

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

**TUVALET KAĞITLARININ ATIKSU
SİSTEMLERİNDE FİZİKSEL PARÇALANMASININ
ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Çevre Yük. Müh. Beytullah EREN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Fatih KARADAĞLI

Nisan 2012

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

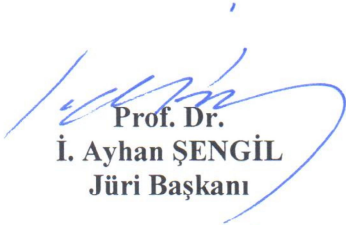
TUVALET KAĞITLARININ ATIKSU
SİSTEMLERİNDE FİZİKSEL PARÇALANMASININ
ARAŞTIRILMASI

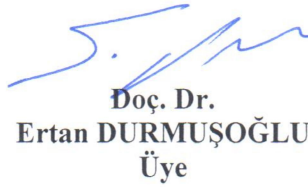
DOKTORA TEZİ

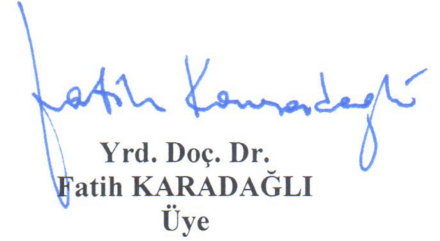
Çevre Yük. Müh. Beytullah EREN

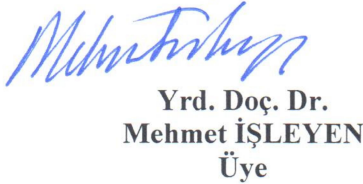
Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

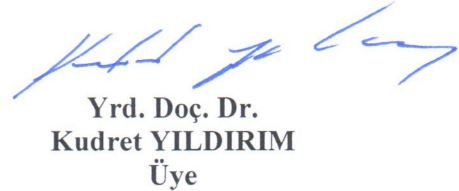
Bu tez 24 / 04 /2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
İ. Ayhan ŞENGİL
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Ertan DURMUŞOĞLU
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Fatih KARADAĞLI
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Mehmet İŞLEYEN
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Kudret YILDIRIM
Üye

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana başından sonuna kadar yardımcı olan, ilgi ve desteğini hiç eksiltmeyen, yardımcı ve yol gösterici olan, engin bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren değerli danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih KARADAĞLI başta olmak üzere; Tez İzleme Komitesinde yer alan, bilgi ve tecrübeleriyle çalışmaya önemli katkılarda bulunan hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet İŞLEYEN ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Kudret YILDIRIM'a, tez çalışmamın laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen ve bana laboratuvarını açarak her türlü kolaylığı sağlayan Oulu Üniversitesi Fibre and Particle Engineering Laboratuvarı koordinatörü Sayın Prof. Dr. Jouko Niinimäki'ye içtenlikle teşekkür ederim.

Benim bu aşamaya gelmemde en çok emeği geçen, her zaman maddi ve manevi desteklerini yanımda hissettiğim başta annem ve babam Fatma-Hamdi EREN'e, kayınvalidem ve kayınpederim Hanife-Prof. Dr. Murat ELEVLI'ye, Doktora eğitimim süresince benden destekleri esirgemeyen ve sabır gösteren eşim Hatice ELEVLI EREN'e, biricik oğlum Ahmet Eymen EREN'e ve kardeşlerim Betül ve Beyza EREN'e en içten saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma, Sakarya Üniversitesi (SAÜ) Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (BAPK) tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2009-50-02-010). Çalışmaya desteğinden dolayı SAÜ-BAP Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim. Ayrıca Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)-Bilim İnsanı Destekleme Başkanlığı (BİDEB)'na Doktora öğrenimim süresince verdiği desteklerden dolayı teşekkür ederim.

Beytullah EREN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

KONUyla İLGİLİ YAPILAN BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ÇALIŞMALAR	6
---	---

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE METOT	10
3.1. Tuvalet Kağıdı Tüketiminin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntem.....	10
3.2. Verilerin Analizinde Kullanılan İstatistiksel Testler.....	12
3.3. Tuvalet Kağıtlarının Fiziksel Karakterizasyonu	13
3.3. Fiziksel Parçalanma Teorisi ve Matematiksel Modelleme	16
3.4. Fiziksel Parçalanma Deneyleri.....	19
3.5. Islak Elek Analiz Metotları ve Parçacık Dağılımı	20
3.5.1. Sıralı ayırma yöntemi -Türkiye	20
3.5.2. Dikey elek hareketi ile ayırma yöntemi - Finlandiya.....	21
3.6. Deneysel Çalışmada Kullanılan Tuvalet Kağıdı Miktarları.....	24
3.7. Deneysel Sistemin FLOW3D ile Simülasyonu.....	24

3.8. Kanalizasyon Sistemleri için Reynolds (Re) Sayılarının Hesaplanması.....	26
---	----

BÖLÜM 4.

KİŞİ BAŞINA TUVALET KAĞIDI TÜKETİMİ VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ

BULGULARI	28
4.1. Ön Hazırlık Çalışmaları	28
4.2. Verilerin Toplanması ve Analizi	30
4.3. Tüketicilere Ait Demografik Bilgiler	31
4.4. Kişi Başı Tüketim Miktarları	32
4.5. Tüketimi Etkileyen Faktörlerin Analizi	34
4.6. Tüketimin Demografik Özelliklere Bağlı Analizi.....	35

BÖLÜM 5.

TUVALET KAĞITLARININ FİZİKSEL KARAKTERİZASYON BULGULARI. 42

5.1. Tuvalet Kağıtlarının Kategorizasyonu	42
---	----

BÖLÜM 6.

TUVALET KAĞIDININ FİZİKSEL PARÇALANMA DENEY VE MODELLEME

BULGULARI.....	48
6.1. Ön Deneysel Çalışmalar.....	48
6.2. Orta Kalite Ürünün (TKO-2) 200 devir/dakika Karıştırma Hızında Fiziksel Parçalanmasından Elde Edilen Deneysel Veriler ve Modelleme Tahminlerinin Karşılaştırılması	50
6.3. Yüksek Kalite Ürünün (TKL-1) 200 devir/dakika Karıştırma Hızında Fiziksel Parçalanmasından Elde Edilen Deneysel Veriler ve Modelleme Tahminlerinin Karşılaştırılması	54

BÖLÜM 7.

TÜRBÜLANSIN FİZİKSEL PARÇALANMAYA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

BULGULARI	58
7.1. TKL-4 Ürünün Fiziksel Parçalanmasından Elde Edilen Deneysel Veriler ve Modelleme Tahminleri.....	59

7.2. TKL-6 Ürünün Fiziksel Parçalanmasından Elde Edilen Deneysel Veriler ve Modelleme Tahminleri.....	67
BÖLÜM 8.	
DENEY SİSTEMİNDEKİ TÜRBÜLANSIN GERÇEK ATIKSU SİSTEMLERİNDE GÖRÜLEN TÜRBÜLANSLA KARŞILATIRILMASI.....	79
8.1. Gerçek Atıksu Toplama Sistemlerinde Görülen Türbülans ve Reynolds Sayıları	79
BÖLÜM 9.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	96

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

R_{dis}	: Fiziksel parçalanmaya uğrayan ürünün birim zamanda kütlesindeki değişim hızı (mg/s)
dM/dt	: Birim zamanda (s) ürünün kütlesindeki (mg) değişim miktarı
V	: Sıvı hacmi (L)
k_{dis}	: Ürünün yapısal ve parçalanma özelliklerini temsil eden parçalanma hızı katsayısı (1/s)
Re	: Reynolds sayısı (boyutsuz)
C	: Ürünün sudaki kütleli konsantrasyonu (mg/L)
ρ	: Suyun yoğunluğu (g/cm^3)
v	: Suyun ortalama akış hızı (cm/s)
r	: Hidrolik yarıçap (= akış kesit alanı/ıslak çevre) (cm)
D	: Çap (cm)
μ	: Suyun dinamik viskozitesi (g/cm-s)
n	: Boru pürüzlülük katsayısı (boyutsuz)
s	: Borunun taban eğimi (m/m)
p	: Anlamlılık düzeyi
TKL	: Lüks kalite tuvalet kağıdı
TKO	: Orta kalite tuvalet kağıdı
k_i	: Özgün parçalanma hızı katsayısı (sa^{-1})
f_i	: Dağılım oranı (boyutsuz)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Tuvalet kağıdı kalınlıklarının mikroskopik ölçümü. (a) Mikroskop, (b) Numune koyma yeri, (c) Ölçüm sonuçlarını gösteren ekran, (d) ölçümü yapılan bir katın mikroskopik yankesit görüntüsü.....	15
Şekil 3.2.	Tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanması.....	17
Şekil 3.3.	Orbital karıştırıcı düzeneği.....	20
Şekil 3.4.	Vakumla filtreleme düzeneği.....	21
Şekil 3.5.	Elek düzeneğinde kullanılan elekler (a:11,3 mm; b:8 mm; c:3,36 mm; d:1,41 mm).....	22
Şekil 3.6.	Dikey hareketli elek düzeneği.....	23
Şekil 3.7.	Vakumla filtreleme düzeneği.....	23
Şekil 3.8.	Filtre kağıtlarının kurutulduğu hızlı kurutucu.....	24
Şekil 3.9.	1 L su bulunan beher içerisinde 64-300 devir/dakika dönüş hızı aralığı için simülasyondan tahmin edilen Re değerleri.....	25
Şekil 6.1.	Orta kalite ürünler için 2,2 g/L başlangıç konsantrasyonunda fiziksel parçalanma deneylerinden elde edilen sonuçlar	49
Şekil 6.2.	Lüks kalite ürünler için 2,66 g/L başlangıç konsantrasyonunda fiziksel parçalanma deneylerinden elde edilen sonuçlar	49
Şekil 6.3.	TKO-2 ürününün fiziksel parçalanma deney sonuçları (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): (a) Birincil y eksenini >11 mm parçalar (kare), ikincil y eksenini 8-11 mm'lik parçalar (üçgen), 5-8 mm'lik parçalar (daire); (b) Birincil y eksenini 2-5 mm'lik parçalar (kare) ve <2 mm parçalar (üçgen).....	51

Şekil 6.4.	TKL-1 ürününün fiziksel parçalanma deney sonuçları (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): (a) Birincil y eksenini >11 mm parçalar (kare), ikincil y eksenini 8-11 mm'lik parçalar (üçgen), 5-8 mm'lik parçalar (daire); (b) Birincil y eksenini 2-5 mm'lik parçalar (kare) ve <2 mm parçalar (üçgen).....	56
Şekil 7.1.	TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen); 8-11,3 mm (artı); 3,36-8 mm (baklava); 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare).....	60
Şekil 7.2.	TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen); 8-11,3 mm (artı); 3,36-8 mm (baklava); 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare).....	63
Şekil 7.3.	TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen); 8-11,3 mm (artı); 3,36-8 mm (baklava); 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare).....	66
Şekil 7.4.	TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen); 8-11,3 mm (artı); 3,36-8 mm (baklava); 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare).....	69
Şekil 7.5.	TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen); 8-11,3 mm (artı); 3,36-8 mm (baklava); 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare).....	72

- Şekil 7.6. TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen); 8-11,3 mm (artı); 3,36-8 mm (baklava); 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare)..... 75
- Şekil 7.7. TKL-4 ürünün ve farklı boyutlardaki kağıtların parçalanma hız katsayılarının ($k_i Re$) değerlerinin türbülansa göre değişimleri: (a) >11,2 mm, 8-11,2 mm ve 5-8 mm boyutlu parçacıklar; (b) <1,41 mm boyutlu parçacıklar..... 77
- Şekil 7.8. TKL-6 ürünün ve farklı boyutlardaki kağıtların parçalanma hız katsayılarının ($k_i Re$) değerlerinin türbülansa göre değişimleri: (a) >11,2 mm, 8-11,2 mm ve 5-8 mm boyutlu parçacıklar; (b) <1,41 mm boyutlu parçacıklar..... 78

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Tuvalet kağıdı tercihinde etkili faktörler tablosu.....	29
Tablo 4.2.	Ankete katılan bireylerin demografik özellikleri.....	31
Tablo 4.3.	Tüketicilerin tuvalet kağıdı satın alma değişkenlerinin istatistikleri.....	34
Tablo 4.4.	Bağımlı değişkenler itibari ile cinsiyete dayalı farklılıklarını gösteren test sonuçları.....	36
Tablo 4.5.	Bağımlı değişkenlerin cinsiyete göre ortalamaları ve çok değişkenli varyans analizi sonuçları.....	36
Tablo 4.6.	Bağımlı değişkenler itibari ile yaş gruplarına dayalı farklılıkları gösteren test sonuçları.....	37
Tablo 4.7.	Bağımlı değişkenlerin yaş grupları ortalamaları ve çok değişkenli varyans analizi sonuçları.....	37
Tablo 4.8.	Bağımlı değişkenler itibari ile gelir gruplarına dayalı farklılıkları gösteren test sonuçları.....	38
Tablo 4.9.	Bağımlı değişkenlerin gelir grupları ortalamaları ve çok değişkenli varyans analizi sonuçları.....	38
Tablo 4.10.	Fiyat bağımlı değişkeni için gelir alt grupları çoklu karşılaştırmalar tablosu (Tukey Testi).....	39
Tablo 4.11.	Bağımlı değişkenler itibari ile eğitim düzeyine dayalı farklılıkları gösteren test sonuçları.....	40
Tablo 4.12.	Bağımlı değişkenlerin eğitim düzeyi ortalamaları ve çok değişkenli varyans analizi sonuçları.....	40
Tablo 4.13.	Su tutma kapasitesi bağımlı değişkeni için eğitim düzeyi alt grubu çoklu karşılaştırmalar tablosu (Tukey Testi).....	40
Tablo 4.14.	Bağımlı değişkenler itibari ile yaşanılan bölgeye dayalı farklılıkları gösteren test sonuçları.....	41

Tablo 4.15.	Bağımlı değişkenlerin yaşanan bölge ortalamaları ve çok değişkenli varyans analizi sonuçları.....	41
Tablo 5.1.	Lüks kalite ürünler olarak kategorize edilen tuvalet kağıtlarının karakteristik özellikleri.....	43
Tablo 5.2.	Orta kaliteli ürünler olarak kategorize edilen tuvalet kağıtlarının karakteristik özellikleri.....	44
Tablo 5.2.	Orta kaliteli ürünler olarak kategorize edilen tuvalet kağıtlarının karakteristik özellikleri (Devamı).....	45
Tablo 6.1.	TKO-2 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler.....	50
Tablo 6.2.	TKO-2 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$).....	53
Tablo 6.3.	TKL-1 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler.....	54
Tablo 6.4.	TKL-1 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$).....	57
Tablo 7.1.	TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, $n=3$)	59
Tablo 7.2	TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$).....	61
Tablo 7.3.	TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, $n=3$)	62
Tablo 7.4.	TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$).....	64

Tablo 7.5.	TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, n=3)	65
Tablo 7.6.	TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$).....	67
Tablo 7.7.	TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, n=3)	68
Tablo 7.8.	TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$).....	70
Tablo 7.9.	TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, n=3)	71
Tablo 7.10.	TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$).....	73
Tablo 7.11.	TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, n=3)	74
Tablo 7.12.	TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$).....	76
Tablo 8.1.	Boru çaplarına göre hidrolik yarıçaplar.....	80
Tablo 8.2.	Boru çaplarına göre minimum eğim değerleri.....	81
Tablo 8.3.	Tam dolu akış durumunda akış hızı değerleri.....	81
Tablo 8.4.	Kısmi akış şartlarındaki hidrolik yarıçap ve kısmi akış değerleri..	82
Tablo 8.5.	Seçilen boru çapları için hesaplanan minimum ve maksimum Re sayıları ve karıştırma hızları.....	84

ÖZET

Anahtar kelimeler: Tuvalet Kağıdı, Atıksu Sistemleri, Fiziksel Parçalanma, Modelleme

Tuvalet kağıtları kullanıldıktan sonra genellikle kanalizasyon sistemlerine bırakılarak bertaraf edilmektedir. Kanalizasyon sistemlerine bırakılan atık tuvalet kağıtları, ortamdaki yağ ve benzeri hidrofobik maddeleri absorbe ederek parçalanması zor olan maddeler haline dönüşüp, su akımının düşük olduğu durumlarda atık su borularında tıkanmalara neden olmaktadır. Ülke çapında, belediyeler kanalizasyonlardaki tıkanmaları gidermek için önemli miktarda harcama yapmaktadırlar. Ayrıca tıkanmalar sonucunda atık su evlere ve caddelere girebilmekte ve bu durum ortaya çıkan maliyeti önemli ölçüde artırdığı gibi atık suyun içerdiği patojen mikroorganizmalar da insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu olumsuzlukları minimize etmek ve tıkanma problemlerini önlemek için, tuvalet kağıtlarının kanalizasyon sistemlerindeki davranışlarının bilimsel olarak sistematik bir biçimde araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanmasının deneysel ve matematiksel modelleme yoluyla araştırılmasıdır. Bu amaçla, literatürden elde edilen hijyenik ürünlerin kanalizasyon sistemlerinde fiziksel parçalanması için geliştirilen teorik yaklaşım ve matematiksel model, tuvalet kağıtları için uyarlanmış ve modelleme çalışmaları ile birlikte deneysel testler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama deneylerde iki farklı fiziksel karakterizasyondaki tuvalet kağıdı kullanılarak fiziksel parçalanma teorisi ve matematiksel modelin doğruluğu test edilmiştir. İkinci aşama deneylerde ise türbülansın fiziksel parçalanmaya etkisini belirlemek için iki farklı tuvalet kağıdının 3 değişik karıştırma hızında fiziksel parçalanması incelenmiştir. Bununla birlikte, deneysel şartlarda meydana gelen türbülans şartları ile gerçek atık su sistemlerindeki türbülans şartları karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanması deneysel ve modelleme sonuçlarıyla açıklığa kavuşturulmuştur. Türbülansın parçalanma işlemine etkisi belirlenmiştir. Deney ortamındaki türbülansın gerçek atıksu sistemlerini temsil edici düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Gerçek atıksu sistemlerinde parçalanmanın yavaş şekilde gerçekleşeceği riskli bölgeler belirlenmiştir.

INVESTIGATION OF PHYSICAL DISINTEGRATION OF TOILET PAPER IN WASTEWATER SYSTEM

SUMMARY

Key Words: Toilet paper, Wastewater System, Physical Disintegration, Modeling

Toilet papers are disposed of into sewer systems where they blend with other waste materials such as waste food and grease, personal care products, detergents, and cosmetics. Most of these substances can be absorbed by toilet papers to hinder their transport and disintegration in sewer systems. Subsequently, sewer blockages occur to create risk for human health, maintenance and aesthetic problems, and financial cost. In this regard, limited information is available about the fate of toilet papers in sewers. Therefore, physical disintegration of toilet papers as well as their chemical and microbial interactions must be investigated systematically.

In this study, physical disintegration of toilet papers is studied as the first step toward understanding their behavior in sewer systems. We collected various tissue products from different parts of the world and characterized them based on their physical properties such as sheet thickness, basis weight, and specific volume. A mathematical model was developed to simulate physical disintegration of toilet papers under various turbulence conditions. This model was tested with physical disintegration experiments with two different toilet papers that are representative of most products around the world. The additional experimental and modeling work was conducted to elucidate effect of turbulence on disintegration of toilet papers. Turbulence conditions in the experimental system were compared with actual systems to identify critical sections of sewer systems where disintegration will be limited.

Our results show that all of the major trends during physical disintegration of toilet papers were captured by our experimental and modeling studies. Our results show that the rate of physical disintegration increases along with the level of turbulence in the experimental system. Comparison of turbulence levels in the experimental system to those in actual sewer systems indicate that drains and small size pipes are critical sections of sewer system in terms of physical disintegration.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde, tuvalet kağıdı, ıslak mendil, hijyenik ped ve tampon gibi ürünlerin tüketimi giderek artmaktadır. Bu ürünler kullanıldıktan sonra tuvaletlerde bulunan çöp kovalarına veya kanalizasyon sistemine bırakılarak bertaraf edilmektedir. Kullanılmış ürünler çöp kovalarında koku, estetik ve hijyen sorunlarına yol açarken, kanalizasyon sistemine bırakıldığında ise taşınım ve parçalanma problemleri görülmektedir.

Bu ürünlerden tuvalet kağıtları, dünyada ve ülkemizde, en fazla tüketilen kişisel temizlik ürünleridir. Tuvalet kağıtları, çok katlı, parfümlü, renkli ve desenli olmak üzere farklı çeşitlerde tüketicilere sunulmaktadır. Bu ürünlerin tasarım ve üretimi, tüketicilerin beklentilerine göre yapılmaktadır. Bu nedenle, yumuşaklık, su tutma kapasitesi, yırtılmaya karşı direnci gibi parametreler tasarımda ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu ürünlerin atık su sistemlerindeki davranış ve etkileri belirlenmeli ve tasarımlarında dikkate alınmalıdır.

Atık su toplama ve taşıma sistemleriyle ilgili hesaplamalar yalnızca su akışına göre yapılmakta ve bu nedenle, tuvalet kağıdı gibi ürünler göz ardında kalmaktadır. Hesaplamaların yanı sıra, inşaatlardaki uygulama problemleri bu ürünlerin taşınımını daha da zorlaştırmaktadır. Örneğin, atık su borularının yatay zemin üzerine eğimsiz şekilde döşenmesi ve özellikle su akımının yetersiz olması durumunda, tuvalet kağıtları bu borularda birikmekte ve zamanla tıkanmalar görülmektedir. Tıkanmalar, insan sağlığı, koku, estetik ve finansal maliyet gibi istenmeyen problemleri beraberinde getirmektedir.

Tuvalet kağıtlarının yanı sıra, atık yağlar ve yemekler, deterjanlar, şampuan, ilaç ve kozmetik ürünler de atık su sistemlerine bırakılmaktadır. Tuvalet kağıtları bu tür

maddeleri kolaylıkla absorbe edebilmektedir. Bu işlem, boru eğiminin düşük ve su akımının yetersiz olduğu bölgelerde hızlı şekilde meydana gelmektedir. Bu durumda, tuvalet kağıtlarının taşınım ve parçalanmaları biraz daha güçleşmektedir.

Atık yağ ve benzeri maddeler, hidrofobik ve negatif yüklü olup, atık su içerisindeki pozitif yüklü kalsiyum ve magnezyum iyonları (Ca^{+2} , Mg^{+2}) ile kompleks oluşturma ve çökeltme reaksiyonları vermektedir. Yağ molekülleri ile Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları arasındaki çökeltme reaksiyonları, ilgili maddelerin konsantrasyonlarına ve ortamın pH'sına bağlıdır. Bu olayların sonucunda, atık su borularında FOG (fat, oil, grease) depozitleri olarak bilinen katı birikimler meydana gelmektedir. FOG depozitleri, özellikle lokanta ve benzeri işletmelerin atık su çıkış noktalarında sıkça görülmekte ve zamanla tıkanmalara sebep olmaktadır. Tuvalet kağıtları, atık yağ gibi maddeleri absorpsiyon yoluyla konsantre hale getirmekte ve ilgili birikimlerin oluşmasında belirli bir rol oynamaktadırlar.

Buna karşılık, tuvalet kağıtları fiziksel parçalanmayla birlikte küçük boyutlu selülozik parçacıklara dönüşmektedir. Suyu taşınımı kolay olan bu parçacıklar, atık sudaki hidrofobik maddeleri absorbe ederek beraberlerinde taşıyabilirler. Bu nedenle, tuvalet kağıdı gibi selülozik ürünlerin atık su sistemlerindeki davranışları önemli olmaktadır. Ancak, bu konular hakkında yeterli bilgi birikimi mevcut değildir.

Yukarıda açıklanan sebep ve bilgilerin ışığı altında, tuvalet kağıtlarının atık su toplama ve taşıma sistemlerindeki davranışlarının sistematik bir biçimde araştırılması gerekmektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasının amaçları ve genel kapsamı aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

- Dünyanın birçok ülkesinde kişi başı tuvalet kağıdı tüketim miktarları bilinirken, ülkemizde konuyla ilgili bilimsel verilerin mevcut olmadığı ve bu verilere ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, ülkemizde kişi başına tuvalet kağıdı tüketim değerlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu bilgiler, atık su sistemlerine gelecek tuvalet kağıdı yüklerinin ve evsel atık sularındaki selüloz yüklerinin belirlenmesi için kullanılabilir.

- Kişi başına tüketimle birlikte, ölkemizdeki tuvalet kağıdı tüketimini etkileyen faktörlerin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu inceleme için, tuvalet kağıtlarına ait özellikler – yumuşaklığı, markası, fiyatı, vb. – ile tüketicilerin demografik özellikleri – eğitim, gelir, yaşadıkları bölge, vb. – arasında farklı eşleştirmeler yapılarak, istatistiksel testler uygulanmıştır. Buna göre, tüketicilerin eğitim düzeyi ile tuvalet kağıdının kalitesi ve aynı zamanda, tüketicilerin gelir düzeyi ile tuvalet kağıdının fiyatı arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir.
- Dünyada tuvalet kağıtları ile ilgili herhangi bir sınıflandırmanın ve standartların mevcut olmadığı yapılan ön çalışmalardan anlaşılmıştır. Bu nedenle, bu çalışmada tuvalet kağıtlarının kategorizasyonu hedeflenmiştir. Buna göre, dünyanın birçok bölgesinde satılan tuvalet kağıtlarından numuneler temin edilmiş ve bunların fiziksel karakterizasyonu yapılmıştır. Bu doğrultuda, ürünlerin yoğunlukları (gramajları), özgül hacimleri, mikroskopik katmanları ve kalınlıkları gibi parametreler ölçümlerle belirlenmiştir. Bu bilgilere göre, tuvalet kağıtlarının lüks ve orta kaliteli olarak iki ana sınıfta toplanmasının mümkün olacağı tespit edilmiştir.
- Ürünlerin fiziksel karakterizasyon bilgileri kullanılarak, her bir ürünün fiziksel parçalanması hakkında ön tahminlerin yapılması amaçlanmıştır. Örneğin, sıkı ve yoğun ürünlerin gecikmeli şekilde parçalanacağı tahmin edilebilmektedir, ancak sıkı ve yoğun ürünlerin fiziksel özelliklerine göre tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlama, ürünlerin fiziksel karakterizasyonu ile yapılmıştır.
- Fiziksel özelliklerin incelenmesiyle, çevresel açıdan önem arz eden temel parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Tuvalet kağıtlarının tasarım ve üretiminde, bu parametrelerin dikkate alınması ve uygun iyileştirmelerin yapılması için öneriler geliştirilmesi hedeflenmiştir. Tuvalet kağıdı üreticileriyle yapılan görüşmelerde, böyle bir geri beslemeye ihtiyaç olduğu anlaşılmıştır.

- Bu çalışmanın deneysel kısmında kullanılan kağıt numunelerinin dünyadaki diğer ürünleri temsil etmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle, ilgili numuneler, fiziksel kategorizasyon bilgilerine göre temsil edici şekilde seçilmiştir.
- Bu çalışmada, tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanmasını tahmin edebilecek bir matematiksel model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu model kullanılarak, farklı akım şartlarında meydana gelen parçalanmaların sonuçlarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır.
- Fiziksel parçalanma olayının açıklığa kavuşturulması için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, tuvalet kağıtlarına ait özgül parçalanma hız katsayılarının belirlenmesi, fiziksel parçalanma sırasında oluşan parçacık dağılımlarının belirlenmesi ve matematiksel modellemeyle yapılan tahminlerin deneysel verilerle karşılaştırılması amaçlanmıştır.
- Deneysel çalışmalarda kullanılan su ve tuvalet kağıdı miktarlarının, evlerden yapılan günlük su ve tuvalet kağıdı deşarjlarını temsil edecek şekilde olması hedeflenmiştir. Bu şekilde, deneysel çalışmalardan elde edilecek sonuçların atık su sistemlerindeki gerçek durumlarla ilgili bilgi vermesi ve ışık tutması amaçlanmıştır.
- Deneysel sistemdeki akım şartlarının, gerçek atık su sistemlerinde görülen akım şartları ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, deneysel sistemdeki akım şartlarının FLOW3D programı ile simülasyonu yapılarak, Reynolds sayısı hesaplanmıştır. Buna karşılık, gerçek atık su sistemlerindeki akım şartları için Reynolds sayıları hesaplanmış ve deneysel sistemle karşılaştırılmıştır.
- Gerçek atık su sistemleri ile deneysel sistemin karşılaştırılması sonucu, bina içi tesisatlarında ve kanalizasyon sistemlerindeki riskli bölümlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Buna göre, ilgili problemlerin ortadan kalkması için öneriler yapılmıştır.

Bu hedeflere ulaşmak için yapılan teorik, deneysel ve modelleme çalışmalarının ayrıntıları bu tez kapsamında sunulmaktadır. Buna göre tezin organizasyonu aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

Bir sonraki bölümde, tez konusuyla ilgili olarak daha önceden yapılan çalışmalar değerlendirilmektedir. Buna bağlı olarak, bu çalışmanın literatürdeki yeri ve özgünlüğü sunulmaktadır. Üçüncü bölümde, bu çalışmada kullanılan ölçüm yöntemleri ve analiz metotları takdim edilmektedir. Dördüncü bölümde, tuvalet kağıdı tüketimini etkileyen faktörlerin analizi ve kişi başına tüketim değerleri sunulmaktadır. Beşinci bölümde, dünyadaki tuvalet kağıtlarının fiziksel özelliklerine göre kategorizasyonu yapılarak, fiziksel parçalanma deneyleri için tüm ürünleri temsil edici numuneler belirlenmektedir. Altıncı bölümde, fiziksel parçalanma üzerine geliştirilen teorik yaklaşım, matematiksel modelleme çalışmaları ve deneysel çalışmaların sonuçları verilmektedir. Bu bölümde, tuvalet kağıtlarının parçalanması ile ilgili ayrıntılar takdim edilmektedir. Yedinci bölümde, türbülansın fiziksel parçalanmaya etkisini belirlemek üzere, farklı karıştırma hızlarında fiziksel parçalanma deneylerinden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Sekizinci bölümde, tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlarla gerçek atık su sistemlerinde görülen durumlar karşılaştırılmıştır. Bu şekilde, gerçek atık su sistemlerindeki problemler analiz edilerek, uygun çözüm önerileri sunulmuştur. Tezin son bölümünde, doktora çalışmasından elde edilen tüm sonuçlar özetlenerek, konuyla ilgili problemlerin düzeltilmesi için öneriler ve bundan sonra yapılması gereken yeni araştırmalar hakkında bilgiler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. KONUYLA İLGİLİ YAPILAN BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ÇALIŞMALAR

Tuvalet kağıtları kullanıldıktan sonra genellikle kanalizasyon sistemlerine atılarak bertaraf edilmektedir. Kanalizasyon sistemindeki atık suların içerisinde organik maddeler, yemek atıkları, bitkisel yağlar, deterjanlar ve diğer temizlik maddeleri, ilaçlar, kişisel temizlik ve kozmetik ürünleri gibi maddeler bulunmaktadır. Tuvalet kağıtları bu maddelerin birçoğunu absorblamakta ve bu durum atık kağıtların kanalizasyon sistemlerindeki taşınım ve parçalanmalarını olumsuz bir şekilde etkilemektedir [1-3].

Tuvalet kağıtlarının atık su sistemlerindeki davranışları, boru çapları ve eğimleri, su debisi ve akış hızı, her bir deşarjdaki ürün miktarı ve deşarjların sıklığı, kağıdın yapısal özellikleri ve parçalanma hızı gibi faktörlere bağlıdır. Tuvalet kağıtları binalarda boru çapının küçük, eğimin düşük ve su akımının az olduğu noktalarda birikim yaparak tıkanma problemlerine neden olmaktadır [4, 5]. Buna paralel olarak, cadde ve sokaklardaki kaba çöplerin yağmurlarla kanalizasyon sisteminde toplanması ve ağaç köklerinin kanalizasyon borularına girmesi sonucu tıkanma ve taşkınlar meydana gelmektedir [6]. Bu tür taşkınlarda, parçalanma ve taşınımları yavaş olan hijyenik ürünler belirli bir rol almaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yıllık ortalama 50.000 kanalizasyon taşkını ve 400.000 bina içi tesisatlarda tıkanma problemleri meydana gelmektedir [6, 7]. Tıkanmayla birlikte ortaya çıkan taşkın problemi hem kolera, hepatit vb. salgın hastalıklara hem de bu problemlerin çözümü için gerekli olan mali harcamalara neden olmaktadır [8].

Fiziksel tıkanma olaylarının yanı sıra, atık hijyenik ürünler atık suyun içerisinde bulunan bazı maddelerle kimyasal ve mikrobiyolojik etkileşimlere girmektedirler. Örneğin, tuvalet kağıtları atık su içerisindeki yağ gibi hidrofobik maddeleri absorblayarak, parçalanma ve taşınımları zorlaşan maddeler haline dönüşmektedir [3,

9]. Yağların bileşiminde mevcut olan uzun zincirli yağ asitleri atık suyun içerisinde bulunan Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi katyonlar ile kompleks oluşturma ve çökelme reaksiyonlarına girmektedir [3, 9, 10]. Tepkimeye giren maddelerin konsantrasyonuna ve ortamın pH'ına bağlı olarak metal-yağ asidi kompleksleri katı partiküller oluşturmaktadır. Bu partiküller, FOG (fat, oil, ve grease) depozitleri olarak tanımlanmakta ve borularda birikim yaparak tıkanmalarına neden olmaktadır [11, 12].

Buna karşılık, tuvalet kağıtları fiziksel parçalanmaya uğradığında daha küçük parçacıklar oluşmakta ve bu parçacıklar kanalizasyon sistemlerinde atık su ile kolay bir şekilde taşınmaktadır. Bu parçacıklar uzun zincirli yağ asitlerini absorbe ederek, bu maddelerin atık su arıtma tesislerine daha kolay taşınmasını ve dolayısıyla borularda oluşan yağ birikimlerinin azaltılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, bu ürünlerin kanalizasyon sistemlerindeki taşınım ve parçalanma mekanizmalarının bilinmesi önem arz etmektedir.

Konuyla ilgili yapılan ilk çalışmalar 1990'lı yıllarda gerçekleştirilmiş ve atık sudaki katı maddelerin taşınımı üzerine yoğunlaşmıştır [13]. Bu ilk çalışmada, evlerden yapılan atık su deşarjlarının borularda bir dalga şeklinde ilerlediği gözlemlenmiştir. Bu durumda, tuvaletlerden sifonlama ile birlikte hareket etmeye başlayan katılar bu su dalgasıyla belirli bir müddet hareket etmekte olup, daha sonra dalganın enerjisinin azaldığı noktada boru tabanına oturmaktadırlar. Bu atıklar zamanla gelen yeni su dalgalarıyla bir miktar daha ilerleyerek su akımının bol olduğu bir noktaya geldikten sonra, örneğin, cadde kanalizasyonları gibi noktalarda, yüksek su akımıyla taşınmaktadırlar. Bu genel çerçevede, suyun hareketi ve katıların taşınımıyla ilgili deneyler yapılmış ve bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelde katı üzerine gelen yatay ve düşey kuvvetler belirlenerek, her bir kuvvetin hesaplanması ve zamana bağlı değişiminin takip edilmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, katıların bir kaç sifonlama sonucunda borularda ilerlediği, ancak daha sonra sifonlamalardan gelen suların enerjileri azaldığı için, katıların taşınımında fazla etkili olmadığı belirlenmiştir.

Yukarıdaki çalışmanın devamı olan bir diğer çalışmada, hijyenik ürünlerin taşınımı için su debisi, su akış hızı ve boru çapı arasındaki ilişkiler incelenmiştir [4, 5]. Buna göre, sabit bir debi için, boru çapı büyüdükçe, su akım hızı düştüğünden, tuvalet kağıdı ve benzeri ürünler boru içerisinde kayarak ilerleyebilmekte ve bazen bir baraj şeklinde beklemektedirler. Bu durumda, bekleyen kağıtlar su içerisindeki hidrofobik yağ vb. atıkları absorbe etmektedirler. Böylece, bu maddelerin taşınım ve parçalanmaları daha da zorlaşmaktadır.

Hijyenik ürünlerin kanalizasyon sistemlerindeki parçalanmaları üzerine de bir takım çalışmalar yapılmıştır [14-16]. Bu çalışmalarda, bayanların kullanmakta olduğu hijyenik ürünlerin (tamponlar) kesikli reaktörlerde ve belirli bir karıştırma hızı altında parçalanması incelenmiştir. Bu çalışmalarda, parçalanma olayında sudaki türbülansın ve ürünlerin yapısal özelliklerinin etkili olduğu belirlenmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak, fiziksel parçalanmayla ilgili bir kinetik denklem geliştirilmiştir. Bu denkleme bağlı olarak bir matematiksel model oluşturulmuş ve farklı ürünlerle yapılan deneylerle test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, geliştirilen teorik yaklaşımın ve kinetik denklemlerin fiziksel parçalanma olayını doğru şekilde tahmin edebildiği ispatlanmıştır. Bununla birlikte, sulardaki türbülansın fiziksel parçalanma üzerinde etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir.

Kanalizasyon sistemlerindeki türbülans değeri üzerine yapılan ilk çalışmalar Metcalf ve Eddy tarafından yapılmıştır [17]. Urguart tarafından yapılan çalışmalarda kanalizasyon borularındaki türbülansın hesap yöntemleri detaylı halde sunulmuştur [18]. Kanalizasyon sistemlerinde veya kesikli reaktörlerde su akımı türbülansının veya akımın rejiminin belirlenmesiyle ilgili güncel çalışmalarda mevcuttur [19-30]. Buna göre, atık su sistemlerindeki su akımının türbülans değeri sistematik şekilde hesaplanabilmektedir.

Şimdiye kadar yapılmış çalışmalar genel olarak hijyenik ürünlerin taşınımı üzerine yoğunlaşmıştır. Fiziksel parçalanma olayıyla ilgili olarak teorik yaklaşım, Karadağlı ve ark., [14-16] tarafından geliştirmiş ve tamponlarla test edilmiştir. Buna göre, tuvalet kağıtları ve atık su sistemlerindeki etkileri üzerine herhangi bir çalışmanın

mevcut olmadığı literatür incelemelerinden anlaşılmıştır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanması ve kanalizasyon sistemlerindeki durumları araştırılmıştır. Bu çalışma, alanındaki ilklerden olup, bu konu üzerine yapılacak çalışmalara ışık tutacaktır.

Bu çalışmanın özgün değeri ve literatüre yapacağı katkılar: ülkemizdeki kişi başına tuvalet kağıdı tüketim miktarının belirlenmesi, tüketicilerin tuvalet kağıdı seçimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi, tuvalet kağıtlarının parçalanma mekanizmalarının araştırılması, Karadağlı ve ark., [14] tarafından geliştirilen matematiksel modelin tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanmasına uyarlanması, bu modelin deneysel verilerle desteklenmesi ve deneysel çalışmalardaki yöntem ve parametrelerle ilgili yeni fikirlerin denenmesi şeklinde özetlenebilir. Bu bilgilerin ışığı altında, tuvalet kağıtlarının kanalizasyon sistemlerinde birikim yapma ve taşınım potansiyelleri analiz edilebilecektir. Bu hesaplama ve analizlerle, kanalizasyon sistemlerine ve arıtma tesislerine gelecek olan selülozik yük miktarları tahmin edilebilecektir. Selülozik maddelerin biyolojik arıtma tesislerinde giderimleri, evsel nitelikli atık sulara göre daha zor olmaktadır. Bu nedenle, arıtma tesislerine gelecek olan selülozik yüklerin belirlenmesi, tesislerin sağlıklı bir şekilde işletilmelerini ve ilgili tesislerin uzun ömürlü olmalarını sağlayacaktır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOT

3.1. Tuvalet Kağıdı Tüketiminin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntem

Ülkemizdeki kişi başına tuvalet kağıdı verilerinin belirlenmesi için anket yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, seçilmiş kişiler ya da gruplara bir konu hakkında belli bir plana göre hazırlanmış sorular sorarak, bilgi toplamayı sağlayan sistematik bir veri toplama yöntemidir. Anket yöntemi genellikle elde edilmek istenen bilgilerin herhangi bir kaynaktan henüz mevcut olmadığı, başka metotlara kıyasla bilgilerin daha hızlı, kolay ve az maliyetli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Ülkemizdeki tuvalet kağıdı tüketimi de bu tanımlamaya uygun bir durumdur. Ülkemize ait tuvalet kağıdı tüketim verileri gazete haberlerinden elde edilmiş olup, bu verilerin bilimsel kaynaklara dayanmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, ülkemizdeki tuvalet kağıdı tüketimini etkileyen faktörler ve kişi başına tüketim değerleri anket yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Anket çalışmalarının temel unsurları aşağıda sunulduğu gibidir:

Ön hazırlıklar:

- Yapılacak anketin amacı ve elde edilmek istenen bilgiler nelerdir?
- Anketin uygulanacağı kişiler ya da gruplar kimlerdir?
- Anket kimler tarafından uygulanacak?
- Anket sorularının uygulama şekli (yüz yüze görüşme, telefon, posta vb.) nasıl olacak?
- Anket sorularından elde edilecek bilgilerin analizinde hangi metotlar kullanılacak? Örneğin; yüzde ve ortalama gibi basit metotlar veya daha karmaşık analitik metotlar kullanılabilir.
- Anket sonuçları nasıl sunulacak? Örneğin, basit grafikler, istatistiksel tablolar, metin özetleri gibi sunum şekilleri kullanılabilir.

Yukarıda özetlenen sorular cevaplandıktan sonra anket sorularının geliştirilmesi gerekmektedir.

Anket sorularının geliştirilmesi:

- Yapılacak anketlerden elde edilmek istenen veri ve bilgilerle ilgili bütün sorular belirlenir. Bu kısımda dikkat edilmesi gereken nokta soruların kısa, öz ve cevaplayacak kişiler tarafından kolayca anlaşılabilir olmasıdır.
- Sorulara verilecek cevap formatı seçilir. Anket sorularının cevaplanmasında:
 - Derecelendirme ölçekleri (1-Hiç Katılmıyorum, 2-Bazen Katılıyorum, 3-Katılmıyorum, 4-Katılıyorum, 5-Tamamen Katılıyorum) gibi çoktan seçmeli cevaplar,
 - Cevaplardan uygun olanların seçilmesi,
 - Sıralamalı seçenek (cevapların kişi tarafından sıralanması),
 - Demografik bilgiler (cevaplayıcılardan cinsiyet, yaş, eğitim durumu vb. bilgilerin istendiği sorular) gibi formatlar kullanılmaktadır.
- Anket sorularını cevaplayacaklar için anketin amacının ne olduğu, elde edilecek verilerin nasıl kullanılacağı ve anket sorularının nasıl cevaplanması gerektiği ile ilgili açıklayıcı bilgiler içeren kısa bir giriş hazırlanır.
- Hazırlanan anket taslağı anketin amacına ve cevaplayacak kişiler nezdinde uygunluğu yönünden tekrar gözden geçirilir.
- Taslak anket tüm katılımcıları temsil edebilecek küçük bir grup üzerinde test edilir. Bu test ile anket sorularının anlaşılabilirliği ve ihtiyaç duyulan verileri sağlayıp sağlamadığı belirlenir.
- Test edilen taslak anket üzerinde gerekli değişiklikler yapılarak anket hedef kitleye uygulanacak hale getirilir.

Anketin uygulanması ve analizi:

Anket sorularına son şekli verildikten sonra anket önceden belirlenen hedef kitleye uygulanır. Anketler hedef kitle tarafından cevaplandıktan sonra elde edilen veri ve bilgilerin analiz edilmesi ve yorumlanması gerekmektedir. Bu aşamada anket verileri elde edilmek istenen bilgilere göre grafikler, frekans dağılımları, yüzdeler vb. basit

bir şekilde ifade edileceği gibi, daha karmaşık olan istatistiksel testlerle de analiz edilir ve sonuçlar değerlendirilir.

3.2. Verilerin Analizinde Kullanılan İstatistiksel Testler

Anketlerden elde edilen verilerin analizi için standart testler geliştirilmiştir. Bu testler çok çeşitli olmakla birlikte, bunlardan bazıları anket çalışmalarının değerlendirilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Bu testler, tek örneklem (t) testi, ki-kare bağımsızlık testi, çok değişkenli varyans analizi (MANOVA) ve tukey testi şeklindedir. Bu çalışmada da bu testler aşağıda belirtilen hedeflere ulaşmak için kullanılmıştır.

T testi, iki örneklem grubunun arasında anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Yani, bir grubun verdiği yanıtların ortalaması ile diğer bir grubun ortalaması arasında önemli derecede fark olup olmadığını belirler. T testinde iki değer arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilmektedir [31]. Bu test yöntemi bu çalışmada, tuvalet kağıdına ait özelliklerin, tuvalet kağıdı tüketiminde etkili olup olmadığını belirlenmesinde kullanılmıştır. Örneğin, tuvalet kağıdı fiyatının tüketim üzerinde etkili olup olmadığını belirlenmesinde bu testten faydalanılmıştır.

Ki-kare bağımsızlık testi, iki değişken arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu testin diğer ilişkisel analizlerden farkı, ilişki kurulan değişkenlerin her ikisinde nitel ölçekli olmasıdır [31]. Ki-kare testi frekans dağılımları üzerinden işlem yapan bir istatistiksel analiz yöntemi olup değişkenlerin bağımsızlığını ölçmede yaygın olarak kullanılır. İki değişkenin birbirlerinden bağımsız olması aralarında bir ilişkinin bulunmadığı anlamına gelir. Bu yöntemde H_0 (sıfır) hipotezi olarak ‘değişkenler arasında ilişki yoktur’, H_1 hipotezi olarak ‘değişkenler arasında ilişki vardır’ varsayımları test edilmektedir [32]. Örneğin, tuvalet kağıdı tüketim miktarları (çok, orta ve az) ile tuvalet kağıdı özellikleri arasında bir ilişki olup olmadığını test edilmesinde bu yöntem kullanılır.

Çok Değişkenli Varyans Analizi (Multivariate Analysis of Variance, MANOVA) iki veya daha fazla grubun özellikleri arasında ilişki olup olmadığının test edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [33]. Bu analizlerde, birden fazla ürüne bağlı değişkenin (fiyat, yumuşaklık, görünüm vb.), birden fazla bağımsız değişkene (cinsiyet, gelir düzeyi, eğitim durumu vb.) göre farklılık oluşturup oluşturmadığının aynı anda incelenmesi yapılabilmektedir. Manova analizi için, verilerin homojen ve normal dağılım göstermesi gerekmektedir [34]. Manova analizi ile test edilen gruplar arasında bir fark tespit edildiği durumda, farkın hangi alt gruplarda olduğunun belirlenmesinde genellikle Tukey testinden faydalanılmaktadır. Tukey testinin kullanılabilmesi için gruplardaki varyansların ve örneklem sayılarının eşit olması gerekmektedir [35].

3.3. Tuvalet Kağıtlarının Fiziksel Karakterizasyonu

Dünyada ve ülkemizde farklı özelliklere sahip birçok marka ve çeşit tuvalet kağıdı tüketicilere sunulmaktadır. Bu çeşitliliğe rağmen, ürünlerin sınıflandırılması veya standardizasyonu yapılmamaktadır. Bu nedenle, tuvalet kağıtlarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve ürünlerin gruplandırılması gerekmektedir. Bu çerçevede, ülkemizde ve dünyanın farklı bölgelerinde kullanılan tuvalet kağıtlarından numuneler toplanmıştır. Bu ürünlerin nem miktarı (%), yaprak kütlesi (mg), yüzey alanı (mm²), gramaj (gr/m²), mikroskopik kat sayısı ve kalınlıkları (µm), yaprak hacmi (mm³) ve özgül hacimleri (dm³/kg) aşağıda belirtilen ölçüm yöntemlerine göre belirlenmiştir. Bu bilgilere bağlı olarak, tuvalet kağıtları gruplandırılmış ve deneysel çalışmalar için uygun numuneler seçilmiştir.

Nem Miktarı Tayini (%): Tuvalet kağıdının bünyesinde bulundurduğu su miktarıdır. Nem miktarı, bir yaprak tuvalet kağıdının etüve konulmadan ve 24 saat etüvde bekletildikten sonra hassas terazi tartımlarının alınması ile aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Nem Miktarı (\%)} = \frac{\text{Etüv öncesi tartım} - \text{Etüv sonrası tartım}}{\text{Etüv öncesi tartım}} \times 100 \quad (3.1)$$

Yaprak Kütlesi Tayini (mg/yaprak): Tuvalet kağıdından alınan bir yaprak numune hassas terazide tartılmış ve mg/yaprak olarak kütlesi belirlenmiştir.

Yüzey Alanı Tayini (mm²): Bir yaprak tuvalet kağıdının en ve boy uzunlukları hassas bir şekilde ölçülerek yüzey alanı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Yüzey alanı (mm}^2\text{)} = \text{yaprak eni(mm)} \times \text{yaprak boyu (mm)} \quad (3.2)$$

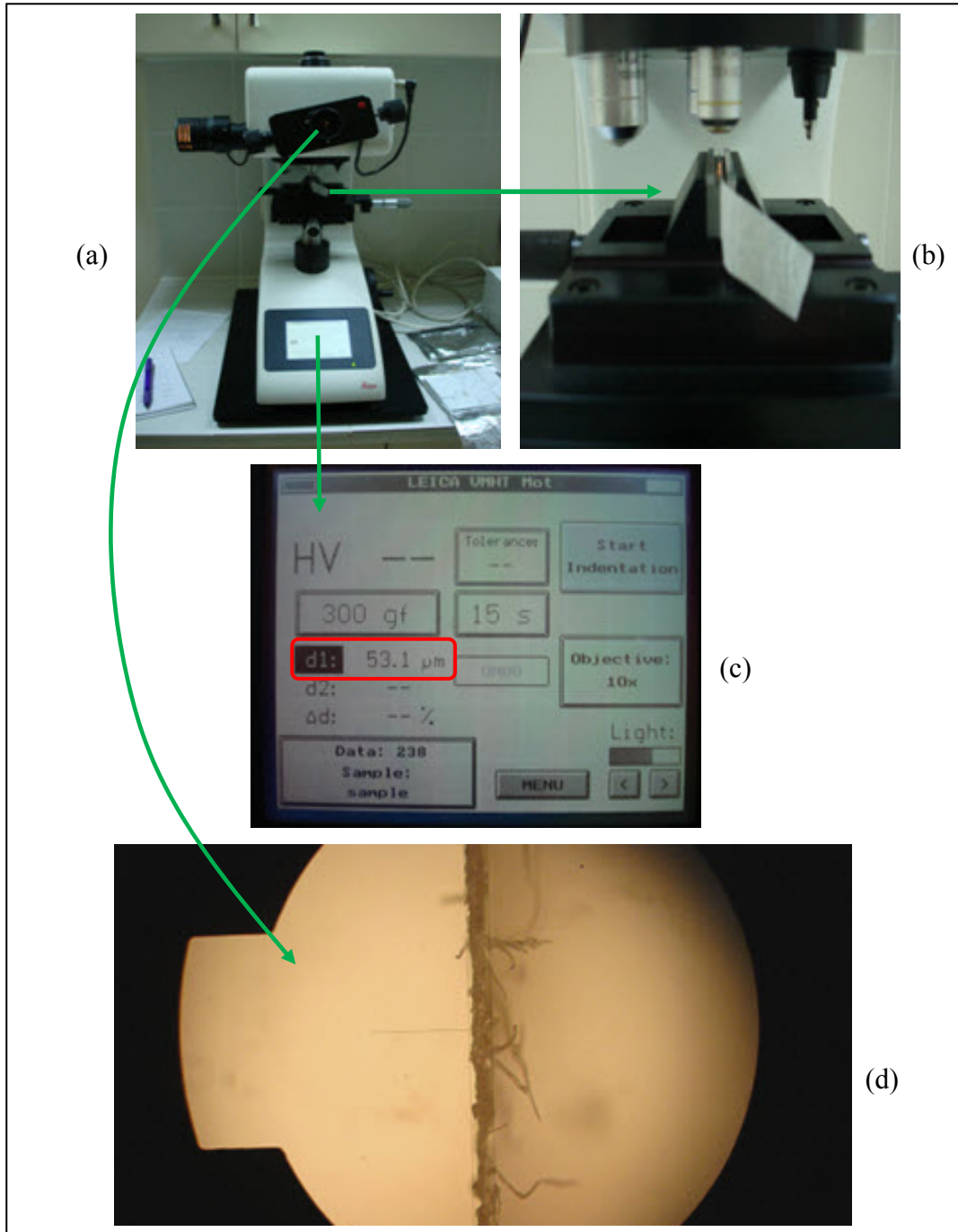
Gramaj Tayini (g/m²): Kağıdın 1 m²'sinin gram cinsinden kütlesidir. Gramaj aynı zamanda, yüzey alanı cinsinden kağıdın yoğunluğu (g/m²) olarak tanımlanmaktadır. Bu özellik kağıt endüstrisinde kullanılan temel parametrelerdendir ve değeri aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Gramaj (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{yaprak kütlesi (mg)}}{\text{yüzey alanı (mm}^2\text{)}} \times 10^3 \quad (3.3)$$

Mikroskobik Kat Sayısı Tayini: Tuvalet kağıtlarının tek bir yaprağının yan kesiti mikroskop altında incelendiğinde, bu ürünlerin bir kaç katlı olduğu anlaşılmıştır. Ürünlerin kat sayısı ve kalınlıkları mikroskop altında yapılan incelemelerle belirlenmiştir. Bu ölçümlerde kullanılan yöntemin ayrıntıları aşağıda sunulmaktadır.

Mikroskobik Kalınlık Ölçümü (µm): Tuvalet kağıtlarının yan kesitleri Leica VMHT MOT (Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Almanya) mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Bu mikroskobun ölçüm alt limiti 30 µm olup, ölçümlerdeki adım aralığı 1 µm'dir. Yapılan ön incelemelerde, tuvalet kağıtlarının tek bir yaprağının 2 veya 3 adet mikroskobik katmandan oluştuğu tespit edilmiştir. Kalınlık ölçümü işlemi, bu katmanların hassas bir şekilde ayrılması ve her bir katmanın kalınlığının ayrı ayrı ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerin genel adımları aşağıda Şekil 3.1.'de verilmektedir. Şekil 3.1. (a) ve (b) resimlerinde mikroskop ve numune tablası sunulmakta, (c) resminde, yapılan ölçümlerin raporlandığı monitör ve kırmızı yuvarlak içerisinde yapılan ölçümün değeri verilmektedir. Şeklin (d) resminde ise, bir yaprağın bir katmanın yan kesitinin mikroskop altındaki görüntüsü verilmektedir. Bu resimden ilgili katmanın yan kesitinin yer yer incelen veya kalınlaşan bir yapıya

sahip olduğu görülmektedir. Bu gözlem tüm katmanlarda benzer olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, kalınlık ölçümlerinde 5 farklı noktadan kalınlık ölçümü yapılmış ve bunların ortalamaları bir katmanın ortalama kalınlığı olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde bir yaprak kağıdın kalınlığı ise, ölçülen ortalama kat kalınlıkları toplanarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Tuvalet kağıdı kalınlıklarının mikroskobik ölçümü. (a) Mikroskop, (b) Numune koyma yeri, (c) Ölçüm sonuçlarını gösteren ekran, (d) Ölçümü yapılan bir katın mikroskobik yan-kesit görüntüsü

Yaprak Hacmi Tayini (mm^3): Bir yaprak tuvalet kağıdın mm^3 cinsinden hacmidir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Yaprak Hacmi (mm}^3\text{)} = \text{Yaprak yüzey alanı (mm}^2\text{)} \times \text{Yaprak kalınlığı (mm)} \quad (3.4)$$

Özgül Hacim Tayini (dm^3/kg): Tuvalet kağıdının 1 kg'ının dm^3 cinsinden kapladığı hacimdir. Bu özellik kağıt endüstrisinde kullanılan temel bir parametre olup, kağıdın yapısının yoğun veya boşluklu olduğunu göstermektedir. Bu parametre aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Özgül Hacim (dm}^3/\text{kg)} = \frac{\text{Yaprak Hacmi (mm}^3\text{)}}{\text{Yaprak Kütlesi (mg)}} \quad (3.5)$$

3.3. Fiziksel Parçalanma Teorisi ve Matematiksel Modelleme

Karadağlı ve ark., [14] tarafından yapılan çalışmada hijyenik ürünlerin fiziksel parçalanması için teorik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda hijyenik ürünlerin fiziksel parçalanmasının sudaki türbülansa ve ürünün yapısal özelliklerine (mukavemet, yoğunluk vb.) bağlı olduğu ifade edilmiştir. Bu yaklaşımda sudaki türbülans Reynolds sayısı ile temsil edilirken, ürünün yapısal özellikleri özgün parçalanma hızı katsayısı ile tanımlanmıştır. Bu teorik yaklaşım aynı üreticiye ait iki farklı hijyenik tampon kullanılarak deneysel olarak test edilmiştir. Deneysel çalışmalar modelleme çalışmaları ile desteklenmiş ve sonuçların karşılaştırılması ile teorik yaklaşımın doğru olduğu ve modelin hijyenik ürünlerin fiziksel parçalanmasının takibini sağladığı anlaşılmıştır. Fiziksel parçalanma teorisi Karadağlı ve ark., [14] tarafından matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$R_{\text{dis}} = \frac{dM}{dt} = V \frac{dC}{dt} = k_{\text{dis}} \times Re \times C \times V \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde;

R_{dis} = Fiziksel parçalanmaya uğrayan ürünün birim zamanda kütlesindeki değişim hızı (mg/s),

dM/dt = Birim zamanda (s) ürünün kütlesindeki (mg) değişim miktarı,

V = Sıvı hacmi (L)

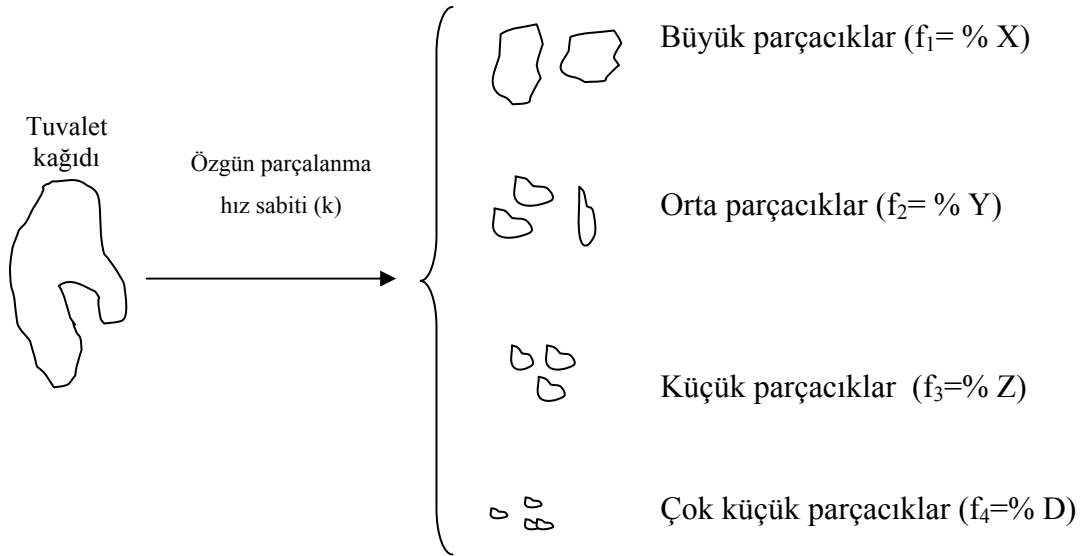
k_{dis} = Ürünün yapısal ve parçalanma özelliklerini temsil eden parçalanma hızı katsayısı (1/s),

Re = Türbülansı temsil eden Reynolds sayısı (boyutsuz),

C = Ürünün sudaki kütleli konsantrasyonu (mg/L)'dur.

Karadağlı ve ark., [14] tarafından geliştirilen teorik yaklaşım ve denklem fiziksel parçalanma için geliştirilmiş genel bir ifade olup, bu tez çalışması kapsamında farklı karakteristik özellikteki tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanmasına uyarlanarak deneysel olarak test edilmiştir.

Buna göre, tuvalet kağıtlarının parçalanmasıyla küçük boyutlu parçacıklar oluşmaktadır. Bu durum, genel hatlarıyla Şekil 3.2'de sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanması

Her bir kağıt türünün yapısal özellikleri farklılık göstermektedir. Buna göre, bazı kağıtlar hızlı parçalanırken, bazıları yavaş parçalanacaktır. Bu farklar, özgün parçalanma hız katsayısı (k) ile temsil edilmektedir. Parçalanma sonucu oluşan parçacıkların büyüklükleri ve miktarları yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi dağılım

gösterecektir. Her bir boyut aralığındaki parçacıklar standart elekler kullanılarak deneysel çalışmalar sırasında belirlenmiştir. Farklı ürünler için uygun eleklerin hazırlık çalışmalarında belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre, 2, (4,78), 8 ve 11,2 mm gözenek çaplı standart eleklerin tuvalet kağıtları için uygun olduğu belirlenmiştir. Bu eleklerden 4,78 mm, modelde 5 mm olarak ve 11,2 mm ise 11 mm olarak temsil edilmiştir. Bu çalışmalara bağlı olarak, ana kağıdın parçalanması sonucu oluşan parçacıkların dağılım oranları f katsayıları ile gösterilmiştir. Bu katsayı, yukarıdaki şekilde gösterildiği üzere, ilgili boyut aralığındaki parçacıkların hangi yüzdelik oranlarda oluştuğunu göstermektedir.

Bu ön çalışmalara bağlı olarak, matematiksel modelleme için kinetik denklemler oluşturulmuştur. Buna göre, tuvalet kağıtlarının kesikli sistemde fiziksel parçalanması sırasında oluşacak parçacıklara ait kütle korunumu denklemleri aşağıda sunulduğu gibi teşkil edilmiştir.

$$\frac{d[(> 11)mm]}{dt} = -k_1 \text{Re}[(> 11)mm] \quad (3.7)$$

$$\frac{d[(8-11)mm]}{dt} = (f_1)k_1 \text{Re}[(> 11)mm] - k_2 \text{Re}[(8-11)mm] \quad (3.8)$$

$$\frac{d[(5-8)mm]}{dt} = (f_2)k_1 \text{Re}[(> 11)mm] + (f_5)k_2 \text{Re}[(8-11)mm] - k_3 \text{Re}[(5-8)mm] \quad (3.9)$$

$$\frac{d[(2-5)mm]}{dt} = (f_3)k_1 \text{Re}[(> 11)mm] + (f_6)k_2 \text{Re}[(8-11)mm] + (f_8)k_3 \text{Re}[(5-8)mm] - k_4 \text{Re}[(2-5)mm] \quad (3.10)$$

$$\frac{d[(< 2)mm]}{dt} = (f_4)k_1 \text{Re}[(> 11)mm] + (f_7)k_2 \text{Re}[(8-11)mm] + (f_9)k_3 \text{Re}[(5-8)mm] + k_4 \text{Re}[(2-5)mm] \quad (3.11)$$

Bu denklemlerdeki 11, 8, 5, 2 mm rakamları standart elek gözeneklerini ve [...] ibaresi o gözenek çapındaki kağıtların konsantrasyonu temsil etmektedir. Bu denklemlerdeki (k) ve (Re) parametreleri daha önce açıklandığı gibi olup, (f) katsayıları parçacık dağılım oranlarını göstermektedir. Bu katsayılar ana kağıdın parçalanması ile oluşan ürünlerin hangi oranlarda 8, 5 ve 2 mm boyut aralığına girdiğini göstermektedir. Ana kağıt parçalanırken yeni oluşan kağıt parçalarının (f_1) kadarlık kısmı 8-11 mm'lik parçalara, (f_2) kadarlık miktarı 5-8 mm'lik parçalara, (f_3) kadarlık miktarı 2-5 mm'lik parçalara ve (f_4) kadarlık miktarı ise <2 mm'lik parçalara dönüşecektir. Bu nedenle denklem 3.8, denklem 3.9, denklem 3.10 ve denklem 3.11'in ilk terimleri ana kağıttan gelecek olan parçacıklar için yazılmıştır. Benzer şekilde, ara ürünlerin yeniden parçalanması ile oluşan küçük parçacıklar, f_5, f_6, \dots, f_9 katsayılarıyla temsil edilmektedir. Bu dağılım katsayıları ve özgün parçalanma hız sabitleri, fiziksel parçalanma deneyleri ve modelleme yoluyla tespit edilecektir.

3.4. Fiziksel Parçalanma Deneyleri

Fiziksel parçalanma deneyleri 2 litrelik bir beherin içerisine 1 L çeşme suyu ve bir miktar tuvalet kağıdı koyularak gerçekleştirilmiştir. Fiziksel parçalanması için gerekli olan türbülans hareketi ilk olarak manyetik karıştırıcı ile sağlanmıştır. Ancak, bu deneylerde, tuvalet kağıtlarının manyetik balık tarafından parçalandığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu yöntem kullanılmamış ve fiziksel parçalanma deneyleri orbital karıştırıcılar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Orbital karıştırıcıda gerçekleştirilen deneylerde, sudaki türbülans beherin kendi eksenini etrafında döndürülmesi ile sağlanmıştır. Bu durumda, tuvalet kağıtları sadece sudaki türbülans sayesinde parçalanmıştır. Orbital karıştırıcı düzeneği Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Bu düzende karıştırıcının tablası belirli bir hızda dairesel olarak hareket etmektedir. Böylece, karıştırıcı üzerindeki beherin dairesel hareketi ile içerisindeki su hareket etmekte ve oluşan türbülans sonucu tuvalet kağıdı parçalanmaktadır.



Şekil 3.3. Orbital karıştırıcı düzeneği

3.5. Islak Elek Analiz Metotları ve Parçacık Dağılımı

3.5.1. Sıralı ayırma yöntemi -Türkiye

Bu yöntemde, farklı gözenek çapındaki (11, 8, 5 ve 2 mm) 4 elek birbirine monte edildikten sonra bir kabın içerisine yerleştirilir. Beher içerisindeki fiziksel parçalanmaya uğramış tuvalet kağıdı su karışımı elek düzeneğine dökülür. Daha sonra, her bir elek dikkatli bir şekilde birbirinden ayrılır. Elekler sırayla, içerisinde bir miktar su bulunan ayrı kaplara 2/3'ü suyun içerisinde kalacak şekilde yerleştirilir. Elek suyun içerisinde ileri geri hareket ettirilerek elektteki tüm parçacıkların bu boyut aralığında olup olmadığı kontrol edilir. Bu inceleme sırasında, bu elekte olmaması gereken küçük parçacıkların elekten geçmesi sağlanır. Elekte toplanan parçacıkların boyutları gözle kontrol edilerek doğru parçacık boyutunda olduğu teyit edilir ve bu boyut aralığını temsil eden kaba alınır. Bu işlem her bir elek için ayrı ayrı yapılarak, parçacıkların doğru boyut aralığında ve yine içi su dolu bir kap içerisinde toplanması sağlanır. Bu karışımlar daha sonra 0,45 µm filtre kağıdından vakumla süzülür ve her bir boyut aralığındaki kağıt parçalarının kütlesi belirlenir. Bu işlem için filtre kağıdı kullanılmadan önce, 24 saat etüvde bekletilerek, tamamen kurutulmuş ve hassas terazide tartımı alınmış olmalıdır. Daha sonra, filtre kağıdı üzerinde toplanan parçacıklarla birlikte tekrar etüvde 24 saat kurutma işlemi yapılarak hassas terazi tartımı alınır ve eleklerde biriken kağıtların net miktarı belirlenir. Ayırma işleminin son adımında, toplam kütle korunumunun sağlanması için elek-altı suları filtre

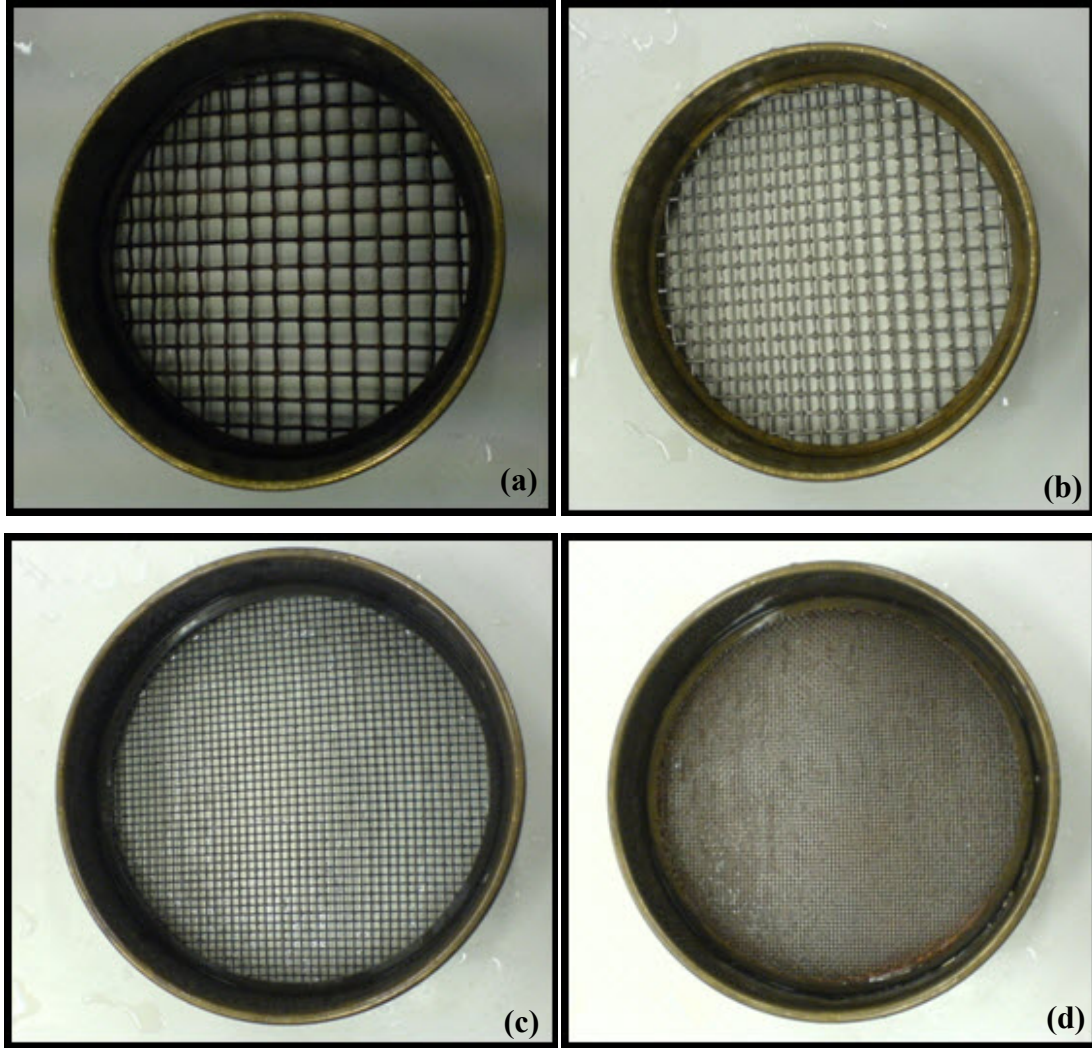
kağıdından vakumla süzülür. Bu adımda toplanan parçacıklar (<2) mm boyut aralığındadır. Şekil 3.4’de vakumla filtreleme işleminde kullanılan düzenek gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Vakumla filtreleme düzeni

3.5.2. Dikey elek hareketi ile ayırma yöntemi - Finlandiya

Sıralı ayırma yönteminin zor ve zaman alıcı olmasından dolayı yeni bir ayırma yöntemine ihtiyaç duyulmuştur. Bu yöntemde Şekil 3.5’de gösterilen (11,3), 8, (3,36) ve (1,41) mm gözenek çaplı standart elekler birbirine monte edilerek, içerisinde su dolu olan bir kaba en üstteki elek su yüzeyinde kalacak şekilde yerleştirilir. Beher içerisinde fiziksel parçalanmaya uğramış tuvalet kağıdı-su karışımı elek düzenine dökülür (Şekil 3.6) ve parçacıkların doğru eleklerde tutulmasını sağlamak için elek düzeni dikkatli bir şekilde 15 kez yukarı aşağı hareket ettirilir.



Şekil 3.5. Elek düzeneğinde kullanılan elekler (a:11,3 mm; b:8 mm; c:3,36 mm; d:1,41 mm)

Elekler birbirinden ayrıldıktan sonra eleklerde tutulan kağıt miktarlarını tespit etmek için, her bir elek yıkanarak elekler üzerinde biriken kağıt parçacıkları ayrı kaplarda toplanır. Daha sonra her bir kaptaki tuvalet kağıdı-su karışımları 0,45 μm gözenek çaplı filtre kağıdından vakumla süzülerek elekler üzerinde biriken kağıt parçacıklarının filtre kağıdı üzerinde toplanması sağlanır (Şekil 3.7). Toplam kütle korunumunun sağlanması için eleklerin içerisine koyulduğu su, filtre kağıdından vakumla süzülür. Bu şekilde, (1,41) mm elekten geçen kağıt parçacıkları filtre kağıdında tutulmaktadır.

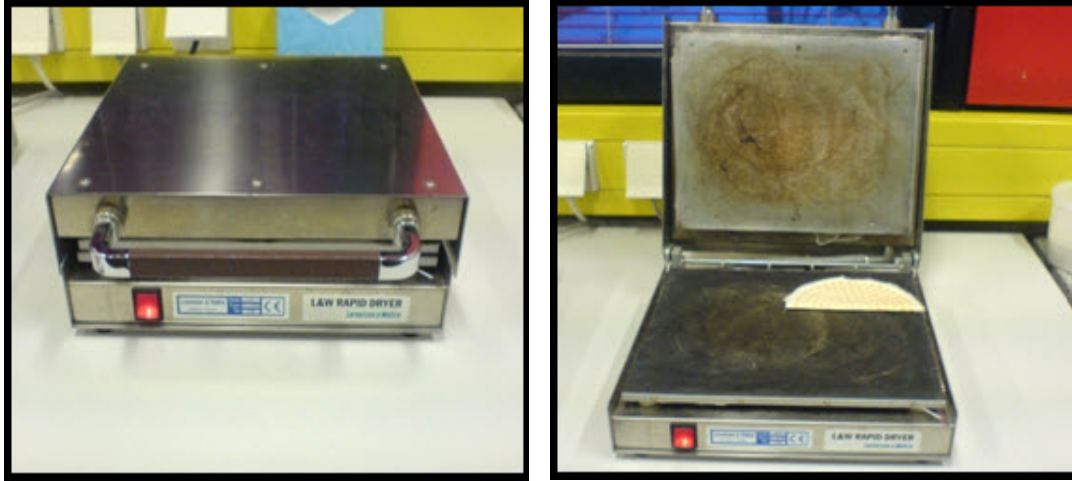


Şekil 3.6. Dikey hareketli elek düzeneği



Şekil 3.7. Vakumla filtreleme düzeneği

Filtre kağıtları Şekil 3.8’de gösterilen hızlı kurutucuda (L&W Rapid Dryer-Code 257) 3 dk bekletildikten sonra hassas terazide tartılarak her bir elekte tutulan kağıt miktarları tespit edilir ve böylelikle fiziksel parçalanmanın takibi sağlanır.



Şekil 3.8. Filtre kağıtlarının kurutulduğu hızlı kurutucu

3.6. Deneysel Çalışmada Kullanılan Tuvalet Kağıdı Miktarları

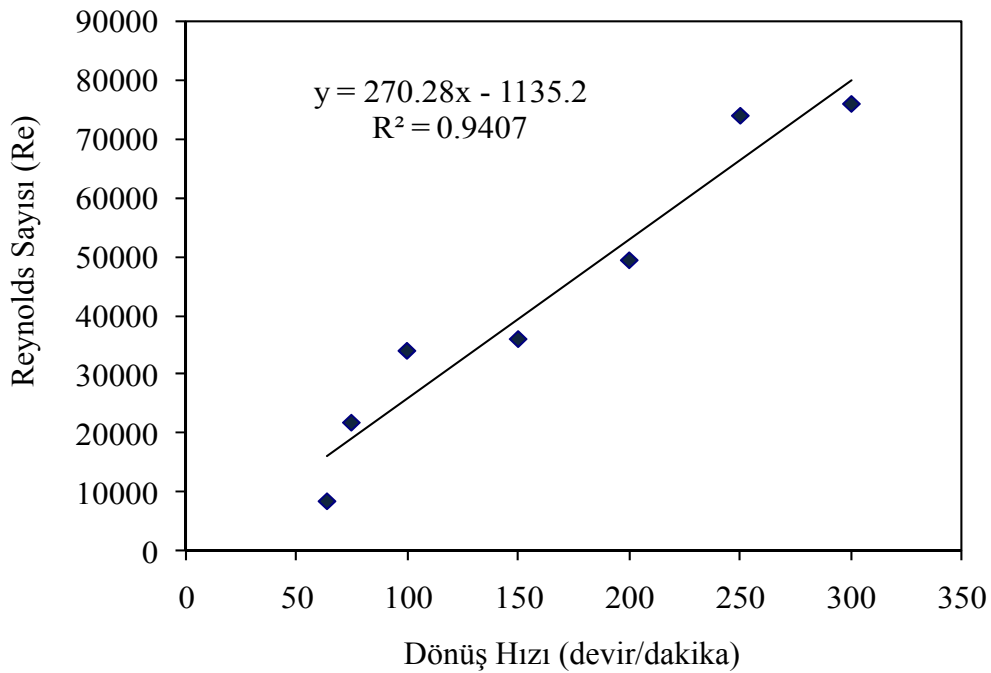
Fiziksel parçalanma deneylerinde kullanılacak tuvalet kağıdının miktarı literatürden elde edilen bilgiler ve tüketicilerle yapılan anketlerden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile tespit edilmiştir. İngiltere’de yapılan araştırmaya göre, kişi başına günlük ortalama 12 yaprak tuvalet kağıdı ve 5 sefer 6 litrelik ve toplam 30 L su deşarjı yapıldığı tespit edilmiştir. Ancak, günlük maksimum tuvalet kağıdı tüketiminin 25-30 yaprağa çıkabileceği de belirtilmiştir [36]. Bu bilgilere göre, 30 yaprak kağıdın bir sifonlamayla deşarjı halinde en kritik konsantrasyon $30 \text{ yaprak}/6\text{L} = 5 \text{ yaprak}/\text{L}$, veya 30 yaprak kağıdın 5 sifonlamayla deşarjı halinde minimum $30 \text{ yaprak} / 30 \text{ L-su} = 1 \text{ Yaprak} / 1 \text{ L-su}$ değerleri elde edilmektedir. Bu nedenle, fiziksel parçalanma deneylerinde kullanılacak kağıt miktarının $5 \text{ yaprak} / \text{L}$ ve aynı zamanda $1 \text{ yaprak} / \text{L}$ olmasına karar verilmiştir.

3.7. Deneysel Sistemin FLOW3D ile Simülasyonu

Tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanması sudaki türbülansa ve kağıtların karakteristik özelliklerine bağlıdır. Farklı akım şartları için sudaki türbülans

Reynolds sayısı (Re) ile ifade edilmektedir. Akış hızının ölçülmesinin çok zor olduğu ya da analitik denklemlerle tahmin edilemediği sistemler için hidrolik parametrelerin tahmin edilmesinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımlarından yararlanılmaktadır. FLOW3D® Version 7.2 (Flow Science Inc., Santa Fe, New Mexico) bu amaçla yaygın olarak kullanılan bir HAD yazılımıdır. Tuvalet kağıtlarının kesikli reaktördeki fiziksel parçalanma deneylerinde akış hızı kısa süre içerisinde çok hızlı bir şekilde değişmektedir. Bundan dolayı fiziksel parçalanma deneylerinde reaktör içerisindeki Re sayısının tahmin edilmesi için FLOW3D® yazılımı kullanılabilir.

Karadağlı ve ark, [14] tarafından yapılan FLOW3D® simülasyon çalışmaları, tamponlarla yapılan deneysel sistem için gerçekleştirilmiştir. Buna göre, orbital karıştırıcı ile 64-300 devir/dakika dönüş hızları aralığında oluşturulan türbülans ve bunu temsil eden Reynold sayılarının değerleri Şekil 3.9'da verilen grafikteki gibidir.



Şekil 3.9. 1 L su bulunan beher içerisinde 64-300 devir/dakika dönüş hızı aralığı için simülasyondan tahmin edilen Re değerleri

Şekil 3.9 incelendiğinde, sudaki türbülansın karıştırıcının dönüş hızının artmasıyla lineer olarak arttığı anlaşılmaktadır. Simülasyon sonuçlarını kullanarak Re sayıları

ile dönüş hızı arasındaki korelasyondan $Re = 270,3 * (\text{devir/dakika}) - 1135,2$ denklemi elde edilmiştir. Buna göre farklı dönüş hızları için bu denklem kullanılarak elde edilen Re sayıları aşağıda verilmiştir.

$$\text{Dönüş hızı } 150 \text{ devir/dakika} \Rightarrow Re = 270,3 * (150) - 1135,2 \Rightarrow Re = 39410$$

$$\text{Dönüş hızı } 200 \text{ devir/dakika} \Rightarrow Re = 270,3 * (200) - 1135,2 \Rightarrow Re = 52900$$

$$\text{Dönüş hızı } 250 \text{ devir/dakika} \Rightarrow Re = 270,3 * (250) - 1135,2 \Rightarrow Re = 66440$$

3.8. Kanalizasyon Sistemleri için Reynolds (Re) Sayılarının Hesaplanması

Deneysel sistemde oluşturulan türbülansın ve Reynolds sayısının, gerçek atık su sistemlerinde görülen Reynolds sayılarını temsil etmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle, atık su boruları ve kanalizasyon sistemlerinde kısmi akım şartlarındaki Re sayıları hesaplanmıştır. Bu işlemler aşağıdaki denklem 3.12 kullanılarak yapılır.

$$Re = \rho_w * v * r / \mu \quad (3.12)$$

Bu denklemde;

$$\rho_w = \text{Suyun yoğunluğu (g/cm}^3\text{)},$$

$$v = \text{Suyun ortalama akış hızı (cm/s)},$$

$$r = \text{Hidrolik yarıçap (= akış kesit alanı/ıslak çevre) (cm)},$$

$$\mu = \text{Suyun dinamik viskozitesidir (g/cm-s) [18]}.$$

Bu denklemin kullanılabilmesi için kanalizasyon borusundaki akış hızı ve hidrolik yarıçapın bilinmesi gerekmektedir.

Tam dolu kanalizasyon borularında akış hızı denklem 3.13'de verilen Manning's formülü kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$v = (1/n) * (r)^{(2/3)} * (s)^{(1/2)} \quad (3.13)$$

Bu denklemde;

$$v = \text{Ortalama akış hızı (m/s)},$$

n = Boru pürüzlülük katsayısı (boyutsuz),
 r = Hidrolik yarıçap (m),
 s = Borunun taban eğimi (m/m) [37].

Boru pürüzlülük katsayısı 0,010 ile 0,015 arasında değişmekte olup beton, asbestli-çimento ve plastik borular için genellikle 0,013 alınmaktadır (American Society of Civil Engineers and Water Environment Federation).

Manning's formülü kullanılarak tam dolu şekilde akan borulardaki akış hızı hesaplanır. Ancak, kanalizasyon boruları belirli doluluk oranıyla akmaktadır. Bu nedenle, kısmi akımın hızı belirlenmelidir. Bu değer, tam dolu durumdaki akış hızı ve borunun doluluk oranı kullanılarak, standart tablolar yardımıyla belirlenir. Bu tablolar atık su toplama ve taşıma üzerine yazılmış tüm ders kitaplarında bulunmaktadır [38]. Örneğin, bu çalışmada kanalizasyon boruları % 10 ve % 60 doluluk oranıyla aktığı kabul edilerek, bu şartlardaki hidrolik yarıçaplar, kısmi akış hızları ve Reynolds sayıları belirlenmiştir.

BÖLÜM 4. KİŞİ BAŞINA TUVALET KAĞIDI TÜKETİMİ VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ BULGULARI

Bu bölümde ülkemizdeki tuvalet kağıdı tüketimini etkileyen faktörlerin analiz edilmesi ve kişi başına tüketim değerlerinin belirlenmesi için yapılan anket çalışması ve istatistiksel analiz bulguları sunulmuştur.

4.1. Ön Hazırlık Çalışmaları

Ülkemizdeki tüketicilerin tuvalet kağıdı tercihini etkileyen faktörler ve kişi başına tuvalet kağıdı tüketim miktarıyla ilgili bilgiler toplamak için anket çalışması yapılmıştır. Bu bağlamda, anket çalışmasında kullanılmak üzere aşağıdaki sorular hazırlanmıştır.

Kişisel tüketim miktarını belirlemek için hazırlanan sorular;

1. Bir ruloyu yaklaşık ne kadar sürede tüketirsiniz?

- | | |
|--------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> 1 gün | <input type="checkbox"/> 5 gün |
| <input type="checkbox"/> 2 gün | <input type="checkbox"/> 6 gün |
| <input type="checkbox"/> 3 gün | <input type="checkbox"/> 7 gün |
| <input type="checkbox"/> 4 gün | <input type="checkbox"/> Diğer (... gün) |

2. Satın aldığımız paketlerde genelde kaç rulo bulunur?

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 16 |
| <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 20 |
| <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 24 |
| <input type="checkbox"/> 8 | <input type="checkbox"/> 32 |
| <input type="checkbox"/> 12 | <input type="checkbox"/> Diğer (...) |

3. Yukarıda belirttiğiniz paketi hangi sıklıkta satın alırsınız?

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 hafta | <input type="checkbox"/> 5 hafta |
| <input type="checkbox"/> 2 hafta | <input type="checkbox"/> 1 ay |
| <input type="checkbox"/> 3 hafta | <input type="checkbox"/> 2 ay |
| <input type="checkbox"/> 4 hafta | <input type="checkbox"/> Diğer (...) |

4. Satın aldığınız paketi yaklaşık olarak ne kadar sürede tüketirsiniz?

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 hafta | <input type="checkbox"/> 5 hafta |
| <input type="checkbox"/> 2 hafta | <input type="checkbox"/> 1 ay |
| <input type="checkbox"/> 3 hafta | <input type="checkbox"/> 2 ay |
| <input type="checkbox"/> 4 hafta | <input type="checkbox"/> Diğer (...) |

Tüketicilerin tuvalet kağıdı tercihlerinde etkili faktörleri belirlemek için, ankete katılan bireylere tuvalet kağıtlarının özellikleriyle ilgili sorularda sorulmuştur. Buna göre, kağıtların su tutma kapasitesi, yaprak sayısı, yumuşaklık, görünüm, marka, reklam ve fiyat gibi parametrelerin tuvalet kağıdı seçiminde hangi oranda etkili olduğu sorulmuştur. Bu soruların cevaplanmasında, 5’li likert ölçeği kullanılmış ve anketlerde 5=çok önemli, 4=önemli, 3=nispeten önemli, 2=az önemli, 1=önemsiz şeklinde ifade edilmiştir. Bu amaçla tüketicilere ‘tuvalet kağıdı tercihinizi etkileyen faktörler sizce ne derece önemlidir?’ sorusu yöneltilmiş ve cevaplar için aşağıda Tablo 4.1’de sunulan şablon kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Tuvalet kağıdı tercihinde etkili faktörler tablosu

Tuvalet kağıdı özellikleri	Çok önemli	Önemli	Nispeten önemli	Az önemli	Önemsiz
Fiyat					
Yumuşaklık					
Kalınlık					
Su tutma kapasitesi					
Yaprak sayısı					
Görünüm					
Marka					

Tablo 4.1’de kullanılan değerlendirme ölçeği güvenilirlik analizi ile test edilmiştir. Yapılan güvenilirlik analizinde Cronbach’s Alfa katsayısı $\alpha=0,63$ elde edilmiştir.

Hesaplanan alfa katsayısının $0,60 < \alpha < 0,80$ aralığında bulunması araştırmada kullanılan ölçeğin güvenilir olduğunu göstermiştir [39].

Ankette yukarıda verilen soruların yanı sıra, tüketicilerin demografik bilgilerini (cinsiyet, yaş, eğitim durumu, yaşadığı bölge ve gelir) ve tuvalet kağıtlarını kullandıktan sonra nasıl bertaraf ettiklerini (1-tuvalette bulunan çöp kovaları, 2-kanalizasyon sistemi) içeren sorularda sorulmuştur.

Anket soruları hazırlandıktan sonra ankete son şeklini verebilmek için küçük çaplı bir uygulama yapılmıştır. Bunun için, anketin uygulanacağı tüketicileri temsil edecek nitelikteki 20 kişilik bir grup seçilmiş ve anket sorularının anlaşılabilirliği, uzunluğu, kapsamı vb. konular hakkında ön testler yapılmıştır. Bu testin yapıldığı bireylerden alınan geri beslemeler doğrultusunda anket sorularında iyileştirilmeler yapılmıştır.

4.2. Verilerin Toplanması ve Analizi

Yapılan anket çalışması ölkemiz sınırları içerisinde bulunan popölasyonu kapsamaktadır. Buna göre anketlerin uygulanacağı örneklem sayısı ölkemizdeki toplam popölasyonu temsil edecek şekilde % 95 güven aralığı ve % 5 anlam düzeyi için 384 olarak örneklem sayısı tablosundan belirlenmiştir [40]. Bu örneklem büyüklüğu dikkate alınarak, bu çalışma için toplam 450 birimden oluşan bir örneklem yapılması uygun bulunmuştur. Anketlerin uygulamasında yüz yüze görüşme yöntemi kullanılmıştır. Anketler, ölkemizin farklı bölgelerinde yaşayan bireylere uygulanmıştır.

Tüketicilere uygulanan 450 anket formundan bazılarında eksiklikler olması nedeniyle analize uygun olan 409 anket formu elde edilmiştir. Bu durumda, anket formlarının geri dönüş oranı % 91 düzeyinde olmuştur. Anketlerden elde edilen veriler SPSS istatistik programında çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir. Bu doğrultuda;

- Tuvalet kağıdı özelliklerinin her birinin, tuvalet kağıdı tüketimini etkileyip etkilemediği tek örneklem (t) testi ile,

- Tuvalet kağıdı tüketim miktarının, tüketimi etkileyen özellikler itibari ile değişip değişmediği Kikare bağımsızlık testi ile,
- Tuvalet kağıdına ait özellikler ile tüketicilerin demografik özellikleri arasında anlamlı farklılıkların mevcut olup olmadığı Çok Değişkenli Varyans Analizi (MANOVA) ile,
- Farklılık oluşturan demografik guruplarda bu farklılığın hangi alt gurupta olduğu Tukey testi ile belirlenmiştir.

4.3. Tüketicilere Ait Demografik Bilgiler

Tablo 4.2’de araştırmaya katılan bireylerin (deneklerin) demografik özellikleri verilmektedir. Tablo 4.2 incelendiğinde, ankete katılan bireylerin cinsiyet bakımından yaklaşık yarısının erkek (% 50,37) yarısının da bayanlardan (% 49,63) oluştuğu görülmektedir.

Tablo 4.2. Ankete katılan bireylerin demografik özellikleri

Cinsiyet	Frekans	%	Gelir	Frekans	%
Erkek	206	50,37	<500	5	1,22
Kadın	203	49,63	500-1000	63	15,40
Toplam	409	100	1000-1500	105	25,67
			1500-2000	106	25,93
			>2000	130	31,78
			Toplam	409	100
Yaş Aralıkları	Frekans	%	Yaşadığı Bölge	Frekans	%
15-30 yaş	143	34,96	Marmara	210	51,34
31-50 yaş	159	38,88	İç Anadolu	53	12,96
51 ve üzeri yaş	107	26,16	Akdeniz	17	4,16
Toplam	409	100	Ege	25	6,11
			Karadeniz	68	16,63
Eğitim Durumu	Frekans	%	Doğu Anadolu	22	5,38
İlköğretim	134	32,76	Güneydoğu Anadolu	14	3,42
Lise	137	33,50	Toplam	409	100
Üniversite	138	33,74			
Toplam	409	100			

Yaş grupları bakımından, 31-50 yaş grubuna ait bireylerin toplam katılımın % 38,88’lik kısmına karşılık geldiği ve böylece, en büyük yüzdelik dilimi oluşturdukları gözlemlenmektedir. Bunu % 34,96 ile genç yaşta bireylerin oluşturduğu 15-30 yaş grubundakiler takip etmektedir. Bu değerleri, % 26,16 ile >51

yaş aralığındaki bireylerin takip ettiği ve bu grubun toplamda en düşük yüzdelik dilime sahip olduğu görülmektedir.

Eğitim durumu itibariyle, ilköğretim mezunları % 32,76, lise mezunları % 33,50 ve üniversite mezunları ise % 33,74'e karşılık gelmektedir.

Bireyler arasında gelir miktarı bakımından en düşük oran % 1,22 ile 500 TL'den daha az gelire sahip gelir grubundakilerdir. Bunu % 15,40 ile 500-1000 TL gelir grubunda olanlar takip etmektedir. Daha sonra yaklaşık aynı orana sahip olan 1001-1500 TL gelir grubundakiler (% 25,67) ve 1501-2000 TL gelir grubundakiler (% 25,93) gelmektedir. Gelir miktarı bakımından en büyük grup (% 31,78)'lik bir oranla 2000 TL'den daha fazla geliri olan bireylerin oluşturduğu gelir grubudur.

Araştırmaya katılan bireyler, yaşadıkları bölgeler bakımından, % 51,34 Marmara, % 16,63 Karadeniz, %12,96 İç Anadolu, % 6,11 Ege, % 5,38 Doğu Anadolu, % 4,16 Akdeniz ve % 3,42 Güneydoğu Anadolu Bölgeleri şeklinde bir dağılım göstermiştir.

4.4. Kişi Başı Tüketim Miktarları

Tuvalet kağıtlarının tüketimiyle ilgili sorular çapraz sorgulama şeklinde hazırlanmıştır (Bkz., 4.1. Ön hazırlık çalışmaları, anketteki 1, 2, 3 ve 4. sorular). Böylelikle, tüketimle ilgili sorulara verilen cevaplar karşılaştırılmış ve çok büyük tutarsızlık görülen anketler dikkate alınmamıştır. Buna göre, katılımcıların % 4,5'i bir ruloyu 4 günde, % 20,7'si 5 günde, % 10,8'i 6 günde, % 54,5'i 7 günde, % 2,7'si 10 günde ve % 6,8'i 14 gün ve üzerinde tüketmektedir. Bu veriler ankete katılanların büyük bir çoğunluğunun (% 86) bir ruloyu 5-7 gün aralığında tükettiğine işaret etmektedir. Bu değerlere göre, kişi başına 5 günde bir rulo kullanıldığı dikkate alınır, yıllık tüketim 73 rulo/kişi ve 7 günde bir rulo kullanıldığı dikkate alınır, yılda 52 rulo/kişi olmaktadır. Genel olarak tüketim süresinin 7 gün olduğu katılımcıların yarısından fazlasının (% 54,5) verdiği cevaplardan anlaşılmaktadır.

Yukarıda elde edilen yüzdelik dilimler kullanılarak, bir rulonun tüketim süresinin ağırlıklı ortalaması hesaplanmıştır. Buna göre, bir rulonun ortalama tüketim süresi aşağıdaki hesaplama göre belirlenmiştir.

$$\text{Ortalama tüketim süresi} = [((4,5 \times 4 \text{ gün}) + (20,7 \times 5 \text{ gün}) + (10,8 \times 6 \text{ gün}) + (54,5 \times 7 \text{ gün}) + (2,7 \times 10 \text{ gün}) + (6,8 \times 14 \text{ gün})) / 100] = 6,9 \text{ gün} \approx 7 \text{ gün}$$

Bu bilgilerin ışığı altında, ülkemizde kişi başına, 1 haftada 1 rulo, yani yılda ortalama 52 rulo tüketilmektedir.

Buna karşılık, daha önceden yayınlanan gazete haberlerinde, 2000’li yıllarda ülkemizdeki yıllık tüketimin kişi başına 6-7 rulo ile 10-12 rulo aralığında olduğu belirtilmiştir. Ancak, bu değerlerin bilimsel açıdan bir dayanağı mevcut değildir. Buna karşılık, ülkemizin ekonomik gelişmişlik düzeyi dikkate alındığında, tarafımızdan bulunan değer, benzer ülkelerde görülen değerlere yakındır. Ülkeler ait yıllık tüketim değerleri kg/kişi-yıl olarak verildiğinden, elde edilen sonuçlar aşağıdaki bilgilere göre ilgili birimlere dönüştürülmüştür.

Ülkemizde tuvalet kağıdı ruloları 150-180 yaprak ve net kağıt miktarları 80-130 g arasında değişmektedir. Bu aralığın ortalaması olarak, bir ruloda net 100 g kadar kağıt bulunmaktadır. Bu bilgilere göre, yıllık kişi başına ortalama tuvalet kağıdı tüketimi $(52 \text{ rulo/kişi-yıl} \times 100 \text{ g/rulo}) = 5200 \text{ g/kişi-yıl} = 5,2 \text{ kg/kişi-yıl}$ şeklinde tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak, yıllık tüketimin minimum ve maksimum değerleri ise aşağıdaki şekilde bulunabilir.

Bir rulonun tüketim süresinin 5 gün olması durumunda, yıllık tüketim için $(365 \text{ gün/yıl}) / (5 \text{ gün/rulo-kişi}) = 73 \text{ rulo/kişi-yıl}$ ve $73 \times 100 \text{ g/rulo} = 7300 \text{ g/kişi-yıl} = 7,3 \text{ kg/kişi-yıl}$ şeklinde bir maksimum değer elde edilmektedir.

Benzer şekilde, bir rulonun tüketim süresinin 10 gün veya 14 gün olabileceği anket sonuçlarından anlaşılmaktadır. Buna göre, 10 günlük tüketim süresinden yıllık 3,65

kg/kişi-yıl ve 14 günlük tüketim süresinden yıllık 2,6 kg/kişi-yıl minimum tüketim değerleri elde edilmektedir.

Dünyadaki bazı tüketim değerleri kg/kişi-yıl olarak, İngiltere 17, İsveç 18, Japonya ve İtalya 14, Macaristan 11, Slovakya 7, Bulgaristan 5, Romanya 4 şeklindedir [41]. Buna ek olarak, Avrupa ülkelerindeki tuvalet kağıdı tüketim değerlerini izleyen ve tahminler yürüten, European Tissue Monitor isimli kuruluş, ülkemizdeki tüketim değerlerinin 2011 yılı için 4,2 kg/kişi-yıl olacağını tahmin etmiştir [42]. Tarafımızdan belirlenen değer (5,2 kg/kişi-yıl), yukarıda verilen literatür bilgileriyle karşılaştırılması sonucunda, elde edilen değer gerçekçi ve ülkeyi temsil edici nitelikte olduğu anlaşılmaktadır.

4.5. Tüketimi Etkileyen Faktörlerin Analizi

Tuvalet kağıdı tüketiminde etkili olduğu düşünülen ürün özellikleriyle ilgili istatistiksel bilgiler Tablo 4.3'de sunulmuştur. Bu değerler, ankete katılan bireylerin her bir faktörle ilgili değerlendirmelerinin aritmetik ortalaması, standart sapması ve standart hatası şeklinde sunulmaktadır.

Tablo 4.3. Tüketicilerin tuvalet kağıdı satın alma değişkenlerinin istatistikleri

Değişkenler	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
Yumuşaklık	409	4,23	0,78	0,038
Su Tutma Kapasitesi	409	3,98	0,96	0,048
Yaprak Kat Sayısı	409	3,77	1,06	0,052
Fiyat	409	3,68	1,14	0,056
Marka	409	3,23	1,25	0,062
Görünüm	409	2,84	1,35	0,067
Reklam	409	2,83	1,37	0,068

Tablo 4.3.'de belirtilen özelliklerin tuvalet kağıdı tüketiminde etkili olup olmadığı, t testi ile belirlenmiştir. Buna göre, beklenen değer 3 alınarak tek örneklem t testi gerçekleştirilmiştir. T testinden değişkenlerin tamamı için anlamlılık değerleri, $\alpha < 0,05$ elde edilmiştir. Buna göre tüm değişkenlerin tuvalet kağıdı tüketiminde etkili olduğu görülmüştür.

Tablo 4.3 incelendiğinde, tuvalet kağıdı tüketiminde en önemli özelliğin 4,23 ortalama ile tuvalet kağıdının yumuşaklığı olduğu anlaşılmaktadır. Yumuşaklık özelliğini ikinci olarak 3,98 ortalama ile tuvalet kağıdının su tutma kapasitesi takip etmektedir. Bundan sonra sırasıyla, yaprak kat sayısı (3,77), fiyat (3,68) ve en düşük ortalamalara sahip olan görünüm (2,84) ve reklam (2,83) izlemektedir. Bu verilere göre, tüketiciler için yumuşaklık, su tutma kapasitesi ve fiyat önemli özellikler iken, görünüm ve reklam nispeten daha az önemlidir.

Tablo 4.3'deki özelliklerin, tuvalet kağıdı tüketim miktarını değiştirip değiştirmediği Kikare testi ile test edilmiştir. Bu testlerde, bütün değişkenler için Kikare testi α anlamlılık değeri 0,05'den küçük çıkmıştır. Buna göre, tuvalet kağıdı tüketim miktarı değişkenlerin hepsi için farklılık göstermektedir.

4.6. Tüketimin Demografik Özelliklere Bağlı Analizi

Tuvalet kağıdına ait özelliklerin, tüketicilerin demografik özellikleri bakımından farklılık oluşturup oluşturmadığı Çok Değişkenli Varyans Analizi (MANOVA) kullanılarak analiz edilmiştir. Farklılık bulunduğu, bu farklılığın hangi alt gruplarda olduğunun belirlenmesinde ise Tukey testinden faydalanılmıştır. Yapılan analizlerde anlamlılık düzeyi (p) % 5 alınmıştır.

MANOVA analizinin yapılabilmesi için verilerin homojenlik ve normal dağılım ön şartının yerine gelmesi gerekmektedir. Bu nedenle anket verilerinin homojenliği Levene Testi ile, normalliği ise Kolmogorov Smirnov (K-S) testi ile test edilmiştir. Homojenlik testinden (Levene Testi $F=0,165$, $p>0,05$) ve normallik testinden (Kolmogorov-Smirnov= $0,218$, $p>0,05$) elde edilen anlamlılık değerleri 0,05'den büyük olduğundan verilerin homojenlik ve normalliğinin sağlandığı ve Manova analizi için gerekli ön koşulun gerçekleştiği görülmüştür [31, 43].

Bundan sonra, cinsiyet, yaş, gelir durumu, eğitim düzeyi, yaşanan bölge gibi faktörlerin, kağıt tüketimi açısından anlamlı olup olmadığı araştırılmıştır. Bu analizlerin sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

Cinsiyete dayalı farklılık analizi:

H₀: Cinsiyete göre bağımlı değişkenlerin değerleri farklılık göstermemektedir.

H₁: Cinsiyete göre bağımlı değişkenlerin değerleri farklılık göstermektedir.

Tablo 4.3’de verilen bağımlı değişkenler (Kağıda ait özellikler) ile cinsiyet arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı çok değişkenli varyans analizi (MANOVA) ile belirlenmiş ve sonuçları Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de sunulmuştur.

Tablo 4.4. Bağımlı değişkenler itibari ile cinsiyete dayalı farklılıkları gösteren test sonuçları

Testler	Değer	F Değeri	Hipotez Serbestlik Derecesi	Hata Serbestlik Derecesi	Anlamlılık Değeri
Pillai’s Trace	0,019	1,100	7,000	401,000	0,362
Wilks’ Lambda	0,981	1,100	7,000	401,000	0,362
Hotelling s Trace	0,019	1,100	7,000	401,000	0,362

Tablo 4.5. Bağımlı değişkenlerin cinsiyete göre ortalamaları ve çok değişkenli varyans analizi sonuçları

Bağımlı Değişkenler	Cinsiyet Durumu Ortalamaları		F Değeri	Anlamlılık Değeri
	Erkek	Kadın		
Fiyat	3,61	3,74	1,479	0,225
Yumuşaklık	4,23	4,24	0,012	0,914
Yaprak Kat Sayısı	3,73	3,80	0,507	0,477
Su Tutma Kapasitesi	3,99	3,97	0,067	0,795
Görünüm	2,78	2,91	0,906	0,184
Marka	3,15	3,31	1,772	0,249
Reklam	3,99	3,97	1,332	0,342

Tablo 4.4’deki tüm testler için anlamlılık değeri ($p=0,362>0,05$) şeklindedir. Bu testler arasında en çok tercih edilen Wilks’ Lambda testidir [31]. Wilks’ Lambda testi için anlamlılık değeri ($p=0,362>0,05$) olduğundan dolayı H₀ hipotezi kabul edilir. Buna göre, bağımlı değişkenler itibari ile cinsiyet açısından bir farklılık göstermediği sonucuna varılır. Bu durumda, Tablo 4.3’de verilen özelliklerle tüketici cinsiyeti arasında anlamlı bir bağlantı mevcut değildir. Bu nedenle, tüketicilerin erkek veya kadın olması, ankette belirtilen kağıt özellikleri ve kağıt tüketimi açısından önemli değildir.

Tuvalet kağıtlarının özellikleriyle ilgili olarak, anketlerde yapılan değerlendirmelerin ortalamaları Tablo 4.5’de cinsiyete göre sunulmaktadır. Bu ortalama değerlerin birbirine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Bu nedenle, yapılan anket çalışması açısından, tüketicilerin erkek veya kadın olması önemli değildir. Bu durum, Tablo 4.5’de verilen anlamlılık değerlerinin tamamının 0,05’den büyük olmasıyla istatistiksel olarak belirlenmiştir.

Yaş gruplarına dayalı farklılık analizi:

H₀: Yaş gruplarına göre bağımlı değişkenlerin değerleri farklılık göstermemektedir.

H₁: Yaş gruplarına göre bağımlı değişkenlerin değerleri farklılık göstermektedir.

Tablo 4.6 ve 4.7’de, kağıda ait özelliklerin farklı yaş gruplarındaki bireyler açısından değerlendirilmesine ait sonuçlar verilmektedir. Tablo 4.6 ve 4.7’de anlamlılık değerleri 0,05’den büyük olduğundan H₀ hipotezi kabul edilir. Yani, tüketicinin yaşı ile kağıda ait özellikler arasında önemli bir bağlantı mevcut değildir.

Tablo 4.6. Bağımlı değişkenler itibari ile yaş gruplarına dayalı farklılıkları gösteren test sonuçları

Testler	Değer	F Değeri	Hipotez Serbestlik Derecesi	Hata Serbestlik Derecesi	Anlamlılık Değeri
Pillai's Trace	0,028	0,821	14,000	802,000	0,646
Wilks' Lambda	0,972	0,822	14,000	800,000	0,645
Hotelling s Trace	0,029	0,823	14,000	798,000	0,644

Tablo 4.7. Bağımlı değişkenlerin yaş grupları ortalamaları ve çok değişkenli varyans analizi sonuçları

Bağımlı Değişkenler	Yaş Grupları Ortalamaları			F Değeri	Anlamlılık Değeri
	15-30 yaş	31-50 yaş	51 yaş ve üzeri		
Fiyat	3,699	3,654	3,692	0,067	0,936
Yumuşaklık	4,287	4,176	4,243	0,774	0,462
Yaprak Kat Sayısı	3,881	3,698	3,710	1,316	0,269
Su Tutma Kapasitesi	3,972	3,950	4,047	0,339	0,713
Görünüm	2,881	2,755	2,916	0,529	0,590
Marka	3,196	3,239	3,252	0,073	0,929
Reklam	2,657	2,881	2,972	1,876	0,154

Gelir gruplarına dayalı farklılık analizi:

H₀: Gelir gruplarına göre bağımlı değişkenlerin değerleri farklılık göstermemektedir.

H₁: Gelir gruplarına göre bağımlı değişkenlerin değerleri farklılık göstermektedir.

Kağıda ait özelliklerin farklı gelir grupları açısından analiz sonuçları Tablo 4.8 ve 4.9'da verilmektedir. Tablo 4.8'deki testlerden elde edilen anlamlılık değerlerinin 0,05'den küçük olduğu görülmektedir. Bu durumda H₀ hipotezi ret edilir, yani kağıda ait özelliklerle gelir grupları arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır.

Tablo 4.9'deki varyans analizi sonuçlarına göre fiyat değişkeni için anlamlılık değerinin 0,05'den küçük olduğu ($p=0,023<0,05$) ve diğer bağımlı değişkenler için 0,05'den büyük olduğu görülmektedir. Buna göre, ürün fiyatı bazı gelir grupları için önem arz etmektedir.

Tablo 4.8. Bağımlı değişkenler itibari ile gelir gruplarına dayalı farklılıkları gösteren test sonuçları

Testler	Değer	F Değeri	Hipotez Serbestlik Derecesi	Hata Serbestlik Derecesi	Anlamlılık Değeri
Pillai's Trace	0.115	1.689	28.000	1604.000	0.014
Wilks' Lambda	0.889	1.694	28.000	1436.000	0.013
Hotelling s Trace	0.120	1.697	28.000	1586.000	0.013

Tablo 4.9. Bağımlı değişkenlerin gelir grupları ortalamaları ve çok değişkenli varyans analizi sonuçları

Bağımlı Değişkenler	Gelir Grupları Ortalamaları					F Değeri	Anlamlılık Değeri
	500 TL'den az	500-1000 TL	1001-1500 TL	1501-2000 TL	2000 TL'den çok		
Fiyat	3.200	3.810	3.876	3.736	3.431	2.867	0.023
Yumuşaklık	4.400	4.238	4.229	4.094	4.338	1.506	0.200
Yaprak Kat Sayısı	4.400	3.714	3.829	3.689	3.777	0.717	0.581
Su Tutma Kapasitesi	4.800	3.937	3.895	3.877	4.131	2.276	0.061
Görünüm	2.200	2.873	2.914	2.575	3.008	1.828	0.123
Marka	4.400	2.968	3.343	3.160	3.269	2.129	0.076
Reklam	4.200	2.714	2.933	2.594	2.931	2.580	0.057

Ürün fiyatının hangi gelir düzeyleri için farklılık oluşturduğunu belirlemek için Tukey testi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.10'da özetlenmiştir.

Tablo 4.10 incelendiğinde, gelir düzeyi 1001-1500 TL olan (2. Kolon) grup referans olarak alınmış ve diğer gelir grupları (3. Kolon) bu gruba göre değerlendirilmiştir. Bu kıyaslama sonucunda geliri 2000 TL'den fazla olan bireylerin, referans gruba göre (1001-1500 TL) ürün fiyatına karşı büyük oranda farklılık gösterdiği, anlamlılık değerinin ($0,024 < 0,05$) şeklinde olmasından anlaşılmaktadır.

Tablo 4.10. Fiyat bağımlı değişkeni için gelir alt grupları çoklu karşılaştırmalar tablosu (Tukey Testi)

Bağımlı Değişken	Gelir (i)	Gelir (j)	Ortalama Fark (i-j)	Standart Hata	Anlamlılık Değeri
Fiyat	1001-1500 TL	500 TL'den az	0,676	0,518	0,687
		500-1000 TL	0,066	0,180	0,996
		1501-2000 TL	0,140	0,156	0,896
		2000 TL'den çok	0,445	0,148	0,024

Eğitim düzeyine dayalı farklılık analizi:

H_0 : Eğitim düzeylerine göre bağımlı değişkenlerin değerleri farklılık göstermemektedir.

H_1 : Eğitim düzeylerine göre bağımlı değişkenlerin değerleri farklılık göstermektedir.

Tablo 4.11 ve 4.12'de farklı eğitim düzeylerindeki bireylere ait analiz sonuçları verilmektedir. Tablo 4.11'deki bütün testler için elde edilen anlamlılık değerleri 0.05'den küçük olduğundan H_0 hipotezi ret edilir, yani eğitim düzeyine dayalı bir farklılık bulunmaktadır.

Tablo 4.12'deki varyans analiz sonuçları incelendiğinde, su tutma kapasitesi için F testi anlamlılık değerinin 0,05'den küçük olduğu ($p=0,024 < 0,05$), diğer bağımlı değişkenler için ise anlamlılık değerlerinin 0,05'den büyük olduğu görülmektedir. Buna göre, yalnızca su tutma kapasitesi için eğitim düzeyine dayalı anlamlı bir farklılık varken diğer bağımlı değişkenler için farklılık yoktur.

Su tutma kapasitesi için gerçekleştirilen Tukey testi sonuçları Tablo 4.13'de verilmiştir. Buradan anlamlılık değeri 0.05'den küçük olan üniversite mezunu ve ilköğretim mezunu alt grubu arasında anlamlı bir farklılık olduğu anlaşılmaktadır. Ortalama fark değerinin pozitif olması (0,316) üniversite mezunu bireyler için su

tutma kapasitesinin ilköğretim mezunu bireylere göre daha önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.11. Bağımlı değişkenler itibari ile eğitim düzeyine dayalı farklılıkları gösteren test sonuçları

Testler	Değer	F Değeri	Hipotez Serbestlik Derecesi	Hata Serbestlik Derecesi	Anlamlılık Değeri
Pillai's Trace	0,055	1,608	14,000	802,000	0,023
Wilks' Lambda	0,946	1,608	14,000	800,000	0,023
Hotelling s Trace	0,056	1,609	14,000	798,000	0,023

Tablo 4.12. Bağımlı değişkenlerin eğitim düzeyi ortalamaları ve çok değişkenli varyans analizi sonuçları

Bağımlı Değişkenler	Eğitim Düzeyi Ortalamaları			F Değeri	Anlamlılık Değeri
	İlköğretim	Lise	Üniversite		
Fiyat	3,701	3,825	3,514	2,600	0,076
Yumuşaklık	4,179	4,226	4,290	0,694	0,500
Yaprak Kat Sayısı	3,657	3,883	3,754	1,560	0,211
Su Tutma Kapasitesi	3,828	3,971	4,145	3,754	0,024
Görünüm	2,866	2,766	2,891	0,313	0,731
Marka	3,172	3,292	3,217	0,318	0,728
Reklam	2,940	2,876	2,667	1,537	0,216

Tablo 4.13. Su tutma kapasitesi bağımlı değişkeni için eğitim düzeyi alt grubu çoklu karşılaştırmalar tablosu (Tukey Testi)

Bağımlı Değişken	Eğitim Düzeyi (i)	Eğitim Düzeyi (j)	Ortalama Fark (i-j)	Standart Hata	Anlamlılık Değeri
Su Tutma Kapasitesi	Üniversite Mezunu	İlköğretim	0,316	0,116	0,018
		Lise Mezunu	0,174	0,115	0,286

Yaşanılan bölgeye dayalı farklılık analizi:

H_0 : Bölgelere göre bağımlı değişkenlerin değerleri farklılık göstermemektedir.

H_1 : Bölgelere göre bağımlı değişkenlerin değerleri farklılık göstermektedir.

Tablo 4.14 ve 4.15'de kağıda ait özelliklerin farklı bölgelerde yaşayan bireyler açısından test sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.14 ve 4.15’de verilen anlamlılık değerleri 0.05’den büyük olduğundan dolayı H_0 hipotezi kabul edilir. Yani bütün bağımlı değişkenler için bireylerin yaşadığı bölgeye dayalı herhangi bir farklılık bulunmamaktadır.

Tablo 4.14. Bağımlı değişkenler itibari ile yaşanılan bölgeye dayalı farklılıkları gösteren test sonuçları

Testler	Değer	F Değeri	Hipotez Serbestlik Derecesi	Hata Serbestlik Derecesi	Anlamlılık Değeri
Pillai’s Trace	0,104	1,007	42,000	2406,000	0,459
Wilks’ Lambda	0,900	1,006	42,000	1860,857	0,462
Hotelling s Trace	0,107	1,004	42,000	2366,000	0,465

Tablo 4.15. Bağımlı değişkenlerin yaşanılan bölge ortalamaları ve çok değişkenli varyans analizi sonuçları

Bağımlı Değişkenler	Yaşanılan Bölge Ortalamaları							F Değeri	Anlamlılık Değeri
	1*	2	3	4	5	6	7		
Fiyat	3,648	3,792	3,882	3,400	3,676	3,864	3,714	0,548	0,772
Yumuşaklık	4,267	4,377	4,412	4,320	3,941	4,182	4,286	2,232	0,079
Yaprak Kat Sayısı	3,762	3,755	4,000	3,720	3,794	3,773	3,500	0,299	0,937
Su Tutma Kapasitesi	4,067	4,019	3,824	3,960	3,676	4,091	4,143	1,637	0,136
Görünüm	2,943	2,585	3,118	2,640	2,809	2,409	3,143	1,181	0,316
Marka	3,248	3,170	3,412	3,240	3,191	3,318	2,929	0,248	0,960
Reklam	2,843	2,962	3,176	2,440	2,750	2,636	3,000	0,770	0,594

*Bölgeler: 1-Marmara, 2-İç Anadolu, 3-Akdeniz, 4-Ege, 5-Karadeniz, 6-Doğu Anadolu, 7-Güneydoğu Anadolu

BÖLÜM 5. TUVALET KAĞITLARININ FİZİKSEL KARAKTERİZASYON BULGULARI

5.1. Tuvalet Kağıtlarının Kategorizasyonu

Tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanmasını çalışmak için uygun numunelerin belirlenmesi gerekmiştir. Bunun için yapılan ön incelemeler sonucunda, dünyada satılan tuvalet kağıtlarının herhangi bir kategorizasyonunun olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, dünyanın değişik bölgelerinde satılan kağıtlardan numuneler alınarak, bu ürünlerin fiziksel karakterizasyonu yapılmıştır. Bunun için kağıtların nem miktarı (%), yaprak kütlesi (mg), yüzey alanı (mm²), gramaj (gr/m²), kat sayısı, kalınlık (µm), yaprak hacmi (mm³), özgül hacim (dm³/kg) gibi fiziksel özellikleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlara bağlı olarak ürünler gruplandırılmıştır. Bu işlemlerde kullanılan ölçüm yöntemlerinin ayrıntıları Bölüm 3’de verilmiştir.

Fiziksel karakterizasyon üç ana hedefe hizmet etmiştir. Birinci olarak, dünyadaki tuvalet kağıtlarının genel bir kategorizasyonu yapılmıştır. İkinci olarak, deneysel çalışmalarda kullanılacak tuvalet kağıtlarının seçimi sistematik bir şekilde yapılmıştır. Bu şekilde, dünyadaki kağıtları temsil edici numuneler belirlenmiş ve uygun örneklerle deneysel çalışmalar yapılmıştır. Üçüncü olarak, tuvalet kağıtlarının atık su sistemlerinde gösterecekleri davranışlar nicel olarak tahmin edilebilmiştir. Örneğin, yoğun ve sıkı ürünlerin atık su borularında geç parçalanacağı tahmin edilebilmiştir. Bu öngörüler, ürünlerin gramajının, özgül hacminin, yaprak kalınlığının ve yaprak kütlesinin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilmiştir.

Fiziksel karakterizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 5.1 ve 5.2’de ürünlerin yaprak kütlesine göre büyükten küçüğe doğru sıralanarak sunulmuştur.

Tablo 5.1. Lüks kalite ürünler olarak kategorize edilen tuvalet kağıtlarının karakteristik özellikleri

Örnek No	Yaprak Kütlesi (mg/yaprak)	% Nem Miktarı	Yüzey Alanı (en X boy)(mm ²)	Gramaj (g/m ²)	Mikroskopik Kat Sayısı	Kat Kalınlığı (µm)	Yaprak Kalınlığı (µm)	Yaprak Hacmi (mm ³)	Özgül Hacim (dm ³ /kg)	Pazarlanan Ülke yada Bölgeler
TKL-1	720	5,96	100x125=12500	57	3	66-67-67	200	2500	3,7	Avrupa Birliği (AB), Orta Doğu ve Orta Asya
TKL-2	691	5,05	100x125=12500	55	3	64-67-64	195	2438	3,7	Orta Doğu ve Orta Asya
TKL-3	690	5,29	100x125=12500	55	3	90-80-77	247	3087	4,7	Orta Doğu ve Orta Asya
TKL-4	641	6,36	105x125=13125	49	3	55-53-57	165	2165	3,4	AB ve Rusya
TKL-5	632	5,74	100x125=12500	51	3	74-74-72	220	2750	4,6	Orta Doğu ve Orta Asya
TKL-6	622	6,42	100x125=12500	50	3	56-59-61	176	2200	3,5	AB, İngiltere ve Rusya
TKL-7(*)	607	5,24	100x125=12375	49	3	42-44-52	138	1707	3,0	AB ve Orta Asya
TKL-8	559	5,73	95x115=10925	51	3	73-70-67	210	2294	4,3	AB, İngiltere ve Orta Doğu
TKL-9	554	5,67	95x115=10925	51	3	69-73-66	208	2272	4,4	AB, İngiltere ve Orta Doğu
Aralık	550-720			50-57	3		165-250	2000-3000		

(*) Bu marka tuvalet kağıdı yaprak kütlesinden dolayı lüks kalite sınıfında verilmiştir. Ancak yaprak kalınlığı, yaprak hacmi ve özgül hacim gibi özellikler bakımından bu kategoriye uygun olmadığından kategori aralığının belirlenmesinde dikkate alınmamıştır.

Tablo 5.2. Orta kaliteli ürünler olarak kategorize edilen tuvalet kağıtlarının karakteristik özellikleri

Örnek No	Yaprak Kütlesi (mg/yaprak)	% Nem Miktarı	Yüzey Alanı (en X boy) (mm ²)	Gramaj (g/m ²)	Mikroskopik Kat Sayısı	Kat Kalınlığı (µm)	Yaprak Kalınlığı (µm)	Yaprak Hacmi (mm ³)	Özgül Hacim (dm ³ /kg)	Pazarlanan Ülke yada Bölgeler
TKO-1	487	4,24	108x103=11124	44	2	64-65	129	1435	3,1	ABD, Kanada, İngiltere, AB
TKO-2	465	6,00	100x120=12000	39	2	86-89	175	2100	4,5	Orta Doğu ve Orta Asya
TKO-3	481	4,99	100x125=12500	38	2	51-54	105	1312	2,9	AB ve Orta Doğu
TKO-4	478	5,90	100x120=12000	40	2	63-65	128	1536	3,3	Türkiye
TKO-5	472	5,60	100x120=12000	39	2	67-66	133	1596	3,6	AB ve Orta Doğu
TKO-6	444	4,33	108x101=10908	41	2	65-65	130	1418	3,3	ABD, Kanada, Meksika, Orta Doğu, Afrika, Avrupa
TKO-7	422	5,96	95x120=11400	37	2	52-52	104	1185	3,0	AB, Orta Doğu ve Orta Asya
TKO-8	422	5,38	100x125=12474	34	2	60-61	121	1509	3,8	Orta Doğu ve Orta Asya
TKO-9	414	4,98	100x125=12375	33	2	43-40	83	1027	2,6	Almanya, Portekiz, Romanya, Türkiye, Rusya ve Ukrayna
TKO-10	414	4,82	100x127=12573	33	2	56-54	110	1383	3,5	AB ve Orta Doğu
Aralık	350-500			33-45	2		75-175	800-2100		

Tablo 5.2. Orta kaliteli ürünler olarak kategorize edilen tuvalet kağıtlarının karakteristik özellikleri (Devamı)

Örnek No	Yaprak Kütlesi (mg/yaprak)	% Nem Miktarı	Yüzey Alanı (en X boy) (mm ²)	Gramaj (g/m ²)	Mikroskopik Kat Sayısı	Kat Kalınlığı (µm)	Yaprak Kalınlığı (µm)	Yaprak Hacmi (mm ³)	Özgül Hacim (dm ³ /kg)	Pazarlanan Ülke yada Bölgeler
TKO-11	403	5,49	95x120=11400	35	2	51-50	101	1140	3,1	Orta Doğu ve Orta Asya
TKO-12	394	5,54	100x115=11500	34	2	37-37	74	851	2,3	ABD & Kanada
TKO-13	393	5,27	95x120=11400	34	2	57-61	118	1345	3,7	AB, Orta Doğu ve Orta Asya
TKO-14	375	5,70	100x110=11000	34	2	44-43	87	957	2,7	Türkiye
TKO-15	374	5,39	97x117=11349	33	2	49-46	95	1078	3,0	Türkiye
TKO-16	370	4,57	108x101=10908	34	2	39-38	76	830	2,4	ABD & Kanada
TKO-17	364	4,28	108x101=10908	33	2	75-75	150	1636	4,7	ABD, Kanada, Meksika, Orta Doğu, Afrika ve Avrupa
TKO-18 ^(*)	322	5,47	97x110=10670	30	2	37-36	73	774	2,5	Türkiye
Aralık	350-500			33-45	2		75-175	800-2100		

(*) Bu marka tuvalet kağıdı yaprak kütlesinden dolayı orta kalite sınıfında verilmiştir. Ancak yaprak kalınlığı, yaprak hacmi ve özgül hacim gibi özellikler bakımından bu kategoriye uygun olmadığından kategori aralığının belirlenmesinde dikkate alınmamıştır.

Tablo 5.1 ve 5.2'deki ürünler, gramaj, yaprak katsayısı, yaprak kalınlığı ve yaprak hacmi özelliklerine göre lüks kağıtlar (TKL) ve orta kalite kağıtlar (TKO) şeklinde sınıflandırılmıştır. Bu karakteristik parametrelerin aralıkları ilgili kolonların son satırında verilmektedir.

Buna göre, Tablo 5.1 incelendiğinde, lüks ürünlerin yaprak kütlelerinin 550-750 mg/yaprak, gramajının 50-57 g/m², yaprak katsayısının 3, yaprak kalınlığının 165-250 µm ve yaprak hacminin 2000-3000 mm³ aralığında olduğu anlaşılmaktadır. Benzer şekilde, orta kalite tuvalet kağıtları için ise, yaprak kütlesi 350-500 mg/yaprak, gramaj 33-45 g/m², yaprak katsayısı 2, yaprak kalınlığı 75-175 µm ve yaprak hacminin 800-2100 mm³ olduğu Tablo 5.2'den görülmektedir.

Buna paralel olarak, fiziksel parçalanma deneyleri iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiş ve numuneler bu aşamalardaki hedeflere uygun şekilde seçilmiştir. İlk aşamada, lüks ve orta kalite ürünlerin parçalanması karşılaştırmalı şekilde incelenmiştir. Bu nedenle, bu kategorileri en iyi şekilde temsil edebilecek numuneler kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan lüks kağıtların atık su sistemleri açısından daha fazla risk taşıdığı belirlenmiştir. Bu nedenle, ikinci aşamada, farklı özellikler taşıyan lüks kağıtlar kullanılarak parçalanma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Buna göre, deneysel çalışmaların birinci aşaması için, Tablo 5.1'de 1. sıradaki kağıt (TKL-1), lüks ürünlerin temsilcisi olarak belirlenmiştir. Bu ürünün karakteristik özelliklerine göre, yaprak kütlesi ve gramajı gurubunun en üst seviyesindedir. Buna karşılık, bu ürünün özgül hacmi orta seviyededir. Buna göre, yüksek miktarda selülozik fiber, orta seviyede bir hacim içinde sunulmaktadır. Bu nedenle bu kağıt sıkı ve yoğun bir üründür. Atıksu sistemlerindeki parçalanma açısından, bu ürün kritik bir numune niteliği taşımaktadır ve bu gruptaki diğer ürünlerin parçalanmasına ışık tutabilecek niteliktedir. Bu gerekçelere bağlı olarak, lüks kağıtlar kategorisinde 1. sıradaki ürün TKL-1 şeklinde kodlanarak birinci aşamadaki deneysel çalışmalar için seçilmiştir.

Tablo 5.2'deki ürünlerin özellikleri incelendiğinde, bu tablonun üst satırlarındaki ürünlerin karakteristik değerleri yüksek seviyelerdedir. Bu gruptaki ürünlerden 2. sıradaki ürün (TKO-2) yüksek yaprak kütlelerine, yüksek gramaja ve yüksek yaprak hacmine sahiptir. Bu bilgilere göre, yüksek miktarda selülozik fiber, fazla sıkıştırılmadan bu ürün içerisinde sunulmuştur. Bu nedenle, bu ürünün yaprak hacmi oldukça yüksek seviyededir. Bu özellik, bu ürünün hızlı parçalanabileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle, bu ürün orta kaliteli ürünleri temsil edici numune olarak seçilmiş ve TKO-2 şeklinde kodlanmıştır.

Deneysel çalışmaların birinci aşamasında, TKL-1 ve TKO-2 kağıtları ile yapılan çalışmalar, lüks kategorideki kağıtların daha yüksek selülozik fiber içerdiği ve orta kalite kağıtlara göre daha geç parçalandığını göstermiştir. Bu nedenle, fiziksel parçalanma deneylerinin ikinci aşamasında lüks kağıtlar kullanılmıştır. Bu çalışmalar için, lüks kağıtlardan TKL-4 ve TKL-6 kodlu numuneler seçilmiştir.

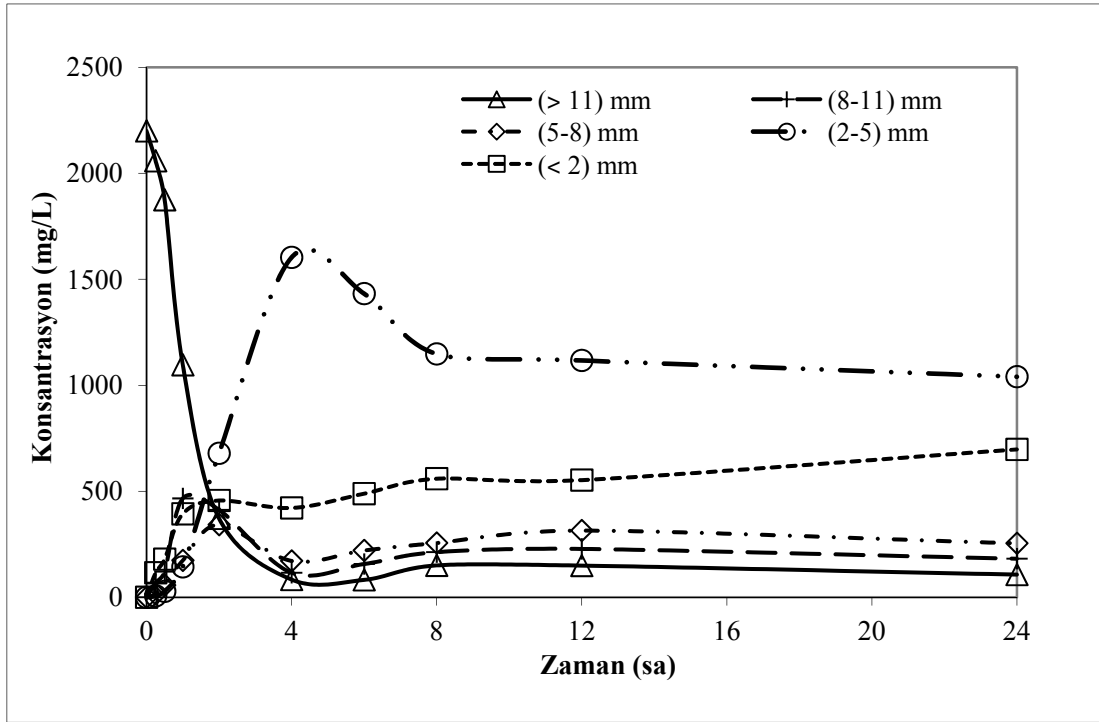
BÖLÜM 6. TUVALET KAĞIDININ FİZİKSEL PARÇALANMA DENEY VE MODELLEME BULGULARI

Tez çalışmasının bu bölümünde tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanması için gerçekleştirilen deneysel ve modelleme sonuçları sunulmaktadır. Deneysel çalışmalarda, Bölüm 5’de fiziksel karakterizasyonu belirlenen tuvalet kağıtları içerisinde seçilen TKO-2 (Orta kalite tuvalet kağıdı) ve TKL-1 (Lüks kalite tuvalet kağıdı) kağıtları kullanılmıştır. Bu numunelerle 200 devir/dakika karıştırma hızında kesikli reaktörde gerçekleştirilen fiziksel parçalanma deneylerinin sonuçları aşağıda sunulmuştur.

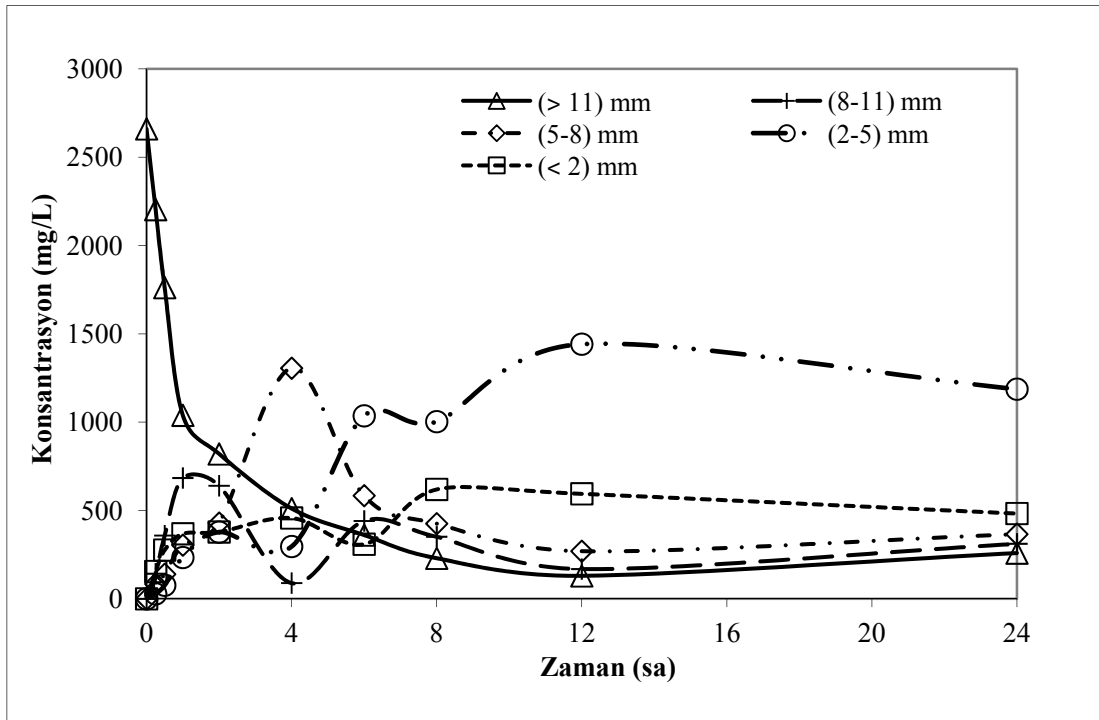
6.1. Ön Deneysel Çalışmalar

Ön deneysel çalışmalar için, günlük bireysel tuvalet kağıdı deşarjının en fazla 25-30 yaprak olduğu ve her bir sifonlamada 6 litre su kullanıldığı literatür bilgilerinden elde edilmiştir [36]. Bu durum dikkate alınarak, ilk deneylerde 1 litre su ve 4-5 yaprak (25-30 yaprak/6 litre= 4-5 yaprak/L) tuvalet kağıdı kullanılması uygun görülmüştür. Bu doğrultuda, orta kalite ürünlerden 5 yaprak (0,44 g kuru ağırlık/yaprak*5 yaprak=2,2 g/L) ve lüks kalite ürünlerden 4 yaprak (0,67 g kuru ağırlık/yaprak*4 yaprak=2,66 g/L) kullanılmıştır. Ön deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 her bir elekte tutulan kağıt miktarlarını göstermektedir. Grafiklerde görülen dalgalanmalar bazı deneysel hatalara işaret etmektedir. Örneğin, Şekil 6.2’de 2-5 mm parçacıklar için 4. ve 8. saatte meydana gelen dalgalanmalar ve 8-11 mm parçacıklar için 4. saatte oluşan dalgalanmalar kağıtların yanlış eleklerde tutulduğunu göstermektedir. Deneyler sırasında eleklerde yapılan görsel incelemede, küçük parçacıklarının büyük parçalar üzerine tutunarak, doğru eleklere geçememesi nedeniyle bu hataların meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.1. Orta kalite ürünler için 2,2 g/L başlangıç konsantrasyonunda fiziksel parçalanma deneylerinden elde edilen sonuçlar



Şekil 6.2. Lüks kalite ürünler için 2,66 g/L başlangıç konsantrasyonunda fiziksel parçalanma deneylerinden elde edilen sonuçlar

Bu gözlemler Şekil 6.1 ve 6.2’de 2-5 mm ve <2 mm için ön çalışmalardan elde edilen deneysel sonuçlarda açık bir şekilde görülmektedir. Örneğin <2 mm boyutlu parçacıklar bir önceki elekte tutularak 2-5 mm boyut aralığındaki parçacıkların miktarında bir artışa neden olmuştur. Ön deneysel çalışmalarda ortaya çıkan bu tür deneysel hataların sistemin aşırı bir şekilde yüklenmesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu hataların giderilmesi için kağıt konsantrasyonunun düşürülmesi gerekmiştir. Bu nedenle, daha sonraki deneylerde, 30 yaprak / 30 L-su = 1 yaprak/L tuvalet kağıdı konsantrasyonunun kullanılmasına karar verilmiştir. Bu şartlarda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

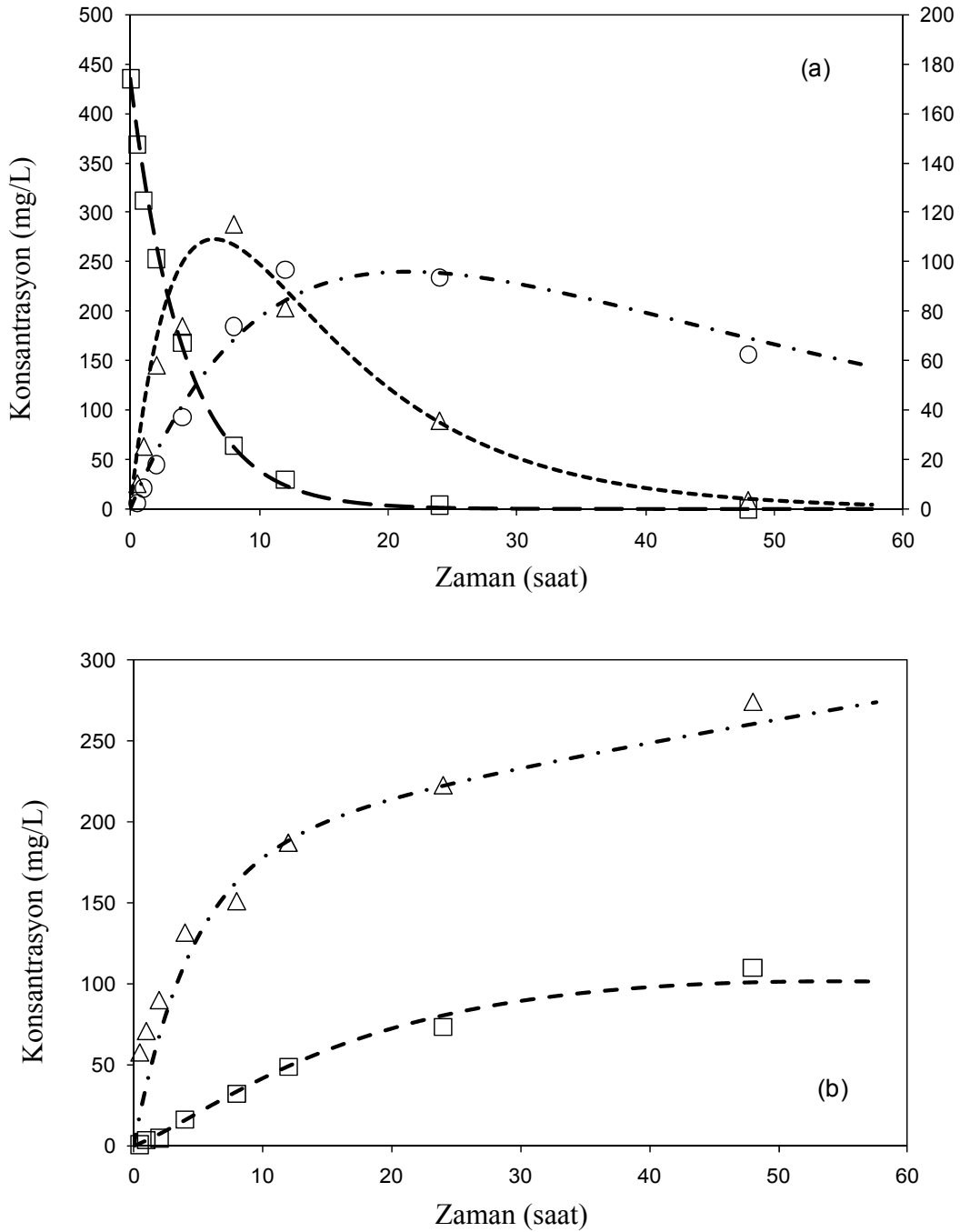
6.2. Orta Kalite Ürünün (TKO-2) 200 devir/dakika Karıştırma Hızında Fiziksel Parçalanmasından Elde Edilen Deneysel Veriler ve Modelleme Tahminlerinin Karşılaştırılması

TKO-2 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması sonucunda elde edilen deneysel veriler Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. TKO-2 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler

Zaman (Saat)	Kütle (mg)					Toplam
	> 11 mm	8-11 mm	5-8 mm	2-5 mm	< 2 mm	
0	440	0	0	0	0	440
0,5	368	10	2	1	58	439
1	312	25	8	3	71	419
2	253	58	18	5	90	424
4	168	74	37	16	132	427
8	64	115	74	32	151	436
12	29	81	97	49	187	443
24	4	36	94	73	222	429
48	0	4	62	109	274	449

Tablo 6.1 incelendiğinde, ana kağıdın parçalanması ile ilgili olarak deneysel veriler ile modelleme tahminlerinin büyük oranda benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Tablodaki verilerden de görüleceği üzere ana kağıt parçalanarak daha küçük boyut aralığındaki parçacıklara dönüşmektedir. Oluşan parçacıklar da zamanla kendilerinden daha küçük parçacıklara dönüşmektedirler. Bu sonuçlar, Şekil 6.3’de grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.3. TKO-2 ürününün fiziksel parçalanma deney sonuçları (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): (a) Birincil y eksenini >11 mm parçalar (kare), ikincil y eksenini 8-11 mm'lik parçalar (üçgen), 5-8 mm'lik parçalar (daire); (b) Birincil y eksenini 2-5 mm'lik parçalar (kare) ve <2 mm parçalar (üçgen)

Tablo 6.1 ve Şekil 6.3'deki sonuçlara göre, ana kağıdın parçalanması 1, 4, 12, 24 ve 48. saatler için sırasıyla % 30, 62, 93, 99, 100 şeklinde gerçekleşmiştir. Ana kağıt parçalanırken diğer boyut aralıklarındaki parçacıklar oluşmuş ve oluşan yeni parçacıklarda kendinden daha küçük boyut aralığındaki parçacıklara dönüşmüştür.

8-11 mm boyut aralığındaki parçacıkların miktarı 8. saatte 115 mg/L pik değerine ulaşmış ve bundan sonra zamanla azalmıştır. Benzer şekilde 5-8 mm boyutlu parçacıkların miktarı 12. saatte 97 mg pik değerine ulaşmıştır. Bu pik değerlerin oluşum noktaları, parçalanmanın sıralı şekilde olduğuna işaret etmektedir. Bu durum, Şekil 6.3a'da gösterilen pik oluşumlarının sırasıyla da görülebilmektedir. Büyük parçaların sürekli şekilde parçalanmaya devam etmesi nedeniyle, 2-5 mm ve <2 mm boyutlu parçacıkların miktarı ise deney sonuna kadar sürekli artış göstermiştir. Ana kağıt 24. saatin sonunda % 99 oranında parçalanmış ve 48. saatte tamamen tükenmiştir. Buna paralel olarak, 8-11 mm parçacıkların hemen hemen tamamı 48. saat sonunda parçalanmış ve bu noktada deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda, başlangıç kütlelerinin parçacık dağılımı % 0,9'u ($4/440 = 0,009 \times 100$) 8-11 mm aralığında, % 14'ü 5-8 mm, % 24'ü 2-5 mm ve % 61'i <2 mm aralığındaki parçacıklar şeklindedir.

Şekil 6.3'deki grafiklerde görüldüğü üzere, deneysel veriler ile model tahminleri büyük oranda benzerlik göstermektedir. Modelleme çalışmasında, önce ana kağıdın parçalanması en uygun şekilde tahmin edilmiş ve ilgili parçalanmanın hız sabiti belirlenmiştir. Ana kağıdın parçalanması diğerlerinden bağımsız olup deney sonuçlarının modellemeyle tahmini sırasında diğer boyut aralıklarındaki parçacıklar etkilenmemektedir.

Benzer şekilde, ikinci olarak 8-11 mm aralığındaki kağıtların deneysel sonuçları modelle tahmin edilmiştir. Buna göre, bu aralıktaki parçacıkların oluşumu ana kağıdın parçalanma hız katsayısı ile aynı değerdir. Ancak, bu aralıktaki parçacıkların parçalanma hız katsayısı deneysel verilerin modelle tahmin edilmesi sonucu elde edilmiştir. Bu noktada, parçalanma hız katsayıları 8-11 mm eğrisinin genişliğini belirlemektedir. Eğrinin yüksekliği ise, parçacık dağılım katsayısı olarak bilinen f_j katsayısı ile belirlenmektedir. Bu teknik yaklaşım diğer boyut aralıkları içinde uygulanmıştır. Bu şekilde, tüm eğrilerin model tahminleri ile en iyi şekilde uyumu sağlanmış ve buradan, parçalanma hız katsayıları ve parçacık dağılım oranları belirlenmiştir.

Tablo 6.2’de TKO-2 ürününün 200 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanması ile elde edilen modelleme tahminlerinin deneysel verilere en iyi şekilde yaklaşımını sağlayan (Best-fit) parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$) tablonun ikinci kolonunda gösterilmektedir. Tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanması sırasında büyük kağıtların hangi oranlarda ve hangi boyut aralıklarında parçacık oluşturduklarını gösteren dağılım katsayıları (f_i) diğer kolonlarda yer almaktadır. Tablodaki $k_i Re$ değerleri incelendiğinde, bu katsayıların parçacık büyüklüğüne bağlı olarak büyükten küçüğe doğru ilerlediği görülmektedir. Örneğin, >11 mm olan kağıt parçacıkları için 0,24 (sa^{-1}) olan parçalanma katsayısı 2-5 mm aralığı için 0,012 (sa^{-1}) değerine ulaşmaktadır. Kağıdın yapısal anlamda aynı olması nedeniyle, bu farklılık parçacık büyüklüğüne bağlı olmaktadır. Yani, sudaki türbülans büyük parçacıklara daha fazla etki ederek onların hızlı şekilde parçalanmasına sebep olmaktadır. Küçük parçacıklar ise, büyük parçacıklara nazaran, türbülansın oluşturduğu fiziksel kuvvetlerden daha az etkilenerek suyla birlikte hareket ettiklerinden dolayı daha küçük parçalanma hızına sahip olmaktadır.

Tablo 6.2. TKO-2 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$)

Tuvalet kağıdı boyutu	$k_i Re$ (sa^{-1})	Dağılım oranları (f_i)			
		8 - 11 mm	5 - 8 mm	2 - 5 mm	< 2 mm
> 11 mm	0,24	0,45	0,12	0,03	0,40
8 - 11 mm	0,09	–	0,50	0,30	0,20
5 - 8 mm	0,021	–	–	0,90	0,10
2 - 5 mm	0,012	–	–	–	1,00

Tablo 6.2’deki TKO-2 ürünü için verilen dağılım oranları (f_i) incelendiğinde, büyük parçacıkların büyük oranda kendinden hemen sonraki boyut aralığına dönüştüğü anlaşılmaktadır. Örneğin, ana kağıt parçalanırken % 45 civarında 8-11 mm, % 12 civarında 5-8 mm, % 3 civarında 2-5 mm ve % 40 civarında <2 mm parçacıklar oluşmaktadır. Buna karşılık, 8-11 mm kağıtlar parçalanırken % 50 civarında 5-8 mm parçacıklar, % 30 civarında 2-5 mm parçacıklar ve % 20 civarında <2 mm büyüklüğünde parçacıklar üretmektedir. Buna paralel olarak, 5-8 mm boyutlu kağıtlar parçalanırken % 90 oranında 2-5 mm’lik kağıtları ve % 10 oranında da <2 mm parçacıkları meydana getirmektedir. Birbirini takip eden iki boyut aralığının en yüksek dağılım oranına sahip olması, fiziksel parçalanmanın boyut aralıklarına göre

sıralı şekilde meydana geldiğine işaret etmektedir. Bu durum, Şekil 6.3'deki eğrilerin sıralı şekilde oluşmasıyla paraleldir.

6.3. Yüksek Kalite Ürünün (TKL-1) 200 devir/dakika Karıştırma Hızında Fiziksel Parçalanmasından Elde Edilen Deneysel Veriler ve Modelleme Tahminlerinin Karşılaştırılması

TKL-1 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılmasından sonra, kullanılan elek aralıklarında tutulan kağıt miktarları Tablo 6.3'de verilmiştir. Lüks kalite ürünlerin orta kalite ürünlere göre daha yavaş parçalandığı gözlemlenmiş ve bu nedenle 72. ve 96. saatler içinde deney yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Ayrıca, 0,5. saat için elde edilen deney sonuçlarında ana kağıdın parçalanarak bütün boyutlarda parçacık oluşturduğu görüldüğünden 0,25. saat içinde deneysel sonuçlar elde edilmiştir.

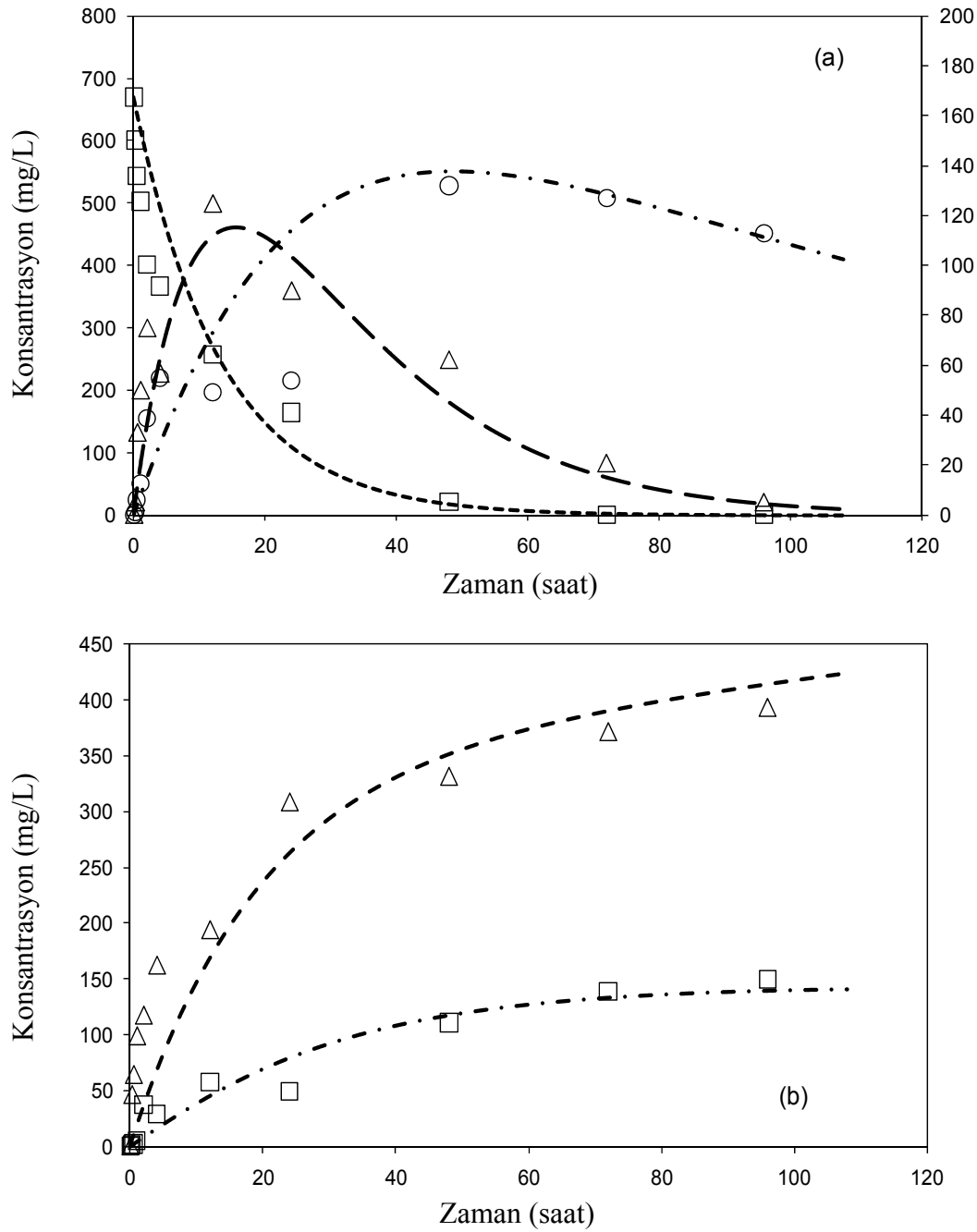
Tablo 6.3. TKL-1 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler

Zaman (Saat)	Kütle (mg)					Toplam
	> 11 mm	8-11 mm	5-8 mm	2-5 mm	< 2 mm	
0	670	0	0	0	0	670
0,25	601	5	2	1	46	655
0,5	544	33	6	2	64	649
1	503	50	13	5	98	669
2	401	75	39	37	117	669
4	367	57	55	29	162	670
12	257	125	49	58	194	683
24	164	90	54	49	309	666
48	21	62	132	111	332	658
72	0	21	127	139	372	659
96	0	5	113	150	394	662

Tablo 6.3'de görüleceği gibi ana kağıt parçalanarak daha küçük boyut aralığındaki parçacıklara dönüşmektedir. Benzer şekilde orta aralıklardaki kağıt parçacıkları da zaman içerisinde kendilerinden daha küçük parçacıklara dönüşmektedirler. Ana kağıdın parçalanması 4., 12., 24., 48., ve 72. saatlerde % 45, 62, 76, 97 ve 100 oranlarında gerçekleşmektedir. 8-11 mm boyutlu parçacıklar 12. saatte 1250 mg pik değerine ulaşmış ve 96. saatin sonunda ise bu parçacıkların miktarı 5 mg olmuştur. TKO-2 ürününün aksine, TKL-1 ürününün daha yavaş parçalandığı gözlemlendiğinden deneyler 96. saatin sonunda sona erdirilmiştir. TKL-1 ürünü için başlangıçtaki kağıt miktarının kütleli dağılımı 48. saat sonunda , % 3 oranında >11

mm, % 9 oranında 8-11 mm, % 20 oranından 5-8 mm, % 17 oranında 2-5 mm ve % 51 oranında <2 mm boyutlu parçacıklar, 96.saat sonunda ise >11 mm parçacıklar tamamen tükenmiş, % 0,7 oranında 8-11 mm, % 17 oranından 5-8 mm, % 22 oranında 2-5 mm ve % 60 oranında <2 mm boyutlu parçacıklar şeklindedir.

TKL-1 ürünü için 200 devir/dakika karıştırma hızındaki deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri Şekil 6.3'deki grafiklerde sunulmaktadır. Grafiklerden de görüldüğü gibi TKL-1 ürünün için elde edilen deney verileri ve model tahminlerinin bir kısmında uyumsuzluklar görülmektedir. TKL-1 ürünü TKO-2 ürününe oranla daha çok fiber içeren bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı, TKL-1 ürününün fiziksel parçalanmasının elek sisteminde takibinde küçük boyutlu parçacıkların büyük boyutlu parçacıkların üzerine daha fazla tutunduğu gözlemlenmiştir. Parçacık dağılımları ıslak elek analizi yapılarak tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda, elekler sırasıyla su dolu bir kap içerisinde görsel kontrollerden geçirilerek, kağıt parçacıklarının uygun boyut aralıklarına aktarılması sağlanmıştır. Bu şekilde, parçacıklar büyük oranda ayrılmış, ancak yine deneysel hatalar oluşmuştur. Bu durumun düzeltilmesi için iki ana yol izlenmiştir. Birincisi, başlangıçta kullanılan kağıt miktarı azaltılarak, her bir elek üzerinde toplanan kağıt miktarı azaltılmış ve bu şekilde elek sistemine gelen fazla kağıt yükü minimize edilmiştir. Bu çalışmaların sonuçları aşağıda sunulmaktadır. İkinci olarak, elek analiziyle parçacıkların dağılımının belirlenmesinde, yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yeni yöntem 7. Bölümde ayrıntılı şekilde anlatılarak, yapılan testlerin sonuçları verilmiştir. Şekil 6.4'deki grafiklerden görüldüğü üzere model tahminleri genel anlamda TKL-1 ürününün fiziksel parçalanmasını tespit etmiştir.



Şekil 6.4. TKL-1 ürününün fiziksel parçalanma deney sonuçları (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): (a) Birincil y eksenini >11 mm parçalar (kare), ikincil y eksenini 8-11 mm'lik parçalar (üçgen), 5-8 mm'lik parçalar (daire); (b) Birincil y eksenini 2-5 mm'lik parçalar (kare) ve <2 mm parçalar (üçgen)

Tablo 6.4'de TKL-1 ürününün 200 devir/dakika karıştırma hızı için modelleme yoluyla hesaplanan parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$) tablonun ikinci kolonunda, dağılım katsayıları (f_i) ise diğer kolonlarda yer almaktadır. Tablodaki $k_i Re$ değerleri incelendiğinde, kağıt boyutu arttıkça parçalanma hızı katsayılarının da büyüdüğü

görülmektedir. Örneğin 8-11 mm boyutlu parçacıklar için $k_i Re$ değeri ($0,054 \text{ sa}^{-1}$), 2-5 mm boyutlu parçacıkların $k_i Re$ değerinden ($3,00 \times 10^{-3} \text{ (sa}^{-1})$) 18 kat daha büyüktür. Bu durum, sudaki fiziksel kuvvetlerin büyük parçacıklar üzerine daha fazla etki etmesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 6.4. TKL-1 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$)

Tuvalet kağıdı boyutu	$k_i Re(\text{sa}^{-1})$	Dağılım oranları (f_i)			
		8 - 11 mm	5 - 8 mm	2 - 5 mm	< 2 mm
> 11 mm	0,075	0,40	0,15	0,08	0,37
8 - 11 mm	0,054	–	0,35	0,25	0,40
5 - 8 mm	$7,50 \times 10^{-3}$	–	–	0,60	0,40
2 - 5 mm	$3,00 \times 10^{-3}$	–	–	–	1,00

Tablo 6.4'deki TKL-1 ürünü için verilen dağılım oranları (f_i) incelendiğinde, bunların peş peşe iki boyut aralığındaki kağıtları için yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Örneğin, ana kağıdın % 40'ı 8-11 mm boyutlu parçacıklara, 8-11 mm boyutlu parçacıkların % 35'i 5-8 mm boyutlu parçacıklara, 5-8 mm boyutlu parçacıkların ise % 60'ı 2-5 mm boyutlu parçacıklara dönüşmüştür. Buna göre, TKL-1 ürünün parçalanması boyut aralıklarına paralel şekilde sıralı şekilde meydana gelmektedir. Bu durum, Şekil 6.4'de verilen eğrilerin sıralı oluşmasıyla da görülebilmektedir.

TKL-1 ürünü diğer ürüne göre daha fazla miktarda fiber içermektedir. Bu fiberler parçalanma sırasında suya geçmektedir. Tablo 6.4'ün en son kolonundaki dağılım oranları % 37, 40 ve 40 şeklinde olup, bu oranlar küçük fiberlerin dağılımını göstermektedir. Aynı değerler, orta kalite ürün için (TKO-2) Tablo 6.2'de % 40, 20 ve 10 dur. Bu fark, lüks kağıtların daha fazla fiber içerdiğini göstermektedir. Bu durum, lüks kağıtların yapısal özellikleri ile paralellik arz etmektedir. Sıkı ve yoğun bir ürün olan lüks kağıtlar, TKL-1, TKO-2'ye göre daha fazla fiber içermekte ve parçalanma sırasında bunları su ortamına vermektedir. Bu fiberlerin atık su sistemlerinde negatif etkisi olmayacaktır. Ancak, lüks ürünlerin (<2) mm aralığındaki parçacıklara dönüşmesi için gereken süre oldukça uzundur ve bu durum atık su sistemleri açısından risk oluşturmaktadır.

BÖLÜM 7. TÜRBÜLANSIN FİZİKSEL PARÇALANMAYA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ BULGULARI

Bu bölümde yapılan çalışmalar üç ana hedefe hizmet etmektedir. Buna göre, türbülansın fiziksel parçalanmaya etkisinin belirlenmesi, lüks kağıtların parçalanmasının ayrıntılı şekilde araştırılması ve yeni geliştirilen ıslak analiz yönteminin denenmesi bu bölümdeki hedeflerdir.

İlk olarak, sudaki türbülansın tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanmaya olan etkisi araştırılmıştır. Sulardaki türbülans ve ürünün yapısal özellikleri fiziksel parçalanmayı etkileyen parametreler olarak tanımlanmıştır. Bu bölümde, deneysel sistemimizde oluşturulan türbülansın, tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanmasına olan etkisi matematiksel ilişkilerle ve sayısal sonuçlarla gösterilmektedir.

İkinci olarak, lüks kağıtların atık su sistemlerinde riskli ürünler olduğu 6. Bölümdeki çalışmalarla belirlenmiştir. Bu kağıtlardan yeni örnekler alınarak, yeni fiziksel parçalanma testleri yapılmış ve yeni sonuçlar bu bölümde sunulmaktadır. Yeni numunelerle elde edilen özgün parçalanma hızı katsayıları ve parçacık dağılım oranları, 6. Bölümdeki sonuçlarla karşılaştırılmaktadır.

Üçüncü olarak, deneysel çalışmalarda kullanılan ıslak elek analizi metodu bu bölümde geliştirilmiştir. Sıralı ayırma yöntemi olarak tanımlanan ıslak elek analizi yönteminin ayrıntıları daha önce Bölüm 3.5.1 verilmişti. Bu yöntem 6. Bölümde yapılan çalışmalarda kullanılmış ve oldukça zaman alıcı bir yöntem olduğu tecrübe edilmiştir. Bu nedenle, daha hızlı ve kolay bir ıslak elek analizi yönteminin geliştirilmesi için çalışmalar yürütülmüştür. Yeni geliştirilen yöntem ‘Dikey elek hareketi ile ayırma’ olarak isimlendirilmiş ve ayrıntıları Bölüm 3.5.2’de verilmiştir. Bu bölümdeki deneysel veriler bu yöntemin uygulanması sonucu elde edilmiştir.

Bu hedefler doğrultusunda, Tablo 5.1'deki lüks kağıtlar kategorisinden TKL-4 ve TKL-6 tuvalet kağıtları yeni deneyler için seçilmiştir. Bu kağıtlar, TKL-1 ürününe benzer bir yapıda olup, biraz daha düşük yaprak kütlesi gibi küçük fiziksel farklılıklar göstermektedir. Bu numuneler ve aynı deneysel sistem kullanılarak fiziksel parçalanma deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde, deneysel sistemin karıştırma hızı 150, 200, 250 devir/dakika şeklinde ayarlanmış ve böylece, farklı türbülans şartları oluşturulmuştur. Oluşan parçacıkların belirlenmesi için yeni geliştirilen ıslak analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen deneysel ve modelleme bulguları ilerleyen kısımlarda sunulmaktadır.

7.1. TKL-4 Ürünün Fiziksel Parçalanmasından Elde Edilen Deneysel Veriler ve Modelleme Tahminleri

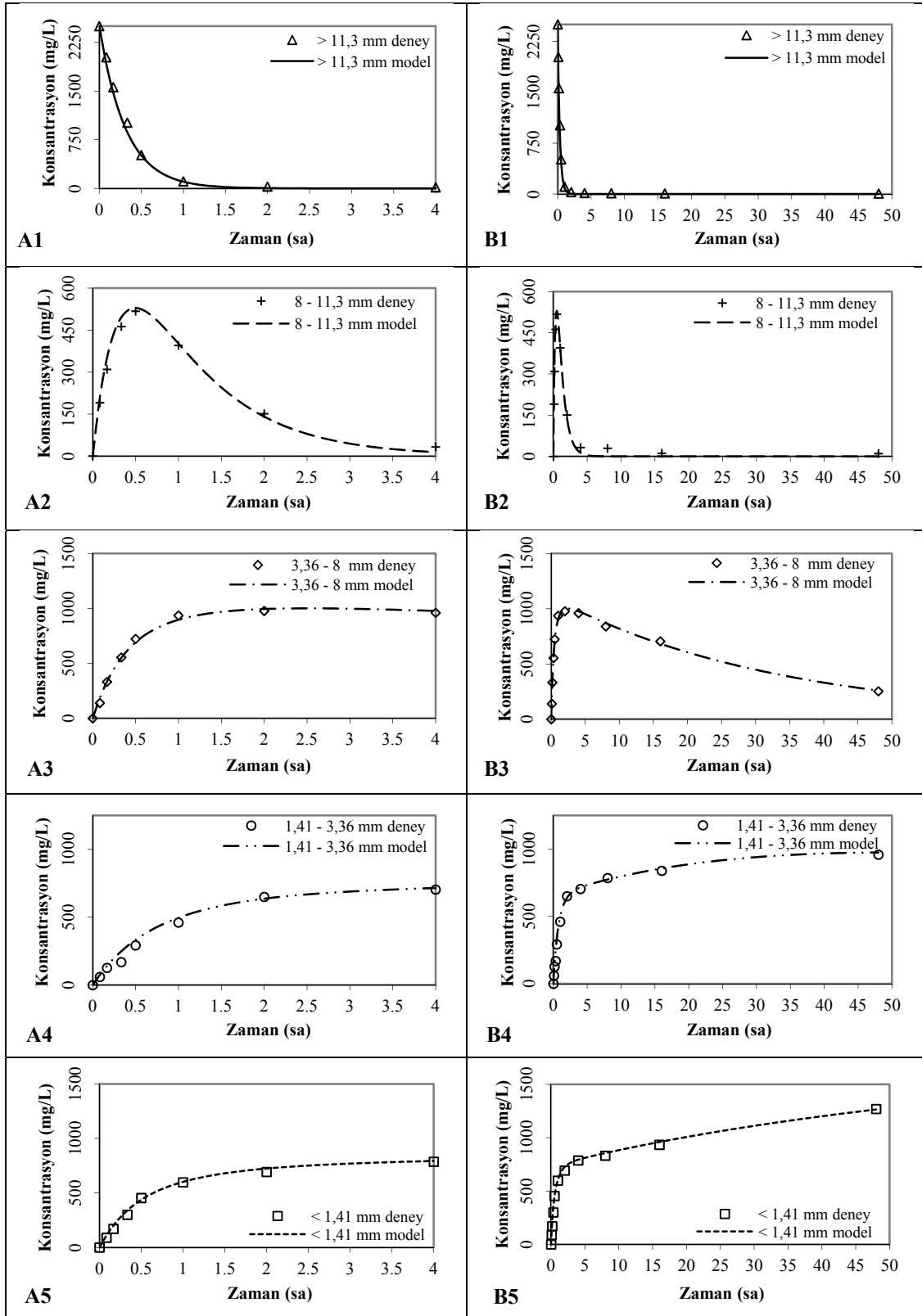
150 Devir/dakika karıştırma hızında yapılan çalışmalar:

TKL-4 ürünü ile 150 Devir/dakika karıştırma hızında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları ve modelleme tahminleri aşağıda Tablo 7.1'de verilmektedir.

Tablo 7.1. TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, n=3)

Zaman (Saat)	Kütle (mg)											
	>11,3 mm		8-11,3 mm		3,36-8 mm		1,41-3,36 mm		<1,41 mm		Toplam	
	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model
0	2500	2500	0	0	0	0	0	0	0	0	2500	2500
0,08	2020	1917	190	210	140	186	60	76	89	111	2500	2500
0,17	1560	1470	310	351	333	335	127	142	171	202	2500	2500
0,33	1013	1128	463	442	554	455	169	199	300	277	2500	2500
0,5	512	509	518	529	723	692	293	333	454	437	2500	2500
1	109	104	395	401	936	897	461	496	598	602	2500	2500
2	29	4	151	141	978	995	650	636	692	724	2500	2500
4	16	0	32	14	960	977	704	715	787	793	2500	2500
8	13	0	30	0	840	870	785	774	832	856	2500	2500
16	10	0	12	0	705	684	839	856	934	960	2500	2500
48	8	0	11	0	253	261	959	975	1269	1265	2500	2500

TKL-4 ürünü için 150 devir/dakika karıştırma hızındaki deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri Şekil 7.1'de sunulmaktadır.



Şekil 7.1. TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen) ; 8-11,3 mm (artı), 3,36-8 mm (baklava) ; 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare)

Deney verileri ve model tahminleri arasındaki uyumun daha iyi gösterilmesi için Şekil 7.1'deki A grubu grafiklerde 4. saate kadar olan deney verileri ve model tahminleri gösterilmektedir. B grubu grafiklerde ise deney ve modellemenin gerçekleştirildiği maksimum süre olan 48. saate kadarki sonuçlar gösterilmiştir. Şekil 7.1'deki grafiklerden anlaşılacağı üzere, deney sonuçları ile model tahminleri arasında çok güzel bir uyum elde edilmiştir. Daha önce çalışılan tuvalet kağıtlarına benzer şekilde bu ürünlerde birbirini takip eden boyut aralıkları arasında sırayla parçalanma göstermektedir. Bu durum, grafikte görülen piklerin sırasından ve oluşum zamanlarından anlaşılmaktadır.

Tablo 7.2'de TKL-4 ürününün 150 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanması ile elde edilen modelleme tahminlerinin deneysel verilere en iyi şekilde yaklaşımını sağlayan parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$) tablonun ikinci kolonunda gösterilmektedir. Tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanması sırasında büyük kağıtların hangi oranlarda ve hangi boyut aralıklarında parçacık oluşturduklarını gösteren dağılım katsayıları (f_i) diğer kolonlarda yer almaktadır. Bu katsayılar modelleme yoluyla hesaplanmıştır.

Tablo 7.2. TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$)

Tuvalet kağıdı boyutu	$k_i Re (sa^{-1})$	Dağılım oranları (f_i)			
		8–11,3 mm	3,36–8 mm	1,41–3,36 mm	<1,41 mm
>11,3 mm	2,80	0,36	0,32	0,13	0,19
8 –11,3 mm	1,12	–	0,32	0,38	0,30
3,36 - 8 mm	$3,01 \times 10^{-2}$	–	–	0,60	0,40
1,41 – 3,36 mm	$4,52 \times 10^{-3}$	–	–	–	1,00

Tablo 7.2'de verilen $k_i Re$ değerleri incelendiğinde, bu katsayıların parçacık büyüklüğüne bağlı olarak büyükten küçüğe doğru ilerlediği görülmektedir. Örneğin, >11,3 mm olan kağıt parçacıkları için 2,80 (sa^{-1}) olan parçalanma katsayısı 1,41-3,36 mm aralığı için $4,52 \times 10^{-3}$ (sa^{-1}) değerine ulaşmaktadır. Kağıdın yapısal anlamda aynı olması nedeniyle, bu farklılık parçacık büyüklüğüne bağlı olmaktadır. Yani küçük parçacıklar büyük parçacıklara nazaran fiziksel kuvvetlerden daha az etkilenerek suyla birlikte hareket ettiklerinden dolayı daha küçük parçalanma hızına sahip olmaktadır.

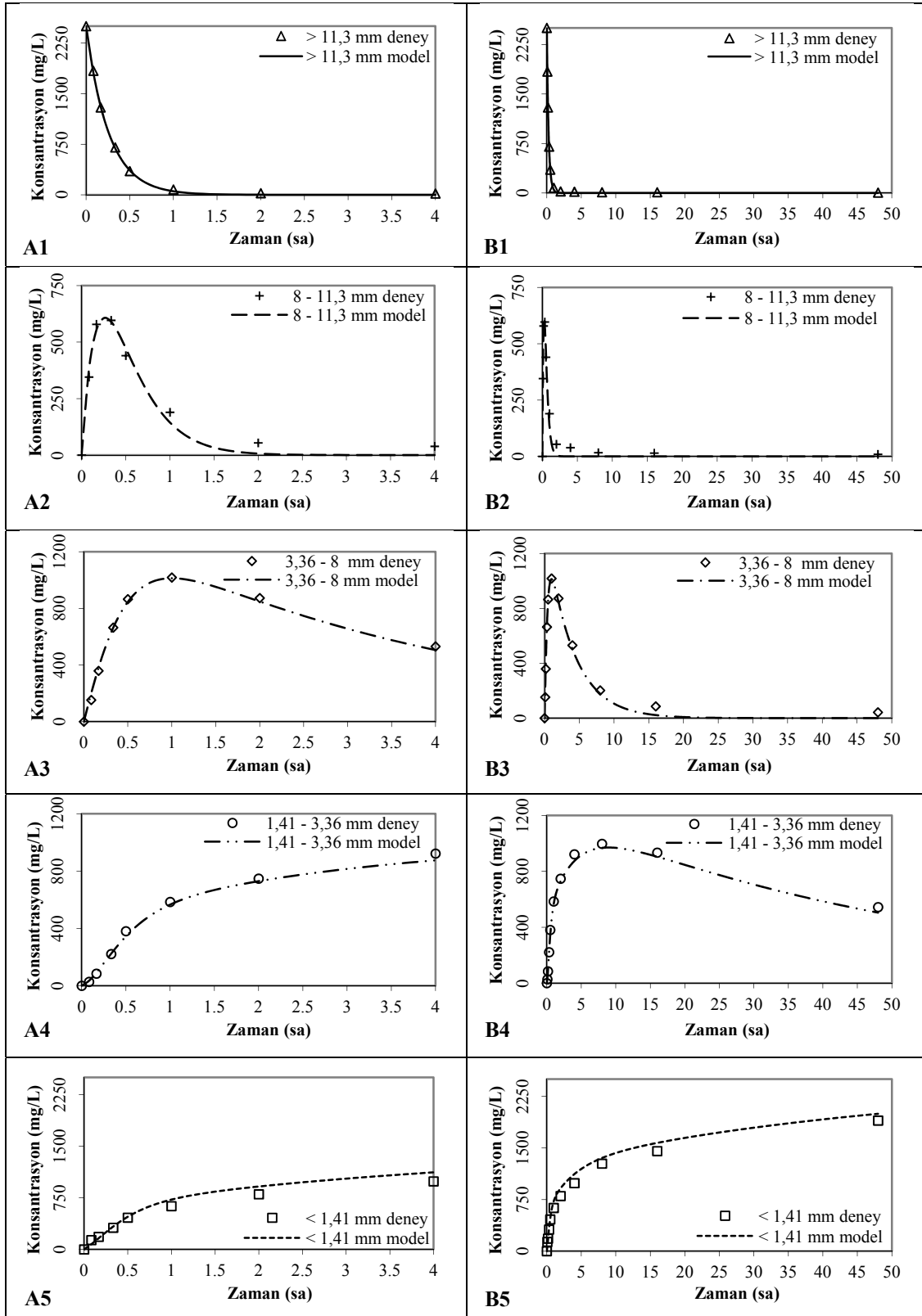
200 Devir/dakika karıştırma hızında yapılan çalışmalar:

TKL-4 ürünü kullanılarak 200 devir/dakika karıştırma hızında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları aşağıdaki Tablo 7.3’de verilmektedir.

Tablo 7.3. TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, n=3)

Zaman (Saat)	Kütle (mg)											
	> 11,3 mm		8-11,3 mm		3,36-8 mm		1,41-3,36 mm		< 1,41 mm		Toplam	
	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model
0	2500	2500	0	0	0	0	0	0	0	0	2500	2500
0,08	1838	1813	345	378	153	199	27	34	136	76	2500	2500
0,17	1295	1314	579	553	359	379	84	91	183	162	2500	2500
0,33	703	691	596	591	665	662	221	223	315	333	2500	2500
0,5	352	363	440	474	865	846	381	343	462	474	2500	2500
1	79	53	190	145	1018	1013	585	566	629	724	2500	2500
2	24	1	54	7	873	849	747	729	802	914	2500	2500
4	19	0	39	0	531	506	922	874	989	1120	2500	2500
8	11	0	17	0	202	178	997	968	1273	1353	2500	2500
16	11	0	15	0	86	22	934	905	1454	1573	2500	2500
48	6	0	9	0	43	0	544	505	1898	1995	2500	2500

TKL-4 ürünü için 200 devir/dakika karıştırma hızındaki deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri Şekil 7.2’de sunulmaktadır. A grubu grafiklerde 4. saate kadar olan deney verileri ve model tahminleri gösterilmektedir. B grubu grafiklerde ise deney ve modellemenin gerçekleştirildiği maksimum süre olan 48. saate kadarki sonuçlar gösterilmiştir. Grafiklerden 48. saatin sonunda ortamda yalnızca 1,41-3,36 mm boyutlu parçacıklar ve <1,41 mm boyutlu parçacıkların bulunduğu ve deneysel veriler ile model tahminleri büyük oranda benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 7.2. TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen) ; 8-11,3 mm (artı), 3,36-8 mm (baklava) ; 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare)

TKL-4 ürününün 200 devir/dakika karıştırma hızı için modelleme yoluyla hesaplanan parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$) Tablo 7.4'ün ikinci kolonunda, dağılım katsayıları (f_i) ise diğer kolonlarda gösterilmektedir. Tablodaki $k_i Re$ değerleri incelendiğinde, bu katsayıların parçacık büyüklüğüne bağlı olarak büyükten küçüğe doğru ilerlediği görülmektedir.

Tablo 7.4. TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$)

Tuvalet kağıdı boyutu	$k_i Re(sa^{-1})$	Dağılım oranları (f_i)			
		8–11,3 mm	3,36–8 mm	1,41–3,36 mm	<1,41 mm
> 11,3 mm	3,30	0,55	0,29	0,05	0,11
8 – 11,3 mm	3,16	–	0,40	0,03	0,30
3,36 - 8 mm	$2,58 \times 10^{-1}$	–	–	0,50	0,50
1,41 – 3,36 mm	$1,86 \times 10^{-2}$	–	–	–	1,00

Tablo 7.4'de verilen parçalanma hız katsayıları ile 150 devir/dakika karıştırma hızında elde edilen parçalanma hız katsayıları (Tablo 7.2) karşılaştırılmalıdır. Buna göre, karıştırma hızının artmasıyla birlikte, tüm boyutlardaki parçacıklar için elde edilen ($k_i Re$) parçalanma hız katsayılarının büyüdüğü görülmektedir. Örneğin, >11,3 mm olan kağıt parçacıkları için 150 devir/dakika karıştırma hızında $k_i Re$ değeri 2,80 (sa^{-1}) iken 200 devir/dakika karıştırma hızında ise 3,30 (sa^{-1}) olmuştur. Kağıt yapısal anlamda aynı olduğundan dolayı bu durum karıştırma hızının artması ile parçacıklara etki edecek fiziksel kuvvetin artmasından kaynaklanmaktadır.

250 Devir/dakika karıştırma hızında yapılan çalışmalar:

TKL-4 ürünü kullanılarak 250 devir/dakika karıştırma hızında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları aşağıdaki Tablo 7.5'de verilmektedir.

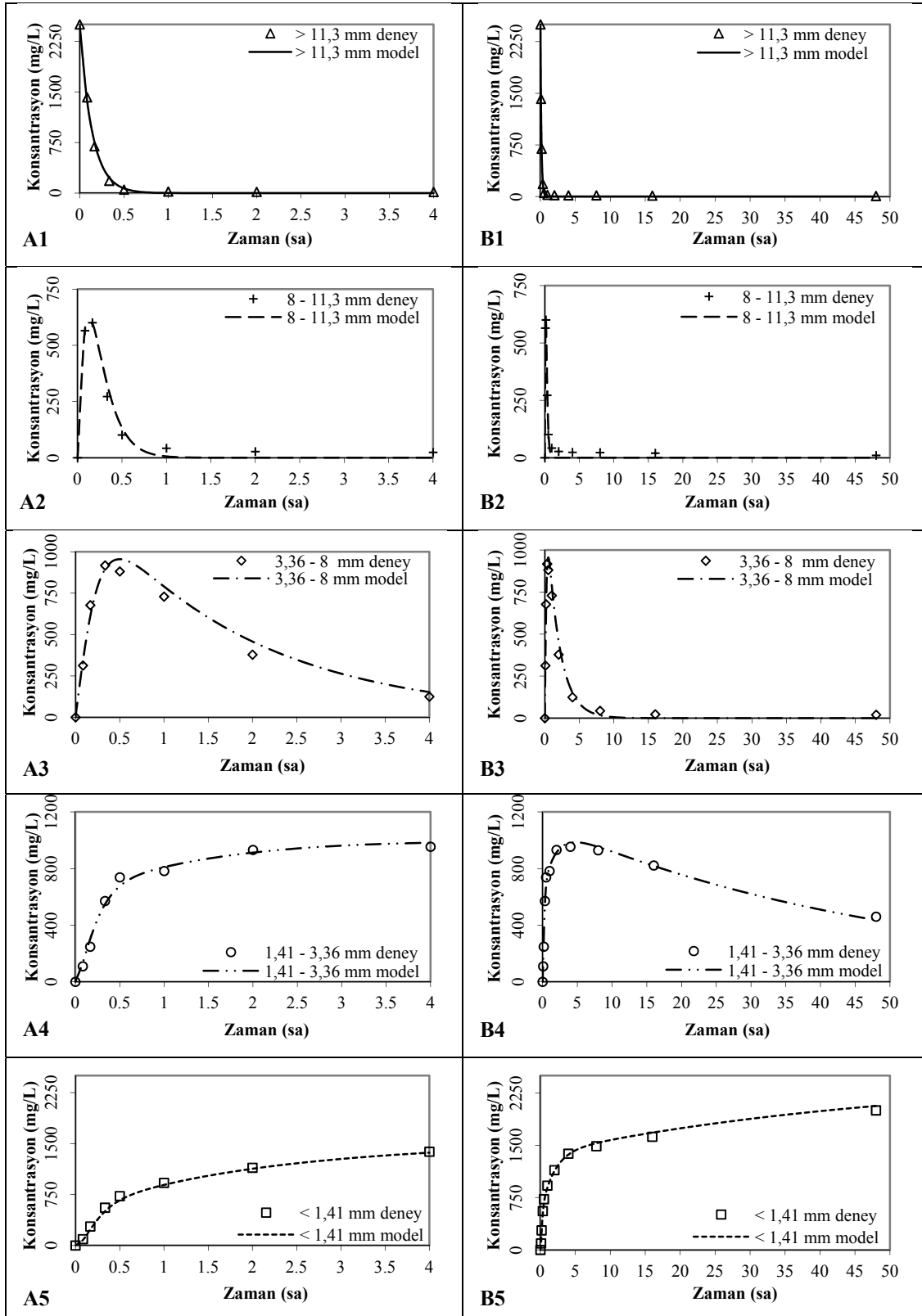
Tablo 7.5 incelendiğinde, ana kağıdın tamamına yakınının 1 saat içerisinde diğer boyut aralığındaki parçacıklara dönüştüğü anlaşılmaktadır. Buna paralel olarak karıştırma hızının artması ile birlikte ana kağıdın parçalanma hızının da arttığı görülmüştür. Örneğin 150, 200 ve 250 devir/dakika karıştırma hızları için 0,5. saatte ana kağıdın sırasıyla % 80, % 86 ve % 98'i parçalanmıştır.

Tablo 7.5. TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, n=3)

Zaman (Saat)	Kütle (mg)												
	> 11,3 mm		8-11,3 mm		3,36-8 mm		1,41-3,36 mm		< 1,41 mm		Toplam		
	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	
0	2500	2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2500	2500
0,08	1419	1379	565	571	313	336	110	134	94	78	2500	2500	
0,17	694	761	601	597	677	608	248	301	280	233	2500	2500	
0,33	183	232	272	326	917	894	571	547	557	501	2500	2500	
0,5	52	71	101	134	881	956	738	676	728	664	2500	2500	
1	23	2	42	6	729	791	783	810	922	891	2500	2500	
2	18	0	27	0	378	458	932	913	1144	1129	2500	2500	
4	17	0	24	0	125	152	954	982	1381	1365	2500	2500	
8	16	0	23	0	44	17	929	953	1488	1530	2500	2500	
16	12	0	20	0	23	0	822	819	1623	1681	2500	2500	
48	8	0	10	0	20	0	460	435	2002	2065	2500	2500	

TKL-4 ürünü için 250 devir/dakika karıştırma hızındaki deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri Şekil 7.3'de sunulmaktadır. Grafiklerde de açık bir şekilde görüldüğü gibi deneysel veriler ile model tahminleri büyük oranda benzerlik göstermektedir. Grafiklerden karıştırma hızının artması ile hem ana kağıdın tamamının parçalanması için gerekli sürenin kısaldığı hem de 48. saatin sonunda 1,41-3,36 mm ve <1,41 mm boyutlu parçacıkların miktarında diğer karıştırma hızlarına oranla artış olduğu anlaşılmaktadır.

TKL-4 ürününün 250 devir/dakika karıştırma hızı için modellemeden elde edilen parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$) ve dağılım katsayıları (f_i) Tablo 7.6'da verilmiştir. Tablodaki $k_i Re$ değerleri incelendiğinde, bu katsayıların diğer karıştırma hızlarında olduğu gibi bu hız içinde parçacık büyüklüğüne bağlı olarak büyükten küçüğe doğru ilerlediği görülmektedir.



Şekil 7.3. TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen) ; 8-11,3 mm (artı), 3,36-8 mm (baklava) ; 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare)

Tablo 7.6. TKL-4 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$)

Tuvalet kağıdı boyutu	$k_i Re (sa^{-1})$	Dağılım oranları (f_i)			
		8–11,3 mm	3,36–8 mm	1,41–3,36 mm	<1,41 mm
> 11,3 mm	6,10	0,51	0,30	0,12	0,07
8 – 11,3 mm	5,38	–	0,35	0,30	0,35
3,36 - 8 mm	$5,38 \times 10^{-1}$	–	–	0,35	0,65
1,41 – 3,36 mm	$1,97 \times 10^{-2}$	–	–	–	1,00

Tablo 7.6’da verilen parçalanma hız katsayıları 150 ve 200 devir/dakika deneylerinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalıdır (Bkz. Tablo 7.4 ve 7.2). Örneğin, ana kağıt için bu değerler 150, 200, ve 250 devir/dakika deneylerinde $2,8 sa^{-1}$, $3,3 sa^{-1}$ ve $6,1 sa^{-1}$ şeklinde sırasıyla elde edilmiştir. Benzer şekilde, diğer boyut aralıklarındaki kağıtlar içinde aynı durum geçerlidir. ($k_i Re$) katsayılarındaki bu artış, türbülansın parçalanmaya etkisinden kaynaklanmaktadır. Ancak, bu etki her boyut aralığındaki kağıtlar için farklılık arz etmektedir. Türbülansın fiziksel parçalanmaya etkisi parçacık boyut ile birlikte artış göstermektedir. Bunun ana sebebi, küçük parçacıklar suyla birlikte hareket ederek, türbülansın yarattığı fiziksel etkilerden uzak kalabilmektedirler. Bu sonuçlara paralel olarak, benzer deneyler ikinci bir lüks ürünle yapılmıştır. Bu çalışmaların ayrıntıları aşağıdaki bölümde sunulmaktadır.

7.2. TKL-6 Ürünün Fiziksel Parçalanmasından Elde Edilen Deneysel Veriler ve Modelleme Tahminleri

150 Devir/dakika karıştırma hızında yapılan çalışmalar:

Tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanmasına türbülansın etkisini belirlemek için TKL-6 ürünü kullanılarak 150 devir/dakika karıştırma hızında ve kesikli reaktörde yapılan deneysel testlerin sonuçları ve ilgili modelleme tahminleri aşağıda Tablo 7.7’de verilmektedir.

Tablo 7.7 de verilen sonuçlar grafiksel olarak aşağıda Şekil 7.4’de sunulmaktadır. Burada, A grubu grafiklerde deneysel veriler ve model tahminleri arasındaki uyumun daha iyi anlaşılması için 4. saate kadar olan veri ve tahminler gösterilmiştir. B grubu grafiklerde ise deney ve modellemenin gerçekleştirildiği maksimum süre olan 48.

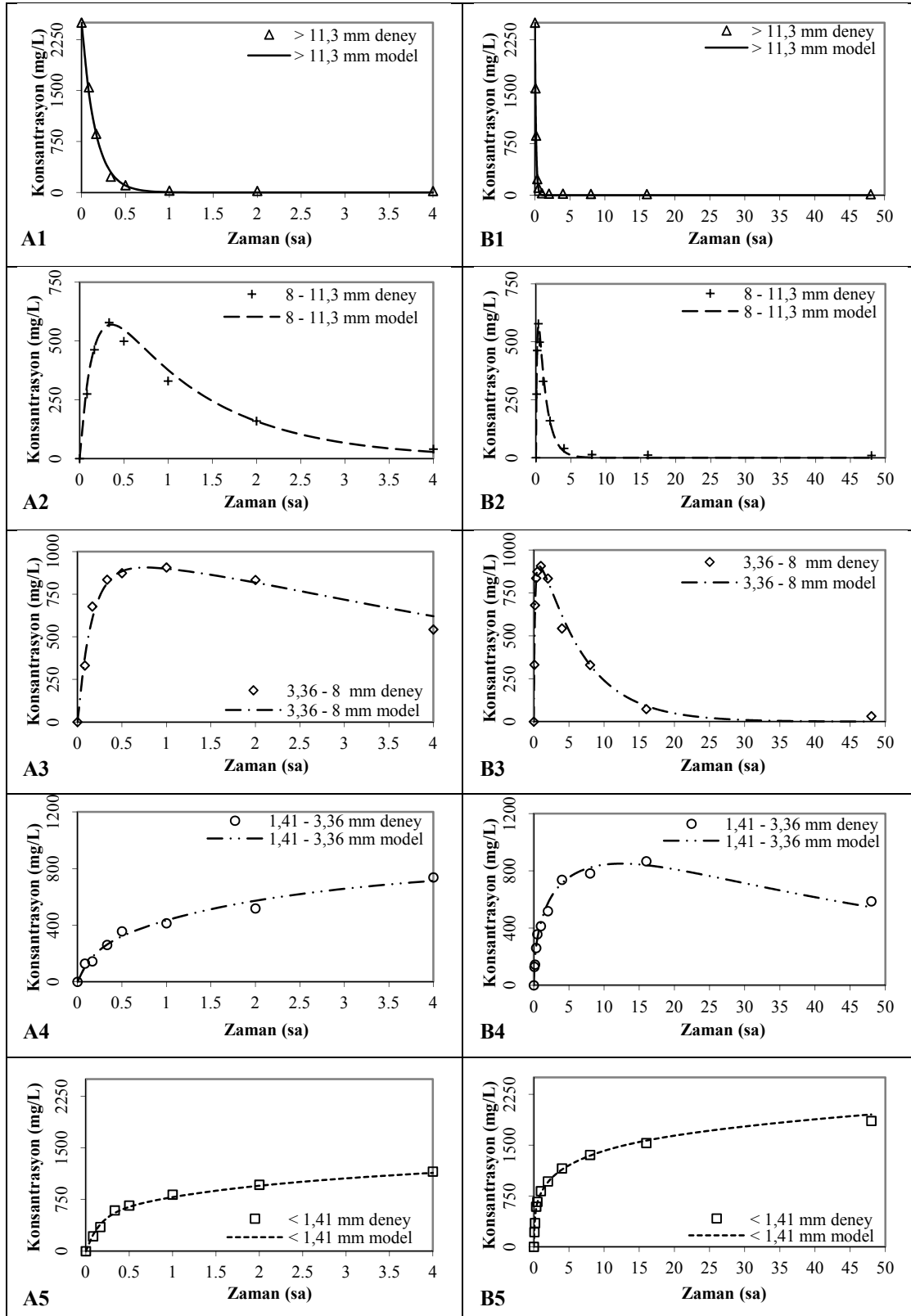
saate kadar olan veriler ve tahminler grafiğe işlenmiştir. Deneysel veriler ile oluşturulan modelden elde edilen tahminlerin büyük oranda benzerlik gösterdiği grafiklerden açık bir şekilde anlaşılmaktadır.

Tablo 7.7. TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, n=3)

Zaman (saat)	Kütle (mg)												
	> 11,3 mm		8-11,3 mm		3,36-8 mm		1,41-3,36 mm		< 1,41 mm		Toplam		
	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	
0	2500	2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2500	2500
0,08	1548	1469	275	309	332	381	129	103	217	237	2500	2500	
0,17	863	863	463	469	678	606	145	174	351	388	2500	2500	
0,33	233	298	578	568	836	815	261	263	593	555	2500	2500	
0,5	107	103	499	547	874	885	357	321	664	644	2500	2500	
1	27	4	330	377	908	900	414	434	822	785	2500	2500	
2	22	0	160	159	834	818	519	572	965	951	2500	2500	
4	22	0	40	28	543	621	738	713	1157	1138	2500	2500	
8	18	0	13	0	330	331	782	823	1356	1344	2500	2500	
16	16	0	12	0	73	92	867	840	1532	1568	2500	2500	
48	13	0	10	0	32	1	587	546	1858	1953	2500	2500	

Şekil 7.4’de verilen A1 ve B1 grafikleri incelendiğinde, ana kağıt 0,5 saat içerisinde parçalanmaktadır. Benzer şekilde, A2 ve B2 grafiklerinden anlaşılacağı üzere 8-11,3 mm boyut aralığındaki parçacıklar 0,5. saatte pik değerlerine ulaşarak, daha sonra azalmaya başlamıştır. Bu durum başlangıçta ana kağıdın parçalanırken büyük oranda 8-11,3 mm boyut aralığındaki parçacıkları oluşturmasında kaynaklanmaktadır. Ana kağıt 0,5 saatinde tükendiği için, 8-11,3 mm parçacıklarda bu noktada itibaren azalmaya başlamaktadır. 8-11,3 mm parçacıkların parçalanması 8. saatte tamamlanmaktadır.

3,36-8 mm boyut aralığındaki kağıt parçacıkların oluşumu 0,33. saate kadar çok hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu yüksek konsantrasyon, 0,33-1. saatler arasında fazla değişmeden korunmuştur, çünkü daha büyük parçacıkların parçalanması devam etmiş ve 3,36-8 mm aralığındaki parçacıkları beslemiştir. Bu parçacıklar 1. saatten sonra azalmaya başlayarak 24. saat civarında tamamen parçalanmışlardır. Daha küçük boyut aralıklarındaki parçacıkların benzer özellikler gösterdiği ilgili grafikten görülmektedir.



Şekil 7.4. TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen) ; 8-11,3 mm (artı), 3,36-8 mm (baklava) ; 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare)

TKL-6 ürününün fiziksel parçalanmasıyla elde edilen modelleme tahminlerinin deneysel verilere en iyi şekilde yaklaşımını sağlayan parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$) aşağıda Tablo 7.8'in ikinci kolonunda verilmektedir. Tuvalet kağıtlarının fiziksel parçalanması sırasında büyük kağıtların hangi oranlarda hangi boyut aralıklarında parçacık oluşturduklarını gösteren dağılım katsayıları (f_i) diğer kolonlarda yer almaktadır. Tablo 7.8'deki $k_i Re$ değerleri incelendiğinde, bu değerlerin TKL-4 ürününde olduğu gibi parçacık büyüklüğüne bağlı olarak büyükten küçüğe doğru ilerlediği görülmektedir.

Tablo 7.8. TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 150 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$)

Tuvalet kağıdı boyutu	$k_i Re (sa^{-1})$	Dağılım oranları (f_i)			
		8 –11,3 mm	3,36 -8 mm	1,41–3,36 mm	<1,41 mm
> 11,3 mm	4,95	0,30	0,37	0,10	0,23
8 – 11,3 mm	$8,39 \times 10^{-1}$	–	0,25	0,35	0,40
3,36 - 8 mm	$1,59 \times 10^{-2}$	–	–	0,50	0,50
1,41 – 3,36 mm	$1,53 \times 10^{-3}$	–	–	–	1,00

Tablo 7.8'deki $k_i Re$ değerleri Tablo 7.1'deki TKL-4 ürünü için verilen $k_i Re$ değerleri ile karşılaştırıldığında TKL-6 ürününün 150 devir/dakika karıştırma hızında daha büyük parçalanma hızı katsayılarına sahip olduğu görülmektedir. Örneğin, ana kağıdın parçalanması hızı katsayısı TKL-4 ürünü için $2,80 (sa^{-1})$ iken TKL-6 ürününde $4,95 (sa^{-1})$ olarak modellemeden hesaplanmıştır. Bu farklılık TKL-6 ürünün fiberler arasındaki bağların TKL-4 ürünündekilere göre daha zayıf olduğunu dolayısıyla aynı karıştırma hızında TKL-6 ürününün daha hızlı parçalanacağı anlamına gelmektedir. TKL-6 ürünü daha ekonomik olarak sınıflandırılabilir daha zayıf bir tuvalet kağıdıdır. TKL-6'nın yaprak kalınlığı, yaprak hacmi, özgül hacmi TKL-4 den biraz daha fazladır. Bu farklar parçalanma hızındaki farkları meydana getiriyor olabilir. Fiziksel parametrelerdeki farklılıkların yanı sıra, bu ürünlerin mekanik özellikleride belirlenerek bu karşılaştırma yapılması gerekmektedir. Kağıtların mekanik özellikleri, kopma indeksi, yırtılma indeksi ve patlama indeksi olarak üç ana parametre şeklinde ölçülmektedir.

Tablo 7.8'deki TKL-6 ürünün dağılım oranları (f_i) incelendiğinde, büyük boyutlardaki kağıt parçacıklarının yüksek oranlarda en küçük boyuttaki parçacıklara

dönüştüğü görülmektedir. Bu durum kağıdın yapısal özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

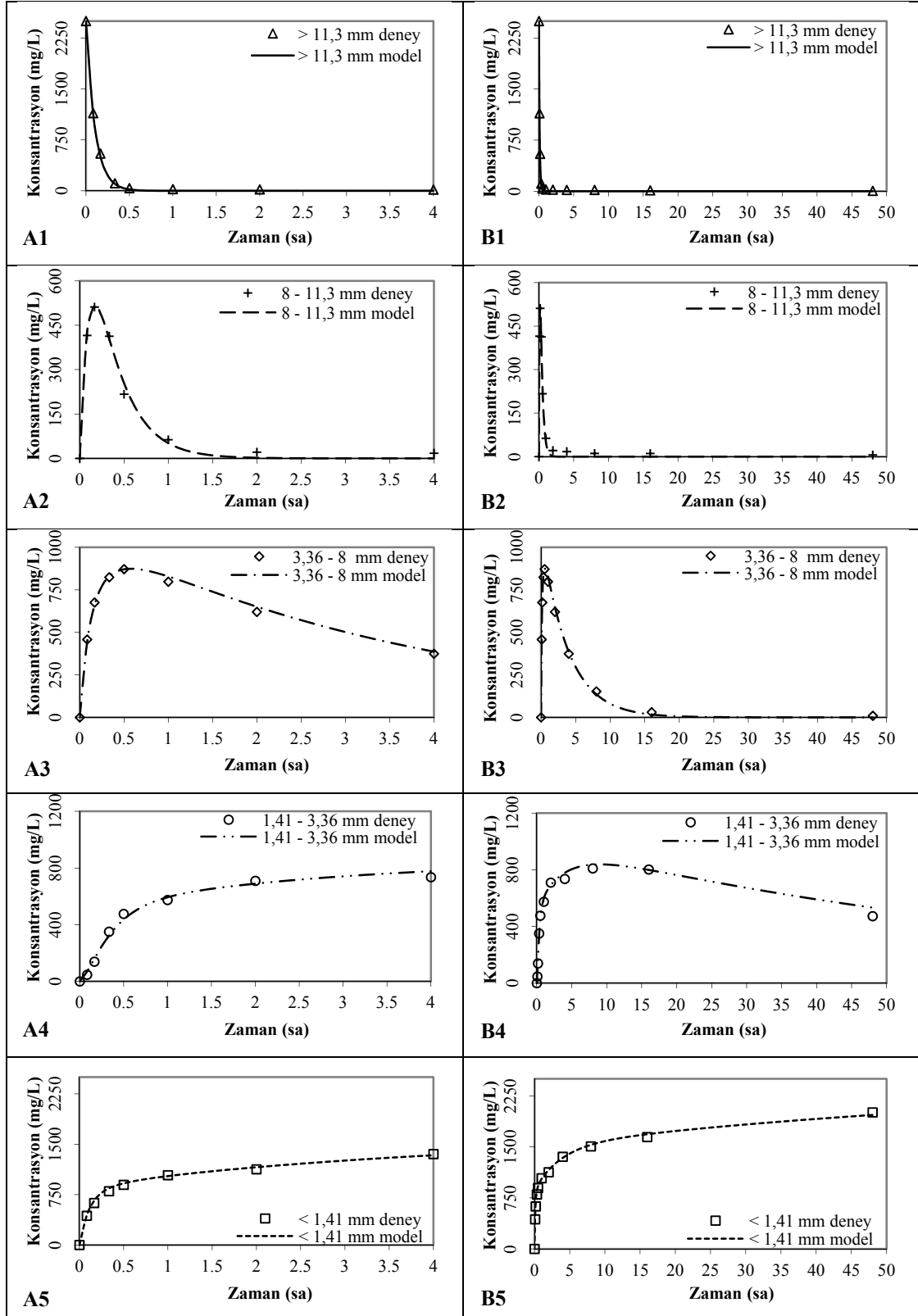
200 Devir/dakika karıştırma hızında yapılan çalışmalar:

Tablo 7.9’da TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında gerçekleştirilen fiziksel parçalanma deneylerinden elde edilen sonuçlar ve modelleme tahminleri verilmektedir.

Tablo 7.9. TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, n=3)

Zaman (saat)	Kütle (mg)										Toplam	
	> 11,3 mm		8-11,3 mm		3,36-8 mm		1,41-3,36 mm		< 1,41 mm		Deney	Model
0	2500	2500	0	0	0	0	0	0	0	0	2500	2500
0,08	1144	1125	415	426	458	440	47	69	435	440	2500	2500
0,17	548	507	511	516	676	659	139	159	625	659	2500	2500
0,33	111	103	413	403	824	829	351	322	801	843	2500	2500
0,5	39	21	217	255	872	871	476	436	896	918	2500	2500
1	25	0	63	52	798	829	574	593	1040	1026	2500	2500
2	22	0	21	2	620	651	710	690	1127	1157	2500	2500
4	18	0	18	0	374	387	735	778	1355	1336	2500	2500
8	19	0	11	0	153	136	810	836	1508	1528	2500	2500
16	12	0	11	0	31	17	802	798	1645	1685	2500	2500
48	5	0	6	0	10	0	473	533	2007	1967	2500	2500

Tablo 7.9’deki veriler grafik halinde aşağıdaki Şekil 7.5’de sunulmaktadır. Bunlarda A grubu grafiklerde ilk 4 saatlik veriler, B grubu grafiklerde ise tüm veriler gösterilmiştir. Grafiklerden deneysel veriler ile model tahminleri büyük oranda benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 7.5. TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen) ; 8-11,3 mm (artı), 3,36-8 mm (baklava) ; 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare)

Şekil 7.5’de verilen grafiklerdeki model tahminlerinin deneysel verilere en iyi şekilde uyarlanmasıyla birlikte parçalanma hız katsayıları ve dağılım oranları elde edilmiştir. Buna göre, TKL-6 ürünü ve küçük parçacıklar için 200 devir/dakika karıştırma hızında elde edilen parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$) ve dağılım katsayıları (f_i) Tablo 7.10’da verilmiştir.

Tablo 7.10. TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 200 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$)

Tuvalet kağıdı boyutu	$k_i Re (sa^{-1})$	Dağılım oranları (f_i)			
		8–11,3 mm	3,36–8 mm	1,41–3,36 mm	<1,41 mm
> 11,3 mm	6,60	0,31	0,32	0,05	0,32
8 – 11,3 mm	2,87	–	0,30	0,55	0,15
3,36 - 8 mm	$2,58 \times 10^{-1}$	–	–	0,40	0,60
1,41 – 3,36 mm	$1,29 \times 10^{-2}$	–	–	–	1,00

Tablo 7.10’deki $k_i Re$ değerleri Tablo 7.4’de 200 devir/dakika karıştırma hızında TKL-4 ürünü için verilen $k_i Re$ değerleri ile karşılaştırıldığında, TKL-6 ürününün aynı karıştırma hızında daha büyük parçalanma hızı katsayılarına sahip olduğu görülmektedir. Örneğin, ana kağıdın parçalanma hızı katsayısı TKL-4 ürünü için $3,30 (sa^{-1})$ iken TKL-6 ürününde $6,60 (sa^{-1})$ olarak modellemeden hesaplanmıştır. Bu farklılık TKL-6 ürünün fiberler arasındaki bağların TKL-4 ürünündekilere göre daha zayıf olduğunu dolayısıyla aynı karıştırma hızında TKL-6 ürününün daha hızlı parçalanacağı anlamına gelmektedir.

Tablo 7.10’deki TKL-6 ürünün dağılım oranları (f_i) incelendiğinde, ana kağıdın parçalanırken % 30-35 oranında 8-11,3 mm, 3,36-8 mm ve <1,41 mm boyutlu parçacıklara ve % 5 oranında 1,41-3,36 mm boyutlu parçacıklara dönüşmektedir. 8-11,3 mm parçacıkların ise yarıdan fazlası (% 55) 1,41-3,36 mm boyutlu parçacıkları, % 30’u 3,36-8 mm ve % 15’i <1,412 mm boyutlu parçacıkları oluşturmuştur. Benzer şekilde 3,36-8 mm boyutlu parçacıklarda % 40 oranında 1,41-3,36 mm ve % 60 oranında <1,41 mm boyutlu parçacıklara dönüşmüştür.

250 Devir/dakika karıştırma hızında yapılan çalışmalar:

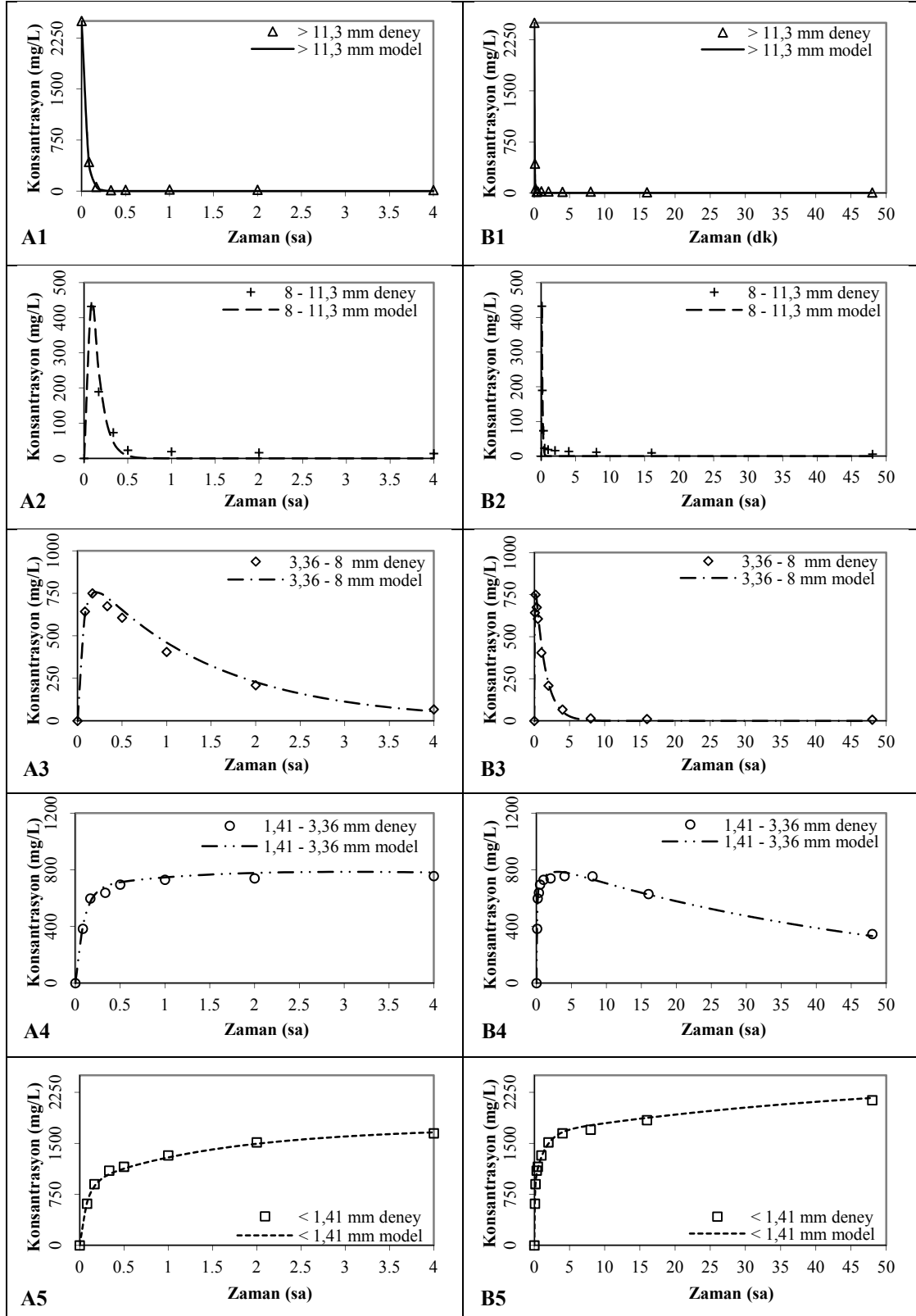
TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika hızında fiziksel parçalanması deneylerinden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri Tablo 7.11’de verilmiştir.

Tablo 7.11. TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika hızla karıştırılması durumunda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler ve modelleme tahminleri (Ortalama değerler, n=3)

Zaman (saat)	Kütle (mg)											
	> 11,3 mm		8-11,3 mm		3,36-8 mm		1,41-3,36 mm		< 1,41 mm		Toplam	
	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model	Deney	Model
0	2500	2500	0	0	0	0	0	0	0	0	2500	2500
0,08	428	408	432	439	643	627	384	397	613	627	2500	2500
0,17	62	67	189	248	750	747	597	571	901	867	2500	2500
0,33	15	2	73	47	675	724	638	682	1100	1045	2500	2500
0,5	19	0	23	8	607	653	695	712	1156	1128	2500	2500
1	23	0	19	0	405	461	729	746	1323	1293	2500	2500
2	20	0	16	0	210	228	740	778	1515	1494	2500	2500
4	15	0	14	0	67	56	756	781	1648	1662	2500	2500
8	18	0	12	0	15	3	754	732	1702	1764	2500	2500
16	9	0	10	0	11	0	629	626	1842	1874	2500	2500
48	6	0	6	0	7	0	347	333	2134	2167	2500	2500

Tablo 7.11’deki veriler grafiksel olarak aşağıda Şekil 7.6’da sunulmaktadır. A grubu grafiklerde 4. saate kadar olan veriler ve tahminleri gösterilirken, B grubu grafiklerde 48. saate kadar olan veriler ve tahminler gösterilmiştir.

Şekil 7.6’da karıştırma hızının artması ile birlikte ana kağıdın daha küçük boyutlu parçacıklara dönüştüğü sürenin kısaldığı görülmektedir. Örneğin ana kağıdın 200 devir/dakika hızında 0,17. saatte % 55’i, 0,33. saatte % 96’sı parçalanırken, 250 devir/dakika hızında ana kağıdın 0,17. saatte % 83’ü ve 0,33. saatte % 99’u daha küçük boyutlu parçacıklara dönüşmüştür.



Şekil 7.6. TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika karıştırma hızında fiziksel parçalanmasından elde edilen deneysel veriler (sembol) ve modelleme tahminleri (çizgi): >11,3 mm (üçgen) ; 8-11,3 mm (artı), 3,36-8 mm (baklava) ; 1,41-3,36 mm (daire) ve <1,41 mm tuvalet kağıdı parçacıkları (kare)

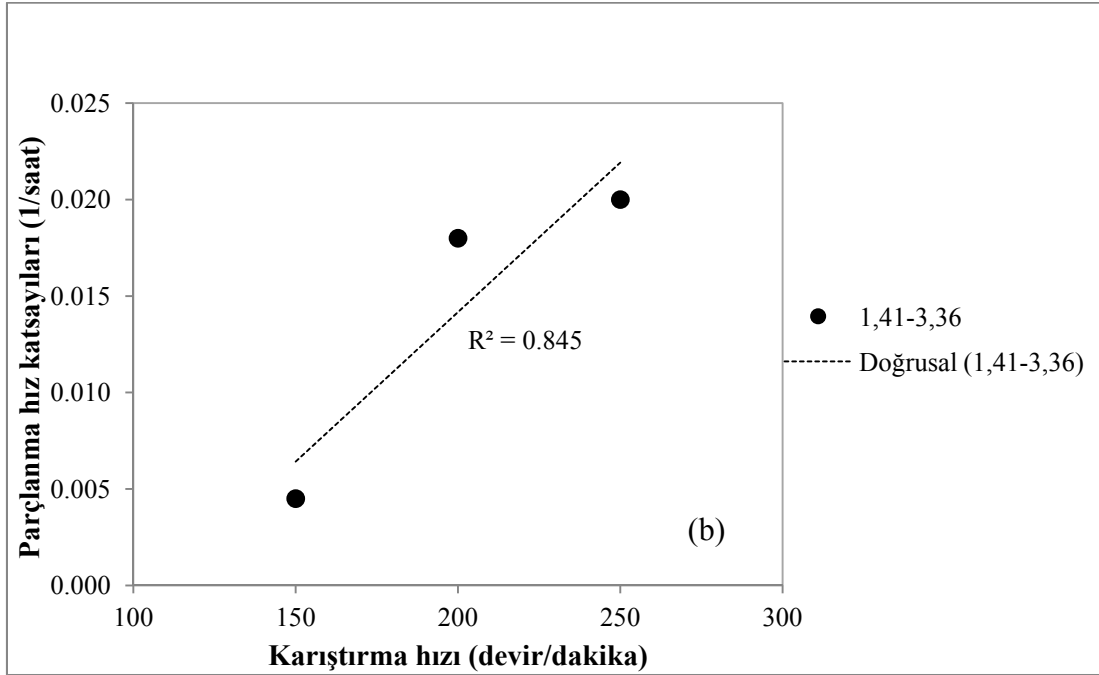
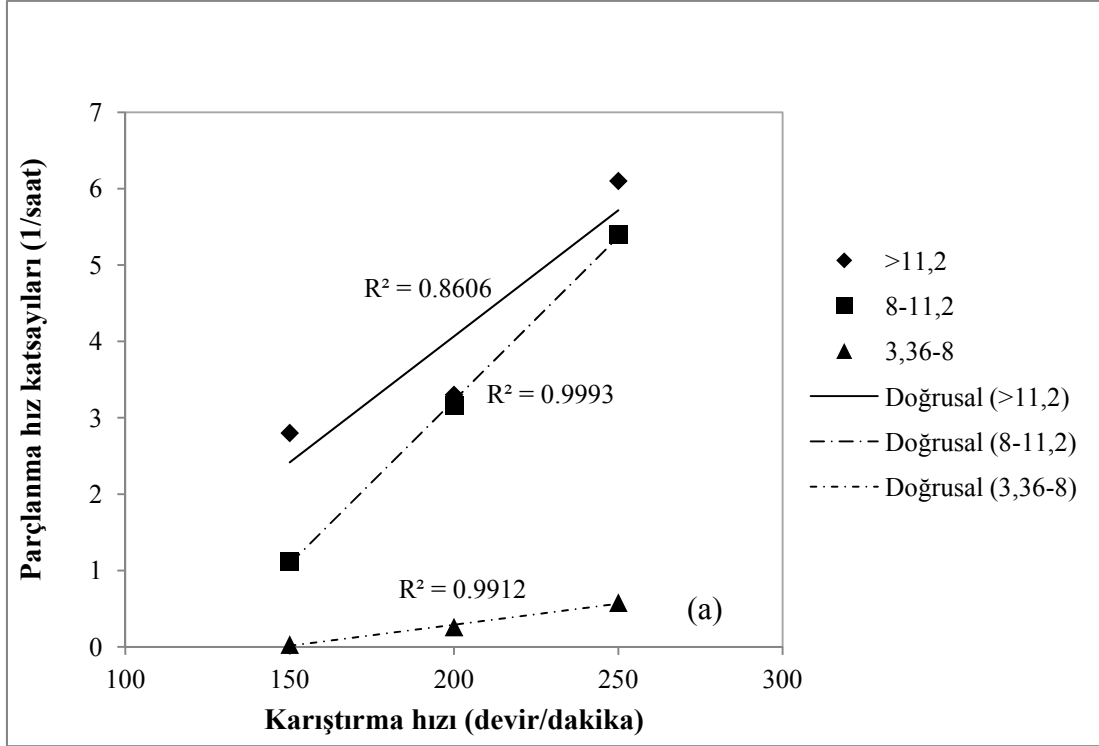
TKL-6 ürünü için modelleme yoluyla elde edilen parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$) ve dağılım katsayıları (f_i) aşağıdaki Tablo 7.12’de sunulmaktadır.

Tablo 7.12. TKL-6 ürününün kesikli reaktörde 250 devir/dakika fiziksel parçalanması için modellemede elde edilen dağılım oranları (f_i) ve parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$)

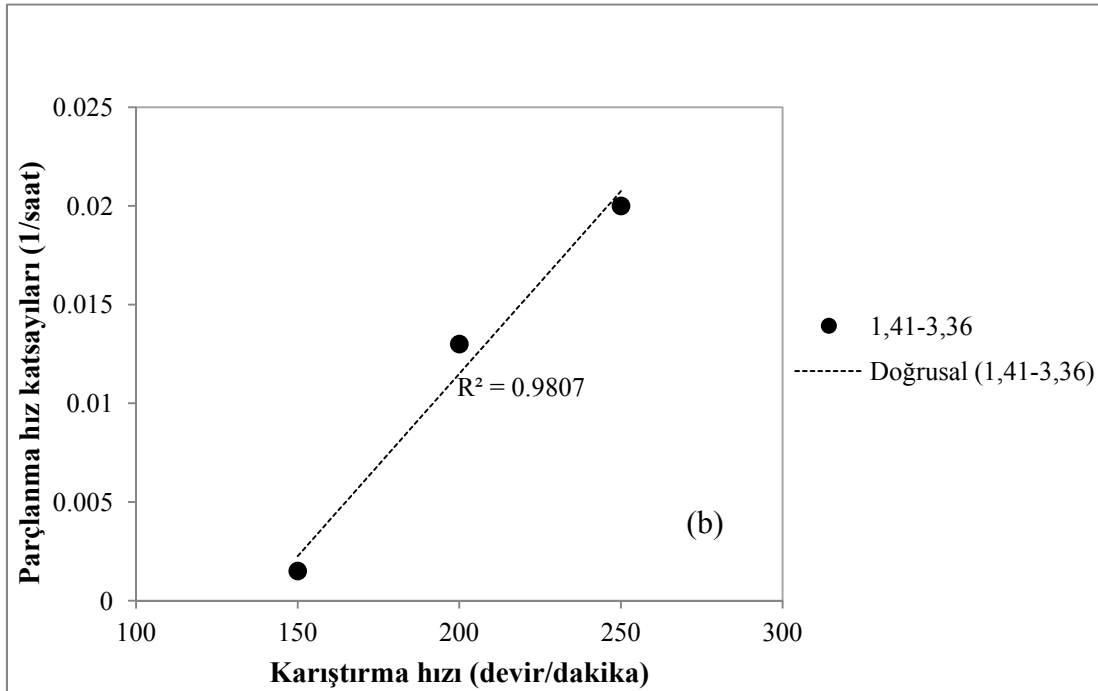
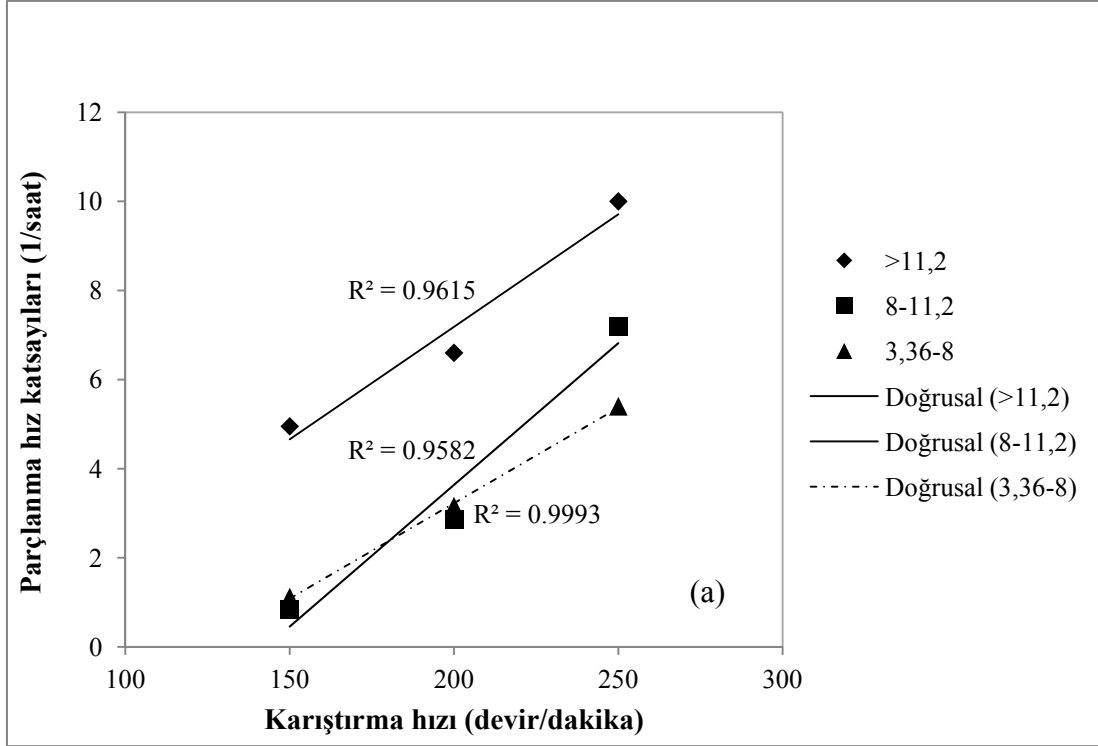
Tuvalet kağıdı boyutu	$k_i Re (sa^{-1})$	Dağılım oranları (f_i)			
		8-11,3 mm	3,36-8 mm	1,41-3,36 mm	<1,41 mm
> 11,3 mm	10,00	0,21	0,30	0,19	0,30
8 - 11,3 mm	7,17	-	0,20	0,39	0,41
3,36 - 8 mm	$6,81 \times 10^{-1}$	-	-	0,20	0,80
1,41 - 3,36 mm	$1,97 \times 10^{-2}$	-	-	-	1,00

Tablo 7.12’deki $k_i Re$ değerleri Tablo 7.8 ve 7.10’da 150 ve 200 devir/dakika karıştırma hızları için modellemeden elde edilen $k_i Re$ değerleri ile karşılaştırıldığında karıştırma hızının artması ile ana kağıt ve oluşan ürünlerin parçalanma hızı katsayılarının büyüdüğü görülmektedir. Örneğin, 8-11,3 mm boyutlu parçacıklar için 150, 200 ve 250 devir/dakika karıştırma hızlarındaki $k_i Re$ değerleri sırasıyla $8,39 \times 10^{-1}$, 2,87 ve 7,17 (sa^{-1}) olduğu görülmektedir. Kağıt yapısal anlamda aynı olduğundan dolayı bu durum karıştırma hızının artmasıyla birlikte kağıt üzerine etki eden fiziksel kuvvetlerin artmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak, türbülansın farklı boyut aralıklarındaki parçacıklar üzerindeki etkisi sistematik şekilde belirlenebilir. Konuyla ilgili olarak aşağıda Şekil 7.7 ve 7.8’ de sunulan grafikler hazırlanmıştır. Buna göre, türbülans karıştırma hızı olarak ifade edilip x ekseninde gösterilmektedir. Buna karşılık, parçalanma hız katsayılarının değerleri y ekseninde verilmektedir. Bu grafiklerdeki bilgiler, türbülansın etkisini göstermekte olup, grafikteki sonuçlara göre, türbülansın etkisinin lineer bir ilişki ile temsil edilebileceği görülmektedir. Grafikler incelendiğinde, her bir boyut aralığındaki parçacıklar için karıştırma hızının artmasıyla birlikte parçalanma hızı katsayılarının lineer bir şekilde arttığı görülmektedir. Kağıt yapısal anlamda aynı olduğundan her bir kağıt türü için özgün parçalanma hızı sabit olup, parçalanma hızı katsayılarındaki ($k_i Re$) artış karıştırma hızının artması ile birlikte türbülansın yani Reynolds sayısının (Re) artmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum grafiklerden açık bir şekilde anlaşılmaktadır.



Şekil 7.7. TKL-4 ürünün ve farklı boyutlardaki kağıtların parçalanma hız katsayılarının (k_p , Re) değerlerinin türbülansa göre değişimleri: (a) >11,2 mm, 8-11,2 mm ve 5-8 mm boyutlu parçacıklar; (b) <1,41 mm boyutlu parçacıklar



Şekil 7.8. TKL-6 ürünün ve farklı boyutlardaki kağıtların parçalanma hız katsayılarının ($k_p Re$) değerlerinin türbülansa göre değişimleri: (a) >11,2 mm, 8-11,2 mm ve 5-8 mm boyutlu parçacıklar; (b) <1,41 mm boyutlu parçacıklar

BÖLÜM 8. DENEY SİSTEMİNDEKİ TÜRBÜLANSIN GERÇEK ATIKSU SİSTEMLERİNDE GÖRÜLEN TÜRBÜLANSLA KARŞILATIRILMASI

8.1. Gerçek Atıksu Toplama Sistemlerinde Görülen Türbülans ve Reynolds Sayıları

Bu bölümde deneysel sistem içerisindeki türbülans şartlarının gerçek atık su sistemleri ile karşılaştırılmasından elde edilen bulgular sunulmaktadır. Bununla ilgili olarak, deneysel sistem içerisindeki Reynolds sayısının (Re) hesaplanması için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan FLOW3D® (Flow Science Inc., Santa Fe, New Mexico) kullanılmıştır. Bu programla, orbital karıştırıcı üzerinde dönen reaktör içerisindeki su hareketinin simülasyonu yapılmıştır. Bu şekilde, 64-300 devir/dakika aralığındaki dönüş hızlarında oluşan türbülansın Re sayıları hesaplanmıştır. Ayrıca, bu sonuçlar kullanılarak Re sayıları ile dönüş hızı arasındaki korelasyondan $Re = 270,3*(devir/dakika) - 1135,2$ denklemi elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan deneysel karıştırma hızları (150, 200 ve 250 devir/dakika) bu denklemdeki (devir/dakika) değişkeninin yerine yazılarak, deneysel sistemdeki Re sayıları hesaplanmıştır. Hesaplamalarla ilgili detaylı bilgiler 'Bölüm 3.7. Deneysel Sistemin FLOW3D ile Simülasyonu' başlığı altında anlatılmıştır.

Bu bölümde deneysel sistemdeki Re sayıları gerçek atık su sistemlerindeki Re sayıları ile karşılaştırılmıştır. Bununla ilgili olarak 'Bölüm 3.8. Kanalizasyon Sistemleri için Re Sayısı Hesaplanması' kısmında anlatılan yaklaşım kullanılarak, farklı akış durumları için gerçek atık su sistemlerindeki hidrolik parametreler ve Re değerleri hesaplanmıştır. Bunun için öncelikle farklı çaplarda borular ve eğim seçilerek bunlara ait tam-dolu akış şartlarındaki hidrolik yarıçap ve hız değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, gerçek atık su sistemlerinin % 10 ve % 60 doluluk oranlarındaki kısmi akış durumu için hidrolik yarıçap ve hız değerleri elde edilmiştir. Son adımda ise, her bir durum için Re sayıları hesaplanmış ve kullanılan deneysel sistem için simülasyondan elde edilen Re sayıları ile karşılaştırılmıştır.

Seçilen boru çapları (D):

D = 10-15 cm (Ev bağlantıları boru çapı)

D = 20-30 cm (Başlangıç kanalları boru çapı)

D = 35-60 cm (Tali kanallar boru çapı)

D = 65-100 cm (Ana kanallar boru çapı)

Tam akış şartlarındaki hidrolik yarıçaplar (r):

$$r = \text{akış kesit alanı} / \text{ıslak çevre} = (\pi \cdot (D^2/4)) / (\pi \cdot D) = (D/4)$$

Seçilen boru çapları için yukarıdaki formülden hesaplanan hidrolik yarıçaplar Tablo 8.1'de sunulmuştur.

Tablo 8.1. Boru çaplarına göre hidrolik yarıçaplar [38]

Boru Çapı (cm)	Hidrolik yarıçap (r) (cm)
15	3,75
20	5
30	7,5
40	10
45	11,25
50	12,5
60	15
70	17,5
80	20
90	22,5
100	25

Boru eğimi (s):

Boru eğimi katı maddelerin kanalizasyon hatlarında birikmesinin önlenmesi, hidrojen sülfür ve metan oluşumunun azaltılması açısından çok önemlidir. Boru eğimi bina içi atık su hatları ve ana kanalizasyon hatlarında kullanılan boru çaplarına göre değişiklik göstermektedir. Tablo 8.2'de farklı boru çapları için hesaplamada kullanılan minimum ve maksimum eğim değerleri verilmiştir.

Tablo 8.2. Boru çaplarına göre minimum ve maksimum eğim değerleri [38]

Boru Çapı (cm)	Minimum boru eğimi (m/m)	Maksimum boru eğimi (m/m)
15	0,0060	0,075
20	0,0038	0,045
30	0,0022	0,026
40	0,0015	0,020
45	0,0012	0,016
50	0,0010	0,013
60	0,00078	0,011
70	0,00065	0,0095
80	0,00058	0,008
90	0,00045	0,006
100	0,00038	0,005

Tam doluluk şartlarında borulardaki akış hızları (v_{dolu}):

Kanalizasyon hatlarında çökelme olmaması için akış hızının 0,5 m/s den büyük olması istenmektedir. Maksimum akış hızı ise İller Bankasınca 2,5 m/s olarak sınırlandırılmıştır [44]. Büyük hızlar borunun aşınmasına ve özellikle debinin büyük olduğu kanallarda akım yönünün değiştiği yerlerde büyük itki kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Seçilen boru çapları için akış hızları Manning's denklemine (denklem 3.13) göre hesaplanmıştır. Boru pürüzlülük katsayısı (n) 0,010 ile 0,015 arasında değişmekte olup beton, asbestli-çimento ve plastik borular için genellikle 0,013 alınmaktadır (American Society of Civil Engineers and Water Environment Federation). Hesaplamalarda n değeri 0,013 alınmış ve tam dolu durumdaki akış hızı değerleri Tablo 8.3'de sunulmuştur.

Tablo 8.3. Tam dolu akış durumunda akış hızı değerleri

Boru Çapı (cm)	Minimum akış hızı ($v_{\text{dolu-min}}$) (m/sn)	Maksimum akış hızı ($v_{\text{dolu-max}}$) (m/sn)
15	0,66	2,33
20	0,64	2,19
30	0,64	2,19
40	0,64	2,33
45	0,62	2,25
50	0,60	2,18
60	0,60	2,26
70	0,61	2,33
80	0,63	2,34
90	0,60	2,19
100	0,59	2,15

Kısmi doluluk durumunda hidrolik yarıçaplar ve akış hızları:

İller Bankası Yönetmeliğinde atık su sistemlerinde, minimum doluluk oranının ($r/D=0,10$) ve maksimum doluluk oranının ise ($r/D=0,60$) olması öngörülmektedir [45]. Atık su sistemlerindeki kısmi akış oranının maksimum % 60 düzeyinde tutulmasının sebepleri aşağıda özetlenmiştir. Bunlar;

- Yeraltı suyundan kanala sızmaların mümkün olması,
- Atık su sisteminin yüksek miktarlardaki yağış yükünü taşıyabilir olması,
- Atık suların zamanla ayrışarak metan ve hidrojen sülfür gibi gaz oluşturması,
- Atık suların kimyasal yapısından dolayı kanal kapasitesinin zamanla azalması,
- Kişi başına atık su deşarjları zamanla artış göstermesi,
- Nüfus artışı nedeniyle, kanalizasyon sistemlerine gelen atık su miktarlarında zamanla artış görülmesi durumlarıdır.

Shammas ve Wang (Appendix 9) [38] kısmi akış/tam dolu akış oranı tablosunda % 10 ve % 60 doluluk durumundaki kısmi akış için hidrolik yarıçaplar oranı sırasıyla 0,254 ve 1,11, akış hızı oranı ise 0,401 ve 1,072 olarak verilmiştir. Bu oranlar kullanılarak hesaplanan hidrolik yarıçaplar ve kısmi akış hızları Tablo 8.4'de verilmiştir.

Tablo 8.4. Kısmi akış şartlarındaki hidrolik yarıçap ve kısmi akış değerleri

Boru Çapı (cm)	Hidrolik yarıçap ($r_{kısmi}$) (cm)		Kısmi akış hızı ($v_{kısmi}$) (cm/sn)	
	% 10 doluluk	% 60 doluluk	% 10 doluluk	% 60 doluluk
	($r_{kısmi-10}$)	($r_{kısmi-60}$)	($v_{kısmi-10}$)	($v_{kısmi-60}$)
15	0,95	4,16	0,94	0,71
20	1,27	5,55	0,88	0,68
30	1,91	8,33	0,88	0,68
40	2,54	11,10	0,93	0,68
45	2,86	12,49	0,90	0,66
50	3,18	13,88	0,87	0,65
60	3,81	16,65	0,91	0,65
70	4,45	19,43	0,94	0,65
80	5,08	22,20	0,94	0,68
90	5,72	14,98	0,88	0,64
100	6,35	27,75	0,86	0,63

Kısmi akış şartları için Re sayıları:

Yukarıda seçilen boru çapları için kısmi akış durumlarındaki minimum ve maksimum Re sayıları aşağıda verilen denklem 8.1 kullanılarak ile hesaplanır.

$$Re = (\rho_w * v_{kismi} * r_{kismi}) / \mu \quad (8.1)$$

Bu denklemde,

ρ_w = Suyun yoğunluğu (g/cm³),

v_{kismi} = Borudaki kısmi akış hızı (cm/sn),

r_{kismi} = Kısmi akış durumundaki hidrolik yarıçap (cm),

μ = Suyun dinamik viskozitesi (g/cm-s),

şeklindedir.

Suyun $\rho_w = 1$ g/cm³ yoğunluk ve 20 °C sıcaklıkta dinamik viskozitesinin (μ) = 1,0087*10⁻² g/cm-s olduğuna göre denklem 8.1 kullanılarak hesaplanan Re sayıları Tablo 8.5’de sunulmuştur. Buna göre, % 10 doluluk oranıyla akış olması durumunda, borulardaki türbülans (Re) değerlerinin 8000 ile 50000 arasında olduğu görülmektedir. Boruların % 60 doluluk oranında akması halinde, Re değerleri 30000 ile 175000 arasında değişim göstermektedir.

Karşılaştırma amacıyla, Tablo 8.5’de sunulan Re değerlerinin, deneysel sistemde hangi karıştırma hızıyla elde edileceği hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar deneysel sistemin simülasyonundan elde edilen denklem ($Re = 270,3 * (\text{devir/dakika}) - 1135,2$) kullanılarak yapılmıştır. Buna göre, Tablo 8.5’deki Re sayıları yukarıdaki denklemde yerine yazılmış ve bu denklem karıştırma hızları için çözülmüştür. Bu şekilde elde edilen karıştırma hızları, Tablo 8.5’in son iki sütununda verilmektedir. Bu değerler, minimum ve maksimum Re sayısına karşılık gelen karıştırma hızları olarak verilmiştir.

Tablo 8.5. Seçilen boru çapları için hesaplanan minimum ve maksimum Re sayıları ve karıştırma hızları

Boru Çapı (cm)	Re sayısı (boyutsuz)		Karıştırma hızı (devir/dakika)	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
15	8840	29209	37	112
20	10070	39582	45	151
30	16562	56283	65	212
40	23485	75138	91	282
45	25572	81814	99	307
50	27484	89054	106	334
60	34280	106643	131	399
70	41211	125934	157	470
80	47265	148678	179	554
90	49830	159428	189	594
100	52240	174688	205	650

Deneysel çalışmalarda 150, 200 ve 250 devir/dakika karıştırma hızları ile Tablo 8.5'in son iki kolonunu karşılaştırarak, deneysel türbülans şartlarını değerlendirebiliriz. Buna göre, 70 cm'lik atık su borusunun %10 doluluk oranında akması durumu deney sistemindeki 157 devir/dakika karıştırma hızına karşılık gelmektedir. Benzer şekilde, 20 cm'lik atık su borusunun %60 doluluk oranında akması durumu, deneysel sistemdeki 151 devir/dakika karıştırma hızına karşılık gelmektedir.

Deneylerde kullanılan 150, 200 ve 250 devir/ dakika karıştırma hızlarındaki Re sayıları sırasıyla 150 devir/dakika için 39410, 200 devir/dakika için 52925, 150 devir/dakika için 66440 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, Tablo 8.5'de gerçek atık su boruları için hesaplanan Re sayıları karşılaştırıldığında, deneysel sistem içerisindeki türbülans şartlarının gerçek atık su sistemlerinde görülebilecek türbülans şartları olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, deneylerden elde edilen sonuçların gerçek atık su sistemlerini temsil edici özellikte olduğu anlaşılmıştır.

BÖLÜM 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ilk olarak, ülkemizde kişi başına tuvalet kağıdı tüketimi belirlenmiş ve tüketicilerin tuvalet kağıdı seçimini etkileyen faktörlerin analizi yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Ülkemizde tuvalet kağıdı tüketimi ortalama olarak 52 rulo/kişi-yıl veya 5,2 kg/kişi-yıl şeklinde belirlenmiştir. Bu değer alt ve üst limitleri 26 rulo/kişi-yıl veya 2,6 kg/kişi-yıl ve 73 rulo/kişi-yıl veya 7,3 kg/kişi-yıl şeklindedir.
- Anket sonuçlarından ülkemizde tuvalet kağıtları kullanımdan sonra % 80 oranında kanalizasyon sistemlerine bırakılarak bertaraf edildiği görülmüştür. Bu durum, tuvalet kağıtlarının kanalizasyon sistemlerindeki fiziksel parçalanması üzerine çalışmalar yapılması gerektiğini göstermektedir.
- Ülkemizdeki tüketicilerin tuvalet kağıdı tüketimlerinde etkili faktörler analiz edilmiştir. Buna göre, tüketicilerin gelir düzeyi ile ürün fiyatı arasında anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada, gelir düzeyi 1001-1500 TL olan bireyler için tuvalet kağıdı fiyatının daha önemli olduğu görülmüştür.
- Buna paralel olarak, tüketicilerin eğitim düzeyine bağlı olarak ürünün su tutma kapasitesi, yani genel kalitesi, anlamlı bir farklılık oluşturmuştur. Yapılan testlerden, su tutma kapasitesinin üniversite mezunu bireyler için daha önemli olduğu görülmüştür.

Tez çalışmasının ikinci aşamasında fiziksel parçalanma deneylerinde kullanılacak tuvalet kağıtlarının belirlenmesi için ülkemizde ve dünyada üretilen 27 farklı marka tuvalet kağıdından alınan örneklerin çeşitli fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Fiziksel özelliklerine göre tuvalet kağıtları orta ve lüks ürünler şeklinde sınıflandırılmıştır.
- Lüks kaliteli ürünlerin yaprak kütlesinin 550-750 mg/yaprak, gramajının 50-57 g/m², yaprak katsayısının 3, yaprak kalınlığının 165-250 µm ve yaprak hacminin 2000-3000 mm³ aralığında olduğu belirlenmiştir.
- Orta kalite tuvalet kağıtları için ise yaprak kütlesi 350-500 mg/yaprak, gramaj 33-45 g/m², yaprak katsayısı 2, yaprak kalınlığı 75-175 µm ve yaprak hacminin 800-2100 mm³ olduğu tespit edilmiştir.
- Bu bilgilerin ışığı altında, ürünlerin fiziksel özelliklerine bakılarak, parçalanma potansiyelleri hakkında öngörüler yapılmıştır. Örneğin, sıkı ve yoğun ürünlerin daha geç parçalanacağı tahmin edilmiştir. Sıkı ve yoğun ürünler, gramajı ve yaprak kütleri yüksek, yaprak hacmi düşük ürünler olarak belirlenmiştir.
- Fiziksel parçalanma deneylerinde kullanılan tuvalet kağıtları her bir kategoriye temsil edecek şekilde seçilmiştir. Bu doğrultuda, fiziksel parametreleri yüksek değerlere sahip olan kağıtlar seçilmiştir. Bu ürünler TKL-1 (Tablo 5.1) ve TKO-2 (Tablo 5.2) kodlu tuvalet kağıtlarıdır.

Tez çalışmasının üçüncü aşamasında orta ve lüks kalite ürünlerin fiziksel parçalanma davranışları incelenmiştir. Bu amaçla, TKL-1 ve TKO-2 ürünleri için 200 devir/dakika karıştırma hızında kesikli reaktörde fiziksel parçalanma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Günlük kişi başi tuvalet kağı kullanımının maksimum 25-30 yaprak olduğu daha önce yapılan çalışmalardan anlaşılmıştır. Bu tüketimin tek bir sefer yapılan sifonlamayla, yani 6 L su ile, deşarj edildiği göz önünde bulundurulmuştur. Bu miktar, tıkanmalar ve taşınma açısından en riskli deşarj miktarını vermektedir. Bu değer, litre başına ortalama 4-5 yaprak kağıt miktarına karşılık gelmektedir. Bu nedenle, başlangıç deneylerinde, orta kalite ürünlerden 5 yaprak $\approx 2,2$ g ve lüks kalite ürünlerden 4 yaprak $\approx 2,66$ g kağıtın 1 L su içerisinde parçalanması gerçekleştirilmiştir.
- Fiziksel parçalanma deneyleri sırasında standart gözenek çaplı eleklerde biriken kağıt miktarlarında zamanla dalgalanma gösterdiği (şekil 6.1 ve 6.2), yani deneysel hataların meydana geldiği görülmüştür. Eleklerde yapılan görsel incelemede, büyük kağıt parçacıkların eleklerde birikmesi ve küçük parçacıkların bunların üzerine tutunarak doğru eleklerle geçememesi nedeniyle deneysel hataların meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Bu hataları gidermek için, deneylerde kullanılan kağıt miktarı azaltılmıştır. Bu doğrultuda, günlük maksimum kağıt tüketimi (25-30 yaprak) ile tuvaletlerden kişi başına yapılan maksimum su deşarjı (5 sifonlama veya 30 L su) oranları kullanılmıştır. Buna göre, 1 yaprak kağıt ve 1 L su kullanılarak deneyler tekrar edilmiştir.
- Genel olarak, lüks ve orta kalite ürünlerin büyük parçalardan küçüklere doğru sıralı şekilde parçalandığı tespit edilmiştir. Örneğin, oluşan parçacıkların, (8-11) mm, (5-8) mm, (2-5) mm, (<2) mm şeklinde bir sıralamayı takip ettiği gözlemlenmiştir (Tablo 6.1 ve 6.3).
- Lüks rnn (TKL-1) orta kalite ürününe (TKO-2) göre daha yavaş parçalandığı tespit edilmiştir. TKO-2 ürünü 48. saatte tamamen parçalanırken, TKL-1 ürününün tamamının parçalanması 96. saatte tamamlanmıştır.

- Orta kalite ürününün (TKO-2) deney sonundaki (48. saat) parçacık dağılımı % 0,9 (8-11) mm, % 14 (5-8) mm, % 24 (2-5) mm ve % 61 (<2) mm parçacıklar şeklinde olmuştur. Bu dağılıma göre, deney sonunda oluşan parçacıklar atık su sistemlerinde rahatlıkla taşınabilecek büyüklüktedir.
- Lüks ürünün (TKL-1) 48. saat sonunda parçacık dağılımı, % 3 (>11) mm, % 9 (8-11) mm, % 20 (5-8) mm, % 17 (2-5) mm ve % 51 (<2) mm boyutlu parçacıklar şeklindedir. Buna oranlar 96.saat sonunda ise, % 0 (>11) mm, % 0,7 (8-11) mm, % 17 (5-8) mm, % 22 (2-5) mm ve % 60 (<2) mm boyutlu parçacıklar şeklinde olmuştur. Buna göre, orta kalite ürünlerin 48 saatte ulaştığı dağılım oranlarına, lüks ürünler 96. saatte ulaşmaktadır.
- Fiziksel parçalanma deneylerinin yanı sıra Karadağlı ve ark., [14] tarafından geliştirilen teorik yaklaşım kullanılarak, tuvalet kağıtlarının parçalanmasını takip edebilmek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu model kullanılarak deney sonuçları tahmin edilmiştir (Şekil 6.3 ve 6.4).
- Modelleme tahminlerinin deneysel verilerle en iyi şekilde örtüşmesi (best-fitting) sağlanarak, her bir ürün için özgün parçalanma hızı katsayıları ($k_i Re$) tespit edilmiştir. Bu katsayıların her iki ürün için parçacık büyüklüğüne bağlı olarak büyükten küçüğe doğru ilerlediği görülmüştür (Tablo 6.2 ve 6.4).
- Kağıdın yapısal anlamda aynı olması nedeniyle, $k_i Re$ katsayılarındaki bu farklılığın parçacık büyüklüğüne bağlı olduğu anlaşılmıştır. Yani, sudaki türbülans büyük parçacıklara daha fazla etki ederek onların hızlı şekilde parçalanmasına sebep olmaktadır. Küçük parçacıklar ise, türbülansın oluşturduğu fiziksel kuvvetlerden daha az etkilenerek suyla birlikte hareket ettiklerinden dolayı daha küçük parçalanma hızına sahip olmaktadır.
- Model tahminlerinin deneysel sonuçlarla örtüşmesinden, parçalanma sırasında oluşan parçacıkların dağılım oranları (f_i) elde edilmiştir (Tablo 6.2 ve 6.4). Bu katsayılar büyük parçacıkların yüksek oranda kendinden hemen sonraki boyut aralığına dönüştüğünü göstermiştir. Örneğin, TKL-1 ürünü

için ana kağıdın % 40'ı 8-11 mm boyutlu parçacıklara, 8-11 mm boyutlu parçacıkların % 35'i 5-8 mm boyutlu parçacıklara, 5-8 mm boyutlu parçacıkların ise % 60'ı 2-5 mm boyutlu parçacıklara dönüşmüştür (Tablo 6.4). TKO-2 ürünü içinde dağılım katsayıları benzer şekilde olmuştur.

Tez çalışmasının dördüncü aşamasında türbülansın fiziksel parçalanmaya olan etkisi incelenmiştir. Bu çerçevede, lüks kağıtlar kategorisinden TKL-4 ve TKL-6 tuvalet kağıtları yeni deneyler için seçilmiştir. Bu kağıtlar, TKL-1 ürününe benzer bir yapıda olup, biraz daha düşük yaprak kütlesi gibi küçük fiziksel farklılıklar göstermektedir. Bu numuneler ve aynı deneysel sistem kullanılarak fiziksel parçalanma deneyleri yapılmış ve deneysel sistemde karıştırma hızı 150, 200, 250 devir/dakika şeklinde ayarlanmıştır. Böylece, farklı türbülans şartları oluşturulmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- TKL-4 ve TKL-6 ürünleri için deney sonuçları ile model tahminleri arasında çok güzel bir uyum elde edilmiştir (Örneğin Şekil 7.1, 7.2 vb.). Daha önce çalışılan tuvalet kağıtlarına (TKL-1 ve TKO-2) benzer şekilde birbirini takip eden boyut aralıkları arasında sırayla parçalanma gözlemlenmiştir.
- Buna paralel olarak, bu ürünler için modellemeden elde edilen parçalanma hızı katsayılarının da ($k_i Re$) daha önceki ürünlerde olduğu gibi parçacık büyüklüğüne bağlı olarak büyükten küçüğe ilerlediği görülmüştür (Örneğin Tablo 7.2, 7.4 vb.). Bu ürünlerin dağılım katsayılarında da (f_i) daha önceki ürünlerde olduğu gibi büyük parçacıkların büyük oranda kendinden hemen sonraki boyut aralığına dönüştüğü görülmüştür.
- Bu kısımda ayrıca türbülansı temsil eden farklı karıştırma hızları ile modellemeden elde edilen $k_i Re$ değerleri arasında grafikler çizilmiştir (Şekil 7.7 ve 7.8). Bu grafiklerden, her bir boyut aralığındaki parçacıklar için karıştırma hızının artmasıyla birlikte parçalanma hızı katsayılarının lineer bir şekilde arttığı görülmüştür. Kağıt yapısal anlamda aynı olduğundan her bir kağıt türü için özgün parçalanma hız katsayısı (k_i) sabit olup, parçalanma

hızındaki artış ($k_i Re$) karıştırma hızına ve buna bağlı olarak ortamdaki türbülansa yani Reynolds sayısının (Re) artmasına bağlıdır.

Tez çalışmasının son aşamasında deneysel sistemdeki türbülans şartlarının gerçek atık su sistemleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan FLOW3D® kullanılarak deneysel sistemdeki akım şartlarının simülasyonu yapılmıştır. Bu çalışmada, 64-300 devir/dakika aralığındaki karıştırma hızlarında deneysel sistemde meydana gelen türbülansa ait Reynolds sayıları (Re) hesaplanmıştır. Ayrıca, kanalizasyon sistemleri için farklı akış durumlarında Re sayısı hesaplanmıştır. Bu değerlerin karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- FLOW3D® simülasyonundan, deneysel sistemin dönüş hızı ile Re sayıları arasında [$Re = 270,3 * (\text{devir/dakika}) - 1135,2$] denklemine bağlı lineer bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu denklem kullanılarak deneysel sistemin 150, 200, 250 devir/dakika dönüş hızları için Reynolds sayıları sırasıyla 39410, 52925 ve 66440 olarak hesaplanmıştır.
- Atık suların toplanması ve taşınmasında kullanılan farklı çaplardaki (10-100 cm) borularda tam dolu akış, % 10 ve % 60 doluluk durumları için hidrolik parametreler ile minimum ve maksimum Re değerleri (Tablo 8.5) hesaplanmıştır.
- Atıksu borularındaki Re değerleri ile deneysel sistemdeki Re verileri karşılaştırılmıştır. Buna göre, (30-40) cm çaplı boruların %60 doluluk oranında akması veya büyük çaplı boruların (60-100 cm) %10 doluluk oranında akması sırasında meydana gelen türbülans değerleri, deneysel sistemdeki türbülans değerlerine karşılık gelmektedir. Buna göre, deneysel sistem gerçek atık su sistemlerini temsil edici özelliktedir.
- Bina içi pisu borularında ve binaların cadde bağlantı borularında görülen türbülans şartlarının tuvalet kağıtlarının parçalanması açısından zayıf olduğu

belirlenmiştir. Tuvalet kağıtlarının taşınım parçalanmaları için bu boruların belirli bir risk taşıdığı anlaşılmıştır.

- Bu problemlerin giderilmesi için, boruların minimum eğim değerlerinin arttırılması gerekmektedir. Ülkemizde bina için pissu bağlantı borularının minimum eğim değerleri standart hale getirilmeli ve inşaatlarda uygulanmalıdır. Bununla birlikte, yeni inşaatlardaki boru eğimleri kontrol edilmeli ve bu işlem yapı denetiminin bir parçası olarak hayata geçirilmelidir.
- Tuvalet kağıtlarının geliştirilmesi çözümün bir parçası olacaktır. Buna göre, tüketicilerin beklentilerine karşılık veren, ancak atık su sistemlerinde kolaylıkla parçalanan ürünler geliştirilmelidir. Bu doğrultuda, kağıdın çok sıkı ve yoğun bir yapıda olmaması gerekmektedir. Bunun için, tuvalet kağıtlarının gramajı düşürülerek, atık su sistemlerinde kolaylıkla parçalanabilen ürünler geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] JANNA, H., SCRIMSHAW, M. D., WILLIAMS, R. J., CHURCHLEY, J., SUMPTER, J. P., From Dishwasher to Tap? Xenobiotic Substances Benzotriazole and Tolyltriazole in the Environment. *Environ. Sci. Technol.* 2011; 45(9):3858-3864
- [2] NAKADA, N., KIRI, K., SHINOHARA, H., HARADA, A., KURODA, K., TAKIZAWA, S., TAKADA, H., Evaluation of pharmaceuticals and personal care products as water-soluble molecular markers of sewage. *Environ. Sci. Technol.* 2008; 42(17):6347-6353
- [3] HE, X., IASMIN, M., DEAN, L. O., LAPPI, S. E., DUCOSTE, J. J., DE LOS REYES, F. L., Evidence for Fat, Oil, and Grease (FOG) Deposit Formation Mechanisms in Sewer Lines. *Environ. Sci. Technol.* 2011; 45(10):4385-4391.
- [4] BUTLER, D., LITTLEWOOD, K., ORMAN, N., Forces on sanitary solids in small sewers. *Water Sci. Technol.* 2005; 52(3):85-92
- [5] LITTLEWOOD, K., BUTLER, D., Movement mechanisms of gross solids in intermittent flow. *Water Sci. Technol.* 2003; 47(4):45-50
- [6] Report to congress: Impacts and controls of CSOs and SSOs. EPA 575 833-R-04-001, Environmental Protection Agency: Washington, DC, 2004
- [7] Report to congress: Implementation and enforcement of the combined sewer overflow control policy. EPA 833-R-01-003, Washington, DC, 2001
- [8] CURRIERO, F. C., PATZ, J. A., ROSE, J. B., LELE, S., The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994. *Am J. Public Health.* 2001; 91(8):1194-1199
- [9] KEENER, K. M., DUCOSTE, J. J., HOLT, L. M., Properties Influencing Fat, Oil, and Grease Deposit Formation. *Water Environ. Res.* 2008; 80(12):2241-2246

- [10] O'CONNELL, M., MCNALLY, C., RICHARDSON, M. G., Biochemical attack on concrete in wastewater applications: A state of the art review. *Cement Concrete Comp.* 2010; 32(7): 479-485
- [11] TSUTSUI, T., NATSUHARA, M., YAMADA, K., TANIZAWA, Y., Oily grime formed on hard surfaces of kitchen appliances: Chemical composition and oxidation mechanism. *J. Surfactants Deterg.* 2007; 10(1):53-59
- [12] MEHROTRA, K. N., RAWAT, M. K., Physico-chemical studies on manganese soaps in solid state. *Colloid & Polymer Science.* 1992; 270(12):1232-1236
- [13] BROWN, D. M., BUTLER, D., ORMAN, N. R., DAVIES, J. W., Gross solids transport in small diameter sewers. *Water Sci. Technol.* 1996; 33(9):25-30
- [14] KARADAGLI, F., MCAVOY, D. C., RITTMANN, B. E., Development of a Mathematical Model for Physical Disintegration of Flushable Consumer Products in Wastewater Systems. *Water Environ. Res.* 2009; 81(5):459-465
- [15] KARADAGLI, F., RITTMANN, B. E., Modeling the fate and transport of flushable consumer products disposed of in sewerage systems, Progress Report-I. The Procter and Gamble Company: Cincinnati, Ohio, USA, 2003
- [16] KARADAGLI, F., RITTMANN, B. E., Modeling the fate and transport of flushable consumer products disposed of in sewerage systems, Progress Report-II. The Procter and Gamble Company: Cincinnati, Ohio, USA, 2004
- [17] METCALF, L., EDDY, H. P., *American Sewage Practice.* McGraw-Hill Book Co., New York, 1916
- [18] URGUART, L. C., *Civil Engineering Handbook* 4th ed. McGraw-Hill Book Co., New York, 1962
- [19] YOON, H. S., HILL, D. F., BALACHANDAR, S., ADRIAN, R. J., HA, M. Y., Reynolds number scaling of flow in a Rushton turbine stirred tank. Part I - Mean flow, circular jet and tip vortex scaling. *Chem. Eng. Sci.* 2005; 60(12):3169-3183
- [20] BECHTEL, T. B., A computational technique for turbulent flow of wastewater sludge. *Water Environ. Res.* 2005; 77(4):417-422
- [21] ESCUDIE, R., LINE, A., Experimental analysis of hydrodynamics in a radially agitated tank. *Aiche J.* 2003; 49(3):585-603

- [22] YOON, H. S., SHARP, K. V., HILL, D. F., ADRIAN, R. J., BALACHANDAR, S., HA, M. Y., KAR, K., Integrated experimental and computational approach to simulation of flow in a stirred tank. *Chem. Eng. Sci.* 2001; 56(23):6635-6649
- [23] DERKSEN, J. J., DOELMAN, M. S., Van den Akker, H. E. A., Three-dimensional LDA measurements in the impeller region of a turbulently stirred tank. *Exp. Fluids.* 1999; 27(6):522-532
- [24] LAMBERTO, D. J., ALVAREZ, M. M., MUZZIO, F. J., Experimental and computational investigation of the laminar flow structure in a stirred tank. *Chem. Eng. Sci.* 1999; 54(7):919-927
- [25] KEMOUN, A., LUSSEYRAN, F., MALLET, J., MAHOUST, M., Experimental scanning for simplifying the model of a stirred-tank flow. *Exp. Fluids.* 1998; 25(1):23-36
- [26] REVELLE, C., WHITLATCH, E. E., WRIGHT, J. R., *Civil and Environmental Systems Engineering.* Printice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1997
- [27] DONG, L., JOHANSEN, S. T., ENGH, T. A., Flow-Induced by an Impeller in an Unbaffled Tank .1. Experimental. *Chem. Eng. Sci.* 1994; 49(4):549-560
- [28] KRESTA, S. M., WOOD, P. E., Prediction of the three-dimensional turbulent flow in stirred tanks. *Aiche J.* 1991; 37(3):448-460
- [29] YIANNESKIS, M., POPIOLEK, Z., WHITELAW, J. H., An Experimental-Study of the Steady and Unsteady-Flow Characteristics of Stirred Reactors. *J. Fluid Mech.* 1987; 175:537-555
- [30] DESOUZA, A., PIKE, R. W., Fluid dynamics and flow patterns in stirred tanks with a turbine impeller. *The Canadian Journal of Chemical Engineering.* 1972; 50(1):15-23
- [31] KALAYCI, Ş., *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri.* Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2008
- [32] McCLAVE, J. T., SINCICH, T., *Statistics.* Printice Hall Inc., New Jersey, 2003
- [33] ÖZDAMAR, K., *Paket Programlar İle İstatistiksel Veri Analizi.* Kaan Kitabevi, Eskişehir, 2002
- [34] VEHİD, H. E., ÖZDEN, Y. İ., DİRİCAN, A., ÖNEŞ, Ü., Çok değişkenli Varyans Analizi ve Uygulaması. *İstanbul Tıp Fakültesi Dergisi.* 2000; 63(4):357-364

- [35] KAYRI, M., Araştırmalarda Gruplar Arası Farkın Belirlenmesine Yönelik Çoklu Karşılaştırma (Post-Hoc) Teknikleri. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. 2009; 19(1):51-64
- [36] ALMEIDA, M.C., D. BUTLER, AND E. FRIEDLER, At-source domestic wastewater quality. Urban Water, 1999; 1(1):49-55
- [37] TOPACIK, D., KOYUNCU, I., Arıtma Tesislerinin Hidroliği. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2006
- [38] SHAMMAS, N. K., L.K., W., Water Supply and Wastewater Removal (3rd Ed.). John Wiley and Sons Inc., New York, USA, 2011
- [39] HAIR, J. F., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L., BLACK, W. C., Multivariate Data Analysis: With Readings (3rd Ed.). Macmillan Publishing Company, New York, 1992
- [40] YAZICIOĞLU, Y., ERDOĞAN, S., SPSS Uygulamalı Bilimsel Araştırma Yöntemleri. Detay Yayıncılık, Ankara, 2004
- [41] Tuvalet kağıdı tüketim oranları. <http://www.europiantissue.com/wpcontent/uploads/percapitaconsumptionofTissuebyWorldredion2009.pdf>, (15.07.2011)
- [42] Per capita consumption of toilet paper for Turkey. <http://www.europeantissue.com>, (01.08.2011)
- [43] SABINE, L., EVERITT, B. S., A handbook of statistical analyses using SPSS. Chapman & Hall/CRC Press LLC, Washington, D.C., 2004
- [44] İller Bankası, Kanalizasyon İşlerinin Planlaması ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Talimatname. İller Bankası Yayını, 1991
- [45] SAMSUNLU, A., Su Getirme ve Kanalizasyon Yapıtlarının Boyutlandırma Esasları. Denizli Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Yayını, 1989

ÖZGEÇMİŞ

Beytullah EREN, 1983 yılında Giresun'da doğdu. Aynı şehirde ilk, orta ve lise eğitimini tamamladıktan sonra 2000 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi (SAÜ) Çevre Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaptı. 2002 yılında SAÜ Endüstri Mühendisliği Bölümünde Çift Anadal Programına (ÇAP) başladı. 2004 yılında Mühendislik Fakültesi ve Çevre Mühendisliği Bölümü birincisi olarak mezun oldu. Ayrıca 2005 yılında Endüstri Mühendisliği Bölümü ve 2006 yılında da Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimlerini tamamladı. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Çevre Teknolojisi Anabilim Dalında Doktora öğrenimine başladı. 2005-2011 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. Temmuz 2011'den bu yana aynı birimde Öğretim Üyesi Yetiştirme (ÖYP) programı kapsamında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.