

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL NİTELİKLİ ARITILMIŞ ATIK SULARIN
TEKRAR KULLANIMI
(HENDEK ÖRNEĞİ)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep SOLAK

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
**Tez Danışmanı : Dr. Öğretim Üyesi Yasemin DAMAR
ARİFOĞLU**

Haziran 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

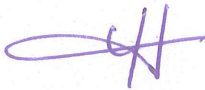
**KENTSEL NİTELİKLİ ARITILMIŞ ATIK SULARIN
TEKRAR KULLANIMI
(HENDEK ÖRNEĞİ)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

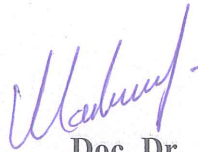
Zeynep SOLAK

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

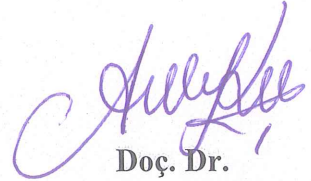
Bu tez 06.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



**Dr. Öğretim Üyesi
Yasemin DAMAR ARİFOĞLU
Jüri Başkan**



**Doç. Dr.
Mahnaz GÜMRÜKÇÜOĞLU YİĞİT
Üye**



**Doç. Dr.
Aslıhan KERÇ
Üye**

BEYAN

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Kentsel Nitelikli Arıtılmış Atık Suların Tekrar Kullanımı; Hendek Örneği” başlıklı bu çalışmayı danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Yasemin Damar Arifoğlu sorumluluğunda tamamladığımı, içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, bazı deneylerin Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarlarında tarafımdan gerçekleştirildiğini, bazı deneylerin ise Aksaray Üniversitesi ve Sakarya Üniversitesi Gıda Mühendisliğinden hizmet alımı yaparak gerçekleştirdiğimi, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunduğumu, tezde yer alan verilerin bu üniversite ve ya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Zeynep SOLAK

06.06.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerimi, tecrübelerini, değerli zamanlarını, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan, çalışma sürecinin her aşamasında beni yönlendiren ve destekleyen değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Yasemin Damar Arifoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada yapmış oldukları teknik destekten dolayı başta SASKİ Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanı Sayın İbrahim Bal'a, Atıksu Arıtmalar Şube Müdürü Murat İkinciye, Hendek Atıksu Arıtma Tesis sorumlusu Ebübekir Lökbaş ve ekibine, Mikrobiyolojik analizlerin yapılmasında ve yorumlanmasında bilgilerimi esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Gıda mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet Ayar'a ve Arş. Gör. Ayşe Sarıçam'a teşekkür ederim.

Benim için yaptıklarını kendilerine hiçbir zaman ödeyemeceğim hayattaki en büyük şansım olan canım anneme, rahmetli babama ve sevgili ağabeylerime teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın uygulamasında maddi destek sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2014-01-12-003) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	vii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Sakarya Su Durumu ve Çalışma Amacı	9
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	10
2.1. Avrupa Yeniden Kullanım Uygulamaları	13
2.1.1. İspanya	14
2.1.2. Fransa	14
2.1.3. Malta	15
2.1.4. İtalya	15
2.1.5. Yunanistan	15
2.1.6. Güney Kıbrıs	15
2.2. Asya Yeniden Kullanım Uygulamaları	16
2.2.1. Suriye	16
2.2.2. Ürdün	16
2.2.3. Birleşik Arap Emirlikleri	17
2.2.4. Kuveyt	17

2.2.5. İsrail	17
2.2.6. Hindistan	18
2.2.7. Çin	19
2.2.8. Singapur	20
2.3. Amerika Yeniden Kullanım Uygulamaları	21
2.3.1. Kaliforniya	21
2.3.2. Florida	23
2.3.3. Meksika	23
2.3.4. Trinidad ve Tobago	24
2.3.5. Arjantin	25
2.4. Okyanusya Yeniden Kullanım Uygulamaları	25
2.4.1. Avustralya	26
2.5. Afrika Yeniden Kullanım Uygulamaları	27
2.5.1. Tunus	28
2.5.2. Mısır	29
2.5.3. Fas	29
2.6. Türkiye Yeniden Kullanım Uygulamaları	30

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	34
3.1. Hendek AAT Genel Tanıtım ve Atıksu Karakterizasyonu	34
3.2. Pilot Ölçekli Tesislerinde Kullanılan Arıtma Cihazları	37
3.2.1. Kum filtre ve çalışma prensibi	37
3.2.2. Aktif karbon filtre ve çalışma prensibi	38
3.2.3. Su yumuşatma ünitesi ve çalışma prensibi	40
3.2.4. Mikrofiltrasyon ve çalışma prensibi	41
3.2.5. Ultrafiltrasyon	42
3.2.6. Ultraviyole dezenfeksiyon	44
3.3. Analiz ve Bulgular	44
3.3.1. Analiz metotları	45
3.3.2. Kum filtre + klorlama	46
3.3.3. Kum filtre + aktif karbon filtre + klorlama	60

3.3.4. Kum filtre + ultraviyole dezenfeksiyon	68
3.3.5. Kum filtre + aktif karbon filtre + yumuşatma + klorlama.....	75
3.3.6. Kum filtre + mikrofiltrasyon + ultraviyole dezenfeksiyon	81
3.3.7. Aktif karbon filtre + mikrofiltrasyon + klorlama	88
3.3.8. PACS dozajı + kum filtre + klorlama	95
3.3.9. Kum filtre + ultrafiltrasyon + ultraviyole dezenfeksiyon	103
3.3.10. Aktif karbon filtre + ultrafiltrasyon + klorlama	111

BÖLÜM 4.

SONUÇ VE ÖNERİLER	118
KAYNAKLAR	122
ÖZGEÇMİŞ	127

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAT	: Atıksu arıtma tesisi
AATTUT	: Atıksu arıtma tesisi teknik usuller tebliği
AKF	: Aktif karbon filtre
AKM	: Askıda katı madde
BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
DSİ	: Devlet Su İşleri
EC	: Electrical conductivity
FAO	: Food and Agriculture Organization
GAC	: Granuler active carbon
KF	: Kum filtre
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
MF	: Mikrofiltrasyon
NF	: Nanofiltrasyon
NTU	: Nephelometric turbidity unit
PACS	: Poli alüminyum klorür hidroksit sülfat
SAR	: Sodium adsorption rate
SASKİ	: Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi
TÇM	: Toplam çözülmüş madde
TOC	: Toplam organik karbon
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UF	: Ultrafiltrasyon
UV	: Ultraviyole

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Küresel su dağılımı	1
Şekil 1.2. Dünya fiziksel ve ekonomik su kıtlığı	2
Şekil 1.3. Sektörlere göre su çekimi	3
Şekil 1.4. Su stres indeksi mevcut durum oranları	6
Şekil 2.1. İleri arıtma sonrası dünyadaki atıksu geri kazanım uygulamaları	13
Şekil 2.2. Pomona su ıslah tesis akış diagram	22
Şekil 3.1. Hendek atıksu arıtma tesisine ait proses akısı	35
Şekil 3.2. Pilot tesislerde kullanılan kum filtresi cihazı	38
Şekil 3.3. Pilot tesislerde kullanılan kum filtre sistem pozisyonları	38
Şekil 3.4. Pilot tesislerde kullanılan aktif karbon filtre cihazı	39
Şekil 3.5. Pilot tesislerde kullanılan su yumuşatma ünitesi	41
Şekil 3.6. Mikrofiltrasyon ayırma prensibi	42
Şekil 3.7. Kartuş filtreler ve mikrofiltrasyon	42
Şekil 3.8. Ultrafiltrasyon cihazı	43
Şekil 3.9. Ultraviyole dezenfeksiyon cihazı	44
Şekil 3.10. KF + klorlama akım şeması	46
Şekil 3.11. KF + klorlama pilot tesisi	47
Şekil 3.12. Birinci alternatif KOİ'nin zamanla değişimi	47
Şekil 3.13. Birinci alternatif AKM'nin zamanla değişimi	48
Şekil 3.14. Birinci alternatif bulanıklığın zamanla değişimi	48
Şekil 3.15. Birinci alternatif iletkenliğin zamanla değişimi	49
Şekil 3.16. Birinci alternatif pH'ın zamanla değişimi	49
Şekil 3.17. KF + AKF + klorlama akım şeması	60
Şekil 3.18. KF + AKF + klorlama pilot tesisi	61
Şekil 3.19. İkinci alternatif KOİ'nin zamanla değişimi	61
Şekil 3.20. İkinci alternatif AKM'nin zamanla değişimi	62

Şekil 3.21. İkinci alternatif bulanıklığın zamanla değişimi	62
Şekil 3.22. İkinci alternatif iletkenliğin zamanla değişimi	63
Şekil 3.23. İkinci alternatif pH'ın zamanla değişimi	63
Şekil 3.24. KF + UV dezenfeksiyon akım şeması	68
Şekil 3.25. KF + UV dezenfeksiyon pilot tesisi	68
Şekil 3.26. Üçüncü alternatif KOİ'nin zamanla değişimi	69
Şekil 3.27. Üçüncü alternatif AKM'nin zamanla değişimi	69
Şekil 3.28. Üçüncü alternatif bulanıklığın zamanla değişimi	70
Şekil 3.29. Üçüncü alternatif iletkenliğin zamanla değişimi	70
Şekil 3.30. Üçüncü alternatif pH'ın zamanla değişimi	71
Şekil 3.31. KF + AKF + yumuşatma + klorlama akım şeması	75
Şekil 3.32. KF + AKF + yumuşatma + klorlama pilot tesisi	76
Şekil 3.33. Dördüncü alternatif KOİ'nin zamanla değişimi	76
Şekil 3.34. Dördüncü alternatif AKM'nin zamanla değişimi	76
Şekil 3.35. Dördüncü alternatif bulanıklığın zamanla değişimi	77
Şekil 3.36. Dördüncü alternatif iletkenliğin zamanla değişimi	77
Şekil 3.37. Dördüncü alternatif pH'ın zamanla değişimi	78
Şekil 3.38. KF + MF + UV dezenfeksiyon akım şeması	82
Şekil 3.39. KF + MF+ UV dezenfeksiyon pilot tesisi	82
Şekil 3.40. Beşinci alternatif KOİ'nin zamanla değişimi	82
Şekil 3.41. Beşinci alternatif AKM'nin zamanla değişimi	83
Şekil 3.42. Beşinci alternatif bulanıklığın zamanla değişimi	83
Şekil 3.43. Beşinci alternatif iletkenliğin zamanla değişimi	84
Şekil 3.44. Beşinci alternatif pH'ın zamanla değişimi	84
Şekil 3.45. AKF + MF + klorlama akım şeması	88
Şekil 3.46. AKF + MF + klorlama pilot tesisi	89
Şekil 3.47. Altıncı alternatif KOİ'nin zamanla değişimi	89
Şekil 3.48. Altıncı alternatif AKM'nin zamanla değişimi	90
Şekil 3.49. Altıncı alternatif bulanıklığın zamanla değişimi	90
Şekil 3.50. Altıncı alternatif iletkenliğin zamanla değişimi	91
Şekil 3.51. Altıncı alternatif pH'ın zamanla değişimi	91
Şekil 3.52. PACS + KF + klorlama akım şeması	95

Şekil 3.53. PACS + KF + klorlama pilot tesisi	95
Şekil 3.54. Yedinci alternatif KOİ'nin zamanla değişimi	96
Şekil 3.55. Yedinci alternatif AKM'nin zamanla değişimi	96
Şekil 3.56. Yedinci alternatif bulanıklığın zamanla değişimi	97
Şekil 3.57. Yedinci alternatif iletkenliğin zamanla değişimi	97
Şekil 3.58. Yedinci alternatif pH'ın zamanla değişimi	98
Şekil 3.59. KF + UF + UV dezenfeksiyon akım şeması	103
Şekil 3.60. KF + UF+ UV dezenfeksiyon pilot tesisi	103
Şekil 3.61. Sekizinci alternatif KOİ'nin zamanla değişimi	104
Şekil 3.62. Sekizinci alternatif AKM'nin zamanla değişimi	104
Şekil 3.63. Sekizinci alternatif bulanıklığın zamanla değişimi	105
Şekil 3.64. Sekizinci alternatif iletkenliğin zamanla değişimi	105
Şekil 3.65. Sekizinci alternatif pH'ın zamanla değişimi	106
Şekil 3.66. AKF + UF + klorlama akım şeması	111
Şekil 3.67. AKF + UF+ klorlama pilot tesisi	111
Şekil 3.68. Dokuzuncu alternatif KOİ'nin zamanla değişimi	112
Şekil 3.69. Dokuzuncu alternatif AKM'nin zamanla değişimi	112
Şekil 3.70. Dokuzuncu alternatif bulanıklığın zamanla değişimi	113
Şekil 3.71. Dokuzuncu alternatif iletkenliğin zamanla değişimi	113
Şekil 3.72. Dokuzuncu alternatif pH'ın zamanla değişimi	114

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Ülkelere göre tatlı su çekimi ve sektörel kullanım	4
Tablo 1.2. Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli	5
Tablo 1.3. Su varlığına göre ülkelerin sınıflandırılması	5
Tablo 2.1. Arıtılmış atıksuların kullanım alanları	11
Tablo 3.1. Hendek atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış suyu değerleri	36
Tablo 3.2. Pilot tesislerde kullanılan kum filtre teknik özellikleri	37
Tablo 3.3. Pilot tesislerde kullanılan aktif karbon filtre teknik özellikleri	39
Tablo 3.4. Pilot tesislerde kullanılan su yumuşatma ünitesi teknik özellikleri	40
Tablo 3.5. Pilot tesislerde kullanılan mikrofiltrasyon teknik özellikleri	41
Tablo 3.6. Pilot tesislerde kullanılan ultrafiltrasyon teknik özellikleri	43
Tablo 3.7. Pilot tesislerde kullanılan ultraviyole cihazı teknik özellikleri	44
Tablo 3.8. Pilot tesis arıtılmış atıksu giriş değerleri	46
Tablo 3.9. I. pilot tesis verilerinin karşılaştırılması	50
Tablo 3.10. Arıtılmış atıksuların sınıflandırılması	50
Tablo 3.11. I. pilot tesis sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması	55
Tablo 3.12. I. pilot tesis ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması	56
Tablo 3.13. II. pilot tesis verilerinin karşılaştırılması	64
Tablo 3.14. II. pilot tesis sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması	64
Tablo 3.15. II. pilot tesis ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması	65
Tablo 3.16. III. pilot tesis verilerinin karşılaştırılması	71
Tablo 3.17. III. pilot tesis sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması	72
Tablo 3.18. III. pilot tesis ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması	73
Tablo 3.19. IV. pilot tesis verilerinin karşılaştırılması	78
Tablo 3.20. IV. pilot tesis sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması	79
Tablo 3.21. Na, Mg, Ca parametrelerine ait pilot tesis giriş ve çıkış değerleri	79
Tablo 3.22. IV. pilot tesis ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması	80

Tablo 3.23. V. pilot tesis verilerinin karşılaştırılması	85
Tablo 3.24. V. pilot tesis sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması	85
Tablo 3.25. V. pilot tesis ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması	86
Tablo 3.26. VI. pilot tesis verilerinin karşılaştırılması	92
Tablo 3.27. VI. pilot tesis sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması	92
Tablo 3.28. VI. pilot tesis ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması	93
Tablo 3.29. VII. pilot tesis verilerinin karşılaştırılması	99
Tablo 3.30. VII. pilot tesis sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması	99
Tablo 3.31. VII. pilot tesis ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması	100
Tablo 3.32. VIII. pilot tesis verilerinin karşılaştırılması	106
Tablo 3.33. VIII. pilot tesis sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması	107
Tablo 3.34. VIII. pilot tesis ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması	108
Tablo 3.35. IX. pilot tesis verilerinin karşılaştırılması	114
Tablo 3.36. IX. pilot tesis sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması	115
Tablo 3.37. IX. pilot tesis ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması	116
Tablo 4.1. Pilot tesis verilerinin karşılaştırılması	119

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Biyolojik Arıtma, Kentsel Atık Su, Geri Kazanım, Tekrar Kullanım, Endüstriyel Kullanım Suyu, Sulama

Bu çalışmada, Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne ait Hendek Atıksu Arıtma Tesisi çıkışından temin edilen arıtılmış atık sular kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında pilot ölçekli ileri arıtma tesisleri kurularak geri kazanılan suların tarımsal sulama, endüstriyel kullanım ve kentsel alanların sulanması amacıyla kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kum filtresi, aktif karbon filtresi, ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon, su yumuşatma ünitesi, UV dezenfeksiyon cihazları kullanılarak dokuz farklı alternatif denenmiştir. Pilot ölçekli tesisler 1-kum filtresi + klorlama, 2-kum filtresi + aktif karbon filtre + klorlama, 3-kum filtre + UV dezenfeksiyon, 4-kum filtre + aktif karbon filtre + yumuşatma + klorlama, 5-kum filtre + mikrofiltrasyon + UV dezenfeksiyon, 6-aktif karbon filtre + mikrofiltrasyon + klorlama, 7-Poli Alüminyum Klorür Hidroksit Sülfat(PACS) + kum filtre + klorlama, 8-kum filtre + ultrafiltrasyon + UV dezenfeksiyon ve 9-aktif karbon filtre + ultrafiltrasyon + klorlama şeklinde sıralanmıştır. Her bir alternatif için kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM), bulanıklık, iletkenlik, pH değerlerinin zamana göre değişimi izlenmiştir. Fekal koliform, toplam koliform, bakiye klor, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), özgül iyon toksisitesi, nütrient seviyeleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır ve sonuçlar Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine (SKKY) bağlı Atıksu Arıtma Tesisi Teknik Usuller Tebliği, AATTUT Ek 7' ye göre değerlendirilip yorumlanmıştır. Denemeler sonucunda IV. alternatifin endüstriyel kullanım suyu olarak, diğer alternatiflerin ise ayrı ayrı tarımsal ve kentsel alanların sulanmasında sınıf A kalitesinde su olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Fekal koliform ve toplam koliform % 100 oranlarında giderilmiştir ve ağır metal konsantrasyon değerleri yönetmelik sınır değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Bakiye klor > 1mg/L' nin üzerinde ölçülmüştür ve yönetmelikte istenilen tüm değerler sağlanmıştır. Sonuç olarak; VI. alternatifin (aktif karbon filtre + mikrofiltrasyon + klorlama) AKM, KOİ, bulanıklık arıtma verimleri sırasıyla % 100, % 86,9, % 96,2 dir. Pilot sistemde mikrofiltrasyonun herhangi bir etkisi olmadığından Hendek Atıksu Arıtma Tesisi için "aktif karbon filtre + klorlama" ünitesi şeklinde kurulacak olan sistem ekonomik açıdan uygun olacaktır.

REUSE OF URBAN QUALIFIED REFINED WASTEWATER (HENDEK CASE)

SUMMARY

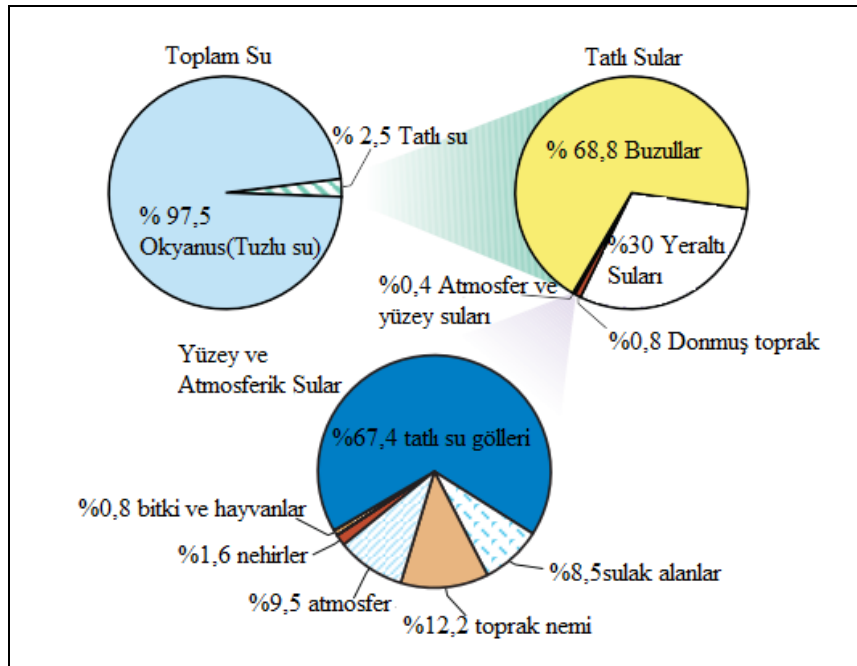
Keywords: Biological Treatment, Urban Waste Water, Recycling, Reuse, Industrial Process Water, Irrigation

In this study, treated wastewater, which is supplied from Sakarya Hendek Wastewater Treatment Plant effluent, is used. In laboratory environment, usage availability of recycled water in agricultural irrigation, industrial use and urban area irrigation is researched by establishing a pilot-scale advanced treatment plant. By using equipment, which is sand filter, activated carbon filter, ultrafiltration, microfiltration, water softening unit and uv disinfection, nine different alternatives are tested. Pilot-scale facilities are organized in the form of 1- sand filter + chlorination, 2- sand filter + activated carbon filter + chlorination, 3- sand filter + uv disinfection, 4- sand filter + activated carbon filter + water softening unit + chlorination, 5- sand filter + microfiltration + uv disinfection, 6- activated carbon filter + microfiltration + chlorination, 7- PACS + sand filter + chlorination, 8- sand filter + ultrafiltration + uv disinfection, 9- activated carbon filter + ultrafiltration + chlorination. Changes of chemical oxygen demand (COD), suspended solids (SS), turbidity, conductivity and pH values for each alternative are observed with respect to time. Fecal coliforms, total coliforms, residual chlorine, SAR (sodium adsorption ratio), specific ion toxicity, nutrient levels and heavy metal analyses are made and results are evaluated according to Wastewater Treatment Plant Technical Procedures Communique (WTPTPC) Appendix 7, which is related to Water Pollution Control Regulation (WPCR). As a results of trials that IV. alternative can be used as industrial water supply and the other alternatives can be used as class A- quality irrigation water in agricultural and urban areas, is identified. Fecal coliform and total coliforms are eliminated totally and heavy metal concentration is determined under the regulations limit values. Residual chlorine is measured over than 1mg/L and all request value in regulation is provided. Consequently, the ss, cod, turbidity treatment efficiency values of VI. alternative, which consists of activated carbon filter, microfiltration and chlorination, are 100%, 86,9%, 96,2% respectively. Microfiltration does not have any effects on the pilot system; hence, the system which is established in the form of activated carbon filter and chlorination is going to be feasible economically.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Su yaşam olgusunu karşılayan ve canlıların hayatlarının idamesi için gerekli somut bir kavramdır. Tarih boyunca da medeniyetler su kaynaklarının kenarında (akarsu) kurulmakta olduğu ve suyun, uygarlıkların gelişmesine katkıda bulunduğu gözlenmektedir. Su; tarım, endüstri, enerji üretimi, çevre koruma, kentsel ve bölgesel gelişim gibi farklı alanlarda oluşturulan politikalarında ortak noktası olmaktadır. Bu sebepten dolayı su ve çevre birbirinden bağımsız düşünülmemektedir.

Dünyada toplam su miktarı 1 milyar 400 km³'tür ve bu suyun hepsine ulaşamamaktadır. Şekil 1.1.'de küresel su dağılımı gösterilmektedir. Mevcut olan bu suların %97,5 i tuzlu su olarak okyanus ve denizlerde bulunmaktadır. %2,5'lik kısmı ise tatlı sudur. Tatlı suyunda %69,6'ı kutuplarda buzul veya donmuş toprak olarak içerisinde bulunmaktadır. Kalan suların %30'ü yer altı, %0,4'ü ise atmosfer ve yüzey sularıdır [1].

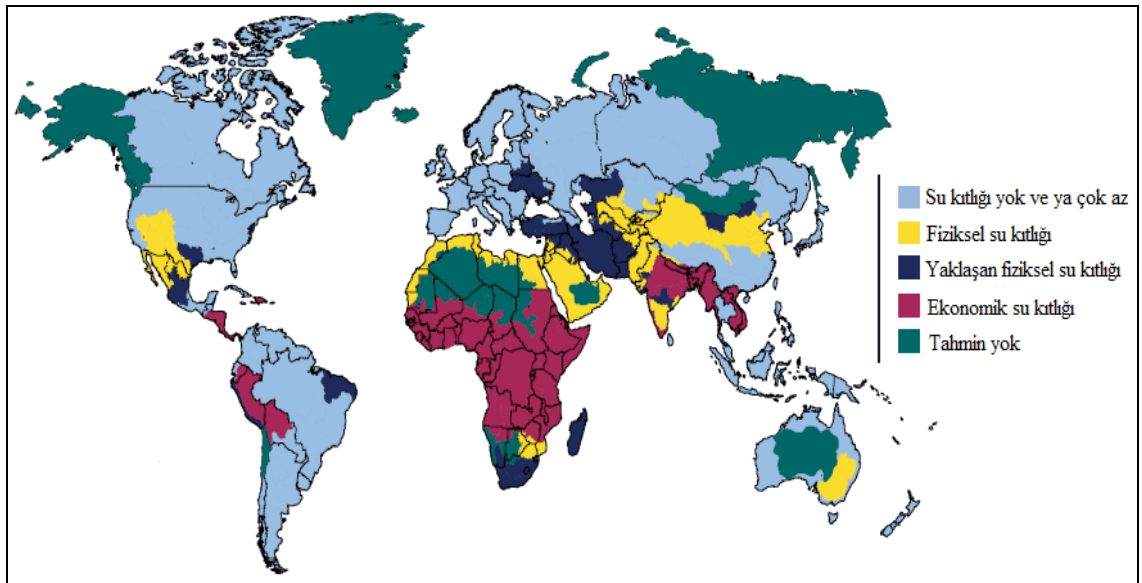


Şekil 1.1. Küresel su dağılımı [1].

Küresel çapta su dağılımı adil değildir ve su sınırlı bir kaynaktır. Ayrıca yağın yağışların hepsi canlılar tarafından kullanılmamaktadır [1].

İklim değişikliklerinin hidrolojik çevrim üzerindeki oluşturduğu dalgalanmalar (kuraklık – çölleşme etkisi), dünya nüfusunun artması (çarpık, hızlı, plansız kentleşmenin beraberinde akarsu yataklarının kurutulup yerleşime açılması), endüstriyel gelişmeler ve tüketici alışkanlıklarının farklılaşması gibi nedenlerle su miktarında azalmalar söz konusudur.

Şekil 1.2.'de dünya fiziksel ve ekonomik su kıtlığı haritası gösterilmektedir. 7,44 milyar olan dünya nüfusunun 2030 yılında 8,3 milyar olması beklenmektedir. Nüfus artışına paralel kentleşmenin de artması beklenmekte ve nüfusun yaklaşık %60'ında şehirlerde yaşaması tahmin edilmektedir. Sonuç olarak su kaynaklarının miktarı ve kalitesi üzerindeki baskılar daha da yoğunlaşacaktır.



Şekil 1.2. Dünya fiziksel ve ekonomik su kıtlığı [2].

Dünyada su kullanımı; gıda-tarım (en fazla su kullanan sektörler), enerji, sanayi, yerleşim alanları (evsel ve içme suyu amaçlı kullanımlar), ekosistemlerin su ihtiyaçları şeklinde beş temel başlık altında toplanmıştır. Dünyadaki su kaynaklarının %69'u tarımsal, %19'u sanayi ve %12 i evsel amaçlı kullanılmaktadır [3].

Şekil 1.3.'de kıtaların sektörlere göre çektiği su miktarları verilmektedir. Asya ve Afrika kıtalarında tarım alanında su kullanım oranı yüksek iken Avrupa kıtasında endüstriyel alanda su kullanım oranı yüksektir. Sektör bazında çekilen su miktarı, ülkelerin gelişmişlik seviyelerini de göstermektedir. Tablo 1.1.'de bazı ülkelere ait tatlı su çekimi ve sektörel kullanım oranları verilmektedir. Kanada, Fransa, Rusya ve İngiltere sanayide su kullanım oranları yüksek ülkeler arasındadır.

Sektörlere göre su çekimi (2010)										
Kıta Bölgeler	Alt Bölgeler	Sektörlere göre toplam su çekimi						Toplam su çekimi km ³ /yıl	Toplam tatlı su çekimi km ³ /yıl	Yenilenebilir tatlı su çekimi %
		Belediye		Endüstriyel		Tarımsal				
		km ³ /yıl	%	km ³ /yıl	%	km ³ /yıl	%			
Dünya		464	12	768	19	2 769	69	4 001	3 853	9
Afrika		33	15	9	4	184	81	227	220	6
Kuzey Afrika		14	13	3	3	89	84	106	101	215
Sahra Altı Afrika		19	16	6	5	96	79	121	119	3
	Sudano Sahelian	2.1	5	0.6	1	40.2	94	42.8	42.8	26.8
	Gine Körfezi	6.5	39	2.6	16	7.4	45	16.5	16.5	1.7
	Orta Afrika	1.3	45	0.5	19	1.0	36	2.8	2.8	0.1
	Doğu Afrika	3.0	15	0.3	1	16.8	84	20.1	20.1	7.0
	Güney Afrika	5.5	22	2.1	9	16.9	69	24.6	23.0	8.5
	Hint Okyanus Adaları	0.6	4	0.2	1	13.5	94	14.3	14.3	4.2
Amerika		123	14	321	37	415	48	859	855	4
Kuzey Amerika		79	13	289	47	241	40	610	605	10
	Kuzey Amerika	68.0	13	281.5	53	179.8	34	529.3	526.0	9.3
	Meksika	11.4	14	7.3	9	61.6	77	80.3	79.5	19.4
Orta Amerika ve Karayipler		8	23	6	18	20	59	33	33	5
	Orta Amerika	3.3	27	1.3	11	7.5	62	12.1	12.1	1.9
	Karayipler-Büyük Antiller	4.0	19	4.6	22	12.0	58	20.5	20.5	22.2
	Karayipler-Küçük Antiller ve Bahamalar	0.4	60	0.1	23	0.1	18	0.6	0.5	9.7
Güney Amerika		36	17	26	12	154	71	216	216	2
	Guyana	0.1	5	0.2	8	1.8	87	2.1	2.1	0.6
	Andean	10.9	18	3.9	7	45.2	75	60.1	60.0	1.1
	Brezilya	17.2	23	12.7	17	44.9	60	74.8	74.8	1.3
	Güney Amerika	7.9	10	9.0	11	62.4	79	79.3	79.1	5.7
Asya		234	9	253	10	2 069	81	2 556	2 421	20
Orta Doğu		25	9	20	7	231	84	276	268	55
	Arap yarımadası	3.9	11	0.9	3	29.5	86	34.3	30.1	492.2
	Kafkasva	1.7	10	2.9	17	12.3	73	16.9	16.9	23.1
	İran	6.2	7	1.1	1	86.0	92	93.3	93.1	72.5
	Yakın Doğu	13.6	10	14.9	11	103.3	78	131.8	128.0	46.3
Orta Asya		7	5	10	7	128	89	145	136	56
Güney ve Doğu Asya		202	9	224	10	1 710	80	2 135	2 017	18
	Güney Asya	70.2	7	20.0	2	912.8	91	1003.1	889.6	46.0
	Doğu Asya	98.3	14	158.0	22	469.4	65	725.8	721.5	21.2
	Güneydoğu Asya(anakara)	7.5	4	6.6	4	164.4	92	178.4	178.2	9.4
	Güneydoğu Asya(deniz kıyası)	25.7	11	39.1	17	163.4	72	228.2	228.0	5.9
Avrupa		69	21	181	54	84	25	334	332	5
Batı ve Orta Avrupa		51	21	131	53	66	27	248	246	12
	Kuzey Avrupa	2.7	31	4.9	55	1.2	14	8.8	8.8	1.1
	Batı Avrupa	21.0	21	73.5	74	4.9	5	99.4	98.7	15.9
	Orta Avrupa	9.3	23	27.6	68	3.6	9	40.5	40.5	16.3
	Akdeniz Avrupası	17.9	18	25.0	25	55.9	57	98.8	97.8	23.1
Doğu Avrupa		18	21	50	58	18	21	86	86	2
	Doğu Avrupa	4.3	22	10.6	53	5.1	25	20.0	20.0	14.7
	Rusya	13.4	20	39.6	60	13.2	20	66.2	66.2	1.5
Okyanusya		5	20	4	15	16	65	25	25	3
Avustralya ve Yeni Zelanda		5	20	4	15	16	65	25	24	3
Diğer Pasifik Adaları		0.03	30	0.01	11	0.05	59	0.1	0.1	0.1

Şekil 1.3. Sektörlere göre su çekimi [3].

Tablo 1.1. Ülkelere göre tatlı su çekimi ve sektörel kullanımı [4].

Ülke	Toplam tatlısu çekimi (km ³ /yıl)	Kişi başı tatlısu çekimi (m ³ /kişi/yıl)	Evsel kullanım (%)	Sanayi Kullanımı (%)	Tarımsal kullanım (%)	2010 nüfüsü (milyon)
Angola	0,4	18	23	17	60	19
Mısır	68,3	809	8	6	86	84
Somali	3,3	352	0	0	99	9
Kanada	45,1	1330	20	69	12	34
ABD	482,2	1518	13	46	41	318
Brezilya	58,1	297	28	17	55	195
Çin	578,9	425	12	23	63	1362
Hindistan	761	627	7	2	90	1214
İsrail	2	268	36	6	58	7
Japonya	88,4	696	20	18	62	127
Fransa	33,2	529	16	74	10	63
Rusya	76,7	546	19	63	18	140
İngiltere	11,8	190	22	75	3	62
Avustralya	59,8	2782	15	10	75	22

Ülkemizde yıllık ortalama yağış miktarı 643 mm civarında bulunmakta ve bu değer yılda ortalama 501 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Tablo 1.2.'de Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli gösterilmiştir. 501 milyar m³ suyun 274 milyar m³'ü buharlaşma şeklinde atmosfere geri dönerken, 69 milyar m³'lük kısmı yer altı sularını beslemekte, 158 milyar m³'lük kısmı ise akışa geçerek akarsular aracılığıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yer altı suyunu besleyen 69 milyar m³'lük suyun 28 milyar m³'ü pınarlar yoluyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Bunun yanında komşu ülkelere 7 milyar m³ su gelmektedir. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m³ olmaktadır ve bu miktar yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m³ suya ilave edildiğinde ülkemizin yenilenebilir toplam su potansiyeli brüt olarak 234 milyar m³ olarak hesaplanmaktadır. Fakat mevcut teknik ve ekonomik koşullar göz önünde bulundurulduğunda yerüstü su potansiyeli yurt içi akarsularından 95 milyar m³, komşu ülkelere gelen akarsulardan da 3 milyar m³ su ile birlikte yılda

toplam ortalama 98 milyar m³'tür. 14 milyar m³ olarak belirlenen yer altı suyu potansiyeli ile birlikte Türkiye'de 112 milyar m³ potansiyele sahip kullanılabilir su mevcuttur [5].

Tablo 1.2. Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli [5].

Kaynak	Miktar
Yıllık ortalama yağış	643 mm/yıl
Yıllık yağış miktarı	501 milyar m ³
Buharlaşma	274 milyar m ³
Yer altına sızma	41 milyar m ³
Yüzeysel suyu yıllık yüzeysel akışı	186 milyar m ³
Kullanılabilir yüzeysel suyu	98 milyar m ³
Yer altı suyu yıllık çekilebilir	14 milyar m ³
Toplam kullanılabilir su miktarı net	112 milyar m ³

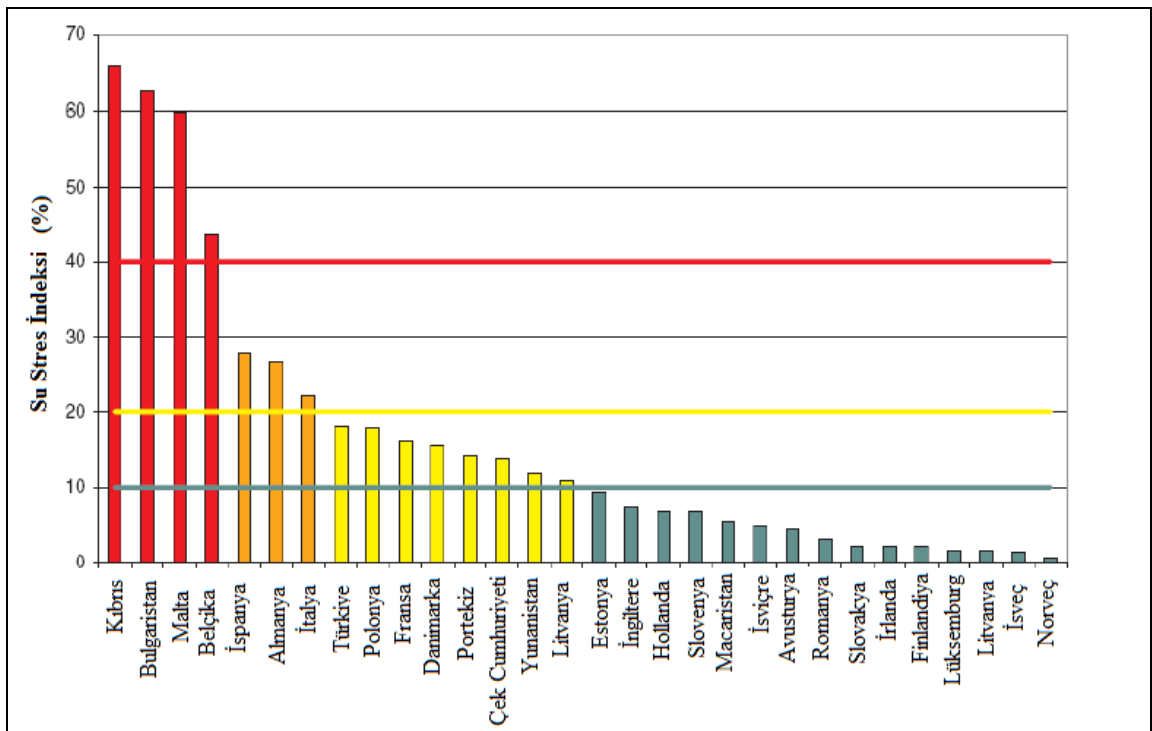
Türkiye 112 milyar m³ kullanılabilir su potansiyelinin 44 milyar m³'nu kullanmaktadır. Mevcut su kaynaklarından yararlanma olanağı ise yaklaşık % 39 dur. Su kaynaklarının %73 yani 32 milyar m³'ü sulamada, %16'sı 7 milyar m³'ü içme ve kullanma suyu olarak, %11'i 5 milyar m³'ü ise sanayide kullanılmaktadır. Ülkelerin su zenginlikleri ya da fakirlikleri, basit anlamda kişi başına düşen su miktarına bakılarak ölçülmektedir. Tablo 1.3.'de su varlığına göre ülkelerin sınıflandırılması gösterilmektedir.

Tablo 1.3. Su varlığına göre ülkelerin sınıflandırılması

Kişi başına su tüketimi (m ³)	Ülkenin Durumu
> 10000	Su zengini
3000-10000	Kendi ihtiyacını karşılayabilen
1000-3000	Su sıkıntısı bulunan
<1000	Su fakiri

Ülkemiz, 2013 yılı ile birlikte kişi başına düşen yaklaşık 1.500 m³ kullanılabilir su miktarı ile su fakiri olma konumuna gelmiş bulunmaktadır [6]. Türkiye İstatistik

Kurumu (TÜİK) tarafından 2030 yılı için nüfusun 100 milyon olacağı tahmin edilmektedir. Bu durumda, 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.120 m³/yıl civarında olacağı hesaplanmakta ve ülkemizin su sıkıntısı yaşayacağı tahmin edilmektedir [5]. Şekil 1.4.'de bazı ülkelere ait su stres oranları verilmiştir. Ülkemiz için bu oran %20'ye yakındır. Bu da kalkınmayı engelleyebilecek su sıkıntısının olduğunu ve bu problemin çözümüne yönelik yatırımların yapılması gerektiğine dikkat çekmektedir [7].



Şekil 1.4. .Su stres indeksi mevcut durum oranları (% 10 düşük, % 10-20 orta, % 20-40 yüksek,% 40 ve üzeri şiddetli) [8].

Su sıkıntısıyla karşılaşmamak için su sıkıntısını yaratacak bileşenlerin iyi irdelenmesi ve etkinin azaltılmasına yönelik tedbirlerin alınması gerekir. Bu bağlamda da artan su talebini karşılamak, tatlı su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltmak için arıtılmış atık suların geri kazanımı ve yeniden kullanımı alternatif su kaynağı olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Ülkemizdeki kurum ve kuruluşlarda arıtılmış atık suların yeniden kullanımına yönelik akılcı eylem planlarına yer verilmektedir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

(Resmi Gazete, 2004) Madde 28’de “Sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıdığı yörelerde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlayacak derecede arıtılmış atık suların, sulama suyu olarak kullanılması teşvik edilir.” olarak yer almaktadır. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (Resmi Gazete, 2010) Ek 7.’de ise “Arıtılmış atık suların sulamada kullanılması büyük bir potansiyele sahiptir.” ibaresi bulunmaktadır.

Arıtılmış atık suların yeniden kullanımı, Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı’nın 9. Beş Yıllık Kalkınma Planı’nda (2007–2013), “evrenin Korunması ve Kentsel Altyapının Geliştirilmesi” başlığında 469 no.’lu maddede; “Yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmeden korunması sağlanacak ve atık suların arıtıldıktan sonra tarım ve sanayide kullanılması teşvik edilecektir.” şeklinde bir metin bulunmaktadır [9].

Onuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı’nda 981. madde de ise “şehirlerde kanalizasyon ve atık su arıtma altyapısı geliştirilecek, bu altyapıların havzalara göre belirlenen deşarj standartlarını karşılayacak şekilde çalıştırılmaları sağlanacak, arıtılan atık suların yeniden kullanımı özendirilecektir.” ifadesi yer almaktadır [6]. Bu madde gereği evsel ve endüstriyel nitelikli atık suların arıtıldıktan sonra yeniden kullanımının yaygınlaştırılması, su ve enerji kaynaklarının korunması, sürdürebilir su temini için uygun teknolojilerin geliştirilmesi ve hizmete sunulması hedeflenmektedir. Atık suların yeniden kullanılması için yapılacak olan arıtma tesisleri suyun yeniden kullanım yerine göre tasarlanmalıdır.

Hedefe yönelik yapılması gerekenler ise;

- a. Mevcut durumdaki arıtma tesislerindeki arıtılmış atık suların yeniden kullanım potansiyelini araştırmak ve farklı alanlardaki su geri kazanım amacına yönelik cihazlar ekleme,
- b. Arıtılmış atık suların tarımsal ve peyzaj alan kullanımındaki etkilerini göz önünde bulundurma,

- c. Arıtılmış atık sular ile kontrollü koşullar altında akarsuları besleme, akarsuların mevcut kalitesini koruma ve canlılığını sağlama,
 - d. Arıtılmış atık sular ile kontrollü koşullar altında yeraltı sularını beslenebilirliğini gösterme,
 - e. Su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltma,
- şeklinde amaçlanmaktadır [10].

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Madde 18'de arıtılmış atık suların kullanımında; tarımsal, dinlenme maksatlı kullanılan bölgelerin beslenmesi, yer altı suyunun beslenmesi, endüstriyel, dolaylı olarak yangın suyu ve doğrudan içme suyu olarak geri kazanım seçenekleri bulunmaktadır. Atık suların geri kazanımındaki teknoloji ihtiyacı, geri kazanılacak suyun kullanım amaçları ile ilişkilendirilmektedir. Kentsel atık sular tarımsal veya yeşil alan sulamasında kullanılacak ise iyi bir şekilde dezenfekte edilmiş biyolojik arıtma çıkışı gerekmektedir. Doğrudan veya dolaylı geri kazanım söz konusu ise ileri oksidasyon, aktif karbon ve membran teknolojileri gibi daha ileri arıtma alternatifleri uygulanmaktadır. Sulama suyu kriterleri ise Ek 7.'de verilmektedir [11].

Atık su geri kazanımı için tercih edilecek teknoloji tipini etkileyen etkenler; atık su karakteristikleri, atıksuyun nerede geri kullanılacağı, geri kazanılacak atık suyun kalitesi, eser elementlerin miktarı, mevcut duruma uyumu, prosesin esnekliği, bakım, enerji, işletme, kimyasal ve personel ihtiyacıdır [11].

Atık su geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler Tablo E7.10.'da (Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği), atık su geri kazanım amacı ve uygulanabilecek teknolojiler ise Tablo E7.12.'de (Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği) verilmektedir.

Atık su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Tablo E7.1.'de (Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği) kentsel yeşil alanların sulanmasında kullanılacak arıtılmış atık suların arıtma tipinin kum filtreleri, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon veya membran filtreler olabileceği belirtilmektedir [11].

1.1. Sakarya Su Durumu ve Çalışmanın Amacı

Adapazarı 2050 yılı temel alınarak yapılan çalışmalarda SASKİ'nin sorumluluk alanında bulunan bölgelerde nüfus 1.567.192 kişi olarak görülmekte ve bu nüfusa karşılık su ihtiyacı 6.499 m³/sn (204,92 milyon m³/yıl) olmaktadır. Sapanca Gölü'nde DSİ tarafından yapılan ölçümlere göre minimum verim 120 milyon m³/yıl'dır. Gölün tamamı kullanılsa bile ihtiyacı karşılamamaktadır ve alternatif su kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Akçay barajından alınacak suyun, uzun vadede yeterli olmayacağı öngörülmektedir.

SASKİ Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 2012-2016 stratejik plan hedef 8.6.'da "Arıtma tesislerinden elde edilen arıtılmış suyun ve çamurun kullanılabilmesi için çalışmalar yapmak." ifadesine yer verilmektedir [12]. Bu sebepler yüzeysel suların korunması zorunluluğunu ve alternatif su kaynaklarının etkin bir şekilde değerlendirilmesini, kullanılmasını gerektirmektedir.

Bu çalışma; Sakarya ili Hendek İlçesindeki mevcut su tüketim miktarını bir nebze de olsa azaltmak; sulama, rekreasyon gibi gereksinimlerde birincil su kaynaklarının (yüzeysel ve yer altı suları) kullanımı yerine arıtılmış atık suların kullanılması, şehrin temiz su kaynaklarının korunması ve bu suların daha kaliteli su gereksinimi olan yerlere tahsis edilmesi için gerçekleştirilmiş alternatif bir su kaynağı projesidir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Arıtılmış atık sular dünya geneline bakıldığında arazi sulama ve yeraltı suyu beslemede yoğun olarak kullanılmaktadır. Tablo 2.1.'de arıtılmış atık suların kullanım alanları gösterilmektedir. Kabaca kentsel, tarımsal, rekreasyon, endüstriyel, yeraltı suyu besleme ve içme suyu kaynağı olarak kullanımı söz konusudur. Kentsel geri kullanım uygulamalarının ana bileşenleri; golf sahası sulama, peyzaj sulama, yangından koruma ve tuvalet temizleme şeklinde sıralanmaktadır. Geri kazanılmış su, suyun yoğun olarak kullanıldığı; termoelektrik enerji üretimi, kağıt imalatı, tekstil üretimi, gıda işleme, petrol rafinerileri, madencilik ve kimyasal üretim işlemleri yapan sektörlerde soğutma suyu, kazan besleme suyu, proses suyu olarak kullanılmaktadır. Endüstrilerde geri kazanılmış suyun proses suyu olarak kullanılabilirliği kullanım yerine göre farklılık göstermektedir. Örneğin elektronik sanayisinde saf suya yakın kalitede su istenirken, kağıt, metal ve tekstil sanayisinde daha düşük kalitede su kullanılabilir. Tekstil endüstrisi indigo boyama atık suyunun yeniden kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada mikrofiltrasyon, koagülasyon ve ultrafiltrasyon proseslerinin performansları incelenmiş ve en iyi ön arıtma seçeneği olarak tek aşamalı 5 µm MF ve 5 µm kesikli MF + 100 kDa UF uygun görülmüştür. Bu iki ön arıtım seçeneği, NF 270 membranı ile NF performansı karşılaştırıldığında ise en iyi ön arıtım prosesinin, % 87-92 renk ve %10 kimyasal oksijen ihtiyacı sağlayan 5 µm MF' nin olduğu belirtilmiştir [13]. Kolorado'daki Xcel Cherokee enerji santrali günlük 27.000-34.000 m³ suyu soğutma kulelerinde kullanmaktadır. Tesis tatlı su tüketimini azaltmak için 2004 yılında Denver Su Geri Dönüşüm Tesisi' nde geri kazanılan suyu soğutma suyu olarak kullanmaya başlamıştır. Denver su geri kazanım tesisi, Metro Atıksu Arıtma tesisinden ikincil atık su almaktadır ve tesisteki işlemler; biyolojik olarak havalandırılmalı filtreler ile nitrifikasyon, fosfor indirgemesi için alüminyum sülfatla koagülasyon, flokülasyon ve sedimantasyon, derin yataklı antrasit filtrasyon ve mevsim ihtiyacına bağlı olarak serbest klor ya da kloraminli dezenfeksiyon şeklindedir. Geri dönüşüm tesisinde

kazanılan su Cherokee Kuzeybatı rezervuarlarında depolanmaktadır, daha sonra ise Xcel enerji santraline soğutma suyu ve yangından koruma amacıyla verilmektedir [14].

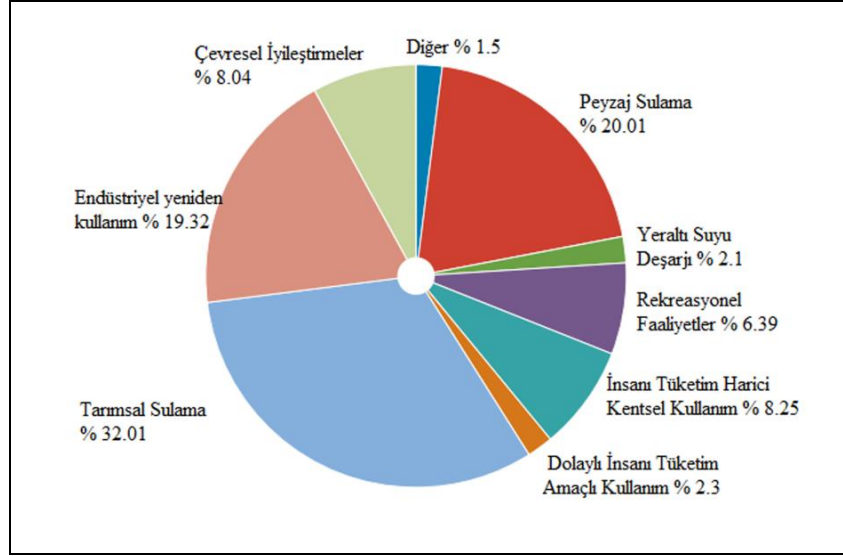
Tablo 2.1. Artırılmış atıksuların kullanım alanları [15].

Kullanım yeri	Uygulama/amaç	Dikkat edilmesi gereken hususlar
Şehir	<ul style="list-style-type: none"> - Parkların, peyzaj sahalarının ve diğer yeşil alanların sulanması, golf sahalarının sulanması -Ticari amaçlı kullanım (araç yıkama, vb.) -Dekoratif amaçlı kullanım (kent içindeki havuzlar, fiskiyeler, şelaleler, vb.) -Toz kontrolü -Beton üretimi -Yangınla mücadele ve yangından korunma -İş merkezlerinin ve iş yerlerinin tuvaletlerinde 	Halk sağlığı, gerekli arıtma yapılmaması durumunda yüzeysel ve yeraltı sularının kirlenme riski
Endüstri	<ul style="list-style-type: none"> -Soğutma suyu -Kazan besleme suyu -Proses suyu -Endüstriyel tesislerin bahçelerinin sulanması 	Korozyon, biyofilm oluşumu, kireçtaşı oluşumu, köpük oluşumu, tıkanma
Tarım	<ul style="list-style-type: none"> -Sulama 	Gerekli arıtma yapılmaması durumunda yeraltı sularının kirlenme riski, halk sağlığı, ürün kalitesi, toprak kirlenmesi,
Restorasyon/ Rekreasyon	<ul style="list-style-type: none"> -Sulak alanların iyileştirilmesi/geliştirilmesi -Rekreasyon amaçlı kullanım (su sporları, balık tutmak, vb.) -Akarsuların beslenmesi -Diğer (Balık üretimi, yapay kar, vb.) 	Halk sağlığı, ötrofikasyon, koku, estetik bozulma
Yeraltı Suyu Besleme	<ul style="list-style-type: none"> -Kıyı şeridinde bulunan kuyulara tuzlu su girişini önlemek için bariyer teşkilinde -İleri arıtmanın sağlanması -Akiferlerin su kapasitesinin artırılması -Geri kazanılmış suyu depolamak -Zemin çökmelerinin kontrolü veya engellenmesi 	Yeraltı su kalitesinin bozulma riski
İçme Suyu Kaynağı	<ul style="list-style-type: none"> -Doğrudan içmesuyu kaynağı olarak -Dolaylı içmesuyu kaynağı olarak 	Halk sağlığı, kabul edilebilirlik,mikrokirleticiler ve olası etkileri

Tarım sektöründe tatlı su kullanımının yüksek olması nedeniyle küresel olarak geri kazanılan suyun büyük bir kısmı da bu alanda kullanılmaktadır. ABD’ de tarımsal sulamada, geri kazanılmış suyun en büyük kullanıcısıdır. Arjantin Mendoza’da 160.000 m³/gün’lük kentsel atık su Campo Espejo arıtma tesisinde 290 ha lagün sistemiyle arıtılmakta ve sulama ihtiyacı karşılanmaktadır. Bunun yanında Avustralya’daki Bolivar AAT’ nde yaklaşık 280 Mm³/yıl geri kazanılmış su 200 km²’lik sebze tarımı alanlarının sulanması için 150 km’lik boru hatlarıyla taşınmaktadır. Fransa’da ise 700 ha’lık mısır tarlalarının sulanması için üçüncül arıtma uygulanmakta olup günlük 10.000 m³ kentsel atık su yeniden kullanılmaktadır. İspanya Vitorya’da ileri arıtma ve dezenfeksiyon işleminden geçirilen yaklaşık 8 Mm³/yıl atık su sulama kaynağı olarak değerlendirilmekte, Tunus’ta ise La Cherguia AAT’inde arıtılan sular 1965 yılından itibaren tarımsal sulama amacıyla kullanılmaktadır [16]. Ayrıca Avustralya-Victoria’da peyzaj sulamalarına ek olarak domates, patates tarlaları ve diğer bitkiler sulanmaktadır. Kıbrıs ise geri kazanılmış suların %90’ını kullanmaktadır (narenciye, zeytin ağaçları ve yem bitkilerinde). İsrail/Peru meyve ağaçları ve bahçe sulamasında Mexico City’de yeşil alanları sulanması, rekreasyon gölleri doldurma ve tarımda, Ürdün’de yem bitkileri hurma ve zeytin ağaçlarını sulamada, İtalya Milano yakınlarında ise çim, pirinç, mısır ve bahçe sulamalarında yılda 86 Mm³ geri kazanılmış su kullanılmaktadır [17,18].

Dünyada en az 60 ülkede suyun yeniden kullanımı ile ilgili çeşitli uygulamalar mevcuttur. Fakat uluslararası veritabanı eksikliği, ülkeler arasındaki nüfus ve alan büyüklüğü farklılıkları gibi etkenlerden dolayı suyun yeniden kullanım yoğunluklarını karşılaştırmak zordur. Yıllık toplam hacim konusunda Meksika, Çin ve ABD (özellikle Kaliforniya, Teksas, Florida ve Arizona) büyük miktarda suyu yeniden kullanan ülkelerdir [8]. Şekil 2.1.’de dünya genelinde, ileri arıtma sonrasında kentsel atıksuların kullanım oranları verilmiştir.

Suyun yeniden kullanımı dünyanın çeşitli yerlerinde uygulanmaktadır. Gelişmiş ülkelerde arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı sıkı kalite değerleri yüzünden kontrollü bir şekilde uygulanmaktadır.



Şekil 2.1. İleri arıtma sonrası dünyadaki atıksu geri kazanım uygulamaları [17].

Günümüzde Güney Avrupa, Avrupa Kıtasında suyun yeniden kullanımına öncülük etmektedir. Yunanistan, Kıbrıs ve İtalya su yeniden kullanım kalite kriterlerini belirlerken Kaliforniyadan, Fransa ise Avustralya yönergelerinden yararlanmıştır. Yunanistan ve İtalya’ da sıkı mevzuatlar nedeniyle 60’dan fazla parametrenin incelenmesi gerekmektedir bu yüzden arıtılmış atık suyun tekrar kullanılması ülkelerin isteğini kırmaktadır.

Singapur, Kaliforniya ve İsrail yüksek teknolojik süreçler kullandıklarından dolayı atık su arıtım ve yeniden kullanımda lider konumdadırlar. Suyun yeniden kullanımı, su kaynakları yönetiminin sürdürülebilmesi ve stratejilerin geliştirilmesinde kritik bir unsurdur [8].

2.1. Avrupa Yeniden Kullanım Uygulamaları

Avrupa’ da atık su kullanımı bölgeye göre farklılık göstermektedir. Güney Avrupa’ da ağırlıklı olarak tarımsal (atık su projelerinin %44’ü) ve kentsel/çevresel (projelerin %37’si) uygulamalar için kullanılmaktadır. Kuzey Avrupa’da ise öncelikli olarak atık su projelerinin %51 çevresel, %33 sanayi amaçlı kullanılmaktadır. Portekiz’de arıtılmış atık su ile sulanan alan, atık suyun depoda tutma süresine bağlı

olarak 35.000-100.000 ha arasında değişmektedir. Kıbrıs'ta 38.200 ha, İtalya'da ise 28.285 ha alan arıtılmış atık su ile sulanmaktadır [19].

2.1.1. İspanya

İspanya, Avrupa Akdeniz ülkelerinin batı kenarında Atlantik ve Akdeniz'e kıyısı bulunan bir ülkedir. Atlantik kıyısına yakın olan yerler su kıtlığı sorunu yaşamazken, Akdeniz kıyısında bulunan yerler kurak ve yarı kurak iklimle karşı karşıyadır. İspanya çok iyi atık su arıtma altyapısına sahiptir. Arıtılmış atık suların yeniden kullanım ana amacı tarımsal sulama olmasına rağmen, son zamanlarda çevresel uygulamalarda kullanımı da artmaktadır. 2000 yılı Temmuz ayından beri kentsel atık sular Ginora'daki golf sahası sulama gibi uygulamalarda kullanılmıştır. Günümüzde ise kentsel atık sular peyzaj sulamasında, sulak alanların restorasyonunda, yangın söndürmede ve yol yıkamalarında kullanılmaktadır. Örneğin Costa Brava'da üçüncül arıtma sonrası kazanılan sular peyzaj sulama, yangın söndürme, tekne ve sokak temizliğinde kullanılmaktadır [20].

32.000m³/gün kapasiteli Almeria AAT çıkışına kum filtresi ve ozonlama ünitesi kurularak geri kazanılan arıtılmış atık sular ise 3000 ha'lık tarımsal alanın sulanmasında kullanılmaktadır [21]. İspanya'da mevcut arıtılmış atık suyun yeniden kullanım oranı ise %71 tarımsal, %17 çevresel uygulamalar, %7 rekreasyon, %4 kentsel uygulamalar ve %1'lik kısmı ise endüstriyel amaçlı kullanım şeklindedir[19].

2.1.2. Fransa

İspanya gibi Fransa' nında Atlantik ve Akdenize kıyısı bulunmaktadır. Güneyi kurak ve yarı kurak Akdeniz iklimi etkisindedir. Arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı özellikle bu bölgededir. Fransa bir yüzyılı aşkın süreden beri özellikle Paris çevresinde tarım için atık suyu yeniden kullanılmaktadır. Annecy' da kentsel atık suların yeniden kullanıma örnek olarak tuvalet yıkama ve renault fabrikasında endüstriyel işlemler verilebilir. Günümüzde ise Fransa'da peyzaj sulama için arıtılmış atık suların yeniden kullanımı temel ihtiyaç haline gelmiştir [20].

2.1.3. Malta

Malta'da diğer Akdeniz ülkelerine nazaran ciddi derecede su sıkıntısı bulunmaktadır. Avrupa birliği tarafından kurak alan olarak nitelendirilmektedir. Su kaynağı sıkıntısı olduğu için atık suyun sulama için yeniden kullanılması 1884'ten beri düşünölmektedir. 1983 yılında ise Sant'Antin kanalizasyon arıtma tesisi sulama suyu üretmek için faaliyete başlamıştır. 1990 yılında ise giysileri yıkamak amacıyla kullanılmaya başlandı [19]. Şu an ise arıtılmış atık suların %60'ını kullanmaktadır [18].

2.1.4. İtalya

İtalya çekilen tatlı suların %60'ını tarım için kullanmaktadır. 10.000 üzerinde atık su arıtma tesisi faal durumundadır ve üçüncül arıtma sonrasında önemli miktarda su nehirlerle deşarj edilmektedir. Peyzaj sulama ve yaygından koruma gibi sınırlı ölçekte uygulamalarda atık suyun yeniden kullanım alanlarına dahil edilmiştir [20].

2.1.5. Yunanistan

Yunanistan dağlık bir ülkedir. Yeterli miktarda yağış almasına rağmen, bölgesel farklılıklar ve yaz aylarında su talebinin artması nedeniyle su düzensizliği yaşamaktadır. Thessaloniki, Chalkis, Cherssonisos ve adalardaki otellerde atık su ıslahı ve yeniden kullanımı uygulanmaktadır.

2.1.6. Güney Kıbrıs

Kıbrıs'ta yıllık yağış yaklaşık 500 mm olup, bu yağışın %85'inin de buharlaşma ile kaybolduğu düşünölmektedir. Mevcut toplam su kullanımı 242 Mm³/yıl' dir ve bu suyun neredeyse %80'ni sulamaya kullanılmaktadır. Kıbrıs, turizmin çok önemli ekonomik bir faaliyet olduğu adadır. Plajlardaki su kıtlığı ve banyo su kalitesinin bozulması turizmin gelişmesini sınırlamaktadır. Arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı her iki sorunun çözümüne katkı sağlamaktadır. Kıbrıs ileri arıtma

yöntemleriyle arıtılmış yıllık 22 milyon m³ suyu tarımsal sulama ve akifere dönüşüm için yeniden kullanılmaktadır. Ayrıca tarım, peyzaj, oteldeki yeşil alanların ve golf sahalarının sulanması Kıbrıs'ta kullanılan başlıca uygulamalardır [22,23].

2.2. Asya Yeniden Kullanım Uygulamaları

Bazı ülkelerde arıtma tesisi bulunmadığı için Asya' da atık suların sadece %32'si arıtılmaktadır. Japonya atık su arıtımı için kapsamlı stratejiler belirleyerek 2009 yılında 0,2 km³ arıtılmış atık su kullanmıştır. Japonya'da tarımsal sulamadan ziyade arıtılmış atık sular % 27 peyzaj sulama, %2 rekreasyon ve % 29'u nehir bakımı gibi çevresel amaçlar için kullanılmıştır. Tarımda ve sanayide ise sırasıyla %7 ve % 1'dir. Hindistan' da 1985 yılında arıtılmamış atık su ile 73.000 ha sulanmıştır. 2010 FAO verilerine göre Güney Asya' da 4,3 ton azot, 7,4 milyon ton fosfor ve 5,1 milyon ton potasyum karbonat besin maddesi eksikliği vardır. Gübre ihtiyacının bir kısmını atık sudaki besin maddeleri ile karşılanabileceği düşünülmektedir [19].

2.2.1. Suriye

Atık suyun yeniden kullanımı Suriye' de uzun bir geçmişe dayanmaktadır. Tahmini atık su 1194 milyon m³'dür. Atık suyun % 34'ü düşük kalitede arıtılmaktadır. Arıtılmış ve arıtılmamış atık suyun tahmini olarak %90'ı tarımda yeniden kullanılmaktadır. Fakat kayıtlara 183 Mm³'u geçmiştir [24].

2.2.2. Ürdün

Ürdün'de 2008 verilerine göre 21 evsel atıksu arıtma tesisi tarafından 100 Mm³ atık su arıtılmıştır. Bu atıksular tesis yakınlarında doğrudan sulama için kullanılmıştır ya da depo edilmiştir. 2020 yılına kadar bakanlık sulama için kullanılan atıksuyun 223 Mm³ ulaşacağını belirtmektedir. Arıtılan atık suların direkt kullanımıyla ilgili Wadi Musa, Aqaba, Irbid, Madaba, Ramtha, Akeder, ve Mafraq'ta birkaç uygulama mevcuttur. Doğrudan yeniden kullanımla ilgili ilk projelerden biri Wadi Musa'dadır. Tarihi Petra kenti yakınlarında Wadi Musa çiftlik projesinde Petra AAT'sinden çıkan

atık sular kullanılarak yonca, mısır, ayçiçeği, sudan otu, fıstık, badem, zeytin, hurma, limon, kavak, ladin, ardıç ve süs bitkileri (sardunya, iris, petunya, papatya) yetiştirilmektedir [26].

2.2.3. Birleşik Arap Emirlikleri

2010 ve 2030 yılları arasında su talebinin 4,5 milyar m³'ten 9 milyar m³'e çıkması bekleniyor. Kentsel atık suların tarımsal olarak kullanımı büyük bir potansiyel olarak görülmektedir. Abu Dhabi' de 20 atık su arıtma tesisinde günlük kabaca 550.000 m³ atık su arıtılarak sulamada yeniden kullanılmaktadır. Al Wathba, Allahamah ve Al Saad'taki tesisler, kentsel atık suların sulama suyu olarak kullanıldığı başarılı örneklerdendir [26].

2.2.4. Kuveyt

Körfez ülkelerinde arıtılmış atık suların %40'ı yenilebilir olmayan bitki, yem bitkileri ve peyzaj alanlarını sulamak için kullanılmaktadır. Kuveyt'teki Sulaibiya atık su arıtma ve yeniden kazanım tesisi; ters ozmos ve ultrafiltrasyon membran kullanan en büyük arıtma tesisi olarak kabul edilmektedir. Tesisin başlangıç kapasitesi günlük 350.000 m³ olup, yetkililer tarafından ileride günlük 600.000 m³'e çıkarılabileceği belirtilmektedir. Bu sayede arıtılmış atık suyun genel su talebine %26 oranında katkıda bulunacağı ve içilebilir olmayan kaynaklardan gelen yıllık talebi 142 milyon m³'ten 26 milyon m³'e düşüreceği beklenmektedir [25].

2.2.5. İsrail

Sulama suyu olarak arıtılmış atık suların tekrar kullanımının en yaygın olduğu yer %75 oranıyla İsrail'dir. Genellikle yer altına sızdırılıp sonrada akiferden kuyular aracılığıyla çekilen arıtılmış atık su sulamada kullanılmaktadır. Örneğin Shafdan AAT'nde (kapasitesi 342.000 m³/gün) biyolojik (ikincil) arıtmadan geçirilen atık sular toprak-akifer arıtması sonrası akifere ulaşmakta ve burada 6-12 ay bekledikten sonra çekilerek tarımsal sulamada kullanılmaktadır [13]. Başka çalışmada ise bir

çiftlik topluluğu arasında fon oluşturulmuş ve Beer Sheva'daki AAT yanına su geri kazanım sistemi inşa edilerek, geri kazanılan suyun %90'ını tarımsal, %10'unu ise belediyeye ait park ve bahçeleri sulamada kullanmışlardır.

İsrail'in bilinen en eski ve en büyük projesi 1960'tan beri işletilmekte olan Dan Bölgesi atık su ıslah projesidir. Projede 8 şehrin atık suları; oksidasyon havuzları, kimyasal oksidasyon, pH ayarlaması ya da fiziksel/biyolojik arıtmadan geçirildikten sonra toprak-akifer arıtımı ve klorlama ile ileri arıtmaya tabi tutulmaktadır. Sistemin son kapasitesi 160 milyon m³'tür ve Negev bölgesindeki tarım alanlarının sulanmasında kullanılmaktadır [27]. İsrail ulusal su şirketi Mekorot 2006 yılında Negev'e üçüncü boru hattı kurarak (rezervuar ve pompa istasyonları kombinlemesi) ülke genelinde atık su ıslah planlarını hayata geçirdi. Bunlardan ikisi Negev'e içme suyu, üçüncüsü ise sulama için arıtılmış atık suyu iletmektedir. Kış aylarında depolanan arıtılmış atık su yaz aylarında sulamada kullanılmaktadır[18].

2.2.6. Hindistan

Literatür taramalarında Hindistan'ın büyük şehirlerinde Yeni Delhi, Mumbai, Bangalore, Kolkata, Hyderabad ve Ahmedabad'da arıtılmamış ya da arıtılmış atık suların tarımsal sulamada kullanıldığı görülmektedir. Örneğin Mekala'nın 2006 daki çalışmasında Hyderabad'da Musi nehri boyunca 2.100 ha alanda pirinç, 10.000 ha'lık alanda ise çim yetiştirildiği belirtilmektedir. Başka bir çalışmada ise 118 çiftçinin yasemin tarlasını atık su ile suladığında 8-9 aylık çalışmada ha başına daha çok kazandığı ayrıca gül ve kadife çiçeği yetiştirildiğini göstermektedir. Hyderabad'da ikinci derecede arıtılmış atık sular ise park ve ağaçlı yolları sulamak içinde kullanılmaktadır. Yeni Delhi'de yaklaşık 12.000 çiftçi Keshopur ve Okhla arıtma tesisleri yakınlarında 1.700 ha'lık alanda yaz aylarında; su kabağı, patlıcan, bamya ve kişniş kışın ise ıspanak, hardal, karnabahar, lahana yetiştirmektedir.

Doğu Kalkuta kanalizasyon balıkçılığı dünyanın en büyük atık su kullanan su kültür sistemidir. Kolkata sulak alan ekosisteminde yaklaşık 70.000 kişi doğrudan istihdam

sağlamaktadır. Bu alanlarda 12.800 ton pirinç, 6.900 ton balık ve 0.73 ton da sebze üretilmektedir [28].

Bangalore; Hindistan Karnataka şehrinin merkezi ve Asya'nın silikon vadisi olarak adlandırılmaktadır. Hindistan'ın en büyük altıncı şehri, dünyanın ise en hızlı büyüyen metropol şehirlerindedir. 2011 nüfus sayımı yaklaşık 8,4 milyon olan kayalıklar üzerine kurulmuş yeraltı su kaynağına sahip değildir. Ana su kaynağı ise Arkavathy nehridir.

Bangaloredaki içme suyu talep ve arzı arasındaki dengeyi kurmak, su tedarigi arttırmak adına, arıtılmış atık suyun yeterli bulunabilirliği ve arıtılmış atık suyun dolaylı içilebilir kullanıma yönelik su geri dönüşüm ve tekrar kullanım projeleri başlatılmıştır. Bunlardan birisi de V vadisi entegre su yönetimidir. Proje kapsamında içme suyu temini için su dolaylı olarak arıtılacaktır. V vadisi kanalizasyon arıtma tesisinde klor ile dezenfekte edilen sular Tavarekere ileri arıtma tesisine pompalanacaktır. Burada ultrafiltrasyon membrandan ve granüler aktif karbon adsorpsiyon filtresinden geçen arıtılmış sular klor ile dezenfekte edildikten sonra Bangaloredaki Arkavathy nehrine deşarj edilecektir [17].

2.2.7. Çin

Kuzey Çin'de bulunan Hohhot ciddi su sıkıntısı ile uğraşmaktadır. Hohhot'ta kentsel atık suların yeniden kullanımı, ileri arıtma yöntemleri sayesinde giderek zorunlu hale gelmiştir. Jinqiao enerji santralinde atık suyun yeniden kullanımı için gelişmiş zeeweed membran teknolojisi ve iyon değişimine ihtiyaç duyulmuştur. Jinqiao yeniden kullanım tesisinde 31.000 m³/gün arıtılmış atık su tekrar arıtılmaktadır. Jinqiao yeniden kazanım tesisine gelen amonyum konsantrasyonu 20-30 mg/L arasındadır ve endüstriyel soğutma suyu uygulamalarında kullanılmak istenildiği için bu miktar düşürülmek istenmektedir. Bu sebeple Jinqiao geri kazanım tesisi 0,04 µm nominal gözenek çapına sahip zeeweed membran + iyon değişimi + klorlama sistemi şeklinde dizayn edilmiştir. Geri kazanılan su, tesis içinde enerji santralinin soğutma kulelerinde tekrar kullanılmaktadır.

2008 Pekin olimpiyatları öncesinde Pekin atık su grubu 80.000 m³/gün kapasiteli aktif karbon filtresi ve Zeeweed ultrafiltrasyon teknolojisini içeren Qinghe geri kazanılmış su tesisini kurmuştur. Geri kazanılmış suyun yaklaşık % 75'i Olimpiyat Parkı peyzaj suyu olarak kullanılırken geri kalan su Haidian ve Chaoyang belediyelerine yol, tuvalet, araç yıkama amaçlı kullanım için verilmektedir [17]. Ayrıca sistemin Wanquan, Xiaoyue nehirlerine, Tuçeng kanalına periyodik su sağlayabileceği ve Pekin' in kuzeyindeki su sıkıntısının giderilmesinde önemli rol oynayacağı öngörülmektedir [17]. (2015 verilerine göre AKF de rejenere sorunları olduğu için tesiste iyileştirilmeye gidilerek UF + Ozonlama sistemine geçilmiştir.) Murray'ın 2010 yılında yaptığı çalışmada ise Çin'in Pixian bölgesinde sulama amaçlı suların; tarımsal verimi artırma, yüzeysel su tasarrufu, kimyasal gübre talebini dengeleme, entegre su kaynakları yönetimi açısından fırsat olarak görüldüğü ve her yıl nehirlerden 35Mm³ su tasarrufu sağlayacağı belirtilmektedir [29].

2.2.8. Singapur

5.5 milyon nüfusa sahip olan Singapur, dünyanın en yüksek yoğunluğa sahip ikinci ülkesidir. Sıcak ve nemli bir yerdir. Singapur günlük su ihtiyacı 1.824.000 m³'tür. Malezya'dan çekilen su miktarı toplam ihtiyacın %40'ını, NEWater su ıslah girişim projesi %30'unu, rezervuar ve su toplama alanlarından toplanan yağış %20'sini ve deniz suyun tuzdan arındırılmasıyla da %10'u karşılanmaktadır. 2000 yılında NEWater projesiyle ileri arıtma prosesleri kullanılarak arıtılmış atık sudan içme suyu elde edilmeye başlanmıştır. İlk aşamada konvansiyonel atık su arıtma tesisine ek; mikrofiltrasyon, ters ozmos ve uv dezenfeksiyon sisteminden oluşan 10.000 m³/günlük bir tesis kurularak, balık ve fareler üzerinde iki buçuk yıl test edilmiştir. Sonuç olarak kapsamlı örnekleme ve izleme programları sayesinde, dolaylı içilebilir su elde edilebildiği hükümete bildirilmiştir. 2003 yılında iki tam ölçekli atık su yeniden kullanım tesisi (yüksek teknoloji endüstrisi ve dolaylı içme suyu kullanımı) hizmete alınmıştır. Bu girişim ile Singapur, ilk büyük ölçekli atık sudan içme suyu üreten tesise sahip ülkelerden biri olmuştur. NEWater artık Singapur' da geri kazanılmış suyun markası olmuştur. Ülke 2013 yılı verilerine göre 547.200 m³/gün su üreten 4 adet su yeniden kullanım tesisine sahiptir. Geri dönüşü sağlayan su

çoğunlukla yarı iletken malzeme imalatı yapan, elektronik ve enerji üreten endüstrilerde soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Aynı zamanda NEWater %2,5'lik küçük bir yüzdeyle dolaylı içilebilir su kullanımına katkıda bulunmaktadır. 2060 yılına gelindiğinde, NEWater kapasitesinin toplam su ihtiyacının %55'ine karşılık vermesi planlanmaktadır [30].

2.3. Amerika Yeniden Kullanım Uygulamaları

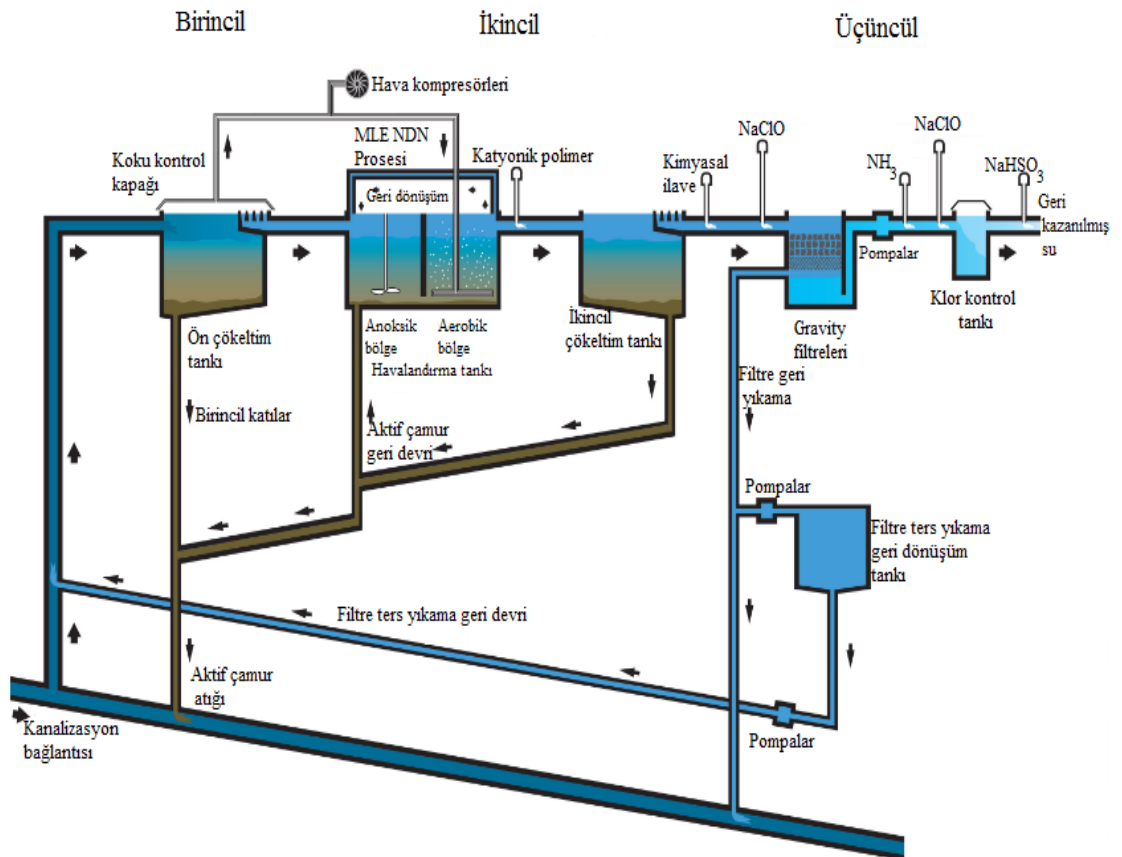
Kuzey Amerika'da atık su hacmi yaklaşık 85 km³ olup 61 km³'ü arıtılmaktadır. %75'lik kısmı arıtılırken sadece küçük bir kısmı tekrar kullanılmaktadır. Bölgede yıllık arıtılmış atık suyun kullanımı 2,3 km³'tür ve bu da sadece % 3,8'lik kısma karşılık gelmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde Kaliforniya (%46) ve Florida (%44) tarımda önemli miktarda geri kazanılmış su kullanmaktadır. Kurak ve yarı kurak alanlarda bulunan su geri kazanım projeleri, kentleşmenin artması nedeniyle nemli bölgelerde de giderek daha fazla uygulanmaktadır. Meksika'da 70.000 ha alan arıtılmış, 190.000 ha ise arıtılmamış su ile sulanmaktadır. Peru'da ise 12.350 ha arıtılmış, 9.346 ha alanda arıtılmamış su kullanılmaktadır. Latin Amerika'da su kıtlığından ziyade çiftçiler atık suyu, düşük maliyetli besin kaynağı olarak gördüğü için kullanmaktadır. FAO 2014 yılında fosfat ve potasyum karbonat arzındaki eksikliği sırasıyla 3,5 ve 4,1 milyon tona yükseleceğini belirtmektedir. Bu da bölgedeki atık su kullanımını özellikle önemli hale getirmektedir [19].

2.3.1. Kaliforniya

Orange Country yeraltı suyu yenileme sistemi: Bu proje dünyanın en büyük (dolaylı içilebilir) yeniden kullanım atık su arıtma sistemidir. Mikrofiltrasyon + ters ozmos ve ileri oksidasyon proseslerinden geçtikten sonra Pasifik Okyanusuna deşarj edilen arıtılmış atık suları almaktadır. Ocak 2008'den beri işletilmekte olan sistem; hergün yaklaşık 265.000 m³ yüksek kalitede su üretebilmektedir. Bu su Kaliforniya'nın kuzeyindeki ve Orange Country'deki 600.000 kişinin ihtiyacını karşılamaktadır. Yine Kaliforniya'ya bağlı olan Orta Kontra Kosta sıhhi bölgesinde, 460.000 kişiye hizmet veren atık su arıtma tesisinden çıkan atık su, kentsel sulama için

kullanılmaktadır. Geri kazanılmış su, içme suyu dağıtım hattından farklı bir boru hattı ile dağıtılarak golf sahaları, parklar, kampüslerde ve endüstriyel sulamada kullanılmaktadır. Bu bölge için uzun vadede ise yılda 2 Mm³ atık suyun dönüşümünün sağlanması planlanmaktadır.

Yaklaşık 130.000 kişiye hizmet veren LosAngeles; Pomona atık su arıtma tesisi birincil, ikincil ve üçüncül arıtma yaparak günde 49.000 m³ atık su arıtmaktadır. Arıtılmış atık suların günlük yaklaşık 30.000 m³'ü park, okul, golf sahaları, yeşil alanlar vb. yerlerde kullanılmaktadır. Ayrıca Spadra depolama alanında sulama, toz kontrolü ve yerel imalatçılar tarafından endüstriyel kullanım amacıyla değerlendirilmektedir. Arıtılmış atık suyun geri kalan kısmı ise San Jose Creek kanalına gönderilerek yeraltı suyuna yeniden katılmaktadır. Böylece arıtılmış atık suyun %100'ü kullanılmaktadır [18]. Şekil 2.2.'de Pomona su kazanım tesisine ait akış diagramı gösterilmektedir.



2.3.2. Florida

1987 yılında Florida çevre koruma dairesi geri kazanılmış suyun yeniden kullanılmasını teşvik etmeye başlamıştır. Tallahassee ve St. Petersburg' daki yeniden kullanım sistemleri Florida'daki pek çok geri kazanım projesini önemli ölçüde etkilemiştir. 2009 Florida su yeniden kullanım envanterine göre geri kazanılan suların %56'sı park – bahçelerde, %11'i tarımsal sulamada, %14'u endüstriyel kullanımlarda (enerji santrallerinde soğutma suyu olarak), % 6'sı sulak alan ve diğer uygulamalarda kullanılmaktadır. %13'ü ise yeraltı suyuna deşarj edilmektedir. Tarımsal sulama için kullanılan suyun büyük bir bölümü insan tüketimi için olmayan lif, yem vb bitkileri yetiştirmekte kullanılmaktadır [32].

2014 yılında aktif olması beklenen Güney Bölgesi Atık Su geri kazanım tesisinin, Güney Bölgesi atık su arıtma tesisinden çıkan üçüncül atık suyu, içilebilir su kalitesine dönüştürmesi planlanmaktadır. İleri arıtmadan geçen su, tesisten 9,6 km uzaklıktaki Miami Dade Metro hayvanat bahçesine deşarj edilecektir. Deşarj edilen su, eyaletin ana içme suyu kaynağı olan Biscayne akiferine enjekte edilmesi beklenmektedir. Uygulama Kaliforniya Orange bölgesindeki yeraltı suyu yenileme sistemine benzemektedir. Hızlı kum filtresi ve klor dezenfeksiyonundan geçirilen arıtılmış atık sular, membran ünitesi + ters ozmos ünitesi (TOC ve TOX giderimi) + UV/H₂O₂ ileri oksidasyon prosesinden geçirilerek Miami Metro hayvanat bahçesine verilmesi düşünülmektedir [17].

2.3.3. Meksika

Meksiko City; Meksika' nın başkenti, 21,4 milyon nüfuslu, 37 belediyeden oluşan federal bir bölgedir. Günümüzde 22.712 m³/gün su, farklı endüstrilerde bölgede yeniden kullanılmaktadır. Doğru bir yasal çerçeve ile arıtılmış atık suyun endüstride yeniden kullanımının günlük 87.064 m³'e kadar artırılabilceği tahmin edilmektedir. Üstelik enerji santrallerine soğutma amaçlı 113.562 m³/gün arıtılmış atık su sağlanmaktadır. Bir arıtma tesisi ekolojik kullanımlar için yaklaşık 53.000 m³/gün su üretmektedir. Bunun dışında araba yıkama servisleri de geri kazanılmış su kullanmaya mecbur bırakılmıştır. Enerji santrallerine, restore edilmiş göllere, bazı

sulanan alanlara ve rekreasyonel göllere boru hatları ile arıtılmış su iletilmektedir. Kamu tesislerinde yeniden kullanılan su miktarı, toplam su arzının % 10' una karşılık gelmektedir. Resmi kayıtlarda olmamasına rağmen spor kulüpleri, golf sahaları ve okulların atık su arıtma tesisinde arıtılan sular, tekrar çimleri sulamada ve tuvalet yıkamada kullanılmaktadır. Özel olarak yeniden kullanım, devlet tarafından takip edilmemektedir. Meksiko City' de üretilen atık suyun geri kalan kısmı ise Tula vadisindeki 90.000 ha alanı hiçbir işlem yapmadan sulamada kullanılmakta ve sulama ile sızdırılan sulardan da yaklaşık 2.157.678 m³ su yeraltı sularına kazandırılmaktadır [17].

San Luis Potosi'de bulunan atık su arıtma ve yeniden kullanım tesisi Tenorio'nun toplam kapasitesi 90.720 m³/gün dür. Villa de Reyes enerji santralindeki soğutma kulelerinin su ihtiyacını karşılamak ve tarımsal faaliyetler için tasarlanmıştır. Tesiste ilk aşamada atık su içerisindeki iri kum, gres gibi maddeler uzaklaştırılır ve atık suyun bir kısmı tarımda kullanılır. Arıtılmış atık suyun yarısından fazlası tarımsal sulama için kullanılmadan önce Tenorio rezervuarına (sulak alana) boşaltılmaktadır. Sulamadan geri kalan arıtılmış atık su ise; azot gideren aktif çamur prosesiyle ikincil arıtıma tabi tutulur ve daha sonrada üçüncül arıtma işlemleri olan kum filtrasyonu, kireç, yumuşatma ve klor dezenfeksiyonu ile geri kazanılarak soğutma kulelerinde kullanılır. Tenorio AAT ile yılda 7,9 Mm³ içme suyundan tasarruf sağlanmakta, sulama suyunun kalitesi iyileşmekte, sulak alan restorasyonu ile de vahşi hayvanlara yaşam alanı sunulmaktadır. Lazarova ve arkadaşlarının 2014 yılındaki çalışmasında; sulak alan varlığının çeşitli göçmen kuşları bölgeye çekerek biyoçeşitliliği geliştirdiğini, küçük memelileri ve bitki türleri sayısını arttırdığını bildirmektedir [33].

2.3.4. Trinidad ve Tobago

Trinidad adası Karayiplerin en güneyinde 4.768 km² alanı kaplayan ekonomisi enerjiye dayanan bir yerdir. Ayrıca ada genelinde büyük çiftlikler ve gelişen bir tarım sektörü de bulunmaktadır. Dolayısıyla suya olan talep artmaktadır. Su taleplerindeki istikrarlı artış nedeniyle Trinidad ve Tobago Cumhuriyeti Hükümeti su kanalizasyon

idaresine bağı Beetham AAT'den yeniden kullanım için yararlanılmaktadır. Beetham AAT Trinidad'ın en büyük atık su arıtma tesisidir ve yaklaşık günlük 79.500 m³ atık su arıtmaktadır. Tesise giren atık su ön işlemden geçirildikten sonra azot gideren aktif çamur prosesinde ikincil arıtıma tabi tutulmaktadır. Ultraviyole ile dezenfeksiyon işlemi yapıldıktan sonra da Paria Körfezine akan Kara Irmağa deşarj edilmektedir. Hükümet 2015 yılı için günlük su talebini; evsel 738.153 m³, sanayi 246.051 m³, tarım 26.497 m³ olarak öngörmektedir. Bu nedenle yeniden kullanım seçeneklerini ülke genelinde kentsel, tarımsal, endüstriyel ve dolaylı içilebilir su üzerinde yoğunlaştırmaktadır [17].

2.3.5. Arjantin

Mendoza Arjantin'in batısında And Dağ eteklerinde kurak bir bölgede bulunmaktadır. Şehrin atık suyu, geleneksel sulama amaçlı olup dolaylı olarak kullanılmaktadır. Barbeito 2001' de sulanan alanların yaklaşık üçte birinin domates ve kabak, diğer üçte birinin üzüm üretimi, kalan alanın ise yonca, enginar, sarımsak, şeftali, armut ve kavak ağacı yetiştiriciliğine ayrıldığını belirtmektedir. 1990 yılı başında Mendoza bölgesinde su sektörünün moderizasyonu kapsamında arıtılmış atık suyun yeniden kullanılmasına yardımcı olan bir dizi reform yapılmıştır. 1993 yılında Campo Espejo atık stabilizasyon havuzları iyileştirilmiş ve atık su yeniden kullanımı için mikrobiyolojik kalite standartları konulmuştur. Zuleta 2011 de kurak mevsim boyunca, arıtılmamış atık suyun Mendoza Nehri Havzasında mevcut sulama kaynaklarının %40'ına karşılık geldiğini ve ciddi sağlık sorunları yaratacağını belirtmektedir. Yine aynı çalışmada Campo Espejo arıtma tesisinden çıkan atık suyun Moyano Kanalına deşarj edildiği ve 2700 ha'lık özel bir sulama alanına kullanım için gönderildiği ifade edilmektedir [17].

2.4. Okyanusya Yeniden Kullanım Uygulamaları

Okyanusya'daki 450 atık su yeniden kullanım projesinin yaklaşık %45'i tarımda uygulanmaktadır. Avustralya'da yılda yaklaşık 0,35 km³ arıtılmış atık su kullanılmaktadır ve bu hacim ülkede arıtılmış atık suların %19'unu, toplam su

arzinın da yaklaşık %4'unu oluşturmaktadır. Ayrıca 20.000 ha tarım alanı arıtılmış atık su ile sulanmaktadır. Anderson ve arkadaşları 2008 yılında Avustralya'da atık su kullanımının, yağışlar sınırlı olduğu için iç bölgelerdeki kırsal alanlarda daha yaygın olduğunu ve sulama suyunda kullanım taleplerinin yüksek olduğunu belirtmektedir. Ayrıca Yeni Zelanda'da golf sahalarının sulandığı ve endüstriyel uygulamalar için atık su kullanıldığı bildirilmiştir [19].

2.4.1. Avustralya

Yeni Güney Galler'de, Gerringong Gerrora AAT'inde kentsel atık sular sulama amacıyla tekrar kullanılmaktadır. Tesis; biyolojik arıtma, kum filtrasyonu, ozonlama, biyolojik aktif karbon filtrasyonu, mikrofiltrasyon ve UV dezenfeksiyon sistemlerini içeren ileri arıtma tesisidir. Atık su geri kazanım sistemi, arıtılmış atık suların %80'ini ve %100 biyolojik kökenli katı maddeleri tekrar kullanıma sunmaktadır. Geri kazanılan su en son 50.000 m³'lük rezervuarda depolanarak, mera sulamasında kullanılmak üzere yerel bir mandıraya pompalanmaktadır. Sulamanın mümkün olmadığı veya deponun dolu olduğu zamanlarda ise yüksek kaliteli arıtılmış atık sular deşarj edilmektedir. Uygulama bölgedeki Crooked nehri, Blue Angle deresi, lagünlerde ve plajlardaki kirliliği önemli ölçüde azaltarak turizme katkıda bulunmaktadır [32].

Avustralya'daki, 2009, "Batı Koridoru Geri Dönüşüm Projesi" dünyadaki en büyük su geri dönüşüm projelerinden biridir. Brisbane'da bulunan Bundamba, Luggage point ve Gibson adası ileri atık su arıtma tesislerinin atıklarını toplamaktadır. Sistem mikrofiltrasyon, ters ozmos, ileri oksidasyon ve dezenfeksiyon proseslerinden oluşmaktadır ve ilk kurulduğunda kapasitesi günlük 182.000 m³ olup, 310.000 m³'e kadar çıkartılabilmektedir. Yaklaşık 190 km'lik boru hatlarını ve çeşitli pompa istasyonlarını içermektedir. Kazanılan arıtılmış atık su; enerji santrallerinde, endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır ve geri kalan kısmı da ana içme suyu depolama alanlarına aktarılmaktadır. İçme suyu depolarındaki su miktarı %40' ın altına düştüğünde "Batı Koridoru Planı" altında geri kazanılan su sadece dolaylı içilebilir yeniden kullanım için uygulanacaktır.

Doğu arıtma tesisi ise 1,5 milyon kişiye hizmet eden Melbourne' nın ikinci en büyük tesisidir. Bu tesisten elde edilen ikincil arıtılmış atık su 56 km' lik bir boru hattı ile Bass Boğazına deşarj edilmektedir. 2012 yılında tesisin kapasitesi 330.000 m³'ten 750.000 m³'e çıkarılarak ozonlama, medya filtrasyon, UV ve klor dezenfeksiyon ünitelerini içeren ileri arıtma tesisi olarak faaliyetine devam edecektir. Avustralya'da, arıtılmış atık suların endüstriyel amaçlar doğrultusunda kullanımı da mevcuttur. Örneğin; 2004 yılında bir su şirketi tarafından geliştirilen Kwinana endüstriyel geri dönüşüm tesisi, Perth' in güneyinde bulunan ağır sanayi tesislerine yıllık 6 milyon m³ arıtılmış atık su sağlama kapasitesine sahiptir. Woodman Point atık su arıtma tesisinden alınan arıtılmış atık sular, tesiste mikrofiltrasyon ve ters ozmos ünitelerinde tekrar arıtıldıktan sonra yüksek kalitede su elde edilmekte ve endüstriyel işlemlerde kullanılmaktadır [34].

Illawarra atık su stratejisi altında mevcut üç atık su arıtma tesisi geliştirilmiş ve Wollongog da bir atık su ıslah tesisi inşa edilmiştir. Membran filtrasyonu ve ters ozmos ile geri kazanılan atık sular çelik üretiminde tekrar kullanılmaktadır. Tesis Avustralya'da %60 oranında atık suyun okyanusa deşarjını önlemekte ve çelik üretiminde içme suyu kullanımını da %60 oranında azaltmaktadır [35].

2.5. Afrika Yeniden Kullanım Uygulamaları

Kuraklık ve buharlaşma oranı, yağış miktarı oranlarını geçtiği için Afrika' daki çoğu ülke de atık suların tekrar kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Bununla birlikte atık su içeriğindeki besin maddeleri yüzünden tarımsal uygulamalarda da suyun yeniden kullanımı görülmektedir. Tunus'ta 1929 yılında atık su arıtma tesisi inşa edildiğini ve 1960'ın başlarından beri arıtılmış atık suların tekrar kullanıldığını belirtmektedir. Bir diğer çalışmada ise Tunus' ta atık suların %80'inin golf sahaları, peyzaj ve tarımsal sulamada tekrar değerlendirildiğini bildirmektedir [36]. Güney Afrika'da ise su kıtlığı yüzünden yaygın olarak yeniden kullanım mevcuttur ve tarımsal, endüstriyel kullanımın yanı sıra soğutma suyu ve kentsel alanların sulanmasında da kullanılmaktadır. Zimbabve (Harare)'de atık su ile sulanan çayırlarda sığır yetiştirilmekte ve satılmaktadır. Namibya geniş çöllere sahip çok kurak bir Sahra altı

Afrika ülkesidir. Sahra altı Afrika ülkelerinin çoğunda, atık sular arıtılmamaktadır ve diyare, kolera gibi su ile bulaşan pek çok hastalığında yayılmasını tetiklemektedir. 2002 yılında Gana Kumasi çevresindeki kentsel bölgelerde 11.000 ha alanda ve Senegal Dakar'da, 2004'te Kenya Nairobi'de, 2007 Zimbabve Bulawayo'da sulama için arıtılmamış atık su kullanıldığı belirtilmektedir [19]. Güney Afrika 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren atık su arıtma tesislerinde yenilikçi uygulamalarda bulunmuştur. Örneğin; 1969 yılından beri faaliyette olan Namibya Windhoek'taki Goreangab ıslah tesisi doğrudan içilebilir yeniden kullanım aracılığıyla içme suyu tedarik edilen dünyada ilk uygulamadır. Tesis 2015 yılı itibari ile kapasitesi günlük 24.000 m³'tür ve tesis akış diyagramı; ön ozonlama + flokülasyon + çözülmüş hava flotasyonu + hızlı kum filtrasyonu + ozonlama + biyolojik aktif karbon filtresi + granül aktif karbon filtresi + ultrafiltrasyon ve klor dezenfeksiyonu şeklindedir. Ayrıca 2001 yılında işletmeye alınan Durban su geri dönüşüm projesi ile de endüstride kullanılmak üzere yüksek kalitede su üretilmiştir. Proje günlük 47.500 m³ suyun tekrar arıtımını, geri kazanımını ve içme suyundan %25 daha ucuz fiyatla sanayiye satılmasını kapsamaktaydı [30,32,33].

2.5.1. Tunus

1960'lardan beri atık su yeniden kullanımı, ulusal su kaynakları stratejisinde bir öncelik olup geliştirilmiştir. 2001 yılında toplam kapasitesi 13 Mm³/yıl olan 44 AAT ikincil derecede arıtılmış su üretmekteydi ve bu miktarın yaklaşık %30'u 6500 ha'lık tarım arazilerinin sulanmasında kullanılmıştır. Afrika Kalkınma Bankası 2012 yılında sulama suyu için arıtılmış atık suyun geri dönüşümü için 33 milyon euro'lık bir proje başlatmıştır. Projenin amacı; 2016 yılına kadar arıtılmış atık suyun geri dönüşümünde %50 oranına ulaşmak ve 8.500 ha tarım arazisinin ve kentsel yeşil alanların sulanmasını mümkün kılmaktır. Bunun yanında 2016-2021 yılları arasındaki dönemde, arıtılmış atık suyun ülkenin kurak iç kısımlarına taşınması planlanmaktadır (25.000 ha sulama ve 30 Mm³'lük akifer deşarjını içermektedir) [18,25].

2.5.2. Mısır

Mısır kentsel atık su üretimi yıllık yaklaşık 3,5 Mm³ iken mevcut arıtma kapasitesi 1,6 Mm³'tür ve 2017 yılına kadar kapasitenin 1,7 Mm³'e çıkarılması hedeflenmektedir. Arıtma tesisi nüfusun %55'ine hizmet etmektedir. Arıtılmış atık suyun büyük bir kısmı gıda, sanayi, yakıt, kozmetik ürün bitkileri, ormanların sulanmasında kullanılmaktadır [25].

2.5.3. Fas

Fas'ta net bir şekilde atık su yeniden kullanma uygulaması yoktur ve çoğu atık su arıtma tesisinde ikincil arıtma uygulanmaktadır. Kentsel atık su hacmi 1998'de 380 Mm³/yıl, 2000 yılında 500 Mm³/yıl olup, 2020 yılına kadar da 700 Mm³ seviyesine ulaşması beklenmektedir. Arıtılmış atık suyun %52'si nehirlere, %58'i ise denizlere boşaltılmaktadır. Kalavrouziotis ve arkadaşları 2008, Choukr-Allah, 2005'teki çalışmalarında gelecekte su ürünleri yetiştirmede, tarımsal ormancılıkta, çevresel ve endüstriyel uygulamalarda atık suyun yeniden kullanılabilirliğini belirtmektedir. El Oualja 2013 yılında arıtılmış atık suyun Gharb bölgesindeki akifere, Benzine ise 2012 yılındaki çalışmasında Agadir şehri, Ben Sergao istasyonunda arıtılan atık suların yaklaşık yıllık 10 Mm³'ünün akifere deşarj edildiğini belirtmektedirler. Ulusal içme suyu ofisi tarafından gerçekleştirilen bir projede arıtılmış atık su yine Gharb bölgesinde, endüstriyel tesislerde soğutma amaçlı tekrar kullanılmıştır. Yine Oualja'nın 2013 yılındaki çalışmasında; Kenitra bölgesindeki ormanda odun üretmek için ağaçların ve hayvancılık faaliyetlerinin baskın olduğu yerlerde otlakların sulanmasında arıtılmış atık suyun kullanıldığını bildirmektedir. Benzine 2012'de Ait Melloul şehrindeki M'azar istasyonu tarafından üretilen yıllık 4 Mm³ arıtılmış atık su ile Argania ormanında 400 hektarın sulanabileceğini ifade etmektedir. Yine aynı çalışmada arıtılmış atık suyun yıllık 20 Mm³'lük miktarının değerlendirilebileceği 500 ha'lık bir golf sahası olduğunu; fakat sadece 90 ha'lık Golf de l'Ocean'da sulama suyu kaynağı olarak kullanıldığı, ayrıca 8 Mm³'lük arıtılmış atık su ile bölgede bulunan 576 hektarlık peyzaj alanının sulama ihtiyacını karşılanabileceği belirtilmektedir. Ben Slimane şehrinde üçüncül derecede arıtılan 5600 m³/gün

arıtılmış atık su kullanılarak, yağmurlama sulama ile golf sahası sulanmakta ve 308 kg azot ihtiyacı karşılanmaktadır. Choukr-Allah ve Hamdy, 2003 yılındaki çalışmasında Drarga şehrinde (Agadir Bölgesi) damlama sulama yöntemi kullanarak yaklaşık 16 ha alanda bazı hububat, yem ve sebze bitkilerinin arıtılmış atık su ile sulandığını ve bu uygulama ile gübre bakımından 120-361 euro/ha, su kullanımı açısından ise 61-150 euro tasarruf sağlandığını, verimin de iki katına çıktığı ifade edilmektedir [37].

2.6. Türkiye Yeniden Kullanım Uygulamaları

Ülkemizde geri kazanılmış atık suyun pazarlanması, mühendislik ve ekonomik bakımdan alternatiflerin değerlendirilmesi, yeniden kullanılmasına yönelik tesislerin planlanmasında izlenecek yöntemler, henüz yeterli seviyede bulunmamaktadır. Sanayiden çıkan atık suların tekrar kullanımı genellikle tesis içinde geri kazanılıp, geri devri şeklinde gerçekleşmektedir. Marmara Bölgesi'nde sanayi tesislerinden kaynaklanan atık suların geri kazanılması ve kullanılması su maliyeti yüksek olduğu için cazip gelmektedir. Ülkemizde de arıtılmış suların yeniden kullanıma yönelik belediyeler tarafından da çalışmalar yapılmaya başlanmıştır [10].

Konya Su Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) tarafından ön klorlama, koagülant dozajı, kum filtresi, UV dezenfeksiyon ve son klorlama ünitelerinden oluşan 3600 m³/gün kapasiteli ileri arıtma tesisi kurulmuş ve 24 km su dağıtma hattı (mor şebeke) ile geri kazanılan su kentsel yeşil alanların sulanmasında kullanılmaktadır [27].

“Akarçay Havzasında Arıtılmış Atık Suların Yeniden Kullanılmasının Araştırılması” projesi kapsamında yapılan çalışmada, Afyonkarahisar Merkez Atıksu Arıtma Tesisine kurulacak olan ileri arıtma tesisi ile geri kazanılan günlük 4400 m³ suyun sulamada kullanılması halinde 4740 dekar alan sulanabilecektir. Teorik olarak geri kazanım tesisi mikrofiltrasyon (MF) + ultrafiltrasyon (UF) + dezenfeksiyon (klorlama) sistemi şeklinde düşünülmüştür. Fakat gerçek kurulumun atık su arıtma tesisi çıkış suyu kalitesi belirlenerek pilot tesis çalışmalarında desteklendikten sonra dizayn edilmesi uygun görülmüştür [38].

İstanbul Paşaköy İleri Biyolojik Atık Su Tesis' ine kum filtreleri ile UV dezenfeksiyon sistemi inşa edilmiştir. Bu tesis sayesinde günlük ortalama 100.000 m³ arıtılmış atık su kazanılmaktadır. Bu sular Tuzla Belediyesi Şelale Parkı, TOKİ Aydınli Konutları, İstanbul Deri Organize Sanayi Bölgesi, İstanbul Tersanesi Komutanlığı Askeri Tesisi, Tuzla Arıtma Tesisi ve Pendik Tuzla Sahil Yolu' nun günlük sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bazı belediyelerin yeşil alan sulamalarında, kanal açma ve temizlik işlerinde kullanılmaktadır [10,39]. Ayrıca 2010 yılında işletmeye alınan İstanbul Ataköy İleri biyolojik arıtma tesisinden çıkan su; park, bahçe, rekreasyon alanları, otoyol kenarlarında, spor tesislerinde, yangın söndürmede ve endüstride su kullanım ihtiyacını karşılayabilmektedir [40].

Kocaeli' de ilk olarak ikincil arıtmaya tabi tutularak elde edilen geri kazanım suyu çalışması Gebze İleri Biyolojik Atıksu Arıtma tesisinde gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 500 m³/gün kapasiteye sahip olan Gebze AAT geri kazanım ünitesi son çökeltim sonrası elde edilen çıkış suyu sırasıyla klor dozajı, basınçlı kum filtre, kartuş filtre ve boru tipi UV dezenfeksiyon ünitelerinden geçirilmiştir; tesis içinde (saha ve dekantör temizlik, yeşil alan sulama vb.) ve TSE Gebze Kampüsü' nün yeşil alan sulamasında kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca 2014 yılı içerisinde ise Gebze İleri Biyolojik AAT' ine 1200 m³/gün kapasiteli, klor dozajı, multimedya kum filtre, torba filtre, UV dezenfeksiyon ve ozonlama ünitelerinden oluşan ikinci bir geri kazanım sistemi kurulmuştur [41].

Kocaeli' de geri kazanım proje kapsamı genişletilerek; Kandıra Merkez ve Cebeci İleri Biyolojik AAT' i çıkışlarına kanal tipi UV dezenfeksiyon sistemi ilave edilmiş olup sırasıyla kapasiteleri 6000 m³/gün ve 9000 m³/gün olan geri kazanım üniteleri kurulmuştur. Geri kazanılan su tesis içerisinde temizlik amaçlı ve yeşil alanların sulanmasında kullanılmaktadır [41]. Sapanca Gölü' nden temin edilen su miktarını azaltmak için Körfez AAT' i çıkışına 45.000 m³/gün kapasiteli kum filtre ve 10.000 m³/gün kapasiteli UV dezenfeksiyon sistemleri kurularak Tüpraş' a su temini sağlanmıştır. İzmit Plajyolu İleri Biyolojik Arıtma tesisinde hızlı kum filtresi + UV dezenfeksiyon sisteminden oluşan geri kazanım ünitesiyle günde 10.000 m³ su geri kazanılarak yeşil alan sulamasında ve sanayide kullanılmaktadır [41].

Muğla Konacık AAT'inin 1500 m³/gün'lük arıtılmış atık suları park, bahçe, reflüjlerdeki yeşil alanların sulanmasında ve araç yıkamalarında değerlendirilmektedir. Balıkesir' in Edremit ve Gömeç ilçelerinde haziran- eylül ayları arasında faaliyette bulunan bazı tatil sitelerine ait atık su arıtma tesis çıkışlarından temin edilen arıtılmış atık sular bahçe sulamalarında kullanılmaktadır[10].

Aydın'ın Didim ilçesinde bulunan yazlık konutların yaklaşık %60' ık ve Kuşadası ilçesindeki yazlık konutların %80'lik kısmı mevcut arıtma tesislerinde arıttıkları atık suları site içerisindeki yeşil alanların sulamasında kullanılmaktadır (tesis kapasiteleri 20-100 m³/gün aralığında değişmektedir) [10].

“Ergene Havzasında Arıtılmış Atık Suların Sulamada Kullanılmasının Uygulanabilirliğinin Araştırılması” projesi kapsamında Ergene Havzası'ndaki 13 adet evsel atık su arıtma tesisinden çıkan arıtılmış atık sular incelenmiştir. Çalışma sonucunda BOİ, bulanıklık, fekal koliform parametre değerlerinin sulama suyu kullanımı için sınırlayıcı olduğu, arıtılmış atık suların sulamada kullanılması için tesislere hızlı kum filtresi ve UV dezenfeksiyon ünitelerinin eklenmesi gerektiği bildirilmiştir. Ayrıca havzada bulunan arıtma tesisleri tarım arazileri içerisinde su kaynaklarının yakınına inşa edildiği için kanal-boru hatlarının yapımına ihtiyaç duyulmadığı, çeltik üretiminin yapıldığı Keşan, Hayrabolu ve Uzunköprü'de arıtılmış atık suların kullanımı ile gübre miktarının da azalacağı tespit edilmiştir [42].

Kayseri İleri Biyoloji AAT'i arıtılmış atık sularının tarımsal sulamada kullanılabilirliğinin incelendiği çalışmada; Tesis çıkış suyunun Mayıs-Eylül ayları arasında sulama suyu gereksinimi fazla olan Süksün alanında kullanılabilmesi için tesise kum filtre ve UV dezenfeksiyon ünitelerinin eklenmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca uygulamada işletme yatırım maliyetleri ve sulamadan elde edilebilecek su kullanım hizmet bedelleri hesaplanmıştır [42].

Hochstrat ve arkadaşlarının 2005 yılında hazırladığı model çalışmasında; ülkelerin su durumu, su ihtiyacı, arıtılmış deşarj verileri baz alınmış ve Türkiye' nin atık su geri

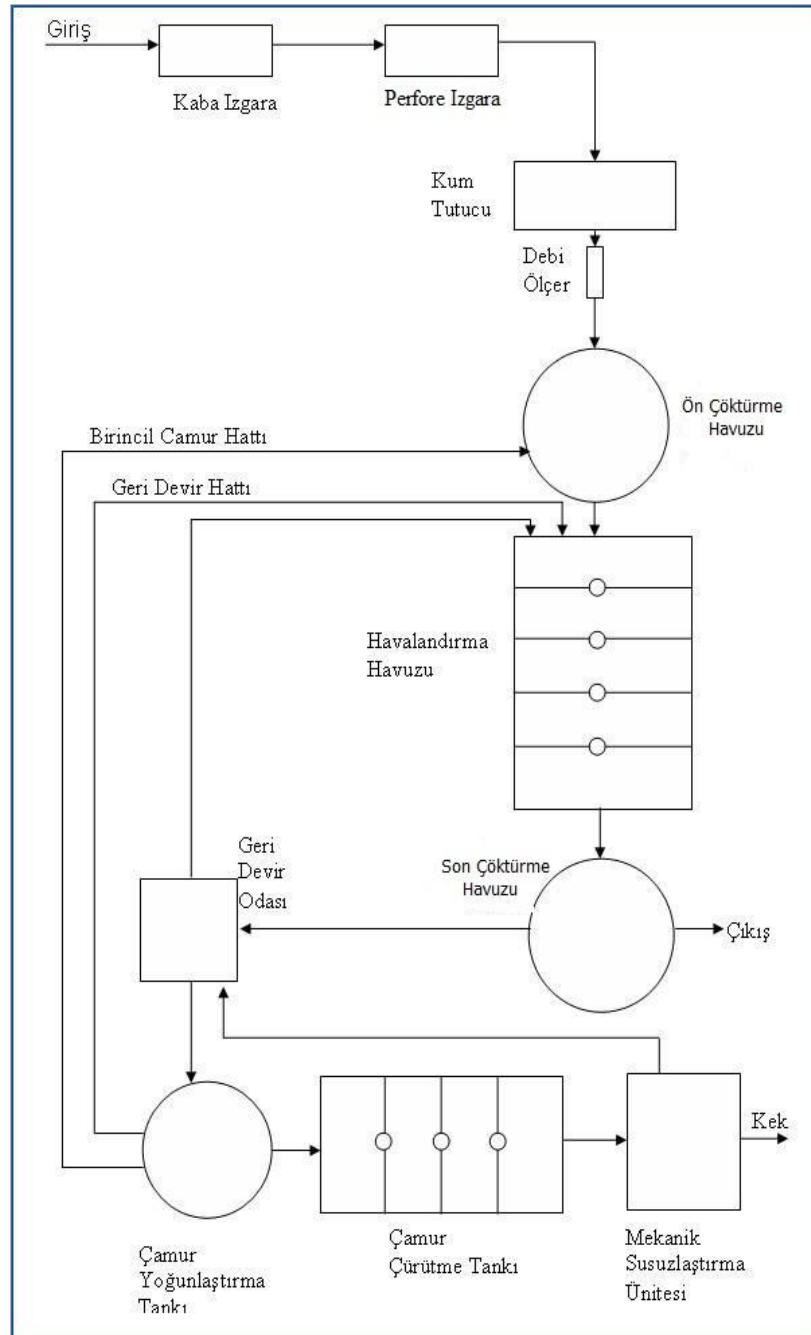
kazanım potansiyelinin 2025 yılı için 234 Mm³/yıl ile Avrupa ülkeleri arasında 4. sırada yer alacağı tahmin edilmiştir. Üstün ve Solmaz 2007'de, bir organize sanayi bölgesi AAT çıkış sularını incelediği çalışmada; kimyasal çöktürme ve aktif çamur sistemine ek olarak kimyasal çöktürme ve iyon değiştirme yöntemleriyle günlük 48.000 m³ atık suyun I.Sınıf tarımsal amaçlı sulama suyu kalitesinde suyun geri kazanıldığını ve tekrar kullanılabilirliğinin mümkün olduğunu tespit etmişlerdir [13]. Kentsel atık sular büyük bir su potansiyeline sahiptir. Artan su talebi, kullanılabilir su kaynaklarının azalması ve geri kazanım teknolojilerinin gelişmesi, arıtılmış atık suların yeniden kullanılmasını uzun vade de ekonomik olarak cazip hale getirmiştir.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Hendek Atıksu Arıtma Tesisi Genel Tanıtım ve Atıksu Karakterizasyonu

Hendek'in 1997 yılı nüfusu 24.567 kişi ve 2000 yılı nüfusu 28.500 kişidir. 2008 yılı nüfusu ise 45.017 olarak sayılmıştır. Bölgede 20 ha'lık alanda küçük sanayi sitesi bulunmaktadır. Tesis projelendirme kriterlerine göre; ilçe ve köylerin atıksu debileri hesaplanırken, içmesuyu ihtiyacının %80'inin kanalizasyona intikal edeceği kabul edilmiştir. Küçük Sanayi Sitesi atıksu debisi hesaplanırken hektar başına 0,5 L/s atık su debisi alınmıştır. Atık su debileri hesaplanırken evsel debinin %10'u oranında yağmur suyunun baca kapaklarından sisteme geleceği kabul edilmiştir [43]. Hendek atıksu arıtma tesisinde 12.000 m³/gün atıksu arıtılmaktadır. (Kapasite 15.000 m³/gün debiye göre tasarlanmıştır.) Bölgede otomotiv, madeni eşya sanayi, plastik, tekstil, orman ürünleri, kimya, elektrik malzeme imalatı, yapı malzemeleri, gıda sektörleri bulunmaktadır. Tesis proses akışı; Kaba ızgara, perfore ızgara-kum tutucu, ön çöktürme havuzları-terfi merkezi, havalandırma havuzları, son çöktürme havuzları, çamur yoğunlaştırıcı, aerobik stabilizasyon havuzu, mekanik susuzlaştırma, geri devir terfi merkezi, debi dağıtma ve toplama yapılarından oluşmaktadır. Şekil 3.1.'de Hendek Atıksu Arıtma Tesisine ait proses akışı gösterilmektedir. Hendek AAT'ine gelen atık sular ilk önce 2 cm' den büyük atıkları tutmak için tasarlanan kaba ızgaraya daha sonra ise perfore bantlı ızgaraya ve 0,2 mm' den büyük çaptaki kum, kil, silt gibi kolay çökebilen maddeleri tutan kum tutucu ile çökebilen katıları tutmak için kullanılan ön çöktürme havuzuna gelmektedir. Ardından da havalandırma havuzunda biyolojik olarak arıtılan atık su son çöktürme havuzuna gelmektedir; arıtılan atık sudaki aktif çamur dibe çökerken yüzeyde kalan arıtılmış atık su savaklanarak Dilsiz Deresine deşarj edilmektedir. Çöken aktif çamur sıyrıcılar ile alınarak çamur toplama haznesinden geri devir istasyonuna gönderilmektedir. Tesiste bir adet çamur yoğunlaştırma tankı bulunmaktadır. Geri devir istasyonundan fazla çamur pompaları ile çekilen ve ön çöktürme havuzundan gelen çamur, yoğunlaştırma

tankında bekletilmektedir. Yoğunlaştırılan çamur, aerobik stabilizasyon havuzuna gönderilirken yoğunlaştırma tankı yüzeyinden savaklanan su ise havalandırma havuzuna arıtmak üzere geri verilmektedir. Çamur çürütme tankından stabil hale gelen çamur, mekanik susuzlaştırma ünitesinde şartlandırılarak düzenli depolama alanına gönderilmektedir [44]. Tablo 3.1.'de Hendek AAT'ne ait giriş ve çıkış suyu değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Hendek atık su arıtma tesisine ait proses akışı [44].

Tablo 3.1. Hendek atık su arıtma tesisi giriş ve çıkış suyu değerleri

Parametreler	Birim	Giriş	Çıkış
AKM	mg/L	91	20
KOİ	mg/L	193	46
pH		7,4	7,66
Fekal Koliform	adet/100 mL	-	150
Toplam Koliform	adet/100 mL	-	1500
İletkenlik	µs/cm	1200	804
Bulanıklık	NTU	-	5,12

Hendek atık su çıkış değerleri, 13.10.2015 ve 17.04.2016 tarihleri arasında tesisten belirli aralıklarda alınan arıtılmış atık suyun ortalama değerlerini temsil etmektedir. Projede Hendek AAT çıkış suları, pilot ölçekli atık su geri kazanım tesislerinin giriş suyu olarak sisteme alınmıştır. Hendek atık su arıtma tesisinden çıkan arıtılmış atık sulara ileri arıtma teknolojileri uygulayıp, elde edilen suyun yeniden kullanılabilirliği araştırılmıştır. 9 farklı alternatif değerlendirilerek Hendek atık su arıtma tesisi için uygulanabilecek en verimli alternatif belirlenmiştir. Pilot ölçekli arıtılmış atık su geri kazanım tesislerinde debi 50 L/sa dir ve KOİ parametresi üzerinden her bir sistem için arıtma süreleri ve arıtma cihazlarının geri yıkama süreleri belirlenmiştir.

Kurulan pilot sistemlerde uygulanan alternatifler maddeler halinde sunulmaktadır;

1. Alternatif Kum Filtre + Klorlama
2. Alternatif Kum Filtre + Aktif Karbon Filtre + Klorlama
3. Alternatif Kum Filtre + UV Dezenfeksiyon
4. Alternatif Kum Filtre + Aktif Karbon Filtre + Yumuşatma + Klorlama
5. Alternatif Kum Filtre + Mikrofiltrasyon + UV Dezenfeksiyon
6. Alternatif Aktif Karbon Filtre + Mikrofiltrasyon + Klorlama
7. Alternatif Koagülant Dozajı + Kum Filtre + Klorlama
8. Alternatif Kum Filtre + Ultrafiltrasyon + UV Dezenfeksiyon
9. Alternatif Aktif Karbon Filtre + Ultrafiltrasyon + Klorlama

Pilot ölçekli arıtma tesisinde incelenen arıtma cihazları ise; kum filtresi, aktif karbon filtresi, su yumuşatma ünitesi, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve UV dezenfeksiyon üniteleridir.

3.2. Pilot Ölçekli İleri Atık Su Geri Kazanım Tesislerinde Kullanılan Arıtma Cihazları

3.2.1 Kum filtre ve çalışma prensipleri

Kum filtreleri, sudaki askıda katı maddeleri tutmak ve bulanıklığı gidermek için kullanılmaktadırlar. Basınçlı olarak kum filtresine giren hamsu, filtre içinde belirli boyutta dizilmiş katmanlardan geçer ve suda bulanıklığa neden olan partikülleri sudan uzaklaştırır. Böylelikle yaklaşık 30 – 40 µm kadar suyun filtrasyonu sağlanır. Tablo 3.2.'de çalışmalarda kullanılan kum filtresine ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 3.2 Pilot Tesislerde Kullanılan Kum Filtre Teknik Özellikleri

Kum Filtre Özellikleri	
Marka	Epa Kum Filtresi
Model	KF-835-5600
Tank Boyutu	8" x 35"
Bağlantı	1"
Mineral Miktarı	20lt filtre kumu
Debi ve Filtrasyon Hızı	0,3 m ³ /h – 10 m/h
İşletme Basıncı	2 - 7 bar
Basınç Kaybı	1 bar (max)
Çalışma Sıcaklığı	4 - 40 °C
Kontrol Vanası	Otomatik Vana
Geri Yıkama Şekli	Zaman Kontrollü
Gövde Malzemesi	Fiberglas Kaplı Polietilen

Zaman içerisinde filtrede partiküller tutulduğu için filtre verimi düşmektedir. Bu yüzden de filtrenin verimli çalışması için filtrede geri yıkama yapılmaktadır. Ayrıca büyük çaplı kum filtrelerinde geri yıkama verimini arttırmak için, filtreye geri yıkama sırasında blower aracılığı ile hava verilmektedir [45]. Çalışmada her alternatif için farklı reaksiyon süresi bulunmaktadır ve geri yıkama süreleri de reaksiyon sürelerine göre farklılık göstermektedir. Her bir pilot sistemde reaksiyon süresi belirlendikten sonra cihazlar geri yıkamaya alınmıştır. Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'te laboratuvar ortamında kurulmuş olan pilot ölçekli geri kazanım tesislerine ait kum filtresi görüntüleri sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Pilot tesislerde kullanılan kum filtresi cihazı



Şekil 3.3. Pilot tesislerde kullanılan kum filtre sistem pozisyonları

3.2.2. Aktif karbon filtre ve çalışma prensibi

Aktif karbon filtreleri arıtma sektöründe yaygın olarak kullanılmakta olup, sularda tat, renk, koku gidermekte; ayrıca çözünmemiş organik-inorganik kirliliklerinde arıtılmasında ve suda fazla kloru tutmakta kullanılmaktadır. Ayrıca bazı ağır metallerin gideriminde de kullanılmaktadırlar. Aktifleştirme işlemi yapılırken yüzey alanı yaklaşık 100 kata kadar arttırılan karbon mineralleri, organik maddeleri absorbe ederek filtre ederler. Tablo 3.3.'de pilot sistemlerde kullanılan aktif karbon filtrenin teknik özellikleri, Şekil 3.4.' de ise cihaza ait resim verilmiştir. Yoğunluğu düşük olan karbon mineralleri GAC(Granular Activated Carbon) : Granül aktif karbon ve PAC (Powdered Activated Carbon) : Toz aktif karbon iki çeşittir Yapılan

çalışmalarda aktif karbon filtre (AKF) cihazı içerisinde mineral olarak GAC kullanılmıştır.

Tablo 3.3. Pilot tesislerde kullanılan aktif karbon filtre teknik zellikleri

Aktif Karbon Filtre zellikleri	
Marka	Epa Otomatik Aktif Karbon Filtresi
Model	AKF-835-5600
Tank Boyutu	8" x 35"
Bağlantı	1"
Mineral Miktarı	20lt granül aktif karbon
Debi ve Filtrasyon Hızı	0,3 m ³ /h – 10 m/h
İşletme Basıncı	2 - 7 bar
Basınc Kaybı	1 bar (max)
Çalışma Sıcaklığı	4 - 40 °C
Kontrol Vanası	Otomatik Vana
Geri Yıkama şekli	Zaman Kontrollü
Gövde Malzemesi	Fiberglas Kaplı Polietilen



şekil 3.4 Pilot Tesislerde Kullanılan Aktif Karbon Filtre Cihazı

Aktif karbon üretilmesinde en sık kullanılan hammaddeler; hindistan cevizi kabuğu, petrol, kömür ve odun artıklarıdır. Aktifleştirmede, buhar kullanarak karbon kontrollü bir şekilde oksitlenmeye bırakılır ve iç yüzey alanı yüksek ölçüde gelişmiş duruma ulaşır.

İç yüzey alanının 700-1500 m²/gram arasında artması, kullanılan hammaddenin cinsine ve proses koşullarına bağlıdır. Tüm aktif karbonların yapısında; mikro ve makro delik karışımları bulunmaktadır. AKF içinde tutulan kirleticiler filtrenin veriminin düşmesine neden olmaktadır. Filtrenin yeniden verimli olarak çalışmasını sağlamak için geri yıkama yapılarak, filtrede tutulan kirletici maddelerin deşarj edilmesi sağlanır [46].

3.2.3. Su yumuşatma ünitesi ve çalışma prensibi

Su yumuşatma sistemleri, ham su içerisindeki kalsiyum ve magnezyumu sudan uzaklaştırmaktadır. Çalışmadaki yumuşatma ünitesinde katyonik reçine kullanılmıştır. Sistemde kullanılan su yumuşatma ünitesine ait teknik özellikler ise Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Pilot tesislerde kullanılan su yumuşatma ünitesi teknik özellikleri

Su Yumuşatma Cihaz Özellikleri	
Marka	Kabinli Otomatik Yumuşatma Filtresi
Model	KYFZ -835-5600
Tank Boyutu	8'' x 35''
Bağlantı	1''
Mineral Miktarı	20lt yumuşatma reçinesi
Debi ve Filtrasyon Hızı	0,3 m ³ /h – 10 m/h
İşletme Basıncı	2 - 7 bar
Basınç Kaybı	1 bar (max)
Çalışma Sıcaklığı	4 - 40 °C
Kontrol Vanası	Otomatik Vana
Geri Yıkama Şekli	Zaman Kontrollü
Gövde Malzemesi	Fiberglas Kaplı Polietilen



Şekil 3.5. Pilot tesislerde kullanılan su yumuşatma ünitesi

Yumuşatma Filtreleri, Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarını katyonik reçine üzerinde tutarak yumuşak su elde etmek için kullanılmaktadır. Filtre içerisindeki reçineler, sularda bulunan Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarını yakalar ve bunların yerine reçine yapısındaki Na iyonlarını bırakır. Reçinenin doyması denilen; Na iyonlarının tükenmesi halinde ise sistem tuzlu su ile rejenere edilerek yeniden servise alınır [47].

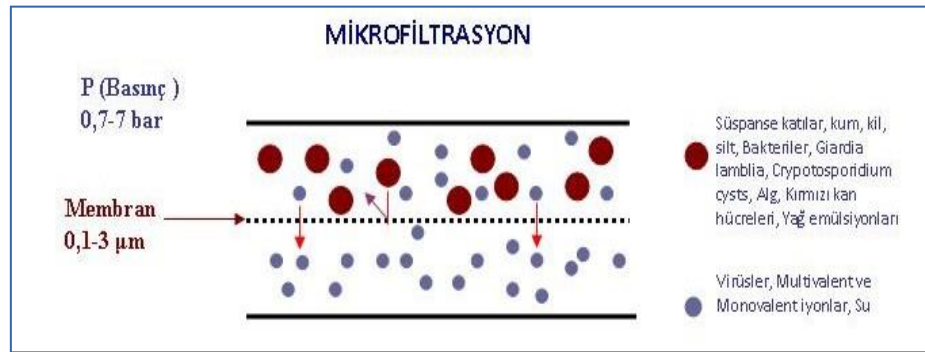
3.2.4. Mikrofiltrasyon ve çalışma prensibi

Mikrofiltrasyon (MF), akışkan haldeki partiküllerin basınç ile mikrogözenekli membrandan geçerek uzaklaştırıldığı bir prosestir. Mikrofiltrasyon prensip olarak, ultrafiltrasyon, ters osmoz ve nanofiltrasyonla temelde aynı işlemlerdir; fakat ayrıştırılan materyalin boyut aralığı farklıdır. MF membranının gözenek boyutu 0,1-3 μm arasındadır. Tablo 3.5.'de çalışmalarda kullanılan mikrofiltrasyon teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.5. Pilot tesislerde kullanılan mikrofiltrasyon teknik özellikleri

Mikrofiltrasyon Cihaz Özellikleri	
Miktar	1 Takım
Gövde Bağlantı	PVC
Cihaz Debi	0,3 m ³ /h
Filtrasyon	0,2 Mikron
Kartuş Boyutu	10"
Kartuş Adet	1

Moleküler ayırma sınırı $> 1000,000$ Da olan makromolekülleri ve askıda katı maddeleri ayıran bir sistem, Şekil 3.6.'da gösterilmektedir. MF ile uzaklaştırılan maddeler; bakteri, küf, maya, kum, yağ, silt, kil, Giardia lamblia, Cryptosporidium cysts, nişasta, emülsifiye yağlar, alg, bazı bakteri suşlarıdır. MF virüslere karşı kesin bir bariyer görevi görmemektedir. İşlem basıncı genellikle oldukça düşük olup 0,7 Bar ile 7 Bar arasındadır [48].



Şekil 3.6. Mikrofiltrasyon ayırma prensibi

Şekil 3.7.'de ise kartuş filtreleri ve mikrofiltrasyonu gösteren şekil sunulmaktadır.



Şekil 3.7. Kartuş filtreler ve mikrofiltrasyon

3.2.5. Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon da temelde bir filtreleme işlemidir. Ultrafiltrasyon modülleri, 0,01 mikron por çapına sahip olmakla birlikte kimyasal kullanımına gerek kalmadan

virüs, bakteri ve diğer mikroorganizmalar için tam bir bariyer işlevi görmektedir. 0,01 por çapından büyük tüm partikülleri geri çevirerek; 0,1 NTU' dan daha düşük bulanıklık değeri ve organik madde gidermede iyi bir filtrasyon yeteneği göstermektedir. Tablo 3.6.'da tesislerde kullanılan ultrafiltrasyon teknik özellikleri sunulmaktadır.

Tablo 3.6. Tesislerde kullanılan ultrafiltrasyon teknik özellikleri

Ultrafiltrasyon Teknik Özellikleri	
Modül Ebatları	1398 X 187 mm
Modüldeki Membran Sayısı	3100
Toplam Membran Alanı	11m ²
Tasarım Debisi	1 – 2 m ³ /saat
Artılmış Suda Bulanıklık	0,1 < NTU
Membran Malzemesi	Sentetik PVC
Membran İç/Dış Çapı	1mm/1,6mm
Çalışma Şekli	İçten dışa
Birleştirme Malzemesi	Epoksi

Şekil 3.8.'de ise kullanılan ultrafiltrasyon cihazı sunulmaktadır.



Şekil 3.8. Ultrafiltrasyon cihazı

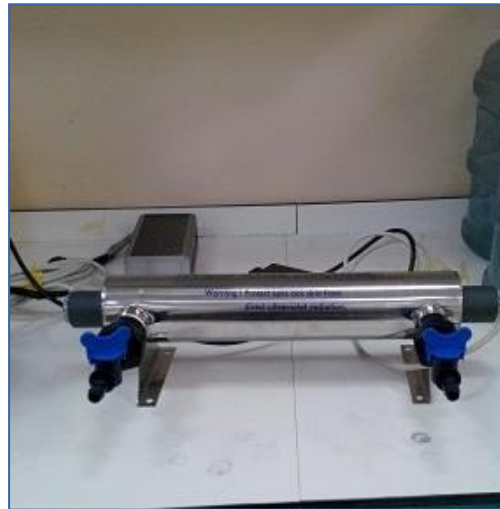
3.2.6. Ultraviyole dezenfeksiyon

Suya oksidant veya herhangi bir kimyasal işlem uygulanmadan suların arıtılması prosesidir. Sularda bulunan ve hızla çoğalabilen; virüsler, bakteriler, sporlar, ve parazitler ultraviyole (UV) teknolojisiyle, 254 nm dalga boylu UV-C ışınları kullanılarak yok edilmesi ya da üreme olanaklarını ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır. Tablo 3.7.'de çalışmalarda kullanılan UV cihazına ait teknik bilgiler verilmiştir.

Tablo 3.7. Pilot tesislerde kullanılan ultraviyole cihazı teknik özellikleri

Ultraviyole Dezenfeksiyon Cihazı Özellikleri	
Debi	0,68m ³ / saat
Lamba Sayısı	1 adet
Bağlantı	3/8"
Güç	11 watt
Dozaj Miktarı	30,000mwatts/cm ²

Şekil 3.9.'da kullanılan ultraviyole dezenfeksiyon cihazı sunulmaktadır.



Şekil 3.9. Ultraviyole dezenfeksiyon cihazı

3.3. Analiz ve Bulgular

Pilot ölçekli sistemlerde uygulanan dokuz alternatif üzerinde (ön çalışmalar, reaksiyon süresi belirleme, gerçek sistem performans kurulumları vs.) 13.10.2015 ve 17.04.2016 tarih arasında yaklaşık 6 ay çalışılmıştır. Hendek Atıksu Arıtma Tesisi

çıkış suları için uyulması gereken parametrelerde Atıksu Arıtma Tesisi Teknik Usuller Tebliği (AATTUT) ve bu suların ileri arıtıma tabi tutularak sulama suyu olarak yeniden kullanımında izlenmesi gereken kriterler de AATTUT Ek 7'ye göre değerlendirilip yorumlanmıştır. Her bir pilot ölçekli sisteme ait çıkışlarda KOİ, AKM, bulanıklık, fekal koliform ve toplam koliform parametre değerleri ve arıtma verimleri hesaplanmıştır. Bu parametreler için kullanılan giriş değerleri Hendek atık su arıtma tesis çıkışından belirli zaman aralıklarından alınan numunelerin ortalamasını ifade etmektedir. Ağır metal, toplam azot, toplam fosfat, nitrat azotu sistem giriş değerleri ise pilot sistemin uygulandığı hafta Hendek AAT çıkışından alınan numuneye aittir.

Her bir pilot sistem 2 saat çalıştırılıp, 15 dakikada bir numune alınarak pH, iletkenlik, bulanıklık, AKM, KOİ değerlerine bakılmıştır. KOİ üzerinden arıtma süresi belirlenmiştir. Ayrıca arıtılmış atık suların sulama suyu olarak yeniden kullanılabilmesi için pilot sistem çıkışlarında da fekal koliform, toplam koliform, bakiye klor, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve ağır metal değerleri AATTUT Ek 7'ye göre değerlendirilmiştir.

3.3.1. Analiz metotları

Yapılan çalışmada kullanılan analiz metotları maddeler halinde sunulmaktadır.

- a. Bulanıklık Merck marka 1100T model türbidimetre ile ölçülmüştür.
- b. pH ve iletkenlik WTW marka multi 3410 setc portatif multiparametre ile anlık ölçülmüştür.
- c. AKM Gravimetrik metotla (SM 2510 B) analiz edilmiştir.
- d. KOİ, Toplam Azot, Toplam Fosfat, Nitrat Azotu ve bakiye klor Merck marka pharo 300 spektrofotometre ile ölçülmüştür.
- e. Al, As, B, Cr, Co, Cu, F, Fe, Pb, Mn, Mo, Ni, Zn, Na, Mg, Ca, Cl⁻, Merck marka pharo 300 spektrofotometre ve ICP- MS ile ölçülerek karşılaştırılma yapılmıştır.
- f. Vanadyum, selenyum, lityum, kadminyum, berilyum gibi ağır metaller ise ICP – MS ile ölçülmüştür.

g. Fekal ve Toplam Koliform ise hazır besiyeri kullanarak anlık olarak ölçülmüştür.

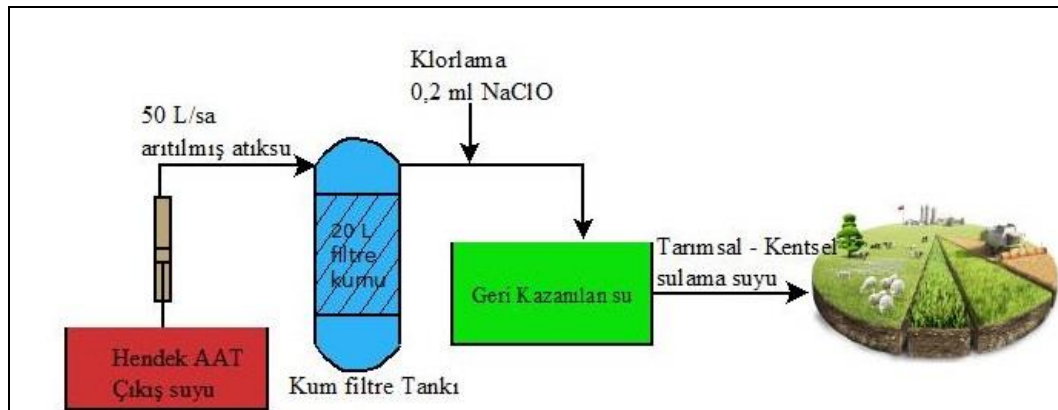
Tablo 3.8.'de pilot tesiste kullanılmakta olan arıtılmış atık su giriş değerleri yer almaktadır. Bu değerler aynı zamanda Hendek AAT' den elde edilmiş olan ortalama çıkış değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 3.8. Pilot tesis arıtılmış atıksu giriş değerleri

Pilot Tesis Giriş Değerleri (Hendek AAT Ortalama Çıkış Değerleri)	
KOİ	46 mg/L
AKM	20 mg/L
Bulanıklık	5,12 NTU
İletkenlik	804 μ s/cm
pH	7,66

3.3.2. Birinci alternatif: kum filtre + klorlama

Proses akım şeması Şekil 3.10.'da gösterilen alternatifte Hendek AAT' inden alınan çıkış suyu, kum filtresinden geçirildikten sonra klorlama işlemine tabi tutulmuştur ve sulama suyu olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.



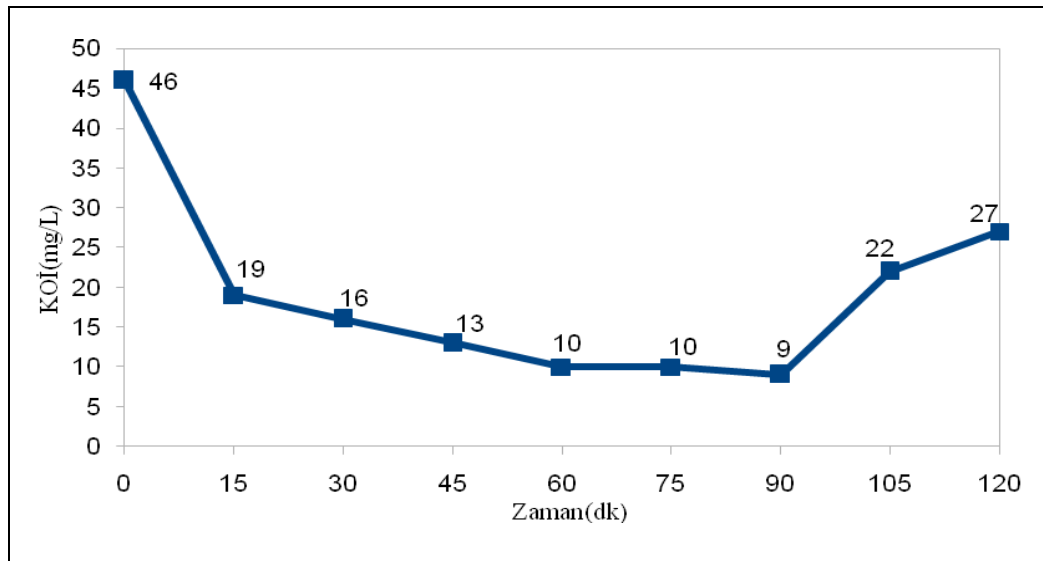
Şekil 3.10. Kum Filtre + Klorlama Akım Şeması

Şekil 3.11.'de ise pilot sisteme ait bir görüntü verilmiştir.



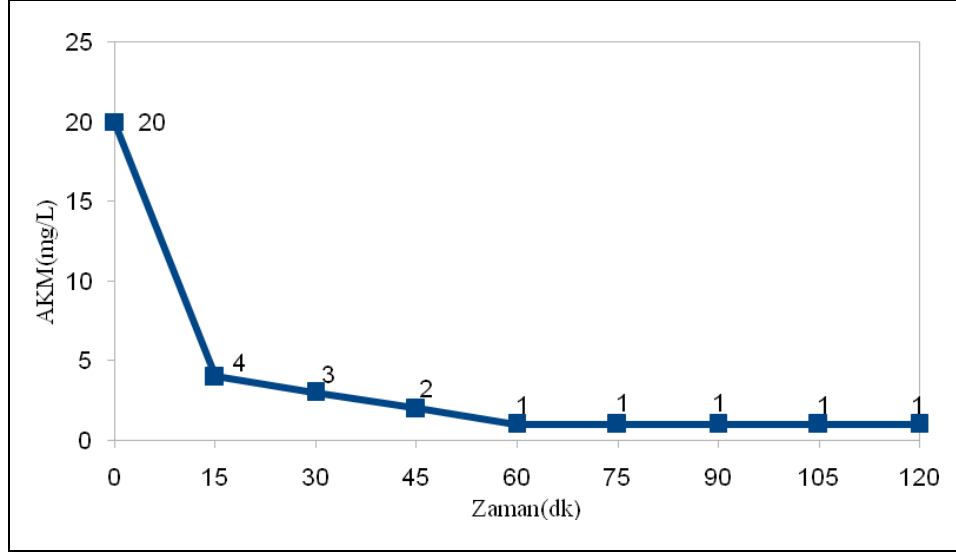
Şekil 3.11. KF + klorlama pilot tesisi

Şekil 3.12.'de gösterildiği üzere KOİ 90. dakikada en düşük kirlilik seviyesine düşmüştür; bu yüzden KOİ üzerinden hesaplanan arıtma süresi 90 dakikadır. 90 dakikadan sonra kum filtresinde kirlilik oluşmaya başlamıştır ve cihaz geri yıkamaya alınmıştır. Sisteme 46 mg/L giren KOİ 9 mg/L olarak çıkmıştır. Arıtma verimi ise % 80,4 olarak hesaplanmıştır.



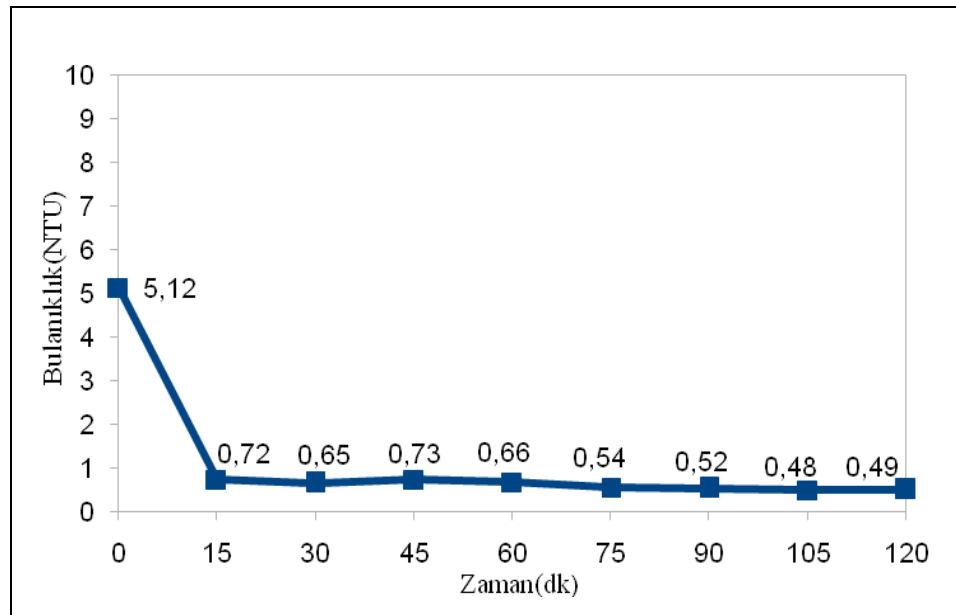
Şekil 3.12. Birinci alternatif KOİ'nin zamanla değişimi

Şekil 3.13.'te I. Alternatif AKM değişimi sunulmaktadır. Sisteme 20 mg/L olarak giren arıtılmış atık su AKM'si, pilot ölçekli ileri atık su arıtma tesisinden 1 mg/L olarak çıkmaktadır. AKM verimi %95 olarak hesaplanmıştır.



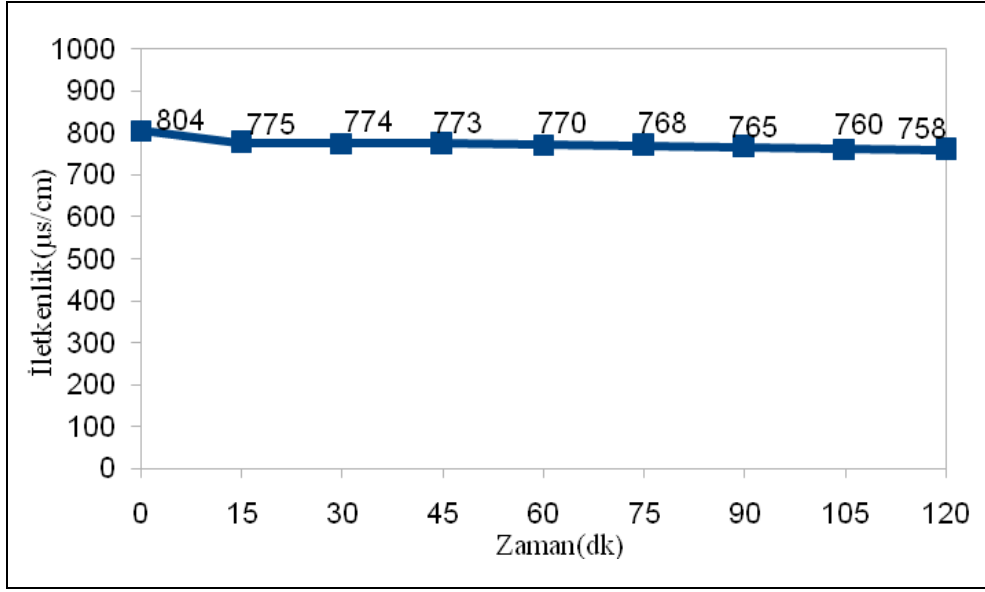
Şekil 3.13. Birinci alternatif AKM'nin zamanla değişimi

Şekil 3.14.'te gösterildiği üzere arıtma süresi olan 90 dakikada bulanıklık değeri 0,52 NTU olarak sistemden çıkmıştır. Bulanıklık verimi ise %89,8 olarak hesaplanmıştır. Geri kazanılan suyun arıtılmış atık su sınıflandırılmasında A Sınıfı olarak değerlendirilmesi için bulanık değerinin <2 olması gerekmektedir.

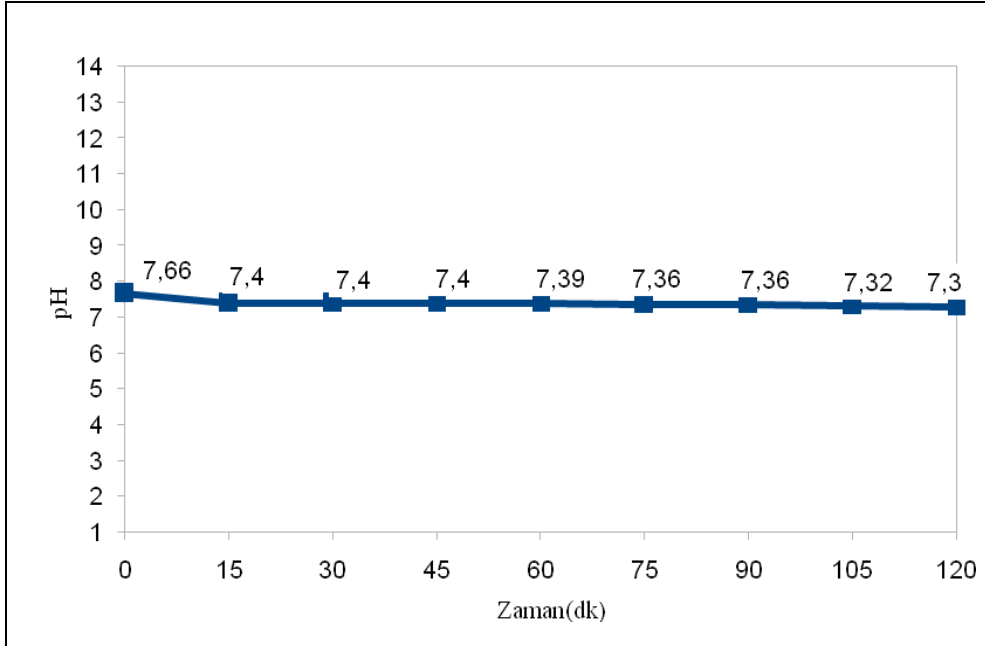


Şekil 3.14. Birinci alternatif bulanıklığın zamanla değişimi

Şekil 3.15. ve 3.16.'da ise sırasıyla iletkenlik ve pH değışimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Birinci alternatif iletkenliğin zamanla değışimi



Şekil 3.16. Birinci alternatif pH'ın zamanla değışimi

Atıksu Arıtma Tesisi Teknik Usuller Tebliği Ek.7'de artırılmış atık suların sulama suyu olarak kullanılabilmesi için bakiye klor >1 mg/L istenmektedir. Klor dozu hesaplama denemelerinde 30 dakikalık temas süresi sonunda bakiye klor 1,2 mg/L olarak ölçülmüştür.

3.3.2.1. Birinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi

AATTUT Ek.7 Tablo 7.1.'de Sulamada kullanılacak arıtılmış atık su sınıflandırılması mevcuttur.

Geri kazanılan suyun Sınıf A kapsamında değerlendirilmesi için bazı kriterleri sağlaması gerekmektedir. Tablo 3.9.'da yönetmelik ve pilot tesis çıkış değerleri sunulmaktadır. Bu değerler karşılaştırıldığında pilot tesis sonunda geri kazanılan arıtılmış atık su Sınıf A'nın kapsamındadır. Geri kazanılan su Sınıf A'da her iki kategoriye de girmektedir ve tarımsal, kentsel alan sulamalarında kullanılabilir.

Tablo 3.9. Birinci alternatif pilot tesis verilerinin AATTUT Ek 7. Tablo 7.1 ve 7.9 ile karşılaştırılması

	I. Alternatif Giriş	I. Alternatif Çıkış	AATTUT Ek.7 Tablo 7.1 İstenilen Değerler
pH	7,66	7,36	6-9
AKM	20 mg/L	1 mg/L	< 30
Bulanıklık	5,12 NTU	0,52 NTU	< 2NTU
KOİ	46 mg/L	9 mg/L	-
Bakiye Klor	0,5mg/L	1,2mg/L	> 1mg/L
Fekal Koliform	150adet/100mL	0adet/100mL	0/100mL
Toplam Koliform	1500adet/100mL	0adet/100mL	-
	I.Alternatif Giriş	I.Alternatif Çıkış	Olabilecek Nutrient Seviyeleri (AATTUT Tablo E.7.9)
Toplam Azot	9,4mgN/L	3,7mgN/L	2-12mgN/L
Toplam Fosfat	4,28mgP/L	1,7mgP/L	<2mgP/L
Nitrat Azotu	5,8mgN/L	5,1mgN/L	1-10mgN/L

AATTUT E.7.1 Tablosuna göre Sınıf A ileri arıtma ile geri kazanılan arıtılmış atık su yüzeysel, yağmurlama sulama ile sulanan ham olarak direkt yenilenebilen her türlü gıda ürününde ve her türlü yeşil alan (Parklar, golf sahaları vb.) sulamasında kullanılabilir.

Tablo 3.10. AATTUT E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması [11].

Geri Kazanım Türü	Arıtma Tipi	Geri Kazanılmış Suyun Kalitesi	İzleme Periyodu	Uygulama Periyodu
SINIF A				
a) Tarımsal Sulama : Ticari Olarak İşlenmeyen Gıda Ürünleri b)Kentsel Alanların Sulanması				
a) Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt yenilenebilir her türlü gıda ürününde b)Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)	- İkinci arıtma ^c - Filtrasyon ^d - Dezenfeksiyon ^e	- pH= 6-9 - BOİ ₅ < 20 mg/L - Bulanıklık<2 NTU - Fekal Koliform: 0/100 mL ^{g-h} - Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. - Bakiye Klor > 1 mg/L ⁱ	- pH: Haftalık -BOİ ₅ : Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: Günlük -Bakiye Klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50m mesafede

Açıklamalar;

- İkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırılmalı lagünler vb. içerebilir (c).
- Kum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir (d).
- Dezenfektant olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz (e).
- 7 günlük ortalama değerleri karakterize eder.(g)
- Fekal koliform değeri hiçbir zaman 14 adet/100 mL' yi geçmemelidir (h).
- Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri karakterize etmektedir (i).

Tarımsal sulama ile optimum verim alabilmek için sulama yapılan arazinin toprak özellikleri, suyun miktarı, kalitesi, arazinin şekli, bitki türü, iklim özellikleri, sulama

giderlerine göre doğru sulama yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Sulama yöntemleri: yüzey, basınçlı ve yüzeyaltı sulama yöntemleri olmak üzere 3'e ayrılır. Basınçlı sulama yöntemlerinde bir güç kaynağı ya da arazinin topoğrafik yapısından yararlanarak elde edilen enerji ve basınçla su toprağa yağmurlama, damlatmalı vb sistemlerle uygulanmaktadır. Damlatmalı sulama yöntemi diğer sulama yöntemlerine göre birçok avantaj sunmaktadır. Bu avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- 1- Sulama suyu gereksinimi ve buharlaşma miktarı azdır.
- 2- Bitkinin toprak üstünde kalan kısmı sulanmadığı için bitki hastalık ve zararlılarının gelişmesi önlenir.
- 3- Diğer yöntemlere göre daha az işçilik ister.
- 4- Bitki besinleri gerekli miktarlarda sulama ile bitkinin direkt kök bölgesine verildiği için gübrelemeden en üst düzeyde yararlanılabilir.
- 5- Yüksek eğimli ve dalgalı topoğrafyaya sahip arazilerde emniyetli bir şekilde kullanılabilir.
- 6- Yağmurlama yöntemine kıyasla daha az işletme basıncına ihtiyaç duyduğu için enerji masrafı daha azdır [49].

Arıtılmış atık su ile sulamada, sulama seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar halk sağlığı, sulama verimi ve tıkanma problemidir. Halk sağlığı, sulama türünün seçimini etkileyen en önemli husustur. Yağmurlama sulama gibi yüzeysel sulama uygulamalarında bu risk büyüktür. Bu yüzden halk sağlığı açısından en uygun yöntem damlatmalı sulamadır. Projede yukarıdaki değerler doğrultusunda geri kazanılan arıtılmış atık su, damlatmalı sulama yöntemine göre değerlendirilmiştir.

3.3.2.2. Birinci alternatif sulama suyu kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi

SKKY madde 9 akarsu, göl ve baraj rezervuarlarında biriktirilen kıta içi yüzeysel sular kalitelerine göre Sınıf I (yüksek kaliteli su), Sınıf II (az kirlenmiş su), Sınıf III (kirli su) ve Sınıf IV (çok kirlenmiş su) olarak sınıflandırılmıştır. Aşağıda kalite sınıfına göre suların kullanım yerleri verilmektedir.

SKKY'de;

Sınıf I Yüksek kaliteli sular:

- 1- Yalnız dezenfeksiyon ile içme suyu temini
- 2- Rekreatif amaçlı (yüzme gibi vücut teması gerektirenler dahil)
- 3- Alabalık üretimi
- 4- Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı
- 5- Diğer amaçlar

Sınıf II Az kirlenmiş sular:

- 1- İleri veya uygun bir arıtma ile içme suyu temini
- 2- Rekreatif amaçlar
- 3- Alabalık dışında balık üretimi
- 4- AATTUT’inde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu olarak
- 5- Sınıf I dışındaki diğer bütün kullanımlar

Sınıf III Kirlenmiş su:

Gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren endüstriler hariç olmak üzere uygun bir arıtmadan sonra endüstriyel su temininde kullanılabilir.

Sınıf IV Çok kirlenmiş su:

I, II ve III sınıfları için verilen kalite parametreleri bakımından daha düşük kalitedeki yüzeysel suları ifade eder denilmektedir [50].

Tablo 3.11.’de AATTUT Tablo E7.2.’ye göre pilot tesis (İletkenlik, Toplam Çözünmüş Madde (TÇM), SAR_{tad}, sodyum, klorür ve bor parametrelerinin) giriş ve çıkış değerleri gösterilip yorumlanmıştır.

Tuzluluk, özgül iyon toksisitesi ve geçirgenlik parametreleri üzerinden geri kazanılan arıtılmış atık suyun sulama suyu kimyasal kalite sınıfı belirlenmiştir. Tuzluluk; su veya topraktaki tuzların toplu olarak belirtilmesidir. Toplam çözünmüş madde (TÇM) şeklinde ölçülmektedir. Elektriksel iletkenlik (EC), (dS/m veya µS/m olarak ölçülür). Tuzluluk arttıkça, toprağın suyu ile bitki hücresi zarı arasındaki osmotik gradyan

azalmaktadır. Bitki, topraktaki tuzlu suyu seyreltmek için kendi hücreindeki suyu toprağa geri bırakmakta ve bu durum bitkinin gelişmesini önlemektedir. TÇM değerinin 500 mg/L'den küçük olduğu durumlarda bitkilerde herhangi bir etki gözlenmemiştir. 500-1000 mg/L aralığında ise hassas bitkiler etkilenebilir. 1000-2000 mg/L aralığında ise birçok bitki bundan etkilenmektedir ve dikkatli bir yönetim gerekmektedir. Genellikle, 2000 mg/L'nin üzerindeki TÇM değerine sahip sulama suları ise tuzluluğa toleranslı bitkiler için geçirgen zeminlerde kullanılabilir. Topraktaki tuzluluk oranı, drenaj suyunun sürekli ve düzenli bir şekilde tabandan çekilmesi halinde kararlı hale gelmektedir [11]. Topraktaki tuzluluk oranının kontrol edilmesinde, drenaj sistemi çok önemli olduğu söylenmektedir [10]. Tuzluluğun göstergesi olan iletkenlik ve toplam çözünmüş madde (TÇM) parametreleri açısından pilot tesis çıkış suyu II. Sınıf Sulama Suyu özelliği göstermektedir. Tebliğde Tablo E.7.3.'de bitkilerin tuzluluğa olan hassaslıkları verilmiştir. Hassaslık iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişebilmektedir.

SAR (Sodyum Adsorpsiyon Oranı): Toprak bünyesindeki suda ve sulama suyunda sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak partikülleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu durumda, topraktaki porozite azalmakta ve büyük boşluklar tıkanmaktadır. Böylelikle, su ve havanın toprak içine nüfusu engellenmektedir [11]. Pilot tesiste SAR değeri 0,3 tür ve EC ile kıyaslandığında kullanım zarar derecesi açısından I.Sınıf kapsamında değerlendirilmektedir. Yani “kullanımında herhangi bir zarar bulunmamaktadır” şeklinde anlaşılmaktadır.

Özgül İyon Toksisitesi: Geri kazanılmış suda birçok iyon, yüksek konsantrasyonlarda bitki üzerinde birikebilmektedir. Sodyum, klorür ve bor bu iyonlardan bazılarıdır. Sodyum ve klorür toksisitesi yapraklara zarar vermektedir. Klorür etkisi daha çok kavak gibi ağaçlarda olmaktadır. Sebze ve tarla bitkileri, SAR değeri çok yüksek değilse, sodyum ve klorürden etkilenmemektedir. AATTUT Ek.7 Tablo 7.4, 7.5 ve 7.6.'da bu iyonların bitkilerdeki tolerans değerleri verilmektedir. Pilot tesis çıkış suyuna göre sodyum, klorür ve bor parametreleri I.Sınıf Su sınıflandırılmasına girmektedir.

Tablo 3.11. Birinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması

Parametreler	Birimler	Kullanımda Zarar Derecesi			Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış
		Yok (I.sınıf su)	Az – Orta (II.sınıf su)	Tehlikeli (III.sınıf su)		
Tuzluluk						
İletkenlik	µs/cm	<700	700-3000	>3000	804	765
Toplam Çözülmüş Madde	mg/L	<500	500-2000	>2000	643,2	612
Geçirgenlik						
SARTad	0-3	EC ≥ 0,7	0,7 – 0,2	<0,2	0,26	0,3
	3-6	≥ 1,2	1,2 – 0,3	<0,3		
	6-12	≥ 1,9	1,9 – 0,5	<0,5		
	12-20	≥ 2,9	2,9 – 1,3	<1,3		
	20-40	≥ 5,0	5,0 – 2,9	<2,9		
Özgül İyon Toksisitesi						
Sodyum(Na)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 3	3 – 9	> 9	4,8	6,030
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 70	> 70			
Klorür(Cl)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 140	140 – 350	> 350	91	79
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 100	> 100			
Bor (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	0,001	0,001

3.3.2.3. Birinci alternatif sulama suyu eser elementlerinin değerlendirilmesi

Pilot tesiste kullanılan üniteler arasında ağır metal giderme ünitesi bulunmamaktadır. Hendek atık su arıtma tesisinden çıkan arıtılmış atık su ve pilot tesisle geri kazanılan arıtılmış atık su değerleri ağır metal sınır değerlerinin altındadır. Tablo 3.12.'de pilot tesis çıkış değerleri ve sulama suyu kriterleri karşılaştırılmıştır. Sulama suyu olarak kullanımı açısından ağır metallerin analiz sonuçları herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.

Tablo 3.12. Sulama sularında izin verilen max. ağır metal-toksik element konsantrasyonlarının pilot tesis verileri ile karşılaştırılması

ELEMENTLER	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar		Hendek Atıksu arıtma tesisi çıkış	I. Alternatif (Kum filtre + Klorlama)
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, (mg/L)		
Alüminyum(Al)	4600	5,0	20,0	0,007	0,004
Arsenik(As)	90	0,1	2,0	0,005	0,01
Berilyum(Be)	90	0,1	0,5	0	0
Bor(B)	680	-	2,0	0,001	0,001
Kadmiyum(Cd)	9	0,01	0,05	0	0
Krom(Cr)	90	0,1	1,0	0,14	0,18
Kobalt(Co)	45	0,05	5,0	0,003	0,005
Bakır(Cu)	190	0,2	5,0	0	0
Florür(F)	920	1,0	15,0	0,29	0,25
Demir(Fe)	4600	5,0	20,0	0	0,0005
Kurşun(Pb)	4600	5,0	10,0	0	0
Lityum(Li)	-	2,5	2,5	0,03	0,04
Manganez(Mn)	920	0,2	10,0	0,3	0,1
Molibden(Mo)	9	0,01	0,05 ²	0,0002	0,0002
Nikel(Ni)	920	0,2	2,0	0	0
Selenyum(Se)	16	0,02	0,02	0,001	0,002
Vanadyum(V)	-	0,1	1,0	0,006	0,019
Çinko(Zn)	1840	2,0	10,0	0,97	0,1

Ayrıca ağır metal olan bor, özgül iyon toksisitesi sınıflandırılmasına da girmektedir ve AATTUT Tablo Ek 7.6' da bor elementi hassasiyet dereceleri verilmiştir. Bunlar toleranslı (bor > 4mg/L), orta toleranslı (bor: 2,0- 4,0 mg/L), orta hassas (bor: 1,0 – 2,0 mg/L) ve hassas (bor: 0,5 – 1,0 mg/L) olarak sınıflandırılmıştır. Pilot tesis sonuçları hassas derecesine girmektedir.

3.3.2.4. Mikrobiyolojik kalite

Yönetmelik gereği fekal koliform 0/100mL istenmektedir; Sisteme 0,2 ml NaClO eklenerek 30 dakika temas süresi sonunda bakiye klor 1,2 mg/L olarak ölçülmüştür ve pilot sistemde fekal ve toplam koliform % 100 giderilmiştir.

3.3.2.5. Birinci alternatif pilot tesis sonuçlarının irdelenmesi

“KF + Klorlama” pilot tesisi için KOİ üzerinden belirlenen arıtma süresi 90 dakikadır ve Hendek AAT çıkış değeri 46 mg/L KOİ iken pilot tesis çıkışında 9 mg/L bulunarak arıtma verimi %80,4 hesaplanmıştır. Hendek AAT Klasik aktif çamur sistemi prosesi içermektedir ve klasik atık su arıtma sistemleri çıkışında AKM konsantrasyonu 5-25 mg/L aralığında değişim göstermektedir. Çalışmalar sırasında tesisten temin edilen arıtılmış atık suyun AKM ortalama değeri 20 mg/L iken I. pilot tesis çıkışında 1 mg/L’ ye düşmüştür arıtma verimi %95 dir. AATTUT’ e göre dezenfeksiyon öncesi tavsiye edilen bulanıklık değeri <5 NTU olmalıdır ve 5NTU’yu geçmemelidir; Bulanıklık yerine AKM kullanıldığı durumlarda ise AKM <5mg/L olmalıdır. Pilot tesiste bulanık değeri ise 5,12 NTU’dan 0,52 NTU’ya düşmüştür ve arıtma verimi %89,8 dir. Sistemde dezenfeksiyon yöntemi olarak klor kullanılmıştır ve bulanıklık, AKM değerleri yönetmelikte istenilen değerlerin altında kalmıştır. AATTUT' de Ek.7.'de BOİ₅ <20mg/L olması istenmektedir. Pilot sistemde giriş 25 mg/L iken çıkış değeri 6 mg/L’ dir. Arıtma verimi ise %76’ dir.

Güney Kıbrıs Larnaka evsel AAT çıkış suları 2000 yılından beri kum filtresi ve klorlama yapılarak sulama sistemine verilmektedir. Filtrenin AKM gidermede klorlamanın ise mikroorganizmaları etkisiz hale getirmede çok etkili olduğu görülmüştür. Larnaka çıkış suyunda AKM 1,7 mg/L olarak ölçülmüş ve AKM giderme verimi %99 olarak hesaplanmıştır[51]. 2004 yılında Kuveyt’te yapılan bir çalışmada ise Ardiya, Rakka ve Jahra evsel AAT çıkış sularına hızlı kum filtresi ve klorlama işlemi uygulanmış olup AKM, BOİ, KOİ ve UKM arıtma verimlerine bakılmıştır. Giderme verimleri sırasıyla AKM %55-75, BOİ %32-55, KOİ %22- 32, UKM %35-55 arasında bulunmuştur [52].

KOSKİ AAT'inde kurulan 2 m³/ saatlik pilot tesiste pH, sıcaklık, iletkenlik, AKM, KOİ, bulanıklık, fekal koliform ve ağır metal parametrelerine bakılmıştır. Pilot sistem çok katmanlı kum filtresi, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve dezenfeksiyondan (UV ve klor) oluşmaktadır. Ortalama pH değeri KF çıkış için 7,56, MF çıkış için 7,48 olarak ölçülmüştür. İletkenlik çıkış değerleri ise KF ve MF için sırasıyla 1970 µs/cm, 1969 µs/cm ortalama değer olarak ölçülmüştür. KOSKİ AAT pilot tesis çıkış suyu tuzluluk açısından II. Sınıf su özelliği göstermektedir. Bulanıklık ortalama değeri ise KF sonrasında 13,33 NTU, MF sonrasında ise 11,95 NTU olarak AKM değerleri ise sırasıyla 24,74 mg/L ve 21,87 mg/L olarak ölçülmüştür. Pilot tesis AKM ve bulanık değerleri ikinci günde minimum değeri sağlasada koagülant olarak PAC çözeltilisinin eklendiği günlerde AKM değeri 11 mg/L'ye, bulanık ise 2,45 NTU'ya kadar düştüğü gözlenmiştir [27].

Al-Turki'nin 2010 yılında yayınlanan Buraidah ileri AAT'i atık su kalitesi ve sulamada yeniden kullanımının değerlendirildiği çalışmada: proses akışı aktif çamur, kum filtresi ve klorlama şeklindedir. Çalışmada TAKM, KOİ, BOİ, bulanıklık fekal koliform, toplam koliform, bazı ağır metaller ile sodyum konsantrasyonları üç yıl boyunca incelenmiştir. Buraidah AAT giriş TAKM değeri 167-264mg/L aralığında değişiklik gösterirken sistemde kullanılan kum filtresi TAKM çıkış değerini 4,54-5,58mg/L aralığına kadar düşürmüştür. Çalışma süresinde bulanık, KOİ, BOİ değerleri sırasıyla 2,47NTU, 16,27mg/L, 4,32mg/L'ye kadar düşme göstermiştir. KOİ, BOİ, TAKM arıtma verimleri ise %97'i olarak hesaplanmıştır ve tesiste kullanılan kum filtre yüksek performans göstermiştir. Klor dezenfeksiyonu ile de fekal koliform ve toplam koliform giderme verimi üç yıl boyunca neredeyse %100 giderilmiştir. Tesis çıkışı iletkenlik 3,34 ds/m, SAR 5,5, Na 379 mg/L olarak ölçülmüştür. SAR ve değiştirilebilir Na yüzdesi suyun sulamada kullanımında düşük-orta derece potansiyel sorunlara neden olacağını gösterse de artık sodyum karbonat topraktaki Na miktarını arttıracak kadar yüksek bulunmamıştır. Sonuç olarak yapılan çalışmada: Suudi Arabistan Su ve Elektrik Bakanlığı yönetmeliğine göre Buraidah ileri AAT'i çıkış suları toprak özellikleri ve sızma etkisi dikkate alınarak kullanıldığında bölgenin sürdürülebilir su ihtiyacını karşılayabileceği bildirilmiştir

[53]. Literatürden sunulan çalışmalar da olduğu gibi Hendek ileri AAT'i için denenen kum filtresi yüksek performans göstermiştir.

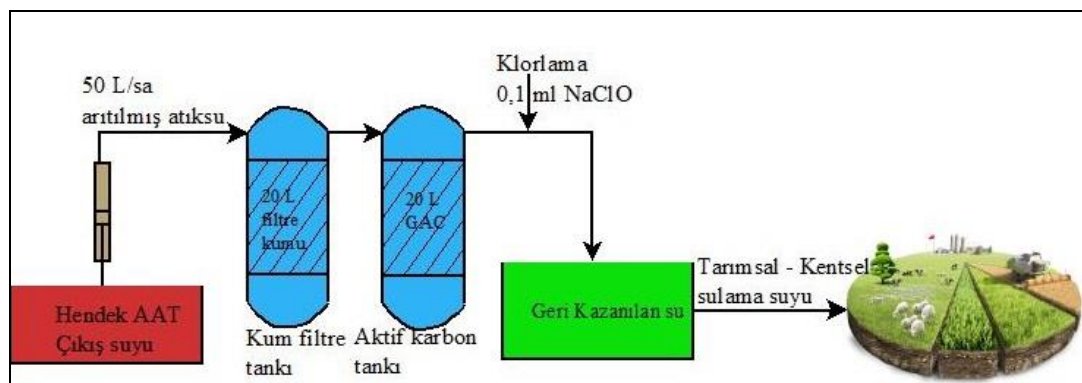
Geri kazanılan su sulamada kullanılacak ise arıtılmış atık sularda aranan özellikler, AATTUT Tablo E.7.1'de verilmiştir. AATTUT Ek 7'ye göre arıtılmış suyun sulamada kullanılması için Sınıf A ve Sınıf B olmak üzere iki farklı sınıf kategorisi belirlenmiştir. "KF + Klorlama" pilot tesis çalışması ve üzerinde çalışılan tüm alternatiflerin pilot tesis çıkış suları geri kullanılacak arıtılmış atık suların sınıflandırılmasında Sınıf A' ya girmektedir. AATTUT' de yer alan Ek.7. Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri; "Tablo E.7.1. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atık suların sınıflandırılması" başlığı altında kentsel yeşil alanların sulanmasında (Sınıf A) pH: 6-9 aralığında olmalıdır. Hendek AAT çıkış pH değeri 7,66 iken pilot tesis çıkış değeri ise 7,36 dır. Belirtilen aralığa girmektedir. AATTUT Tablo E.7.2. Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo da tuzluluğu iletkenlik ve toplam çözünmüş madde belirlenmektedir. İletkenlik 700 – 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ aralığı kullanım zarar derecesi açısından az orta (II. Sınıf) su olarak değerlendirilmektedir, sistemden çıkan iletkenlik değeri de 765 $\mu\text{s}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür ve II.Sınıf suya girmektedir. Tuzluluğun başka bir göstergesi olan TÇM ise 612 mg/L olarak hesaplanmıştır. Pilot sistem sonucunda geri kazanılan su tuzluluk açısından değerlendirildiğinde II. Sınıf suya girmektedir.

SAR (Sodyum Adsorpsiyon oranı) belirlemek için bakılan parametreler Na, Mg ve Ca' dır. Hendek AAT çıkışında SAR oranı 0,26 iken sistem çıkışı 0,3' tür ve geri kazanılan su I.Sınıf suya girmektedir. Ve kullanımında herhangi bir zarar bulunmamaktadır. Özgül iyon toksitesi açısından sistem giriş ve çıkış değerleri karşılaştırıldığında (Na, Cl⁻, B) Hendek AAT çıkış ve pilot tesis çıkışında I. Sınıf Su kapsamında değerlendirilmektedir. Geri kazanılan su yüzey sulaması ve damlatmalı sulama açısından her iki sınıfta da I. Sınıf suya girmesine rağmen halk sağlığı açısından damlatmalı sulama en uygun yöntemdir. Ve damlatmalı sulamaya göre pilot tesis sonuçları yorumlanmıştır. Nutrient seviyeleri kontrol amacıyla izlenmiştir ve toplam azot miktarı 9,4 mgN/L' den 3,7 mgN/L' ye düşmüştür. Aritma verimi %

60,6' dir. Toplam fosfat 4,28 mgP/L' den 1,7 mgP/L' ye düşerek arıtma verimi % 60,2 bulunmuştur. Nitrat Azotu 5,8 mgN/L' den 5,1 mgN/L' ye düşmüştür, arıtma verimi ise %12 dir. Hendek AAT Çıkış suyu ağır metal değerleri Ek.7. Tablo 7.7. sulama sularında izin verilebilen max. ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyon değerlerinin altında kalmaktadır. Birinci alternatif pilot tesis ağır metal çıkış değerleri de Hendek AAT çıkış değerleriyle hemen hemen aynıdır çünkü sistemde ağır metal giderim ünitesi bulunmamaktadır. Hendek AAT çıkışında bakiye klor miktarı 0,5 mg/L' dir. AATTUT Ek.7' de geri kazanılan sularda bakiye klor miktarı >1 mg/L istenmektedir. Sistemde klor dozu hesaplamaları sonucunda bakiye klor 1,2 mg/L bulunmuştur. Eklenen klor dezenfeksiyonu ile birlikte fekal koliform 150 adet/100mL' den 0 adet/100mL' ye toplam koliform değeri ise 1500 adet/100mL' den 0 adet/100mL' ye düşmüştür ve arıtma verimi %100 dür. Fekal koliform değeri AATTUT' ne göre 0 adet/100mL olmalıdır ve hiçbir zaman 14 adet/100mL' yi geçmemelidir. Pilot tesis çıkış değeri de yönetmelikte istenilen değeri sağlanmıştır ve "KF + Klorlama" pilot tesisi sonucunda geri kazanılan arıtılmış atık su A Sınıfı kapsamında tarımsal ve kentsel alanların sulanmasında kullanılabilir.

3.3.3. İkinci alternatif: kum filtre + aktif karbon filtre + klorlama

Şekil 3.17.'de proses akım şemasında da gösterildiği gibi Hendek AAT' inden çıkan arıtılmış atık sular kum filtresi ve aktif karbon filtreden geçirildikten sonra klorlama yapılmıştır ve sulama suyu olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Şekil 3.17.'de ise II. Alternatife ait pilot tesis görüntüsü verilmektedir.

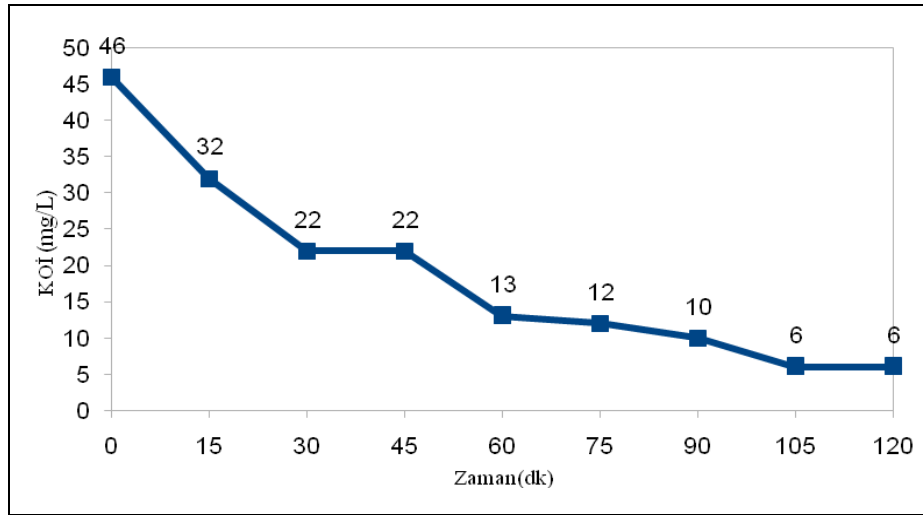


Şekil 3.17. KF + AKF + klorlama akım şeması



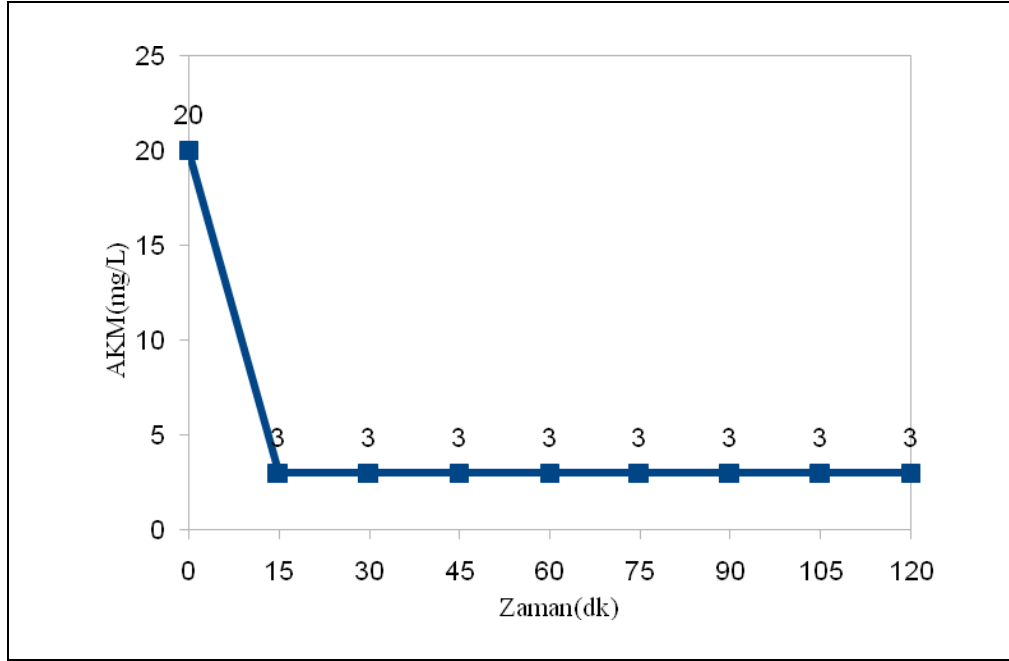
Şekil 3.18 KF + AKF + Klorlama pilot tesisi

Şekil 3.19.'da II. Alternatife ait KOİ'nin zamana bağlı olarak değişimi sunulmaktadır.



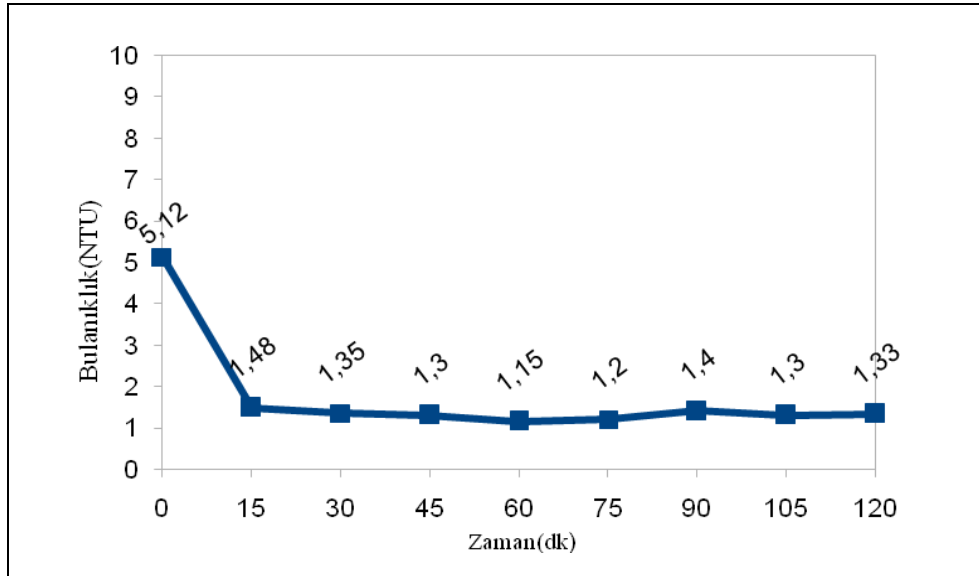
Şekil 3.19. İkinci alternatif KOİ'nin zamanla değişimi

KOİ baz alınarak hesaplanan kirlilik seviyesinin en düşük olduğu arıtma süresi 105 dakikadır. Ve arıtma verimi %86,9' dur. Cihaz 105. dakikadan sonra geri yıkamaya alınmıştır. Şekil 3.20.'de AKM değişimi sunulmaktadır. AKM arıtma verimi %85 olarak bulunmuştur.



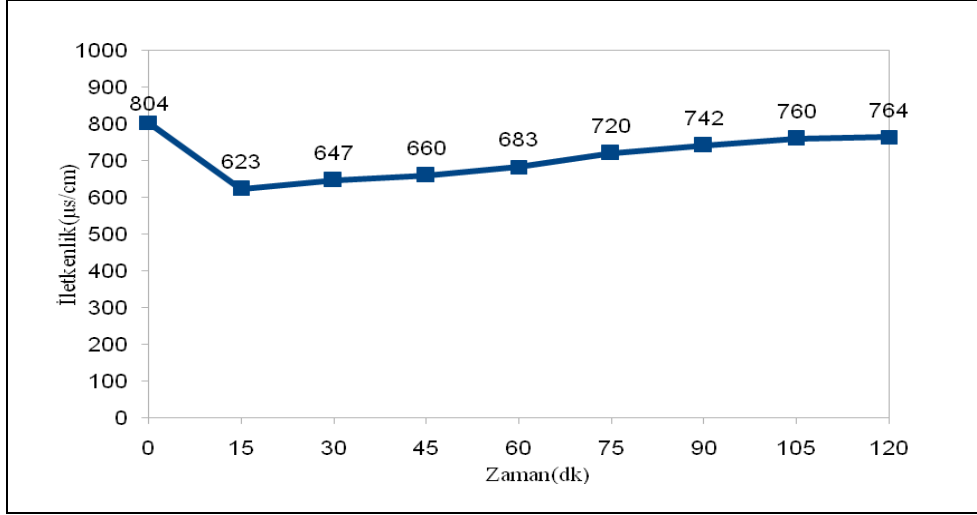
Şekil 3.20. İkinci alternatif AKM'nin zamanla değişimi

Şekil 3.21.'de II. Alternatif için bulanıklık değişimi sunulmuş olup arıtma verimi %74,6 olarak hesaplanmıştır. Dezenfeksiyon öncesi A Sınıfı sulama suyunda yönetmelik gereği sağlanması gereken <2 NTU değeri sağlanmıştır.

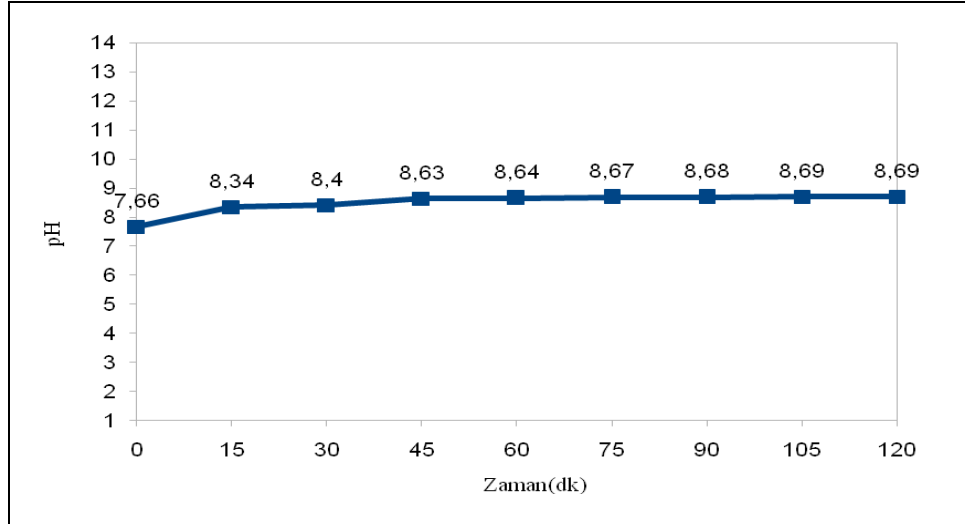


Şekil 3.21. İkinci alternatif bulanıklığın zamanla değişimi

Şekil 3.22. ve 3.23.'de sırasıyla zamana göre iletkenlik ve pH değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.22. İkinci alternatif iletkenliğin zamanla değişimi



Şekil 3.23. İkinci alternatif pH'ın zamanla değişimi

3.3.3.1. İkinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi

Tablo 3.13.'de geri kazanılan suyun sulama sınıfının belirlenmesi için pilot tesis pH, AKM, bulanıklık, KOİ, bakiye klor, fekal koliform ve toplam koliform parametreleri ile yönetmelik değerleri karşılaştırılarak verilmiştir. AATTUT Ek.7. Tablo 7.1.'e göre "KF + AKF + Klorlama" pilot tesisi ile geri kazanılan su Sınıf A kapsamında değerlendirilmektedir. Ve her türlü yeşil alan sulamasında (parklar, golf sahaları vb.) ve tarımsal sulama için kullanılabilir.

Tablo 3.13. İkinci alternatif pilot tesis verilerinin AATTUT Ek 7. Tablo 7.1 ve 7.9 ile karşılaştırılması

	II.Alternatif Giriş	II.Alternatif Çıkış	AATTUT Ek.7 Tablo 7.1 de İstenilen Değerler
pH	7,66	8,69	6-9
AKM	20 mg/L	3 mg/L	< 30
Bulanıklık	5,12 NTU	1,3 NTU	< 2NTU
KOI	46 mg/L	6 mg/L	-
Bakiye Klor	0,5mg/L	1,36 mg/L	> 1mg/L
Fekal Koliform	150adet/100mL	0adet/100mL	0/100mL
Toplam Koliform	1500adet/100mL	0adet/100mL	-
	II. Alternatif Giriş	II. Alternatif Çıkış	Olabilecek Nutrient Seviyeleri (AATTUT Ek.7 Tablo 7.9)
Toplam Azot	12,0 mgN/L	11,2 mgN/L	2-12mgN/L
Toplam Fosfat	4,28mgP/L	1,9mgP/L	< 2mgP/L
Nitrat Azotu	1,6 mgN/L	0,9 mgN/L	1-10mgN/L

3.3.3.2. İkinci alternatif sulama suyu kimyasal kalite değerlendirilmesi

AATTUT Ek.7. Tablo 7.2.'deki geri kazanılmış atık sularda, sulama suyunun kimyasal kalitesi “kum filtre + aktif karbon filtre + klorlama” pilot sistemi ile karşılaştırılarak Tablo 3.14.'de pilot tesis giriş ve çıkış değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.14. İkinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması

Parametreler	Birimler	Kullanımda Zarar Derecesi			Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış
		Yok (I.sınıf su)	Az – Orta (II.sınıf su)	Tehlikeli (III.sınıf su)		
Tuzluluk						
İletkenlik	µs/cm	<700	700-3000	>3000	804	760
TÇM	mg/L	<500	500-2000	>2000	643,2	608
Geçirgenlik						
SARTad	0-3	-	EC ≥ 0,7	0,7 – 0,2	<0,2	0,26
	3-6		≥ 1,2	1,2 – 0,3	<0,3	
	6-12		≥ 1,9	1,9 – 0,5	<0,5	
	12-20		≥ 2,9	2,9 – 1,3	<1,3	
	20-40		≥ 5,0	5,0 – 2,9	<2,9	
Özgül İyon Toksisitesi						
Sodyum(Na)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 3	3 – 9	> 9	4,8	5,1
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 70	> 70			
Klorür(Cl)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 140	140 – 350	> 350	91	65
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 100	> 100			
Bor (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	0,001	0,0002

Tuzluluk göstergesi olan iletkenlik ve toplam çözünmüş madde parametreleri açısından değerlendirildiğinde pilot tesis çıkış suları II. Sınıf Sulama Suyu özelliği göstermektedir. TÇM konsantrasyonu 608 mg/L' dir. Ve Tebliğ Tablo E.7.3. Bitkilerin tuzluluğa olan hassaslıklarına göre hassas sınıfa girmektedir. II. alternatif pilot tesis çıkışında SAR değeri 0,25 dir. İletkenlik parametresi ile ilişkilendirildiğinde geri kazanılan su SAR parametresi açısından I. Sınıf Su özelliği göstermektedir. Sodyum, klorür ve bor parametreleri açısından değerlendirildiğinde pilot tesis çıkış suyu I. Kalite Sulama Suyu sınıfına girmektedir. Ve aktif karbon ünitesi bor değerini, hendek atık su arıtma tesisinden çıkan değer yönetmeliğin altında olmasına rağmen daha da düşürmüştür.

3.3.3.3. İkinci alternatif sulama suyu eser elementlerinin değerlendirilmesi

Tablo 3.15.'te AATTUT Ek.7. Tablo 7.7. ile pilot tesis ağır metal verileri karşılaştırıldığında çıkış suyu değerleri yönetmeliğin çok altındadır ve sulama suyu olarak kullanılabilir.

Tablo 3.15. Sulama sularında izin verilen max. ağır metal-toksik element konsantrasyonlarının pilot tesis verileri ile karşılaştırılması

ELEMENTLER	Birim alana Verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen max konsantrasyonlar		Hendek AAT çıkış	II. Alternatif Kum filtre + Aktif Karbon Filtre + Klorlama
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılmada durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, (mg/L)		
Alüminyum(Al)	4600	5,0	20,0	0,007	0,031
Arsenik(As)	90	0,1	2,0	0,005	0,4
Berilyum(Be)	90	0,1	0,5	0	0
Bor(B)	680	-	2,0	0,001	0,0002
Kadmiyum(Cd)	9	0,01	0,05	0	0
Krom(Cr)	90	0,1	1,0	0,014	0,019
Kobalt(Co)	45	0,05	5,0	0,003	0,0008
Bakır(Cu)	190	0,2	5,0	0	0
Florür(F)	920	1,0	15,0	0,29	0,17
Demir(Fe)	4600	5,0	20,0	0	0,068
Kurşun(Pb)	4600	5,0	10,0	0	0
Lityum(Li)	-	2,5	2,5	0,03	0,06
Manganez(Mn)	920	0,2	10,0	0,3	0,006
Molibden(Mo)	9	0,01	0,05 ²	0,0002	0,00005
Nikel(Ni)	920	0,2	2,0	0	0
Selenyum(Se)	16	0,02	0,02	0,001	0,0003
Vanadyum(V)	-	0,1	1,0	0,006	0,04
Çinko(Zn)	1840	2,0	10,0	0,97	0

İşletme maliyetini arttıracığı için kum filtresine ilaveten aktif karbon filtre kullanmaya gerek yoktur. Ayrıca bu çalışmada aktif karbon filtrenin bor, kobalt, florür, manganez, selenyum, çinko, molibden gibi ağır metalleri giderebileceği gözlenmiştir.

3.3.3.4. Mikrobiyolojik kalite

Sisteme 0,1 ml NaClO eklenerek 30 dakika temas süresi sonunda bakiye klor 1,36 mg/L olarak ölçülmüştür ve eklenen klor ile fekal Koliform - toplam koliform 0 adet /100mL olarak bulunmuştur. AATTUT' e göre fekal koliform değeri hiçbir zaman 14 ad/100 mL'yi geçemez. Koliform giderimi %100 sağlanmıştır.

3.3.3.5. İkinci alternatif pilot tesis sonuçlarının irdelenmesi

“KF + AKF + Klorlama” pilot tesis için bulunan reaksiyon süresi 105 dakikadır. KOİ 46 mg/L’ den 6mg/L’ye düşmüştür ve KOİ arıtma verimi %86,9 dur. AKM verimi ise %85 dir. Pilot tesis çıkışında AKM değeri 20 mg/L’ den 3 mg/L’ ye düşmüştür. Bulanıklık değeri 5,12 NTU’ dan 1,13 NTU’ ya düşmüştür. Verimi ise %74,6’ dır.

Hollanda evsel AAT çıkış suları kullanılarak aşağıda verilen ileri arıtma alternatifleri denenmiştir.

- 1- Toz aktif karbon reaktörü ve UF
- 2- KF ve granüler aktif karbon filtrasyonu

KOİ Hollanda AAT çıkışında 25 ppm iken KF çıkışında 21 ppm, granüler aktif karbon çıkışında 15ppm, toz aktif karbon reaktörü ve UF çıkışında ise 12 ppm olarak ölçülmüştür [54].

KF ilaveten AKF eklediğimiz II. Pilot sistemde KOİ çıkış değeri I. alternatifte göre daha iyi verim elde edilmesini sağlamıştır. Fakat AKM değeri ve bulanık değerleri ise Kum Filtre (KF)’ nin tek çalıştırıldığı birinci sistemde daha etkili olmuştur. Hendek AAT çıkış suyu değerleri için AKF’ nin tek başına çalıştırılacağı sistemlerde daha iyi verim elde edilebileceği kanısına varılmıştır. Hendek AAT pH çıkış değeri

7,66 iken pilot tesis çıkışı pH değeri 8,69 olarak ölçülmüştür. Sistemde kullanılan aktif karbon filtre pH parametresinin yükselmesine neden olmasına rağmen, pilot tesis sonucunda bulunan değer tebliğde belirtilen pH değerleri arasında kaldığı için sulamada kullanılacak atık suların sınıflandırılmasında geri kazanılan su Sınıf A kapsamına girmektedir.

II. alternatif pilot tesis çıkış parametre değerleri sulama suyunun kimyasal kalitesi açısından irdelendiğinde iletkenlik 804 $\mu\text{s}/\text{cm}'$ den 760 $\mu\text{s}/\text{cm}'$ ye, TÇM 643,2 mg/L' den 608 mg/L' ye düşmüştür. Tuzluluk açısından Hendek AAT çıkışı da pilot tesis çıkış suyu da kullanım zarar derecesi kategorisinde II. Sınıf Su olarak değerlendirilmektedir. SAR değeri ise 0,26 dan 0,25 e düşmüştür Hendek AAT çıkışı ve pilot tesis çıkışı aynı değerdedir diyebiliriz ve iletkenlik parametresi - SAR ilişkisine göre geri kazanılan su I. Sınıf Su özelliği göstermektedir. Özgül iyon toksisitesine göre; sodyum değeri 4,8 mg/L' den 5,1 mg/L' ye yükselmiştir. Klorürür 91 mg/L' den 65 mg/L' ye bor ise 0,001 mg/L' den 0,0002 mg/L' ye düşmüştür. Hendek AAT çıkış değerleri de pilot tesis çıkış değerleri de I. Sınıf Su kategorisine girmektedir.

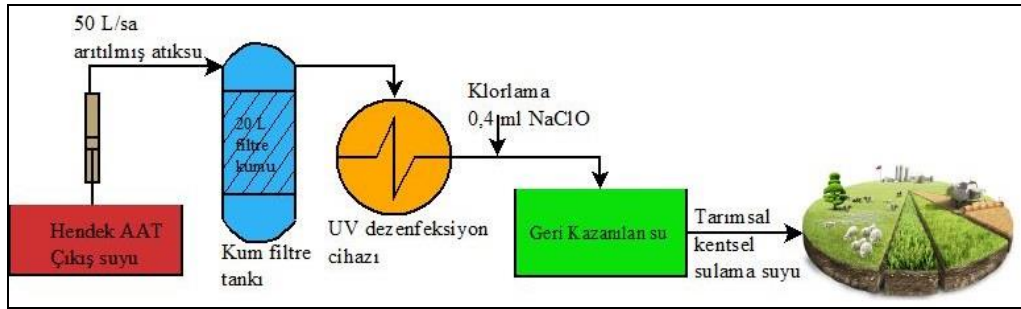
Toplam azot 12 mgN/L' den 11,2 mgN/L' ye düşerek %6 verim, Nitrat Azotu 1,6 mgN/L' den 0,9 mgN/L' ye inmiştir ve arıtma verimi % 43,75 olarak hesaplanmıştır. Toplam fosfor ise 4,28 mgP/L' den 1,9 mgP/L' ye düşmüştür, verimi ise %55,6 olarak bulunmuştur. Tablo 3.15.'de ağırmetal sisteme giriş ve çıkış değerleri gösterilmiştir ve değerler sulama sularında izin verilen max toksik element konsantrasyonlarının altındadır. Bitkiler üzerinde olumsuz etki söz konusu değildir. Ek olarak kullanılan AKF bor, manganez, kobalt ve selenyum miktarını biraz daha düşürmüştür. AATTUT Ek.7. Tablo 7.1.'de bakiye klor > 1mg/lt istenmektedir ve Pilot tesis çıkışında 0,1 mg NaOCl eklenerek bakiye klor 1,36 mg/L bulunmuştur. Kullanılan klor dezenfeksiyonuyla fekal koliform ve toplam koliform değeri % 100 giderilmiştir.

Pilot tesis “KF + AKF + Klorlama” sulama suyu arıtılmış atık sular sınıflandırılmasında Sınıf A kapsamında değerlendirilmiştir ve tarımsal ve kentsel sulama suyu olarak kullanılabilir. Fakat I. alternatife ek olarak AKF ilave edilmesi

maliyeti arttıracığından KF ile kullanılmaması ya da tek başına kullanılması işletme açısından daha ekonomik olacaktır.

3.3.4. Üçüncü alternatif: kum filtre + ultraviyole dezenfeksiyon

Diğer alternatiflerde olduğu gibi Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) üzerinden arıtma süresi hesaplanarak, çıkan değere göre özgül iyon toksisitesi, tuzluluk, SAR, ağır metal toksisitesi ve mikrobiyolojik kalite parametreleri incelendi; geri kazanılan arıtılmış atık suyun sulama suyu açısından uygun olup olmadığı ve hangi sınıf su kapsamında olduğu belirlenmiştir. Şekil 3.24.'te III. alternatifine ait akım şeması sunulmaktadır.



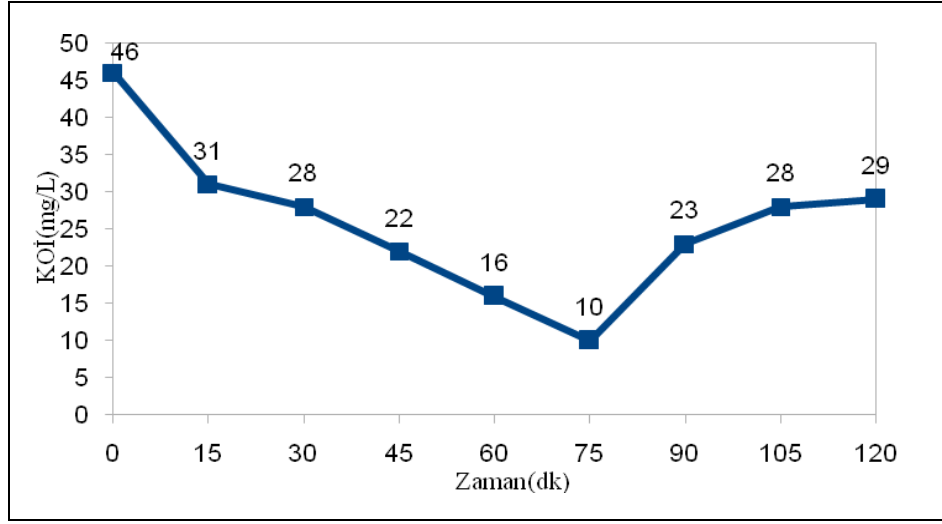
Şekil 3.24. KF + UV dezenfeksiyon proses akım şeması

Şekil 3.25.'de laboratuvar ortamında kurulan pilot tesise ait görüntü verilmektedir.



Şekil 3.25 KF + UV Dezenfeksiyon Pilot Tesisi

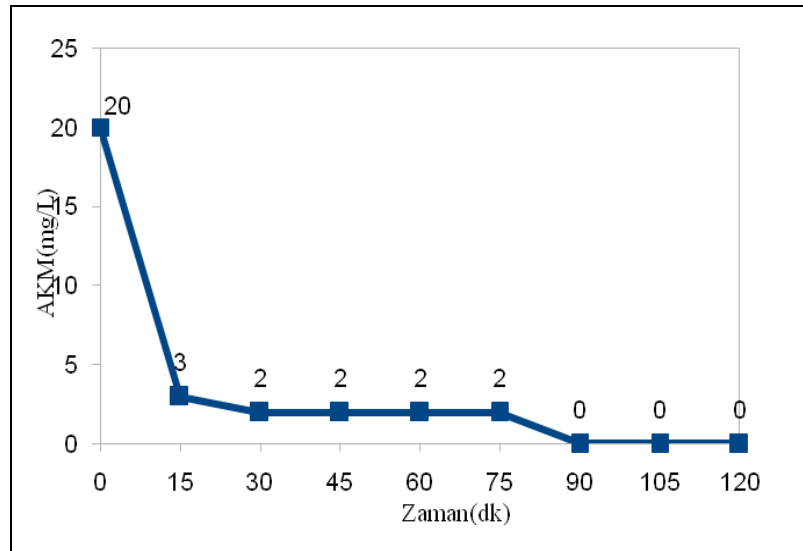
Şekil 3.26.'da III. alternatif KOİ değimi sunulmaktadır.



Şekil 3.26. Üçüncü alternatif KOİ'nin zamanla değişimi

En düşük KOİ değeri 75. dakika sağlanmıştır ve arıtma süresi 75 dakikadır. 75. dakikadan sonra sistemde kirlilik oluşmaya başladı ve KOİ değerleri yükseldi, sistem geri yıkamaya alındı. Arıtma verimi %78,2 olarak hesaplanmıştır.

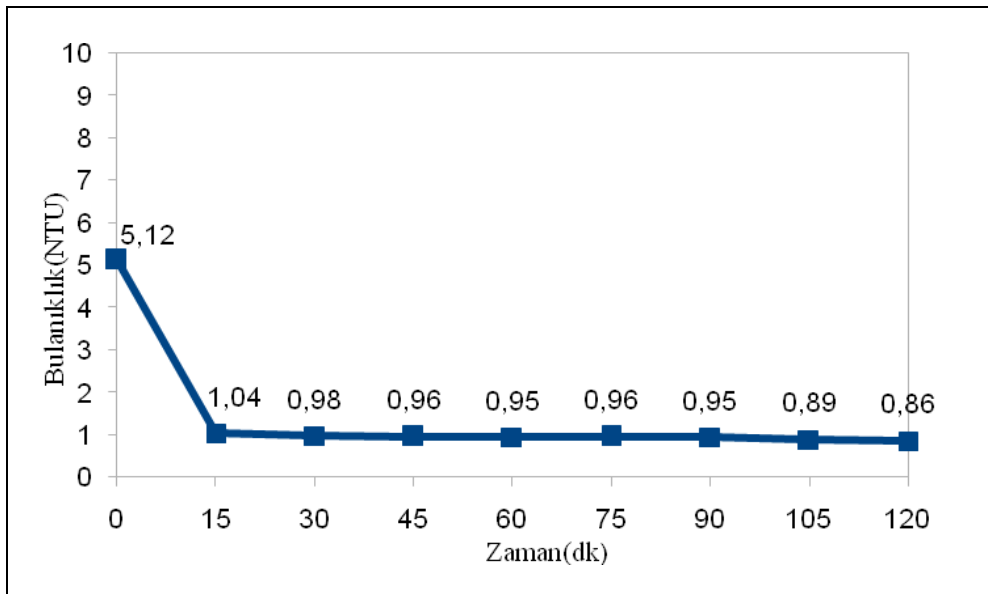
Aşağıdaki Şekil 3.27.'de AKM'nin zamana bağlı olarak değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.27. Üçüncü alternatif AKM'nin zamanla değişimi

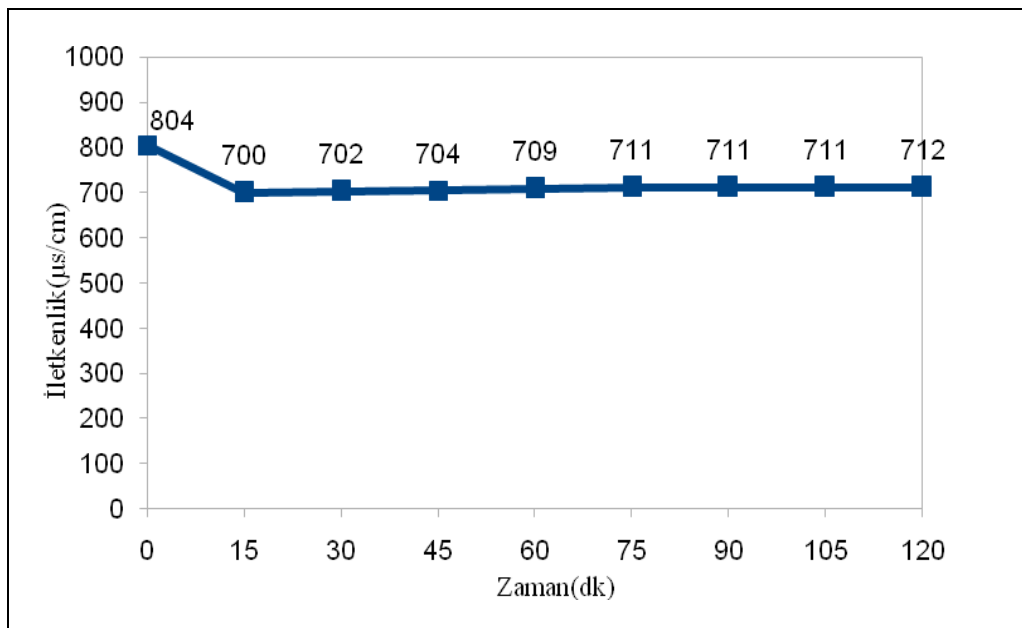
AKM arıtma verimi %90' dır.

Şekil 3.28.'de bulanıklığın zamana bağlı olarak değişimi gösterilmektedir.



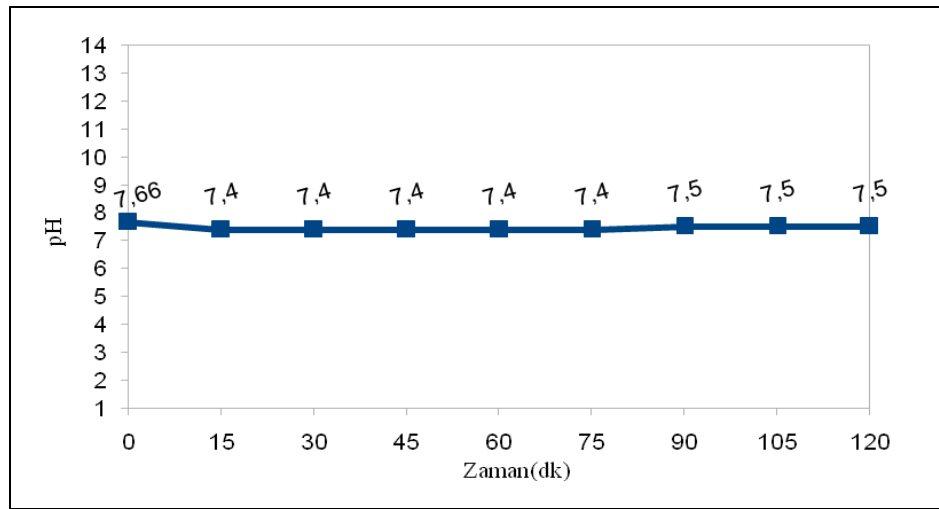
Şekil 3.28. Üçüncü alternatif bulanıklığın zamanla değişimi

Bulanıklık verimi %81,25 dir. UV dezenfeksiyonu ile bakteri giderimi %100 sağlanmasına rağmen yönetmelikte bakiye klor miktarı $>1\text{mg/L}$ istenildiğinden klor dozu hesaplamaları sonucu sisteme 0,4 ml NaClO eklenmiştir ve bakiye klor 1,83 mg/L bulunmuştur. Şekil 3.29.'da iletkenlik değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.29. Üçüncü alternatif iletkenliğin zamanla değişimi

Şekil 3.30.'da pH'ın zamana bağlı olarak değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.30 Üçüncü Alternatif pH'ın Zamanla Değişimi

3.3.4.1. Üçüncü alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi

AATTUT Ek.7. Tablo 7.1. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atık suların sınıflandırılmasına göre su A Sınıfı kapsamındadır. Tarımsal sulama ve kentsel alanların sulanmasında kullanılabilir.

Tablo 3.16. Üçüncü alternatif pilot tesis verilerinin AATTUT Ek.7. Tablo 7.1 ve 7.9 ile karşılaştırılması

	III. Alternatif Giriş	III. Alternatif Çıkış	AATTUT Ek.7 Tablo 7.1 de İstenilen Değerler
pH	7,66	7,4	6-9
AKM	20 mg/L	2 mg/L	< 30
Bulanıklık	5,12 NTU	0,96 NTU	< 2NTU
KOİ	46 mg/L	10 mg/L	-
Bakiye Klor	0,5mg/L	1,83 mg/L	> 1mg/L
Fekal Koliform	150adet/100mL	0adet/100mL	0/100mL
Toplam Koliform	1500adet/100mL	0adet/100mL	-
	III. Alternatif Giriş	III. Alternatif Çıkış	Olabilecek Nutrient Seviyeleri (AATTUT Ek.7 Tablo 7.9)
Toplam Azot	12,0 mgN/L	9,3 mgN/L	2-12mgN/L
Toplam Fosfat	4,28mgP/L	1,66mgP/L	< 2mgP/L
Nitrat Azotu	1,6 mgN/L	1,51 mgN/L	1-10mgN/L

3.3.4.2. Üçüncü alternatif sulama suyu kimyasal kalite değerlendirilmesi

Tablo 3.17.'de Yönetmelik ve pilot tesis çıkış değerleri, sulama suyunun kimyasal kalitesi açısından uygun olup olmadığı göstermek için aşağıda sunulmuştur. İletkenlik ve TÇM değerlerine bakıldığında geri kazanılan su tuzluluk açısından II. Sınıf özellik göstermektedir. III. alternatif pilot tesis çıkışında SAR değeri 0,25 dir. İletkenlik parametresi ile ilişkilendirildiğinde geri kazanılan su SAR parametresi açısından I.Sınıf Su özelliği göstermektedir. Sodyum, klorür ve bor parametreleri açısından değerlendirildiğinde ise pilot tesis çıkış suyu I. Kalite Sulama Suyu sınıfına girmektedir.

Tablo 3.17. Üçüncü alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması

Parametreler	Birimler	Kullanımda Zarar Derecesi			Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış
		Yok (I.sınıf su)	Az – Orta (II.sınıf su)	Tehlikeli (III.sınıf su)		
Tuzluluk						
İletkenlik	µs/cm	<700	700-3000	>3000	804	711
Toplam Çözünmüş Madde	mg/L	<500	500-2000	>2000	643,2	568,8
Geçirgenlik						
SARTad	0-3	-	EC ≥ 0,7	0,7 – 0,2	<0,2	0,26
	3-6		≥ 1,2	1,2 – 0,3	<0,3	
	6-12		≥ 1,9	1,9 – 0,5	<0,5	
	12-20		≥ 2,9	2,9 – 1,3	<1,3	
	20-40		≥ 5,0	5,0 – 2,9	<2,9	
Özgül İyon Toksisitesi						
Sodyum(Na)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 3	3 – 9	> 9	4,8	5,0
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 70	> 70			
Klorür(Cl)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 140	140 – 350	> 350	91	80
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 100	> 100			
Bor (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	0,001	0,001

3.3.4.3. Üçüncü alternatif sulama suyu eser elementlerinin değerlendirilmesi

Pilot tesiste ağır metal giderebilecek ünite bulunmamaktadır. Tablo 3.18.'de görüldüğü üzere pilot tesis ağır metal giriş ve çıkış değerleri neredeyse birbirine eşittir ve Hendek AAT çıkış değerleri de yönetmeliğin altındadır.

AATTUT Ek.7. Tablo 7.7. ile pilot tesis ağır metal verileri karşılaştırıldığında ise çıkış suyu değerleri yönetmeliğin çok altındadır ve sulama suyu olarak kullanılmasında sakınca bulunmamaktadır.

Tablo 3.18. Sulama sularında izin verilen max. ağır metal-toksik element konsantrasyonlarının pilot tesis verileri ile karşılaştırılması

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar		Hendek AAT çıkış	III. Alternatif Kum filtre + UV Dezenfeksiyon
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, (mg/L)		
Alüminyum(Al)	4600	5,0	20,0	0,007	0,008
Arsenik(As)	90	0,1	2,0	0,005	0,013
Berilyum(Be)	90	0,1	0,5	0	0,0003
Bor(B)	680	-	2,0	0,001	0,001
Kadmiyum(Cd)	9	0,01	0,05	0	0
Krom(Cr)	90	0,1	1,0	0,014	0,019
Kobalt(Co)	45	0,05	5,0	0,003	0,004
Bakır(Cu)	190	0,2	5,0	0	0,031
Florür(F)	920	1,0	15,0	0,29	0,09
Demir(Fe)	4600	5,0	20,0	0	0,1
Kurşun(Pb)	4600	5,0	10,0	0	0
Lityum(Li)	-	2,5	2,5	0,03	0,03
Manganez(Mn)	920	0,2	10,0	0,3	0,03
Molibden(Mo)	9	0,01	0,05 ²	0,0002	0,0002
Nikel(Ni)	920	0,2	2,0	0	0,07
Selenyum(Se)	16	0,02	0,02	0,001	0,001
Vanadyum(V)	-	0,1	1,0	0,006	0,017
Çinko(Zn)	1840	2,0	10,0	0,97	0,15

3.3.4.4. Mikrobiyolojik kalite

UV dezenfeksiyon ile bakteri giderimi % 100 sağlanmıştır.

3.3.4.5. Üçüncü alternatif pilot tesis verilerinin irdelenmesi

Üçüncü alternatif pilot tesisinde arıtma süresi 75 dakikadır. KOİ değeri 46 mg/L' den 10 mg/L' ye düşmüştür, arıtma verimi % 78,2 olarak hesaplanmıştır. AKM arıtma verimi % 90 olup değeri 20 mg/L' den 2 mg/L' ye düşmüştür. Bulanıklık 5,12 NTU' dan 0,96 NTU' ya düşmüştür ve verimi % 81,25 tir. pH değeri ise 7,66' dan 7,4' e düşmüştür.

Pilot tesis sonunda geri kazanılan atık su A Sınıfı Su dur. Dezenfeksiyon olarak UV cihazı kullanılarak fekal koliform ve toplam koliform %100 giderilmiştir; Fakat yönetmelikte bakiye klor > 1mg/L istenildiğinden ekstra klor dozu hesabı da yapılmıştır ve bakiye klor 1,83 mg/L bulunmuştur. Sistem girişi 804 µs/cm ile ölçülen iletkenlik sistem çıkışında 711 µs/cm ölçülmüştür. TÇM değeri ise 568,8 mg/L olarak hesaplanmıştır. Geri kazanılan arıtılmış atık su tuzluluk parametresi açısından II. Sınıf Suya girmektedir. SAR ve özgül iyon parametreleri açısından da su I. Sınıf Su olarak değerlendirilmektedir. Tablo 3.17.'de pilot sistem giriş ve çıkış değerleri gösterilmiştir.

Toplam azot 12 mg/L'den 9,3 mg/L'ye, toplam fosfat 4,28 mg/L'den 1,66 mg/L'ye nitrat azotu ise 1,61 mg/L'den 1,51 mg/L'ye düşmüştür. Arıtma verimleri sırasıyla %22, %61 ve %6'dır. Tablo 3.18.'de ağır metal pilot sisteme giriş ve çıkış değerleri gösterilmiştir. Pilot tesis giriş ve çıkış değerleri de hemen hemen aynıdır diyebiliriz ve sulama sularında izin verilen max. toksik element konsantrasyonlarının altındadır.

“KF + UV Dezenfeksiyon” pilot tesisi ile A sınıfı su elde edilmiştir; tarımsal sulama ve her türlü yeşil alan sulamasında kullanılabilir. Fakat KF den sonra UV dezenfeksiyon kullanarak koliform grubu bakteri giderimi sağlanmasına rağmen yönetmelikte bakiye klor > 1mg/lit istenmektedir. Ek olarak sisteme klor eklenmiştir gerçek ölçekli

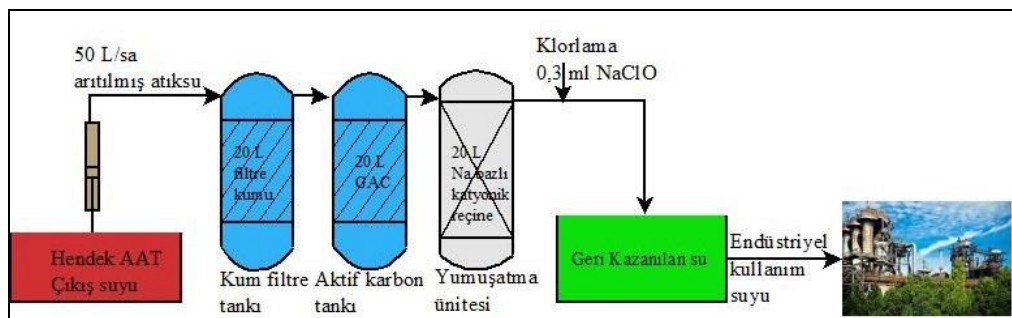
sistemde alternatifin kullanılması durumunda klor içinde maliyet hesabı yapılmalıdır. Dezenfektant olarak klor kullanılması diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz maliyeti arttırır.

3.3.5. Dördüncü alternatif: kum filtre + aktif karbon filtre + yumuşatma + klorlama

Pilot ölçekli geri kazanım tesisinde Hendek AAT' inden çıkan arıtılmış sular sırasıyla kum filtresi, aktif karbon filtresi ve yumuşatma ünitesinden geçirilmiştir ve son olarakta klorlama işlemi yapılmıştır. Şekil 3.31.'de sistme ait proses akım şeması sunulmaktadır. Sistemde sodyum bazlı katyonik reçineyle sertlik giderilmiştir fakat SAR oranını çok yükselttiği için tarımsal sulama suyu olarak kullanımı uygun değildir. Şekil 3.32.'de pilot sisteme ait görüntü verilmiştir.

Geri kazanılan su tarımsal sulama suyu olarak kullanılmayacağından sistem sonunda klorlama yapılmasına gerek olmadığı, II. alternatifte de aktif karbon filtrenin önünde kum filtrenin kullanılması AKM miktarını büyük ölçüde düşürmediği bu alternatifte gözlenmiştir, bununla birlikte kum filtresi ve aktif karbon filtrenin ayrı olarak kullanılması Hendek AAT arıtılmış atık su karakterizasyonu için daha iyi performans sergileyeceği IV. alternatifte de görülmüştür.

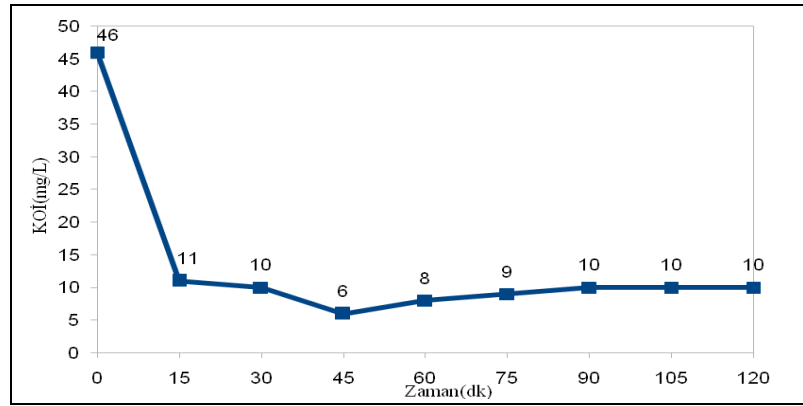
Sonuç olarak; Hendek AAT için geri kazanılan arıtılmış atık su, endüstriyel kullanım amacıyla yeniden kullanılacak ise sistemin aktif karbon filtre + su yumuşatma ünitesi şeklinde kurulmasının maliyet açısından daha uygun olacağı öngörülmüştür.





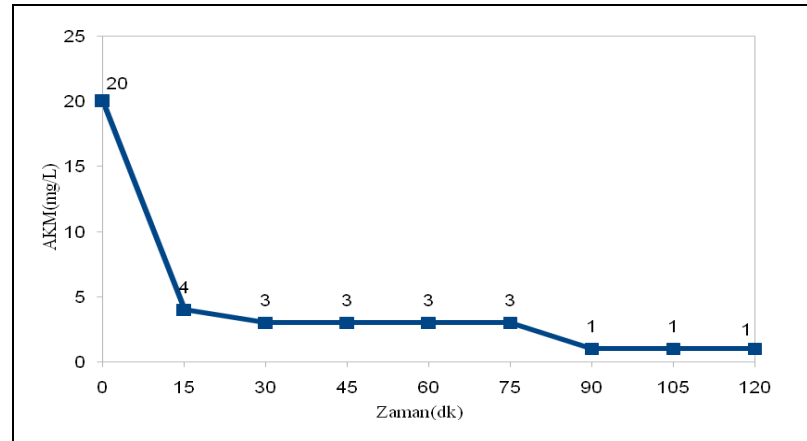
Şekil 3.32. KF + AKF + yumuşatma + klorlama pilot tesisi

Şekil 3.33.'te IV. alternatife ait KOİ'nin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.



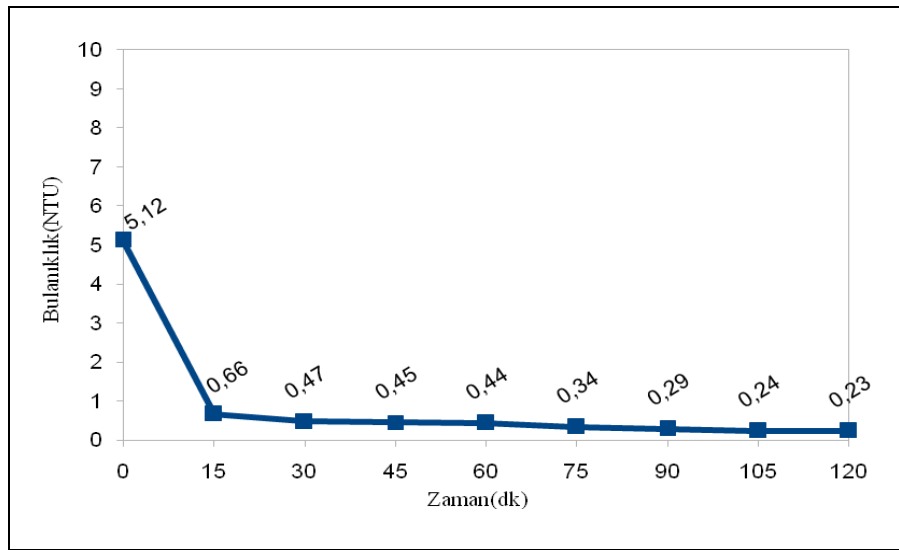
Şekil 3.33. Dördüncü alternatif KOİ'nin zamanla değişimi

Arıtma süresi 45 dakikadır. KOİ arıtma verimi %86,9'dur. Şekil 3.34.'te AKM değişimi gösterilmektedir. Ve AKM arıtma verimi %85'dir.



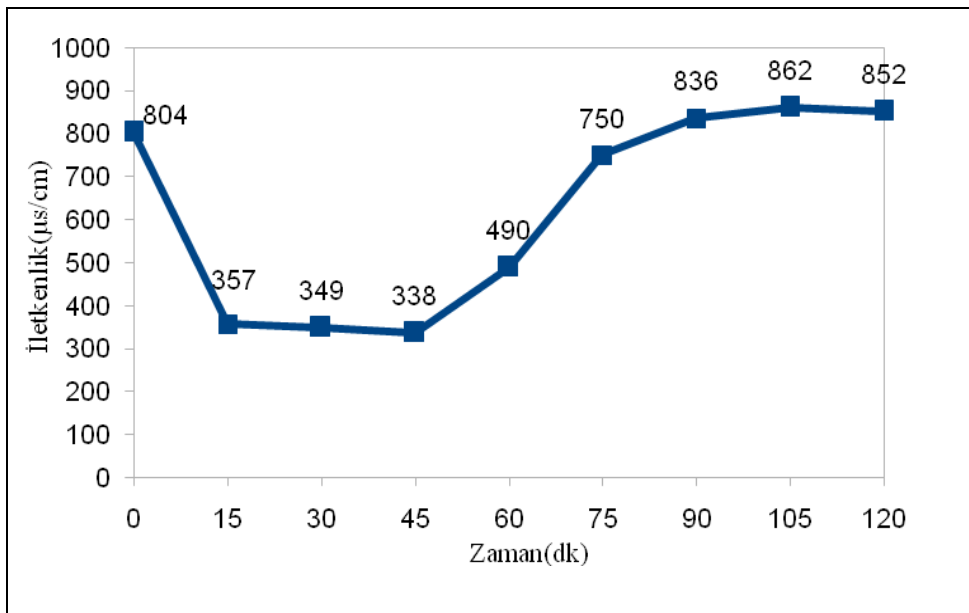
Şekil 3.34. Dördüncü alternatif AKM'nin zamanla değişimi

Şekil 3.35.'te bulanıklık değişimi gösterilmektedir.



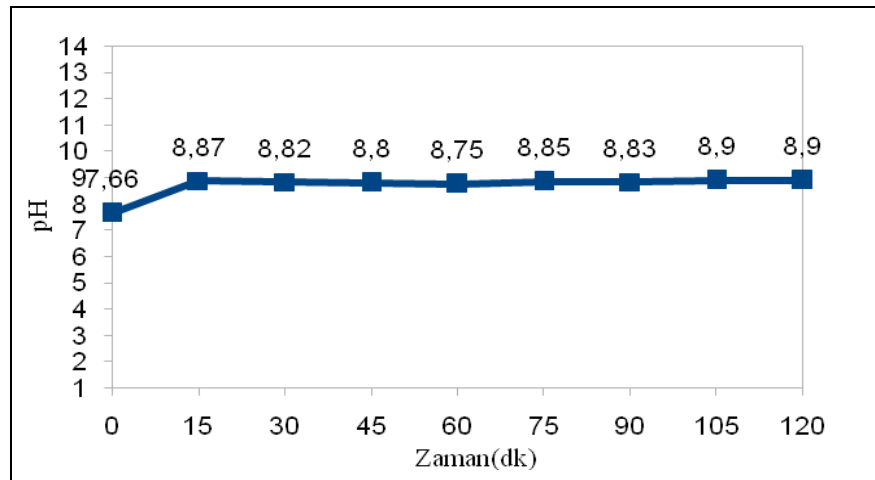
Şekil 3.35. Dördüncü alternatif bulanıklığın zamanla değişimi

Bulanıklık verimi %91,2 dir. Alternatif çıkışı bakiye klor miktarı 0,08 mg/L'dir. Aktif karbon filtre ve yumuşatma ünitesi kloru tutmaktadır. Tarımsal sulama suyu kullanımına uygun olmamasına rağmen diğer alternatiflerde uygulanan tüm süreçler (incelenen parametreler) bu seçenek için de değerlendirme açısından incelenmiştir. Bakiye klor 1,10 mg/L bulunmuştur. Şekil 3.36.'da IV. alternatife ait iletkenlik değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.36. Dördüncü alternatif iletkenliğin zamanla değişimi

Şekil 3.37.'de IV. alternatifte ait pH değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.37. Dördüncü alternatif pH'ın zamanla değişimi

3.3.5.1. Dördüncü alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi

Tablo 3.19.'da pilot tesis verileri ile AATTUT Ek.7'deki değerler karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.19. Dördüncü alternatif pilot tesis verilerinin AATTUT Ek. 7. Tablo 7.1 ve 7.9 ile karşılaştırılması

	IV. Alternatif Giriş	IV. Alternatif Çıkış	AATTUT Ek.7 Tablo 7.1 de İstenilen Değerler
pH	7,66	8,8	6-9
AKM	20 mg/L	3 mg/L	<30
Bulanıklık	5,12 NTU	0,45 NTU	2NTU
KOİ	46 mg/L	6 mg/L	-
Bakiye Klor	0,5mg/L	1,10 mg/L	> 1mg/L
Fekal Koliform	150adet/100mL	0adet/100mL	0/100mL
Toplam Koliform	1500adet/100mL	0adet/100mL	-
	IV. Alternatif Giriş	IV. Alternatif Çıkış	Olabilecek Nutrient Seviyeleri (AATTUT Ek.7 Tablo 7.9)
Toplam Azot	12,0 mgN/L	1,4 mgN/L	2-12mgN/L
Toplam Fosfat	4,28mgP/L	1,63mgP/L	< 2mgP/L
Nitrat Azotu	1,6 mgN/L	1,6 mgN/L	1-10mgN/L

AATTUT Ek.7. Tablo 7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atık suların sınıflandırılmasına göre su A Sınıfı kapsamına girmesine rağmen Tablo 3.20' de gösterildiği gibi SAR oranını sağlayamadığı için tarımsal sulama suyu olarak kullanılamaz.

3.3.5.2. Dördüncü alternatif sulama suyu kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi

Tablo 3.20.'de sulama suyu ve kimyasal kalite karşılaştırmasını gösteren değerler sunulmaktadır.

Tablo 3.20. Dördüncü alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması

Parametreler	Birimler	Kullarımda Zarar Derecesi			Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış
		Yok (I.sınıf su)	Az – Orta (II.sınıf su)	Tehlikeli (III.sınıf su)		
Tuzluluk						
İletkenlik	µs/cm	<700	700-3000	>3000	804	338
Toplam Çözünmüş Madde	mg/L	<500	500-2000	>2000	643,2	216,3
Geçirgenlik						
SARTad	0-3	-	EC ≥ 0,7	0,7 – 0,2	<0,2	7,39
	3-6		≥ 1,2	1,2 – 0,3	<0,3	
	6-12		≥ 1,9	1,9 – 0,5	<0,5	
	12-20		≥ 2,9	2,9 – 1,3	<1,3	
	20-40		≥ 5,0	5,0 – 2,9	<2,9	
Özgül İyon Toksisitesi						
Sodyum(Na)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 3	3 – 9	> 9	360,8	312,5
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 70	> 70			
Klorür(Cl)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 140	140 – 350	> 350	91	43
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 100	> 100			
Bor (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	0,001	0

Tuzluluk açısından geri kazanılan arıtılmış atık su I. Sınıf Su kapsamına girmektedir. Fakat Hendek Atıksu Arıtma Tesis çıkış suyu SAR oranı 7,39 iken sistemde içerisinde sodyum içerikli katyonik reçine bulunan yumuşatma cihazı kullanıldığından SAR oranı 75,75 yükselmiştir. Yönetmelik SAR ve EC sınıflandırmasına girmemektedir. SAR oranında bakılması gereken parametreler Ca, Mg ve Na' dır. Tablo 3.21.'de pilot tesise ait Ca, Mg ve Na parametreleri için giriş-çıkış değeri sunulmaktadır.

Tablo 3.21. Na, Mg, Ca pilot tesis giriş ve çıkış değerleri

Parametreler	Hendek Tesis Çıkışı	Pilot Tesis Çıkışı
Na	360,8 mg/L	312,5 mg/L
Mg	26,77 mg/L	0,157 mg/L
Ca	173,6 mg/L	1,024 mg/L

Na bazlı katyonik reçinede suyun içerisinde bulunan Ca ve Mg iyonları Na iyonlarıyla yer değiştirmiştir. %99,4 Ca ve Mg giderme verimiyle sertlik giderilmiştir. SAR oranını sağlayamadığı için tarımsal sulama suyu olarak kullanılamaz fakat endüstriyel kullanım amacıyla kullanılabilir. Bor ve Klorürür konsantrasyonu açısından değerlendirildiğinde ise I.Sınıf Su kapsamındadır. Sodyum konsantrasyonuna göre de II. Sınıf Su sınıflandırmasına girmektedir.

3.3.5.3. Dördüncü alternatif sulama suyu eser elementlerinin değerlendirilmesi

Tablo 3.22.'de pilot tesis sonuçlarıyla yönetmelik değerleri verilmiştir. AATTUT Ek.7. Tablo 7.7. ile pilot tesis ağır metal verileri karşılaştırıldığında çıkış suyu değerleri yönetmeliğin çok altındadır.

Tablo 3.22. Sulama sularında izin verilen max. ağır metal-toksik element konsantrasyonlarının pilot tesis verileri ile karşılaştırılması

ELEMENTLER	Birim alana verilebilecek max toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar		Hendek Atıksu arıtma tesisi çıkış	IV. Alternatif Kum filtre + Aktif Karbon Filtre + Yumuşatma + Klorlama
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, (mg/L)		
Alüminyum(Al)	4600	5,0	20,0	0,007	0,2
Arsenik(As)	90	0,1	2,0	0,005	0,077
Berilyum(Be)	90	0,1	0,5	0	0
Bor(B)	680	-	2,0	0,001	0
Kadmiyum(Cd)	9	0,01	0,05	0	0
Krom(Cr)	90	0,1	1,0	0,014	0,008
Kobalt(Co)	45	0,05	5,0	0,003	0
Bakır(Cu)	190	0,2	5,0	0	0,004
Florür(F)	920	1,0	15,0	0,29	0,20
Demir(Fe)	4600	5,0	20,0	0	0
Kurşun(Pb)	4600	5,0	10,0	0	0,012
Lityum(Li)	-	2,5	2,5	0,03	0,003
Manganez(Mn)	920	0,2	10,0	0,3	0,003
Molibden(Mo)	9	0,01	0,05 ²	0,0002	0,00005
Nikel(Ni)	920	0,2	2,0	0	0,045
Selenyum(Se)	16	0,02	0,02	0,001	0,003
Vanadyum(V)	-	0,1	1,0	0,006	0,007
Çinko(Zn)	1840	2,0	10,0	0,97	0,034

Sulama suyu olarak kullanılabilmesi için AATTUT Ek.7. Tablo 7.1., Tablo 7.2. ve Tablo 7.7.'deki parametreler açısından incelenmiştir. Ve Ek.7. Tablo.7.2.'deki SAR oranı sınıflandırmanın çok üzerinde olduğu için sadece endüstriyel kullanım suyu olarak kullanılabilir.

3.3.5.4. Mikrobiyolojik kalite

Sisteme 0,3 ml sıvı klor eklenmesiyle fekal ve toplam koliform %100 giderilmiştir.

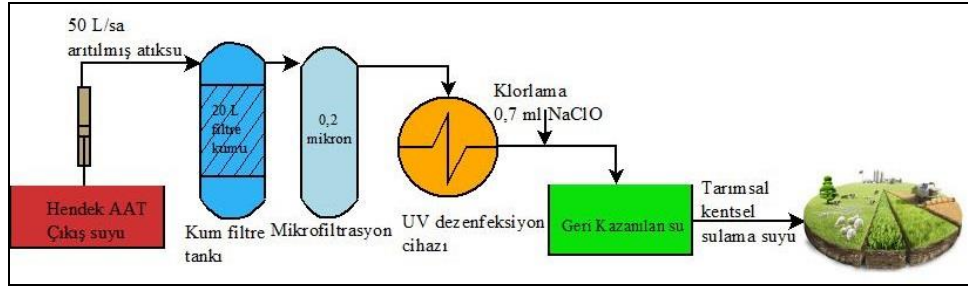
3.3.5.5. Dördüncü alternatif pilot tesis verilerinin irdelenmesi

“KF + AKF + Yumuşatma + Klorlama” pilot tesisinde arıtma süresi 45 dakikadır arıtma verimi %86,9 dur. KOİ 46 mg/L' den 6 mg/L' ye düşmüştür. AKM değeri 20 mg/L' den 3 mg/L' ye düşmüştür. Verimi ise %85 dir. Bulanıklık verimi %91,2'dir bulanıklık değeri ise 5,12 NTU' dan 0,45 NTU' ya düşmüştür. pH değeri 7,66 den 8,8 e çıkmıştır. Sistemden bakiye klor miktarı 0,08 mg/L olarak çıkmıştır ve kullanılan aktif karbon filtre cihazı kloru tutmuştur. Klor dozu hesaplamalarında bakiye klor 1,10 mg/L olarak bulunmuştur ve yönetmelikte istenilen bakiye klor, fekal koliform ve toplam koliform değerleri sağlanmıştır. İletkenlik 804 $\mu\text{s}/\text{cm}$ den 338 $\mu\text{s}/\text{cm}$ düşmüştür, iletkenliğe bağlı olarak hesaplanan TÇM değeri ise 216,3 mg/lit dir ve tuzluluk açısından I. Sınıf Suya girmektedir. Fakat sistem kullanılan yumuşatma cihazı sodyum miktarını arttırmıştır. Sar oranı 7,39 dan 75,75 çıkmıştır. Sar ve ec ilişkilendirildiğinde yönetmelikte belirtilen sınıf aralıklarına girmemektedir, pilot tesis çıkış suyu sulama suyu kimyasal parametrelerinden SAR değeri açısından uygun değildir ve kullanılamaz. Geri kazanılan su endüstriyel kullanım suyu olarak değerlendirilebilir.

3.3.6. Beşinci alternatif:kum filtre + mikrofiltrasyon + ultraviyole dezenfeksiyon

Hendek AAT' inden alınan çıkış suyu Şekil 3.38.'de gösterildiği gibi sırasıyla KF, MF ve UV dezenfeksiyon cihazlarından geçirilmiştir. Sulama suyu olarak

kullanılabilirliği incelenmiştir. Şekil 3.39.'da ise pilot tesise ait görüntü sunulmaktadır.

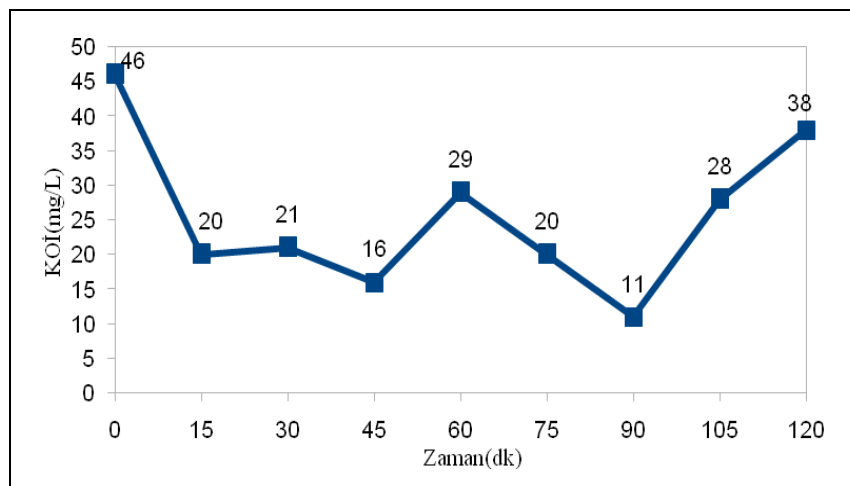


Şekil 3.38. KF + MF + UV dezenfeksiyon akım şeması



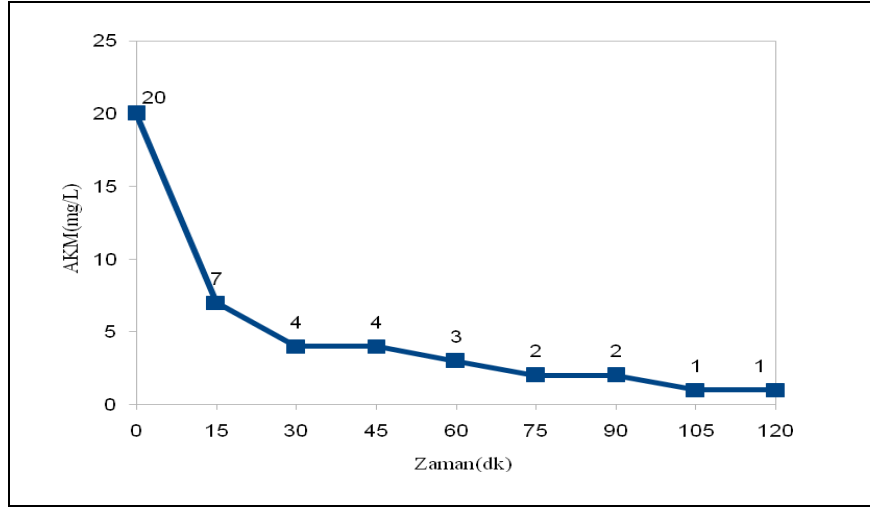
Şekil 3.39. KF + MF + UV dezenfeksiyon pilot tesisi

Şekil 3.40. ve Şekil 3.41.'de sırasıyla V. alternatifte ait KOİ ve AKM değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 3.40. Beşinci alternatif KOİ'nin zamanla değişimi

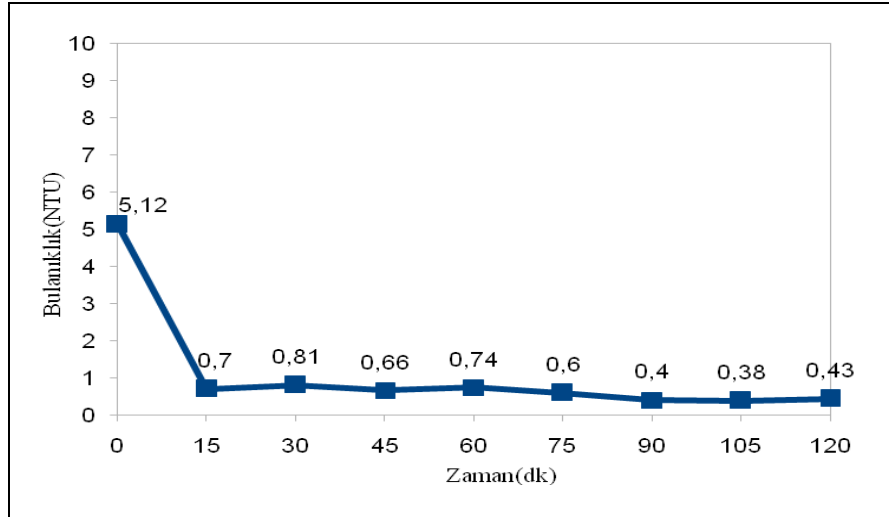
Arıtma süresi 90 dakikadır ve KOİ arıtma verimi %76'dır.



Şekil 3.41. Beşinci alternatif AKM'nın zamanla değişimi

AKM arıtma verimi %90'dır.

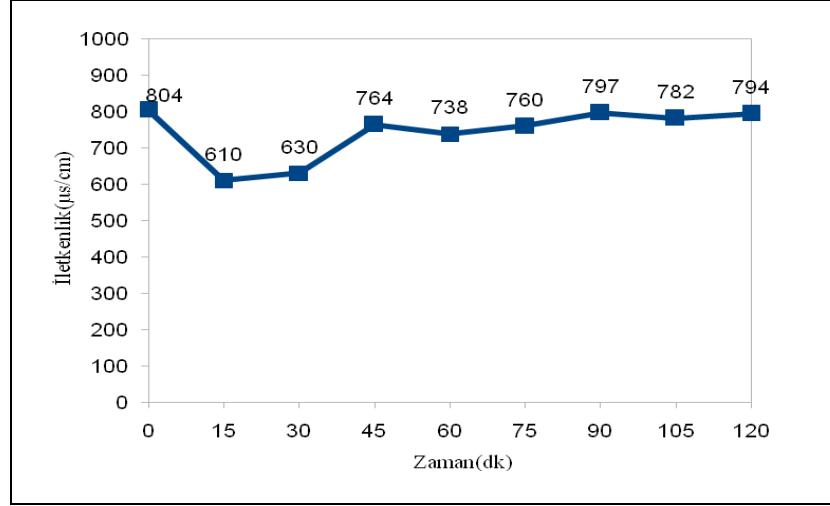
Şekil 3.42. ve Şekil 3.43.'te sırasıyla V.alternatife ait bulanıklık ve iletkenlik değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 3.42. Beşinci alternatif bulanıklığın zamanla değişimi

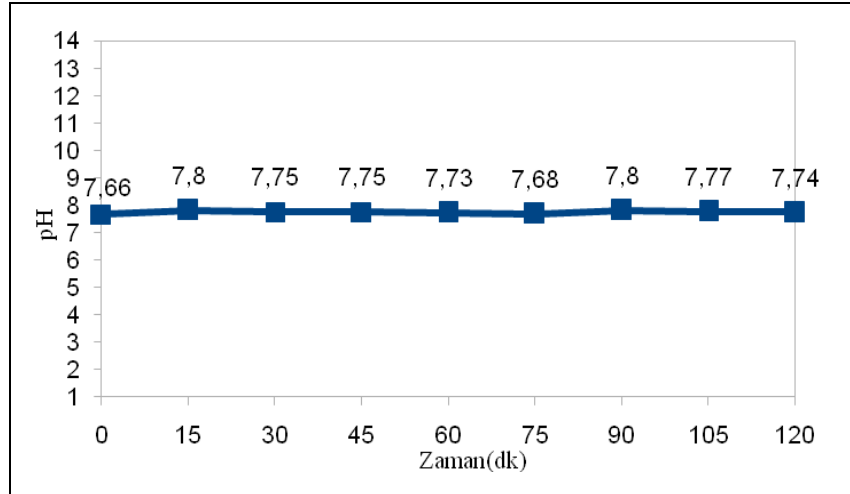
Bulanıklık verimi %92,2 dir.

Klor dozu denemeleri sonucunda sisteme 0,7 ml NaClO ilave edilmiştir ve bakiye klor 1,17 mg/L olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.43. Beşinci alternatif iletkenliğin zamanla değişimi

Şekil 3.44.'te pH' ın zaman bağılı olarak değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.44. Beşinci alternatif pH'ın zamanla değişimi

3.3.6.1. Beşinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi

AATTUT Ek.7.'ye göre geri kazanılan su Sınıf-A kapsamında değerlendirilmektedir. Her türlü yeşil alan sulamasında ve yüzeysel, yağmurlama sulama ile sulanan ham olarak yenilenebilen her türlü gıda ürünüde tarımsal sulama suyu olarak kullanılabilir. Tablo 3.23.'de aşağıda pilot tesis ve yönetmelik değerleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.23. Beşinci alternatif pilot tesis verilerinin AATTUT Ek.7 Tablo 7.1 ve 7.9 ile karşılaştırılması

Parametreler	V. Alternatif Giriş	V. Alternatif Çıkış	AATTUT Ek.7 Tablo 7.1 de İstenilen Değerler
pH	7,66	7,8	6-9
AKM	20mg/L	2 mg/L	< 30
Bulanıklık	5,12 NTU	0,4 NTU	< 2NTU
KOİ	46mg/L	11 mg/L	-
Bakiye Klor	0,5mg/L	1,17 mg/L	> 1mg/L
Fekal Koliform	150adet/100mL	0adet/100mL	0/100mL
Toplam Koliform	1500adet/100mL	0adet/100mL	-
	V. Alternatif Giriş	V. Alternatif Çıkış	Olabilecek Nutrient Seviyeleri Ek.7 Tablo 7.9
Toplam Azot	14,2 mgN/L	6,2 mgN/L	2-12mgN/L
Toplam Fosfat	2,9 mgP/L	1,9 mgP/L	< 2mgP/L
Nitrat Azotu	8,7 mgN/L	8,4 mgN/L	1-10mgN/L

3.3.6.2. Beşinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalite değerlendirmesi

Tablo 3.24.'de pilot tesis çıkış değerleri tuzluluk, geçirgenlik ve özgül iyon toksisite parametreleri sulama suyu kimyasal kalitesinin belirlenmesi açısından yönetmelikteki değerlerle karşılaştırılıp aşağıda sunulmuştur.

Tablo 3.24 Beşinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması

Parametreler	Birimler	Kullanımda Zarar Derecesi			Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış
		Yok (I.sınıf su)	Az – Orta (II.sınıf su)	Tehlikeli (III.sınıf su)		
Tuzluluk						
İletkenlik	µs/cm	<700	700-3000	>3000	804	797
TÇM	mg/L	<500	500-2000	>2000	643,2	637,6
Geçirgenlik						
SARTad	0-3	-	EC ≥ 0,7	0,7 – 0,2	<0,2	7,39
	3-6		≥ 1,2	1,2 – 0,3	<0,3	
	6-12		≥ 1,9	1,9 – 0,5	<0,5	
	12-20		≥ 2,9	2,9 – 1,3	<1,3	
	20-40		≥ 5,0	5,0 – 2,9	<2,9	
Özgül İyon Toksisitesi						
Sodyum(Na)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 3	3 – 9	> 9	360,8	445,7
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 70	> 70			
Klorür(Cl)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 140	140 – 350	> 350	77	77
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 100	> 100			
Bor (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	0,5	0,64

İletkenlik ve TÇM değerleri incelendiğinde geri kazanılan arıtılmış atık su tuzluluk açısından II. Sınıf özellik göstermektedir. SAR değeri 7,33 tür. İletkenlik parametresi ile ilişkilendirildiğinde geri kazanılan su SAR parametresi açısından II. Sınıf Su özelliği göstermektedir. (Çalışmanın yapıldığı zaman aralığında pilot tesis girişinde kalsiyum, magnezyum ve sodyum değerleri yüksektir. Sodyum 360,8 mg/L, kalsiyum 173,6 mg/L ve magnezyum 26,77 mg/L dir). Özgül İyon Toksisitesine ait parametre değerleri incelendiğinde ise sodyum II. Sınıf, klorür ve bor I.Sınıf Kalite sulama suyu sınıfına girmektedir.

3.3.6.3. Beşinci alternatif sulama suyu eser elementlerinin değerlendirilmesi

Pilot tesis çıkış suyu değerleri ile yönetmelik ağır metal değerleri karşılaştırıldığında geri kazanılan suyun sulama suyu olarak kullanımında sorun bulunmamaktadır. Tablo 3.25.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.25. Sulama sularında izin verilen max. ağır metal-toksik element konsantrasyonlarının pilot tesis verileri ile karşılaştırılması

ELEMENTLER	Birim alana verilebilecek max toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen max konsantrasyonlar		Hendek AAT Çıkış	V. Alternatif Kum filtre + MF + UV Dezenfeksiyon
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24yıldan daha az sulama yapıldığında, (mg/L)		
Alüminyum(Al)	4600	5,0	20,0	0,095	0,041
Arsenik(As)	90	0,1	2,0	0,005	0,011
Berilyum(Be)	90	0,1	0,5	0	0
Bor(B)	680	-	2,0	0,5	0,64
Kadmiyum(Cd)	9	0,01	0,05	0,0003	0,0008
Krom(Cr)	90	0,1	1,0	0,098	0,012
Kobalt(Co)	45	0,05	5,0	0,0039	0,0067
Bakır(Cu)	190	0,2	5,0	0,013	0,018
Florür(F)	920	1,0	15,0	0,25	0,21
Demir(Fe)	4600	5,0	20,0	0,26	0,16
Kurşun(Pb)	4600	5,0	10,0	0,0051	0,0025
Lityum(Li)	-	2,5	2,5	0,028	0,035
Manganez(Mn)	920	0,2	10,0	0,81	1,3
Molibden(Mo)	9	0,01	0,05 ²	0,0002	0,0004
Nikel(Ni)	920	0,2	2,0	0,044	0,037
Selenyum(Se)	16	0,02	0,02	0,0019	0,0008
Vanadyum(V)	-	0,1	1,0	0,01	0,017
Çinko(Zn)	1840	2,0	10,0	0,39	0,72

Kum filtresinden sonra mikrofiltrasyon kullanmaya gerek yoktur; kum filtresinin tek başına kullanılmasıyla daha iyi verim elde edilmiştir.

3.3.6.4. Mikrobiyolojik kalite

UV dezenfeksiyon ile fekal koliform ve toplam koliform % 100 oranında giderilmiştir.

3.3.6.5. Beşinci alternatif pilot tesis verilerinin irdelenmesi

“KF + MF + UV” dezenfeksiyon pilot sisteminde KOİ üzerinden belirlenen arıtma süresi 90 dakikadır. KOİ değeri 46 mg/L’ den 11 mg/L’ ye düşerek % 76 arıtma verimi sağlanmıştır. AKM değeri ise 20 mg/L’ den 2 mg/L’ ye düşmüştür. Verimi % 90 dır. Bulanıklık değeri ise 5,12 NTU’ dan 0,4 NTU’ ya düşmüştür ve arıtma verimi %92,2’dir. pH değeri ise 7,66’dan 7,8’e yükselmiştir. UV dezenfeksiyonla fekal koliform ve toplam koliform %100 oranında giderilmesine rağmen ek olarak AATTUT Ek.7’ de bakiye klor > 1 mg/L istenildiği için sistem çıkışında bakiye klor 1,17 mg/L ölçülmüştür. AKM, KOİ, bulanıklık, pH, fekal koliform ve bakiye klor miktarı açısından geri kazanılan su, sulama suyu sınıflandırılması AATTUT Tablo E.7.1.’e göre Sınıf A kategorisine girmektedir.

Geri kazanılan su, sulama suyunun kimyasal kalitesi açısından değerlendirildiğinde ise diğer alternatiflerde de olduğu gibi bu sistemde de ortalama iletkenlik değeri üzerinden iletkenliğin nasıl değişim gösterdiği izlenmiştir. Ve bu değer sisteme 804 $\mu\text{s/cm}$ ile girip 797 $\mu\text{s/cm}$ ile çıkmıştır. İletkenlik değişimi kaydadeğer derecede değişim göstermemiştir. TÇM değeride EC üzerinden hesaplandığında 637,6 mg/L olarak bulunmuştur. Ve tuzluluk parametresi açısından geri kazanılan su II. Sınıf olarak yorumlanmaktadır. SAR değeri ise 7,39 dan 7, 3 olarak pilot tesisten çıkmıştır. Hendek AAT çıkış değeri de pilot tesis çıkış değeri de geçirgenlik açısından da II. Sınıf su kapsamına girmektedir. Özgül iyon toksisitesi açısından ise; sodyum değeri 360 mg/L’ den 445,7 mg/L’ ye çıkmıştır. Klorür değeri ise 77 mg/L ile girip aynı değerle çıkmıştır. Bor parametresi 0,5 mg/L’ den 0,64 mg/L’ ye çıkmıştır. Sodyum

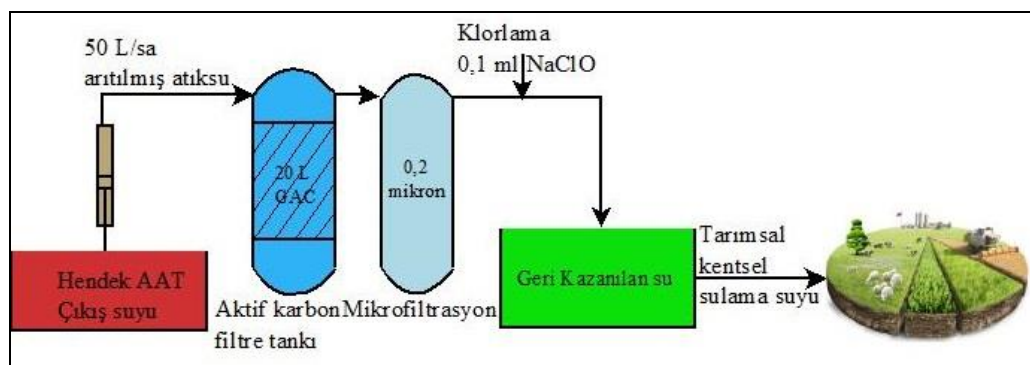
açısından II. Sınıf, Klorür ve bor parametreleri açısından I. Sınıf Kalitede Su olarak değerlendirilmektedir. Halk sağlığı açısından damlatmalı sulama yöntemi kullanılması bu sistemde de daha uygundur.

Kontrol amacıyla ölçülen toplam azot, toplam fosfat, nitrat azotu değerleri ise sırasıyla; 6,2 mgN/L, 1,9mgP/L ve 8,4mgN/L olarak ölçülmüştür. Arıtma verimleri ise %56, %35 ve %3 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.23.'de ölçülen parametrelerin pilot tesisi giriş çıkış değerleri de verilmiştir. Tablo 3.25.'de pilot tesis giriş ve çıkış ağır metal konsantrasyonları verilmiştir. Ve Sulama sularında izin verilen max ağır metal ve toksik element değerleri açısından yönetmeliğin altında kalmıştır. Sulama suyunda kullanılmasında herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.

V.alternatif sonucunda geri kazanılan arıtılmış atık su A Sınıfı sudur ve tarımsal sulama, her türlü yeşil alan, park sulamasında kullanılabilir. III. alternatif olan kum filtresine ek olarak uygulanan mikrofiltrasyon ünitesinin sistemde herhangi bir olumlu etkisi olmadığı için kullanılmasına gerek yoktur. Filtrasyon cihazı olarak KF' nin tek başına kullanılması daha uygundur.

3.3.7. Altıncı alternatif: aktif karbon filtre + mikrofiltrasyon + klorlama

Hendek AAT çıkışından temin edilen arıtılmış atık su önce AKF' den daha sonra ise MF cihazından geçirilmiştir ve pilot tesisten çıkan arıtılmış atık suya klorlama işlemi yapılarak sulama suyu açısından kullanılabilirliği incelenmiştir. Şekil 3.45.'te proses akım şeması, Şekil 3.46.'da ise pilot tesis görüntüsü sunulmaktadır.

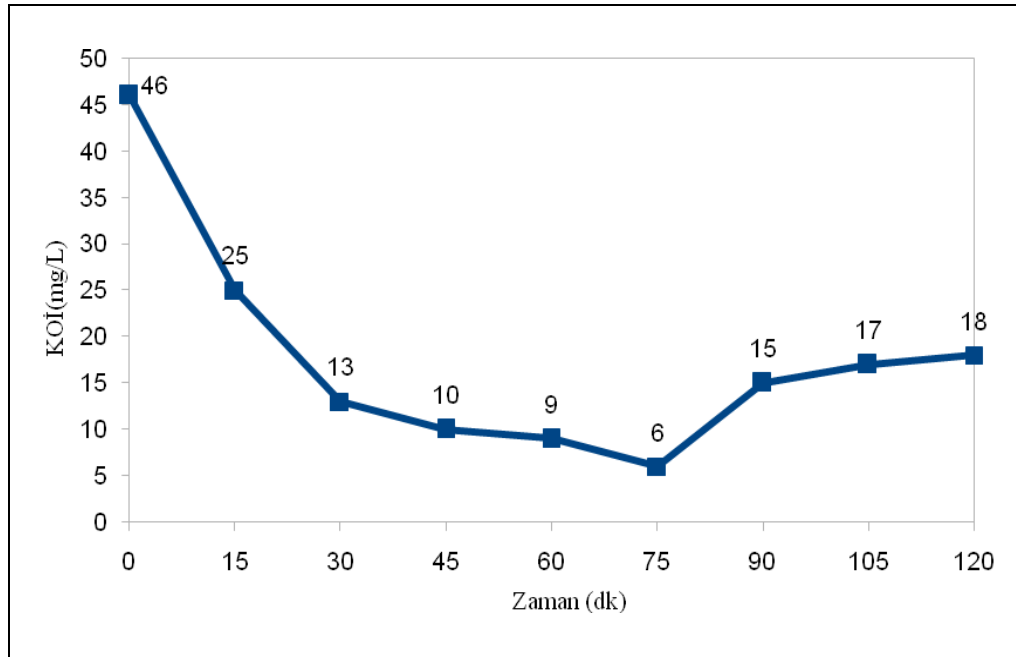


Şekil 3.45. AKF + MF + klorlama akım şeması



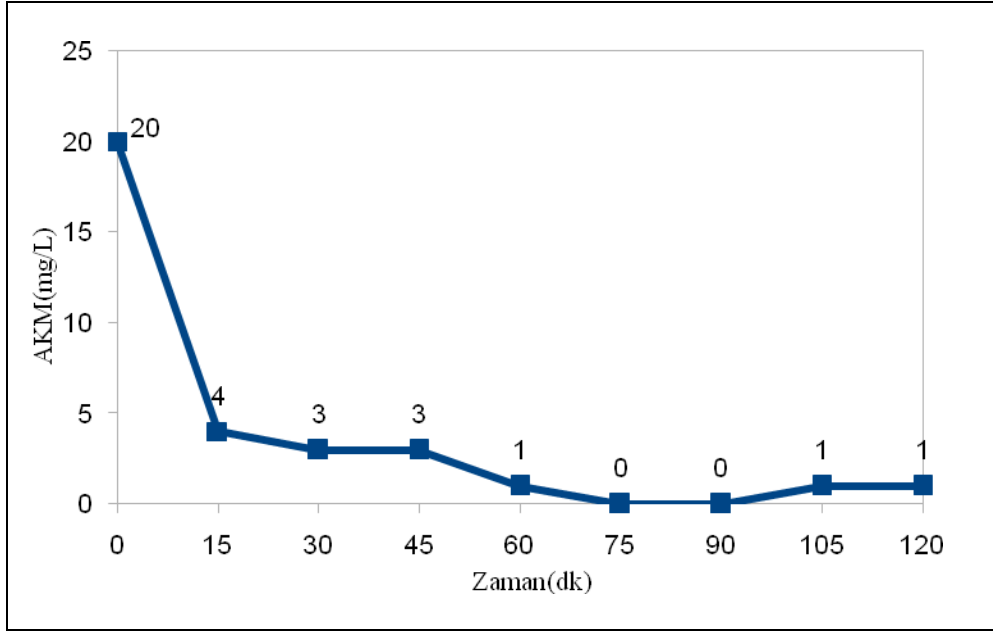
Şekil 3.46. AKF + MF + klorlama pilot tesisi

Şekil 3.47. ve Şekil 3.48.'de sırasıyla VI. alternatife ait zamana bağlı olarak farklılık gösteren KOİ ve AKM parametrelerinin değişimi sunulmaktadır.



Şekil 3.47. Altıncı alternatif KOİ'nin zamanla değişimi

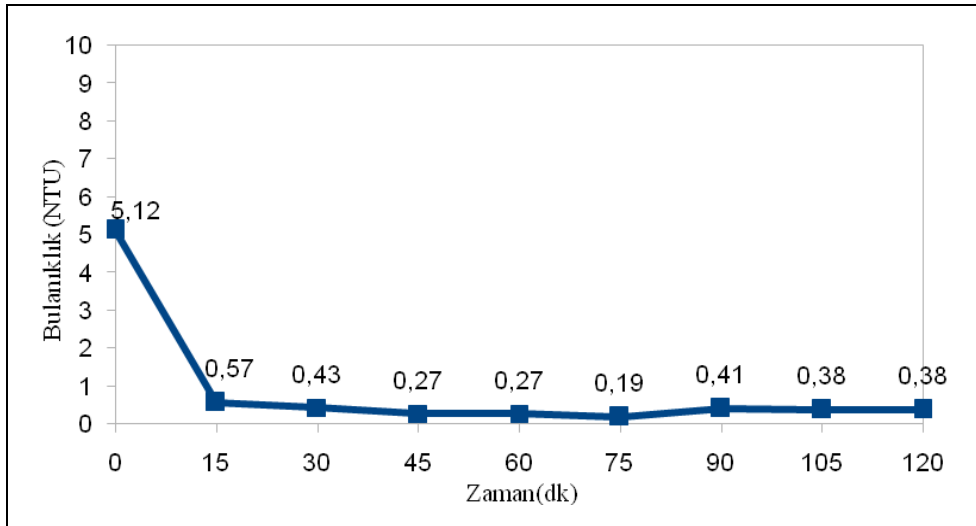
Arıtma süresi 75 dakikadır ve KOİ arıtma verimi %86,9 dur.



Şekil 3.48. Altıncı alternatif AKM'nin zamanla değişimi

AKM arıtma verimi % 100 dur.

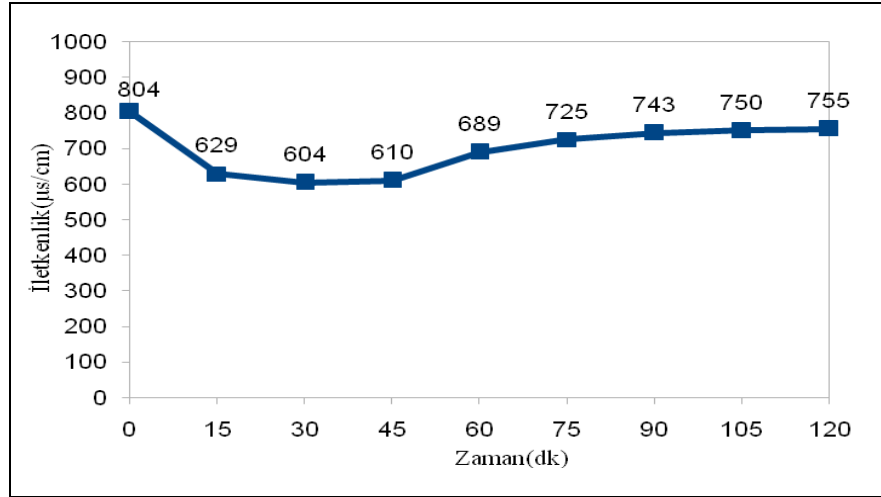
Şekil 3.49.'da bulanıklık, Şekil 3.50.'de iletkenlik, Şekil 3.51.'de ise pH değişimi gösterilmektedir.



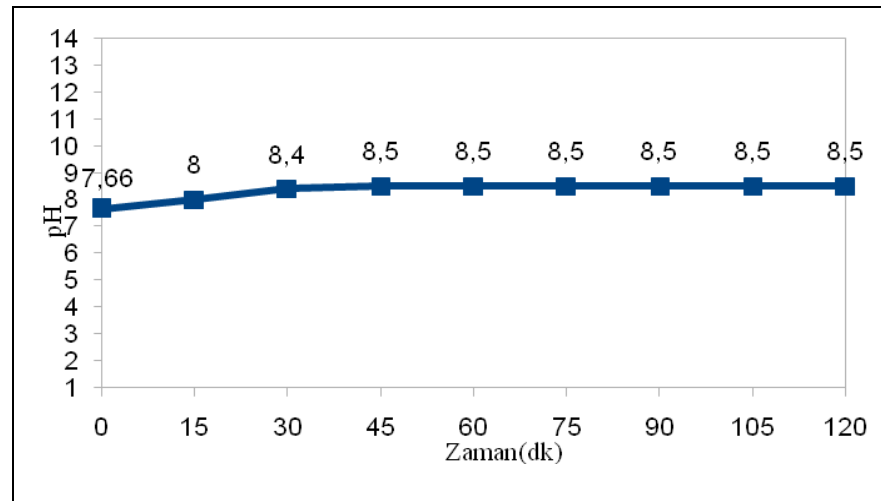
Şekil 3.49. Altıncı alternatif bulanıklığın zamanla değişimi

Bulanıklık verimi % 96,2 dir.

Sisteme 0,1 ml NaClO ilavesiyle 30 dakikalık temas süresi sonunda bakiye klor miktarı 1,36 mg/L hesaplanmıştır.



Şekil 3.50. Altıncı alternatif iletkenliğin zamanla değişimi



Şekil 3.51. Altıncı alternatif pH' ın zamanla değişimi

3.3.7.1. Altıncı alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi

VI. Alternatif pilot tesis çıkış değerleri AATTUT Ek.7. Tablo 7.1'e göre değerlendirildiğinde geri kazanılan su Sınıf A kapsamına girmektedir.

Tablo 3.26.'da pilot tesis giriş – çıkış değerleri yönetmelik değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.26. Altıncı alternatif pilot tesis verilerinin AATTUT Ek.7 Tablo 7.1 ve 7.9 ile karşılaştırılması

	VI.Alternatif Giriş	VI.Alternatif Çıkış	AATTUT Ek.7 Tablo 7.1 de İstenilen Değerler
pH	7,66	8,5	6-9
AKM	20 mg/L	0 mg/L	< 30
Bulanıklık	5,12 NTU	0,19 NTU	< 2NTU
KOİ	46 mg/L	6 mg/L	-
Bakiye Klor	0,5 mg/L	1,36 mg/L	> 1mg/L
Fekal Koliform	150adet/100mL	0adet/100mL	0/100mL
Toplam Koliform	1500adet/100mL	0adet/100mL	-
	VI.Alternatif Giriş	VI.Alternatif Çıkış	Olabilecek Nutrient Seviyeleri (AATTUT Tablo 7.9)
Toplam Azot	14,2 mgN/L	3,6 mgN/L	2-12mgN/L
Toplam Fosfat	2,9 mgP/L	1,9 mgP/L	< 2mgP/L
Nitrat Azotu	8,7 mgN/L	2,1 mgN/L	1-10mgN/L

Geri kazanılan arıtılmış atık su kentsel ve tarımsal sulamada kullanılabilir. AKF kullanılan diğer alternatiflerde olduğu gibi VI. alternatifte de pH değeri pilot tesis giriş değerine göre yükselmiştir. Fakat yönetmeliğe göre problem teşkil etmemektedir.

3.3.7.2. Altıncı alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalite değerlendirmesi

Aşağıdaki Tablo 3.27.'de VI. alternatif pilot tesis çıkış değerlerinin sulama suyu olarak kullanımın uygun olup olmadığı gösterilmektedir.

Tablo 3.27. Altıncı alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması

Parametreler	Birimler	Kullanımda Zarar Derecesi			Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış
		Yok (I.sınıf su)	Az – Orta (II.sınıf su)	Tehlikeli (III.sınıf su)		
Tuzluluk						
İletkenlik	µs/cm	<700	700-3000	>3000	804	725
TÇM	mg/L	<500	500-2000	>2000	643,2	580
Geçirgenlik						
SARTad	0-3	-	EC ≥ 0,7	0,7 – 0,2	<0,2	0,26
	3-6		≥ 1,2	1,2 – 0,3	<0,3	
	6-12		≥ 1,9	1,9 – 0,5	<0,5	
	12-20		≥ 2,9	2,9 – 1,3	<1,3	
	20-40		≥ 5,0	5,0 – 2,9	<2,9	
Özgül İyon Toksisitesi						
Sodyum(Na)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 3	3 – 9	> 9	4,8	3,11
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 70	> 70			
Klorür(Cl)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 140	140 – 350	> 350	77	37
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 100	> 100			
Bor (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	0,001	0,007

İletkenlik ve TÇM değerlerine göre incelenen VI. alternatif pilot tesis çıkış suyu değerleri tuzluluk açısından II. Sınıf Su özellik göstermektedir. SAR değeri 0,22 tür. İletkenlik parametresi ile ilişkilendirildiğinde geri kazanılan su SAR parametresi açısından I.Sınıf Su özelliği göstermektedir. Sodyum, klorür ve bor parametreleri açısından değerlendirildiğinde ise pilot tesis çıkış suyu I. Kalite Sulama Suyu sınıfına girmektedir.

3.3.7.3. Altıncı alternatif sulama suyu eser elementlerinin değerlendirilmesi

AATTUT EK 7.. Tablo 7.7. ile pilot tesis ağır metal verileri karşılaştırıldığında çıkış suyu değerleri yönetmeliğin çok altındadır ve sulama suyu olarak kullanılabilir. Tablo 3.28.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.28. Sulama sularında izin verilen max. ağır metal-toksik element konsantrasyonlarının pilot tesis verileri ile karşılaştırılması

ELEMENTLER	Birim alana verilebilecek max toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen max konsantrasyonlar		Hendek AAT Çıkış	VI. alternatif AKF + MF + Klorlama Pilot Tesis Çıkışı
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24yıldan daha az sulama yapıldığında, (mg/L)		
Alüminyum(Al)	4600	5,0	20,0	0,007	0,009
Arsenik(As)	90	0,1	2,0	0,005	0,0001
Berilyum(Be)	90	0,1	0,5	0	0
Bor(B)	680	-	2,0	0,001	0,007
Kadmiyum(Cd)	9	0,01	0,05	0	0
Krom(Cr)	90	0,1	1,0	0,014	0
Kobalt(Co)	45	0,05	5,0	0,003	0
Bakır(Cu)	190	0,2	5,0	0	0
Florür(F)	920	1,0	15,0	0,29	0,1
Demir(Fe)	4600	5,0	20,0	0	0,008
Kurşun(Pb)	4600	5,0	10,0	0	0,0008
Lityum(Li)	-	2,5	2,5	0,03	0,002
Manganez(Mn)	920	0,2	10,0	0,3	0,015
Molibden(Mo)	9	0,01	0,05 ²	0,0002	0,0008
Nikel(Ni)	920	0,2	2,0	0	0,0005
Selenyum(Se)	16	0,02	0,02	0,001	0
Vanadyum(V)	-	0,1	1,0	0,006	0
Çinko(Zn)	1840	2,0	10,0	0,97	0,01

3.3.7.4. Mikrobiyolojik kalite

Fekal koliform ve toplam koliform sıvı klor ile % 100 oranında giderilmiştir.

3.3.7.5. Altıncı alternatif pilot tesis verilerinin irdelenmesi

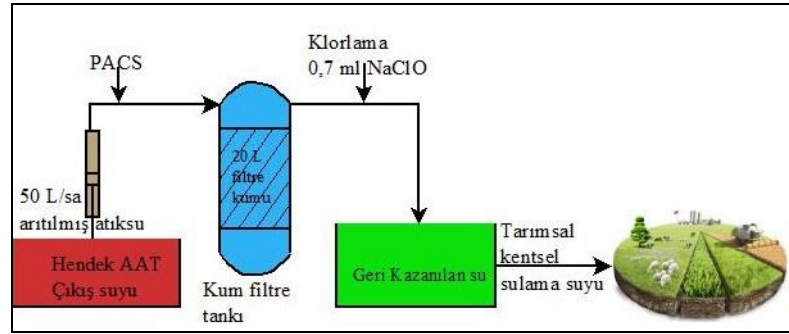
“Aktif Karbon Filtre + Mikrofiltrasyon + Klorlama” pilot tesisinde KOİ değeri 75. dakikada 6 mg/L’ye düşerek pilot sistemde en düşük değere ulaştığı için arıtma süresi 75 dakikadır. Arıtma verimi %86,9 dur. KOİ 75. dakikadan sonra KOİ değerleri yükselmeye başlamıştır. Sistemin geri yıkanması gerekmektedir. AKM değeri ise 20 mg/L’ den 0 mg/L’ye düşmüştür ve arıtma verimi %100 dür. Bulanıklık ortalama değer olan 5,12 NTU’dan 0,19 NTU’ya düşmüştür. Verimi %96,2 dir. pH değeri 7,66 dan 8,5 e çıkmıştır. AKF pH’ı yükseltmiştir. Fakat AATTUT' Ek.7.’deki pH 6-9 aralığına girdiği için sorun teşkil etmemektedir. Bakiye Klor miktarı ise 1,36 mg/L bulunmuştur ve fekal koliform, toplam koliform %100 giderilmiştir. Yukarıdaki parametre sonuçlarına göre VI. alternatif pilot sistem sonunda geri kazanılan arıtılmış atık su A Sınıf su dur. İletkenlik değeri 804 $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ den 725 $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ e, TÇM değeri ise 643,2 mg/lt’den 580 mg/L’ye düşmüştür. Tuzluluk parametresi açısından pilot sistem giriş ve çıkışı da II. Sınıf kalitede değerlendirilmektedir. SAR parametresi ise 0,26’ dan 0,22’ye düşmüştür. SAR değeri EC ile ilişkilendirildiğinde geçirgenlik sınıflandırılmasında I.Sınıf Su kalitesindedir. Özgül iyon toksisitesinde sodyum, klorür ve bor parametrelerinin sistem çıkış değerleri sırasıyla; 3,11mg/L, 37 mg/L ve 0,007 mg/L dir ve AATTUT Tablo E7.2’ deki sulama suyu kimyasal kalite değerlendirilmesine göre I.Sınıf Su sınıfına girmektedir. Ağır metal pilot tesis giriş ve çıkış değerleri hemen hemen aynıdır ve yönetmelikte izin verilen max. konsantrasyon değerlerinin çok çok altındadır. Toplam azot 14,2 mg/L’ den 3,6 mg/L’ ye, toplam fosfat 2,9 mg/L’ den 1,9 mg/L’ ye, nitrat azotu ise 8,7 mg/L’ den 2,1 mg/L’ ye düşmüştür. Arıtma verimleri sırasıyla; %74,6, %34,4 ve %75,8 dir. Pilot sistem sonucunda geri kazanılan arıtılmış atık su tarımsal sulama ve her türlü kentsel alan sulanmasında kullanılabilen A Sınıfı su' dur.

V.alternatif (KF+MF+UV) ve bu alternatif üzerinde mikrofiltrasyon kullanımına gerek olmadığını göstermek için çalışılmıştır. II. pilot sisteme (KF + AKF + Klorlama) göre bu alternatif toplam azot ve nitrat azotu giderme verimi açısından daha iyi performans göstermiştir. KF nin tek çalıştırıldığı sistemde KOİ 9 mg/L iken, KF + AKF nin birlikte çalıştırıldığı sistemde KOİ değeri 6 mg/L’ye düşmüştür. Bu

sistemde ise MF' nin etkisinin olmadığı ve AKF' nin tek başına yine 6mg/L değerini sağladığı bir kez daha gösterilmiştir. Bulanıklık ve AKM değerleri de daha düşüktür. “AKF + MF + Klorlama” pilot sisteminin yerine pilot tesisin AKF + Klorlama olarak kurulması, MF' nin sisteme herhangi bir olumlu etkisi olmadığı için daha uygundur.

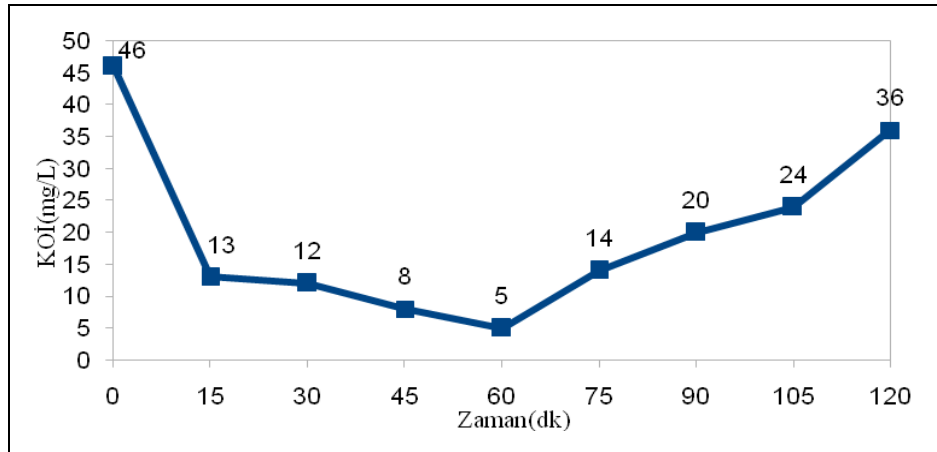
3.3.8. Yedinci alternatif: PACS dozajı + kum filtre + klorlama

Hendek AAT' den temin edilen arıtılmış atık suya koagülant olarak Poli Alüminyum Klorür Hidroksit Sülfat (PACS) eklenerek KF' den geçirilmiştir ve klorlama yapılarak sulama suyu olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Şekil 3.52.'de pilot tesise ait akım şeması, Şekil 3.53.'de ise pilot tesis görüntüsü sunulmaktadır.



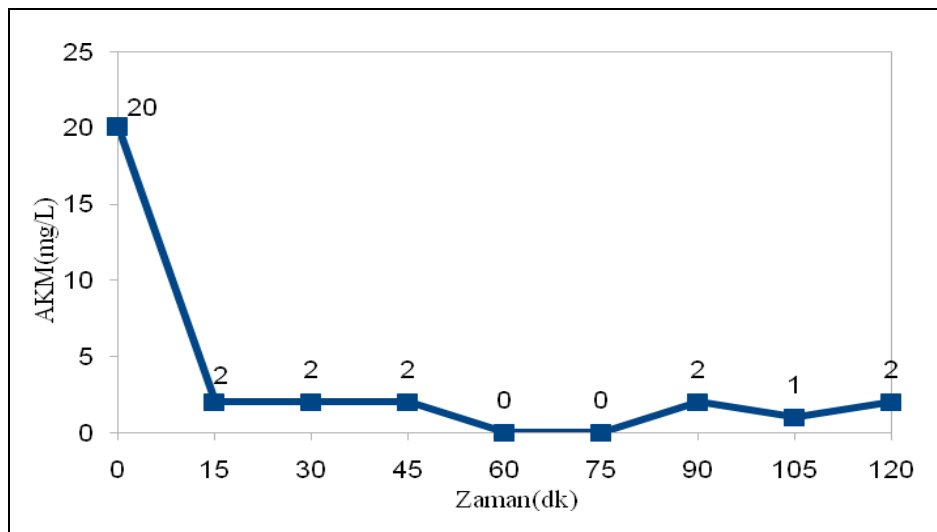
Şekil 3.53. PACs + KF + klorlama pilot tesisi

Jar testi uygulaması sonucunda 20 lt arıtılmış atık suya 8 ml PACS (polialüminyum klorürür hidroksit sülfat) eklenmiştir ve KOİ değeri 46 mg/L'den 23 mg/L'ye düşmüştür. Hendek AAT'i çıkış suyu kum filtresinden geçmeden önce KOİ değeri %50 oranında giderilmiştir. KOİ değeri 15 dakika sonra sistemden ilk olarak 13 mg/L olarak çıkmıştır. 60 dakika sonrada KOİ değeri 5 mg/L'ye düşmüştür ve arıtma süresi 60 dakika olmuştur. Şekil 3.54.'te KOİ değişimi gösterilmektedir. KOİ arıtma verimi ise %89,1 olarak hesaplanmıştır.



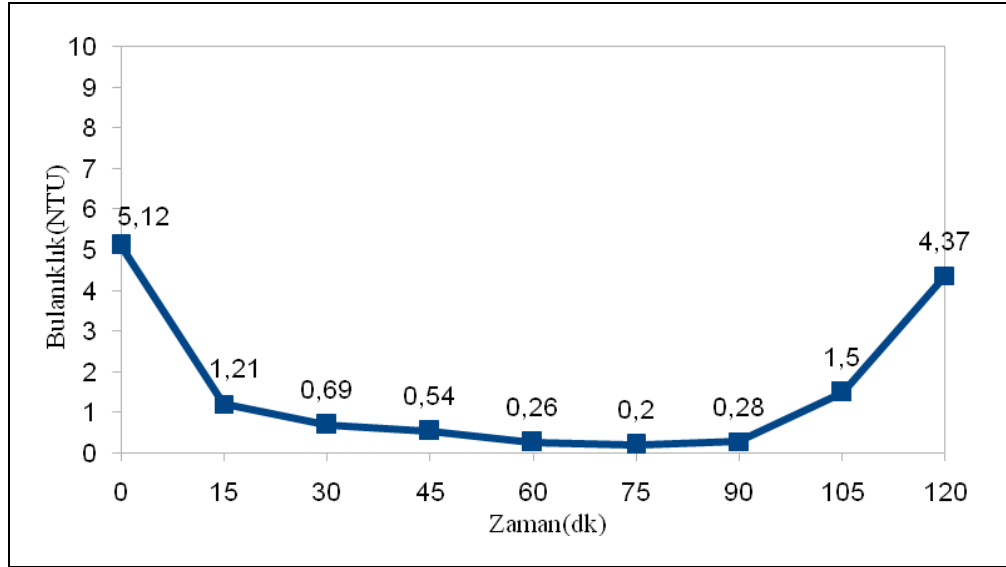
Şekil 3.54. Yedinci alternatif KOİ' nin zamanla değişimi

Sisteme 20 mg/L olarak giren AKM 60 dakika sonra 0 mg/L olmuştur. AKM arıtma verimi %100 dür. Şekil 3.55.' te AKM değişimi gösterilmektedir.



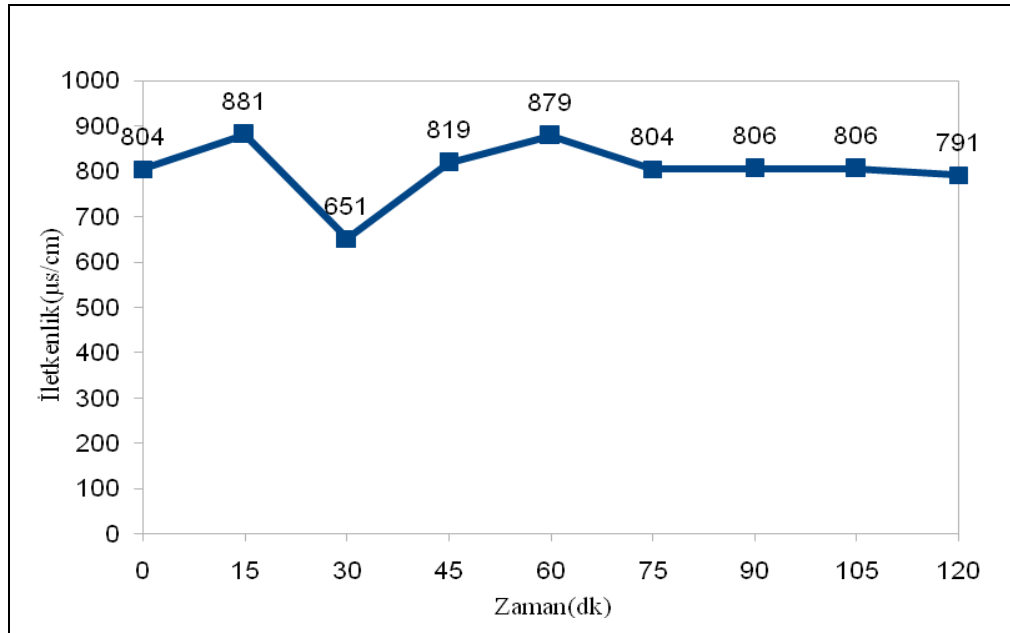
Şekil 3.55. Yedinci alternatif AKM'nin zamanla değişimi

Bulanıklık arıtma verimi %94,9 dur. Şekil 3.56.'da bulanıklığa ait değişim gösterilmektedir.



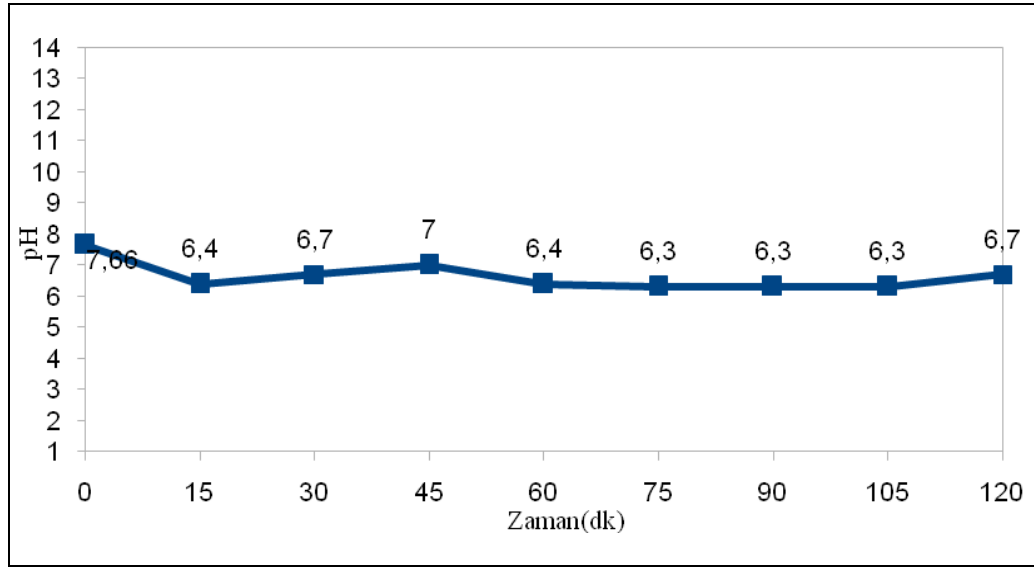
Şekil 3.56. Yedinci alternatif bulanıklığın zamanla değişimi

Şekil 3.57.'de iletkenlik değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.57. Yedinci alternatif iletkenliğin zamanla değişimi

Şekil 3.58.'de pH değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.58. Yedinci alternatif pH'nın zamanla değişimi

Vergine ve arkadaşlarının 2014 yılında yaptığı çalışmada İtalya Kentsel AAT'inde iki farklı pilot tesis karşılaştırılmıştır. Pilot tesis 1 aktif çamur sistemine entegre edilmiş membran reaktör + UV dezenfeksiyon, pilot tesis 2 ise yerçekimi disk filtre + UV reaktörden oluşmaktadır. Kentsel AAT'ine gelen KOİ 722 mg/L' dir. Sisteme gelen KOİ yükü aktif çamur, koagülasyon - flokülasyon-sedimentasyon, filtrasyon ve klorlama sonrası 21 mg/L'dir. Tesise gelen kentsel atıksu pilot tesis1'e ileildiğinde 23 mg/L, aktif çamur sedimentasyon sonrası pilot tesis2'ye verildiğinde ise 26 mg/L'ye düşmektedir. Aynı proses sırası ile; 237 mg/L AKM yüküyle tesise gelen atıksu kentsel atıksu arıtma tesisi çıkışında 5mg/L, pilot tesis1 < 2mg/L pilot tesis2 de ise 8 mg/L ölçülmektedir. İtalya arıtılmış atıksuların yeniden kullanım AKM değeri <10 mg/L'dir. Yine aynı çalışmada NO₃-N değeride ölçülmüştür ve 64 mgNO₃-N/L AAT'i çıkışında 12mg/L, pilot tesis1 42mg/L, pilot tesis2 ise 12 mg/L olarak bulunmuştur (İtalya yeniden kullanım standartı 35mg NO₃-N/L) [55].

3.3.8.1. Yedinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi

AATTUT EK 7. Tablo 7,1'e göre geri kazanılan su Sınıf A kapsamında değerlendirilmektedir. Kentsel alanların sulanması ve tarımsal sulamada kullanılabilir. Tablo 3.29.'da gösterilmektedir.

Tablo 3.29. Yedinci alternatif pilot tesis verilerinin AATTUT Ek.7. Tablo 7.1 ve 7.9 ile karşılaştırılması

	VII. Alternatif Giriş	VII. Alternatif Çıkış	AATTUT EK 7 Tablo 7,1 de İstenilen Değerler
pH	7,66	6,4	6-9
AKM	20mg/L	0 mg/L	< 30
Bulanıklık	5,12 NTU	0,26 NTU	< 2NTU
KOİ	46mg/L	5 mg/L	-
Bakiye Klor	0,5mg/L	1,19 mg/L	> 1mg/L
Fekal Koliform	150adet/100mL	0adet/100mL	0/100mL
Toplam Koliform	1500adet/100mL	0adet/100mL	-
	VII. Alternatif Giriş	VII. Alternatif Çıkış	Olabilecek Nutrient Seviyeleri (AATTUT EK 7 Tablo 7,9)
Toplam Azot	14,2 mgN/L	6,4 mgN/L	2-12mgN/L
Toplam Fosfat	2,9 mgP/L	1,48 mgP/L	<2mgP/L
Nitrat Azotu	8,7 mgN/L	8,2 mgN/L	1-10mgN/L

3.3.8.2. Yedinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalite değerlendirilmesi

VII. alternatif pilot tesis çıkış değerleri sulama suyu olarak kullanımı kimyasal kalite açısından sorun teşkil etmemektedir. Tablo 3.30.'da tuzluluk, geçirgenlik ve özgül iyon toksisitesine ait değerler gösterilmektedir.

Tablo 3.30. Yedinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması

Parametreler	Birimler	Kullanımda Zarar Derecesi			Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış
		Yok (I.sınıf su)	Az – Orta (II.sınıf su)	Tehlikeli (III.sınıf su)		
Tuzluluk						
İletkenlik	µs/cm	<700	700-3000	>3000	804	879
TÇM	mg/L	<500	500-2000	>2000	643,2	703,2
Geçirgenlik						
SARTad	0-3	-	EC ≥ 0,7	0,7 – 0,2	<0,2	0,26
	3-6		≥ 1,2	1,2 – 0,3	<0,3	
	6-12		≥ 1,9	1,9 – 0,5	<0,5	
	12-20		≥ 2,9	2,9 – 1,3	<1,3	
	20-40		≥ 5,0	5,0 – 2,9	<2,9	
Özgül İyon Toksikitesi						
Sodyum(Na)						
Yüze Sulaması	mg/L	< 3	3 – 9	> 9	4,8	14,54
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 70	> 70			
Klorür(Cl)						
Yüze Sulaması	mg/L	< 140	140 – 350	> 350	77	82
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 100	> 100			
Bor (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	0,001	0,027

İletkenlik ve TÇM değerlerine göre geri kazanılan arıtılmış atık su tuzluluk açısından değerlendirildiğinde, II. Sınıf Su özelliği göstermektedir. SAR değeri 0,75 tir. İletkenlik parametresi ile ilişkilendirildiğinde geri kazanılan su SAR parametresi açısından I.Sınıf Su özelliği göstermektedir. Sodyum, klorür ve bor parametreleri açısından değerlendirildiğinde ise pilot tesis çıkış suyu I.Sınıf Sulama Suyu kapsamına girmektedir.

3.3.8.3. Yedinci alternatif sulama suyu eser elementlerinin değerlendirilmesi

AATTUT Ek.7 Tablo 7.7. ile pilot tesis ağır metal verileri karşılaştırıldığında çıkış suyu değerleri yönetmeliğin altındadır ve sulama suyu olarak kullanılabilir. Tablo 3.31.'de sulama suyu olarak kullanımında herhangi bir sakınca olmadığı gösterilmektedir.

Tablo 3.31. Sulama sularında izin verilen max. ağır metal-toksik element konsantrasyonlarının pilot tesis verileri ile karşılaştırılması

ELEMENTLER	Birim alana verilebilecek max toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen max konsantrasyonlar		Hendek AAT Çıkış	VII. Alternatif PACS + Kum Filtre + Klorlama
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, (mg/L)		
Alüminyum(Al)	4600	5,0	20,0	0,007	0,013
Arsenik(As)	90	0,1	2,0	0,005	0,001
Berilyum(Be)	90	0,1	0,5	0	0
Bor(B)	680	-	2,0	0,001	0,027
Kadmiyum(Cd)	9	0,01	0,05	0	0
Krom(Cr)	90	0,1	1,0	0,014	0
Kobalt(Co)	45	0,05	5,0	0,003	0,0002
Bakır(Cu)	190	0,2	5,0	0	0
Florür(F)	920	1,0	15,0	0,29	0,1
Demir(Fe)	4600	5,0	20,0	0	0,003
Kurşun(Pb)	4600	5,0	10,0	0	0
Lityum(Li)	-	2,5	2,5	0,03	0,024
Manganez(Mn)	920	0,2	10,0	0,3	0,1
Molibden(Mo)	9	0,01	0,05 ²	0,0002	0,0003
Nikel(Ni)	920	0,2	2,0	0	0,004
Selenyum(Se)	16	0,02	0,02	0,001	0,001
Vanadyum(V)	-	0,1	1,0	0,006	0,001
Çinko(Zn)	1840	2,0	10,0	0,97	0,1

3.3.8.4. Mikrobiyolojik kalite

VII. alternatifte ait pilot tesis çıkışında sisteme 0,7 ml NaClO eklenmiştir ve 30 dakikalık temas süresi sonunda bakiye klor miktarı 1,19 mg/L hesaplanmıştır. Fekal koliform ve toplam koliform sıvı klor eklenmesiyle %100 oranında giderilmiştir.

3.3.8.5. Yedinci alternatif pilot tesis verilerinin irdelenmesi

Koagülant olarak PACS eklenerek I.alternatif olan “KF + Klorlama” sistemi tekrar çalıştırılmıştır ve AKM, KOİ, bulanıklık değerlerinin değişimi karşılaştırılmıştır. Jar testi uygulaması sonunda sistemde kullanılan 20 litrelik bidonlara 8ml PACS eklenmiştir. Ve sistem 60 dakikada 46 mg/L olan giriş KOİ değerini 5 mg/L’ ye düşürmüştür. Arıtma süresi 60 dakika olmuştur. Arıtma verimi %89,1 dir. AKM ise 20 mg/L den 0 mg/L’ye düşmüştür. Verimi %100 dür. Bulanıklık 5,12 NTU’ dan 0,26 NTU’ya düşmüştür. Arıtma verimi ise % 94,9’dur. I. Alternatifte de düşük olan değerler daha da düşmüştür. İki alternatifini kıyasladığımızda KOİ 9 mg/L’den 5 mg/L’ ye, AKM 1 mg/L’ den 0 mg/L’ye, bulanık değeri ise 0,52 NTU’dan 0,26 NTU’ya düşmüştür. Ayrıca KF nin tek başına kullanıldığı sistemde arıtma süresi 90 dakika iken PACS dozajlanan sistemde arıtma süresi 60 dakikadır. “PACS + KF + Klorlama” pilot tesis çıkışı pH değeri 6,4 olarak ölçülmüştür. Klor dozu hesaplamaları sonucunda bakiye klor miktarı 1,1 mg/L bulunmuştur. Fekal koliform ve toplam koliform sistem sonunda 0 adet/100ml olarak ölçülmüştür ve % 100 giderim sağlanmıştır. VII. alternatif pilot sistemi sonucunda geri kazanılan artılmış atıksu Sınıf A kapsamındadır.

VII. alternatif iletkenlik değeri 804 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ’ den 879 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ’e yükseldiği için TÇM değeride 643,2 mg/L’den 703,2 mg/L’ye yükselmiştir. Tuzluluk parametresi açısından pilot sistem giriş ve çıkış değerleri de II. Sınıf Su kategorisinde değerlendirilmektedir. SAR değeri 0,26’dan 0,75’e çıkmıştır ve EC ile ilişkilendirildiğinde pilot tesis giriş-çıkış değerleri de I.Sınıf Su sınıflandırılmasına girmektedir. Özgül iyon toksisitesi açısından da I. Sınıf Su kapsamında yorumlanmaktadır. Ağır metallerin sulama sularında izin verilen max.

konsantrasyonları ve pilot tesis giriş çıkış değerleri de Tablo 3.31.'de gösterilmiştir. Ve değer AATTUT Ek.7 Tablo E.7.7.'deki yönetmelik değerlerinin altındadır. Geri kazanılan suyun sulamada kullanılmasında ağır metal açısından olumsuz etkisi söz konusu değildir. Organik madde değişimleri ise sırasıyla Toplam azot (TN), Toplam fosfat (TP) ve nitrat azotu (NO₃-N); 14,2 mg/L' den 6,4 mg/L' ye, 2,9 mg/L' den 1,48 mg/L'ye ve 8,7 mg/L'den 8,2 mg/L'ye düşmüştür. Verimleri ise sırasıyla %55, %49 ve %5'dir.

“PACS + KF + Klorlama” pilot tesisi sulama da kullanılacak geri kazanılmış atık su sınıflandırılmasına göre A Sınıfı sudur; tarımsal ve rekreasyon alanlarında kullanılabilir. VII. alternatif, I.alternatife göre KOİ, AKM, bulanıklık değerlerini ve arıtma süresini dahada düşürmüştür. Bu alternatifi kullanmak daha etkilidir.

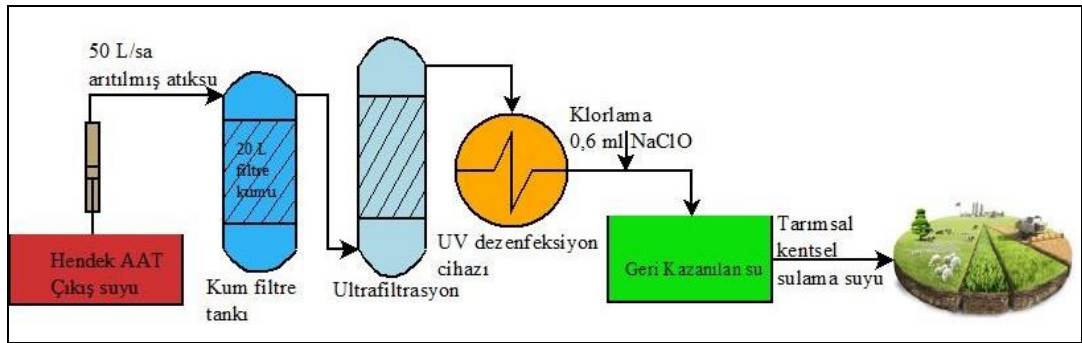
Üstün ve arkadaşlarının 2011 yılında yaptığı çalışmada Bursa kentsel AAT'i çıkış suları kullanılmıştır. İkinci arıtmadan geçen arıtılmış atık sular deşarj standartlarını sağlasada sulama suyu kullanımı için uygun olmadığından; 0,24 m³/saat kapasiteli koagülasyon, flokülasyon ve dezenfeksiyondan oluşan pilot ölçekli üçüncül arıtma sistemi kurulmuş ve AKM, KOİ, bulanıklık, toplam koliform giderme verimlerine bakılmıştır. Koagülant olarak FeCl₃ ve PAC jar testi uygulamalarında kullanılmıştır. Fakat pilot ölçekli tesiste bulanıklık ve KOİ'de daha yüksek giderme verimi elde edildiği için anyonik polielektrolit olan PAC(50mg/L) tercih edilmiştir. Dezenfeksiyon işleminde ise laboratuarda 1-3 mg/L aralığında NaOCl ve perasetik asit (PAA) denenmiştir. Maliyet ve giderme verimi değerlendirildiğinde ise dezenfektan olarak 2 mg/L NaOCl seçilmiştir. Pilot sistem sonun AKM, KOİ, bulanıklık ve toplam koliform giderme verimleri sırasıyla %64, %39, %81 ve %99,998 bulunmuştur ayrıca ağır metal açısından da sorun teşkil etmediğinden geri kazanılan arıtılmış atık suyun sulama için uygun bir su kaynağı olabileceği bildirilmiştir[56].

Konya AAT' i çıkış sularının kullanıldığı pilot tesis çalışmasında; sistem multimedya kum filtre, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve dezenfeksiyon (UV ve klor) ünitelerinden oluşmuştur. Sisteme multimedya kum filtresi önce Polialüminyum Klorür (PAC) dozajlanarak AKM ve bulanıklık giderim verimleri incelenmiştir. PAC

dozajının artmasına bağlı olarak AKM ve bulanık değerlerinde istenilen sonuca ulaşılmıştır; fakat gerçek ölçekli tesiste (ön klorlama tankı, Konya AAT çıkış suyu tankı, bulanıklık ölçer, PACS tankı, multimedya kum filtreleri, UV dezenfeksiyon, son klorlama tankı, geri kazanılmış su deposu, mor şebeke) PAC' a göre bulanıklık gideriminde daha verimli olan PACS kullanılmaktadır[27].

3.3.9. Sekizinci alternatif: kum filtre + ultrafiltrasyon + ultraviyole dezenfeksiyon

VIII. alternatifte ait proses akım şeması Şekil 3.59' da sunulmaktadır. Hendek AAT' i çıkış suyu sırasıyla Şekil 3.60.'da gösterildiği gibi kum filtresi, ultrafiltrasyon ve UV dezenfeksiyon ünitelerinden geçirilmiştir.

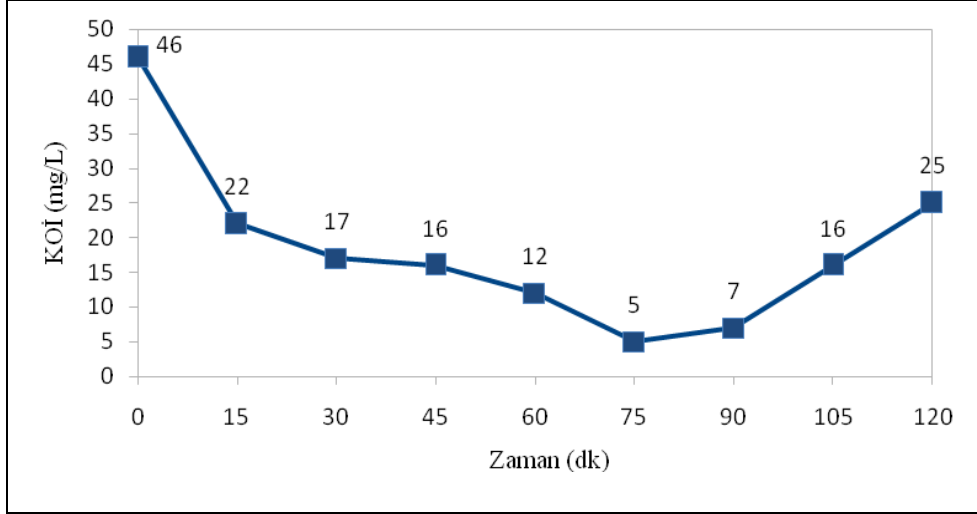


Şekil 3.59. KF + UF + UV dezenfeksiyon akım şeması



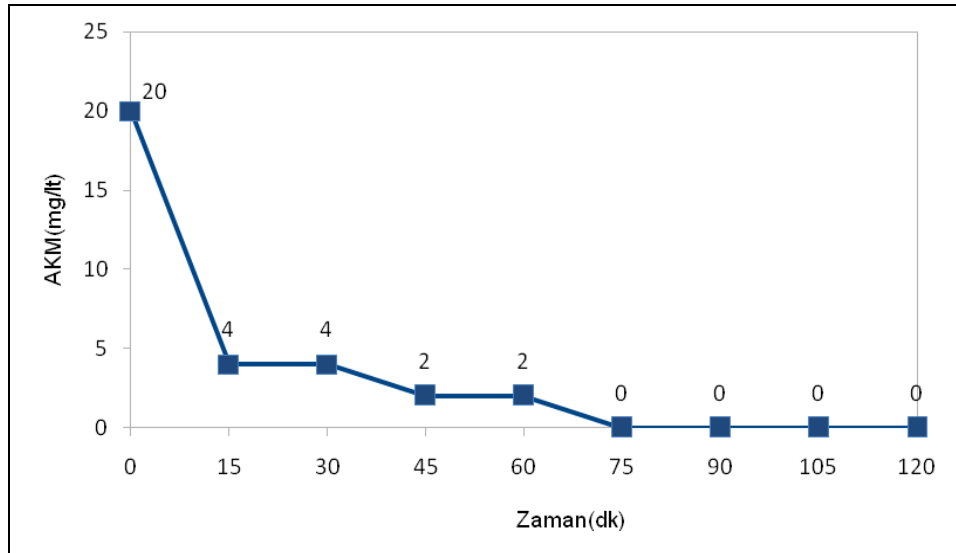
Şekil 3.60. KF + UF + UV dezenfeksiyon pilot tesisi

Sekizinci Alternatif reaksiyon süresi 75 dakikadır ve arıtma verimi %89,1 dir. 75. dakikadan sonra sistemde kirlilik oluşmaya başlamıştır ve değerler yükselmiştir. Sistem geri yıkamaya alınmıştır. Şekil 3.61.'de KOİ değişimi gösterilmektedir.



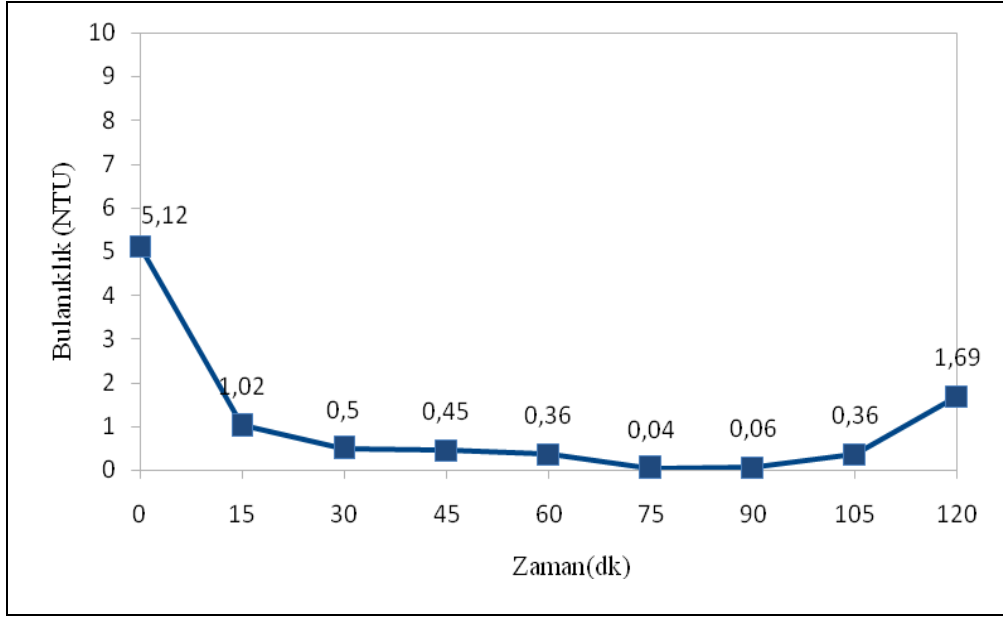
Şekil 3.61. Sekizinci alternatif KOİ' nin zamanla değişimi

Şekil 3.62.'de AKM değişimi gösterilmektedir.



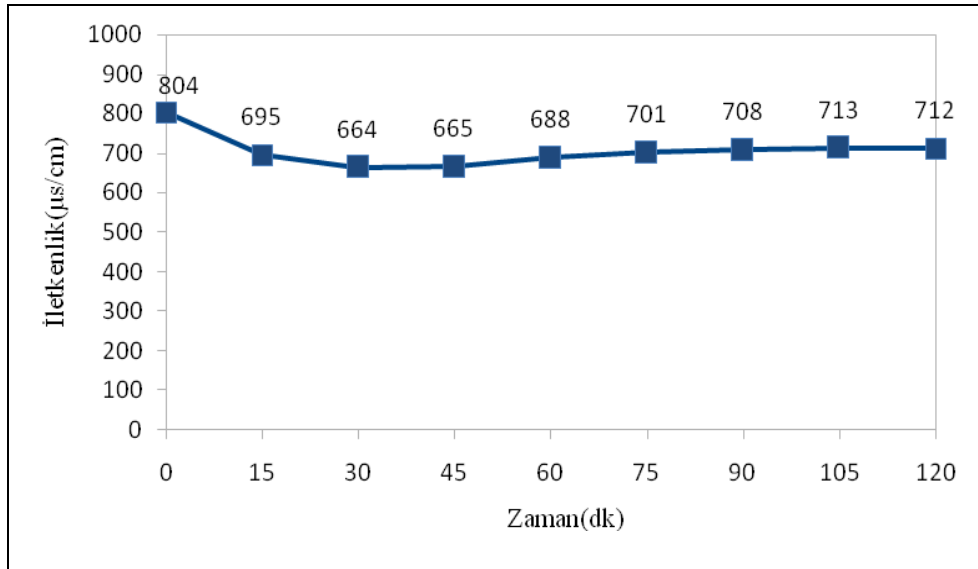
Şekil 3.62. Sekizinci alternatif AKM' nin zamanla değişimi

75. dakikada AKM değeri 0 mg/L'ye düştüğü için AKM verimi %100 hesaplanmıştır. Şekil 3.63.'de VIII. alternatife ait bulanıklığın zamana göre değişimi gösterilmektedir.



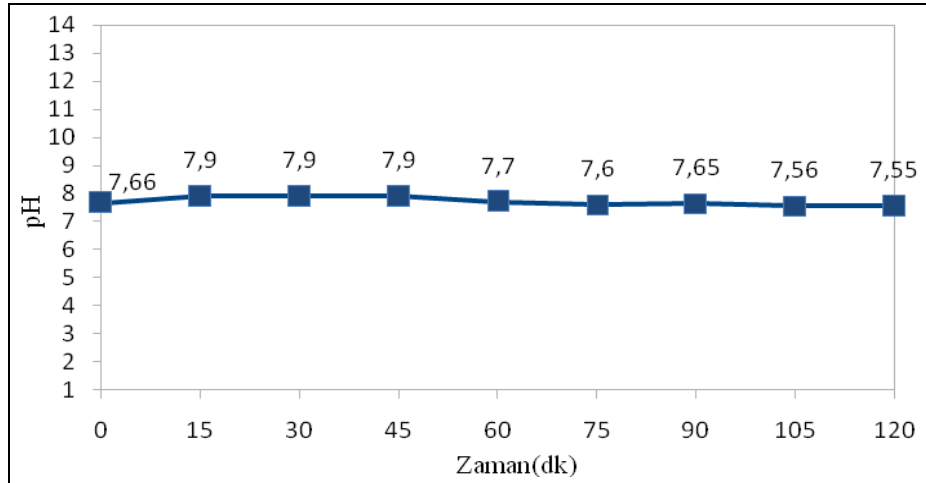
Şekil 3.63. Sekizinci alternatif bulanıklığın zamanla değişimi

Sistem çıkışı bulanıklık değeri 0,04 NTU olarak ölçülmüştür. Bulanıklık verimi ise %99,2 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.64.'te VIII. alternatife ait iletkenliğin zamana göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.64. Sekizinci alternatif iletkenliğin zamanla değişimi

Şekil 3.65.'te VIII. alternatife ait pH' nın zamana bağlı olarak değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.65. Sekizinci alternatif pH' ın zamanla değişimi

3.3.9.1. Sekizinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi

AATTUT Tebliği Ek.7.'ye göre geri kazanılan su Sınıf A kapsamında değerlendirilmektedir. Dördüncü alternatif hariç bu alternatif de diğer alternatifler gibi kentsel alanların sulanması ve tarımsal sulamada kullanılabilir. Tablo 3.32.' de A Sınıfı sulama suyuna ait parametreler pilot tesis sonuçlarıyla karşılaştırılarak verilmiştir.

Tablo 3.32. Sekizinci alternatif pilot tesis verilerinin AATTUT EK 7. Tablo 7.1 ve 7.9 ile karşılaştırılması

	VIII.Alternatif Giriş	VIII.Alternatif Çıkış	AATTUT Ek.7 Tablo 7.1 de İstenilen Değerler
pH	7,66	7,6	6-9
AKM	20mg/L	0 mg/L	< 30
Bulanıklık	5,12NTU	0,04NTU	< 2NTU
KOİ	46mg/L	5 mg/L	-
Bakiye Klor	0,5mg/L	1,36 mg/L	> 1mg/L
Fekal Koliform	150adet/100mL	0adet/100mL	0/100mL
Toplam Koliform	1500adet/100mL	0adet/100mL	-
	VIII.Alternatif Giriş	VIII.Alternatif Çıkış	Olabilecek Nutrient Seviyeleri (AATTUT Ek. 7 Tablo 7.9)
Toplam Azot	14,2 mgN/L	10,9 mgN/L	2-12 mgN/L
Toplam Fosfat	2,9 mgP/L	1,7 mgP/L	< 2 mgP/L
Nitrat Azotu	8,7 mgN/L	6,4 mgN/L	1-10 mgN/L

3.3.9.2. Sekizinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalite değerlendirilmesi

AATTUT Ek 7. Tablo 7.2.'deki Geri kazanılmış atıksularda, sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo, kum filtre + ultrafiltrasyon + UV dezenfeksiyon pilot sistemi ile karşılaştırılmıştır ve Tablo 3.33.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.33. Sekizinci alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması

Parametreler	Birimler	Kullanımda Zarar Derecesi			Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış
		Yok (I.sınıf su)	Az – Orta (II.sınıf su)	Tehlikeli (III.sınıf su)		
Tuzluluk						
İletkenlik	µs/cm	<700	700-3000	>3000	804	701
Toplam Çözülmüş Madde	mg/L	<500	500-2000	>2000	643,2	560,8
Geçirgenlik						
SARTad		EC ≥ 0,7	0,7 – 0,2	<0,2	2,26	2,29
3-6		≥ 1,2	1,2 – 0,3	<0,3		
6-12		≥ 1,9	1,9 – 0,5	<0,5		
12-20		≥ 2,9	2,9 – 1,3	<1,3		
20-40		≥ 5,0	5,0 – 2,9	<2,9		
Özgül İyon Toksisitesi						
Sodyum(Na)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 3	3 – 9	> 9	4,8	11,28
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 70	> 70			
Klorür(Cl)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 140	140 – 350	> 350	77	48
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 100	> 100			
Bor (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	0,5	0,4

Pilot tesis çıkış verileri iletkenlik parametresi ve toplam çözülmüş madde açısından değerlendirildiğinde II. Sınıf Su kapsamına girmektedir. SAR değeri 2,29 dur ve İletkenlik parametresi ile ilişkilendirildiğinde geri kazanılan su SAR parametresi açısından I.Sınıf Su özelliği göstermektedir. Özgül İyon Toksisitesi; Sodyum, klorür ve bor parametreleri açısından değerlendirildiğinde pilot tesis çıkış suyu I.Sınıf Sulama Suyu kapsamına girmektedir.

3.3.9.3. Sekizinci alternatif sulama suyu eser elementlerinin değerlendirilmesi

AATTUT EK 7. Tablo 7.7. ile pilot tesis ağır metal verileri karşılaştırıldığında ise çıkış suyu değerleri yönetmeliğin altındadır ve sulama suyu olarak kullanılabilir. Pilot tesis giriş – çıkış değerleri ile yönetmelik sınır değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3.34.'de verilmiştir.

Tablo 3.34. Sulama sularında izin verilen max. ağır metal-toksik element konsantrasyonlarının pilot tesis verileri ile karşılaştırılması

ELEMENTLER	Birim alana verilebilecek max toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen max konsantrasyonlar		Hendek Atıksu arıtma tesisi çıkış	VIII.Alternatif KF + UF + UV Dezenfeksiyon
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24yıldan daha az sulama yapıldığında, (mg/L)		
Alüminyum(Al)	4600	5,0	20,0	0,095	0,264
Arsenik(As)	90	0,1	2,0	0,005	0,04
Berilyum(Be)	90	0,1	0,5	0	0
Bor(B)	680	-	2,0	0,5	0,4
Kadmiyum(Cd)	9	0,01	0,05	0	0
Krom(Cr)	90	0,1	1,0	0,014	0,007
Kobalt(Co)	45	0,05	5,0	0,003	0,003
Bakır(Cu)	190	0,2	5,0	0	0,012
Florür(F)	920	1,0	15,0	0,29	0,1
Demir(Fe)	4600	5,0	20,0	0	0
Kurşun(Pb)	4600	5,0	10,0	0	0,018
Lityum(Li)	-	2,5	2,5	0,03	0,013
Manganez(Mn)	920	0,2	10,0	0,3	0,003
Molibden(Mo)	9	0,01	0,05 ²	0,0002	0,0003
Nikel(Ni)	920	0,2	2,0	0	0,033
Selenyum(Se)	16	0,02	0,02	0,001	0,014
Vanadyum(V)	-	0,1	1,0	0,006	0,014
Çinko(Zn)	1840	2,0	10,0	0,97	0,018

3.3.9.4. Mikrobiyolojik kalite

Fekal koliform ve toplam koliform UV dezenfeksiyon ile % 100 oranında giderilmiştir. Yönetmelik gereği bakiye klor > 1mg/L istenildiği için sisteme eklenen 0,6 ml NaClO ile bakiye klor 1,36 mg/L bulunmuştur.

3.3.9.5. Sekizinci alternatif pilot tesis verilerinin irdelenmesi

VIII. alternatifte ait KOİ parametresi üzerinden belirlenen arıtma süresi 75 dakikadır. KOİ değeri 46 mg/L'den 5 mg/L'ye düşmüştür ve arıtma verimi %89,1 dir. AKM sistem çıkış değeri ise 0 mg/L'dir. Arıtma verimi %100'dür. Bulanık çıkış değeri 0,04 NTU olarak ölçülmüştür ve verimi %99,2'dir. pH 7,6 olarak ölçülmüştür.

İspanya Quart Benager AAT' i çıkış suları ile 2 m³ / saat kapasiteli 3 farklı alternatif denenmiştir. Bunlar;

- 1- Koagülasyon ve Flokülasyon, Çöktürme, Filtrasyon,UV
- 2- Filtrasyon ve UV dezenfeksiyon
- 3- UF şeklinde sıralanmıştır.

KOİ, bulanık ve fekal koliform arıtma verimleri en yüksek UF sistemiyle sağlanmıştır. Verimleri sırasıyla %50, %94 ve %100 bulunmuştur. Birinci alternatifte ise bu değerlerde; %21,5, %82, %99,8 giderme verimi sağlanmıştır. En az arıtma verimi ise filtrasyon ve UV dezenfeksiyon şeklinde kurulan 2. alternatifte (KOİ %0, bulanıklık %50, fekal koliform %99,8) hesaplanmıştır[57].

Güney İtalya Apulia Bölgesi'nde tarım endüstrisi atıksuları aktif çamur, sedimentasyon, kum filtresi UF ve UV dezenfeksiyon işlemlerinden geçirilmiştir. 1.5 yıl süren çalışmada arıtılmış atıksu ileri arıtıma tabi tutularak brokoli-domates bitkisi yetiştirmede kullanılmıştır. NH₄-N, Na, EC, SAR ve mikrobiyolojik parametre değerlerine bakılmıştır. Damlatmalı sulama yöntemi seçilerek her yıl yaklaşık 6000 m³/ha yeraltı suyu tasarrufu sağlayabileceği belirtilmiştir [58].

UV dezenfeksiyonuyla fekal koliform ve toplam koliform değeri %100 giderilmiştir. Sistemde dezenfeksiyon amacıyla UV kullanılmasına rağmen AATTUT Ek.7.'de bakiye klor > 1mg/L istenildiği için klor dozu hesaplamaları sonucunda bakiye klor 1,36 mg/L olarak ölçülmüştür. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atık suların sınıflandırılmasında pilot sistem sonucunda geri kazanılan atık su Sınıf A kalitesindedir. Tuzluluk parametresinde iletkenlik ve TÇM değerlerine bakılmaktadır.

Pilot tesis iletkenlik çıkış değeri 701 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ölçülmüştür. TÇM değeri ise iletkenlik üzerinden 560,8 mg/L olarak hesaplanmıştır. Pilot tesis giriş değeri de çıkış değeri de II. Sınıf Sulama Suyu olarak kullanılabilir. Sistem sonucunda 2,29 mg/L olarak hesaplanan SAR değeri EC parametresi ile ilişkilendirildiğinde, sulama suyu toprak geçirgenlik parametresi açısından I.Sınıf Su kalitesindedir. Özgül iyon toksisite değerlendirilmesinde ise sodyum (Na) değeri 11,28 mg/L, Klorür(Cl^-) değeri 48 mg/L, Bor(B) ise 0,4 mg/L olarak ölçülmüştür. I.Kalite Su sınıfına girmektedir. Toplam azot, toplam fosfat, nitrat azot pilot tesis çıkış seviyeleri ve verimleri sırasıyla; 10,9 mg/L, 1,7 mg/L, 6,4 mg/L ve yüzdeleri %23, %41 ,%26' dir. Ağır metal pilot tesis giriş ve çıkış değerleri de AATTUT Tablo E.7.7.'deki sulama sularında izin verilen max. ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyon değerlerinden çok daha düşüktür. Sulamada kullanılmasında herhangi bir olumsuz etki söz konusu değildir.

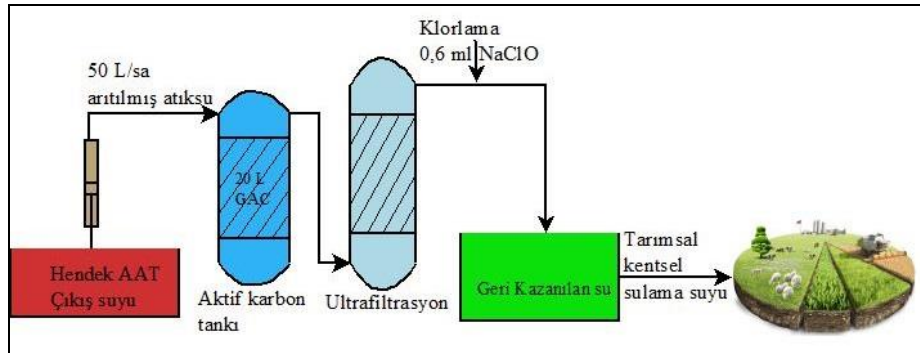
Bu alternatifte VII. alternatif ile aynı KOİ ve AKM değerleri bulunmuştur. Bulanıklık değerinde ise UF cihazı ile daha iyi verim elde edilmiştir. “KF+UF+UV dezenfeksiyon” ile kurulan pilot tesis sonunda geri kazanılan arıtılmış atık su sulama suyu olarak Sınıf A kalitesinde sudur; tarımsal sulama ve her türlü kentsel alan sulamasında kullanılabilir. III. Alternatif (KF+UV dezenfeksiyon)'e ek olarak UV cihazından önce UF cihazının kullanılması arıtma verimi açısından daha iyi performans sergilemesine rağmen her iki alternatifte A Sınıfı su sınıflandırmasına girdiği, UF kullanılması işletme ve bakım giderlerini artıracığı için Hendek AAT'inde uygulanmaması daha akılcı bir yaklaşımdır.

Carre ve arkadaşlarının 2017'de yaptıkları çalışmada; Fransa'nın güneyindeki ikincil arıtma yapan bir AAT'i çıkışına filtrasyon ve/ veya dezenfeksiyon ünitelerinden oluşan (1-KF + sürekli UV reaktör, 2-KF + kesikli UV reaktör, 3-UF, 4-UF + kesikli UV reaktör, 5-MF + sürekli UV reaktör) beş farklı pilot tesis kurulmuştur. Yüksek kalitede su elde etmek, farklı arıtma proseslerinin çevresel etkilerini karşılaştırmak için yapılmış bir çalışmadır. Bu uygulamada UF sisteminin hem işletme hemde bakımının KF + UV'sistemine göre çok daha fazla teknik gerektirdiği ve bir

membranın kopması çıkış suyu kalitesine zarar verirken KF + UV'nin daha toleranslı olduğunu ifade etmişlerdir Ayrıca UF'nin UV ile entegre edilmesiyle elektrik tüketiminin neredeyse iki katına çıktığı bildirilmiştir [59].

3.3.10. Dokuzuncu alternatif aktif karbon filtre + ultrafiltrasyon + klorlama

Şekil 3.66. proses akım şemasında da görüldüğü üzere Hendek AAT çıkış suyu sırasıyla aktif karbon filtre, ultrafiltrasyondan geçirilmiştir ve klorlama yapılarak sulama suyu olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Şekil 3.67.'de ise IX. alternatifte ait pilot tesis görüntüsü sunulmaktadır.

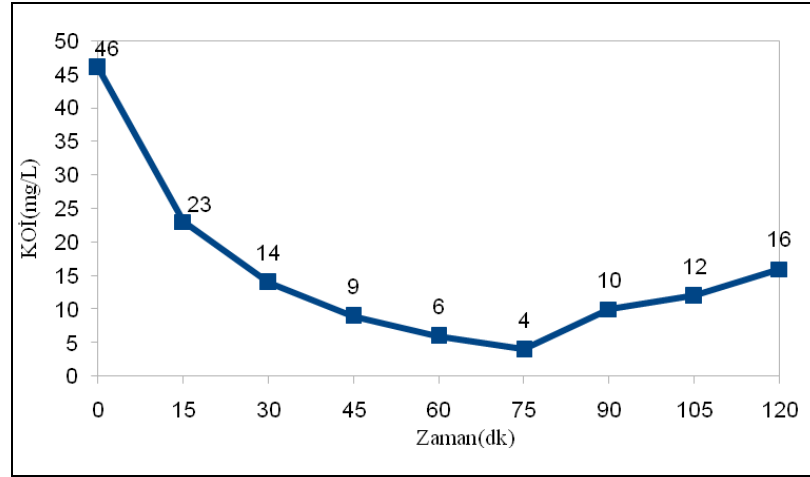


Şekil 3.66. AKF + UF + klorlama akım şeması



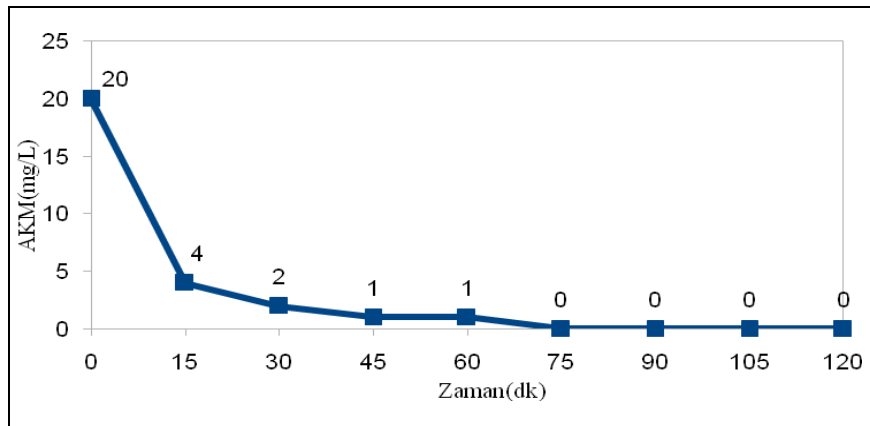
Şekil 3.67. AKF + UF + klorlama pilot tesisi

Şekil 3.68.'de KOİ' nin zamanla değişimi gösterilmektedir. Pilot tesise 46 mg/L olarak giren arıtılmış atık su 75.dakikada 4mg/L'ye düşmüştür. KOİ arıtma verimi %91 ve arıtma süresi 75 dakikadır.



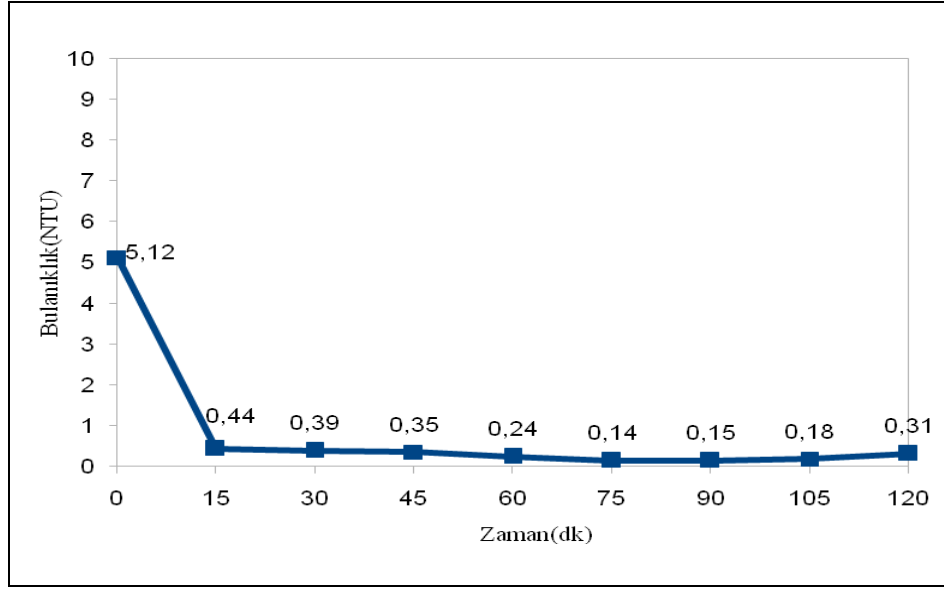
Şekil 3.68. Dokuzuncu alternatif KOİ' nin zamanla değişimi

Sistemde kullanılan arıtılmış atık su debisi düşük olduğu için Ultrafiltrasyon kullanımı KOİ değerini beklenenden daha az düşürmüştür. Sistemde kullanılan UF tasarım debisi 1-2 m³/saat piyasada mevcut olan en küçük UF'dir, Pilot sistem çalışma debisi ise 50 L/sa'dir. Deneysel çalışmalar sonucunda debi yükseldikçe sistemde kullanılan UF'den daha iyi verim elde edilmiştir. Tasarım debisine uygun debi ile çalışıldığında, Ultrafiltrasyon kullanımından daha çok verim elde edilebileceği kanısına varılmıştır. Şekil 3.69.'da AKM değerinin zamanla değişimi gösterilmektedir.



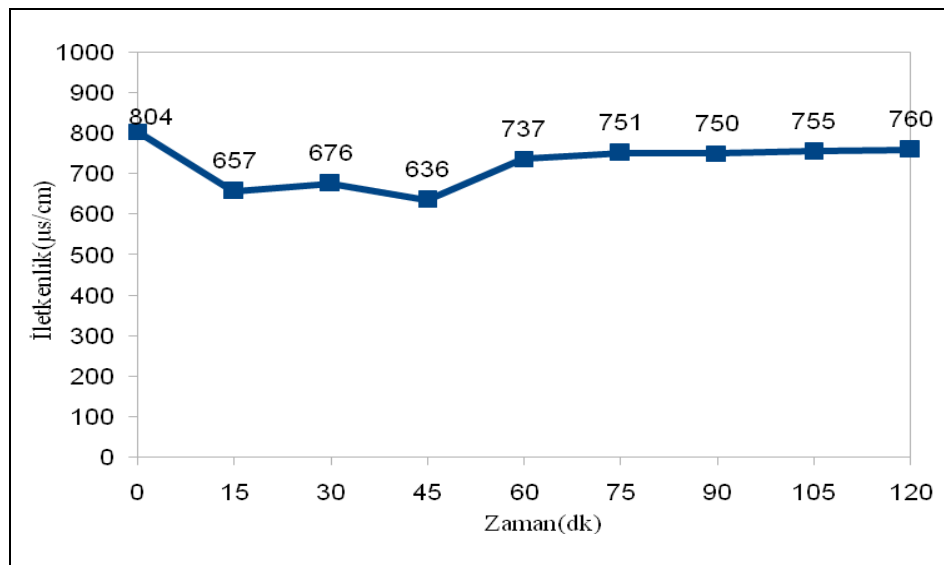
Şekil 3.69. Dokuzuncu alternatif AKM' nin zamanla değişimi

AKM arıtma verimi %100'dür. Pilot tesise 20 mg/L ile giren AKM değeri 75 dakika sonra 0 mg/L'ye düşmüştür. Şekil 3.70.'de bulanıklığın zamanla değişimi gösterilmektedir. Bulanık değeri 5,12 NTU'dan 0,14 NTU'ya düşmüştür. Bulanıklık arıtma verimi %97,2' dir.



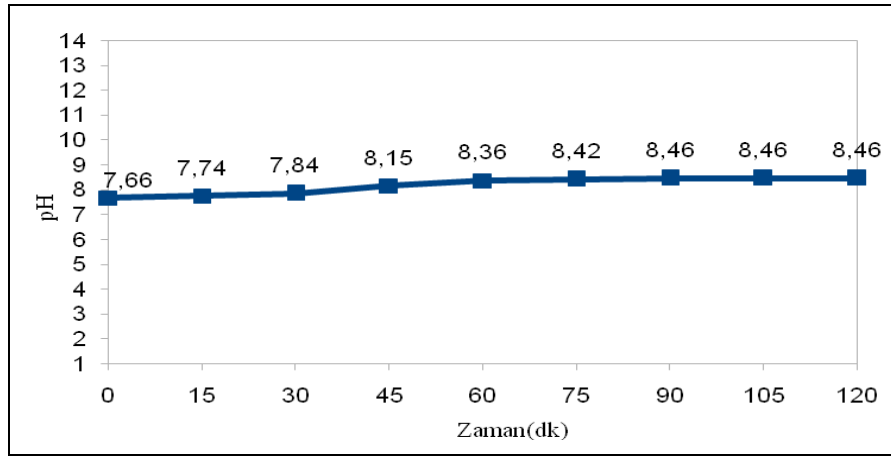
Şekil 3.70. Dokuzuncu alternatif bulanıklığın zamanla değişimi

Şekil 3.71.'de iletkenliğin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. İletkenlik değeri 804 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 'den 751 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 'e düşmüştür.



Şekil 3.71. Dokuzuncu alternatif iletkenliğin zamanla değişimi

Şekil 3.72.'de pH'ın zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.72. Dokuzuncu alternatif pH' ın zamanla değişimi

3.3.10.1. Dokuzuncu alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi

Geri kazanılan su Sınıf A kapsamında değerlendirilmektedir. Kentsel alanların sulanması ve tarımsal sulamada kullanılabilir. Tablo 3.35.'de IX. alternatifte ait parametre değerleri AATTUT Ek.7. Tablo 7.1. ve Tablo 7.9. ile karşılaştırılarak verilmektedir.

Tablo 3.35. Dokuzuncu alternatif pilot tesis verilerinin AATTUT EK 7. Tablo 7.1 ve 7.9 ile karşılaştırılması

	IX.Alternatif Giriş	IX.Alternatif Çıkış	AATTUT EK 7 Tablo 7.1 de İstenilen Değerler
pH	7,66	8,42	6-9
AKM	20 mg/L	0 mg/L	< 30 mg/L
Bulanıklık	5,12 NTU	0,14NTU	< 2NTU
KOİ	46 mg/L	4 mg/L	-
Bakiye Klor	0,5 mg/L	1,18 mg/L	> 1mg/L
Fekal Koliform	150adet/100mL	0adet/100mL	0/100mL
Toplam Koliform	1500adet/100mL	0adet/100mL	-
	IX.Alternatif Giriş	IX.Alternatif Çıkış	Olabilecek Nutrient Seviyeleri (AATTUT Ek.7 Tablo 7.9)
Toplam Azot	14,2 mgN/L	5,18 mgN/L	2-12 mgN/L
Toplam Fosfat	2,9 mgP/L	1,22 mgP/L	<2mgP/L
Nitrat Azotu	8,7 mgN/L	1,84 mgN/L	1-10mgN/L

3.3.10.2. Dokuzuncu alternatif sulama suyu kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi

Tuzluluk açısından pilot tesis sonuçları II. Sınıf Su kapsamında değerlendirilmektedir. SAR parametresi ve özgül iyon toksisitesi açısından ise I. Sınıf Su özelliği göstermektedir. İlgili parametrelerinin karşılaştırılması Tablo 3.36.'da gösterilmektedir.

Tablo 3.36. Dokuzuncu alternatif pilot tesis verilerinin sulama suyu kimyasal kalitesinin karşılaştırılması

Parametreler	Birimler	Kullanımda Zarar Derecesi			Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış
		Yok (I.sınıf su)	Az – Orta (II.sınıf su)	Tehlikeli (III.sınıf su)		
Tuzluluk						
İletkenlik	µs/cm	<700	700-3000	>3000	804	751
Toplam Çözülmüş Madde	mg/lt	<500	500-2000	>2000	643,2	600,8
Geçirgenlik						
SARTad	0-3	-	EC ≥ 0,7	0,7 – 0,2	<0,2	2,26
	3-6		≥ 1,2	1,2 – 0,3	<0,3	
	6-12		≥ 1,9	1,9 – 0,5	<0,5	
	12-20		≥ 2,9	2,9 – 1,3	<1,3	
	20-40		≥ 5,0	5,0 – 2,9	<2,9	
Özgül İyon Toksisitesi						
Sodyum(Na)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 3	3 – 9	> 9	4,8	7,84
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 70	> 70			
Klorür(Cl)						
Yüzey Sulaması	mg/L	< 140	140 – 350	> 350	77	40
Damlatmalı Sulama	mg/L	< 100	> 100			
Bor (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	0,5	0,4

3.3.10.3. Dokuzuncu alternatif sulama suyu eser elementlerinin değerlendirilmesi

AATTUT Ek.7. Tablo 7.7. ile pilot tesis ağır metal verileri karşılaştırıldığında çıkış suyu değerleri yönetmeliğin altındadır ve sulama suyu olarak kullanılmasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır. Tablo 3.37.'de sunulmaktadır.

Tablo 3.37. Sulama sularında izin verilen max. ağır metal-toksik element konsantrasyonlarının pilot tesis verileri ile karşılaştırılması

ELEMENTLER	Birim alana verilebilecek max toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen max konsantrasyonlar		Hendek Atıksu arıtma tesisi çıkış	IX. Alternatif AKF + UF + Klorlama
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24yıldan daha az sulama yapıldığında, (mg/L)		
Alüminyum(Al)	4600	5,0	20,0	0,095	0,276
Arsenik(As)	90	0,1	2,0	0,005	0,053
Berilyum(Be)	90	0,1	0,5	0	0
Bor(B)	680	-	2,0	0,5	0,4
Kadmiyum(Cd)	9	0,01	0,05	0	0
Krom(Cr)	90	0,1	1,0	0,014	0,006
Kobalt(Co)	45	0,05	5,0	0,003	0,001
Bakır(Cu)	190	0,2	5,0	0	0,002
Florür(F)	920	1,0	15,0	0,29	0,07
Demir(Fe)	4600	5,0	20,0	0	0
Kurşun(Pb)	4600	5,0	10,0	0	0
Lityum(Li)	-	2,5	2,5	0,03	0,016
Manganez(Mn)	920	0,2	10,0	0,3	0,02
Molibden(Mo)	9	0,01	0,05 ²	0,0002	0,0001
Nikel(Ni)	920	0,2	2,0	0	0,013
Selenyum(Se)	16	0,02	0,02	0,001	0,005
Vanadyum(V)	-	0,1	1,0	0,006	0,009
Çinko(Zn)	1840	2,0	10,0	0,97	0,16

3.3.10.4. Mikrobiyolojik kalite

Sisteme eklenen 0,6 ml NaClO ile çıkışta bakiye klor 1,18 mg/L olarak ölçülmüştür. Fekal koliform ve toplam koliform ise sıvı klor eklenmesiyle %100 oranında giderilmiştir.

3.3.10.5. Dokuzuncu alternatif pilot tesis verilerinin irdelenmesi

“AKF + UF + Klorlama” şeklinde kurulan pilot tesis arıtma süresi 75 dakikadır. KOİ değeri pilot tesise 46 mg/L ile girip 4 mg/L ile çıkmıştır. Arıtma verimi %91 olarak hesaplanmıştır. AKM ise 20 mg/L'den 0 mg/L'ye düşmüştür. Verimi %100 dür. Bulanık değeri ise 5,12 NTU'dan 0,14 NTU'ya düşmüştür. Arıtma verimi %97,2 dir.

pH 8,42 olarak ölçülmüştür. Sisteme eklenen klor ile fekal koliform ve toplam koliform değerleri 0 adet/100 mL olarak ölçülerek %100 giderim sağlanmıştır. Geri kazanılan su arıtılmış atık suların sınıflandırılmasında Sınıf A kalitesindedir.

İletkenlik 751 $\mu\text{s}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür, TÇM ise 600,8 mg/L hesaplanmıştır. Tuzluluk parametresi açısından değerlendirildiğinde II. Sınıf kalitesinde az- orta zarar derecesine sahip geri kazanılan sudur. SAR değeri pilot tesis çıkışında 2,185 olarak analiz edilmiştir EC ile ilişkilendirildiğinde geri kazanılan su I.Kalite Su olarak yorumlanmaktadır. Özgül iyon toksitesi açısından baktığımız sodyum, klorür ve bor parametreleri sırasıyla sistemden 7,84 mg/L, 40 mg/L ve 0,4 mg/L olarak çıkmıştır. I. Sınıf su elde edilmiştir. Diğer alternatiflerde olduğu gibi bu alternatifte de ağır metal pilot tesis giriş ve çıkış değerleri yönetmeliğin çok altındadır ve sulama suyu olarak kullanımında herhangi olumsuz etki söz konusu değildir. Nutrient seviyeleri; TN, TP, NO₃-N sırasıyla 5,18 mg/L, 1,22 mg/L ve 1,84 mg/L'dir. Verimleri ise %63, %58, %79 olarak hesaplanmıştır.

“AKF + UF + Klorlama” pilot tesis sonucunda geri kazanılan su Sınıf A kalitesinde tarımsal sulama ve her türlü yeşil alan, park - golf sahalarında kullanılabilecek bir sudur.

BÖLÜM 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sakarya İl'i su kirliliğinin birinci öncelikli sorun olduğu iller arasındadır ve son zamanlarda Sapanca Gölü büyük bir kuraklık tehlikesi altındadır. Sakarya Büyükşehir Belediyesi bu konuda kayda değer özgün çalışmalar yapsa da giderek artan şehircilik çalışmaları sonucunda yeni rekreasyon projeleriyle park ve yeşil alan uygulama çalışmaları devam etmektedir; Bu alanların (sosyal-ekonomik kullanım), sulanmasında ayrıca tarımsal faaliyetler için önemli miktarda suya ihtiyaç vardır. Sürdürülebilir su yönetimi için şehir şebeke suyu, yeraltı su kaynaklarını kullanmak yerine ve mevcut bu sular üzerindeki baskıyı azaltmak için arıtılmış atık suları ileri arıtıma tabi tutularak kullanmak, alternatif su kaynakları oluşturmak daha akılcı bir yaklaşımdır. Böylece gelecekte kesin olarak ortaya çıkması beklenen su sıkıntısının önüne geçilebilir.

Bu çalışma; Hendek ilçesi üzerindeki mevcut su tüketim miktarını bir nebze de olsa azaltmak, tarımsal sulama, rekreasyon, endüstriyel kullanım suyu ihtiyaçlarını birincil su kaynakları olan yüzeysel ve yeraltı sularından kullanmak yerine arıtılmış atık sulardan karşılamak, şehrin temiz su kaynaklarını korumak ve ya bu suların daha kaliteli su ihtiyacı olan yerlere iletimini sağlamak amacıyla yapılmıştır.

Ayrıca Hendek ilçesinin önemli akarsuları Dilsiz Çayı, Uludere, Aksu Deresi'nin kalitesini koruma ve bölge için alternatif bir su kaynağı temin edilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda Hendek AAT çıkış suyundan temin edilen arıtılmış atık su ile Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarında 50 L/sa debiyle çalışan pilot tesisler kurulmuştur. Pilot çalışmalarda kum filtre, aktif karbon filtre, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, UV dezenfeksiyon ve yumuşatma cihazları kullanılarak dokuz farklı alternatif denenmiştir. (Kum Filtre + Klorlama, Kum Filtre + Aktif Karbon Filtre + Klorlama, Kum Filtre + UV Dezenfeksiyon, Kum Filtre + Aktif Karbon Filtre + Yumuşatma + Klorlama, Kum Filtre + Mikrofiltrasyon + UV

Dezenfeksiyon, Aktif Karbon Filtre + Mikrofiltrasyon + Klorlama, PACS Dozajı + Kum Filtre + Klorlama, Kum Filtre + Ultrafiltrasyon + UV Dezenfeksiyon, Aktif Karbon Filtre + Ultrafiltrasyon + Klorlama). Her bir alternatif için sistem arıtma verimleri, pH, iletkenlik, bulanıklık, AKM, KOİ, toplam azot, toplam fosfat, nitrat azotu, SAR oranı, tuzluluk, özgül iyon toksisitesi, sulama suyu açısından değerlendirilmesi gereken ağır metaller (Al, As, B, Cr, Co, Cu, F, Fe, Pb, Mn, Mo, Ni, Zn, Cl⁻, V, Se, Cd, Li, Be), fekal koliform ve toplam koliform parametreleri araştırılarak değerlendirilmiştir. Hendek AAT çıkış sularının uyması gereken parametreler ve tez çalışmasındaki pilot ölçekli sistemlerde gereken parametrelerde AATTUT' ye göre verim değerlendirmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlar buna göre yorumlanmıştır. Aşağıdaki Tablo 4.1.'de çalışmada sunulan dokuz alternatifin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik parametreler açısından karşılaştırılması sunulmaktadır.

Tablo 4.1. Pilot tesis verilerinin karşılaştırılması

Parametre	KF+ Klor	KF+AKF + Klor	KF + UV	KF + AKF+ Yum. + Klor	KF + MF + UV	AKF + MF + Klor	PACS + KF + Klor	KF + UF + UV	AKF + UF + Klor
Arıtma süresi	90	105	75	45	90	75	60	75	75
AKM	1	3	2	3	2	0	0	0	0
KOİ	9	6	10	6	11	6	5	5	4
Bulanıklık	0,52	1,33	0,96	0,45	0,4	0,19	0,26	0,04	0,14
İletkenlik	765	760	711	338	797	725	879	701	751
PH	7,36	8,69	7,4	8,8	7,8	8,5	6,4	7,6	8,42
Bakiye Klor	1,2	1,36	1,83	1,10	1,17	1,36	1,19	1,36	1,18
F. Koliform	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T. Koliform	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tuzluluk Sınıfı	II.	II.	II.	I.	II.	II.	II.	II.	II.
SAR	I.	I.	I.	----	II.	I.	I.	I.	I.
Na	I.	I.	I.	II.	II.	I.	I.	I.	I.
Cl	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.
B	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.
Geri Kazanılan SINIF	A	A	A	----	A	A	A	A	A
Kullanım	Kentsel ve Tarımsal	Kentsel ve Tarımsal	Kentsel ve Tarımsal	Endüstriyel Kullanım Suyu	Kentsel ve Tarımsal	Kentsel ve Tarımsal	Kentsel ve Tarımsal	Kentsel ve Tarımsal	Kentsel ve Tarımsal

Genel olarak; IV. alternatif (KF + AKF + Yumuşatma + Klorlama pilot sistemi) hariç diğer alternatifler, geri kazanılmış su kalitesi açısından A sınıfı su dur. Sınıf A daki (a-tarımsal sulama: ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri ve b- kentsel alanların sulanması.) her iki kategoriye de girmektedir.

IV. alternatif ile proses suyu elde edilmeye çalışılmıştır ve yumuşatma cihazıyla sertlik %99,4 giderilse de endüstriyel proses sularında, sektöre bağlı olarak daha spesifik özelliklerde istenilebileceği için geri kazanılan suyun endüstriyel kullanım amacıyla değerlendirilmesi uygun bulunmuştur.

Tuzluluk açısından Hendek AAT'i çıkış suları da IV. alternatif haric diğer alternatiflerde II. Sınıf Su kullanımında az-orta zarar derecesine sahiptir. IV. alternatif hariç diğer alternatifler de TÇM değeri 500 -1000 mg/lit arasındadır ve bu aralıktaki hassas bitkiler tuzluluktan etkilenebilir. Her ne kadar damlatmalı sulama yöntemi kullanılıp SAR, klorür ve bor parametreleri açısından sorun teşkil etmese de geri kazanılan arıtılmış atık su fasulye, havuç, soğan, badem, kayısı, böğürtlen, çilek, erik, şeftali ve portakal gibi hassas bitkiler haricinde AATTUT Tablo E.7.3. belirtilen çizelgeye göre tuzluluğa orta hassas, orta toleranslı ve toleranslı bitkilerin sulanmasında kullanılması daha uygundur. Ayrıca yönetmelikte hassaslık iklime, toprak durumuna ve kültürel şartalara göre değişebilir denmektedir. İlçede en fazla mısır, buğday, yem bitkileri, fındık, şeker pancarı, tütün ve sebze yetiştirilmekte olup geri kazanılan arıtılmış atıksular bu alanlarda kullanılabilir.

Yapılan çalışmada arıtma cihazı olarak Hendek AAT'i için membran filtrelere gerek yoktur. IX. alternatif (AKF + UF + Klorlama)'te KOİ ve bulanıklık arıtma verimleri daha yüksek olmasına rağmen kum filtre veya aktif karbon filtre ile bölgenin Sınıf A kategorisinde sulama suyu ihtiyacı karşılanabilmektedir. Arıtma verimi-süresi açısından iki cihaz incelendiğinde aktif karbon filtre, kum filtre cihazına göre daha iyi performans göstermektedir.

VII. alternatifin arıtma süresi (PACS+KF+klorlama) VI. alternatif (AKF+MF+Klorlama) göre daha düşük bulunmuştur. Ancak VI. alternatif AKF

öncesinde PACS kullanılması durumunda arıtma süresinde düşme gözlenecektir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda VI. alternatifin; mikrofiltrasyon cihazının bu çalışmada olumlu etkisi olmadığından Hendek AAT'i için AKF+klorlama şeklinde kurulması işletme yatırım maliyeti açısından daha uygun bulunmuştur.

Geri kazanılmış atık su ile tarımsal faaliyetler gerçekleştirildiğinde, geri kazanılan su içerisinde bulunan organik maddeler, bitkiler için gerekli olan gübre gereksinimini büyük ölçüde gidereceğinden, hedef grupların kimyasal gübre kullanımından tasarruf sağlayacağından temiz suyun kullanımına göre daha avantajlıdır.

Hendek İlçesi'n de en çok tercih edilen kuyular vasıtasıyla çekilen yer altı su kaynakları korunmuş olup şebeke suyunun tercih edilmesi de azaltılmış olacaktır. En önemli olan durum ise, içilebilecek kalitede olan şebeke suyu ve yer altı su rezervi de arıtılmış suların tekrar kullanımı ile gelecek nesiller için hem miktar hem de kalite olarak elimizin altındaki hazine olmaya devam edecektir.

Proje sonucunda Hendek AAT çıkışında kurulacak olan geri kazanım ünitesiyle günlük 12.000 m³ yıllık ise 4.320.000 m³ atıksu geri dönüştürülerek tekrar kullanılabilir. Bu sular ihtiyaç doğrultusunda Hendek ilçesinde bulunan 54 ha'lık aktif yeşil alanlarda kullanılacak ve endüstriyel kullanımlar için Sakarya 2. Organize Sanayi Tesislerine verilecektir. Bu çalışma yukarıdaki değerler doğrultusunda Hendek ilçesi su yönetimi, politikaları, ekolojik dengelerin bozulmaması ve çevre korunması için uygulanması gerekli bir projedir.

KAYNAKLAR

- [1] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Cambridge Energy Research Associates, 2009.
- [2] WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)., The United Nations World Water Development Report 2, Water and Jobs. Paris, UNESCO, 2016.
- [3] Food and Agriculture Organisation (FAO) AQUASTAT, 2016.
- [4] Gleick, P., Cooley, H., Cohen, M.J., Morikawa, M., Morrison, J. ve Palaniappan, M., The World's Water Vol.7: The Biennial Report on Freshwater Resources, Pacific Institute WashingtonDC, ABD: Island Press, 2016.
- [5] <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, Erişim Tarihi: 18 09 2016.
- [6] Devlet Planlama Teşkilatı Başbakanlık, "10. Kalkınma Planı 2014-2018."
- [7] Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., Melin, T., Wastewater reuse in Europe, Desalination, 187, 1-3, 89-101., 2006.
- [8] Angelakis, A.,N. ve Gikas, P., Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states, Water Utility Journal, 8, 67-78, 2014.
- [9] Devlet Planlama Teşkilatı Başbakanlık, 9. Kalkınma Planı 2007-2013.
- [10] T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atıksu Eylem Planı 2015-2023.
- [11] Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Resmi Gazete Sayısı: 27527, 2010.
- [12] Sakarya Bşyşkşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi. '2012-2016 Stratejik Plan'. <http://www.sakarya-saski.gov.tr/Sayfalar/Kurumsal/Stratejik-Plan.aspx>. Erişim Tarihi: 10.04.2014.

- [13] Tanık, A., Öztürk, İ. ve Cüceloğlu, G., Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri, 2. Baskı, Türkiye Belediyeler Birliği, Ankara, 1-125, 2016.
- [14] <https://www.nap.edu/read/13303/chapter/4#33>, Erişim Tarihi: 22.01.2017.
- [15] Metcalf ve Eddy Inc., Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, Third Edition, McGraw-Hill Inc., Singapore, 1991.
- [16] Asano, T., Burton, L., F., Leverenz, L.H., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G., Water reuse : issues, technologies, and applications, 1. Baskı.McGraw Hill Yayınları, USA, 2007.
- [17] S. Environmental Protection Agency, “Guidelines for Water Reuse”, EPA/600/R-12/618, Sep. 2012.
- [18] BIO by Deloitte, Optimising water reuse in the EU – Final report prepared for the European Commission (DG ENV), Part I. In collaboration withICFandCranfieldUniversity, 2015.
- [19] Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T. ve Zahoor A.,A., Global, regional, a country level need for data on wastewater generation, treatment, and use, Agricultural Water Management, 130, 1-13, 2013.
- [20] Kellis, M., Kalavrouziotis, I., K., Gikas, P., Review of wastewater reuse in the Mediterranean countries, focusing on regulations and policies for municipal and industrial applications, Global Nest Journal, 15, 3, 333-350, 2013.
- [21] Ekinci, B., Su kaynaklarının verimli kullanılmasına yönelik örnek ülke uygulamaları ve ülkemizde bu çalışmaların uygulanabilirliği, T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, 2015.
- [22] Raso, J., Updated Report On Wastewater Reuse In The European Union, 2013.
- [23] Christou, A., Eliadou, E., Michael, C., Hapeshi, E., Fatta-Kassinou, D., Assessment of long-term wastewater irrigation impacts on the soil geochemical properties and the bioaccumulation of heavy metals to the agricultural products, Environmental Monitoring and Assessment, 186,8, 4857–4870, 2014.
- [24] Arab Countries Water Utility Association, ACWUA., Wastewater Reuse in Arab Countries,2010.

- [25] Choukrallah, R., Wastewater Treatment and Reuse, AFED Arab Forum for Environment and Development, 2010.
- [26] “A Summary of Proceedings Expert Consultation Wastewater Management in the Arab World, Dubai-UAE., 22–24.05.2011.
- [27] “Kurtkulak, H., Kentsel atıksuların geri kazanımı ve yeşil alanların sulanmasında yeniden kullanımı: Konya kenti örneği, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [28] Mekala, G. D., Davidson, B., Samad, M., Boland, A. M., Wastewater reuse and recycling systems: A perspective into India and Australia. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 35p. (IWMI Working Paper 128), 2008.
- [29] Murray, A., ve Ray, I., Wastewater for agriculture: A reuse-oriented planning model and its application in peri-urban China, Water research, 44, 1667–1679, 2010.
- [30] Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation, Policies and Standards, United Nations Environment Programme, 2015.
- [31] http://www.lacsd.org/images/Pomona_WRP_Schematic_2015.jpg, Erişim Tarihi: 25.12.2016.
- [32] Review of Wastewater Reuse Project Worldwide - Collation of Selected International Case Studies and Experiences, 2011.
- [33] International Water Association, IWA, Alternative Water Resources: A Review of Concepts, Solutions and Experiences, 2015.
- [34] Apostolidis, N., Hertle, C. ve Young, R., Water Recycling in Australia, 3, 869-881, 2011.
- [35] <http://www.myrecycledwater.com.au/about-us/case-studies/illawarra-water-treatment-plant> erişim tarihi: 03.01.2017.
- [36] Water Reuse 2030 Identifying Future Challenges and Opportunities, Watereuse Research Foundation, product number: 06-017-1, 2012.
- [37] Hirich, A., Choukrallah, R., Wastewater reuse in the Mediterranean region: Case of Morocco. 13. Baskı, World Wide Workshop for Young Environmental Scientists (WWW-YES-2013), 2013.

- [38] Afyonkarahisar İli Atıksu Arıtma Tesisi Kurma ve İşletme Birliği., Akarçay Havzasında Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanılmasının Araştırılması, 2013.
- [39] <http://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/haberler/haberler-detay/atiksular-donusuyor>, Erişim tarihi: 18.09.2016.
- [40] <http://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/iski-hakkinda/aritma-tesisleri/atiksu-aritma-tesisleri/atakoy-atiksu-aritma-tesisi>, Erişim Tarihi: 18.09.2016.
- [41] <https://www.isu.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=329>, Erişim Tarihi: 06.03.2018.
- [42] Duman, H., Arıtılmış kentsel atık suların sulamada yeniden kullanımı; Kayseri atıksu arıtma tesisi örneği, T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, 2017.
- [43] <http://www.sakarya-saski.gov.tr/Sayfalar/Tesisler/Atiksu-Tesis-Hendek.aspx> Erişim Tarihi: 12.06. 2016.
- [44] <https://www.sakarya-saski.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=87>, Erişim Tarihi: 19.04.2017.
- [45] <http://www.epacevre.com.tr/proje/kum-filtreleri/37/>,Erişim Tarihi:20.04.2017.
- [46] <http://www.epacevre.com.tr/proje/aktif-karbon-filtreleri/30/>, Erişim Tarihi: 6.06.2016.
- [47] <http://www.epacevre.com.tr/proje/yumusatma-sistemleri/47/> Erişim Tarihi: 6.06.2016.
- [48] <http://ultramembrane.com/archives/510> Erişim Tarihi: 12.06.2016.
- [49] Aras, İ., Damla sulama yöntemi, Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara, 15, 1-2, 2006.
- [50] Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, Resmi Gazete Sayısı: 20748, 1991.
- [51] Fatta D., Good Practice Examples on the Utilization of Treated Wastewater for Irrigation Purposes, University of Cyprus Civil and Environmental Engineering Department, Israel, 2005.
- [52] Hamoda M.F., Al-Ghusain I., AL-Mutairi N.Z., Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse”, Desalination, 164, 203-211, 2004.

- [53] Ahmad I. Al-Turki, Assessment of Effluent Quality of Tertiary Wastewater Treatment Plant at Buraidah City and Its Reuse in Irrigation. *Journal of Applied Sciences*, 10: 1723-1731, 2010.
- [54] Betuw V., Rijs W., Implementation of the water frame directive at wastewater treatment plants in the netherlands, 1-9, 2009.
- [55] Vergine, P., Surface filtration technologies for municipal wastewater reuse for irrigation – Preliminary results of demo-scale activities in Wastewater and Biosolids Treatment and Reuse: Bridging Modeling and Experimental Studies, Dr. Domenico Santoro, Trojan Technologies and Western University Eds, ECI Symposium Series, 2014.
- [56] Üstün, G., Kutlu, S., Solmaz, A., Çiner, F ve Başkaya, H., Tertiary treatment of a secondary effluent by the coupling of coagulation–flocculation–disinfection for irrigation reuse, *Desalination*, 277, 207–212, 2011.
- [57] Munoz, J.I, Mendoza, Roca J.A., Iborra,Clar A., Bes,Pia A., Fajardo, Montanana V. Martinez, Francisco F.J., Bernacer-Bonora I., Study of different alternatives of tertiary treatments for wastewater reclamation to optimize the water quality for irrigation reuse, *Desalination*, 222, 222-229, 2008.
- [58] Libutti, A., Gattaa, G., Gagliardi, A., Vergine, P., Pollice, A., Beneducea, L., Disciglio, G. ve Tarantino, E., Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions, *Agricultural Water Management* 196, 1-14b, 2018.
- [59] Carre, E., Beigbeder, J., Jauzein, V., Junqua, G. ve Lopez, Ferber, M., Life cycle assessment case study: Tertiary treatment process options for wastewater reuse, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 6, 1113-1121, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında izmitte doğdu. İlk, orta ve lise öğretimini Kocaeli’de tamamladı. 2004 – 2008 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünde okudu. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği ABD. yüksek lisans eğitimine başladı.