

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUVALET KAĞITLARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ İLE
ATIKSU SİSTEMLERİNDE PARÇALANMA DAVRANIŞLARI
ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berke Çağatay SOYUCUKLU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

ARALIK 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TUVALET KAĞITLARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ İLE
ATIKSU SİSTEMLERİNDE PARÇALANMA DAVRANIŞLARI
ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berke Çağatay SOYUCUKLU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatih KARADAĞLI

ARALIK 2024

Berke Çağatay SOYUCUKLU tarafından hazırlanan “TUVALET KAĞITLARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ İLE ATIKSU SİSTEMLERİNDE PARÇALANMA DAVRANIŞLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 13.12.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr.Fatih KARADAĞLI (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Saim Özdemir**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr.Ömer Hulusi DEDE**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “TUVALET KAĞITLARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ İLE ATIKSU SİSTEMLERİNDE PARÇALANMA DAVRANIŞLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

(imza)

Berke Çağatay SOYUCUKLU





Çok değerli aileme ...



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini aldığım, araştırmanın planlanmasında, yürütülmesinde ve tezimin yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. Fatih KARADAĞLI'ya teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışma, Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü tarafından 2023-19-43-10 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Bu çalışmaya sunulan finansal destek için Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğüne şükranlarımı arz ederim. Bu çalışmanın kavramsal olarak oluşumuna ve geliştirilmesine destek sağlayan Sayın Serdar AÇIKALIN ve Sayın Yezdan ATILGAN'a teşekkürler ederim. Hayatım boyunca bana her tür desteği sağlayan çok değerli aileme şükranlarımı sunarım.

Berke Çağatay SOYUCUKLU



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. MATERYAL VE METOT	9
3.1. Materyal	9
3.2. Fiziksel Karakterizasyon	12
3.3. Fiziksel Parçalanma Deneyleri	13
3.4. Parçacıkların Boyut Analizleri	16
3.5. Sloss-box Yöntemine Göre Parçalanmanın Değerlendirilmesi	18
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	21
4.1. Tuvalet Kağıdı Numuneleri	21
4.2. Tuvalet Kağıdı Numunelerinin Fiziksel Özellikleri	23
4.3. Tuvalet Kağıdı Numunelerinin Sularda Parçalanma Deneyleri	25
4.4. Tuvalet Kağıtlarının Yaprak Kütlesi ile Sularda Parçalanmaları Arasındaki İlişkiler	31
4.5. Tuvalet Kağıtlarının Kalınlıkları ile Sularda Parçalanmaları Arasındaki İlişkiler	33
4.6. Tuvalet Kağıtlarının Yaprak Hacimleri ile Sularda Parçalanmaları Arasındaki İlişkiler	35
4.7. Tuvalet Kağıtlarının Gramajları ile Sularda Parçalanmaları Arasındaki İlişkiler	37
4.8. Tuvalet Kağıtlarının Özgül Hacimleri ile Sularda Parçalanmaları Arasındaki İlişkiler	38
4.9. Tuvalet Kağıtlarının Gofraj Özellikleri ile Sularda Parçalanma Davranışları Arasındaki İlişkiler	39
SONUÇ	47
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	53



KISALTMALAR

DÖKK	: Bir yaprak numunenin deney başlamadan önceki kuru kütlesi
DS<25	: Deney sonunda oluşan ve 25 mm'den küçük boyutlu parçacıkların toplam kuru kütlesi
DS>25	: Deney sonunda oluşan ve 25 mm'den büyük boyutlu parçacıkların toplam kuru kütlesi
DSTK	: Deney sonunda oluşan tüm parçacıkların toplam kuru kütlesi
INDA	: International Nonwovens and Disposables Association
IWSFG	: International Water Services Flushability Group
TK	: Tuvalet kağıdı



SİMGELER

Re	: Reynolds sayısı [Birimsiz]
t	: Zaman [dakika]
ρ	: Yoğunluk [g/cm ³]
D	: Çap [cm]
m	: Kütle [g]
v	: Özgöl hacim [dm ³ /kg]



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Türkiye’de üretim yapan büyük ölçekli firmalar ve tanınmış markaları sunulmaktadır.....	9
Tablo 3.2. Türkiye’de üretim yapan orta ve küçük ölçekli firmalar ve markaları sunulmaktadır.....	11
Tablo 4.1. Araştırmaya konu olan tuvalet kağıdı numunelerinin marka ve pazar bölgeleri sunulmaktadır.....	21
Tablo 4.2. Numunelerin olağan (ambalaj içerisindeki) ve kuru durumlarındaki yaprak kütleleri ve nem oranları sunulmaktadır.	23
Tablo 4.3. Numunelerin yapraklarını oluşturan mikroskopik katman sayıları, her bir katmanın kalınlığı ve toplam yaprak kalınlığı sunulmaktadır.....	23
Tablo 4.4. Numunelerin bir yaprağının yüzey alanı (en x boy) ve yaprak hacimleri sunulmaktadır.....	24
Tablo 4.5. Numunelerin gramaj ve özgül hacim değerleri sunulmaktadır.	24
Tablo 4.6. Tuvalet kağıtları numuneleri ile yapılan parçalanma deneylerinin sonuçları.....	26
Tablo 4.7. Araştırmaya konu olan tuvalet kağıdı numunelerinin gofraj düzeyleri sunulmaktadır.....	40



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 3.1.** Fiziksel parçalanma deneylerinde kullanılan 2.8 L Fernbach erleni ve orbital çalkalayıcı. 14
- Şekil 3.2.** Orbital çalkalayıcıda karıştırılan 1 L su dolu Fernbach erlenin farklı karışıma hızlarında oluşturduğu türbülansı tanımlayan ve Reynold's sayısı olarak ifade edilen değerler. 15
- Şekil 3.3.** Fiziksel parçalanma deneylerini gerçekleştirmek için kullanılan slosh-box isimli cihaz sunulmaktadır. 16
- Şekil 3.4.** Fiziksel parçalanma sırasında oluşan parçacıkların boyut analizlerinin yapılabilmesi için kullanılan yöntem. 17
- Şekil 3.5.** Parçalanma sırasında oluşan katı parçacıkların ayrıştırılması için vakumlu filtrasyon sistemi. 17
- Şekil 3.6.** Katı madde tayininde kullanılan etüv.....18
- Şekil 3.7.** Slosh-box yönteminde kullanılan 25 mm gözenek çaplı ve yuvarlak delikli elekler ile bu eleğin debisi 4/L dakika olan bir duş kafası ile yıkanması sunulmaktadır. 19
- Şekil 3.8.** Bir önceki resimde sunulan işlemde sonra elekte kalan parçacıkların cımbız ile toplanması gösterilmektedir. 19
- Şekil 4.1.** Kuzey Amerika bölgesinden temin edilen farklı tuvalet kağıtlarının zamana bağlı parçalanma oranları, ilgili numunenin bir yaprağının kuru kütlesinin yüzdesi şeklinde sunulmaktadır. Sunulan sonuçlar 25 mm'den büyük parçacıkların kütlesini göstermektedir. 27
- Şekil 4.2.** Avrupa bölgesinden temin edilen farklı tuvalet kağıtlarının zamana bağlı parçalanma oranları, ilgili numunenin bir yaprağının kuru kütlesinin yüzdesi şeklinde sunulmaktadır. Sunulan sonuçlar 25 mm'den büyük parçacıkların kütlesini göstermektedir. 28
- Şekil 4.3.** Renova markalı ürün ile gerçekleştirilen 30 dakikalık parçalanma deneyi sonunda oluşan parçacık dağılımı sunulmaktadır. Kırmızı çember içerisinde görülen parça yekpare ve 25 mm'den daha büyük durumdadır. 29
- Şekil 4.4.** Türkiye'de üretilen ve Ortadoğu bölgesinde pazarlanan farklı tuvalet kağıtlarının zamana bağlı parçalanma oranları, ilgili numunenin bir yaprağının kuru kütlesinin yüzdesi şeklinde sunulmaktadır. Sunulan sonuçlar 25 mm'den büyük parçacıkların kütlesini oluşturmaktadır..... 30
- Şekil 4.5.** Farklı tuvalet kağıdı numunelerinin kuru yaprak kütleleri ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kağıtların zamana bağlı parçalanma oranları düşey ekseninde, zaman yatay ekseninde ve yaprak kütlesi değerleri z-ekseninde verilmektedir 32
- Şekil 4.6.** Farklı tuvalet kağıdı numunelerinin kalınlıkları ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kağıtların zamana bağlı parçalanma oranları düşey ekseninde, zaman yatay ekseninde ve yaprak kalınlıkları z-ekseninde verilmektedir..... 34

Şekil 4.7. Farklı tuvalet kağıdı numunelerinin yaprak hacimleri ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kağıtların zamana bağlı parçalanma oranları düşey ekseninde, zaman yatay ekseninde ve yaprak hacimleri z-ekseninde verilmektedir.	36
Şekil 4.8. Farklı tuvalet kağıdı numunelerinin gramaj değerleri ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kağıtların zamana bağlı parçalanma oranları düşey ekseninde, zaman yatay ekseninde ve gramajları z-ekseninde verilmektedir.	37
Şekil 4.9. Farklı tuvalet kağıdı numunelerinin özgül hacim değerleri ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kağıtların zamana bağlı parçalanma oranları düşey ekseninde, zaman yatay ekseninde ve özgül hacimler z-ekseninde verilmektedir.	38
Şekil 4.10. Tuvalet kağıtlarında gofraj baskısının yapılması için kullanılan silindirlere örnek verilmektedir.	39
Şekil 4.11. Renkli ve derin gofraj baskılı bir tuvalet kağıdı örneği sunulmaktadır. ..	40
Şekil 4.12. Walmart Bathroom Tissue isimli ürünün gofrajı sunulmaktadır.	41
Şekil 4.13. Cottonelle isimli ürünün gofrajı sunulmaktadır.	41
Şekil 4.14. Charmin Ultra Strong isimli ürünün gofrajı sunulmaktadır.	412
Şekil 4.14. Nordic Ecolabel sertifikalı Lambi ürününün gofrajı sunulmaktadır.	42
Şekil 4.15. Nordic Ecolabel sertifikalı Lotus ürününün gofrajı sunulmaktadır.	43
Şekil 4.16. Renova Black markalı ürünün gofrajı sunulmaktadır.	43
Şekil 4.18. Solo markalı ürünün gofrajı sunulmaktadır.	44
Şekil 4.19. Selpak markalı ürünün gofrajı sunulmaktadır.	44
Şekil 4.20. Tuvalet kağıtlarının gofraj düzeyleri ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişkiler sunulmaktadır. Numunelerin gofraj düzeyleri 1-Düşük ve hafif baskılı ürünler ve 5-Yoğun ve derin baskılı ürünler olarak Tablo 4.7’de gösterildiği şekilde derecelendirilmiştir	45

TUVALET KAĞITLARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ İLE ATIKSU SİSTEMLERİNDE PARÇALANMA DAVRANIŞLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Anahtar kelimeler: Tuvalet kağıtları, fiziksel özellikler, parçalanma, kanalizasyon

Tuvalet kağıtları gibi bireysel hijyen ürünleri kullanıldıktan sonra çöp kutularına veya tuvaletlerden kanalizasyon sistemlerine bırakılarak bertaraf edilmektedir. Bu atıklar kanalizasyon sisteminde bulunan atık-yağlar gibi hidrofobik maddelerle veya kum gibi inorganik atıklarla birleşerek bir atık yığını oluşturmaktadır. Bu yığınlar zamanla kütle ve hacim açısından büyüyerek kanalizasyon sistemlerinde problemlere neden olmaktadır. Kısaca, bu yığınlar su akış hızının ve debisinin düşük olduğu yer ve zamanlarda birikimler yaparak tıkanmalara neden olmaktadır. Tıkanmaların sonucu olarak, atıksu idareleri ve halkımız finansal maliyetler, mal ve işgücü kayıpları, ve sağlık tehditleri ile karşı karşıya kalmaktadır.

Bu çerçevede, bu çalışmada, tuvalet kağıtlarının fiziksel özellikleri ile kanalizasyon sistemlerindeki parçalanma davranışları arasındaki bağlantılar araştırılmıştır. Bu doğrultuda, farklı özelliklere sahip tuvalet kağıtları farklı ülkelerden ve yerel marketlerden temin edilmiştir. Bu ürünlerin yaprak ağırlığı, kalınlığı, hacmi, gramajı, özgül hacmi ve gofraj özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra, temsil edici nitelikteki numuneler ile sularda fiziksel parçalanma deneyleri International Water Services Flushability Group tarafından geliştirilen test metodlarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar ilgili numunelerin atıksu sistemlerindeki parçalanma davranışları hakkında bilgi vermiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, tuvalet kağıtlarının yaprak kütleleri ile sularda parçalanma hızları arasında belirgin bir ilişki olmadığı anlaşılmıştır. Kağıtların kalınlığı ve özgül hacimleri ile parçalanma oranları arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Kalınlık değerleri $<165 \mu\text{m}$ ve özgül hacimleri $<3.5 \text{ (dm}^3/\text{kg)}$ olan ürünlerin deneylerde hızlı şekilde parçalandığı tespit edilmiştir. Buna karşılık, yaprak kalınlığı artarken parçalanma hızının düştüğü gözlemlenmiştir. Kağıtların yaprak hacimleri ile parçalanma hızları arasında belirgin bir ilişki olduğu anlaşılmıştır. Buna göre, yaprak hacimleri arttıkça parçalanma hızlarının yavaşladığı gözlemlenmiştir. Kağıtların gramaj değerleri ile parçalanma hızları arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Kağıtların gofraj derecesi ile parçalanma hızları arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Bunların yanı sıra, kağıt hamurunda kullanılan fiber türleri, boyutları ve kimyasal katkıların da parçalanma hızını etkilediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, kağıtların parçalanma davranışlarının değerlendirilmesinde sadece fiziksel özellikler değil, aynı zamanda kağıt hamurunun bileşenlerinin de dikkate alınması gerekmektedir.



INVESTIGATION OF POTENTIAL RELATIONS BETWEEN PHYSICAL CHARACTERISTICS OF TOILET PAPERS AND THEIR DISINTEGRATION BEHAVIOR IN WASTEWATER SYSTEMS

SUMMARY

Keywords: Toilet paper, wastewater system, physical characteristics, disintegration

Personal hygiene products such as toilet papers (TPs) are disposed of into solid waste bins or into sewer systems via toilets. In sewers, their transport and disintegration rely on factors such as pipe diameter and slope, wastewater flow rate and flow velocity, product characteristics such as physical strength, and frequency and amount of product discharge. In parallel, personal hygiene products can absorb wastewater constituents such as grease and/or they blend with inorganic wastes such as sand and clay. This mixture of waste materials accumulates over time and cause sewer backups in parts of sewer system (e.g., manholes), where flow velocity drops suddenly. As a result, household residents face property damages, financial costs and health risks due to sewer backups. Likewise, wastewater authorities spend considerable amount of time, energy, and public funds to rectify pipe blockages, and to repair or replace any equipment (e.g., pumps and grinders) that is clogged by flushed materials.

Recent studies and field observations confirm that some toilet paper can be problematic for wastewater systems. A recent study reported that nonwoven products (e.g. papers and wipes) constituted 78% of all solids in municipal wastewater samples that they took periodically over a year at 12 critical points in Berlin, Germany. This study pointed out that nonwoven products such as wipes play a pivotal role in sewer overflows. Another study proposed that disintegration of flushable products rely on product characteristics such as physical strength, and turbulence level of wastewater flow. Guided by this theoretical approach, mathematical models were developed and laboratory experiments were conducted to verify theoretical foundations and to elucidate disintegration patterns of various flushable products (e.g., toilet papers) in representative sewer flow conditions. However, a critical gap in the literature is the lack of fundamental studies that can help define and distinguish flushable and non-flushable items. Specifically, physical and mechanical aspects, as well as, material compositions of flushable products such as toilet paper must be defined urgently to minimize sewer problems such as pump clogs.

Within this framework, this study assesses potential relations between physical properties of TPs and their disintegration behavior in sewer systems. TPs are consumed more commonly, more frequently, and in more amounts than any other FP. As primary flushable products, TPs usually move and disintegrate along with wastewater flow, and usually do not cause any major problem in sewer networks. Therefore, their fundamental properties can set a basis to evaluate new FPs such as flushable wipes. In this context, various toilet paper samples were obtained from domestic and international sources. Then, each sample's physical properties including sheet mass, sheet thickness, sheet volume, grammage, specific volume and embossing were quantified and/or graded. Briefly, we measured length and width of a sheet, and

computed its surface area (length x width). Then, we used a light microscope to measure sheet thickness, and multiplied the thickness with surface area to estimate sheet volume. We measured sheet mass gravimetrically. Then, we computed basis weight as sheet mass divided by surface area. We estimated specific volume as sheet volume divided by sheet mass. We measured physical characteristics of TP samples in their regular and in-package states, as well as in their dry states, which were obtained by drying samples at 104 C for 24 h.

Next, representative samples were selected for experimental evaluation of their physical breakdown in sewer systems. This assessment was carried out according to test protocols developed by the International Water Services Flushability Group (IWSFG). The IWSFG's protocol involves a test equipment called Slosh-box that is a framed-box (width = 30 cm, length = 45 cm, and depth = 30 cm) that rocks from one side to the other via mechanical means. For testing, a toilet paper sheet and 4 L of tap water are placed into Slosh-box and shaken together at an oscillation speed of 18 oscillations per minutes (opm) for 30 minutes. To pass, 80% of the initial dry mass of the sample must be <25 mm solids after 30 minutes of shaking.

In view of the results, disintegration rates of toilet papers did not indicate any meaningful relationship along with sheet mass of the samples. A linear relationship was observed between sheet thicknesses and specific volumes of toilet papers and their disintegration rates. Toilet papers with thickness values <165 μm and specific volumes <3.5 dm^3/kg disintegrated relatively rapidly, whereas TPs with thickness values >175 μm and with specific volumes >3.5 dm^3/kg disintegrated relatively slowly. A noticeable relationship was clear between sheet volumes of toilet papers and their disintegration rates. Simply, TPs with sheet volumes <2100 mm^3 disintegrated rapidly, while products with sheet volumes above 2100 mm^3 disintegrated relatively slowly. No meaningful relationship was detected between grammage of TPs and their disintegration rates. However, a linear relationship was detected between embossing of toilet papers and their physical breakup.

In parallel, toilet paper's pulp components, such as fiber type, fiber dimension and chemical additives, influence disintegration rates of toilet papers. Hence, potential effects of pulp components on disintegration behavior of toilet papers must be evaluated along with physical properties of such products.

When compared with past studies, our findings are new and original in relevance of connecting physical properties with disintegration behavior of TPs. Past studies mostly focused on issues within a certain field of study such as identification of product characteristics and/or improvement of products according to consumer expectations. However, the results from this study are interdisciplinary and aim to connect two important areas as how product properties relate to flushable characteristics. In this regard, our results are obtained by using 8 representative samples; thus, the findings must be verified by using larger number of samples. For instance, grammage values of the samples ranged from 34 to 57 g/m^2 , whereas one study reported this range as 16-38 g/m^2 for products from North America. This comparison shows the need to verify our findings with numerous samples that indicate wide ranges for product properties.

For potential impacts on wastewater systems, the findings indicate that toilet papers that are characteristically thick and dense are unsuitable for disposal into sewer systems. Their transport and disintegration in sewer pipes will be hindered as they blend with other wastes such fat, oil, and grease (FOG) that flow with wastewater.

Continuous discharge of toilet papers into sewer systems will cause accumulations of solids in drainlines, small sewer pipes, bends, and manholes, while they will blend with other wastes such as wet wipes. Consequently, these mixtures of solid wastes will cause sewer backups, property damages, financial costs, and public health concerns. Hence, toilet papers as well as other flushable products must be defined and regulated urgently to ensure long-term sustainability of wastewater collection and treatment systems.





1. GİRİŞ

Günümüzde tuvalet kağıtları ve ıslak mendil gibi kişisel hijyen ürünlerinin bazıları “klozete atılabilir” (flushable) olarak pazarlanmaktadır. Bu nedenle, birçok tüketici bu tür ürünleri tuvaletlere bırakarak bertaraf etmektedir. Ancak, klozete atılabilir olarak etiketlenen ürünlerinin hangi kriter ve koşullara bağlı olarak klozetelere atılabileceği belirsizdir. Bunun yanı sıra, tüketicilerin dikkatsizliği nedeniyle birçok hijyenik ürün kanalizasyon sistemlerine ulaşmaktadır. Bu atıklar, kanalizasyon sistemlerinde bulunan diğer atıklarla (yemek atığı, yağlar, kum, toz vb.) birleşerek atıksu borularında çökme ve birikim yapmaktadır. Bu birikimler zamanla tıkanmalara neden olmaktadır. Tıkanmaları gidermek için atıksu sistemlerinden sorumlu kuruluşlar önemli finansal ve işgücü maliyetlerini karşılamak zorunda kalmaktadır. Bu çerçevede, bu alanda yapılacak bilimsel çalışmalar kanalizasyon sistemlerinin korunması adına elzem olmaktadır.

Bu doğrultuda yapılabilecek bilimsel çalışmaların bir alanı, tuvalet kağıtları ve ıslak mendil gibi ürünlerin fiziksel özellikleri ile pissu hatlarındaki parçalanma davranışları arasındaki ilişkilerin incelenmesidir. Dünya genelinde, sosyoekonomik düzeyi yüksek olan tüketiciler, yumuşak, kalın, gramajı ve su tutma kapasitesi yüksek olan tuvalet kağıtlarını tercih ederken, orta ve düşük gelir düzeyindeki tüketiciler ekonomik ürünleri tercih etmektedir. Bu ürünler arasında, kalın ve gramajı yüksek olanların kanalizasyon sistemlerinde daha yavaş parçalanması ve ekonomik ürünlerin ise daha hızlı parçalanması beklenmektedir. Bunun yanı sıra, tuvalet kağıtlarının üretim aşamasında kullanılan kimyasal maddelerin parçalanmaya etkisi olmaktadır. Örneğin, tuvalet kağıtlarını oluşturan selüloz fiberlerinin hidrofobik kimyasal bağlayıcılarla bağlanması halinde, bu tür kağıtların kanalizasyon sistemlerinde parçalanmaları yavaş olabilmektedir. Buna karşılık, kağıt hamurunun kurutma aşamasında selüloz fiberlerinin birbirine doğal olarak bağlanması halinde, bu tür kağıtların parçalanması daha hızlı şekilde olmaktadır.

Bu çerçevede, tuvalet kağıtlarının yüzey alanı, kalınlık, gramaj, ve özgül hacim gibi özellikleri ile atıksu toplama sistemlerinde parçalanma davranışlarının çalışılması bu

tezin ana temasını oluşturmaktadır. Bu tezin birinci aşamasında, dünyada ve Türkiye’de üretilen tuvalet kağıtlarının yüzey alanı, kalınlıkları, gramajları, ve özgül hacimleri gibi fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, farklı tuvalet kağıtlarıyla parçalanma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Parçalanma deneyleri yapılırken, International Water Services Flushability Group tarafından geliştirilen parçalanma test metodu uygulanmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, ikinci bir parçalanma yöntemi kullanılarak tekrar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların ışığı altında, tuvalet kağıtlarının fiziksel özellikleri ile kanalizasyon sistemlerindeki parçalanma davranışları arasındaki ilişkiler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu tezden elde edilen sonuçlar üretici firmalarla paylaşarak mevcut ürünlerin geliştirilmesi ve yeni ürünlerin tasarımı için geri beslemeler yapılmıştır. Özellikle, insan yoğunluğunun yüksek olduğu alışveriş merkezleri ve öğrenci yurtları gibi yerler için özel tuvalet kağıtlarının üretilmesi için geri-beslemeler sağlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Brown ve diğerleri (1996), kanalizasyon sistemine atılan tuvalet kağıtlarının, atıksu boru hatlarındaki ilerleyişini simüle edebilmek için matematiksel modelleme çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmaların sonuçlarına göre, bu tür katı atıkların tuvaletlerden gelen ilk sifon dalgası ile bina bağlantı borularında belirli bir noktaya kadar ilerledikleri ve daha sonra, yeni su dalgaları ile bir miktar daha yol alarak, sokak boruları gibi su akımının bol olduğu noktalara taşındıkları belirlenmiştir. Bu taşınma davranışına bağlı olarak, atıksularla birlikte hareket eden tuvalet kağıtlarının, su akış hızının aniden düştüğü rögar bacalarında birikme eğiliminde olacakları belirtilmiştir [1].

Ashley ve diğerleri (2004), kanalizasyon sistemlerinde bulunan katı atıkların sistem üzerindeki etkilerini, karakteristik yapılarını ve özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan araştırmaların sonuçlarına göre, sudan daha yoğun olan kum, çakıl ve benzeri katıların atıksu boruları içerisinde hızla çökelerek biriktiği, suyun daha az yoğunluğa sahip katıları ise su ile taşınma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, düzenli aralıklarla yapılacak temizlik ve bakım faaliyetlerinin kanalizasyon hatlarında oluşan birikimleri önlemeye yardımcı olacağı ifade edilmiştir [2].

Yılmaz (2009) tarafından yürütülen araştırmada, kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen tıkanmaların nedenleri ve rehabilitasyon yöntemleri incelenmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, kanalizasyon sistemlerinde rögar tıkanıklığı, kanal tıkanıklığı ve kanal çökmesi gibi problemlerin sıkça yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu tür sorunların çözümü için ise kanalizasyon borularının iç kısmının farklı malzemelerle kaplanması ve yenilenmesi gibi çeşitli rehabilitasyon yöntemleri önerilmiştir [3].

Karadağlı ve meslektaşlarının 2009 yılında gerçekleştirdiği kapsamlı araştırma, klozetler aracılığıyla kanalizasyon sistemlerine bırakılan ürünlerin parçalanma süreçlerine yönelik teorik ve matematiksel modellere dayalı detaylı bir inceleme sunmuştur. Bu detaylı çalışmada, klozetlerden kanalizasyona gönderilen atıkların parçalanma süreçlerinin, bu atıkların maruz kaldığı atıksu içindeki türbülans koşullarıyla ve söz konusu ürünlerin fiziksel dayanıklılık seviyeleriyle doğrudan

ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Araştırmada, su içindeki türbülansın ölçümünde Reynold sayısının temel bir gösterge olarak kullanıldığı ve ürünlerin mukavemet seviyelerinin çeşitli parçalanma deneyleri yoluyla titizlikle belirlendiği vurgulanmıştır. Bu özverili çalışmanın sonuçları, elde edilen matematiksel modelin ve teorik çıkarımların, kanalizasyon sistemlerine atılan belirli ürünlerin davranış biçimlerini başarıyla takip etmek ve anlamak için kullanılabileceğini vurgulanmış ve böylece, bu alanda gelecekte yapılacak araştırmalara ışık tutacak önemli bir zemin hazırlanmıştır [4] [5].

Eren (2012) yılında gerçekleştirdiği çalışmada, atıksu yönetim sistemlerine yönlendirilen tuvalet kağıtlarının parçalanma davranışlarını mercer altına almıştır. Bu bağlamda, tuvalet kağıtlarının, yumuşaklık derecesi, suyu emme kapasitesi ve yırtılmaya karşı gösterdikleri direnç – veya “sağlamlık” - gibi bir dizi parametre doğrultusunda tasarlandığına dikkat çekilmiştir. Çalışmanın ilerleyen safhalarında, deneysel analiz için gerekli olan verileri toplamak üzere anket metodolojisi kullanılarak tuvalet kağıdı kullanım oranları üzerine detaylı bir hesaplama yapılmış ve böylece tuvalet kağıtlarının fiziksel özellikleri hakkında kapsamlı bir karakterizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın bir parçası olarak, su içerisindeki tuvalet kağıtlarının parçalanmaları hususunda derinlemesine bir inceleme yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, gerçek atıksu yönetim sistemlerinden alınan verilerle karşılaştırılarak, çalışmanın son aşamasında kayıt altına alınmıştır. Yapılan bu kapsamlı analizler ve değerlendirmeler sonucunda, atıksu borularının minimum eğim değerlerinin artırılmasının ve tuvalet kağıtlarının fiziksel özelliklerinin daha da geliştirilmesinin, mevcut sorunların hafifletilmesine yönelik etkili çözüm önerileri olarak sunulmuştur [6].

Tang ve Jin'in 2013 yılındaki araştırması, klozetlere atılabilecek biçimde tasarlanmış ıslak mendillerin su ortamlarında ne derece parçalandıklarını incelemiştir. Bu deneysel incelemede, karıştırma işleminin hızı ve uygulandığı süre boyunca ürünlerin parçalanabilirliği üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Özellikle, karıştırma işleminin uzun süreler boyunca ve yüksek bir hızda gerçekleştirilmesi durumunda, ıslak mendillerin parçalanacağı tespit edilmiştir. Ancak, çalışmanın bir sonraki aşamasında, deneylerde kullanılan karıştırma hızı, süresi ve türbülans gibi parametrelerin gerçek atıksu sistemlerindeki bekletme zamanları ve türbülans şartları ile karşılaştırılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Bu karşılaştırmanın yapılması,

laboratuvar koşullarında elde edilen sonuçların gerçek dünya koşullarına ne kadar uyumlu olduğunu anlamak için kritik öneme sahiptir [7].

Shahsavari ve ekibinin 2017 yılında yürüttüğü araştırmada, borularda birikmiş katı maddelerin taşınabilmesi için belli noktalara kontrol vanası (çek-valf) monte etme yöntemi üzerinde çalışılmıştır. Bu vanalar, kapak işlevi görerek boru içinde biriken atıksuların ve içerisindeki katı atıkların taşınmasını mümkün kılmıştır. Araştırmanın bulgularına göre, çek-valfler sayesinde suyla birlikte küçük çaplı partiküller taşınabilmekte, ancak büyük çaplı katı partiküller hızla çökelerek boru içinde yeniden birikim oluşturmaktadır. Bu sorunu çözmek amacıyla, çek-valflerin şehir altyapısında uzaktan kontrol edilebilir bir yapıda olması önerilmiştir. Bu yöntem, borularda birikmiş katı atıkların yönetimi için alternatif bir çözüm olarak ortaya konmuştur [8].

Mitchell ve ekibi (2017), Berlin'deki atıksu borularında birikim yapan maddeleri incelemek için bazı kritik noktalarda detaylı bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda, kağıt havlu ve ıslak mendillerin bu birikimlerin ana sebebi olduğu tespit edilmiştir. Bu bulguların üzerine, Mitchell ve arkadaşları (2019), ıslak mendillerin pompaları tıkama potansiyellerini daha detaylı araştırmak amacıyla bir sonraki çalışmaya geçmişlerdir. Bu kapsamda, laboratuvar ortamında atıksu pompalarının ıslak mendillerle tıkanma testleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar, sahadan toplanan gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan, atıksu pompalarında tıkanıklığa neden olan ıslak mendil türleri belirlenmiştir. Özellikle, "klozete atılabilir" olarak etiketlenmiş ürünlerin pompaları tıkama oranlarının düşük olduğu görülmüştür. Ancak, kanalizasyon sistemine atılan birçok ıslak mendilin "klozete atılamaz" grubundan olduğu ve bu tür atıkların pompalarda ciddi tıkanmalara yol açtığı bildirilmiştir [9] [10].

Vieira (2020), tuvalet kağıtlarına uygulanan desenleme işleminin (gofraj), bu kağıtların fiziksel özelliklerine etkisini araştırmıştır. Araştırmaya göre, gofraj işlemi tuvalet kağıtlarının özgül hacimlerini %150 oranında artırmıştır. Kağıtların özgül hacmindeki artışla birlikte, bu ürünlerin su emme kapasiteleri de artmıştır. Ancak, bu artış oranları kağıtların başlangıçtaki kalınlıklarına bağlı olmuştur. Örneğin, bu çalışmada iki katlı ve kalınlığı 620 μm olan bir kağıda gofraj işlemi uygulandıktan sonra kağıdın özgül hacminin %150 oranında ve su emme kapasitesinin de %60 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, başlangıçtaki kağıt kalınlığı 475 μm

olan bir kağıdın gofraj işleminden sonra özgül hacminin iki kat arttığı, ancak su emme kapasitesinin %20 düzeyinde arttığı gözlemlenmiştir [11].

Durukan ve Karadağlı (2019), çalışmalarında "klozete atılabilir" ve "klozet atılamaz" olarak pazarlanan ıslak mendillerin fiziksel özelliklerini belirleyerek, bu ürünleri tuvalet kağıtlarıyla karşılaştırmışlardır. Islak mendillerin fiziksel yapısı ve içerdikleri lif bileşenleri bakımından, "klozete atılabilir" şeklinde pazarlanan ürünlerin "klozete atılamayan" ıslak mendillere çok benzediği tespit edilmiştir. Bu iki grup ürünün fiziksel özelliklerinin tuvalet kağıtlarına göre daha dirençli olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre, mendillerin içinde bulunan uzun ve sentetik liflerin ilgili ürünlerin parçalanmasını önemli oranda yavaşlattığı belirtilmiştir [12].

Türk (2021) tarafından yürütülen çalışma, kanalizasyon sistemlerindeki tıkanıklıkların kökenlerini araştırmak amacıyla saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların sonuçlarına göre, tıkanma problemlerinin altında yatan sebepler titizlikle belirlenmiştir. Ayrıca, bu problemlerin çözümüne yönelik çeşitli ürünlerin tasarlanması ve bu ürünlerin detaylı açıklamalarının sunulması da çalışmanın önemli bir parçasını oluşturmuştur. Bu şekilde, kanalizasyon sistemlerindeki tıkanıklık problemlerine etkili çözümler bulunması ve uygulanması için değerli bir katkı sağlanmıştır [13].

Harter ve ekibi (2021), ıslak mendillerin yapısal özellikleri (fiber türleri ve kompozisyonları) ile kanalizasyon borularındaki taşınım ve parçalanma özelliklerini detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında, hem endüstriyel tesislerde hem de pilot tesislerde, tuvalete atıldıktan sonra parçalanabilir özellikte üretilen ıslak mendillerin parçalanma testleri yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde, tıkanmalara neden olan ıslak mendillerin genellikle sentetik (plastik fiberler) ve/veya modifiye edilmiş selülozik fiberlerden oluştuğu ortaya çıkmıştır. Buna karşılık, tamamen doğal selülozik fiberlerden yapılan ürünlerin parçalanma kabiliyetinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu tip liflerden üretilen ürünlerin, hem fiziksel olarak hızlı bir şekilde parçalanabileceği hem de biyolojik olarak parçalanabilir olacağı belirtilmiştir. Bu ürünlerin kullanımıyla, kanalizasyon sistemlerinde sıkça görülen sorunların önüne geçilebileceği vurgulanmıştır [14].

Daha önceki araştırmalar, evsel atıksu toplama sistemlerinde biriken katı atıkların türlerini ve bunların sebep olduğu arıza ve işletme problemlerini belirli oranlarda

incelemiştir. Özellikle, kanalizasyon borularında çökelen/biriken katı atıkların, kanalizasyon sistemlerinde su akış hızının aniden değiştiği noktalarda (sokak bacaları gibi) biriktiği ve tıkanmalara neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu tıkanmaların çoğunlukla basınçlı su ile kanal açma araçları kullanılarak giderildiği anlaşılmaktadır. Atıksu toplama hatlarında biriken katıların özellikleri üzerine yapılan çalışmalar, kağıt havlu ve ıslak mendil gibi ürünlerin kanalizasyon sistemlerinde tıkanmalara yol açtığını göstermektedir. Ayrıca, küçük çaplı kum taneciklerinin sediment oluşturduğu veya bu kum taneciklerinin ıslak mendil ve tuvalet kağıdı gibi ürünlerle birleşerek tıkanıklıklara neden olduğu üzerinde durulmuştur.

Yukarıda özetlenen çalışmalar, tuvalet kağıtlarının fiziksel özellikleri ile parçalanma davranışları arasında sınırlı sayıda bilimsel çalışmanın olduğuna işaret etmektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında gerçekleştirilen analizlerin bilimsel literatürde önemli bir boşluğu dolduracağı öngörülmektedir. Benzer şekilde, elde edilen sonuçlar, kanalizasyon sistemleriyle daha uyumlu tuvalet kağıtlarının üretilmesi açısından kıymetli geri beslemeler sağlayacaktır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında, ülkemizde üretilen tuvalet kağıtları hakkında temel bilgiler toplanmış ve tablolar halinde aşağıda sunulmaktadır (Tablo 3.1 ve 3.2). Bu tablolardan anlaşılacağı üzere ülkemizde tuvalet kağıdı üretimi önemli bir hacim ve çeşitlilik arz etmektedir. Üretim hacminin büyüklüğü ve Türkiye'nin jeopolitik konumu nedeniyle, tuvalet kağıdı ihracatı ekonomik açıdan büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizin yanı sıra, Avrupa, Kuzey Amerika, ve Japonya'dan tuvalet kağıtları temin edilmiş ve bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu ürünler arasında, Kuzey Avrupa'da yaygın şekilde kullanılan ve çevresel etkiler açısından belirli hassasiyetlere/ölçütlere uygun şekilde üretimi yapılan tuvalet kağıtları bulunmaktadır. Bu gibi ürünler deneysel çalışmalarda kullanılarak diğer ürünlerle karşılaştırmalar yapılmıştır.

Tablo 3.1. Türkiye'de üretim yapan büyük ölçekli firmalar ve tanınmış markaları sunulmaktadır.

Üretici Firma	Marka*
Aktül/Diversey Kimya San.	Belleza TK
Aktül/Avansas	Avansas Soft
Aktül/Beyaz Güvercin	Beyaz Güvercin TK
Aktül/Aktisoft	Aktisoft TK
Aktül/Confot	Confot TK
Aktül/Queen	Queen TK
Aktül/Blume	Blume TK
Aktül/Pofu	Pofu TK

Tablo 3.1. (Devamı). Türkiye’de üretim yapan büyük ölçekli firmalar ve tanınmış markaları sunulmaktadır.

Aktül Kağıt %100 Selüloz	Premium TK
	Standart TK
	Komili
	Komili Yuvam
	Belinno Deluxe 3 Katlı
	Belinno Standart
	Belinno Professional
	Belinno Economy
Eczacıbaşı TK	Selpak Professional Premium
	Selpak TK
	Selpak Professional Extra Jumbo
	Solo TK
	Silen TK
	Sens TK
	Selpak Super Soft
	Selpak Deluxe Pamuk Katkılı TK
Hayat Kimya	Viva
	Teno ve Teno Ultra TK
	Papia Pure&Soft TK
	Papia pH Uyumlu TK
	Familia Plus
	Familia Plus Maxi Hijyen
	Focus Gold TK
	Focus Ultra TK
	Focus Extra TK
	Focus Extra Jumbo TK
	Focus Extra Point TK
	Focus Optimum TK
	Focus Optimum Point TK
	Focus Optimum Jumbo TK
	Focus XL Point TK
	Nelex TK

(*) Fason üretim yapılan markalar ve firmanın kendi markaları birlikte sunulmaktadır.

Tablo 3.2. Türkiye’de üretim yapan orta ve küçük ölçekli firmalar ve markaları sunulmaktadır.

Üretici Firma	Marka
Bizim Toptan	Vanesa
Opet Petrolcülük/Mavi Beyaz Akaryakıt A.Ş.	Mavi Beyaz
Regent Kimya Kağıt	Birsu
Forsa Kağıt	Fly
KOCAL Kağıt	Brava Optimum TK
	Brava Extra TK
	Brava Ultra TK
Yöntem Kağıt	Only Evo
	Only Home
	Step
Papilion World/Ar Kağıt	Papilion TK 2 Katlı %100 Selüloz
	Papilion TK 3 Katlı %100 Selüloz
	Expert Çift Katlı TK
	Select Smart Çift Katlı TK
	Terra TK
	Lily Premia TK
	Lily TK
	Senso TK
	Pufla TK
	Premia TK
Viking Kağıt %100 Saf Selüloz	Select Nature TK
	Maylo TK
	Sofia
	Ultra Berrak
	Berrak
	Nua
	Polente Extra Soft Endüstriyel
	Polente Extra Soft Eysel
	Polente Ultra Soft
	Espiga Extra Soft TK
Martı Kağıt	Dolce
Üretici Firma	Marka
ERCN Kimya San.	Aysil TK
	Wex TK
	Wex Premium TK
Özdamarlar Wex Kağıt San.	Royale
	Aksoft
	Vizyon TK %100 Selüloz
Katılım A.Ş	Vizyon Trio TK %100 Selüloz
	Sufy TK
	Suden TK
Europap Tezol Kağıt San.	Softy TK
	Mare TK
	Ecco Yeşil Dünya TK

Tablo 3.2. (Devamı). Türkiye’de üretim yapan orta ve küçük ölçekli firmalar ve markaları sunulmaktadır.

Nef Kağıt	Foryu Extra TK
	Foryu Ultra TK
	Clearly Extra TK
	Foryu Premium
Söz Üretim/Flodex	Flodex TK 3 Katlı
	Flodex TK 2 Katlı
Tork/Essity	Tork Çift Rulo TK Premium
	Tork SmartOne® ve Mini TK Dispanser
	Tork Yumuşak Katlamalı TK
Rulopak	Cimri TK
	By Clean Cimri TK
	Rulopak TK (2 KATLI)
	Rulopak TK (3 KATLI)

3.2. Fiziksel Karakterizasyon

Deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere temin edilen ürünlerin nem miktarı (%), yaprak kütlesi (mg), gramaj (gr/m^2), kalınlıkları (μm), yaprak hacmi (mm^3) ve özgül hacimleri (dm^3/kg) aşağıda belirtilen yöntemlere göre belirlenmiştir. Bu yöntemler konuyla ilgili daha önceden yapılan tez çalışmalarında ayrıntılı şekilde ifade edilmiştir [6]. Bu nedenle, burada özet bilgiler şeklinde verilmektedir.

Nem Miktarı Tayini (%): Tuvalet kağıdının nem miktarı belirlenmesi için, bir yaprak tuvalet kağıdının etüve konulmadan önce kütlesi belirlenir. Daha sonra, bu numune 104°C sıcaklıkta ve 24 saat etüvde bekletilerek kurutulur. Etüvden sonra hassas terazi ile kütlesi tekrar belirlenir. Buna göre, bu tartım değerleri ve aşağıdaki formül kullanılarak nem miktarı hesaplanmıştır.

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

Yaprak Kütlesi Tayini (mg/yaprak): Tuvalet kağıdı rulosu açılarak bir yaprak numune alınmıştır. Bu yaprağın kütlesi hassas terazi ile belirlenmiş ve mg/yaprak olarak ifade edilmiştir. Fiziksel karakterizasyon işlemlerinde kullanılan numuneler paketlerinin açılmasının hemen ardından ilgili işlemde kullanılmıştır. Öte yandan, fiziksel parçalanma deneylerinde kullanılan numuneler etüvde kurutulduktan sonra yaprak ağırlık ölçümleri yapılmıştır.

Yüzey Alanı Tayini (mm^2): Bir yaprak tuvalet kağıdının en ve boy uzunlukları mm cinsinden ölçülerek yüzey alanı (en x boy) şeklinde hesaplanmıştır.

Gramaj (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 en temel parametrelerdendir ve değeri aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanır.

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

Kalınlık Ölçümü (μm): Tuvalet kağıtlarının kalınlık ölçümleri Leica VMHT MOT (Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Almanya) mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu mikroskobun ölçüm alt limiti 30 μm olup, ölçümlerdeki adım aralığı 1 μm'dir. Yapılan ön incelemelerde, tuvalet kağıtlarının yan kesitleri incelenmiştir. Buna göre, numunelerin 2 veya 3 katmanlı oldukları anlaşılmıştır. Ürünlerin kat sayısı ve kalınlıkları mikroskop altında yapılan incelemelerle belirlenmiştir. Bu katmanlar birbirinden hassas bir şekilde ayrılmıştır ve her bir katmanın kalınlığının ayrı ayrı ölçülmüştür. Konuyla ilgili ayrıntılı bilgiler daha önce yapılan tez çalışmalarında sunulmaktadır [6].

Yaprak Hacmi Tayini (mm³): Bir yaprak tuvalet kağıdın mm³ cinsinden hacmi (yüzey alanı x kalınlık) şeklinde hesaplanmıştır.

Özgül Hacim Tayini (dm³/kg): Tuvalet kağıdının 1 kg'ının dm³ cinsinden kapladığı hacimdir. Bu özellik kağıdın yapısının yoğun veya boşluklu olduğunu göstermektedir. Özgül hacmi yüksek olan kağıtlar boşluklu yapıya sahipken, özgül hacmi düşük olan kağıtlar yoğun bir yapıya sahiptir. Bu parametre bir yaprak kağıdın hacminin aynı yaprağın kütlesine bölünmesiyle belirlenir ve kısaca aşağıdaki gibi hesaplanır:

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

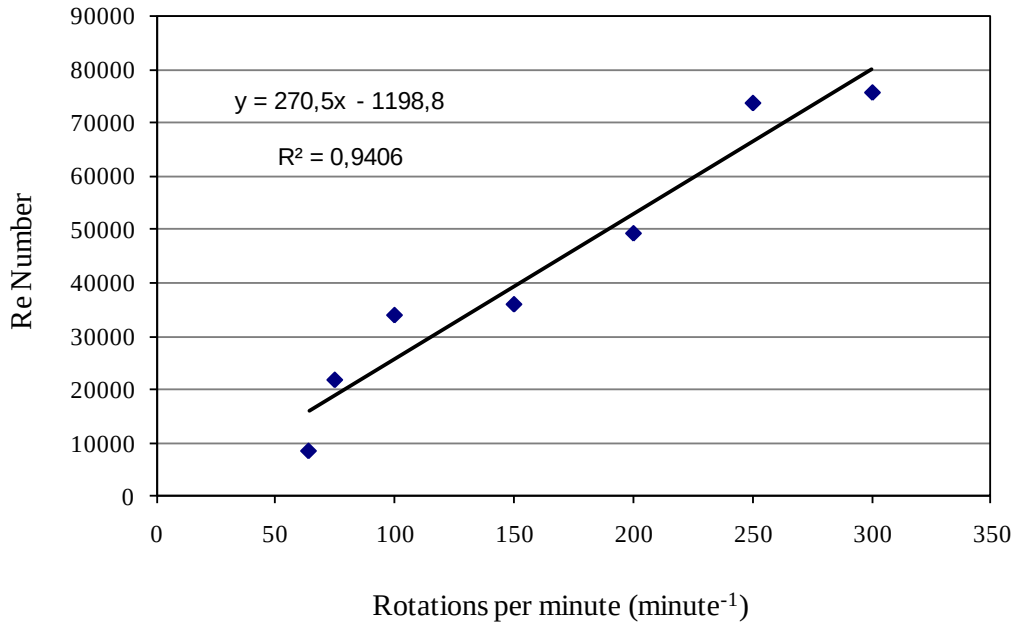
3.3. Fiziksel Parçalanma Deneyleri

Fiziksel parçalanma deneyleri iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Birinci yöntemde, 1 yaprak numune ve 1 L çeşme suyu 2.8 litrelik Fernbach erlenine koyulmuş ve bu erlen orbital çalkalayıcıda 100 devir/dakika hızında karıştırılmıştır. Bu işlem tekrar edilmek suretiyle önemli görülen zaman noktalarında (5,10 dakika gibi) çalkalayıcı durdurulmuş ve erlen içindeki karışım bir cam tepsiye dökülerek boyut analizi yapılmıştır. Bu sistem aşağıda Şekil 3.1'de gösterilmektedir.

Şekil 3.1’de gösterilen orbital çalkalayıcının farklı dönüş hızlarında oluşturduğu türbülans değerleri daha önce yapılan çalışmalarla tespit edilmiş ve bilimsel makale olarak yayınlanmıştır [4,5]. Buna göre, orbital çalkalayıcının dönüş hızı ve bunların karşılığı olan Reynolds sayıları aşağıda Şekil 3.2 ‘de sunulmaktadır. Örneğin, orbital karıştırıcının 100 devir dakika hızında dönmesi sonucunda oluşan Reynolds sayısı 25900 değerine karşılık gelmektedir. Buna karşılık, kanalizasyon sistemlerinde görülen türbülans değerleri su seviyesine ve akış hızına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bir karşılaştırma yapabilmek için, binaların bağlantı hatlarındaki Reynolds sayılarının 5000 - 15000 civarında olduğu, ve küçük çaplı (20 – 30 cm) kanalizasyon borularındaki Reynolds değerinin 10000 - 20000 civarında olacağı hesaplanarak tespit edilmiştir [6].



Şekil 3.1. Fiziksel parçalanma deneylerinde kullanılan 2.8 L Fernbach erleni ve orbital çalkalayıcı.

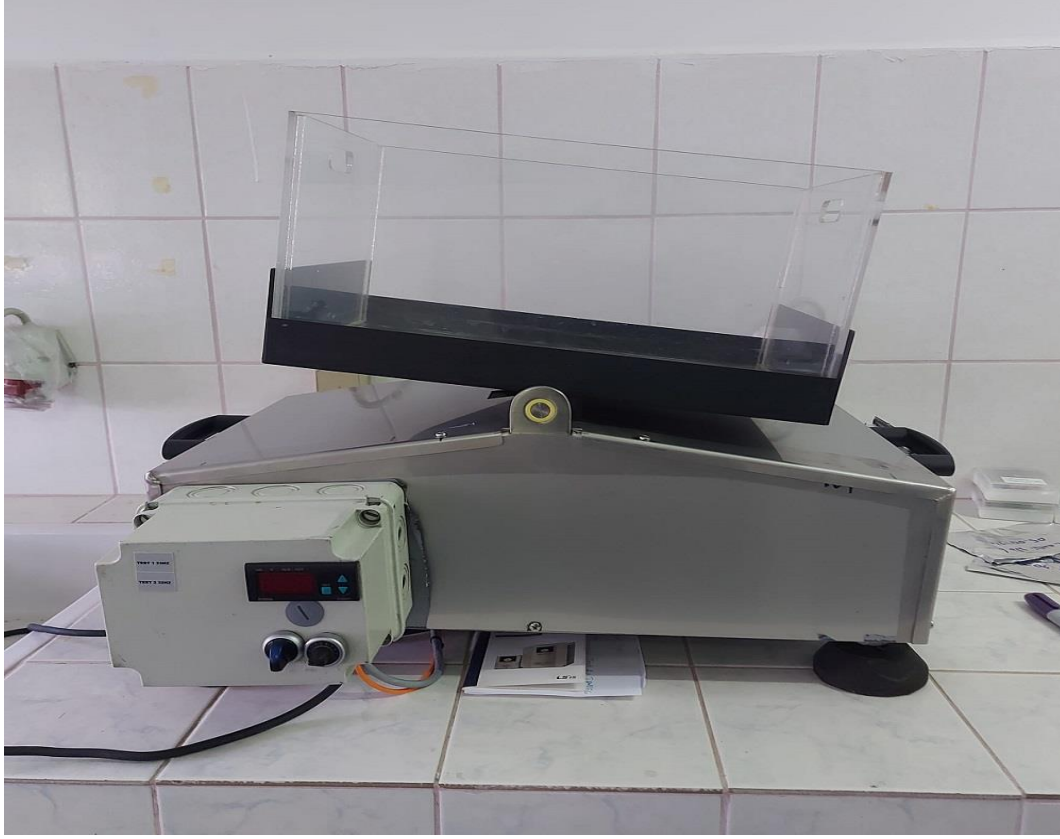


Şekil 3.2. Orbital çalkalayıcıda karıştırılan 1 L su dolu Fernbach erlenin farklı karıştırma hızlarında oluşturduğu türbülansı tanımlayan ve Reynold's sayısı olarak ifade edilen değerler.

Fiziksel parçalanma deneylerinde ikinci yöntem olarak Slosh-box isimli cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz aşağıda Şekil 3.3'de sunulmaktadır. Slosh-box isimli cihaz klozete atılabilir ürünlerin test edilmesi için ilk olarak Kimberly-Clark isimli firma tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra, bu cihaz kullanılarak, International Nonwovens and Disposables Association (INDA) tarafından tüm ıslak mendil üreticilerinin kullanabileceği bir deney yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle göre, bu cihaz içerisine 1 yaprak numune ve 2 L su koyularak, 26 devir/dakika karıştırma hızında 1 saat çalkalanmaktadır. Bu deney sonucunda numunenin başlangıçtaki kuru ağırlığının %60 oranındaki kısmının deney sonunda 12.5 mm'den daha küçük parçacıklara dönüşmesi beklenmektedir [15]. Ancak, INDA tarafından geliştirilen yöntemin kanalizasyon sistemlerinde görülen su akış ve türbülans koşullarını tam olarak temsil edemediği iddia edilmektedir. Bu nedenle, bu yöntemle alternatif olarak, uluslararası kanalizasyon idarelerinin birlikte oluşturduğu International Water Services Flushability Group (IWSFG) tarafından bir yöntem geliştirilmiştir. Buna göre, Slosh-box cihazına bir yaprak numune ve 4 L çeşme suyu koyularak, bu karışım 18 devir/dakika hızında 30 dakika boyunca karıştırılır. Bu deney sonucunda, numunenin kuru kütlesinin %80 oranındaki kısmının 25 mm boyutundan daha küçük olması beklenir. Bu koşulu sağlayan ürünler klozete atılabilir (flushable) olarak kabul edilmektedir [16]. IWSFG

tarafından geliştirilen yöntemin kanalizasyon sistemlerini daha temsil edici olması nedeniyle, bu çalışmada ilgili yöntem tercih edilmiştir.

Slosh-box'daki karışma sırasında suda oluşan türbülans değeri hakkında net bilgiler literatürde bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, Slosh-box'ın farklı çalışma koşullarında oluşturduğu türbülans değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.3. Fiziksel parçalanma deneylerini gerçekleştirmek için kullanılan slosh-box isimli cihaz sunulmaktadır.

3.4. Parçacıkların Boyut Analizleri

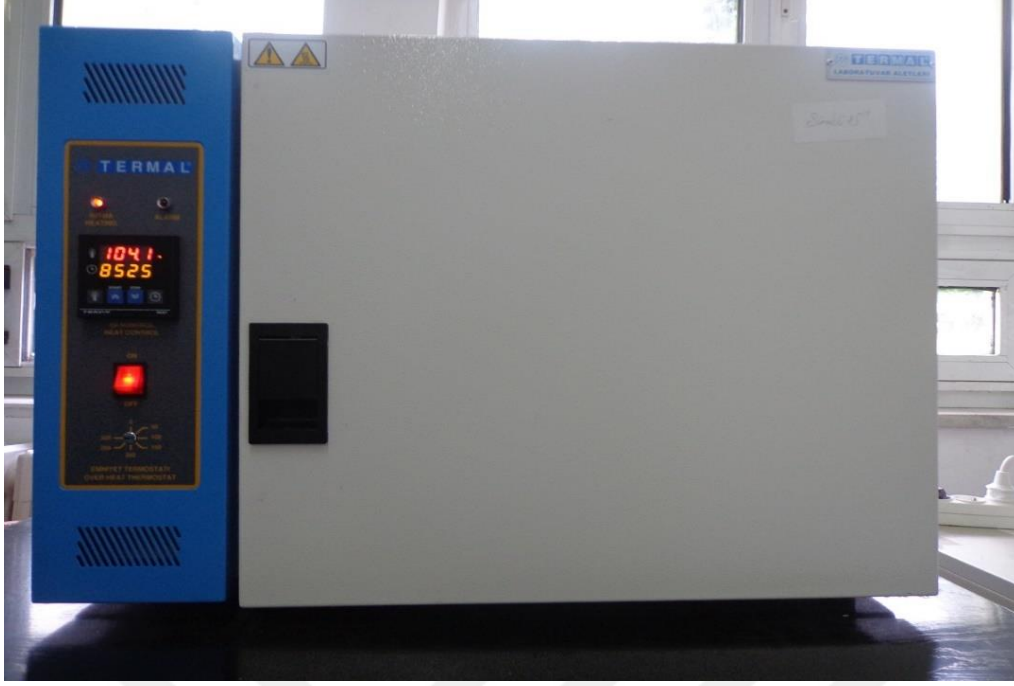
Fiziksel parçalanma davranışının belirlenmesi sırasında parçacıkların boyut aralıkları aşağıda sunulan yöntemle göre gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan cam tepsi vb. öğeler aşağıda Şekil 3.4'de sunulmaktadır. Kısaca, cam tepsilerde biriktirilen parçacıklar vakumlu filtrasyon işlemiyle filtre kağıtlarında tutulmuştur. Daha sonra, her bir filtre kağıdı etüvde 104 C sıcaklıkta ve 24 saat süreyle kurutulmuştur. Daha sonra, hassas terazi kullanılarak filtre kağıtlarında bulunan parçacık kütleleri belirlenmiştir. Bu işlemler için kullanılan cihazlar aşağıda sunulmaktadır (Şekil 3.4 ve 3.6).



Şekil 3.4. Fiziksel parçalanma sırasında oluşan parçacıkların boyut analizlerinin yapılabilmesi için kullanılan yöntem.



Şekil 3.5. Parçalanma sırasında oluşan katı parçacıkların ayrıştırılması için vakumlu filtrasyon sistemi.



Şekil 3.6. Katı madde tayininde kullanılan etüv.

3.5. Slosh-box Yöntemine Göre Parçalanmanın Değerlendirilmesi

IWSFG'nin slosh-box yöntemine göre, 1 yaprak tuvalet kağıdı ve 4 L su birlikte 18 devir/dakika hızında 30 dakika karıştırılmaktadır. Bu test sonucunda ortaya çıkan ve içerisinde tuvalet kağıdı parçacıkları bulunan su, 25 mm gözenek çapına sahip bir elekten süzölmektedir. Daha sonra, ilgili elek 1 dakika süreyle debisi 4 L/dakika olan bir duş kafası ile yıkanır. Bu yıkama işlemi sırasında duş kafası elekten 10 cm yukarıda tutulmalıdır. Bu işlem sonucunda elekte kalan parçacıklar cımbız vb. bir alet ile toplanarak filtre kağıdına aktarılır. Bu filtre kağıdı kurutularak üzerinde bulunan kağıt parçacıklarının kuru kütlesi belirlenir. Filtre kağıdında bulunan kuru madde miktarı ile tuvalet kağıdının başlangıçtaki kuru kütlesi karşılaştırılır. Bu karşılaştırmaya göre, başlangıç kütlesinin %80'ni veya daha fazlası 25-mm'lik elekten geçen ürünler klozete atılabilir (flushable) olarak tanımlanır. Bu sistem aşağıda Şekil 3.7 ve 3.8'de sunulmaktadır.



Şekil 3.7. Slosh-box yönteminde kullanılan 25 mm gözenek çaplı ve yuvarlak delikli elekler ile bu eleğin debisi 4/L dakika olan bir duş kafası ile yıkanması sunulmaktadır.



Şekil 3.8. Bir önceki resimde sunulan işlemten sonra elekte kalan parçacıkların cımbız ile toplanması gösterilmektedir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Tuvalet Kağıdı Numuneleri

Deneysel çalışmalarda değerlendirilen tuvalet kağıtları Avrupa, Kuzey Amerika ve Türkiye’de yaygın şekilde kullanılan ve bilinen markalardan seçilmiştir. Bunun yanı sıra, fazla tanınmayan ancak farklı özellikleri olan tuvalet kağıtlarında çalışmaya dahil edilmiştir. Bu çerçevede, ilgili numunelerin marka ve pazar bölgeleri aşağıdaki Tablo 4.1.’de sunulmaktadır.

Tablo 4.1. Araştırmaya konu olan tuvalet kağıdı numunelerinin marka ve pazar bölgeleri sunulmaktadır.

Numune No.	Tuvalet Kağıdı Markası	Pazarı/ Bölgesi
1	Lotus	Avrupa
2	Lambi	Avrupa
3	Cottonelle	Kuzey Amerika
4	Walmart Bothroom Tissue	Kuzey Amerika
5	Charmin Ultra Strong	Kuzey Amerika
6	Selpak	Türkiye, Turki Cumhuriyetler ve Ortadoğu
7	Solo	Türkiye, Turki Cumhuriyetler ve Ortadoğu
8	Renova Black	Avrupa (*)

(*) Bu ürün yaygın kullanıma sahip değildir, ancak farklı özelliklere sahip olduğu için bu çalışmada değerlendirilmiştir.

Tablo 4.1.’de belirtilen Lotus ve Lambi markaları Kuzey Avrupa (Finlandiya, İsveç, Norveç, İngiltere vb.) bölgelerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu ürünler, İskandinav bölgesinin geliştirmiş olduğu Nordic Ecolabel standartlarına uygun olarak üretilmektedir. Bu standarda göre, tuvalet kağıtlarının üretimi sırasında kağıt hamurundaki fiberlerin birbirine bağlanması için doğal ve organik kimyasalların (nişasta gibi) kullanılması, ve petrokimya ürünlerinin kullanılmaması istenmektedir. Bu nedenle, bu ürünler çevresel etkiler açısından “çevreci” (eco-friendly) ürünleri

temsil etmektedir. Lotus ve Lambi markalarının Nordic Ecolabel sertifika numaraları sırasıyla 3005 0003 ve 3005 0006 şeklindedir (bkz. <https://www.svanen.se/en/>).

Tablo 4.1.'de sunulan Cottonelle, Walmart Bathroom Tissue, ve Charmin Ultra Strong markalı ürünler Kuzey Amerika bölgesinde yaygın şekilde tüketilmektedir. Kimberly-Clark isimli global üreticinin lider markası olan Cottonelle, yumuşaklık ve su emicilik gibi özellikleri bakımından kaliteli bir ürün olarak pazarlanmaktadır. Walmart Bathroom Tissue, Amerika Birleşik Devletleri'nde çok yaygın olan Walmart mağazalar zincirinin sunduğu ekonomik tuvalet kağıdıdır. Bu ürün, ince yapısı ve suyla teması halinde hızlı erimesi nedeniyle ekonomik ürün gruplarını temsil etmektedir. Charmin Ultra Strong markası Procter & Gamble isimli global üreticinin Kuzey Amerika pazarındaki lider ürünüdür. Ürünün yaygın kullanımının yanı sıra, ürünün isminde “ultra strong” (çok güçlü) kelimeleri nedeniyle, bu çalışma kapsamında araştırılması uygun bulunmuştur. Kuzey Amerika'dan elde edilen ürünlerin bileşimleri ticari sır olması nedeniyle paylaşılmamaktadır. Yaptığımız araştırmalara göre, Kuzey Amerika'dan gelen numunelerin Ecolabel sertifikaları bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra, üretimleri sırasında düşük miktarlarda petrokimyasal tutkal vb. maddelerin kullanılması oldukça muhtemeldir.

Yine Tablo 4.1.'de sunulan ürünler arasında Solo ve Selpak markaları Türkiye'de üretilmekte ve Türkiye'nin yanı sıra, Turki Cumhuriyetler ile Ortadoğu'da birçok ülkede müşterilerin tüketimine sunulmaktadır. Bu çerçevede, bu ürünler bölgemizde en çok bilinen ürünler olarak çalışmaya dahil edilmiştir. Bu ürünlerin imalatı sırasında petrokimyasal tutucu kimyasalların kullanıldığı bilinmektedir. Bu bilgiler üretici firma ile yapılan kişisel görüşmelerle elde edilmiştir. Ancak, bu kimyasalların tür ve miktarları hakkındaki bilgiler ticari sırlar olduğundan erişime açık değildir.

Son olarak, Tablo 4.1.'de belirtilen Renova Black markalı ürün siyah renkli ve kalın bir tuvalet kağıdıdır. Bu ürün siyah olmakla beraber, sarı, kırmızı, turuncu, mavi gibi birçok renkte üretilmektedir. İlgili ürünler, İspanya ve Portekiz'de imal edilerek başta Avrupa Birliği olmak üzere tüm dünya genelinde pazarlanmaktadır. Dünya genelinde bilinen standart beyaz renkli tuvalet kağıtlarına göre farklı renkler ve özellikler taşıması nedeniyle bu ürünler bu çalışmada değerlendirmeye alınmıştır.

4.2. Tuvalet Kağıdı Numunelerinin Fiziksel Özellikleri

Bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan tuvalet kağıtlarının fiziksel özellikleri aşağıdaki tablolarda sunulmaktadır. Bu bilgilerin sunumu sırasında yaprak kütlelerinin ölçüm değerleri büyük değerden küçük değere doğru sıralama yapılarak arz edilmiştir. Diğer tüm özellikler, ilk tabloda verilen bu sıraya göre verilmektedir.

Tablo 4.2. Numunelerin olağan (ambalaj içerisindeki) ve kuru durumlarındaki yaprak kütleleri ve nem oranları sunulmaktadır.

Numune ismi	Yaprak Kütle (*) (mg)	Yaprak kütle (**) (kuru) (mg)	Nem (%)
TK-1 (Selpak)	720	676	6
TK-2 (Lambi)	640	600	6
TK-3 (Lotus)	620	580	6.5
TK-4 (Renova-black)	550	520	5.5
TK-5 (Cottonelle)	487	466	4.3
TK-6 (Solo)	465	437	6
TK-7 (Charmin Ultra Strong)	440	420	4.5
TK-8 (Walmart)	380	360	5.3

(*) Normal durumdaki ve ambalajdan yeni çıkarılmış ürünün yaprak kütlelerini göstermektedir.

(**) Numunenin 104 C'de ve 24 saat süreyle kurutulmasının ardından elde edilen yaprak kütlelerini göstermektedir.

Tablo 4.3. Numunelerin yapraklarını oluşturan mikroskopik katman sayıları, her bir katmanın kalınlığı ve toplam yaprak kalınlığı sunulmaktadır.

Numune ismi	Yaprak Katman Sayısı (*) (adet)	Katman kalınlığı (μm)	Yaprak kalınlığı (μm)
TK-1	3	68 $\pm$ 3	200
TK-2	3	55 $\pm$ 3	165
TK-3	3	58 $\pm$ 3	175
TK-4	3	70 $\pm$ 4	210
TK-5	2	65 $\pm$ 1	130
TK-6	2	87 $\pm$ 3	175
TK-7	2	73 $\pm$ 2	130
TK-8	2	38 $\pm$ 2	76

Tablo 4.4. Numunelerin bir yaprağının yüzey alanı (en x boy) ve yaprak hacimleri sunulmaktadır.

Numune ismi	Yaprak yüzey alanı (en x boy) (mm ²)	Yaprak hacmi (Yüzey alanı x kalınlık) (mm ³)
TK-1	100x125 = 12500	12500x0.2 = 2500
TK-2	105x125 = 13125	13125x0.165 = 2165
TK-3	100x125 = 12500	12500x0.175 = 2187.5
TK-4	95x115 = 10925	10925 x 0.21 = 2294
TK-5	110x100 = 11100	11100x0.13 = 1443
TK-6	100x120 = 12000	12000 x 0.175 = 2100
TK-7	110x100 = 11100	11100x0.13 = 1443
TK-8	110x100 = 11100	11100x0.076 = 843.6

Tablo 4.5. Numunelerin gramaj ve özgül hacim değerleri sunulmaktadır.

Numune ismi	Gramaj (Yaprak kütlesi / Yaprak yüzey alanı) (g/m ²)	Özgül hacim (Yaprak hacmi / Yaprak kütlesi) (dm ³ /kg)
TK-1	(720/12500) x (10 ³) = 57.6	(2500/720) = 3.5
TK-2	(640/13125) x (10 ³) = 48	(2165/640) = 3.4
TK-3	(620/12500) x (10 ³) = 50	(2187.5/620) = 3.5
TK-4	(550/10925) x (10 ³) = 50	(2294/550) = 4.2
TK-5	(487/11100) x (10 ³) = 44	(1443/487) = 3
TK-6	(465/12000) x (10 ³) = 39	(2100/465) = 4.5
TK-7	(440/11100) x (10 ³) = 40	(1443/440) = 3.3
TK-8	(380/11100) x (10 ³) = 34	(843.6/380) = 2.2

Yukarıda sunulan numunelerin, dünyadaki tuvalet kağıtlarını büyük oranda temsil edici olup olmadıklarını teyit etmek gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, daha önceden yapılmış çalışmaların tuvalet kağıtları için bildirdikleri değer aralıkları incelenmiştir. Örneğin, Eren ve Karadağlı (2012) dünya genelinden temin ettikleri 27 farklı tuvalet kağıdının fiziksel özellikleri tespit etmiştir [17]. Bu çalışmada bildirilen

fiziksel özelliklerin değerleri şu şekildedir: Yaprak kütleleri 350 – 720 mg/yaprak, yaprak kalınlıkları 75 – 250 μm , yaprak hacimleri için 800 - 3000 mm^3 , gramajları 33-57 g/m^2 ve özgül hacimleri 2.5 – 4.7 dm^3/kg şeklindedir. Bu değerleri dikkate alarak, seçilen numuneler için elde edilen aralıklar, yaprak kütleleri 380 – 720 mg/yaprak, yaprak kalınlıkları 76 – 210 μm , yaprak hacimleri 843 - 2500 mm^3 , gramajlar 34 -57 g/m^2 , ve özgül hacimleri 2.2 - 4.5 dm^3/kg şeklindedir. Bu karşılaştırmaya göre, seçilen numunelerin fiziksel özellikleri bakımından temsil edici nitelikte olduğu anlaşılmaktadır.

Bu bilgilerin ışığı altında, seçilen numunelerle fiziksel parçalanma deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar ile ilgili numunelerin fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çerçevede, tezin bir sonra ki bölümünde parçalanma deneylerinden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. İlerleyen bölümde ise, parçalanma oranları ile fiziksel özellikler arasındaki ilişkiler irdelenmektedir.

4.3. Tuvalet Kağıdı Numunelerinin Sularda Parçalanma Deneyleri

Sularda parçalanma deneyleri, Materyal ve Metot (Bölüm 3.3.) kısmında sunulan yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Kısaca, 1 L su ve 1 yaprak numune 2.8 L'lik erlen içerisine yerleştirilmiş ve bu karışımdan toplam 3 adet hazırlanmıştır. İlgili erlenler orbital çalkalayıcı sabitlenerek 100 devir/dakika hızında karıştırılmıştır. Orbital çalkalayıcı toplam 3 adet erleni çalkayabilmektedir. Numunelerin parçalanma oranlarını izleyebilmek için karıştırıcı 10., 20., ve 30. Dakikalarda durdurularak, erlenlerin bir tanesi çalkalayıcıdan alınmıştır. Bu erlenin içindeki karışım cam tepsie boşaltılarak, karışım içindeki kağıt parçacıkları 25 mm'den büyük veya 25 mm'den daha küçük parçacıklar şeklinde ayrıştırılmıştır. İlgili parçacıkların kütleleri, bu parçacıkların filtrasyon işlemiyle filtre kağıtlarında tutulması ve bu filtrelerin 104 C'de 24 saat kurutulmasıyla tespit edilmiştir. Bu çerçevede, 30 dakikalık deney sonucunda elde edilen bulgular Tablo 4.6'da sunulmaktadır.

Tablo 4.6. Tuvalet kağıtları numuneleri ile yapılan parçalanma deneylerinin sonuçları

Numune İsmi	DÖKK ^(*) (mg)	DS<25 ^(**) (mg)	DS>25 ^(§) (mg)	DSTK ^(¥) (mg)	Hata Payı ^(Y) (%)
TK-1	684	607	58	665	2.8
TK-2	456	450	0	450	1.3
TK-3	600	565	0	565	5.8
TK-4	580	560	8	568	2
TK-5	420	373	36	410	2.3
TK-6	408	390	0	390	4.4
TK-7	533	328.5	179.5	508	4.7
TK-8	435	421	0	421	3.2

(*) DÖKK: 1 yaprak numunenin deney başlamadan önceki kuru kütlesi

(**) DS<25: Deney sonunda oluşan ve 25 mm'den daha küçük parçacıkların toplam kuru kütlesi

(§) DS>25: Deney sonunda 25 mm'den büyük boyutlu parçacıkların toplam kuru kütlesi

(¥) DSTK: Deney sonunda oluşan tüm parçacıkların toplam kuru kütlesi

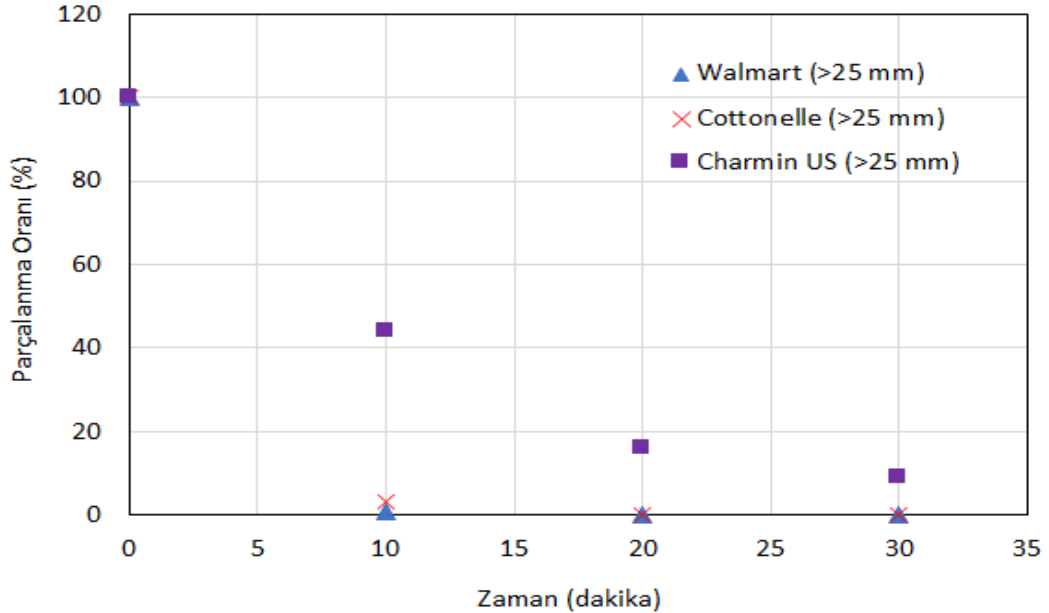
(Y) Hata payı: Numunenin deneyden önceki kuru kütlesi ile deney sonunda oluşan tüm parçacıkların toplam kuru kütlelerinin karşılaştırılması sonucu oluşan hata payıdır. Örneğin, Selpak için bu değer $((684-665) / 684) \times 100 = 2.8\%$ şeklinde hesaplanmıştır.

Tablo 4.6'da sunulan bilgiler deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçları özetlemektedir. Bu çalışmalara benzer şekilde deneysel çalışmalar tekrarlanarak, numunelerin parçalanma davranışları hakkında bilgiler toplanmıştır. Bu kapsamda, numunelerin parçalanmaları 10., 20., ve 30. Dakikalarda Tablo 4.6'dekine benzer şekilde tespit edilmiştir. Örneğin, parçalanma deneyi başlatıldıktan 10 dakika sonra orbital çalkalayıcı durdurulmuş ve bir erlen cihazdan alınmıştır. Bu erlenin içeriği bir cam tepsiye boşaltılarak parçacık boyutları 25 mm'den büyük parçacıklar, veya 25 mm'den küçük parçacıklar şeklinde ayrıştırılmıştır. Bu iki kategorideki parçacıkların kütleleri filtrasyon ve kurutma işlemi gerçekleştirilerek hesaplanmıştır.

Parçalanma deneylerinden elde edilen sonuçları sunmak için, her bir kategorideki parçacıkların kuru kütleleri ile deney başlamadan önce numunenin kuru yaprak kütlesi ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayla parçalanma oranları, ana numunenin belirli bir yüzdesi şeklinde ifade edilmiştir. Bu şekilde, tüm numuneler için ortak bir sunum platformu oluşturulmuş ve sonuçların anlaşılması daha kolay hale getirilmiştir. Örneğin, Walmart Bathroom Tissue isimli numunenin yaprak kütlesi 400 – 410 mg civarındayken, Selpak numunesinin yaprak ağırlığı 720 mg civarındadır. Bu iki

numunenin parçalanma davranışının karşılaştırılabilmesi için ilgili numunelerin parçalanma deneyi sırasında oluşturdukları 25 mm'den küçük parçacıkların kuru kütleleri tespit edilmiştir. Daha sonra, bu miktarlar kullanılan yaprağın kütlesine oranlanarak yüzdelik parçalanma oranı şeklinde ifade edilmiştir. Bu şekilde elde edilen sonuçlar aşağıda Şekil 4.1, 4.2 ve 4.4'de sunulmaktadır. Şekil 4.1'de Kuzey Amerika'dan tedarik edilen Cottonelle, Walmart ve Charmin Ultra Strong numunelerinin parçalanma davranışları gösterilmektedir. Şekil 4.2'de Avrupa'dan temin edilen numunelerin deneysel sonuçları, ve Şekil 4.4'de Türkiye'de üretilen Selpak ve Solo markalı ürünlerin parçalanma davranışları karşılaştırılmıştır.

Deneysel sonuçlarla ilgili yorumlar yapılırken “hızlı” parçalanma veya “yavaş” parçalanma gibi terimler kullanılmıştır. Hızlı parçalanma terimi, kısa bir sürede ve büyük oranda parçalanarak 25 mm'den daha küçük parçacıklara dönüşen (örneğin, 10 dakikada %90 parçalanma oranı gibi) numuneleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Buna karşılık, yavaş parçalanma terimi ise, deneysel olarak eşdeğer bir sürede ve düşük oranlarda (örneğin, 10 dakikada %35-50 parçalanma oranı gibi) 25 mm'den daha küçük parçacıklara dönüşen numuneleri tanımlamak için kullanılmaktadır.



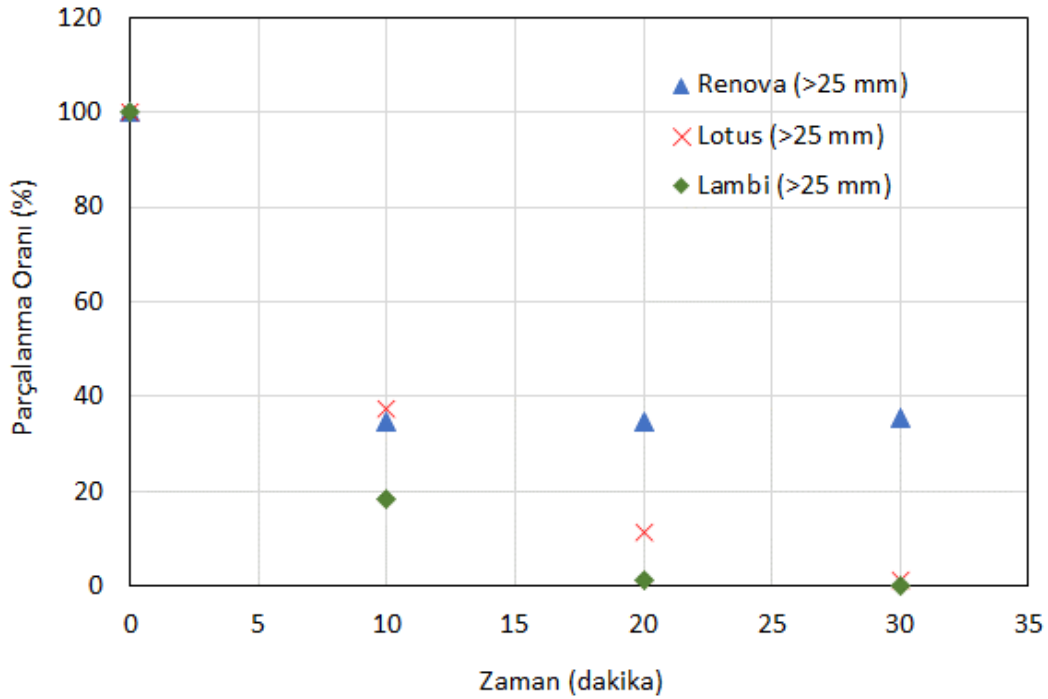
Şekil 4.1. Kuzey Amerika bölgesinden temin edilen farklı tuvalet kağıtlarının zamana bağlı parçalanma oranları, ilgili numunenin bir yaprağının kuru kütlesinin yüzdesi şeklinde sunulmaktadır. Sunulan sonuçlar 25 mm'den büyük parçacıkların kütlesini göstermektedir.

Şekil 4.1'de verilen sonuçlara göre, Kuzey Amerika'dan temin edilen numunelerden iki tanesinin (Walmart ve Cottonelle) deneyin başlangıcından 10 dakika sonra çok

büyük oranda (>%95) 25 mm'den daha küçük parçacıklara dönüşmektedir. Bir başka deyişle, deneyin başlangıcından 10 dakika sonra 25 mm'den daha büyük parçacıklar, deneyde kullanılan yaprağın kütlesinin %3-5 civarındaki bir kısmını oluşturmaktadır. Bu durumda, deneyde kullanılan yaprağın kuru kütlesinin yaklaşık %95-97'lik kısmı deneyin 10. dakikasında küçük parçacıklara dönüşmüştür. Bu durumda bu numune hızlı şekilde parçalanmıştır.

Buna karşılık, Charmin Ultra Strong markasının biraz daha yavaş parçalandığı gözlemlenmektedir. Kısaca, bu ürün deney başlangıcından 10 dakika sonra %40 civarında, 20 dakika sonra %80 oranında, ve 30 dakika sonra %90 oranında parçalanmış ve 25 mm'den daha küçük parçacıklara dönüşmüştür. Bu sonuçlara göre, Charmin Ultra Strong markalı ürünün diğerlerine göre daha güçlü imal edildiği anlaşılmaktadır.

Benzer şekilde, Avrupa'dan temin edilen numunelere ait deneysel sonuçlar aşağıdaki Şekil 4.2'de sunulmaktadır.

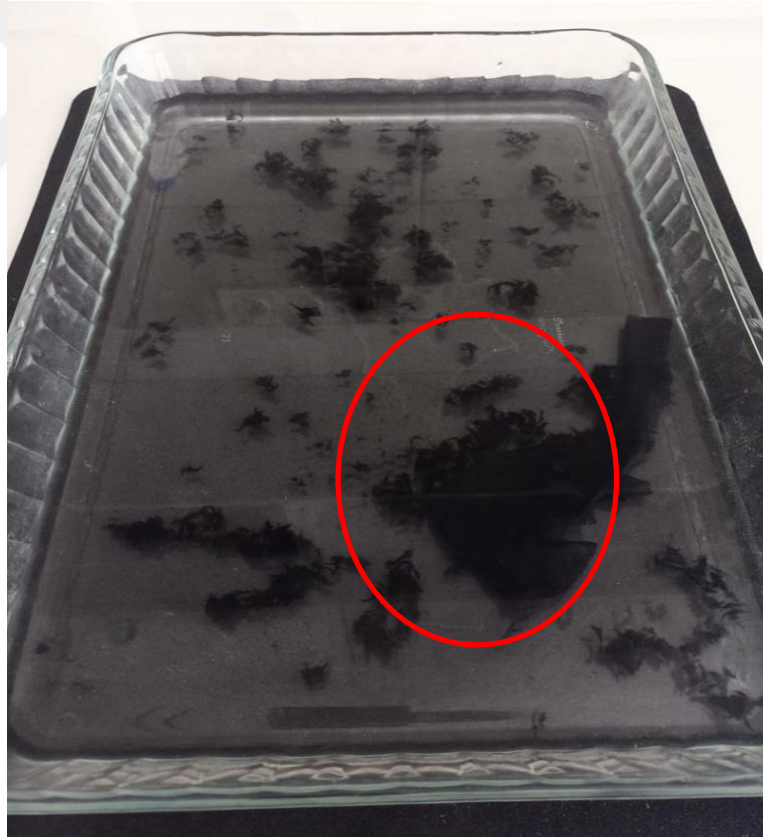


Şekil 4.2. Avrupa bölgesinden temin edilen farklı tuvalet kağıtlarının zamana bağlı parçalanma oranları, ilgili numunenin bir yaprağının kuru kütlesinin yüzdesi şeklinde sunulmaktadır. Sunulan sonuçlar 25 mm'den büyük parçacıkların kütlesini göstermektedir.

Şekil 4.2'de sunulan sonuçlara göre, Kuzey Avrupa bölgesinde üretilen ve Nordic Ecolabel sertifikasına sahip Lotus ve Lambi markalı ürünler hızlı şekilde

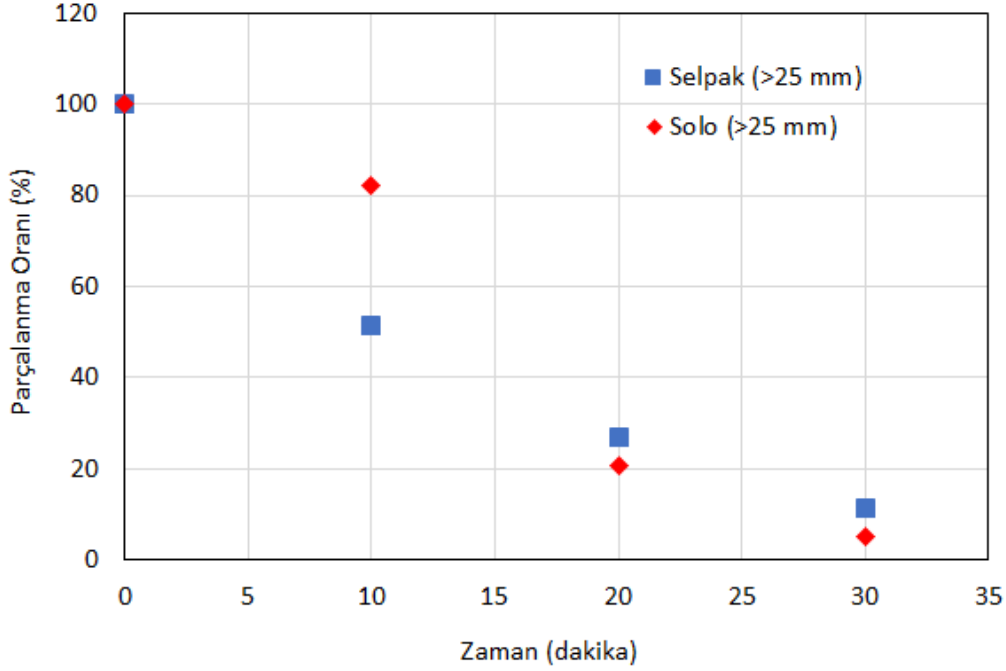
parçalanmaktadır. Örneğin, deney başlagıcından 10 dakika sonra Lotus markalı ürün %60 civarında ve Lambi markalı ürün %80 civarında parçalanarak 25 mm'den daha küçük parçacıklara dönüşmüştür. Bu deneyin 20. dakikasında, ilgili ürünler %90 (Lotus) ve %100 (Lambi) oranlarında parçalanmıştır. Nordic Ecolabel sertifikasına sahip bu iki ürünün ve benzeri ürünlerin imalatı sırasında fiberlerinin bağlanması için doğal bağlayıcı kimyasallar (nişasta gibi) kullanılmaktadır. Bir başka açıdan, bu ürünlerin imalatında hidroforik petrokimyasal bağlayıcılar kullanılmamaktadır. Bu nedenle, bu kağıtların parçalanması hızlı şekilde gerçekleşmektedir.

Öte yandan, Renova markalı ürün, deney başlagıcından 10 dakika sonra %65 oranında parçalanmış, ve bu oran deneyin geriye kalan zaman zarfında korunmuştur. Yani, bu ürünün parçalanma oranı deney boyunca maksimum %65 düzeyinde kalmıştır. Bu deneyin 30. dakikasında oluşan parçacıkların genel dağılımı aşağıdaki Şekil 4.3'de sunulmaktadır.



Şekil 4.3. Renova markalı ürün ile gerçekleştirilen 30 dakikalık parçalanma deneyi sonunda oluşan parçacık dağılımı sunulmaktadır. Kırmızı çember içerisinde görülen parça yekpare ve 25 mm'den daha büyük durumdadır.

Yukarıdaki bilgilere paralel olarak, Şekil 4.4’de Türkiye’de üretilen ve Ortadoğu bölgesinde pazarlanan tuvalet kağıdı numunelerinin parçalanma davranışları sunulmaktadır.



Şekil 4.4. Türkiye’de üretilen ve Ortadoğu bölgesinde pazarlanan farklı tuvalet kağıtlarının zamana bağlı parçalanma oranları, ilgili numunenin bir yaprağının kuru kütlesinin yüzdesi şeklinde sunulmaktadır. Sunulan sonuçlar 25 mm’den büyük parçacıkların kütlesini oluşturmaktadır.

Şekil 4.4’de sunulan bilgilere göre, TK-6 (Solo markalı) numunesi deneyin başlamasından 10 dakika sonra %20 oranında, 20 dakika sonra %80 oranında ve 30 dakika sonra %95 oranından 25 mm’den daha küçük parçacıklara dönüşmüştür. Benzer şekilde, TK-1 (Selpak) numunesi, deney başlangıcından 10 dakika sonra %50 oranında, 20 dakika sonra %77 oranında ve 30 dakika sonra %92 oranında 25 mm’den daha küçük parçacıklara dönüşmüştür. Bu çerçevede, bu iki numunenin parçalanma davranışları birbirlerine yakın olmuştur. Bu sonuçlara göre, Kuzey Avrupa’dan temin edilen Lotus ve Lambi gibi ürünlere göre, ve Kuzey Amerika’dan elde edilen Walmart ve Cottonelle gibi ürünlerin parçalanması daha hızlı şekilde gerçekleşmiştir.

Parçalanma deneylerinin sonuçlarına göre, aşağıdaki yorumları yapmak mümkündür:

- 1- Kuzey Avrupa bölgesinde üretilen ve Nordic Ecolabel sertifikalı ürünler hızlı şekilde parçalanmaktadır.

- 2- Kuzey Amerika’da üretilen ve yaygın şekilde kullanılan ürünler genellikle hızlı şekilde parçalanmaktadır. Bu bölgede üretilen ve güçlü olduğu ibaresiyle pazarlanan ürünler (Charmin Ultra Strong gibi) diğer ürünlere göre daha yavaş parçalanmaktadır.
- 3- Türkiye’de üretilen bazı ürünler karşılaştırma yapılan diğer ürünlere göre göreceli olarak daha yavaş şekilde parçalanmaktadır.

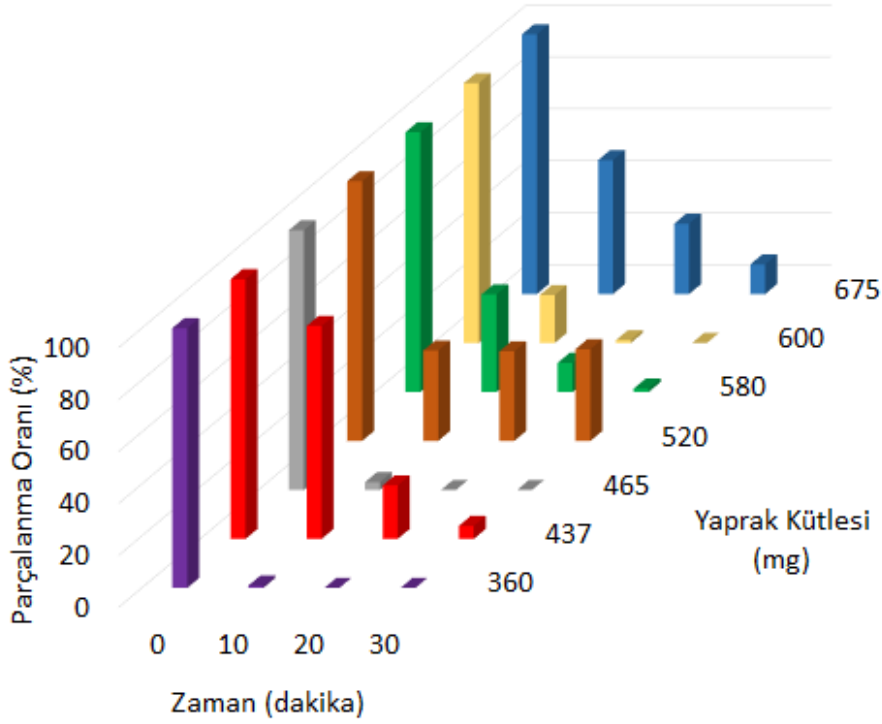
Parçalanma deneylerinden elde edilen sonuçlara göre farklı tuvalet kağıtlarının atıksu sistemlerindeki parçalanma davranışları hakkında genel bilgiler ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile tuvalet kağıtlarının fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler bir sonra ki bölümde incelenmektedir.

4.4. Tuvalet Kağıtlarının Yaprak Kütleleri ile Sularda Parçalanmaları Arasındaki İlişkiler

Bu bölümde, tuvalet kağıtlarının fiziksel özellikleri ile sularda parçalanma davranışları arasında doğrudan ve dolaylı bir bağlantı olup olmadığını incelenmektedir. Örneğin, kalın ve yaprak kütlesi yüksek olan tuvalet kağıtlarının parçalanması yavaş olabilir şeklindeki hipotezler bu bölümde değerlendirilmektedir.

Bu bölümde incelenen bilgiler daha önce Tablo 4.2’de sunulan yaprak ağırlığı değerleri ile Bölüm 4.3’de sunulan sularda parçalanma deney sonuçlarının karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Burada sunulan tuvalet kağıtlarının yaprak kütleleri daha önceden Tablo 4.2’de kuru yaprak kütlesi olarak verilen değerlerden oluşmaktadır. İlgili değerler küçükten büyüğe doğru sıralanarak, bu numunelerin parçalanma deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıda Şekil 4.5’de karşılaştırılmaktadır.

Değerlendirilen numuneler arasında Charmin Ultra Strong isimli ürünün güçlü bir ürün olduğu üretici firma tarafından belirtildiği için, bu ürünün parçalanmasının görece olarak daha yavaş olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 4.1). Bu nedenle, bu ürün aşağıdaki analize dahil edilmemiştir. Geriye kalan yedi numunenin parçalanma deneyi sonuçları kuru yaprak kütlelerine göre aşağıdaki grafikte sunulmaktadır.



Şekil 4.5. Farklı tuvalet kağıdı numunelerinin kuru yaprak kütleleri ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kağıtların zamana bağlı parçalanma oranları düşey ekseninde, zaman yatay ekseninde ve yaprak kütlesi değerleri z-ekseninde verilmektedir.

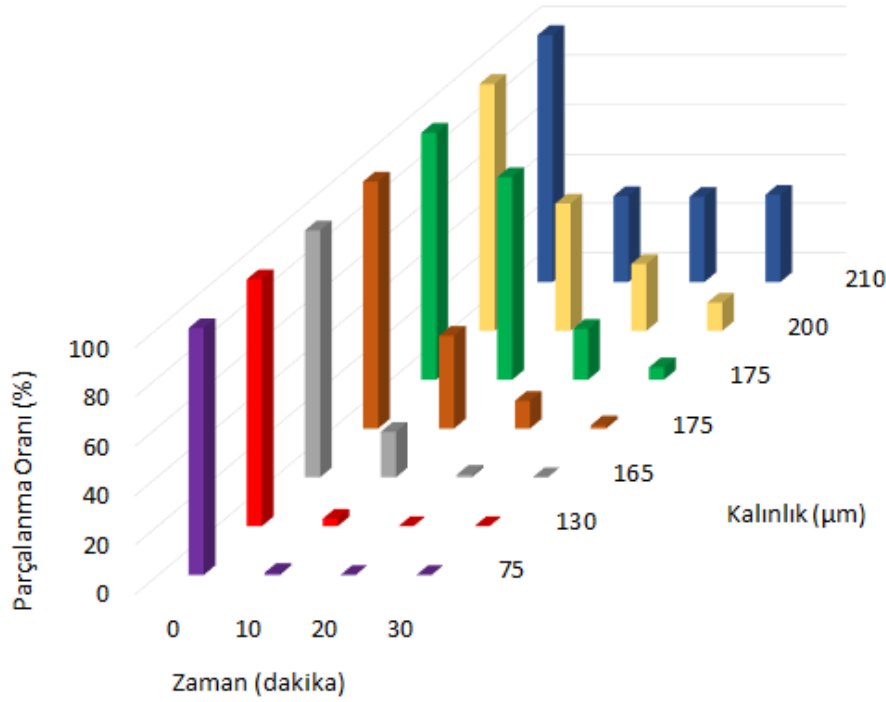
Şekil 4.5’deki sonuçlara göre, tuvalet kağıtlarının yaprak kütlesi ile parçalanma davranışları arasında belirgin bir trend görülmemektedir. Örneğin, yaprak kütlesi 520 mg olan (kahverengi sütunlar) numune, parçalanma deneyinin ilk 10 dakikasında %65 oranında 25 mm’den daha küçük parçacıklara dönüşmektedir. Ancak, bu oran deney süresi boyunca korunmaktadır. Yani, bu ürün deneyin ilerleyen zamanlarında %65’den daha fazla parçalanmamıştır. Bu numunenin parçalanma davranışı hakkındaki ayrıntılar daha önce sunulan Bölüm 4.3 ve Şekil 4.3’de değerlendirilmiştir. Kısaca, bu numune yapısal ve imalat özellikleri nedeniyle belirli oranda parçalanma göstermektedir.

Bir diğer karşılaştırmaya göre, yaprak kütleleri 437 mg (kırmızı sütunlar), 580 mg (yeşil sütunlar) ve 675 mg (koyu mavi sütunlar) olan numunelerin parçalanma hızları ve oranları benzerlik göstermektedir. Bu benzerlik ilgili numunelerin parçalanma davranışları ile yaprak kütleleri arasında bir etkileşimin olmadığına işaret etmektedir. Buna göre, yaprak kütlesi arttığında parçalanma hızı yavaşlar gibi bir hipotez doğru olmamaktadır.

Yapılan bu gözlemin ana sebebi, her bir tuvalet kağıdının hamurunu oluşturan karışımların küçük farklılıklar göstermesidir. Örneğin, içerisinde petrokimyasal bağlayıcıların ilave edilmediği ve Nordic Ecolabel sertifikası taşıyan Lambi ürününün yaprak kütlesi 600 mg şeklindedir. Bu değer yüksek olmasına rağmen, ilgili ürün hızlı şekilde parçalanmaktadır (Şekil 4.3. sarı renkli sütunlar). Öte yandan, üretiminde petrokimyasal bağlayıcıların kullanıldığı bir ürünün yaprak kütlesi düşük olmasına rağmen (437 mg), bu ürün (Şekil 4.3 kırmızı renkli sütunlar) göreceli olarak daha düşük hızda parçalanmaktadır. Bu çerçevede, kağıt hamurlarındaki muhtemel farklılıklara bağlı olarak yaprak kütlesi ile parçalanma davranışları arasında doğrudan bir ilişki tespit edilmemiştir. Bununla beraber, bu değerlendirmenin bu çalışmada kullanılan 7 farklı numunenin incelenmesiyle ortaya çıkan bir sonuç olduğu dikkate alınmalıdır. Bir başka deyişle, yapılan tespitler sınırlı sayıda numune incelenerek elde edilmiştir.

4.5. Tuvalet Kağıtlarının Kalınlıkları ile Sularda Parçalanmaları Arasındaki İlişkiler

Bu bölümde, tuvalet kağıtlarının kalınlıkları ile parçalanma davranışları arasındaki ilişkiler incelenmiş ve elde edilen bilgiler aşağıdaki Şekil 4.6'da sunulmaktadır. Burada sunulan tuvalet kağıtlarının kalınlık değerleri, toplam yaprak kalınlığı olarak daha önceden verilen Tablo 4.3'de sunulmuştur. İncelenen numuneler arasında Charmin Ultra Strong markalı ürün, imalatçı firma tarafından güçlü olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, bu ürünün yavaş parçalandığı daha önceden sunulmuş ve tartışılmıştır. Bu çerçevede, bu ürün burada yapılan analize dahil edilmemiştir.



Şekil 4.6. Farklı tuvalet kağıdı numunelerinin kalınlıkları ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kağıtların zamana bağlı parçalanma oranları düşey eksen, zaman yatay eksen ve yaprak kalınlıkları z-ekseninde verilmektedir.

Şekil 4.6'daki genel trende göre, numunelerin yaprak kalınlıkları arttıkça parçalanma hızları yavaşlamaktadır. Örneğin, kalınlık değerleri 75, 130 ve 165 µm olan numuneler büyük oranda (>%90-95) ilk 10 dakika içerisinde parçalanmaktadır. Buna karşılık, kalınlık değerleri 175 µm veya daha fazla olan numunelerin parçalanma hızları düşmektedir.

Grafikteki numuneleri ayrıntılı şekilde incelersek, kalınlık değerleri 175 µm olan iki farklı numuneden birincisi (kahverengi sütunlar) göreceli olarak biraz daha hızlı parçalanırken, aynı kalınlığa sahip ikinci numune (yeşil sütunlar) biraz daha yavaş parçalanmaktadır. Böyle bir trendin oluşmasında, kağıt hamurunu oluşturan selüloz fiberlerinin ve kullanılan kimyasalların rolü bulunmaktadır. Kısaca, doğal selüloz fiberlerinin uzunluk ve kalınlık değerleri, ve kağıt hamuruna ilave edilen kimyasal bağlayıcıların türleri ve dozları ilgili kağıdın parçalanma hızını etkilemektedir.

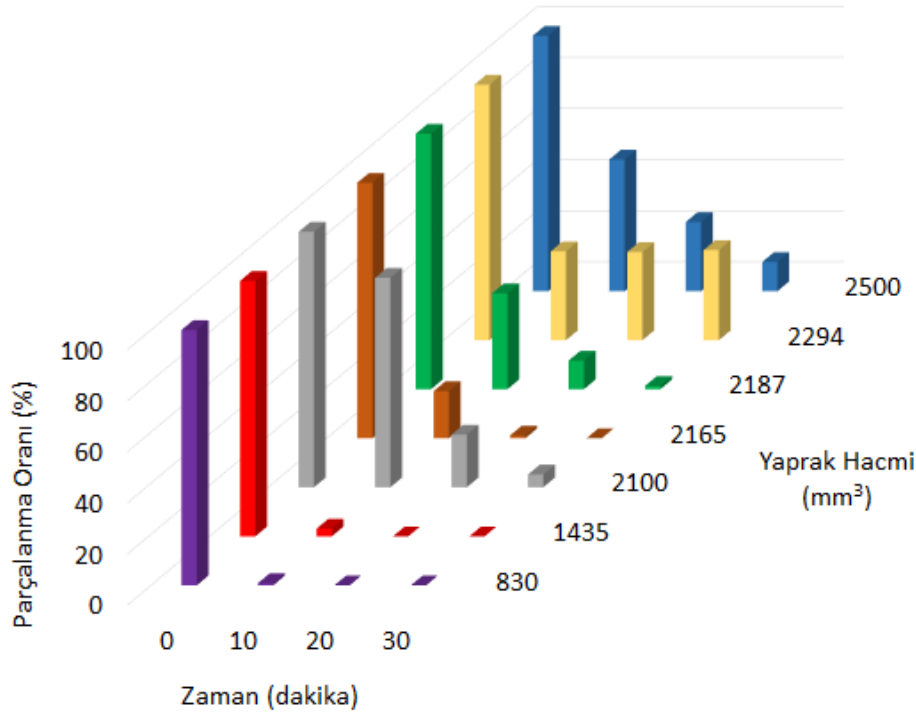
Numuneler arasında kalınlık değeri 200 µm olan ürün (sarı renkli sütunlar) göreceli olarak düşük bir hızda parçalanmaktadır. Buna karşılık, kalınlık değeri 210 µm olan numune (lacivert renkli sütunlar) deneyin ilk 10 dakikasında %65 oranında 25 mm'den daha küçük parçacıklara dönüşmüş ve bu oran 30 dakikalık deney süresi boyunca

korunmuştur. Bu ürünün yapısal özellikleri diğer numunelerden farklıdır ve daha önceki bölümlerde sunulmuştur (Bölüm 4.3. ve Şekil 4.3). Kısaca, bu numune 3 katmanın birleşmesi ile oluşmaktadır. Bu ürünün imalatı sırasında, ortadaki katman bir omurga görevi üstlenmektedir. Bu katmanın her iki tarafına yeni katmanlar ilave edilmektedir. Bu kombinasyonda, omurga görevi yapan katman daha güçlü bir yapıya sahip olacak şekilde üretilmektedir. Diğer katmanlar ise daha yumuşak ve kolaylıkla dağılabilen fiberlerden oluşmaktadır. Bu durumda, orta katman diğerlerine göre dirençli olabilmektedir. Bu numunede böyle bir davranış biçimi görülmektedir.

Bu analizlerin ışığı altında, yaprak kalınlığı ve parçalanma davranışları arasında genel anlamda doğrusal bir ilişki olduğu, yani yaprak kalınlığı arttıkça kağıdın parçalanma hızının düştüğü tespit edilmiştir. Bununla beraber, kağıtların imalatı sırasında kullanılan fiberlerin ve diğer kimyasalların ilgili özelliklerine bağlı olarak numunelerin parçalanma davranışları arasında küçük farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir.

4.6. Tuvalet Kağıtlarının Yaprak Hacimleri ile Sularda Parçalanmaları Arasındaki İlişkiler

Bu bölümde, tuvalet kağıtlarının yaprak hacimleri ile parçalanma davranışları arasındaki ilişkiler incelenmiş ve elde edilen bilgiler aşağıdaki Şekil 4.7’de özetlenmiştir. Numunelere ait yaprak hacim değerleri daha önceden verilen Tablo 4.4’de sunulmuştur. Charmin Ultra Strong markalı ürün daha önce belirtilen sebeplere bağlı şekilde bu analizlere dahil edilmemiştir. Bu bölümde yapılan analizler deneysel çalışmalarda kullanılan yedi numune üzerinden gerçekleştirilmiştir.



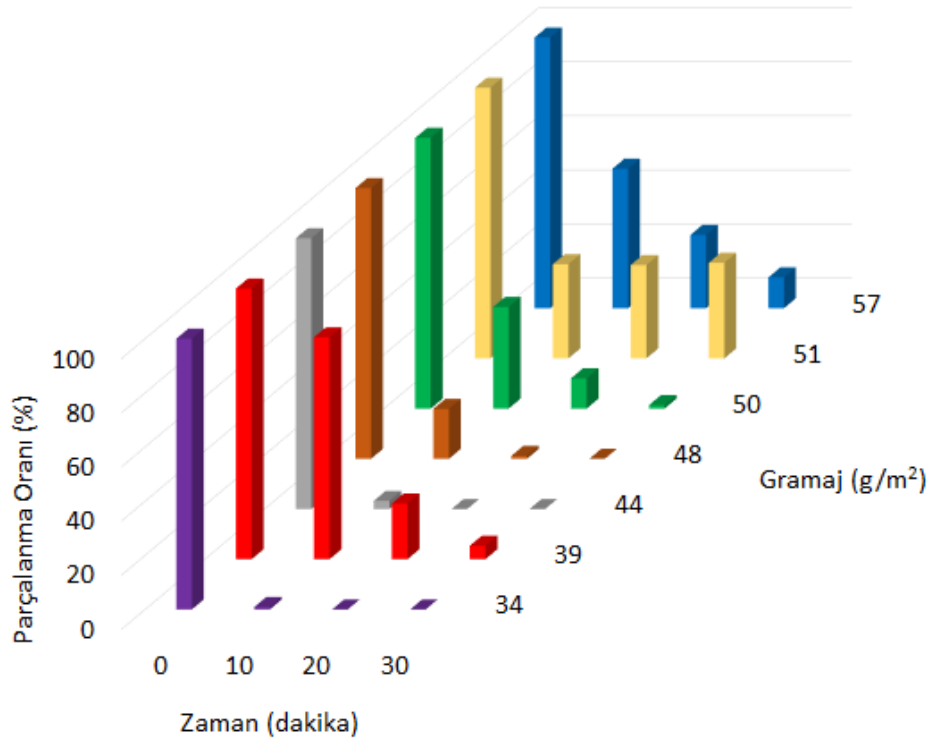
Şekil 4.7. Farklı tuvalet kağıdı numunelerinin yaprak hacimleri ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kağıtların zamana bağlı parçalanma oranları düşey eksen, zaman yatay eksen ve yaprak hacimleri z-ekseninde verilmektedir.

Şekil 4.7'deki genel trende göre, yaprak hacimleri arttıkça parçalanma hızları yavaşlamaktadır. Örneğin, hacim değerleri $>2000 \text{ mm}^3$ olan numuneler göreceli olarak daha yavaş parçalanma davranışı göstermektedir. Ancak, bazı numunelerin (örneğin yaprak hacmi 2100 mm^3 olan numune gibi) yaprak hacimleri düşük olmasına rağmen, parçalanma hızlarının göreceli olarak yavaş olduğu gözlemlenmiştir. Bu bilgiyi ayrıntılı şekilde incelediğimizde, yaprak hacmi 2100 mm^3 olan numunenin (gri renkli sütunlar) diğerlerine göre ilk 10 dakikada daha yavaş parçalandığı görülmektedir. Bu durumun bir sebebi, ilgili numunenin karışımında petrokimyasal bağlayıcıların kullanılmasıdır. Bu nevi kimyasal maddeler, numunenin parçalanmasını geciktirmektedir. Buna karşılık, yaprak hacimleri 2165 ve 2187 mm^3 olan numuneler (kahverengi ve yeşil renkli sütunlar) Nordic Ecolabel sertifikalı Lambi ve Lotus markalı ürünlerdir. Bu numunelerin yaprak hacimleri yüksek olmasına rağmen, bu ürünlerin karışımlarında petrokimyasal bağlayıcılar bulunmadığı için daha hızlı parçalanmaktadırlar. Bu gözlemler kağıt hamurunun özellikleri ile kağıtların parçalanma davranışları arasında belirli bir etkileşimin olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, kağıtların fiziksel özelliklerinin yanısıra, kağıt hamurunu oluşturan

bileşenlerin dikkatlice analiz edilmesi gerekmektedir. Bu bileşenler arasında, karışımında kullanılan doğal selüloz fiber türleri, fiberlerin uzunluk ve kalınlık değerleri, hamurun içerisine ilave edilen kimyasal maddelerin türleri ve dozları bulunmaktadır.

4.7. Tuvalet Kağıtlarının Gramajları ile Sularda Parçalanmaları Arasındaki İlişkiler

Bu bölümde, tuvalet kağıtlarının gramajları ile parçalanma davranışları arasındaki ilişkiler incelenmiş ve elde edilen bilgiler aşağıdaki Şekil 4.8’de özetlenmiştir. Numunelere ait gramaj değerleri daha önceden verilen Tablo 4.5’de sunulmuştur. Bu çalışmada kullanılan numuneler daha önce yapılan analizlerde kullanılan numunelerdir. Charmin Ultra Strong markalı ürün daha önce belirtilen sebeplere bağlı olarak bu analizlere dahil edilmemiştir.



Şekil 4.8. Farklı tuvalet kağıdı numunelerinin gramaj değerleri ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kağıtların zamana bağlı parçalanma oranları düşey eksen, zaman yatay eksen ve gramajları z-ekseninde verilmektedir.

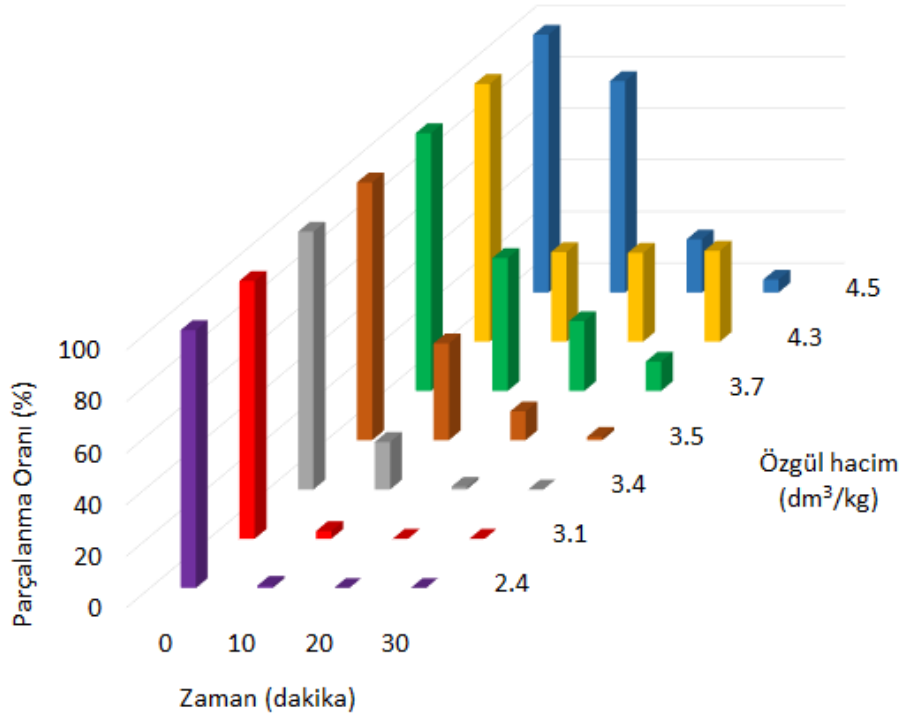
Şekil 4.8’deki genel trend, numunelerin gramaj değerleri ile parçalanma davranışları arasında çok belirgin bir ilişki olmadığına işaret etmektedir. Genel olarak, numunelerin gramaj değerleri arttıkça parçalanma hızları yavaşlamaktadır. Örneğin,

gramaj değerleri >50 (g/m²) olan numuneler göreceli olarak daha yavaş parçalanma davranışı göstermektedir.

Bununla beraber, gramaj değeri 39 (g/m²) olan numunenin diğerlerine göre daha yavaş parçalandığı görülmektedir. İlgili numunenin yapısında petrokimyasal bağlayıcıların olması bu durumun bir sebebi olmaktadır. Benzer şekilde, gramaj değeri 51 olan numunenin parçalanması deneyin başlangıcından 10 dakika sonra %65 oranında gerçekleşmiş ve bu seviye deney sonuna kadar korunmuştur. Bu numunenin parçalanma davranışının muhtemel sebepleri arasında Bölüm 4.3.'de sunulan ve numunenin yapısal özellikleri bulunmaktadır.

4.8. Tuvalet Kağıtlarının Özgül Hacimleri ile Sularda Parçalanmaları Arasındaki İlişkiler

Bu bölümde, tuvalet kağıtlarının gramajları ile parçalanma davranışları arasındaki ilişkiler incelenmiş ve elde edilen bilgiler aşağıdaki Şekil 4.9'da özetlenmiştir. Yapılan analizler daha önceki bölümlerde olduğu gibidir.



Şekil 4.9. Farklı tuvalet kağıdı numunelerinin özgül hacim değerleri ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kağıtların zamana bağlı parçalanma oranları düşey eksen, zaman yatay eksen ve özgül hacimler z-ekseninde verilmektedir.

Şekil 4.9'deki genel trend, numunelerin özgül hacim değerleri ile parçalanma davranışları arasında doğrusal bir ilişki olduğuna işaret etmektedir. Genel olarak, numunelerin özgül hacim değerleri arttıkça parçalanma hızları yavaşlamaktadır. Kısaca, özgül hacim değerleri ≥ 3.5 (dm³/kg) olan numuneler göreceli olarak daha yavaş parçalanma davranışı göstermektedir.

4.9. Tuvalet Kağıtlarının Gofraj Özellikleri ile Sularda Parçalanma Davranışları Arasındaki İlişkiler

Gofraj terimi tuvalet kağıtlarının üretimleri sırasında kağıdın üzerine yapılan desenli baskıyı ifade etmektedir. Bu işlem, birlikte dönen iki silindirin hareketi ile gerçekleştirilir. Bu silindirler alt ve üst çeneler olarak isimlendirilir. Konuyla ilgili görsel bir örnek aşağıda Şekil 4.10'da sunulmaktadır. Çenelerin bir tanesinin üzerinde kabartma desenler mevcuttur. Baskı çenesiyle birlikte hareket eden ikinci silindir ise plastik malzemeden yapılmış ve baskının oluşması için gereken ağırlığı sağlayan diskettir. Genellikle, gofraj figürlerinde baskı derinliği düşük olmaktadır. Ancak, bazı tuvalet kağıtlarında renkli ve derin baskılar tercih edilmektedir. Bu tür üretim hatlarında, baskı çenesi renkli boyalar ve/veya yapıştırıcı sıvılar ile birlikte çalışır. Bu durumda, aşağıdaki Şekil 4.11'de gösterilen örnekteki gibi renkli ve derin baskılı figürler oluşturulabilir.



Şekil 4.10. Tuvalet kağıtlarında gofraj baskısının yapılması için kullanılan silindirlere örnek verilmektedir.



Şekil 4.11. Renkli ve derin gofraj baskılı bir tuvalet kağıdı örneği sunulmaktadır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan tuvalet kağıtlarına ait gofrajlar aşağıdaki şekillerde sırasıyla sunulmaktadır. Bu numunelerin gofraj düzeyi 1- Az ve hafif baskılı ürünler ve 5- Yoğun ve derin baskılı ürünler şeklinde belirlenen ölçeğe göre derecelendirilmiştir. Buna göre, ilgili numuneler gofraj düzeylerindeki yoğunluğa göre Tablo 4.7’de sıralanmıştır. Bu numunelerin gofrajlarını gösteren resimler Tablo 4.7’de belirtilen numune sırasına göre en sağ taraftaki kolonda sunulmaktadır.

Tablo 4.7. Araştırmaya konu olan tuvalet kağıdı numunelerinin gofraj düzeyleri sunulmaktadır

Numune No.	Tuvalet Kağıdı Markası	Gofraj Düzeyi (*)	Şekil No.
1	Walmart Bothroom Tissue	1	Şekil 4.12
2	Cottonelle	2	Şekil 4.13
3	Charmin Ultra Strong	2	Şekil 4.14
4	Lambi	2	Şekil 4.15
5	Lotus	3	Şekil 4.16
6	Renova Black	3	Şekil 4.17
7	Solo	4	Şekil 4.18
8	Selpak	4	Şekil 4.19

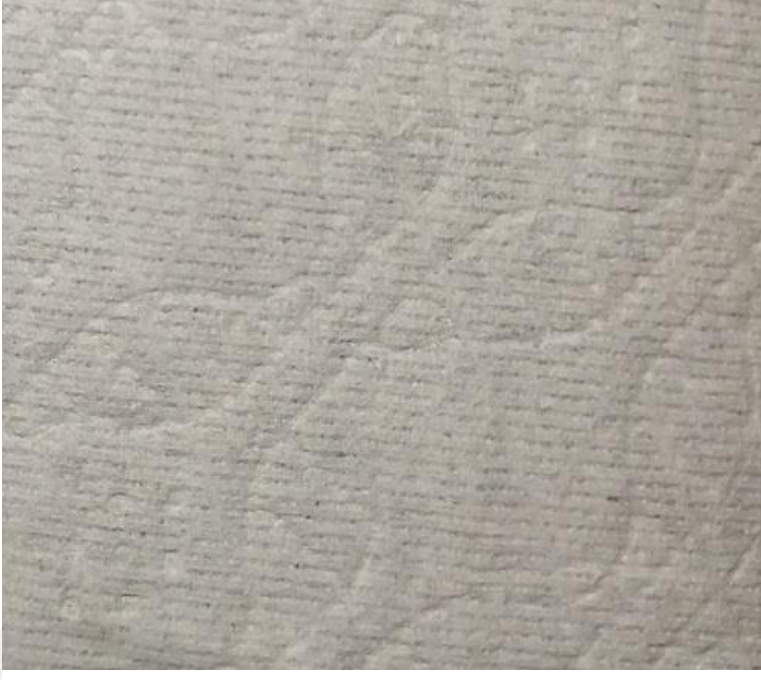
(*) Her numunenin gofraj düzeyi 1- Az ve hafif baskılı ürünler ve 5- Yoğun ve derin baskılı ürünler şeklinde belirlenen ölçeğe göre derecelendirilmiştir.



Şekil 4.12. Walmart Bathroom Tissue isimli ürünün gofrajı sunulmaktadır.



Şekil 4.13. Cottonelle isimli ürünün gofrajı sunulmaktadır.



Şekil 4.14. Charmin Ultra Strong isimli ürünün gofrağı sunulmaktadır.



Şekil 4.15. Nordic Ecolabel sertifikalı Lambi ürününün gofrağı sunulmaktadır.



Şekil 4.146. Nordic Ecolabel sertifikalı Lotus ürününün gofrağı sunulmaktadır.



Şekil 4.157. Renova Black markalı ürünün gofrağı sunulmaktadır.

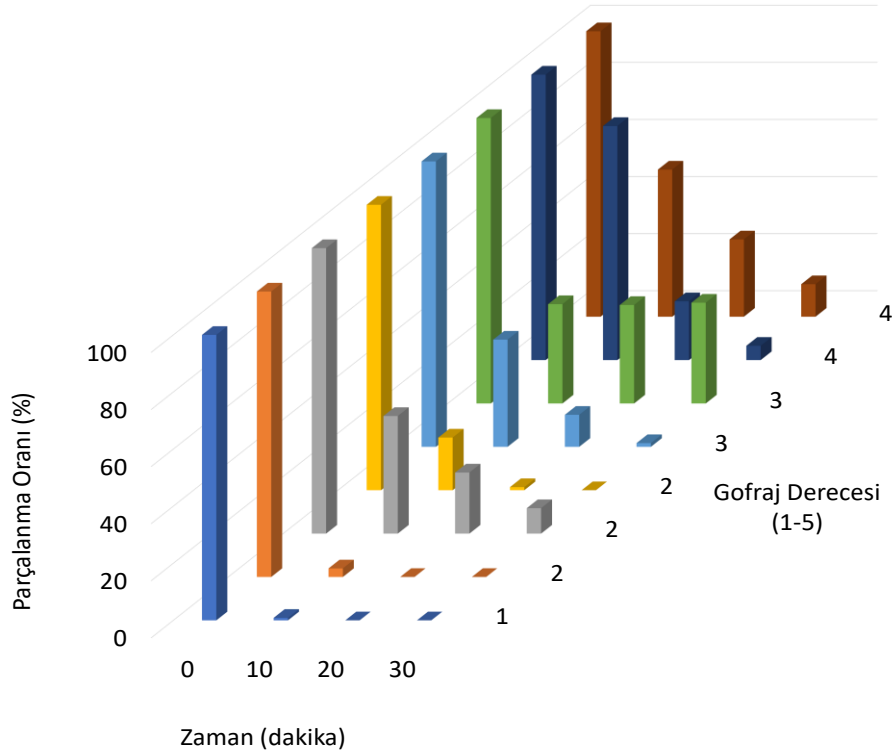


Şekil 4.168. Solo markalı ürünün gofrağı sunulmaktadır.



Şekil 4.179. Selpak markalı ürünün gofrağı sunulmaktadır.

Yukarıda belirtilen numunelerin gofraj derecesi ile parçalanma davranışları arasındaki ilişkiler aşağıdaki Şekil 4.20’da sunulmaktadır.



Şekil 4.18. Tuvalet kağıtlarının gofraj düzeyleri ile sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişkiler sunulmaktadır. Numunelerin gofraj düzeyleri 1-Düşük ve hafif baskılı ürünler ve 5-Yoğun ve derin baskılı ürünler olarak Tablo 4.7’de gösterildiği şekilde derecelendirilmiştir.

Şekil 4.20’da gösterilen genel durum incelendiğinde gofraj derecesi ile parçalanma davranışı arasında doğrusala yakın bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Bu ilişkiye göre, gofraj düzeyi arttıkça numunenin parçalanması yavaşlamaktadır. Bu ilişki, daha önce Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8’de gösterilen numunelerin kalınlığı, yaprak hacmi, ve gramajı ile parçalanma davranışı arasındaki bağlantıya benzemektedir. Bu benzerliğin ana sebebi, tuvalet kağıtları gibi ürünlere yoğun ve derin gofraj baskısı yapılabilmesi için numunenin yaprak kalınlığının ve yaprak hacminin yüksek olması gereksinimidir. Örneğin, çok ince bir kağıda derin bir baskı yapılamamaktadır. Bu nedenle, gofraj derecesi ile yaprak kalınlığı ve hacmi arasındada doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.

Öte yandan, tuvalet kağıtlarının hamurlarına bağlayıcı kimyasal maddeler ilave edilmesi halinde, bu maddelerin türlerine (hidrofobik petrokimyasal veya doğal organikler) ve dozlarına bağlı olarak elde edilen kağıtların parçalanma davranışları değişmektedir. Kısaca, petrokimyasal bağlayıcıların kullanıldığı kağıtlarda parçalanma davranışı negatif yönde etkilenmektedir. Bu çerçevede, kağıtların fiziksel

özellikleri ile parçalanma davranışları arasındaki ilişkiler incelenirken, kağıtların kimyasal yapısıda dikkate alınmalıdır.



SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, tuvalet kağıtlarının bazı fiziksel özellikleri ile bu kağıtların sularda parçalanma davranışları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çerçevede, bu çalışma kapsamında yapılan analizlerin gösterdiği sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- 1- Kağıt Yaprak Kütlesi: Tuvalet kağıtlarının yaprak kütleleri ile parçalanma davranışları arasında belirgin bir etkileşim tespit edilememiştir. Genel olarak, kağıdın yaprak kütlesi artarken, parçalanma hızı düşmektedir. Benzer şekilde, yaprak kütlesi azalırken parçalanma hızı artmaktadır. Ancak, bu ilişkiler çok güçlü değildir ve kağıt hamurundaki bileşenlere bağlıdır.
- 2- Kağıt Yaprak Kalınlığı ve Özgül Hacim: Bu parametreler ile kağıtların parçalanma hızları arasında doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir. Buna göre, kalınlık değerleri $<165 \mu\text{m}$, ve özgül hacim değerleri $<3.5 (\text{dm}^3/\text{kg})$ olan tuvalet kağıtlarının sularda hızlı şekilde parçalandığı belirlenmiştir. Buna karşılık, kağıt kalınlığı $\geq 165 \mu\text{m}$, ve özgül hacim değerleri $\geq 3.5 (\text{dm}^3/\text{kg})$ olan numuneler göreceli olarak daha yavaş parçalanmaktadır. Bu bulgular, kağıt kalınlığı ve özgül hacminin parçalanma hızının önemli ölçüde etkileşim içerisinde olduğunu göstermektedir.
- 3- Kağıt Yaprak Hacmi: Yaprak hacmi ile parçalanma davranışları arasında belirgin bir ilişki bulunamamıştır. Ancak, genel olarak kağıtların yaprak hacimleri arttıkça parçalanma hızının biraz azaldığı gözlemlenmiştir.
- 4- Kağıt Gramajı: Kağıt gramajı ile parçalanma hızı arasında anlamlı ve açık bir ilişki tespit edilememiştir. Kağıtların gramaj değerleri artarken, parçalanma hızlarının düştüğü gözlemlenmiştir.
- 5- Gofraj Derecesi: Kağıtların gofraj derecesi ile parçalanma hızları arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, kağıtların gofraj dereceleri arttıkça, parçalanma hızlarının düştüğü anlaşılmıştır. Gofraj

baskılarının derin ve yoğun olabilmesi için kağıt kalınlığının ve yaprak hacminin yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle, kağıtların kalınlığı, yaprak hacmi, gramajı ve gofraj derecesi arttığında parçalanma hızları düşmektedir.

- 6- Kağıt Hamuru Bileşenleri: Tuvalet kağıtlarının hamurlarındaki bazı bileşenlerin parçalanma hızlarına negatif etki ettiği anlaşılmıştır. Bu çerçevede, kağıt hamurunda kullanılan fiber türlerinin, bunların uzunluk ve çaplarının, ve karışımında kullanılan kimyasal katkıların tür ve dozlarının etkili olacağı anlaşılmıştır. Bu nedenle, parçalanma davranışlarının değerlendirilmesinde sadece fiziksel özellikler değil, aynı zamanda ürünleri oluşturan hamurlarındaki bileşenlerin etkilerinin de dikkate alınması gerekmektedir.

Elde edilen sonuçların ışığı altında, bu alanda yapılabilecek yeni çalışmalar için bazı öneriler şu şekilde özetlenebilir:

- 1- Tuvalet kağıtlarının hamur bileşenleri, özellikle kullanılan fiber türleri, fiber boyutları ve kimyasal katkılar, parçalanma hızında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalar, farklı bileşenlerin ayrıntılı analizlerini ve parçalanma davranışlarına etkilerini araştırmalıdır.
- 2- Bu çalışmada bazı fiziksel özelliklerin (kalınlık, özgül hacim, gofraj derecesi vb.) parçalanma hızı üzerinde tek başına etkileri incelenmiştir. Ancak, bu özelliklerin birbiriyle etkileşimlerini anlamak için çok değişkenli analizlere ve istatistiksel modellemelere ihtiyaç vardır.
- 3- İlgili numunelerle, gerçek ölçekli atıksu sistemlerinde yapılacak saha deneyleri, laboratuvar sonuçlarının doğruluğunu ve geçerliliğini teyit etmek için iyi bir çalışma olacaktır.
- 4- Bu araştırma, kağıtların bazı fiziksel özelliklerin parçalanma hızını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Örneğin, özgül hacmi düşük ve ince kağıtlar, daha hızlı parçalanarak atıksu sistemlerinde tıkanma riskini azaltacaktır. Bu nedenle, bu tür kağıtların üretilmesi için gereken çalışmalar yapılmalıdır.

Bu tez, tuvalet kağıtlarının bileşenleri ve fiziksel özelliklerinin sulardaki parçalanma davranışları üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik küçük bir adım olmuştur. Tezde

sunulan bilgilere göre, hem tüketicilerin beklentilerini karşılayan ve hem de kanalizasyon sistemlerinde hızlı şekilde parçalanan ürünlerin geliştirilmesi kanalizasyon problemlerini önlemek için elzem olmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] Brown, D. M., Butler, D., Orman, N. R., Davies, J. W., 1996. "Gross Solids Transport in Small Diameter Sewers", *Water Science and Technology*, 33(9), 25-30.
- [2] Ashley, R. M., Bertrand-Krajewski, J. -L. Hvitved-Jacobsen, T., Verbanck, M., 2004. Solids in sewers: Characteristics, effects and control of sewer solids and associated pollutants. Scientific and Technical Report No.14. Londra: IWA Yayınları
- [3] Yılmaz B.Y., 2009. "İçme ve Atıksu Borularının Rehabilitasyonu", Yüksek Lisans Tezi, 3-80.
- [4] Karadagli, F., McAvoy, D. C., Rittmann, B. E., 2009. "Development of a Mathematical Model for Physical Disintegration of Flushable Consumer Products in Wastewater Systems." *Water Environment Research* 81(5), 454-460.
- [5] Karadagli, F., Rittmann, B. E., McAvoy, D. C., Richardson, J.E., 2012. "Effect of turbulence on disintegration rate of flushable consumer products", *Water Environment Research*, 84(5), 424-433.
- [6] Eren B., 2012. "Tuvalet Kağıtlarının Atıksu Sistemlerinde Fiziksel Parçalanmasının Araştırılması", Doktora Tezi, 10-91.
- [7] Tang, Y., Jin, W.Y., 2013. "Study On Flushability Testing Of Wood Pulp Composite Spunlaced Nonwovens", *Advanced Materials Research*, cilt: 610-613, 490-493
- [8] Shahsavari, G., Arnaud-Fassetta, G., Campisano, A. 2017. A field experiment to evaluate the cleaning performance of sewer flushing on non-uniform sediment deposits" *Water Research*, 118, 59-69.
- [9] Mitchell R.L., Thamsen P.U., Gunkel M., Waschnewski J., 2017. "Investigations into Wastewater Composition Focusing On Nonwoven Wet Wipes", *Technical Transactions*, 1, 1-125.
- [10] Mitchell R. L., Busche S., Thamsen P. U., 2019. "Investigations Into Wet Wipe Related Clogging Phenomena of Wastewater Pumps", *Fluids Engineering Division*, <https://doi.org/10.1115/AJKFluids2019-5446>
- [11] Vieira, J. C., Mendes, A. O., Carta, A. M., Galli, E., Fiadeiro, P. T., Costa, A. P. 2020. "Impact of Embossing on Liquid Absorption of Toilet Tissue Papers", *Bioresources*, 15(2), 3888-3898.
- [12] Durukan, S., Karadağlı, F., 2019. "Physical Characteristics, Fiber Compositions and Tensile Properties Of Nonwoven Wipes And Toilet Papers in Relevance To What is Flushable", *Science of the Total Environment*, 697, 134135 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134135>

- [13] Türk T., 2021. “Atıksu Toplama Sistemlerindeki İşletme Problemlerinin Tanımlanması ve Çözüm Önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
- [14] Harter, T., Bernt, I., Winkler, S. vd., 2021. “Reduced dispersibility of flushable wet wipes after wet storage”, Scientific Reports, 11, 7942.
- [15] International Association for Nonwovens and Disposables (INDA) 2018. Guidelines for assessing the flushability of disposable nonwoven products, 4th Ed. INDA Publications, Cary, North Carolina, USA.
- [16] International Water Services Flushability Group (IWSFG). 2020. Publically available specification (PAS) for flushable products. Internet adresi: www.iwsfg.org
- [17] Eren, B., Karadagli, F., 2012. “Physical Disintegration of Toilet Papers in Wastewater Systems: Experimental Analysis and Mathematical Modeling”, Environmental Science and Technology, 46(5), 2870-2876.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Berke Çağatay SOYUCUKLU

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2022, Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği Bölümü
- Yükseklisans** : 2024, Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- Tanrıkulu Akyazı Plastik Şirketi Çevre Mühendisi (2024 - ...)

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

Soyucuklu, B. Ç. ve Fatih Karadağlı. 2024. Tuvalet Kağıtlarının Fiziksel Özellikleri ile Atıksu Sistemlerinde Parçalanma Davranışları Arasındaki İlişkilerin Araştırılması. V. Bilsel Uluslararası Efes Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi, 26-27 Ekim 2024, İzmir, Türkiye.

Soyucuklu, B. Ç. ve Fatih Karadağlı. 2024. Yeşil dönüşüm ve sürdürülebilir kalkınma sürecinde kanalizasyon sistemlerine bırakılan katı atıkların durumu ve tuvalet kağıtları özelinde bir araştırma. 12. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi (UKAY 2024), 11-13 Aralık 2024, Sakarya Üniversitesi, Serdivan, Sakarya. Bildiri No. 105.