

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

**ISLAK MENDİLLERİN ATIKSU SİSTEMLERİNDEKİ
PARÇALANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa NİĞDELİOĞLU**

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fatih KARADAĞLI

Nisan 2021

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mustafa NİĞDELİOĞLU

30.04.2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Fatih KARADAĞLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer arkadaşım Serkan DURUKAN'a, tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın Dr. Öğr. Üyesi Beytullah EREN'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak her konuda destekleyen, yardımcı olan ve sevgilerini bir an dahi esirgemeyen annem Songül NİĞDELİOĞLU, babam Ayhan NİĞDELİOĞLU, abim Cihat NİĞDELİOĞLU ve ablam Sümeyye NİĞDELİOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan TUBİTAK-ÇAYDAG Grubuna (Proje No. 118Y240) ve Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2019-5-20-95) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
ARAŞTIRMA KONUSUYLA İLGİLİ LİTERATÜR BİLGİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	3
2.1. Islak Mendil Doku Oluşturma Yöntemleri	3
2.1.1. Kuru serme (drylaid) yöntemi	4
2.1.2. Sulu serim (wetlaid) yöntemi	6
2.1.3. Eriyik çekim (spunlaid) yöntemi	7
2.1.4. Eriyik üfleme (meltblown) yöntemi	8
2.2. Islak Mendil Doku ve Elyaf Bağlanma Yöntemleri	8
2.2.1. Kimyasal bağlanma (adezyon bağlanma)	9
2.2.2. Termal bağlanma (kohezyon bağlanma)	10
2.2.3. Mekanik bağlanma	11
2.3. Kanal İşletim Problemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar	12
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	19

3.1. Çalışmada Kullanılan Numuneleri Seçme Yöntemi	19
3.2. Numunelerin Sularda Parçalanma Testlerinde Kullanılan Deney Düzeneği ve Su Akış Koşulları	20
3.3. Parçacıkların Ayırıştırılması	22
3.4. Fiziksel Parçalanma Teorisi ve Matematiksel Modelleme	25
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	28
4.1. Parçalanma Deney Sonuçları ve Model Tahminleri	28
BÖLÜM 5.	
SONUÇ	38
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

F	: Klozete atılabilir
f_i	: Dağılım oranı
k_i	: Özgün parçalanma hızı katsayısı
NF	: Klozete atılamaz
Re	: Reynold's sayısı
TK	: Tuvalet kağıdı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Taraklama yöntemi üretim aşamaları.....	5
Şekil 2.2. Havalı serme yöntemi üretim aşamaları	6
Şekil 2.3. Sulu serim yöntemi üretim aşamaları	7
Şekil 2.4. Eriyik çekim yöntemi üretim aşamaları.....	8
Şekil 2.5. Kimyasal bağlanma için geliştirilen yöntemlerin üretim hattında uygulanması	10
Şekil 2.6. Termal bağlanma yönteminin üretim hattında uygulanması	11
Şekil 2.7. İğneleme yönteminin üretim hattında uygulanması.....	12
Şekil 3.1. Orbital karıştırıcı ve 2,8 L hacimli Fernbach erlenleri	20
Şekil 3.2. Reynold's sayısının dönüş hızına göre değişim grafiği	21
Şekil 3.3. Parçacıkların ayrıştırılması	23
Şekil 3.4. Filtrasyon düzeneği, (a) vakumlu filtrasyon sistemi, (b) filtre kağıtlarının içerisine yerleştirildiği porselen süzgeç	24
Şekil 3.5. Filtrasyon sonrası filtre kağıtlarına aktarılan küçük boyutlu parçacıkların kurutulduktan sonraki görsel durumları	25
Şekil 3.6. Fiziksel parçalanma teorisi	25
Şekil 4.1. TK-1 numunesine ait matematiksel model tahminleri (çizgiler) ve deneysel sonuçlar (semboller). (a) (>25 mm) boyut aralığına sahip parçacıklar (ana ürün) mavi çizgi ve turuncu çemberlerle, ve en küçük boyut aralığındaki (<6 mm) parçacıklar gri çizgi ve siyah karelerle gösterilmektedir. (b) (25-12,5) mm boyut aralığındaki parçacıklar kırmızı çizgi ve turuncu çemberlerle, ve (12,5-6 mm) boyut aralığındaki parçacıklara ait veriler siyah çizgi ve yeşil üçgenlerle gösterilmektedir.	30
Şekil 4.2. TK-2 numunesine ait matematiksel model tahminleri (çizgiler) ve deneysel sonuçlar (semboller). (a) (>25 mm) boyut aralığına sahip parçacıklar (ana ürün) yeşil çizgi ve sarı renkli çemberlerle, ve en küçük boyut aralığındaki (<6 mm) parçacıklar mavi çizgi ve siyah karelerle gösterilmektedir. (b) (25-12,5) mm boyut aralığındaki parçacıklar mor	

çizgi ve siyah dörtgenlerle, ve (12,5-6 mm) boyut aralığındaki parçacıklara ait veriler mavi çizgi ve kırmızı yıldızlarla gösterilmektedir..... 32

Şekil 4.3. IM-1 numunesine ait matematiksel model tahminleri (çizgiler) ve deneysel sonuçlar (semboller). (a) (>25 mm) boyut aralığına sahip parçacıklar (ana ürün) siyah çizgi ve sarı renkli çemberlerle, ve en küçük boyut aralığındaki (<6 mm) parçacıklar yeşil çizgi ve mavi artı işaretleriyle gösterilmektedir. (b) (25-12,5) mm boyut aralığındaki parçacıklar kırmızı çizgi ve mavi çemberlerle, ve (12,5-6 mm) boyut aralığındaki parçacıklara ait veriler siyah çizgi ve siyah üçgenlerle gösterilmektedir..... 34

Şekil 4.4. IM-2 numunesine ait matematiksel model tahminleri (çizgiler) ve deneysel sonuçlar (semboller). (a) (>25 mm) boyut aralığına sahip parçacıklar (ana ürün) yeşil çizgi ve turuncu renkli yıldızlarla, ve en küçük boyut aralığındaki (<6 mm) parçacıklar gri çizgi ve mavi dikdörtgenle gösterilmektedir. (b) (25-12,5) mm boyut aralığındaki parçacıklar kırmızı çizgi ve siyah üçgenlerle, ve (12,5-6 mm) boyut aralığındaki parçacıklara ait veriler mor çizgi ve mavi dairelerle gösterilmektedir..... 37

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Doku oluşturma yöntemleri	4
Tablo 3.1. Çalışmalarda kullanılan numuneler	19
Tablo 4.1. TK-1 numunesi parçalanma sonuçları	28
Tablo 4.2. TK-2 numunesine ait parçalanma sonuçları	31
Tablo 4.3. IM-1 numunesine ait parçalanma sonuçları.....	33
Tablo 4.4. IM-2 numunesine ait parçalanma sonuçları.....	35

ÖZET

Anahtar kelimeler: Islak mendil, kanalizasyon sistemi, fiziksel parçalanma, modelleme

Islak mendillerin bazıları “klozete atılabilir” ibaresiyle pazarlanmaktadır, ancak bu ürünlerin kanalizasyon sistemlerindeki davranışları hakkında ayrıntılı çalışmalar mevcut değildir.

Islak mendiller ve tuvalet kağıtları insanların kullanımlarından sonra ya çöpe atılmaktadır ya da kanalizasyon sistemlerine bırakılmaktadır. Bu tür atıklar kanalizasyon sistemlerinde yağ vb. gibi hidrofobik maddelerle veya kum gibi inorganik maddelerle birleşerek taşınımı ve parçalanması zorlaşan yumaklar haline gelmektedir. Yumak haline gelmiş atıkların kütle ve hacim gibi fiziksel özellikleri artarak, kanalizasyon sistemlerinin eğimi veya debisi düşük olan kısımlarında birikim yapmaları ve zamanla kanalizasyon sisteminde tıkanmalara neden oldukları bilinmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı tuvalet kağıdı ve ıslak mendil ürünlerinin atıksu sistemlerindeki fiziksel parçalanmasının deneysel ve matematiksel modelleme yoluyla araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, hijyenik ürünlerin kanalizasyon sistemlerinde fiziksel parçalanmasıyla ilgili daha önceden geliştirilmiş olan bir teorik yaklaşım ve matematiksel model ıslak mendil ve tuvalet kağıtları için uyarlanmıştır. Bu şekilde, yenilenmiş modelleme çalışmaları ve deneysel testlerle ıslak mendil ve tuvalet kağıtlarının parçalanması çalışılmıştır. Bu çalışmalarda, öncelikle tuvalet kağıtları incelenmiş, ve daha sonra, farklı ıslak mendillerin parçalanma deneyleri ve modelleme çalışmaları yapılmıştır.

Sonuç olarak, “klozete atılabilir” olarak pazarlanan ıslak mendillerin, tuvalet kağıtlarına göre çok yavaş parçalandığı gözlemlenmiştir. Buna göre, “klozete atılabilir” ürünler için teknik şartnamelerin ve standartların geliştirilmesi gerekmektedir. Kanalizasyon sistemlerindeki tıkanma problemlerini azaltmak için, ıslak mendillerin ambalajlarında düzenlemelerin yapılması, ve tüketicilerle eğitim çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

DISINTEGRATION OF FLUSHABLE PRODUCTS IN WASTEWATER SYSTEMS

SUMMARY

Keywords: Wet Wipes, Wastewater Systems, Physical Disintegration, Modeling

Wet wipes are marketed as “flushable” to be disposed of into sewer systems. Systematic studies that assessed sewer behavior of flushable wipes are limited.

Wet wipes and toilet papers are either disposed of into solid waste bins, or flushed from toilets into sewer systems. In sewer environment, wet wipes and toilet papers absorb hydrophobic materials such as oil and grease, or blend with inorganic materials such as sand. As a result, such solids accumulate in time, and cause sewer overflows in parts of sewer system where pipe slope or wastewater flow rate is insufficient.

The main objective of this thesis is to investigate physical breakdown of toilet paper and wet wipes through experimental analyses and mathematical modeling. To achieve this goal, a previously developed theoretical approach and its mathematical model that describe the physical breakdown of hygienic products were adapted for this study. In accordance, disintegration of wet wipes and toilet papers were examined through mathematical modeling studies and experimental testing.

The results indicated that flushable wipes disintegrate much more slowly than toilet papers under representative sewer flow conditions. Therefore, technical specifications and regulations for flushable products is needed urgently. Likewise, labeling of wet wipes and education of consumers about disposal of such items into solid waste bins is essential to minimize sewer blockages and overflows.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Islak mendiller bebek hijyeni, yüz temizliği ve özel kişisel hijyen ile ev, endüstriyel, tıbbi, ve ofis temizliği gibi amaçlar için kullanılır. İlk ıslak mendil, Wet Nap tarafından, 1958'de özellikle taşıma ve kullanım kolaylığı için tasarlanmış ve bir kağıt ürünü olarak icat edilmiştir. O zamandan beri çok çeşitli amaçlara hizmet için farklı ürünler geliştirilmiştir. Islak mendil üreticileri, temel malzeme ve losyon tiplerini değiştirerek, bitmiş ürünlerin özelliklerini son kullanım amaçlarına göre uyarlayabilir. Örneğin, yüz ve bebek mendillerinde tüketiciler gelişmiş yumuşaklık ve cilt bakım özelliklerinden yararlanırken, ev içi temizlik mendilleri, oldukça etkili temizlik formülasyonları ile daha dayanıklı malzemelerin kullanılmasıyla üretilmektedir (<https://www.edana.org>).

Günümüzde ıslak mendiller ‘klozete atılabilir’ (flushable) şeklinde dünyanın bir çok ülkesindeki tüketicilerin kullanımına sunulmaktadır. Bir yandan üretici firmalar ürünlerin -klozete atılabilir- (flushable) olduğunu iddia ederken; öte yandan, bu tür ürünlerin kanalizasyon sistemlerinde tıkanmalara ve atıksu ekipmanlarının bozulmasına sebep olduğu gözlemlenmektedir. Konuyla ilgili bilimsel çalışmaların sınırlı olması, ve henüz uluslararası veya ulusal düzeyde uygulanan bir yönetmelik veya standardın bulunmaması, ıslak mendillerin hangi kriterle göre “klozete atılabilir” olduklarını belirsizleştirmektedir. Bu durum, bir çok ürünün bilinçsizce klozetlere atılmasına sebep olmaktadır. Bu tür bertaraf yöntemlerinin sonucunda atıksu toplama ve arıtma sistemlerinden sorumlu kuruluşlar ciddi kayıplar vermektedir. Örneğin, Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi’nin (SASKİ) verilerine göre, Sakarya şehrinde (merkez) yıllık kayıtlı 25000 tıkanma olayı meydana gelmektedir, ve bunların giderilmesi için ciddi boyutta maddi harcama yapılmaktadır. Benzer şekilde, tüm yurt ve dünya genelinde belediyeler ve benzeri sorumlu kuruluşların yaptığı harcamaları düşürmek, ve kanalizasyon sistemlerindeki tıkanma problemlerini azaltmak için, bu tez çalışmasında dünyanın farklı ülkelerinden temin edilen -klozete atılabilir-

(flushable) türdeki ıslak mendillerin karakterizasyon ve kategorizasyonunun yapılması, diğer ıslak mendil ve benzeri hijyenik ürünlerle karşılaştırılması, ve ilgili numunelerin sularda parçalanma davranışları incelenmiştir. Islak mendillerin sulardaki parçalanma davranışlarını inceleyebilmek için, kütlenin korunumu prensibine dayalı şekilde bir matematiksel model geliştirilerek, her bir ürün için özgün parçalanma hız katsayıları ve parçacıkların dağılım oranları belirlenerek, numunelerin kendi aralarında kantitatif verilerle karşılaştırılması sağlanmıştır. Sonuçlar, -klozete atılabilir- (flushable) şeklinde pazarlanan ürünlerin hangi ölçüde bu iddiaya uygun oldukları hakkında açıklayıcı bilgiler vermektedir. Elde edilen bilgilere göre, kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen tıkanma problemlerini azaltmak için bazı öneriler sunulmaktadır.

BÖLÜM 2. ARAŞTIRMA KONUSUYLA İLGİLİ LİTERATÜR BİLGİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışmasının altyapısını oluşturan literatür bilgileri bu bölümde iki ana başlık altında sunulmaktadır. Birinci kısımda, ıslak mendillerin dokusunu oluşturan malzemelerin üretim yöntemleri hakkında temel bilgiler sunulmaktadır. İkinci kısımda ise, ıslak mendil vb. ürünlerin kanalizasyon sistemlerindeki davranışları hakkında daha önceden yapılan çalışmalar özetlenmektedir. Bu bilgilerin ışığı altında, bu tez çalışmasının özgünlüğünü gösteren ana noktalar bu bölümün sonunda özetlenmektedir.

Islak mendillerin dokusunu oluşturan malzemelerin üretiminde kullanılan yöntemler, (1) doku oluşturma ve (2) doku bağlama yöntemleri olarak bilinmektedir. Doku oluşturma yöntemleri, fiberlerin karıştırılması, serilmesi, ve bir tabaka haline getirilmesi gibi prosesleri içermektedir. Doku bağlama yöntemleri ise, malzeme içerisindeki fiberlerin birbirine bağlanması, ve üretilen malzemenin fonksiyonun tam olarak yerine getirebilmesi için gerekli özelliklerin kazandırılmasıyla ilgili adımları içermektedir.

2.1. Islak Mendil Doku Oluşturma Yöntemleri

Islak mendiller, dokumasız üretim (nonwoven) olarak bilinen yöntemlere göre üretilmektedirler. Dokunun oluşturulması, elyafların bir tabaka halinde düzenlenmesi ile başlar. Elyaflar balyalar halinde paketlenmiş sentetik lifler, veya erimiş polimer granüllerin preslenmiş filamentleri olabilir. Bu fiberler kullanılarak bir doku oluşturmak için aşağıdaki Tablo 2.1.'de sunulan dört temel yöntemden biri kullanılır (<https://www.edana.org>).

Tablo 2.1. Doku oluşturma yöntemleri

Yöntem	Çeşitleri
Kuru serim yöntemleri	A-Taralama (carding) B- Havalı Serim yöntemi
Islak serim yöntemi	
Eriyik çekim yöntemi	
Eriyik üfleme yöntemi	

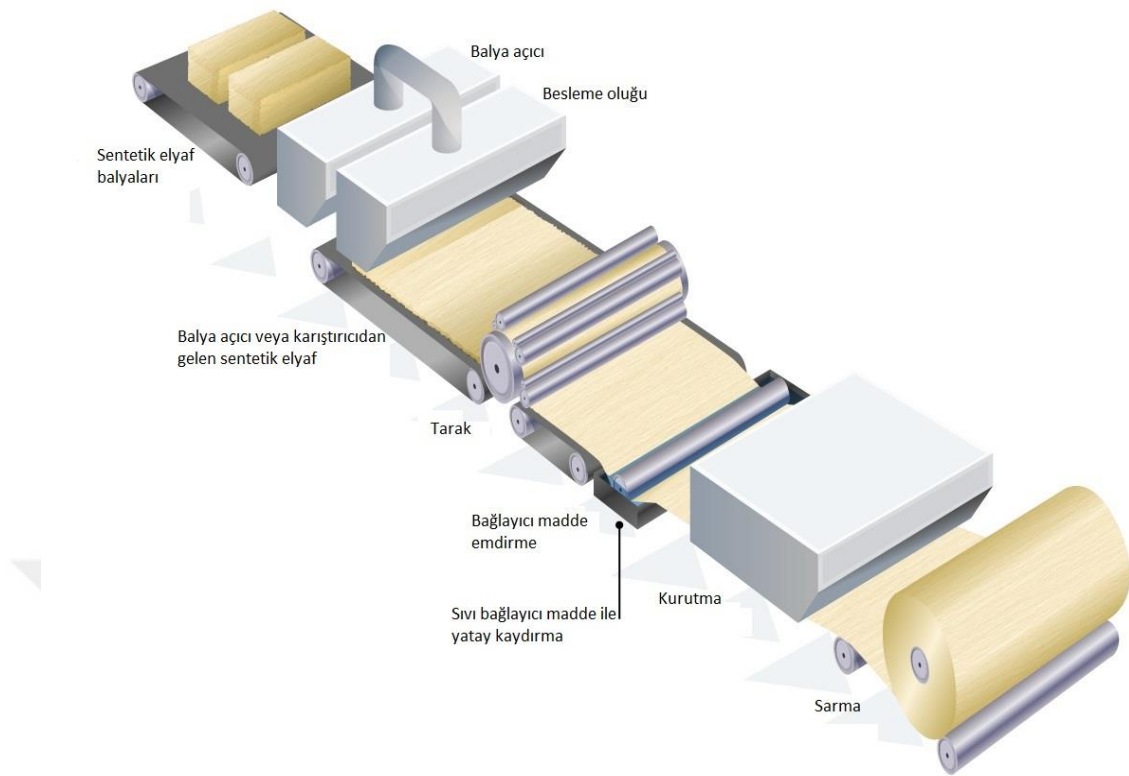
2.1.1. Kuru serme (drylaid) yöntemi

Kuru serim yönteminin iki çeşidi vardır:

- Taralama (carding) yöntemi
- Havalı serme (airlaying) yöntemi

A. Taralama (carding) Yöntemi

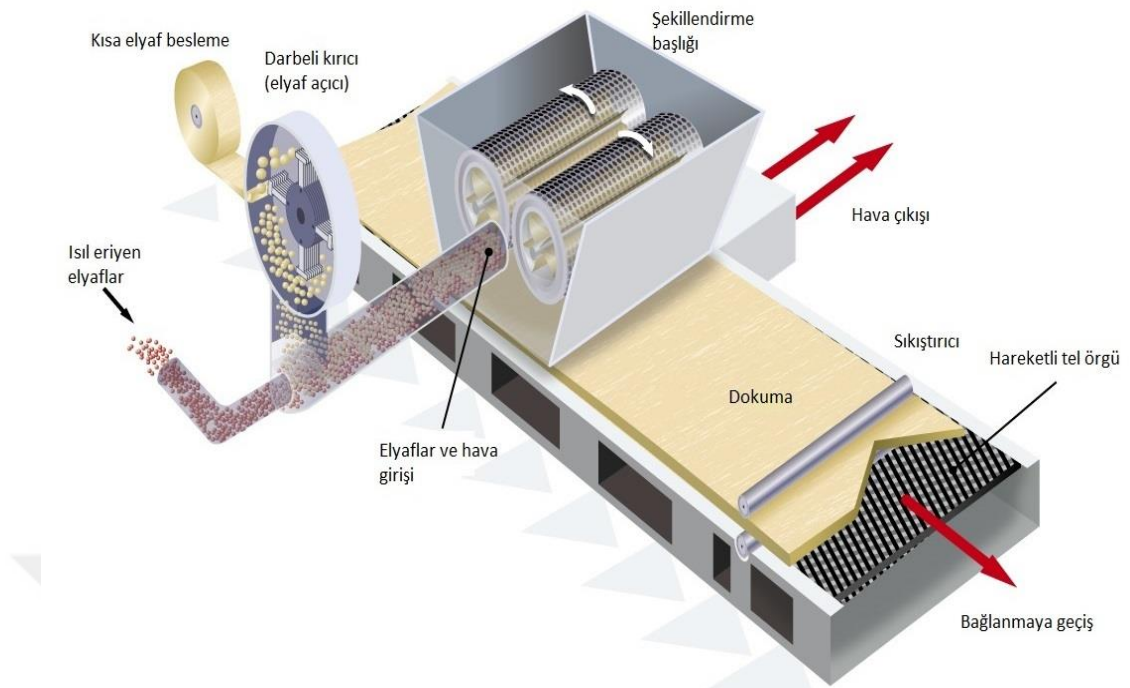
Taralama, harmanlanan fiberlerin bir sonraki aşamaya hava ile taşınmasıyla başlayan mekanik bir işlemdir (Bkz. Şekil 2.1.). Taralamaya uygun fiber malzemeler arasında viskon/rayon, tencel, pamuk, polipropilen ve uzun kesimli polyester elyaflar bulunmaktadır (Rengasamy, 2014). Harmanlamadan sonra, ince teller veya dişlerle kaplı silindir serisine sahip olan bir taralama makinesi tarafından doku taranır. Tarakların belirli biçimleri, gereken kumaş ağırlığına ve elyaf yönlendirmesine bağlıdır. Fiberler makine hareketine paralel serilebilir veya makine hareketine çapraz yönde serilir. Makine yönünde serilmiş dokular iyi gerilme mukavemeti, düşük uzama ve düşük kopma mukavemetiyle sonuçlanırken, çapraz yönde serilmiş dokularda bu özelliklerin tersi gerçekleşir. (<https://www.edana.org>).



Şekil 2.1. Taraklama yöntemi üretim aşamaları

B. Havalı serme (airlaying) yöntemi

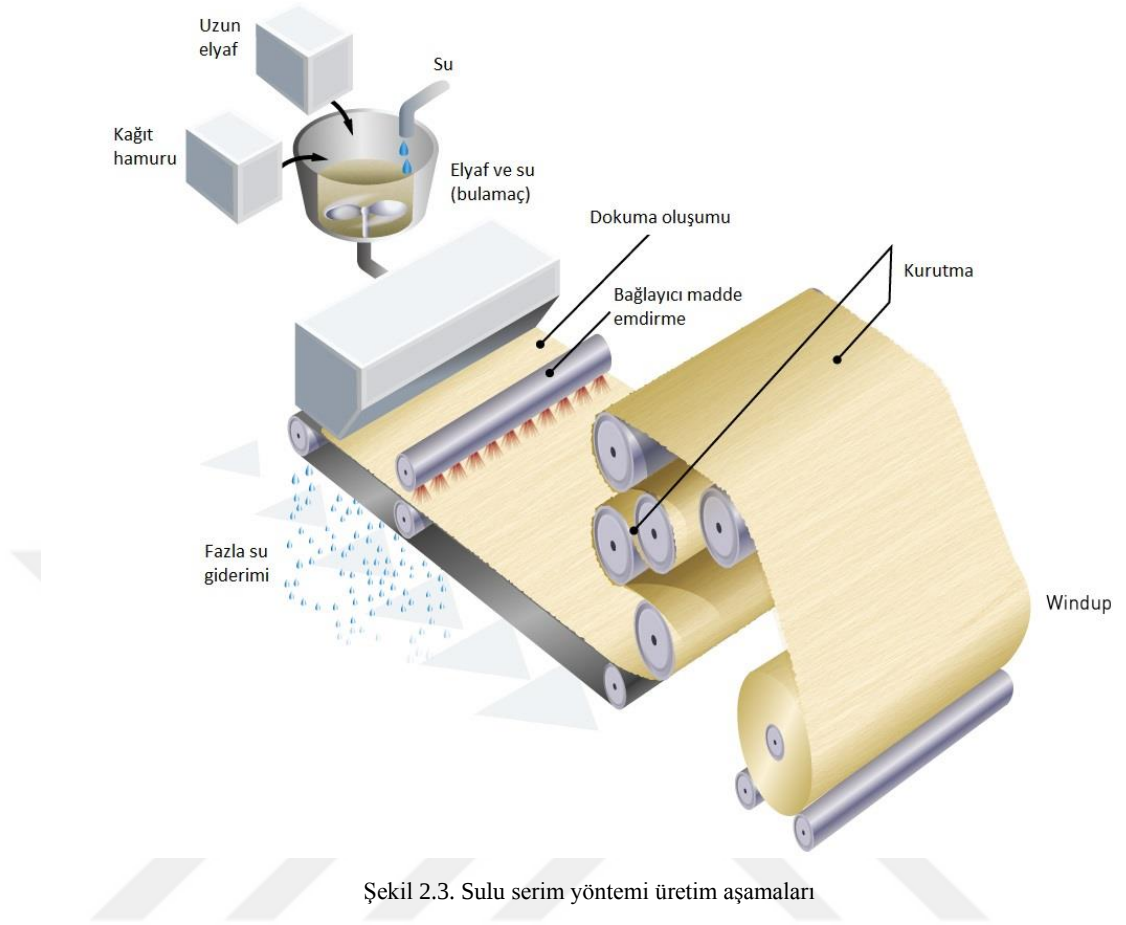
Havalı sermede, uzunlukları çok kısa olabilen elyaflar, bir hava akımı yardımıyla, rastgele yönlendirilmiş olarak hareketli bir banda veya delikli bir silindire beslenir (Bkz. Şekil 2.2.). Taranmış dokumalarla karşılaştırıldığında, havalı serme işlemi uygulanmış dokumalar daha yüksek bir yoğunluğa, daha fazla bir sertliğe ve tek katlı bir yapıya sahiptir. Havalı serme dokumaları, kullanılabilecek elyaf ve elyaf karışımları bakımından çok yönlülük sunar (<https://www.edana.org>). Havalı serme yöntemi kullanılan dokumalar, termal bağlanma, kimyasal (lateks) bağlanma veya suyla iğneleme yoluyla bağlanır. Lateks bağlanma en yaygın kullanılan işlemdir. Havalı serme yönteminde, yüksek enerji tüketimi, elyaf tutamlarının iyi açılmaması gibi dezavantajlı yönleri de bulunmaktadır (Duran,2004; Rengasamy,2014).



Şekil 2.2. Havalı serme yöntemi üretim aşamaları

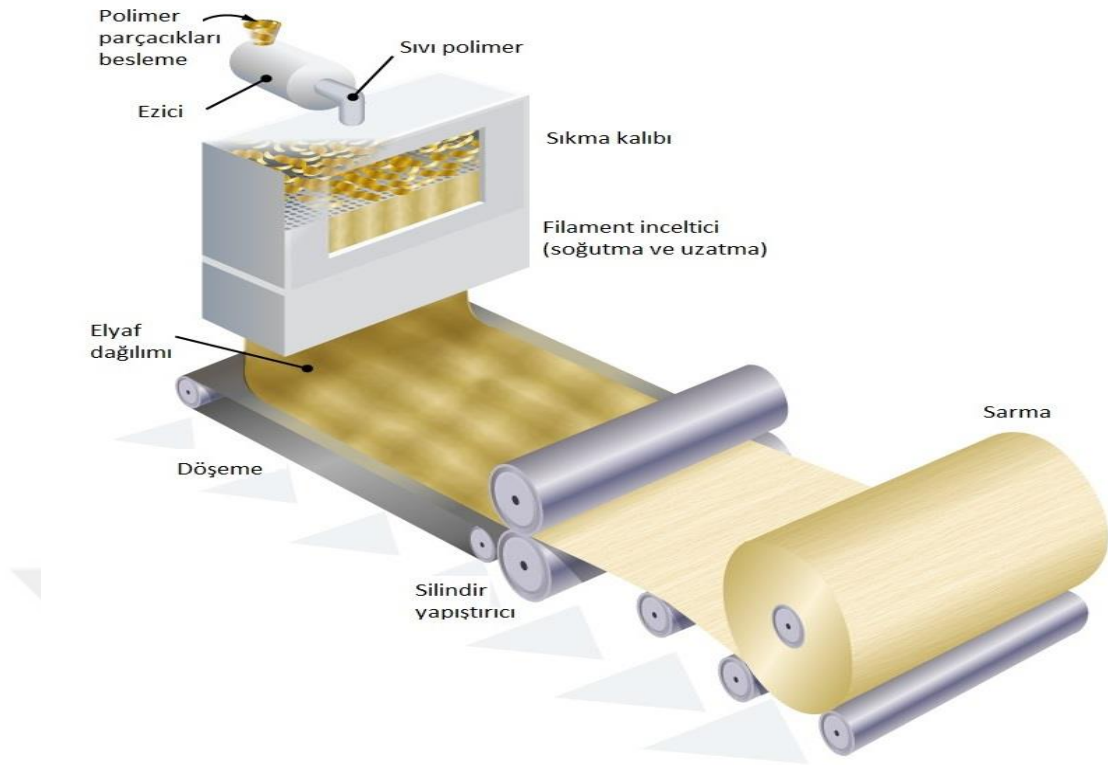
2.1.2. Sulu serim (wetlaid) yöntemi

Sulu serme prosesi, kağıt üretimine benzemektedir. Sulu serimle üretilen dokusuzlarda sentetik fiberlerin miktarları farklılık gösterir. Bu yöntemde göre, seyreltilmiş bir su ve elyaf bulamacı, hareketli bir tel ızgaraya serilir ve bir dokuma oluşturmak üzere çekilir. Dokuma, silindirler arasında sıkılarak susuzlaştırılır, birleştirilir ve kurutulur (Bkz. Şekil 2.3.). Bu yöntemde çeşitli uzunluklarda doğal, mineral, sentetik ve yapay elyaflar kullanılabilir (<https://www.edana.org>). Sulu serim yönteminde üretim hızının çok yüksek olması avantaj iken, dokunun kurutulması için gerekli olan enerji miktarının fazla olması da dezavantajdır (Gönül, 2013). Bununla beraber, ıslak mendillerin üretiminde en çok kullanılan yöntem sulu serim metodudur.



2.1.3. Eriyik çekim (spunlaid) yöntemi

Bu işlemde, polimer granülleri eritilir ve erimiş polimer iplik gözeneklerinden çekilir. Elde edilen kesintisiz filamentler homojen bir dokuma oluşturmak için bir taşıyıcıya beslenir. Başka elyaflarda aynı hazneye eklenir, ve oluşan karışım haznenin çıkışından çekilerek istenilen doku oluşturulur (Bkz. Şekil 2.4.). Eriyik çekim işlemi, dokusuz kumaşlara daha fazla güç verme avantajına sahiptir, ancak hammadde esnekliği daha kısıtlıdır (<https://www.edana.org>). Eriyik çekim işleminin üretim hızı çok yüksektir ve yaklaşık 600 m/dakika civarındadır. Eriyik çekim yönteminin ürünleri diğer metotlarda elde edilen ürünlere göre daha serttir (Rengasamy,2014). Bu nedenle, eriyik çekimle üretilcek ürünler, işleme alınmadan önce çok iyi çalışılmalıdır.



Şekil 2.4. Eriyik çekim yöntemi üretim aşamaları

2.1.4. Eriyik üfleme (meltblown) yöntemi

Eriyik üfleme doku oluşumu, düşük viskoziteli polimerlerin sıvı halde bir haznedeyken, buranın çıkışında bulunan gözeneklerden sıkılarak çıkmasıyla başlar. Daha sonra, gözeneklerden çıkan filamentleri soğutmak yerine, kısmen erimiş halde kalmaları için sıcak hava akımı gönderilir. Bu şekilde, gerilme ve kopma mukavemetleri düşük olan ince filamentlerin oluşması sağlanır. Filamentler, bir konveyör banta serilir ve istenilen doku oluşturur.

2.2. Islak Mendil Doku ve Elyaf Bağlanma Yöntemleri

Yukarıda belirtilen metotlara göre üretilen dokuların içerisindeki fiberler birbirine bağlanarak, ürünün fonksiyonel özellikleri tamamlanır. Fiber bağlama metodunun seçimi, dokumadaki elyafın temel özelliklerine (örneğin, boyu, yoğunluğu vs.) bağlıdır. Bu işlem için, aşağıdaki Tablo 2.2.'de belirtilen üç temel bağlanma metodu

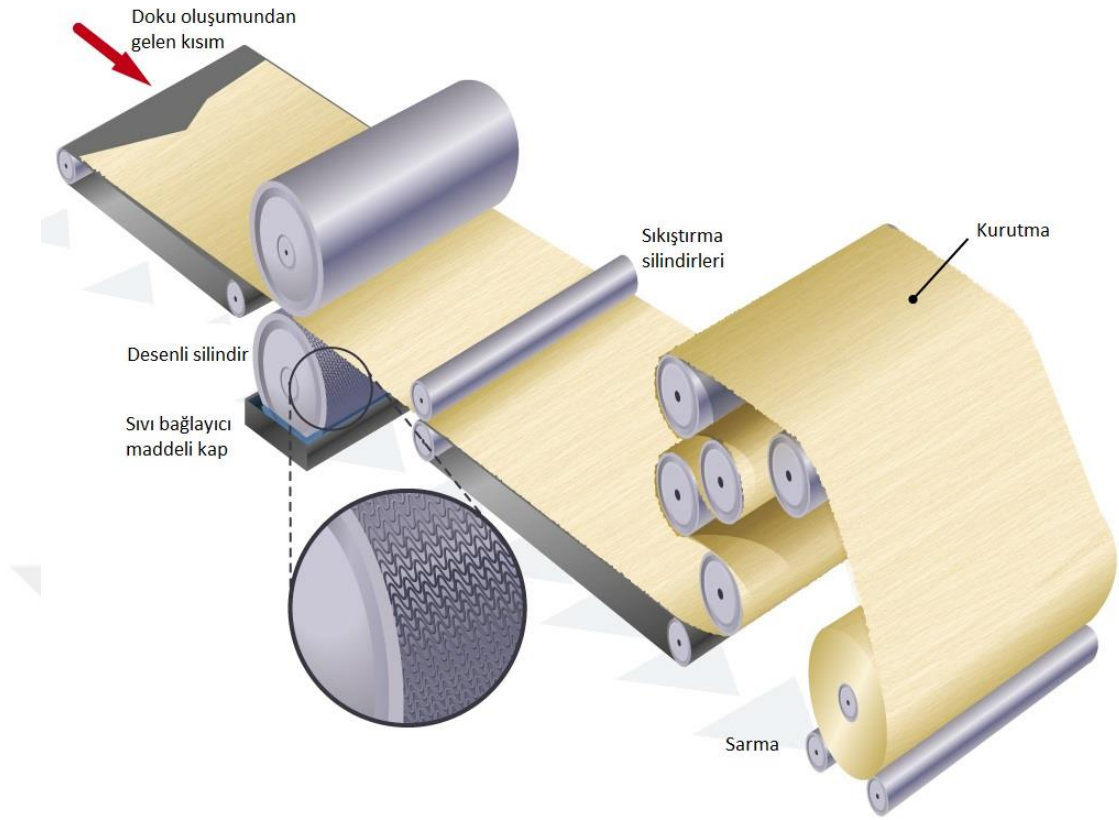
ve bu metotların alt kategorileri (çeşitleri) özetlenmektedir. Her bir işlemle ilgili özet bilgiler tablonun devamında sunulmaktadır.

Tablo 2.2. Doku ve elyaf bağlanma yöntemleri ve çeşitleri

Doku Bağlanma Yöntemleri	Çeşitleri
Kimyasal bağlanma	Kullanılan fiberlere ve kimyasal maddelere göre değişmektedir
Termal bağlanma	A-Kalenderleme B-Sıcak hava ile yapıştırma C-Sonik bağlama
Mekanik bağlanma	İğnelemeyle bağlama Su jeti ile bağlama

2.2.1. Kimyasal bağlanma (adezyon bağlanma)

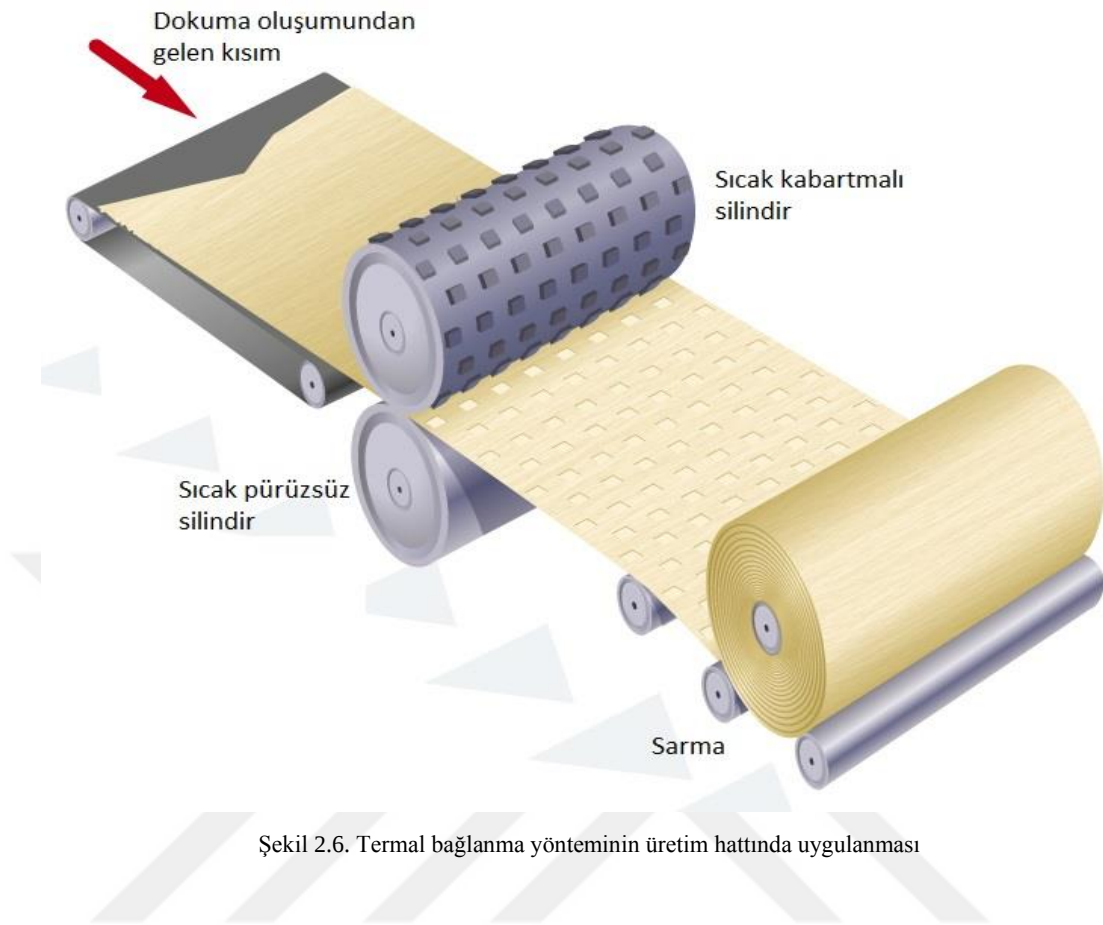
Kimyasal bağlanma esas olarak sıvı bazlı bir yapıştırıcı maddenin doku malzemesine uygulanmasını ifade eder. Genellikle kullanılan bağlayıcılar, akrilat polimerleri ve ko-polimerleri, stiren-bütadiyen ko-polimerleri ve vinil asetat etilen ko-polimerleridir. Su bazlı bağlayıcı sistemler en yaygın kullanılır, ancak toz haline getirilmiş yapıştırıcılar, köpük ve bazı durumlarda organik çözücüler de karışıma ilave edilebilir. Bağlayıcıyı uygulamanın birçok yolu vardır. Örneğin, kimyasal madde dokuya emdirilerek, kaplanarak, püskürtülerek veya aralıklı olarak homojen bir şekilde uygulanabilir. Bu işlemler aşağıdaki Şekil 2.5.' te gösterilen örnek sistem üzerinde gerçekleştirilir.



Şekil 2.5. Kimyasal bağlanma için geliştirilen yöntemlerin üretim hattında uygulanması

2.2.2. Termal bağlanma (kohezyon bağlanma)

Bu yöntem, kontrollü ısıtma altında bağ oluşturmak için bazı sentetik elyafların termoplastik özelliklerini kullanır. Dokuma elyaflarının, erime noktası düşük olan bir elyaflardan seçilmesi, veya iki bileşenli bir elyafların dokunun içerisinde kullanılması halinde, dokuya ısıtma işlemi uygulanarak bağlanma sağlanır. Kullanımda olan birkaç termal yapıştırma sistemi vardır. Kalenderleme, elyaf ağlarını hızlı bir şekilde birbirine kaynaklamak için silindirlere uygulanan ısı ve yüksek basıncı kullanır. Bu yöntemin genel çalışma prensipleri aşağıdaki Şekil 2.6.'da sunulmaktadır. Sıcak hava yoluyla yapıştırma tekniği, düşük erime elyafı içeren bir dokumanın sıcak hava verilerek bağlanmasıdır. Benzer şekilde, sonik bağlanma, desenli bir silindir altında tutulan elyafların üzerine yüksek frekanslı enerji verilerek (sonikasyon) elyafların içten ısınması, yumuşatılması ve bağlanması metodudur (<https://www.edana.org>).



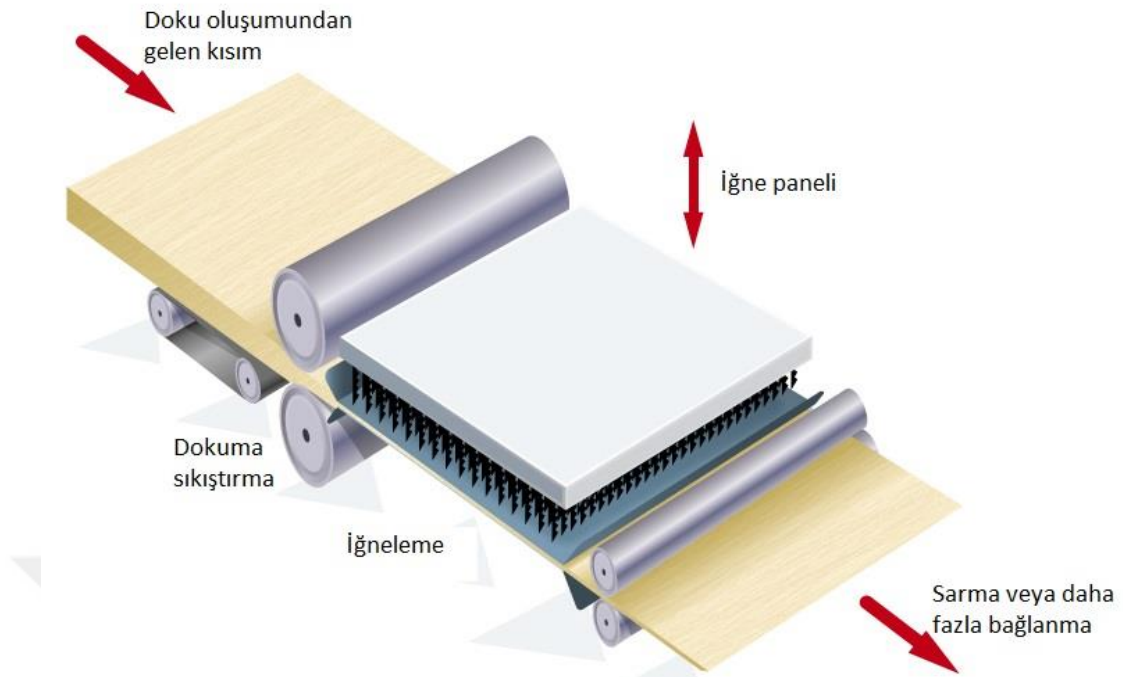
2.2.3. Mekanik bağlanma

Mekanik bağlanmada, elyaflar fiziksel olarak birbirlerine dolandırılır. İki önemli mekanik bağlanma türü vardır:

- A. İğneleme (needlepunching)
- B. Su jeti (hydroentanglement)

A. İğneleme (needlepunching) yöntemi

İğneleme yönteminde, özel olarak tasarlanmış bir panel üzerinde bulunan iğneler, elyafları birbirine dolamak için ağına içine basılır ve çekilir. Bu işlem dakikada yüzlerce defa tekrarlanarak dokunun dayanıklılığı ve sağlamlığı artırılır. İğneleme metodunun üretim hatlarındaki uygulaması aşağıdaki Şekil 2.7.'de özetlenmektedir.



Şekil 2.7. İğneleme yönteminin üretim hattında uygulanması

B. Su Jeti (hydroentanglement) Yöntemi

Su jeti ile elyaf bağlama metodu, sulu serim yöntemiyle meydana getirilen dokular için uygundur. Bu yöntemde, elyafların birbirine karışmasına neden olmak için yüksek basınçlı sular çok ince deliklerden (çap = 100 mikrometre) substratın üzerine püskürtülür. Kullanılan su jeti basıncı, dokumanın dayanımı üzerinde doğrudan yırtıcı bir etkiye sahiptir, bu nedenle, substratlarda çok sağlam elyafların (mekanik kuvveti yüksek elyafların) kullanılması veya ilave edilmesi şarttır.

2.3. Kanal İşletim Problemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde, kanalizasyon sistemlerine bırakılan katı maddelerin taşınımı, parçalanması, ve diğer atıklarla etkileşimleri hakkında yapılan çalışmalar kronolojik sırayla özetlenmektedir. Bu bilgilerin ışığı altında, bu çalışmanın özgün değerine işaret eden hususlar bu bölümün son kısmında arz edilmektedir.

Verbanck (1995), kanalizasyon hattında toplanan katı maddelerin kaynaklarını ve bunların oluşturduğu etkileri araştırmıştır. Borularda çöken kum ve tozların anaerobik sedimentler oluşturduğu gözlenmiştir. Borularda oluşan sedimentlerde, sülfat indirgeyici bakteriler, atıksudaki sülfatı (SO_4^{2-}) bisülfide (HS^-) dönüştürdüğü, ve düşük pH'lı durumda, bisülfidin ölümcül gaz olan hidrojen sülfüre (H_2S) dönüştüğü gözlenmiştir. Hidrojen sülfürün bakteriyel oksidasyonu sonucu oluşan sülfirik asidin borularda korozyona sebep olduğu belirtilmiştir. Kanalizasyon borularında belirli periyotlarda yapılan yıkama işlemi ile bu problemin giderilmesi tavsiye edilmektedir [1].

Brown ve ark. (1996), kanalizasyon borularındaki su akışının simulasyonu için kullandıkları modele yeni bir modül ilave edilerek, atık tuvalet kağıtlarının atıksu borularındaki akışının simulasyonu ortaya konmuştur. Bu modelleme çalışmasından elde edilen verilere göre, tuvalet kağıtları ilk sifon hareketiyle evlerin atıksu borularında belirli bir yere kadar ulaşmaktadır. Daha sonra, yeni gelen su dalgaları ile bir miktar daha ilerleyerek, su akımının daha fazla olduğu bir noktaya (sokak boruları gibi) taşınmaktadır. Ancak, tuvalet kağıtları su hızının aniden düştüğü noktalardan biri olan sokak bacalarında (manhole), birikim yapmaktadır [2].

Vollertsen ve ark. (1999), sıcaklık ve çözünmüş oksijenin, kanalizasyon borularında çökelen organik maddelerin hidrolizine etkilerini incelemişlerdir. Organik katı maddelerin hidrolizinin sıcaklıkla beraber hızlandığı, aerobik mikroorganizmaların sudaki çözünmüş organik maddeleri parçalaması sonucu tükenen çözünmüş oksijenden dolayı kanalizasyon hatlarında anaerobik proseslerin oluştuğu sonucuna varılmıştır [3].

Ahyerre ve ark. (2000), kanalizasyon borularında çökelen tanecikleri ve bunların kaynaklarını araştırdılar. Bu çalışmada, farklı noktalardan sediment numuneleri alınan 150 m uzunluğundaki kanalizasyon borusunda çökelen taneciklerin yapısal karakterizasyonu belirlenmiştir. Buna göre, hızlı çökelererek bir yatak oluşturan inorganik taneciklerin üzerinde oluşan mikrobiyal biyofilm tabakasının, üzerinde de organik kirleticilerin çökeldiği gözlemlenmiştir. İnorganik taneciklerin içerik olarak

metal çökelekleri oldukları tespit edilmiştir. İnce bir katman olan biyofilm tabakasının kalınlığının boru boyunca farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Biyofilm tabakasının üzerinde biriken organik maddelerin %70-80 oranında uçucu organiklerden oluştuğu ve zamanla toplam kütlelerinin arttığı gözlemlenmiştir [4].

Littlewood ve Butler (2003) ile Butler ve ark. (2005) kullanılmış tuvalet kağıtlarının atıksu borularındaki ilerleyişini su akış hızına ve boru çapına bağlı olarak incelemiştir. Bu çalışmalarda, sabit debide boru çapı arttıkça akış hızının azalmasından dolayı, kağıtların boru tabanında biriktiği ve kayarak ilerlediği gözlemlenmiştir. Zamanla biriken tuvalet kağıtları bir set oluşturarak gelen suların ilerlemesini engellemiştir. Bu suyun uyguladığı kuvvetle biriken tuvalet kağıtlarının kayarak ilerlediği ifade edilmiştir. Tıkanma probleminin giderilmesi için düşünülen boru çapının artırılması boru içerisindeki su seviyesini azaltacağı için dezavantaj sağlayarak birikimlerin ve tıkanmaların artmasına neden olmuştur. Bu sebeple, boruların belirli periyotlarla su jeti ile temizlemesi tavsiye edilmiştir [5,6].

Ashley ve ark. (2004), kanalizasyon hatlarındaki katıların karakteristik özelliklerini, kanalizasyon sistemine etkilerini ve kontrol mekanizmalarını incelemiştir. Buna göre, kum gibi yoğunluğu sudan büyük olan taneciklerin hızlı bir şekilde çöküp sediment haline geldiği, ve yoğunluğu suya yakın olan katıların ise suyla birlikte taşındığı gözlemlenmiştir. Kanalizasyon sistemlerinde yapılan düzenli bakım ve temizlik çalışmalarının borularda oluşan birikimleri engelleyeceği belirlenmiştir [7].

Keener ve ark. (2008), atıksulara karışan yemek yağları ile sudaki metal iyonlarının (Ca^{2+} , Mg^{2+}) birlikte boru tabanında çökerek çok sert katı maddeler oluşturduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, He ve ark. (2013) bu çökeleklerin kanalizasyon borularındaki oluşum mekanizmalarını araştırmışlardır. Özellikle beton boruların Ca ve Mg gibi iyonların kaynağı olması nedeniyle, katı çökelek oluşumunun plastik borulara göre beton borularda daha fazla meydana geldiği vurgulanmıştır. İlgili çökeleklerin oluşumunda oleik, palmitik, ve linoleik yağ asitlerinin büyük rol aynadığı ve bu asitlerin evlerde kullanılan tüm sıvı yağlarda bulunduğu ifade edilmiştir. Konuyla ilgili olarak, Williams ve ark. (2012) bu tür çökeleklerin sulardaki sertlikle

orantılı şekilde oluştuğunu gösteren bir çalışma ortaya koymuşlardır. Kanalizasyon borularından alınan numunelerde yapılan analizler, palmitik ve oleik yağ asitlerinin çökeleklerdeki ana maddeler olduğunu göstermiştir [8,9,10].

Karadagli ve ark. (2009), klozetlere atılabilecek ürünlerin kanalizasyon sistemlerindeki parçalanmasıyla ilgili teorik ve matematiksel modelleme çalışmaları gerçekleştirmiştir. Teorik çalışmalara göre, bu atıkların sularda parçalanması, sudaki türbulans şartları ile ürünlerin mekanik mukavemetine bağlıdır. Sulardaki türbulans Reynold's sayısı ile temsil edilirken, ürünlerin mukavemeti parçalanma deneyleri yapılarak tespit edilmiştir. Geliştirilen teorik yaklaşım ve matematiksel model farklı hijyenik ürünler (tampon gibi) kullanılarak test edilmiştir (Karadagli ve ark. 2012). Elde edilen sonuçlar, matematiksel modelin ve teorinin ilgili ürünlerin kanalizasyondaki davranışlarını takip edebilmek için kullanılabileceğini ortaya koymuştur [11,12].

Eren ve Karadagli (2012) tuvalet kağıtlarının sınıflandırılması, ve kanalizasyon sistemlerindeki parçalanma davranışları ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, dünyanın farklı yerlerinden elde edilen tuvalet kağıtlarının fiziksel özellikleri (kalınlık, özgül hacim, vs.) belirlenmiş, ve bu bilgilere göre kağıtlar yüksek kaliteli ve orta kaliteli olarak iki ana sınıfta kategorize edilmiştir. Daha sonra, her iki sınıftan birer numune alınarak, sulardaki parçalanma davranışları test edilmiştir. Bu çalışmalarda, Karadagli ve ark. (2009)'nın geliştirmiş olduğu matematiksel model, tuvalet kağıtlarının parçalanma davranışlarını simule etmek için uyarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, yüksek kalite grubundaki ürünlerin yavaş şekilde parçalandığını göstermiştir. Buna karşılık, orta kalite grubundaki ürünlerin kanalizasyon sistemlerinde daha hızlı parçalandığı gösterilmiştir [13].

Kim ve Hergeth (2012) 'klozete atılabilir' ibaresi taşıyan ürünlerin gelecekteki durumlarıyla ilgili endüstriyel bir yol haritası oluşturmuştur. Bu çalışmada pazar payları, teknolojik altyapı, standardizasyon, ve yasalar/yönetmelikler gibi ana konular araştırılmıştır. Buna göre, bu ürünlerle ilgili her ülkenin standardizasyon ve yönetmelik geliştirmesi gerektiği belirlenmiştir. Bu nedenle, üretici firmaların

ürünleriyle ilgili klozete atılabilirlik iddialarını gözden geçirmeleri, ve bu iddiaları bilimsel çalışmalarla desteklemeleri önerilmiştir [14].

Tang ve Jin (2013), selülozik ve plastik fiberler kullanılarak üretilen ve klozete atılabilir olduğu iddia edilen bir kompozit tekstilin sularda parçalanmasını çalışmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalara göre, karıştırma hızının ve karıştırma süresinin parçalanmada etkili olduğu vurgulanmıştır [15].

Jiang ve ark. (2015), kanalizasyon borularındaki korozyon ve koku problemleriyle ilgili bir literatür araştırması yayınlamışlardır. Borularda sülfat indirgeyici mikroorganizmaların sulfatı indirgeyerek hidrojen sulfur (H_2S) oluşturması, ve bu molekülün sülfirik asite (H_2SO_4) dönüşmesiyle borularda korozyon oluşturacağı bilinmektedir. H_2S aynı zamanda ciddi koku problemine yol açmaktadır. Bu problemleri azaltmak için, içme sularındaki sülfat miktarına dikkat edilmesi, ve 20 mg/L altında tutulması tavsiye edilmiştir. Gelecek yıllarda, su tüketiminin azalma eğilimi gösterebileceği ihtimaliyle, atıksu hatlarında kirlilik yükünün daha da yoğunlaşacağı belirtilmiş, ve böylece, koku ve korozyon problemlerinin daha sık meydana geleceği söylenmiştir. Bu sebeple, kanalizasyon sistemlerinin bilgisayar programları ve sensörler yardımıyla düzenli şekilde izlenmeye alınması, ve sıcak noktalara özellikle dikkat edilmesi vurgulanmıştır [16].

Pandey ve ark. (2016), kanalizasyon borularında koku problemi oluşturan ana maddeleri tespit etmeyi denemişlerdir. Kore'nin Seul şehrinde nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu noktalardaki sokak bacalarında gaz ölçümleri yapılarak, kokuya neden olan maddeler bu çalışmada belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda, hidrojen sülfür (H_2S), metil sülfid (CH_3SH), amonyak (NH_3), uçucu yağ asitleri, ve fenol molekülünün kanalizasyon sistemlerinde başlıca koku yapıcı maddeler olduğu tespit edilmiştir [17].

Shahsavari ve ark. (2017), kanalizasyon borularında biriken katıların taşınımını sağlamak için, boruların içine ve uygun noktalara bir metal kapak koyulmasını teklif etmişlerdir. Bu kapak sayesinde atıksular boru içerisinde biriktirilerek; daha sonra, kapağın açılmasıyla birlikte, boru içerisinde biriken katıların taşınımı sağlanmıştır. Yapılan testler sonucunda, küçük çaplı taneciklerin kapağın açılması sonucu boşalan

suyla birlikte taşındığı, ama büyük çaplı taneciklerin (küçük taş vb.) yeniden ve yakın mesafede çökelediği gözlemlenmiştir. Bu şekilde borularda yeniden oluşan sedimentler aralıklı bir yapıya sahip olup, büyük çaplı taneciklerden oluşmuştur. İlgili kapakların sokak bacalarındaki giriş borularının önüne inşa edilmesi, ve bilgisayar yardımıyla uzaktan açılıp kapanmasının uygun bir çözüm olacağı ifade edilmiştir [18].

Campisano ve ark. (2019), kanalizasyonda yıkama işlemi sırasında üniform ve birleşik olmayan sediment karışımlarının taşınmasının simülasyonu için yeni bir matematiksel model geliştirdiler. Bu model kullanılarak, Paris şehri kanalizasyon sisteminde çökelem yapan kaba çökeltilerin yıkanma yoluyla giderilmesi için simülasyon çalışmaları yapıldı. Bu model tahminleri kullanılarak, kanal yatağında biriken çökeltilerin minimum maliyetle giderilmesi sağlanmıştır. [19].

Durukan ve Karadağlı (2019), “klozete atılmayan” (non-flushable) mendillerin, “klozete atılabilir” (flushable) mendillerin ve tuvalet kağıtlarının (TK) fiziksel özellikleri, lif bileşimleri ve gerilme özelliklerini tespit ettiler. Klozete atılabilir, klozete atılamaz ve TK'ların yaprak kütleleri sırasıyla 1.5, 1.5, 0.5 g; yaprak başına yüzey alanları 250, 300 ve 120 cm² ; kalınlıkları sırasıyla 360, 370 ve 160 µm ; ve yaprak başına hacimlerinin 9.2, 11, 1.9 cm³ olduğunu tayin ettiler. TK'ları sadece bitki bazlı liflerden yapılmışken, ıslak mendiller, hem bitki bazlı, ve hem de rejenere edilmiş selüloz (RC) elyaflarından oluşmuş olduğunu belirlediler. Rejenere elyaf miktarı % 100'e kadar çıkabilmekte, ancak farklı ürünlerde çeşitli oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Bu ürünlerin kopma gerilmeleri (Fmax), kuru TK'lar için ortalama 3 N, ve ıslak TK'ları için 0,26 N olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, ortalama Fmax değerleri kuru ıslak mendiller (klozete atılabilenler) için 7 N ve bunların ıslak yaprakları için 5,9 N olarak tespit edilmiştir. Islak durumlarda, TK'lar güçlerini ortalama % 91 oranında kaybederken, klozete atılabilen mendillerin ıslak hallerindeki güç kayıpları çeşitli derecelerde olmuştur. Örneğin, bazı mendillerde % 25 oranında ıslak mukavemet kazanırken, bazılarında % 90 oranında güç kaybı gözlemlenmiş, ve ortalama güç kaybının % 29 oranında olduğu belirlenmiştir. Buna göre, klozete atılabilir mendillerde sentetik veya rejenere selüloz gibi elyafların kullanılması

halinde, ıslak mendillerin kanalizasyon sistemlerinde operasyonel sorunlara neden olacağı ifade edilmiştir. [20].

Yukarıda sunulan literature bilgilerinin ışığı altında, bu tez çalışmasının özgünlüğünü gösteren özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Islak mendillerin kullanım amaçlarının farklılığından dolayı bir çok çeşidi bulunmaktadır. Islak mendil üretiminde kullanılan fiber türleri de sentetik, doğal veya bu ikisinin kombinasyonları şeklinde olmaktadır. Kullanılan bu sentetik lifler nedeniyle, ıslak mendiller kanalizasyon sistemlerinde parçalanmamakta ve tıkanıklığa sebep olmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan literatür araştırması sonucunda kanalizasyon sistemlerinin tıkanması üzerine bir takım çalışmaların olduğu anlaşılmaktadır. Ancak ıslak mendillerin kanalizasyon sistemlerindeki taşınım ve parçalanma davranışları üzerine yapılan çalışmaların bulunmadığı görülmektedir. Bu nedenle, bu çalışma literatürdeki önemli bir boşluğu dolduracak niteliktedir.

Hijyenik ürünlerin kanalizasyon sistemlerinde oluşturduğu tıkanma problemleriyle ilgili yapılan çalışmaların çok az sayıda olduğu görülmektedir. Bu çerçevede, Eren ve Karadağlı (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışma TK'larının parçalanma davranışlarını incelenmiştir, ancak ıslak mendil gibi ürünleri değerlendirmemiştir. Konuyla ilgili bu çalışma yine grubumuzun üyeleri (danışmanım ve jüri üyemiz Dr. Eren) tarafından gerçekleştirildiği için, bu çalışmada izlenen yöntemler ıslak mendiller için bu tez çalışmasında faydalı şekilde değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, bu çalışmada ıslak mendillerin atıksu sistemlerindeki davranışları ve parçalanmaları üzerine yeni çalışmalar yapılarak, ve elde edilen yeni bilgiler literature kazandırılacaktır. Islak mendillerin parçalanması hem deneysel çalışmalarla ve hem de matematiksel modelleme yoluyla incelenecektir. Deneysel sonuçların analizleriyle ürünlere ait parçalanma hız katsayıları tespit edilerek literature kazandırılacaktır. Bu çerçevede, ıslak mendillerin kanalizasyon sistemlerindeki davranışlarının simülasyonu ve parçalanma davranışları hakkında ortaya çıkarılan bilgiler, bu tezin özgünlüğünü gösteren bilimsel kazanımlardır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılan Numuneleri Seçme Yöntemi

Eren ve Karadağlı (2012) dünyanın farklı bölgelerinden elde edilen tuvalet kağıtlarının fiziksel özelliklerini (kalınlık, özgül hacim vs.) belirleyerek, ilgili ürünleri fiziksel özelliklerine göre kategorize etmiştir. Benzer şekilde, Durukan vd. (2019) tuvalet kağıtlarının ve ıslak mendillerin (klozete atılabilir, veya klozete atılamaz türleri) fiziksel özelliklerini, fiber kompozisyonlarını, ve kopma gerilmelerini belirlemiş, ve ilgili ürün grupları arasında karşılaştırmıştır. Bu bilgilere paralel olarak, dünyanın bir çok ülkesinde uygulanan ve çevresel kaynaklara duyarlı ürün geliştirilmesini hedefleyen eco-label programlarının kriterleri incelenmiştir. Örneğin, Nordic Swan eco-label standartları İskandinavya ülkeleri arasında kullanılmaktadır. Bu standartlara göre, tuvalet kağıtlarının ıslak-kopma kuvvetleri (wet strength), kuru-haldeki kopma kuvvetlerinin ancak %5'i kadar olmalıdır. Yani, tuvalet kağıtları kuru haldeki güçlerinin %95'ini ıslak durumda kaybetmelidir. Yine bu eco-label standartlarına göre, tuvalet kağıtlarının üretiminde fiberleri bağlayıcı kimyasal maddeler kullanılmamalıdır.

Bu çalışmada kullanılan numuneler yukarıda verilen bilgilerin ışığı altında seçilmiştir. Kısaca, ilgili numunelerin temel özellikleri aşağıdaki Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmalarda kullanılan numuneler

Numune	Fiber kompozisyonları	Sertifikaları
TK-1	Seluloz (% 100)	Nordic Swan
TK-2	Seluloz (%100)	---
IM-1	Rejenere seluloz ve seluloz	---
IM-2	Rejenere seluloz ve seluloz	---

3.2. Numunelerin Sulara Parçalanma Testlerinde Kullanılan Deney Düzeneği ve Su Akış Koşulları

Islak mendillerin sulara parçalanma testleri aşağıdaki şekilde gösterilen düzenek ile gerçekleştirilmiştir.

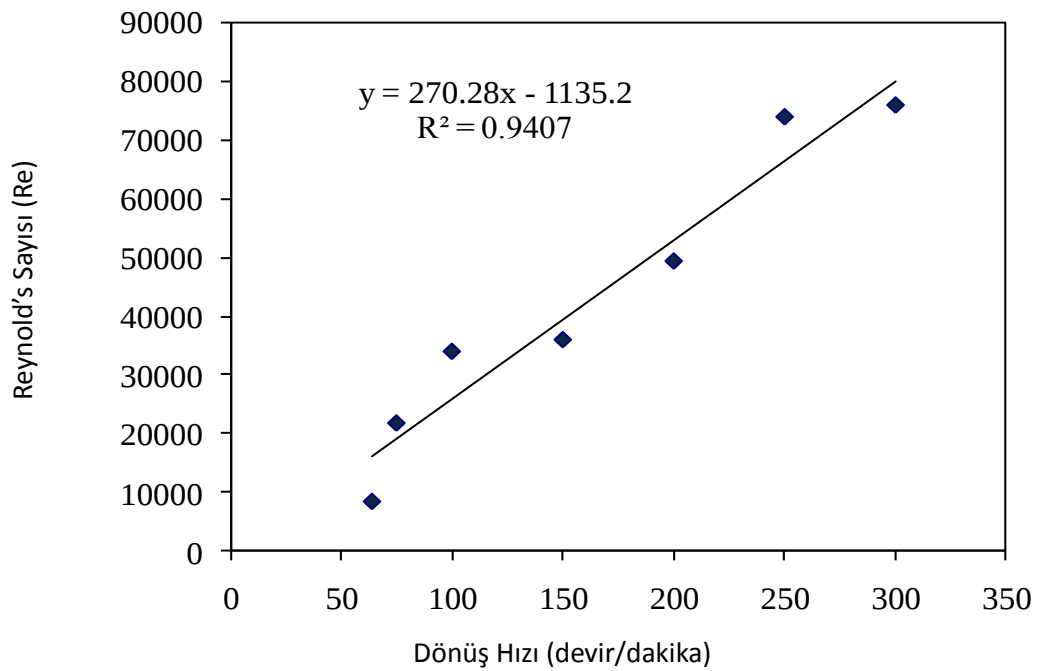


Şekil 3.1. Orbital karıştırıcı ve 2,8 L hacimli Fernbach erlenleri

Parçalanma deneyleri için, Şekil 3.1.'de sunulan düzeneğin üzerindeki Fernbach erlenlerinin her birinin içerisinde 1 L su ve 1 yaprak numune koyulmuştur. Daha sonra, karıştırıcı belirli bir hızda karışacak şekilde ayarlanarak, deneyler başlatılmıştır. Deney düzeneğinin karışması sırasında, numunelerin fiziksel parçalanması sudaki türbülans seviyesine ve ıslak mendillerin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu hususla ilgili teorik çalışmalar ve teyit çalışmaları, Karadagli ve ark. (2009) tarafından

gerçekleştirilmiştir. Karadağlı ve ark. tarafından geliştirilen teorik yaklaşım, bu çalışma kapsamında ıslak mendillerin parçalanmasını araştırmak için uygulanmıştır.

Buna paralel olarak, Karadağlı ve ark. (2012), deney düzeneğinde su akımının farklı karıştırma hızlarında (65-300 devir/dakika) oluşturduğu türbülans seviyelerini Reynold's sayısı olarak tespit etmişlerdir. Bu doğrultuda, FLOW3D® yazılımı kullanarak çalkalama işleminin simülasyonu yapılmış ve farklı dönüş hızlarındaki Reynold's sayıları hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçları kullanılarak, çalkalayıcının dönüş hızı ile erlen içindeki su hareketinin Re sayısı arasında doğrusal bir ilişki olduğu, ve bu ilişkinin matematiksel olarak, $Re = 270,28 \cdot (\text{devir/dakika}) - 1135,2$ denklemi ile ifade edilebileceği gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Reynold's sayısının dönüş hızına göre değişim grafiği

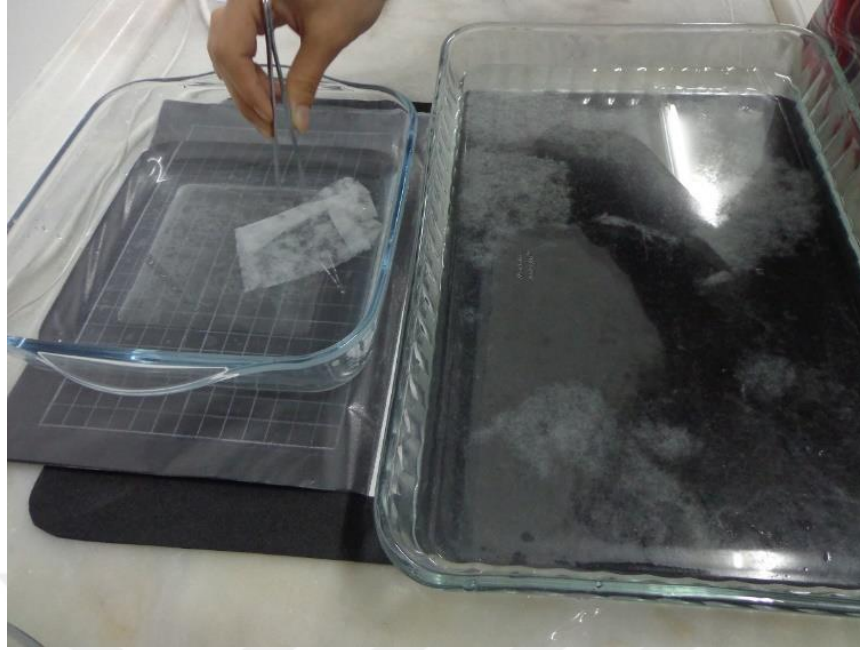
Yapılan deneysel çalışmaların gerçek kanalizasyon sistemlerindeki akış koşullarını ve türbülans değerlerini temsil etmesi için, kanalizasyon sistemlerinin kritik bölümlerindeki (örneğin, bina ve ev bağlantıları gibi) su akış hızları ve türbülans seviyeleri Re sayısı olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, $Re = 20000 - 25000$ civarında olan türbülans koşullarının bina bağlantılarını ve küçük çaplı sokak

borularındaki su akışını temsil edeceği genel olarak kabul edilmektedir. Bu Re değeri, deney düzeneğinde kullanılan 100 devir/dakikalık çalkalama hızına karşılık gelmiştir. Kısaca, $Re = 270,28 \cdot (100 \text{ devir/dak}) = 1135,2 = 25900$ şeklinde hesaplanmıştır. Bu nedenle, karıştırıcının dönüş hızı 100 devir/dakika olarak seçilmiştir.

İlgili deneyler sırasında, numunelerin parçalanması zamana bağlı olarak izlenmiştir, ve uygun zaman aralıklarında çalkalıyıcı durdurularak, bir erlenin muhtevası bir cam tepsiye boşaltılmıştır. Bu tepsi içerisindeki küçük boyutlu katılar boyutlarına göre ayrıştırılarak, farklı kaplarda biriktirilmiştir.

3.3. Parçacıkların Ayrıştırılması

Fiziksel olarak parçalanmış ıslak mendiller Şekil 3.3.'te görünen düzenek yardımıyla ebatlarına göre ayrıştırılmıştır. Parçacıklar cımbız yardımıyla, içinde belirli bir miktar su koyulmuş cam kaplara taşınmıştır. Parçacıkların boyutları, kapların altında bulunan 25 mm, 12,5 mm, 6 mm ebatlı kareli karton yapraklar yardımıyla teyit edilmiştir. Bu şekilde, orta ve küçük boyutlu parçacıklar 4 farklı gruba ayrılmıştır. Büyüklüğü 6 mm'den küçük olan parçacıklar atıksu arıtma tesislerine kabul edildiği için, parçalanmanın tanımlanmasında bu sınır değeri kullanılmıştır. Buna göre, bir numunenin %100 parçalanması, tüm parçacıkların 6 mm'den küçük olması anlamına gelmektedir. Benzer şekilde, ana ürün >25 mm boyutuyla temsil edilirken, orta ve küçük parçacıklar sırasıyla, 12,5 – 25 mm, ve 12,5 - 6 mm parçacık boyutlarıyla temsil edilmiştir. Bu çerçevede, ayrıştırılan parçacıklar filtrasyon işlemine tabi tutulmuş, ve katı parçacıkların filtre kağıtlarıyla süzülmesi ve toplanması sağlanmıştır. Daha sonra, filtre kağıtları kurutulularak, her bir boyut aralığındaki parçacıkların kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

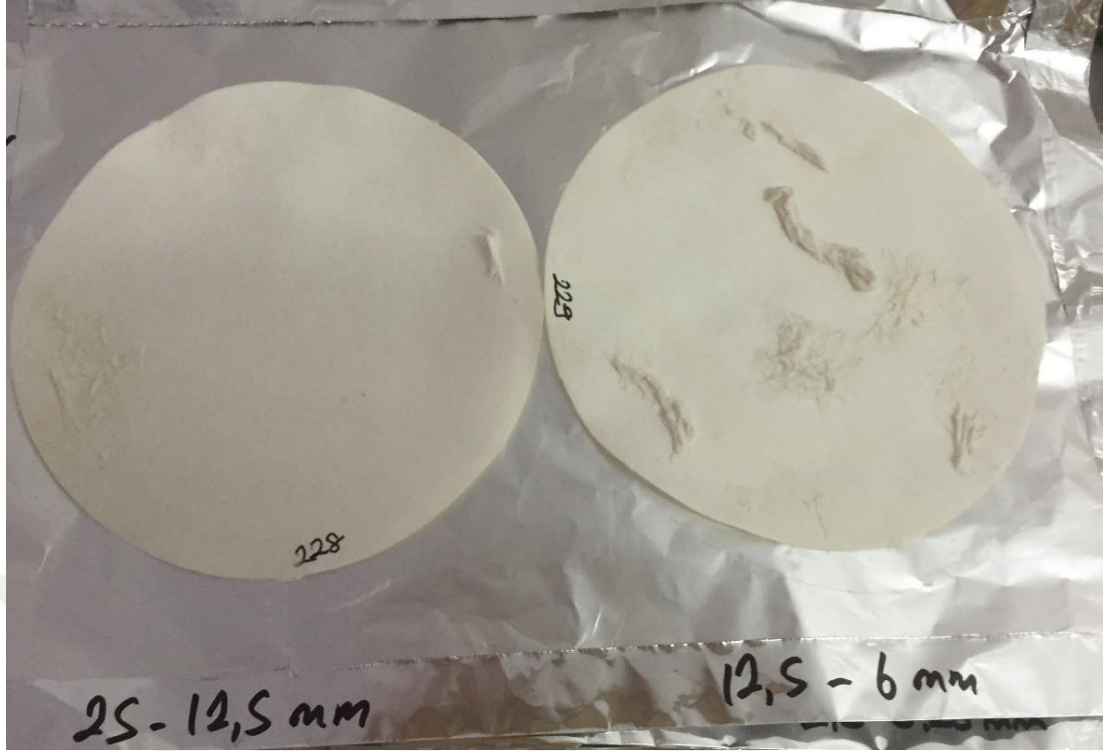


Şekil 3.3. Parçacıkların ayrıştırılması

Ebatlarına göre ayrılmış olan parçacıklar Şekil 3.4.'te görünen düzenek vasıtasıyla daha önceden kuru ağırlığı belirli olan 1-3 μm çapa sahip filtre kağıdından geçirilerek vakumlama işlemine tabi tutulmuştur. Vakumlama işleminden sonra filtre kağıtları alüminyum folyolar ile etüve koyulmuştur. Numuneler etüve 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Daha sonra kuruyan parçacıklar hassas terazi yardımıyla tartılarak kuru katı madde miktarları belirlenmiştir. Bu numunelerin son halleriyle ilgili görseller aşağıda Şekil 3.5.'te sunulmaktadır.



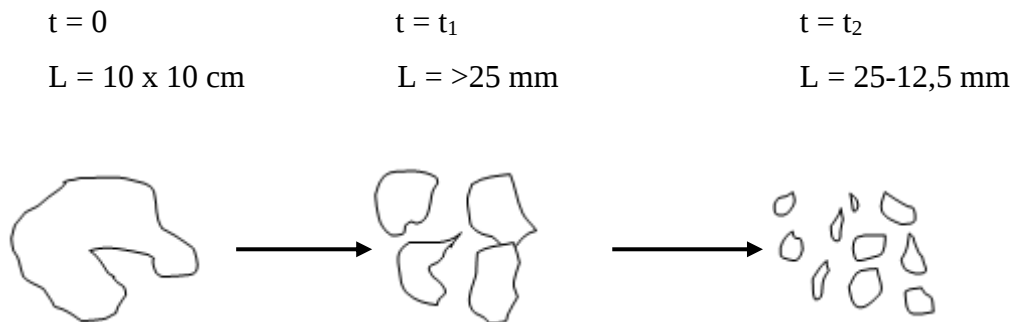
Şekil 3.4. Filtrasyon düzeneği, (a) vakumlu filtrasyon sistemi, (b) filtre kağıtlarının içerisine yerleştirildiği porselen süzgeç



Şekil 3.5. Filtrasyon sonrası filtre kağıtlarına aktarılan küçük boyutlu parçacıkların kurutulduktan sonraki görsel durumları

3.4. Fiziksel Parçalanma Teorisi ve Matematiksel Modelleme

Karadagli (2009) ve arkadaşları klozetlerden atıksu sistemlerine bırakılan hijyenik ürünlerin fiziksel parçalanması hakkında teorik yaklaşım geliştirmiştir. Buna göre, ıslak mendillerin mekanik dirençleri ve sulardaki türbülans, ürünlerin fiziksel parçalanmasını etkileyen parametrelerdir. Bu çerçevede, fiziksel parçalanma teorik olarak Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi gerçekleşecektir.



Şekil 3.6. Fiziksel parçalanma teorisi

Teorik olarak, fiziksel parçalanma sırasında, herhangi bir $L \times W$ (En $\times$ Boy) boyutundaki bir numune, zamanla parçalanarak, $t = t_1$ anında yeni parçacıkları oluşturmakta, ve bu parçacıklar daha sonra tekrar parçalanarak çok küçük son ürünlere dönüşmektedir. Bu şekilde meydana gelen parçalanma işlemleri yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi temsil edilebilir, ve bu işlemler kütlenin korunumu prensibi kullanılarak matematiksel denklemlerle ifade edilebilir.

Buna göre, ana ürünün kuru kütlesi ile parçalanma sırasında oluşan ara ürünlerin kuru kütlelerinin toplamı herhangi bir zamanda eşit olmak zorundadır. Şekil 3.6.'da görünen parçalanma olayı sırasında oluşan parçacıkların yukarıda Şekil 3.3.'te belirtildiği gibi boyutlarına ayrılması, ve kuru kütlelerinin belirlenmesi, kütlenin korunumu prensibinin deneysel şartlarda uygulanmasını sağlamaktadır. Bu şekilde, deneysel analizlerle farklı boyuttaki parçacıkların ne kadar zamanda ve hangi oranlarda oluştuğunu göstermektedir.

Karadagli ve ark. (2009) tarafından geliştirilen matematiksel modelin temel denklemi aşağıda sunulmaktadır. Bu denklemin ıslak mendillere uyarlanması için, bir ıslak mendilin sudaki fiziksel parçalanması için ortamdaki türbülansı temsilen Reynolds sayısı, ürünün yapısal özelliklerini temsilen özgün parçalanma katsayısı, ve numunenin konsantrasyonu önemli olacaktır. Buna göre, bir ıslak mendil numunesinin sudaki parçalanma hızını temsil etmek için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$\frac{dL}{dt} = k * Re * L$$

Burada $L = L$ ebatlı parçacıkların sudaki konsantrasyonu, $t =$ zaman, $k =$ ürünün yapısal ve parçalanma özelliklerini temsil eden özgün parçalanma hız katsayısı, $Re =$ Reynols sayısı, $dL/dt =$ birim zamanda ürün konsantrasyonundaki değişimdir. Bu denklemin daha önce belirtilen 4 farklı parçacık boyutları için uygulanmış hali aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{d[> 25 \text{ mm}]}{dt} = -k_1 * Re * [> 25 \text{ mm}]$$

$$\begin{aligned}
\frac{d[12,5 - 25 \text{ mm}]}{dt} &= f_1 * k_1 * Re * [> 25 \text{ mm}] - k_2 * Re * [12,5 - 25 \text{ mm}] \\
\frac{d[12,5 - 6 \text{ mm}]}{dt} &= f_2 * k_1 * Re * [> 25 \text{ mm}] + f_3 * k_2 * [12,5 - 25 \text{ mm}] - k_3 * Re \\
&\quad * [12,5 - 6 \text{ mm}] \\
\frac{d[< 6 \text{ mm}]}{dt} &= f_4 * k_1 * Re * [> 25 \text{ mm}] + f_5 * k_2 * [12,5 - 25 \text{ mm}] + k_3 * Re \\
&\quad * [12,5 - 6 \text{ mm}]
\end{aligned}$$

Yukarıda belirtilen denklemlerde, k katsayıları ana numune ile parçalanma sırasında oluşan parçacıkların tekrar parçalanma hız sabitlerini göstermektedir. Örneğin, ana ürün >25 mm boyut aralığında temsil edilir, ve parçalanma hız sabiti k_1 ile temsil edilir. Bu numunenin parçalanmasıyla, 12-25 mm boyut aralığındaki parçacıklar oluşur, ve bunların tekrar parçalanmasını temsil eden parçalanma hız sabiti k_2 olur. Benzer şekilde, k_x ile gösterilen parçalanma hız sabitleri belirli bir boyut aralığındaki parçacıkların parçalanma hız sabitlerini temsil etmektedir.

Buna paralel olarak, her bir boyut aralığındaki parçacıkların hangi oranlarda oluştuğunu f katsayıları ile temsil edebiliriz. Örneğin, ana numune parçalanırken, belirli oranlarda küçük boyutlu parçacıklar oluşur. Bu oranları, $f_1 = 25\text{-}12$ mm arası parçacıkların miktarı, $f_2 = 12\text{-}6$ mm arası parçacıkların miktarı vb. şeklinde temsil edebiliriz. Yukarıda gösterilen denklemler bu çerçevede ve deneysel çalışmalarda kullanılan boyut aralıklarını temsil edecek şekilde düzenlenmiştir.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Parçalanma Deney Sonuçları ve Model Tahminleri

Bu çalışma kapsamında, iki farklı TK, ve iki farklı ıslak mendilin parçalanma davranışları deneysel testler ve matematiksel modelleme yoluyla incelenmiştir. Elde edilen bulgular önce TK numuneleri için, ve sonra, ıslak mendil numuneleri için sunulmaktadır.

TK numuneleri üretim esnasında herhangi bir bağlayıcı kimyasal madde kullanılmayan, Nordic Swan ecolabel kriterlerine göre üretilmiş, ve İskandinavya ülkeleri başta olmak üzere, genellikle Kuzey Avrupa ülkelerinde satışa sunulan iki farklı tuvalet kağıdından oluşmaktadır. Bu numunelerin parçalanma sonuçları ilk etapta belirlenerek, gerçekten klozete atılabilir olarak kabul edilebilecek ürünlerle ilgili bir referans noktası oluşturulmuştur.

Aşağıdaki Tablo 4.1.'de ilk TK numunesi ile yapılan testlerden elde edilen sonuçlar, ve Şekil 4.1.'de ise, deneysel sonuçların model tahminleriyle karşılaştırılması sunulmaktadır.

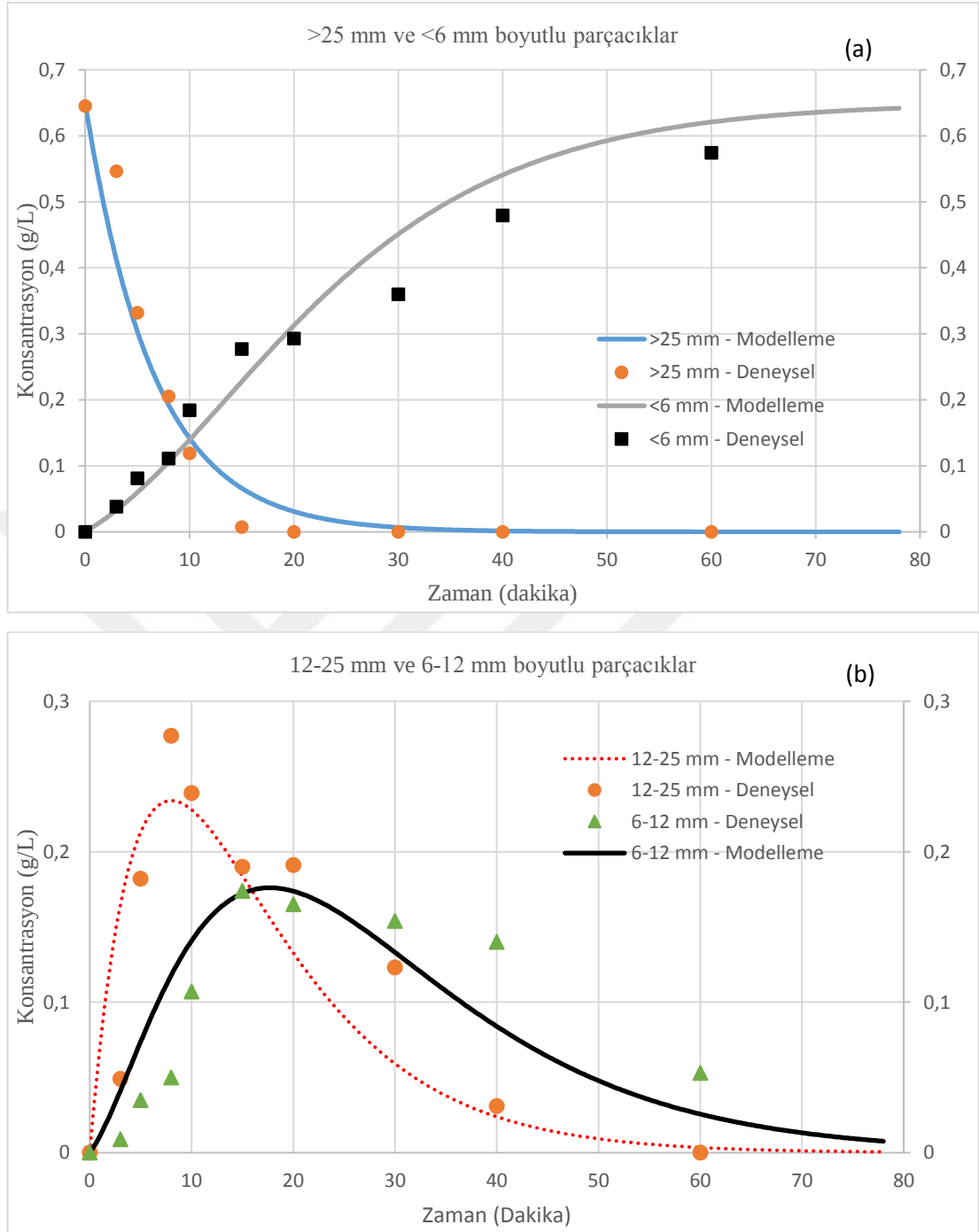
Tablo 4.1. TK-1 numunesi parçalanma sonuçları

Zaman (dk)	>25 mm (g)	12-25 mm (g)	6-12 mm (g)	<6 mm (g)	toplam kütle (g)
0	0,645	0	0	0	0,645
3	0,546	0,049	0,009	0,038	0,642
5	0,332	0,182	0,035	0,081	0,630
8	0,205	0,277	0,050	0,111	0,643
10	0,119	0,239	0,107	0,184	0,649
15	0,007	0,19	0,174	0,277	0,648

Tablo 4.1. (Devamı)

Zaman (dk)	>25 mm (g)	12-25 mm (g)	6-12 mm (g)	<6 mm (g)	toplam kütle (g)
20	0	0,191	0,165	0,293	0,649
30	0	0,123	0,154	0,36	0,637
40	0	0,031	0,14	0,479	0,65
60	0	0	0,053	0,574	0,627

Tablo 4.1. Nordic Swan ecolabel kriterlerine uygun şekilde üretilmiş bir tuvalet kağıdına ait parçalanma deneyleri sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak, Nordic Swan numunesinin parçalanması sırasında elde edilen deneysel sonuçları, ve matematiksel modelleme yoluyla yapılan tahminlerle karşılaştırılması aşağıdaki Şekil 4.1.'de sunulmaktadır.



Şekil 4.1. TK-1 numunesine ait matematiksel model tahminleri (çizgiler) ve deneysel sonuçlar (semboller). (a) (>25 mm) boyut aralığına sahip parçacıklar (ana ürün) mavi çizgi ve turuncu çemberlerle, ve en küçük boyut aralığındaki (<6 mm) parçacıklar gri çizgi ve siyah karelerle gösterilmektedir. (b) (25-12,5) mm boyut aralığındaki parçacıklar kırmızı çizgi ve turuncu çemberlerle, ve (12,5-6 mm) boyut aralığındaki parçacıklara ait veriler siyah çizgi ve yeşil üçgenlerle gösterilmektedir.

Şekil 4.1.'deki deneysel sonuçlar ve matematiksel modelleme tahminlerine göre, bitki bazlı fiberlerden oluşan ve fiberleri birbirine bağlayan herhangi bir bağlayıcı kimyasal maddeyi içermeyen bu TK numunesi, 20 dakikalık bir süreçte parçalanarak (<25 mm)

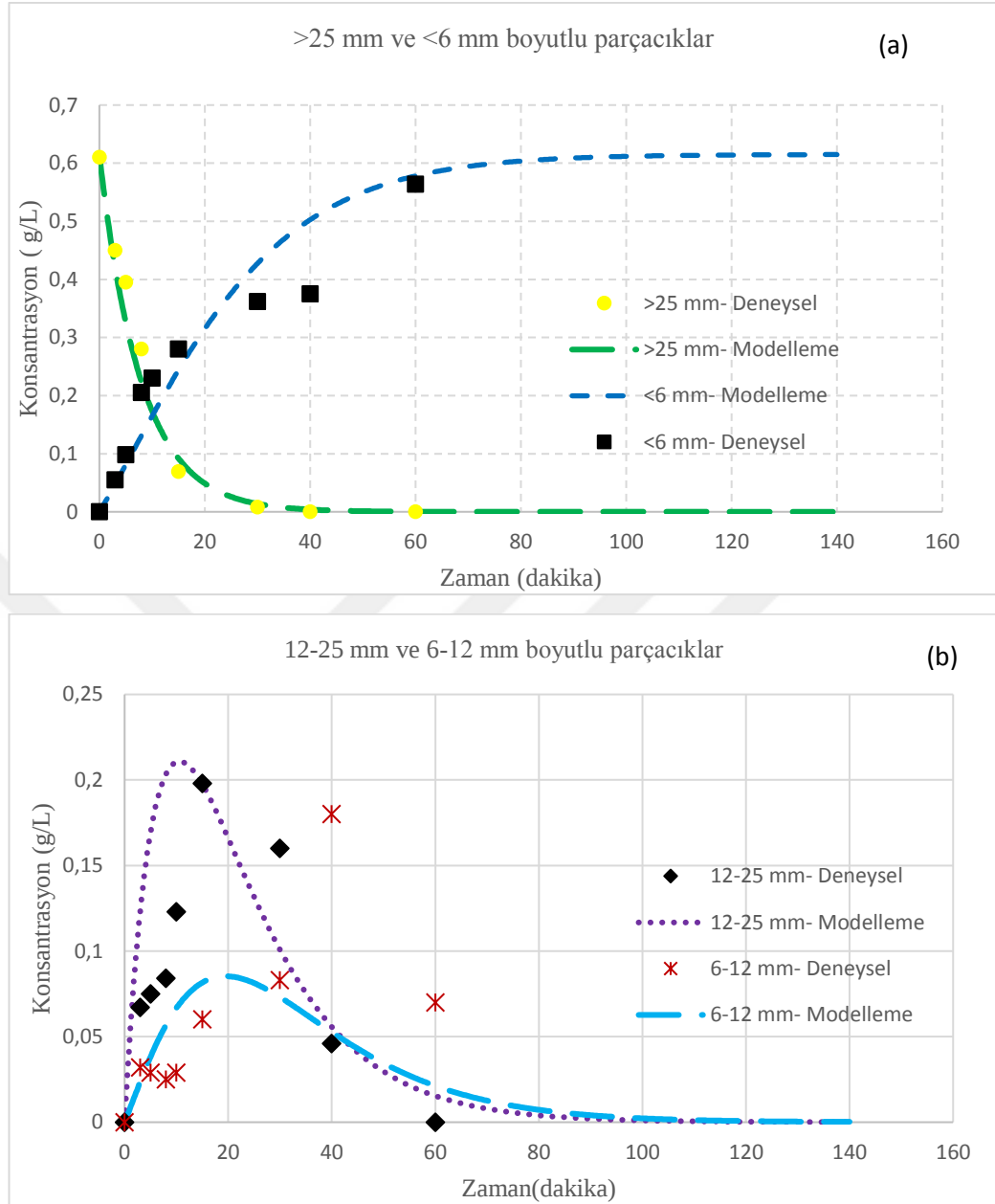
boyut aralığına ulaşmaktadır. Daha sonra, orta ve küçük boyutlu parçacıkların daha küçük parçacıklara dönüştüğü gözlemlenmiştir. Deneyin devam eden bölümünde, orta boy parçacıkların parçalanmaya devam ederek, tüm parçacıkların 60 dakikalık bir zamanda 6 mm'den (atıksu arıtma tesisine kabul edilebilir boyut) daha küçük boyutlara ulaştığı gözlemlenmiştir.

Tuvalet kağıtlarının homojen bir yapıya sahip olmaları nedeniyle, elde edilen deneysel sonuçlar yapılan matematiksel modellemeyle uyumuştur. Buna göre, bu tuvalet kağıdının parçalanma hız sabiti $k = 6 \times 10^{-6}$ (1/dak) veya 0,00864 (1/gün) olarak matematiksel model tahmininden hesaplanmıştır. Eğilim çizgisi eklenerek elde edilen R^2 değerleri sırasıyla >25 mm, 25-12 mm, 12-6 mm ve <6 mm boyutlu model tahminleri için 0,75, 0,79, 0,65 ve 0,99 olarak belirlenmiştir ve bu değerler deneysel veriler ile model tahmininin yüksek oranda örtüştüğünü kanıtlamaktadır.

Benzer şekilde, ikinci TK numunesiyle yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

Tablo 4.2. TK-2 numunesine ait parçalanma sonuçları

Zaman (dk)	>25 mm (g)	12-25 mm (g)	6-12 mm (g)	<6 mm (g)	toplam kütle (g)
0	0,61	0	0	0	0,61
3	0,450	0,067	0,032	0,055	0,604
5	0,395	0,075	0,029	0,098	0,597
8	0,280	0,084	0,025	0,205	0,594
10	0,231	0,123	0,029	0,230	0,613
15	0,069	0,198	0,060	0,280	0,607
30	0,008	0,16	0,083	0,362	0,613
40	0	0,046	0,18	0,375	0,601
60	0	0	0,07	0,564	0,634



Şekil 4.2. TK-2 numunesine ait matematiksel model tahminleri (çizgiler) ve deneysel sonuçlar (semboller). (a) (>25 mm) boyut aralığına sahip parçacıklar (ana ürün) yeşil çizgi ve sarı renkli çemberlerle, ve en küçük boyut aralığındaki (<6 mm) parçacıklar mavi çizgi ve siyah karelerle gösterilmektedir. (b) (25-12,5) mm boyut aralığındaki parçacıklar mor çizgi ve siyah dörtgenlerle, ve (12,5-6 mm) boyut aralığındaki parçacıklara ait veriler mavi çizgi ve kırmızı yıldızlarla gösterilmektedir.

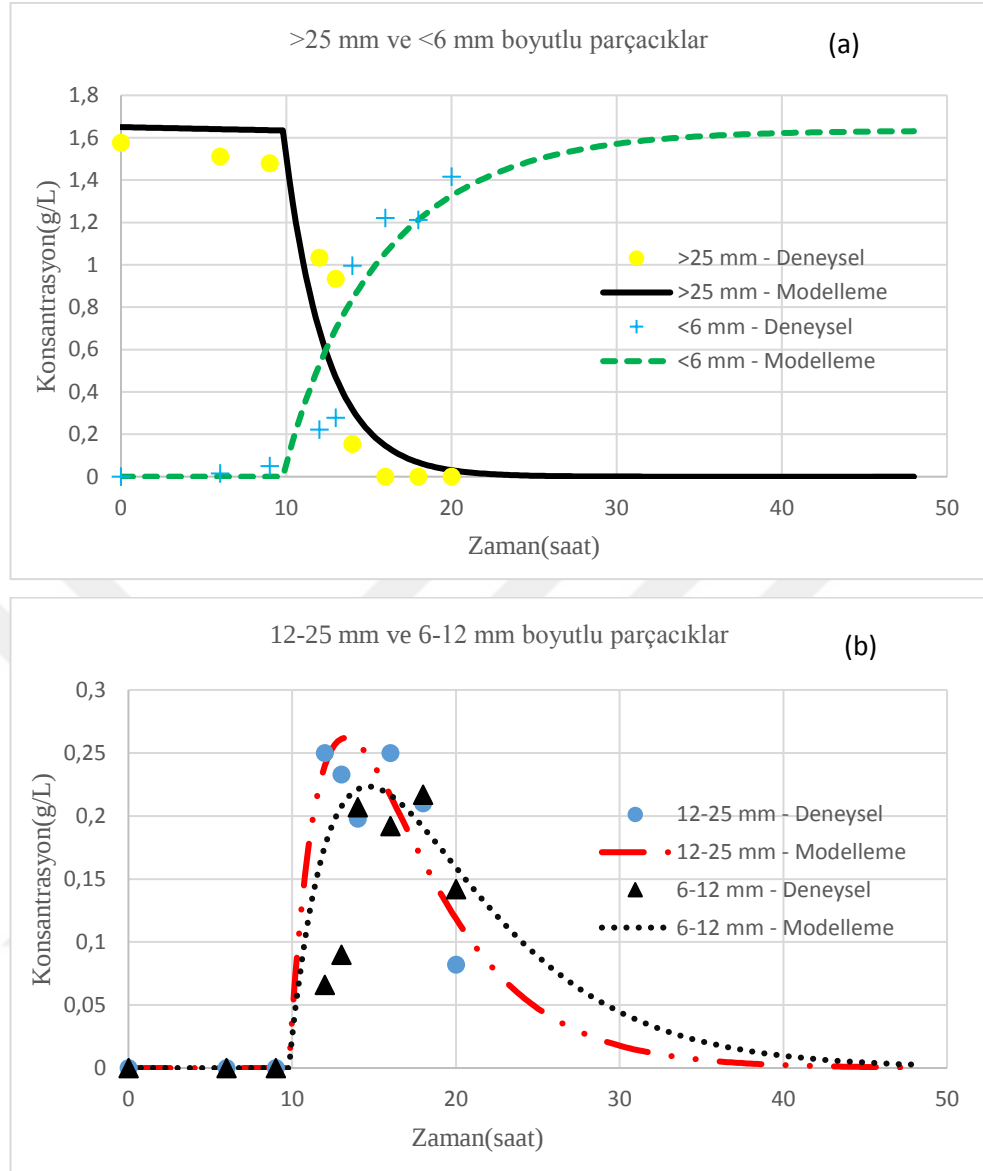
Tablo 4.2. ve Şekil 4.2.' de verilen sonuçlar incelendiğinde, bu numunenin parçalanma davranışının bir önceki numuneye benzer olduğu anlaşılmaktadır. Bu benzerliğin ana sebebi, her iki numunenin aynı yöntemle üretilmesi ve ecolabel sertifikalarının olmasıdır. Buna göre, ikinci numune 40 dakikalık süreçte 25 mm'den küçük parçacıklara dönüşürken, 60 dakikalık süreçte ana kütlenin %90'lık kısmı 6 mm'den küçük hale gelmiştir. Yapılan modelleme çalışması sonucunda bu tuvalet kağıdı için

elde edilen parçalanma hız sabiti $k = 5 \times 10^{-6}$ (1/dak) veya 0,0072 (1/gün) olup diğer tuvalet kağıdı numunemizle oldukça yakındır. Eğilim çizgisi eklenerek elde edilen R^2 değerleri sırasıyla >25 mm, 25-12 mm, 12-6 mm ve < 6 mm boyutlu model tahminleri için 0,61, 0,82, 0,70 ve 0,95 olarak belirlenmiştir ve bu değerler deneysel veriler ile model tahmininin yüksek oranda örtüştüğünü kanıtlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında incelenen ıslak mendil numunelerine ait deneysel sonuçlar ve modelleme tahminleri aşağıda sunulmaktadır. Buna göre, birinci ıslak mendil numunesine ait sonuçlar Tablo 4.3. ve Şekil 4.3.'de sunulmaktadır.

Tablo 4.3. IM-1 numunesine ait parçalanma sonuçları

Zaman (saat)	>25 mm (g)	12-25 mm (g)	6-12 mm (g)	<6 mm (g)	toplam kütle (g)
0	1,575	0	0	0	1,575
6	1,511	0	0	0,015	1,526
9	1,479	0	0	0,050	1,529
12	1,033	0,250	0,066	0,221	1,570
13	0,933	0,233	0,090	0,277	1,533
14	0,154	0,198	0,207	0,995	1,554
16	0,000	0,250	0,192	1,221	1,663
18	0,000	0,210	0,217	1,211	1,638
20	0,000	0,082	0,142	1,415	1,639



Şekil 4.3. IM-1 numunesine ait matematiksel model tahminleri (çizgiler) ve deneysel sonuçlar (semboller). (a) (>25 mm) boyut aralığına sahip parçacıklar (ana ürün) siyah çizgi ve sarı renkli çemberlerle, ve en küçük boyut aralığındaki (<6 mm) parçacıklar yeşil çizgi ve mavi artı işaretleriyle gösterilmektedir. (b) (25-12,5) mm boyut aralığındaki parçacıklar kırmızı çizgi ve mavi çemberlerle, ve (12,5-6 mm) boyut aralığındaki parçacıklara ait veriler siyah çizgi ve siyah üçgenlerle gösterilmektedir.

İncelenen ilk ıslak mendil numunesi, tescilli ve patentli bir teknoloji (COFORM teknolojisi) sayesinde çok küçük boyutlu fiberlerin polipropilen gibi bir bağlayıcı ile birleştirilmeleri şeklinde üretilmiştir. Bu numunenin parçalanması için, içerisinde bulundurduğu poliprolen maddesinin zamanla suda çözünmesi gerekmektedir. Bu işlem tamamlandıktan sonra, ilgili numune fiziksel olarak hızlı şekilde parçalanmıştır. Bu numunenin gösterdiği parçalanma davranışını matematiksel model yardımıyla izleyebilmek için, bağlayıcı maddenin suda çözünme işlemini basit bir hidroliz prosesi

olarak tanımlanarak, matematiksel model denklemlerinde gerekli revizyonlar yapılmıştır (Şekil 4.3.'te ilk 10 saat). Bu şekilde, hem hidroliz hem de parçalanma işlemlerini gösteren kütle korunumu denklemleri oluşturulmuş, ve deneysel verilerin ışığı altında nümerik çözüm metodları kullanılarak çözümlenmiştir. Şekil 4.3.'te verilerden, hidroliz işleminin 10 saat içerisinde tamamlandığı model sonuçlarından anlaşılmaktadır. Bundan sonra, fiziksel parçalanmanın başladığı ve ana ürünün tamamen parçalanması için, ilave bir 10 saat kadar bir zaman dilimine ihtiyaç duyulduğu Şekil 4.3. (a) panelinde gösterilen (sarı renkli ve daire sembollü) deneysel verilerden anlaşılmaktadır. Hidroliz ve fiziksel parçalanma proseslerinin birlikte tamamlanması için toplam 20 saat kadar bir zaman dilimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süre zarfında, orta ve küçük boy parçacıkların oluştuğu, ve bunlarında daha sonra en küçük boyut aralığındaki parçacıklara dönüştüğü gözlemlenmiştir. Bu dönüşümlerle beraber, bu ıslak mendil numunesinin tamamen parçalanarak en küçük boyut (<6 mm) aralığına dönüşmesi için Şekil 4.3.'te gösterilen model tahminlerine göre 45 saatlik bir zaman dilimine ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır. Matematiksel modelleme sonuçlarına göre, bu ürünün parçalanmasını temsil edecek, hidroliz prosesinin hız sabiti $k_{hid} = 4 \times 10^{-6}$ (1/gün), ve fiziksel parçalanma sabitinin değeri $k = 1.5 \times 10^{-5}$ (1/gün) olarak hesaplanmıştır. Bu değer, bir önceki şekilde sunulan tuvalet kağıdı numunesinin parçalanma hız sabitinden (0,0072 (1/gün)) oldukça düşüktür. Eğilim çizgisi eklenerek elde edilen R^2 değerleri sırasıyla >25 mm, 25-12 mm, 12-6 mm ve < 6 mm boyutlu model tahminleri için 0,88, 0,59, 0,67 ve 0,94 olarak belirlenmiştir ve bu değerler deneysel veriler ile model tahmininin yüksek oranda örtüştüğünü kanıtlamaktadır.

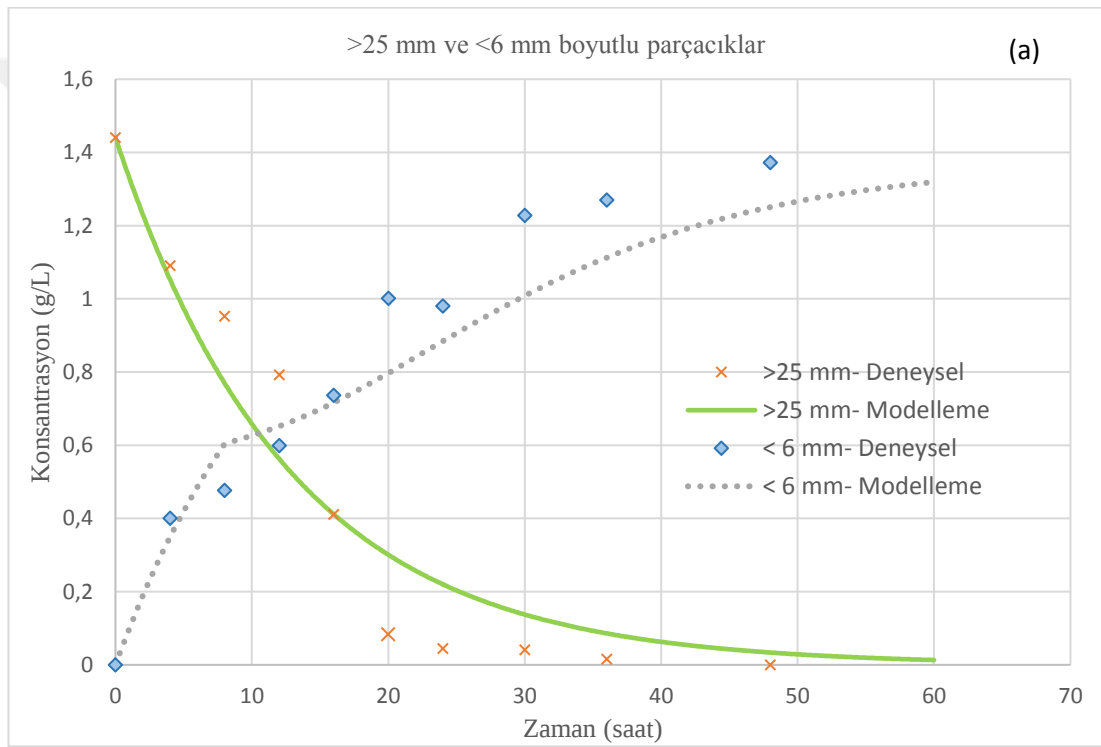
Benzer şekilde, bu çalışma kapsamında incelenen ikinci ıslak mendil numunesine ait deneysel veriler ve model tahminleri aşağıdaki Tablo 4.4.'te ve Şekil 4.4.'te sunulmaktadır.

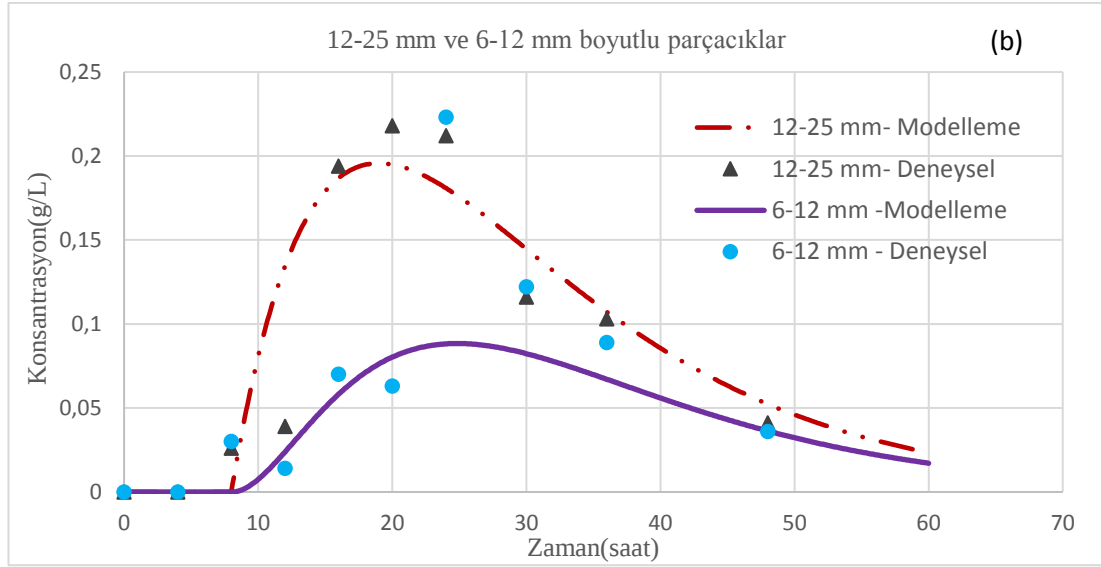
Tablo 4.4. IM-2 numunesine ait parçalanma sonuçları

Zaman (saat)	>25 mm (g)	12-25 mm (g)	6-12 mm (g)	<6 mm (g)	toplam kütle (g)
0	1,44	0	0	0	0
4	1,09	0	0	0,4	1,49
8	0,952	0,026	0,003	0,476	1,457

Tablo 4.4. (Devamı)

Zaman (saat)	>25 mm (g)	12-25 mm (g)	6-12 mm (g)	<6 mm (g)	toplam kütle (g)
12	0,792	0,039	0,014	0,599	1,444
16	0,411	0,194	0,07	0,736	1,411
20	0,083	0,218	0,063	1,001	1,365
24	0,044	0,212	0,223	0,98	1,459
30	0,041	0,116	0,122	1,228	1,507
36	0,015	0,103	0,089	1,27	1,477
48	0	0,041	0,036	1,372	1,449





Şekil 4.4. IM-2 numunesine ait matematiksel model tahminleri (çizgiler) ve deneysel sonuçlar (semboller). (a) (>25 mm) boyut aralığına sahip parçacıklar (ana ürün) yeşil çizgi ve turuncu renkli yıldızlarla, ve en küçük boyut aralığındaki (<6 mm) parçacıklar gri çizgi ve mavi dikdörtgenle gösterilmektedir. (b) (25-12,5) mm boyut aralığındaki parçacıklar kırmızı çizgi ve siyah üçgenlerle, ve (12,5-6 mm) boyut aralığındaki parçacıklara ait veriler mor çizgi ve mavi dairelerle gösterilmektedir.

Şekil 4.4.'te sunulan klozete atılabilir türdeki ıslak mendil numunesi, herhangi bir bağlayıcı kimyasal içermeyen bir numune olduğu için ilk andan itibaren parçalanmaya başlamıştır. Ancak ıslak mendilin sahip olduğu fiber türü nedeniyle parçalanma oldukça yavaş gerçekleşmektedir. İlk 8-10 saatlik süreçte, ana ürün parçalanırken genellikle <6 mm boyutlu parçacıklar oluşmuştur (Şekil 4.4. üst panel). Yani, bu ürün içerisinde çok küçük boyutlu fiberler mevcuttur, ve parçalanma sırasında ilk olarak bu fiberler suya bırakılmaktadır. Zamanla, ana ürün parçalanırken çok az miktarlarda 25-12 mm ve 12-6 mm boyut aralığındaki parçacıklar oluşmaktadır (Şekil 4.4. alt panel). Daha sonra, bu orta ve küçük boyutlu parçacıklar parçalanarak en küçük boyutlu parçacıklara dönüşmektedirler.

Yapılan deneysel çalışma sürecinde ve Şekil 4.4. (alt panel)'te görüldüğü gibi, test süresinde 48 saat geçmesine rağmen bu numuneye ait 12-25 mm boyutundaki parçacıklar deneysel sistemde gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlara bağlı olarak yapılan modelleme çalışması neticesinde, bu numunenin parçalanma hız sabiti $k = 3 \times 10^{-6}$ (1/gün) olarak hesaplanmıştır. Eğilim çizgisi eklenerek elde edilen R^2 değerleri sırasıyla >25 mm, 25-12 mm, 12-6 mm ve < 6 mm boyutlu model tahminleri için 0,96,

0,66, 0,81 ve 0,98 olarak belirlenmiştir ve bu değerler deneysel veriler ile model tahmininin yüksek oranda örtüştüğünü kanıtlamaktadır.

Bu bilgilerin ışığı altında, TK numuneleri 1 saat içerisinde tamamen parçalanma gösterirken, IM numuneleri 30 ile 50 saat gibi uzun zaman aralıklarında tamamen parçalanma göstermektedirler. Bu nedenle, IM'lerin klozete atılması halinde, bu gibi ürünler kanalizasyon sisteminde ciddi işletim problemleri meydana getirecektir.



BÖLÜM 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında ıslak mendil ve tuvalet kağıdı numunelerinin atıksu sistemlerindeki parçalanma davranışları matematiksel modelleme ve deneysel testlerle incelenmiştir.

İncelenen tuvalet kağıtlarından bir tanesi, selülozik fiberlerden oluşan ve hiç bir kimyasal bağlayıcıyı içermeyen ürün olup, Nordic Swan Ecolabel etiketine sahiptir. İkinci tuvalet kağıdı numunesi ise, bağlayıcı kimyasal madde kullanılarak üretilen bir üründür. Elde edilen sonuçlara göre, TK numunleri hızlı şekilde parçalanma göstermişlerdir. Bu ürünlerden TK-1 numunemizin Nordic Swan eco-label kriterlerine göre üretilmiş olması dikkate değerdir. Çünkü, ecolabel sertifikalı ürünlerin gerçekten kanalizasyon sistemlerine bırakılabilecek olduğu anlaşılmıştır. Benzer şekilde, ikinci tuvalet kağıdı numunesi de kanalizasyon sistemleri açısından emniyetli durumdadır.

Bunlara karşılık, ıslak mendillerde parçalanma süresi tuvalet kağıtlarına göre oldukça fazladır. Çünkü ıslak mendillerin ıslak direncini arttırmak için, fiber karışımlarına, rayon (viskon) gibi kimyasal işlem görmüş selüloz ya da tamamen sentetik fiberler (polyester vb.) ilave edilmektedir. Bu çalışmada kullandığımız klozete atılabilir (flushable) ürünler olan IM-1 ve IM-2 de rayon fiberi içermektedir, ve dolayısıyla, parçalanma süreleri uzamaktadır.

Islak mendillerin direncini arttıran ikinci faktör, üretimleri esnasında doku bağlama işlemlerinden iğneleme ve su jeti gibi yöntemlerde fiberlerin sıkı bir şekilde bağlanmasını ve dirençli bir yapı oluşturmalarının sağlanmasıdır. Bu yapılan işlemler ıslak mendillerin parçalanmasını güçleştirmektedir. Ancak tuvalet kağıtlarında hem kullanılan fiberlerin bitki bazlı olması, hem de üretim metotlarında fiber bağlama

işleminin sadece kurutma yoluyla (ecolabel sertifikalı ürünler için) sağlanması nedeniyle, tuvalet kağıtları daha kısa zamanda parçalanmaktadır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, tuvalet kağıtları ve ıslak mendillerin parçalanmasında fiber içeriği ve üretim metodlarının 2 önemli faktör oldukları anlaşılmıştır. Klozete atılabilecek ürünlerin fiber içerikleri bitki bazlı selülozik fiberler olmalıdır. Böylece parçalanma süresi oldukça azalacaktır. Ayrıca doku bağlayıcı olarak kullanılan akrilat polimerleri ve ko-polimerleri, stiren-bütadiyen ko-polimerleri ve vinil asetat etilen ko-polimerleri gibi kimyasal maddeler kullanılmamalıdır. Bunun yerine, bitki-bazlı kağıt hamuru istenilen inceliğe kavuşturulduğunda, kurutma yoluyla fiberlerin birbirine bağlanması gerçekleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Vernback, M.A. 1995. "Capturing and releasing settleable solids: The significance of dense undercurrents in combined sewer flows", *Water Science and Technology*, 31(7), 85-93.
- [2] 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.
- [3] Vollertsen, J., Almedia, M. D. C., Hvitvat-jacobsen, T. 1999. "Effects of temperature and dissolved oxygen on hydrolysis of sewer solids", *Water Research*, 33(14), 3119-3126.
- [4] Ahyerre, M., Chebbo, G., & Saad, M. (2000). Sources and erosion of organic solids in a combined sewer. *Urban Water*, 2(4), 305-315.
- [5] Littlewood, K., Butler, D, 2003. "Movement mechanisms of gross solids in intermittent flow", *Water Science and Technology*, 47(4), 45-50.
- [6] Butler, D., Littlewood, K., Orman, N., 2005. "Forces on sanitary solids in small sewers", *Water Science Technology*, 52(3), 85-92.
- [7] 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.
- [8] Keener, K. M., Ducoste, J. J., Holt, L. M., 2008. "Properties influencing fat, oil, and grease deposit formation", *Water Environment Research*, 80 (12), 2241-2246.
- [9] He, X., De Los Reyes, F. L., Leming, M., Dean, L. O., Lappi, S. E., Ducoste, J. J., 2013. Mechanisms of fat, oil, and grease (FOG) deposit formation in sewer lines", *Water Research*, 47, 4451-4459.
- [10] Williams, J.B., Clarkson, C., Mant, C., Drinkwater, A., May, E. 2012." Fat, oil and grease deposits in sewers: Characterizsation of deposits and formation mechanisms" *Water Research*, 46, 6319 – 6328

- [11] 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), 459-465.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Kim, M.J., Hergeth, H.H., 2012. "Technology roadmap for flushable nonwoven wipes", *Journal of the Textile Institute*, 103(2), 200-209.
- [15] Tang, Y., Jin, W.Y., 2013. "Study on flushability testing of wood pulp composite spunlaced nonwovens", *Advanced Materials Research*, cilt: 610-613, 490-493
- [16] Jiang, G., Sun, j., Sharma, K.R., Yuan, Z. 2015. Corrosion and odor management in sewer systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 33, 192-197.
- [17] Pandey, S. K., Kim, K., Kwon, E. E., Kim Y-H. 2016. Hazardous and odorous pollutants released from sewer manholes and stormwater catch basins in urban areas. *Environmental Research*, 146, 235-244.
- [18] 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.
- [19] Campisano, A., Modica, C., Creaco, E., & Shahsavari, G. (2019). A model for non-uniform sediment transport induced by flushing in sewer channels. *Water research*, 163, 114903.
- [20] Durukan, S. 2020. Islak Mendillerin Fizksel Karakterizasyonu ve Kanalizasyon Sistemlerindeki Davranışlarının İncelenmesi Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [21] 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), 459-465.

- [22] 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.
- [23] <https://www.edana.org/nw-related-industry/how-are-nonwovens-made.>,
Eriřim tarihi : 16.09.2020



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Niğdelioğlu, ilk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2013 yılında Ali Dilmen Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü 2018 yılında bitirdi. 2018 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. MNE Proje firmasında 2020 yılından beri Çevre Mühendisi olarak çalışmaktadır.

