00 \$/yr
Revenues	609000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	306832171,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	20,20 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	20,20 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 917.84 %
Return On Investment	- 241.54 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 49,112,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
1 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 2383.00 m3	119000,00	119000,00
96 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.68 m2	1000,00	96000,00
151 / 0 / 0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 39.79 m2	1000,00	151000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 19.46 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	SG-101	Steam Generator Throughput = 1017.88 kg/h	30000,00	30000,00
1 / 0 / 0	EC-101	Electric Cooler Electric Power = 51.08 kW	35000,00	35000,00
		Unlisted Equipment		117000,00
			TOTAL	583000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	583000,00
2. Installation	322000,00
3. Process Piping	204000,00
4. Instrumentation	233000,00
5. Insulation	17000,00
6. Electrical	58000,00
7. Buildings	58000,00
8. Yard Improvement	29000,00
9. Auxiliary Facilities	117000,00
TPDC	1622000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)		
10. Engineering		162000,00
11. Construction		243000,00
TPIC		405000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)		
TPC		2027000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)		
12. Contractor's Fee		61000,00
13. Contingency		61000,00
CFC = 12+13		122000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)		
DFC		2149000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2615,00	23795,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7924,00	51503,00	68,40
TOTAL		10538,00	75298,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	18,00	ton	2318,00	0,16
Fe+3	0,00	66,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2076,00	MT	1037850,00	72,94
Methane	0,46	471900,00	kg	215658,00	15,16
Oxygen	0,00	2004069,00	kg	0,00	0,00
pH	0,00	2009,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	55,00	ton	51291,00	3,60
Sulfuric Acid	420,00	276,00	ton	115720,00	8,13
TDS	0,00	328474,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240733,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	335896120,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				1422837,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	268,00	m2	26826,00	26,07
MD	90,00	845,00	m2	76055,00	73,93

TOTAL

102881,00

100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				3924246,00	100,00
Nihai Atik	150,00	26162,00	ton	3924246,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				3924246,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	268,00	m2	1500,00	27,27
MD	5,00	845,00	m2	4000,00	72,73
TOTAL				5500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	775902,00	kW-h	77590,00	100,00
TOTAL				77590,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item		\$	%
Raw Materials		1423000,00	22,96
Labor-Dependent		75000,00	1,22
Facility-Dependent		581000,00	9,37
Laboratory/QC/QA		8000,00	0,12
Consumables		103000,00	1,66
Waste Treatment/Disposal		3930000,00	63,42
Utilities		78000,00	1,25
Transportation		0,00	0,00
Miscellaneous		0,00	0,00
Advertising/Selling		0,00	0,00
Running Royalties		0,00	0,00
Failed Product Disposal		0,00	0,00
TOTAL		6197000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	2149000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	64000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	2233000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	2233000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	338225,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	608804,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	608804,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	6197000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	6197000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	20,20	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	20,20	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 5,588,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 5,394,000	\$/yr
	Gross Margin	- 917.84	%
	Return On Investment	- 241.54	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Yılda Bir_Kağıt_Önerilen_Doğal Gaz_{İOP-UF}-[MD]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	2308000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	2308000,00 \$
Operating Cost	2627000,00 \$/yr
Revenues	652000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	328585717,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	8,00 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	8,00 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 302.96 %
Return On Investment	- 76.91 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 17,799,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
1 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 2383.00 m3	119000,00	119000,00
102 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.99 m2	1000,00	102000,00
161 / 0 / 0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 39.96 m2	1000,00	161000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 19.45 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	SG-101	Steam Generator Throughput = 1017.88 kg/h	30000,00	30000,00
1 / 0 / 0	EC-101	Electric Cooler Electric Power = 54.67 kW Unlisted Equipment	35000,00	35000,00
		TOTAL		603000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	603000,00
2. Installation	332000,00
3. Process Piping	211000,00
4. Instrumentation	241000,00
5. Insulation	18000,00
6. Electrical	60000,00
7. Buildings	60000,00
8. Yard Improvement	30000,00
9. Auxiliary Facilities	121000,00
TPDC	1676000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)		
10. Engineering		168000,00
11. Construction		251000,00
TPIC		419000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)		
TPC		2095000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)		
12. Contractor's Fee		63000,00
13. Contingency		63000,00
CFC = 12+13		126000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)		
DFC		2221000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2615,00	23795,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7924,00	51503,00	68,40
TOTAL		10538,00	75298,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	7,00 ton	946,00	0,07
Fe+3	0,00	66,00 kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2076,00 MT	1037850,00	73,01
Methane	0,46	471900,00 kg	215658,00	15,17
Oxygen	0,00	2004069,00 kg	0,00	0,00
pH	0,00	2009,00 kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	55,00 ton	51291,00	3,61
Sulfuric Acid	420,00	276,00 ton	115720,00	8,14
TDS	0,00	328474,00 kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240733,00 kg	0,00	0,00
Water	0,00	335896120,00 kg	0,00	0,00
TOTAL			1421465,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	287,00 m2	28723,00	26,07
MD	90,00	905,00 m2	81433,00	73,93

TOTAL

110157,00

100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				325376,00	100,00
Nihai Atik	150,00	2169,00	ton	325376,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				325376,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	287,00	m2	1500,00	25,00
MD	5,00	905,00	m2	4500,00	75,00
TOTAL				6000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	811451,00	kW-h	81145,00	100,00
TOTAL				81145,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item		\$	%
Raw Materials		1421000,00	54,11
Labor-Dependent		75000,00	2,87
Facility-Dependent		600000,00	22,85
Laboratory/QC/QA		8000,00	0,29
Consumables		110000,00	4,19
Waste Treatment/Disposal		331000,00	12,61
Utilities		81000,00	3,09
Transportation		0,00	0,00
Miscellaneous		0,00	0,00
Advertising/Selling		0,00	0,00
Running Royalties		0,00	0,00
Failed Product Disposal		0,00	0,00
TOTAL		2627000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	2221000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	67000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	2308000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	2308000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	362204,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	651967,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	651967,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	2627000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	2627000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	8,00	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	8,00	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,976,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,775,000	\$/yr
	Gross Margin	- 302.96	%
	Return On Investment	- 76.91	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Ayda Bir_Kağıt_Önerilen_Doğal Gaz_{iOP-UF}-[MD]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	2233000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	2233000,00	\$
Operating Cost	3580000,00	\$/yr
Revenues	609000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	306832171,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	11,67	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	11,67	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 488.11	%
Return On Investment	- 124.39	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 26,422,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
1 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 2383.00 m3	119000,00	119000,00
96 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.68 m2	1000,00	96000,00
151 / 0 / 0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 39.79 m2	1000,00	151000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 19.46 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	SG-101	Steam Generator Throughput = 1017.88 kg/h	30000,00	30000,00
1 / 0 / 0	EC-101	Electric Cooler Electric Power = 51.08 kW	35000,00	35000,00
		Unlisted Equipment		117000,00
			TOTAL	583000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	583000,00
2. Installation	322000,00
3. Process Piping	204000,00
4. Instrumentation	233000,00
5. Insulation	17000,00
6. Electrical	58000,00
7. Buildings	58000,00
8. Yard Improvement	29000,00
9. Auxiliary Facilities	117000,00
TPDC	1622000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)		
10. Engineering		162000,00
11. Construction		243000,00
TPIC		405000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)		
TPC		2027000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)		
12. Contractor's Fee		61000,00
13. Contingency		61000,00
CFC = 12+13		122000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)		
DFC		2149000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2615,00	23795,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7924,00	51503,00	68,40
TOTAL		10538,00	75298,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	18,00 ton	2318,00	0,16
Fe+3	0,00	66,00 kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2076,00 MT	1037850,00	72,94
Methane	0,46	471900,00 kg	215658,00	15,16
Oxygen	0,00	2004069,00 kg	0,00	0,00
pH	0,00	2009,00 kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	55,00 ton	51291,00	3,60
Sulfuric Acid	420,00	276,00 ton	115720,00	8,13
TDS	0,00	328474,00 kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240733,00 kg	0,00	0,00
Water	0,00	335896120,00 kg	0,00	0,00
TOTAL			1422837,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	268,00 m2	26826,00	26,07
MD	90,00	845,00 m2	76055,00	73,93

TOTAL

102881,00

100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				1308082,00	100,00
Nihai Atik	50,00	26162,00	ton	1308082,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				1308082,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	268,00	m2	1500,00	27,27
MD	5,00	845,00	m2	4000,00	72,73
TOTAL				5500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	775902,00	kW-h	77590,00	100,00
TOTAL				77590,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1423000,00	39,74
Labor-Dependent	75000,00	2,10
Facility-Dependent	581000,00	16,22
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,21
Consumables	103000,00	2,87
Waste Treatment/Disposal	1314000,00	36,69
Utilities	78000,00	2,17
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	3580000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	2149000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	64000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	2233000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	2233000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	338225,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Gerı Kazanim Suyu (Main Revenue)	608804,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	608804,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	3580000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	3580000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	11,67	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	11,67	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 2,972,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 2,778,000	\$/yr
	Gross Margin	- 488.11	%
	Return On Investment	- 124.39	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Yılda Bir_Kağıt_Önerilen_Doğal Gaz_{İOP-UF}-[MD]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	2308000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	2308000,00	\$
Operating Cost	2410000,00	\$/yr
Revenues	652000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	328585717,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	7,34	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	7,34	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 269.69	%
Return On Investment	- 67.51	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 15,917,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
1 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 2383.00 m3	119000,00	119000,00
102 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.99 m2	1000,00	102000,00
161 / 0 / 0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 39.96 m2	1000,00	161000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 19.45 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	SG-101	Steam Generator Throughput = 1017.88 kg/h	30000,00	30000,00
1 / 0 / 0	EC-101	Electric Cooler Electric Power = 54.67 kW Unlisted Equipment	35000,00	35000,00
		TOTAL		603000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	603000,00
2. Installation	332000,00
3. Process Piping	211000,00
4. Instrumentation	241000,00
5. Insulation	18000,00
6. Electrical	60000,00
7. Buildings	60000,00
8. Yard Improvement	30000,00
9. Auxiliary Facilities	121000,00
TPDC	1676000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)		
10. Engineering		168000,00
11. Construction		251000,00
TPIC		419000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)		
TPC		2095000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)		
12. Contractor's Fee		63000,00
13. Contingency		63000,00
CFC = 12+13		126000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)		
DFC		2221000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2615,00	23795,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7924,00	51503,00	68,40
TOTAL		10538,00	75298,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	7,00 ton	946,00	0,07
Fe+3	0,00	66,00 kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2076,00 MT	1037850,00	73,01
Methane	0,46	471900,00 kg	215658,00	15,17
Oxygen	0,00	2004069,00 kg	0,00	0,00
pH	0,00	2009,00 kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	55,00 ton	51291,00	3,61
Sulfuric Acid	420,00	276,00 ton	115720,00	8,14
TDS	0,00	328474,00 kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240733,00 kg	0,00	0,00
Water	0,00	335896120,00 kg	0,00	0,00
TOTAL			1421465,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount	Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	287,00 m2	28723,00	26,07
MD	90,00	905,00 m2	81433,00	73,93

TOTAL

110157,00

100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				108459,00	100,00
Nihai Atik	50,00	2169,00	ton	108459,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				108459,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	287,00	m2	1500,00	25,00
MD	5,00	905,00	m2	4500,00	75,00
TOTAL				6000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	811451,00	kW-h	81145,00	100,00
TOTAL				81145,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1421000,00	58,98
Labor-Dependent	75000,00	3,12
Facility-Dependent	600000,00	24,90
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,31
Consumables	110000,00	4,57
Waste Treatment/Disposal	114000,00	4,75
Utilities	81000,00	3,37
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	2410000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	2221000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$
C.	Startup Cost	67000,00	\$
D.	Up-Front R&D	0,00	\$
E.	Up-Front Royalties	0,00	\$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	2308000,00	\$
G.	Investment Charged to This Project	2308000,00	\$
H.	Revenue/Savings Rates		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	362204,00	ton /yr
I.	Revenue/Savings Price		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	1,80	\$/ton
J.	Revenues/Savings		
	Geri Kazanim Suyu (Main Revenue)	651967,00	\$/yr
1,00	Total Revenues	651967,00	\$/yr
2,00	Total Savings	0,00	\$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	2410000,00	\$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	2410000,00	\$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	7,34	\$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	7,34	\$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,759,000	\$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00	\$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,558,000	\$/yr
	Gross Margin	- 269.69	%
	Return On Investment	- 67.51	%
	Payback Time	N/A	

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanim Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Ayda Bir_Kağıt_Önerilen_Atıl Isı_{İOP-UF}-[MD]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	2051000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	2051000,00	\$
Operating Cost	5933000,00	\$/yr
Revenues	609000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	306832171,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	19,34	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	19,34	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 874.57	%
Return On Investment	- 250.89	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 46,780,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
1 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 2383.00 m3	119000,00	119000,00
96 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.68 m2	1000,00	96000,00
151 / 0 / 0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 39.79 m2	1000,00	151000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 19.65 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	EC-101	Electric Cooler Electric Power = 51.08 kW Unlisted Equipment	35000,00	35000,00
			TOTAL	545000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	545000,00
2. Installation	273000,00
3. Process Piping	191000,00
4. Instrumentation	218000,00
5. Insulation	16000,00
6. Electrical	55000,00
7. Buildings	55000,00
8. Yard Improvement	27000,00
9. Auxiliary Facilities	109000,00
TPDC	1488000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	149000,00
11. Construction	223000,00
TPIC	372000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	1860000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	56000,00
13. Contingency	56000,00
CFC = 12+13	112000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	1972000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2615,00	23795,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7924,00	51503,00	68,40
TOTAL		10538,00	75298,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	18,00	ton	2318,00	0,19
Fe+3	0,00	66,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2076,00	MT	1037850,00	85,97
pH	0,00	2009,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	55,00	ton	51291,00	4,25
Sulfuric Acid	420,00	276,00	ton	115720,00	9,59
TDS	0,00	328474,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240733,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	335424498,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				1207178,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	268,00	m2	26826,00	26,07
MD	90,00	845,00	m2	76055,00	73,93
TOTAL				102881,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				3924246,00	100,00
Nihai Atik	150,00	26162,00	ton	3924246,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				3924246,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	268,00	m2	1500,00	27,27
MD	5,00	845,00	m2	4000,00	72,73
TOTAL				5500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	775902,00	kW-h	77590,00	100,00
TOTAL				77590,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item		\$	%
Raw Materials		1207000,00	20,35
Labor-Dependent		75000,00	1,27
Facility-Dependent		533000,00	8,98
Laboratory/QC/QA		8000,00	0,13
Consumables		103000,00	1,73
Waste Treatment/Disposal		3930000,00	66,23
Utilities		78000,00	1,31
Transportation		0,00	0,00
Miscellaneous		0,00	0,00
Advertising/Selling		0,00	0,00
Running Royalties		0,00	0,00
Failed Product Disposal		0,00	0,00
TOTAL		5933000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	1972000,00	\$
B.	Working Capital	20000,00	\$

C.	Startup Cost	59000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	2051000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	2051000,00 \$
H.	Revenue/Savings Rates	
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	338225,00 ton /yr
I.	Revenue/Savings Price	
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J.	Revenues/Savings	
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	608804,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	608804,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)	
1,00	Actual AOC	5933000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	5933000,00 \$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue	
	Unit Production Cost	19,34 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	19,34 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 5,325,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 5,147,000 \$/yr
	Gross Margin	- 874.57 %
	Return On Investment	- 250.89 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanım Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfır Deşarj_Yılda Bir_Kağıt_Önerilen_Atıl Isı_{[OP-UF]}-[MD]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	2126000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	2126000,00	\$
Operating Cost	2364000,00	\$/yr
Revenues	652000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	328585717,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	7,19	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	7,19	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 262.56	%
Return On Investment	- 71.85	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 15,467,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
1 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 2383.00 m3	119000,00	119000,00
102 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.99 m2	1000,00	102000,00
161 / 0 / 0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 39.96 m2	1000,00	161000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 19.64 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	EC-101	Electric Cooler Electric Power = 54.67 kW Unlisted Equipment	35000,00	35000,00
			TOTAL	565000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	565000,00
2. Installation	283000,00
3. Process Piping	198000,00
4. Instrumentation	226000,00
5. Insulation	17000,00
6. Electrical	57000,00
7. Buildings	57000,00
8. Yard Improvement	28000,00
9. Auxiliary Facilities	113000,00
TPDC	1543000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	154000,00
11. Construction	231000,00
TPIC	386000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	1929000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	58000,00
13. Contingency	58000,00
CFC = 12+13	116000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	2044000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2615,00	23795,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7924,00	51503,00	68,40
TOTAL		10538,00	75298,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	7,00	ton	946,00	0,08
Fe+3	0,00	66,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2076,00	MT	1037850,00	86,07
pH	0,00	2009,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	55,00	ton	51291,00	4,25
Sulfuric Acid	420,00	276,00	ton	115720,00	9,60
TDS	0,00	328474,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240733,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	335424498,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				1205807,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	287,00	m2	28723,00	26,07
MD	90,00	905,00	m2	81433,00	73,93
TOTAL				110157,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				325376,00	100,00
Nihai Atik	150,00	2169,00	ton	325376,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				325376,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	287,00	m2	1500,00	25,00
MD	5,00	905,00	m2	4500,00	75,00
TOTAL				6000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	811451,00	kW-h	81145,00	100,00
TOTAL				81145,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1206000,00	51,01
Labor-Dependent	75000,00	3,19
Facility-Dependent	553000,00	23,37
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,32
Consumables	110000,00	4,66
Waste Treatment/Disposal	331000,00	14,02
Utilities	81000,00	3,43
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	2364000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	2044000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$

C.	Startup Cost	61000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	2126000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	2126000,00 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	362204,00 ton /yr
I. Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J. Revenues/Savings		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	651967,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	651967,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	2364000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	2364000,00 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	7,19 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	7,19 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,712,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,528,000 \$/yr
	Gross Margin	- 262.56 %
	Return On Investment	- 71.85 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanım Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Ayda Bir_Kağıt_Önerilen_Atıl Isı_{İOP-UF}-[MD]

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	2051000,00 \$
Capital Investment Charged to This Project	2051000,00 \$
Operating Cost	3317000,00 \$/yr
Revenues	609000,00 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	306832171,00 kg MP/yr
Unit Production Cost	10,81 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	10,81 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
Gross Margin	- 444.85 %
Return On Investment	- 123.35 %
Payback Time	N/A
IRR (After Taxes)	N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 24,090,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
1 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 2383.00 m3	119000,00	119000,00
96 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.68 m2	1000,00	96000,00
151 / 0 / 0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 39.79 m2	1000,00	151000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 19.65 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	EC-101	Electric Cooler Electric Power = 51.08 kW Unlisted Equipment	35000,00	35000,00
		TOTAL		545000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	545000,00
2. Installation	273000,00
3. Process Piping	191000,00
4. Instrumentation	218000,00
5. Insulation	16000,00
6. Electrical	55000,00
7. Buildings	55000,00
8. Yard Improvement	27000,00
9. Auxiliary Facilities	109000,00
TPDC	1488000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	149000,00
11. Construction	223000,00
TPIC	372000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	1860000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	56000,00
13. Contingency	56000,00
CFC = 12+13	112000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	1972000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2615,00	23795,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7924,00	51503,00	68,40
TOTAL		10538,00	75298,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	18,00	ton	2318,00	0,19
Fe+3	0,00	66,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2076,00	MT	1037850,00	85,97
pH	0,00	2009,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	55,00	ton	51291,00	4,25
Sulfuric Acid	420,00	276,00	ton	115720,00	9,59
TDS	0,00	328474,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240733,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	335424498,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				1207178,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	268,00	m2	26826,00	26,07
MD	90,00	845,00	m2	76055,00	73,93
TOTAL				102881,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				1308082,00	100,00
Nihai Atik	50,00	26162,00	ton	1308082,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				1308082,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	268,00	m2	1500,00	27,27
MD	5,00	845,00	m2	4000,00	72,73
TOTAL				5500,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	775902,00	kW-h	77590,00	100,00
TOTAL				77590,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1207000,00	36,39
Labor-Dependent	75000,00	2,27
Facility-Dependent	533000,00	16,07
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,23
Consumables	103000,00	3,10
Waste Treatment/Disposal	1314000,00	39,60
Utilities	78000,00	2,34
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	3317000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	1972000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$

C.	Startup Cost	59000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	2051000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	2051000,00 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	338225,00 ton /yr
I. Revenue/Savings Price		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J. Revenues/Savings		
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	608804,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	608804,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1,00	Actual AOC	3317000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	3317000,00 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	10,81 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	10,81 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 2,709,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 2,531,000 \$/yr
	Gross Margin	- 444.85 %
	Return On Investment	- 123.35 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanım Suyu'

Economic Evaluation Report

for Sıfıra Yakın Deşarj_Yılda Bir_Kağıt_Önerilen_Atıl Isı_{[OP-UF]-[MD]}

1. EXECUTIVE SUMMARY (2016 prices)

Total Capital Investment	2126000,00	\$
Capital Investment Charged to This Project	2126000,00	\$
Operating Cost	2147000,00	\$/yr
Revenues	652000,00	\$/yr
Cost Basis Annual Rate	328585717,00	kg MP/yr
Unit Production Cost	6,53	\$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	6,53	\$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1,98	\$/1000 kg MP
Gross Margin	- 229.29	%
Return On Investment	- 61.64	%
Payback Time		N/A
IRR (After Taxes)		N/A
NPV (at 7.0% Interest)	- 13,585,000	\$

MP = Total Flow of Stream 'Geri Kazanım Suyu'

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2016 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
1 / 0 / 0	IOP	Flat Bottom Tank Vessel Volume = 2383.00 m3	119000,00	119000,00
102 / 0 / 0	UF-101	Ultrafilter Membrane Area = 39.99 m2	1000,00	102000,00
161 / 0 / 0	MF-101	Microfilter Membrane Area = 39.96 m2	1000,00	161000,00
1 / 0 / 0	HX-103	Heat Exchanger Heat Exchange Area = 19.64 m2	35000,00	35000,00
1 / 0 / 0	EC-101	Electric Cooler Electric Power = 54.67 kW Unlisted Equipment	35000,00	35000,00
			TOTAL	565000,00

3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2016 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)

1. Equipment Purchase Cost	565000,00
2. Installation	283000,00
3. Process Piping	198000,00
4. Instrumentation	226000,00
5. Insulation	17000,00
6. Electrical	57000,00
7. Buildings	57000,00
8. Yard Improvement	28000,00
9. Auxiliary Facilities	113000,00
TPDC	1543000,00

3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)

10. Engineering	154000,00
11. Construction	231000,00
TPIC	386000,00
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	1929000,00
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	58000,00
13. Contingency	58000,00
CFC = 12+13	116000,00
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	2044000,00

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	0,00	0,00	0,00	0,00
Türk Mühendis	9,10	2615,00	23795,00	31,60
Türk Operatör	6,50	7924,00	51503,00	68,40
TOTAL		10538,00	75298,00	100,00

5. MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY

Bulk Material	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Fe+2	130,00	7,00	ton	946,00	0,08
Fe+3	0,00	66,00	kg	0,00	0,00
Hydroje Peroxid	500,00	2076,00	MT	1037850,00	86,07
pH	0,00	2009,00	kg	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	940,00	55,00	ton	51291,00	4,25
Sulfuric Acid	420,00	276,00	ton	115720,00	9,60
TDS	0,00	328474,00	kg	0,00	0,00
TOC	0,00	240733,00	kg	0,00	0,00
Water	0,00	335424498,00	kg	0,00	0,00
TOTAL				1205807,00	100,00

NOTE: Bulk material consumption amount includes material used as:

- Raw Material
- Cleaning Agent
- Heat Transfer Agent (if utilities are included in the operating cost)

6. VARIOUS CONSUMABLES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Consumable	Units Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
UF	100,00	287,00	m2	28723,00	26,07
MD	90,00	905,00	m2	81433,00	73,93
TOTAL				110157,00	100,00

7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Waste Category	Unit Cost (\$)	Annual Amount		Annual Cost (\$)	%
Solid Waste				0,00	0,00
Aqueous Liquid				108459,00	100,00
Nihai Atik	50,00	2169,00	ton	108459,00	100,00
Organic Liquid				0,00	0,00
Emissions				0,00	0,00
TOTAL				108459,00	100,00

Consumable	Unit Disposal Cost (\$)	Annual Amount		Annual Disposal Cost (\$)	%
UF	5,00	287,00	m2	1500,00	25,00
MD	5,00	905,00	m2	4500,00	75,00
TOTAL				6000,00	100,00

8. UTILITIES COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,10	811451,00	kW-h	81145,00	100,00
TOTAL				81145,00	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2016 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	1206000,00	56,17
Labor-Dependent	75000,00	3,51
Facility-Dependent	553000,00	25,74
Laboratory/QC/QA	8000,00	0,35
Consumables	110000,00	5,13
Waste Treatment/Disposal	114000,00	5,33
Utilities	81000,00	3,78
Transportation	0,00	0,00
Miscellaneous	0,00	0,00
Advertising/Selling	0,00	0,00
Running Royalties	0,00	0,00
Failed Product Disposal	0,00	0,00
TOTAL	2147000,00	100,00

10. PROFITABILITY ANALYSIS (2016 prices)

A.	Direct Fixed Capital	2044000,00 \$
B.	Working Capital	20000,00 \$

C.	Startup Cost	61000,00 \$
D.	Up-Front R&D	0,00 \$
E.	Up-Front Royalties	0,00 \$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	2126000,00 \$
G.	Investment Charged to This Project	2126000,00 \$
H.	Revenue/Savings Rates	
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	362204,00 ton /yr
I.	Revenue/Savings Price	
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	1,80 \$/ton
J.	Revenues/Savings	
	Gerı Kazanım Suyu (Main Revenue)	651967,00 \$/yr
1,00	Total Revenues	651967,00 \$/yr
2,00	Total Savings	0,00 \$/yr
K.	Annual Operating Cost (AOC)	
1,00	Actual AOC	2147000,00 \$/yr
2,00	Net AOC (K1-J2)	2147000,00 \$/yr
L.	Unit Production Cost /Revenue	
	Unit Production Cost	6,53 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	6,53 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1,98 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	- 1,495,000 \$/yr
N.	Taxes (40%)	0,00 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	- 1,311,000 \$/yr
	Gross Margin	- 229.29 %
	Return On Investment	- 61.64 %
	Payback Time	N/A

MP = Total Flow of Stream 'Gerı Kazanım Suyu'

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. COŞKUN AYDINER
Proje No:	113Y352
Proje Başlığı:	Yoğun Su Tüketilen Endüstrilerde Bütünleşik İleri Oksidasyon/Membran Filtrasyon Sistemi İle Su Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi
Proje Türü:	1003 - Öncelikli Alanlar (2. Aşama)
Proje Süresi:	30
Araştırmacılar:	BERNA KIRIL MERT, HÜSEYİN CENGİZ YATMAZ
Danışmanlar:	SÖNMEZ DAĞLI
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENS. MÜHENDİSLİK F.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/06/2014 - 01/12/2016
Onaylanan Bütçe:	603028.0
Harcanan Bütçe:	432624.79
Öz:	<p>Bu proje çalışmasında, ileri oksidasyon/batık ultrafiltrasyon (İOP/UF) hibrit prosesine dayalı geliştirilen konvansiyonel esaslı etkinliği bilinen ve önerilen yenilikçi endüstriyel atıksu arıtma sistemlerinin; yoğun su tüketimli kâğıt ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksulardan yüksek oranda kaliteli proses suyu geri kazanımının ve oluşan membran konsantresi atık yüklerinin azaltılarak konsantre yönetiminin sağlandığı bütünleşik su yönetimi uygulamaları için, teknolojik olarak sahada başarıyla uygulanabilirlik ve ekonomik olarak da mali tercih edilebilirliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.</p> <p>Laboratuvar arıtım çalışmalarıyla, hibrit İOP/UF prosesinin tekstil ve kâğıt atıksuları için optimum işletim şartları belirlenmiş; her bir atıksu için etkinliği bilinen ve önerilen sistemlerin pilot ölçek kararlı hal işletim performansları tespit edilmiştir. Konvansiyonel basınç sürücülü membran sistemlerde her bir atıksu çeşidi ve önerilen sistemlerde (İOP/UF sonrası NFsıkı, TO ve NFgevskek/TO) sadece tekstil atıksuyu için hedeflenen yeniden kullanım suyu kalitelerinin sağlandığı işletimler yerine getirilmiştir. Kâğıt atıksuyundan önerilen sistemlerle etkin su geri kazanımı sağlanamamış, İOP/UF sonrasında membran distilasyon uygulaması hedef çıkış suyunun ürettiği teknolojik çözüm olmuştur. Yenilikçi çözümlerin işletimleri, İOP/UF'te konsantre+ham atıksu'yun eşzamanlı arıtmaları altında, herhangi bir atık oluşmaksızın gerçekleştirilmiştir.</p> <p>Membran konsantrelerinin, sıfır/sıfıra yakın sıvı deşarjı uyarınca sahada bertarafalarının yapılacağı yönetimleri üzerinden, saha ölçek benzeştirmeler gerçekleştirilmiş ve gerçek ölçek maliyetler tahmin edilmiştir. En ekonomik çözüm olan sıfıra yakın deşarjda, 1000 mgKOİ/L eşdeğeri atıksular için; konvansiyonel esaslı yenilikçi uygulamalarda (konsantrelerin İOP/UF ile arıtıldığı) 1,8 \$/m3 ve geliştirilen yenilikçi uygulamalarda 0,6 \$/m3 geri kazanım suyu ile, endüstriyel atıksulardan su geri kazanımı/konsantre yönetiminin sahada oldukça tercih edilir ortalama birim maliyetlerdedir. 1000 mg KOİ/L eşdeğeri üzeri atıksular için, geliştirilen sistemlerin konvansiyonel arıtma sonrası ileri arıtma uygulamasıyla, sahada tekno-ekonomik tercih edilebilir olacağı ayrıca değerlendirilmektedir.</p> <p>Sonuç olarak, yoğun su tüketilen endüstriler için geliştirilen teknolojik çözümlerin hayata geçirilmesiyle, Ülkemiz ve Dünya genelinde su kirlenmesi problemlerinin azaltılmasına ve temiz su kaynaklarının ve çevrenin sürdürülebilir korunmasına önemli katkılar sağlanacak; saha ölçek kurulum ve endüstriyel işletimler sayesinde yeni yatırım ve istihdama katkı sağlanmış olacaktır.</p>
Anahtar Kelimeler:	Endüstriyel Atıksu Arıtımı, Yenilikçi Teknolojiler, Su Geri Kazanımı, Konsantre Yönetimi
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır

Proje Yapılan Yayınlar:	<ol style="list-style-type: none">1- Kâğıt Endüstrisi Atıksularının Fenton ve Foto-Fenton Prosesleri ile Arıtılabilirliğinin Araştırılması (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),2- Tekstil Yıkama Banyosu Atıksularının Fenton ve Foto-Fenton Prosesleri ile Optimum Arıtılabilirliğinin İncelenmesi (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),3- Tekstil Yıkama Atıksularından Basınçlı Membran Proseslerle Su Geri Kazanımı Üzerine Membran Türünün Etkisinin Araştırılması (Makale - Diğer Hakemli Makale),4- A Novel Hybrid Process for Industrial Wastewater Treatment: Fenton and Photo-fenton Enhanced Ultrafiltration (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),5- Method for Water Recovery in High Volume and Good Quality from Industrial Wastewaters (Patent - Uluslararası (PCT) - Başvuru),6- Hybrid Treatment Method for Industrial Wastewaters and Membrane Concentrates and a Hybrid Reactor Which Operates in Compliance With This Method (Patent - Uluslararası (PCT) - Başvuru),7- Endüstriyel atıksulardan yüksek hacimde ve iyi kalitede su geri kazanım yöntemi (Patent - Ulusal - Başvuru),8- Endüstriyel atıksular ve membran konsantreleri için hibrit arıtma yöntemi ve bu yöntemeye uygun olarak çalışan bir hibrit reaktör (Patent - Ulusal - Başvuru),9- Tekstil Atıksularının Membran Proseslerle Arıtımı ve Endüstriyel Su Geri Kazanımı (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi),10- İLERİ OKSİDASYON/ULTRAFİLTASYON HİBRİT SİSTEMİ KULLANILARAK TEKSTİL ATIKSULARINDAN ORGANİK MADDE GİDERİMİ (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi),
-------------------------	--

TÜBİTAK