



**EVSEL ÇAMAŞIR YIKAMA SONUCU  
OLUŞAN MİKROPLASTİK VE MİKROLİF  
OLUŞUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Emrah BEKTAŞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nesli AYDIN  
İkinci Danışman: Arş. Gör. Dr. Suna Ö. ÇELİK  
2021**

**T.C.**

**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EVSEL ÇAMAŞIR YIKAMA SONUCU OLUŞAN MİKROPLASTİK VE  
MİKROLİF OLUŞUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Emrah BEKTAŞ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Nesli AYDIN**

**İkinci Danışman: Araş. Gör. Dr. Suna ÖZDEN ÇELİK**

**TEKİRDAĞ-2021**

**Her hakkı saklıdır.**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### EVSEL ÇAMAŞIR YIKAMA SONUCU OLUŞAN MİKROPLASTİK VE MİKROLİF OLUŞUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

**Emrah BEKTAŞ**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nesli AYDIN

Günümüzde en önemli kirlilik problemlerinden biri olan mikroplastikler, ülkemiz kaynakları için büyük tehdit oluşturmaktadır. Mikroplastikler, çok sayıda çevresel ortamda bulunmaları ve salınımlarının giderek artması dolayısıyla, kaynaklarının belirlenmesi ve oluşumlarının en aza düşürülmesi için iyi takip edilmesi gereken bileşenlerdendir.

Bu çalışma, Tekirdağ ilinde, farklı kompozisyonlardaki tekstil ürünlerinin çamaşır makinesinde yıkanması ile atıksuya deşarj edilen mikroplastik ve mikrolif miktarının deney çalışmaları ile belirlenmesini ve yıllar boyunca bu mikroplastikler ve mikroliflerin birikiminin, dinamik model kapsamında, hassasiyet analizi ile değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Deney çalışmalarında, çamaşır makinesi giderinden toplanan atıksu, farklı boyutlarda filtrelerden geçirilerek, filtrede tutulan mikroplastikler ve mikroliflerin ağırlıkları tespit edilmiştir. Daha sonra dinamik sistem modeli kurularak, mikroplastikler ve mikroliflerin 2017-2030 yılları arasında birikimi, bölgesel nüfus dinamikleri ve toplumsal davranışlar da dikkate alınarak, bir stok-akış diyagramı üzerinde incelenmiştir. Literatür taraması ve anket çalışması, model için veri teşkil etmiştir. Modelin simülasyonu ve deney çalışmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak incelenmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda, kullanılan 200 µm, 100 µm, 50µm, 5µm filtreler içinde verimliliği en yüksek olanın, 200µm filtre olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra model simülasyon sonuçlarına göre mikroplastik-mikrolif kirlilik birikiminin belirlenen zaman aralığında 30-200 ton arasında olacağı tahmin edilmektedir. Bu değer aralığının, deney çalışmaları ve de karakteristik özellikleri benzer olan farklı bölgelerde yapılan çalışmaların sonuçları ile tutarlılık gösterdiği görülmüştür. Buna göre çamaşır makinelerine takılacak bir aparat ile mikroplastik-mikrolif salınımını azaltıcı girişimlerin bu kirliliğin azaltılmasında etkili olacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Dinamik model, hassasiyet analizi, çamaşır yıkama, mikroplastikler, tekstil ürünleri

2021, 64 sayfa

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **EVALUATION OF MICROPLASTIC AND MICROFIBER FORMATION AS A RESULT OF DOMESTIC LAUNDRY WASHING**

**Emrah BEKTAŞ**

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Nesli AYDIN

Microplastics, one of the most important pollution problems today, pose a great threat to our country's resources. Microplastics are among the components that must be monitored closely in order to determine their sources and to minimise their formation as their presence in many natural environments and their emissions are increasing.

This study aims to determine the amount of microplastics and microfibers discharged into wastewater by washing textile products with different compositions in a washing machine in Tekirdağ province by experimental studies and to evaluate the accumulation of these microplastics and microfibers over the years by sensitivity analysis within the scope of dynamic model. In the experimental studies, the wastewater collected from the washing machine drain was passed through filters of different sizes. The dried filters were imaged with a light microscope and the weights of the microplastics and microfibers held in the filter were determined. Then, by building a dynamic system model, the accumulation of microplastics and microfibers between 2017 and 2030 was examined on a stock-flow diagram, taking into account regional population dynamics and social behaviour. The literature review and questionnaire study provided data for the model. The results obtained from the simulation of the model and experimental studies were compared and examined.

As a result of this study, it was determined that the 200µm filter has the highest efficiency among the 200 µm, 100 µm, 50µm, 5µm filters used. In addition, according to the model simulation results, it is estimated that the microplastics-microfibers accumulation will be in the range of 30-200 tonnes/year in the specified period. It has been specified that this range of values is consistent with the results of experimental studies and the studies conducted in different regions with similar characteristics. Accordingly, it has been concluded that attempts to reduce microplastics-microfibers release with an apparatus to be attached to washing machines will be effective in reducing this pollution.

**Keywords:** Dynamic model, microplastics, sensitivity analysis, textile products, washing

**2021, 64 pages**

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGE DİZİNİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİL DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>4</b>
<b>3. MP YAPISI VE OLUŞUMU</b> .....	<b>9</b>
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>10</b>
4.1. Deneysel Çalışması .....	11
4.2. Model Çalışması .....	15
4.2.1. Neden Sonuç Döngüsü .....	16
4.2.2. Stok-Akış Diyagramı .....	17
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	<b>18</b>
5.1. Deneysel Çalışma Sonuçları .....	18
5.2. Model Çalışması Sonuçları .....	24
5.2.1. MP-ML Benzetim Modelinin Stok-Akış Yapısı .....	24
5.2.2. MP-ML Benzetim Modeli Geçerlilik Testleri .....	30
5.2.3. MP-ML Benzetim Modeli Analiz Sonuçları .....	32
5.3. Deneysel Çalışma İle Dinamik Sistem Modelinin Karşılaştırılması .....	40
<b>6. TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	<b>42</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>43</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>52</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	Error! Bookmark not defined.

## ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 4.1. Yıllara göre Tekirdağ nüfusu .....	10
Çizelge 4.2. 2017-2018 ve 2018-2019 dönemlerinde Tekirdağ ilinin göç alma durumu .....	10
Çizelge 4.3. 2017-2018 ve 2018-2019 dönemlerinde Tekirdağ ilinin göç verme durumu ....	11
Çizelge 4.4. Yıkama esnasında kullanılan çamaşır içerikleri .....	12
Çizelge 4.5. Anket çalışması soruları .....	15
Çizelge 5.1. Yıkama içerikleri, filtrelerde tutulan MP-ML kirlilik yükleri ve filtrelerin kirlilik tutma oranları .....	19
Çizelge 5.2. Atıksudaki MP-ML kirlilik yükü .....	22
Çizelge 5.3. Yıkama başına oluşan MP-ML kirlilik ağırlığı .....	22
Çizelge 5.4. Yıkamalardaki kg kıyafet başına oluşan MP-ML kirlilik yükleri .....	23
Çizelge 5.5. Tekirdağ ili için nüfus alt modeline ait matematiksel yapı ve veriler .....	26
Çizelge 5.6. Tekirdağ ili için MP-ML oluşumu alt modeline ait matematiksel yapı ve veriler .....	29
Çizelge 5.7. Mevsimlere göre çamaşır kompozisyonları .....	33
Çizelge 5.8. Çamaşır kompozisyonuna göre MP-ML salınımı .....	34
Çizelge 5.9. Hassasiyet analizi için parametre değer aralıkları .....	35
Çizelge 5.10. Çamaşır yıkama faaliyetinden kaynaklanan MP-ML birikimi .....	39
Çizelge 5.11. Filtrelere göre Tekirdağ'da 2017 yılında oluşan MP-ML kirlilik yükleri .....	40

## ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 3.1. Birincil ve ikincil mikroplastik .....	9
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan filtreler .....	14
Şekil 4.2. Filtrelerin mikroskop görüntüleri .....	14
Şekil 4.3. Neden Sonuç Döngüsü .....	16
Şekil 4.4. Stok ve Akış Şemaları .....	17
Şekil 5.1. Filtrede tutulan MP-ML ağırlıkları .....	18
Şekil 5.2. MP-ML benzetim modeline ait neden-sonuç döngüsü .....	24
Şekil 5.3. Nüfus alt modeli .....	25
Şekil 5.4. MP-ML oluşumu alt modeli .....	28
Şekil 5.5. Nüfusa Ait Geçmişe Yönelik Davranış Testi .....	31
Şekil 5.6. Nüfus ve MP-ML birikimi .....	32
Şekil 5.7. MP-ML Birikimi Hassasiyet Analizi .....	36
Şekil 5.8. MP-ML birikimi histogramı (200 simulasyon) .....	37
Şekil 5.9. MP-ML birikimi histogramı (5000 simulasyon) .....	38
Şekil 5.10. Yıllara göre filtre verimlilik değerleri .....	41

## SİMGELER VE KISALTMALAR

MP	: Mikroplastik
ML	: Mikrolif
$\mu\text{m}$	: Mikrometre
nm	: Nanometre
PP	: Polipropilen
PE	: Polietilen
PVC	: Polivinilklorür (PVC)
PS	: Polistiren
PTEE	: Politetrafloroetilen



## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye’de çamaşır yıkamalarından oluşan mikroplastik kirlilik değerlerinin model ve deney çalışmasını ilk defa yapmış bulunmaktayız, çalışmamız bundan sonraki çalışmalara katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmayı öneren, destekleyen ve başlangıcında bizlerle birlikte olan, vefat haberiyle hepimizi derinden üzen Sayın Doç. Dr. Esra TINMAZ KÖSE hocama öncelikle allahtan rahmet diler, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca vermiş olduğu eğitim ve desteğinden dolayı sonsuz saygı ve minnet duyarım.

Tez dönemim boyunca bilgilerini benimle paylaşan ve her konuda yardım eden ve destek olan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nesli AYDIN hocama, lisans ve yüksek lisans eğitim öğretim yıllarım boyunca bilgilerini benimle paylaşan ve her konuda destek olan ikinci danışmanım Arş. Gör. Dr. Suna ÖZDEN ÇELİK hocama teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitim dönemim boyunca desteğini benden esirgemeyen ve tez yazım dönemimde yanımda olan biricik arkadaşım Tuğba ELİNÇ’e, bilgi birikimi ve çalışmalarım sırasındaki desteklerinden dolayı arkadaşım Çevre Müh. Ziya Kaan TOPALHAN’a ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerini benimle paylaşan ve her zaman destek olan arkadaşlarımdan hepsine teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi olarak yanımda bulunan desteklerini benden esirgemeyen canım annem Elmas BEKTAŞ, canım babam Dursun BEKTAŞ başta olmak üzere biricik aileme sevgi ve saygılarımla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2021

Emrah BEKTAŞ  
Çevre Mühendisi

## 1. GİRİŞ

Plastik üretim ve kullanım alanları sanayileşme devrimine dayanmaktadır. Plastikler hafif, esnek, kolay işlenebilir, korozyona dayanıklı, elektrik ve ısı yalıtkanlığı yüksek ve ekonomik olmaları dolayısıyla çok sayıda kullanım alanına sahiptir. Günlük yaşantımızda birçok alanda kullanmakta olduğumuz plastiklerin uzun yıllar boyunca doğada biyo-bozunmaya uğramaması ve bu kapsamda yarattığı kirliliğin, çevre ve insan sağlığını etkilediği bilinmektedir (Esmeray ve Armutlu, 2020). Şimdiye kadar yapılan çalışmalar, plastik kirliliğini, büyük boyutlu plastik parçaların geri dönüşümü ya da geri kazanımı olarak değerlendirmektedir (Taş Divrik, Karakaş ve Divrik, 2018; Yalman, 2019). Oysaki doğal yaşamı tehdit eden unsurların daha detaylı araştırılmaya başlanmasıyla, mikroplastiklerin (MP) sebep olduğu kirlilik son dönemde daha çok gündeme gelmeye başlamıştır.

Dünya genelinde, MP kirliliğinin ele alındığı çalışmalarda MP'lerin, çamaşır makinelerinden ve atıksu arıtma tesislerinden deşarj edilerek, tatlı ve tuzlu sularda biriktiği tespit edilmiştir (Ji vd., 2021; Pittura vd., 2021; Browne vd., 2011). Buna paralel olarak, Türkiye'de, MP'ler ile ilgili çalışmalar, çoğunlukla bu partiküllerin su kaynaklarında birikimini incelemektedir (Altuğ, 2020; Aydın, 2020; Bakkaloğlu, 2019; Çatalbaş, 2017; Doğruyol, 2019; Gürbüz, 2017; Konya, 2019).

MP'lerin iki farklı yoldan çevreye salındığı bilinmektedir. Bunlardan ilki, büyük plastiklerin zaman içinde parçalanması ile olurken, diğeri, çamaşır makinelerinden atılan atıksudaki MP'lerin doğaya karışması şeklinde olmaktadır (Browne vd., 2011). Çamaşır yıkama faaliyeti ile oluşan MP salınımı, kumaşların yıkama işlemi esnasında mekanik ve kimyasal gerilime maruz kalmasında ileri gelir. Boyutları nedeniyle yakalanamayan MP'lerin çoğu, atıksu arıtma tesisleri tarafından filtrelenemez ve böylece su ortamlarına ulaşır (Alvim, Bes-Pia ve Mendoza-Roca, 2020).

MP salınımı, yüksek verimlilikte faaliyet gösteren atıksu arıtma tesislerinde de rapor edilmiştir (Ben-David vd., 2021; Pittura vd., 2021). Büyük plastiklerin bozunmasından kaynaklanan, büyük ölçüde MP içeren kirleticiler, Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da polietilen ve polipropilen lifler olarak tespit edilmiştir (Ouda vd., 2021). Aynı şekilde İran'daki Bandar Abbas kentinde (Naji, Azadkhan, Farahani, Uddin ve Khan, 2021), Hazar Denizi'nde (Petroody, Hashemi ve Van Gestel, 2020) ve Çin'de (Jiang vd., 2020; Tang, Liu ve Xing,

2020), atıksu işleme tesisinin verimliliğinden bağımsız olarak, bu tesislerden deşarj edilen suda MP oluşumunun saptandığı bir dizi çalışma yapılmıştır.

Atıksu arıtma tesislerinde yapılan çalışmalarda MP'lerin, filtrelenemeyecek kadar küçük olduklarından sucul ortama ve suda yaşayan canlılara zarar verdikleri belirlenmiştir. Atıksularda MP kirliliğini önlemede; kanalizasyona gelen MP kirliliğinin kaynağında azaltımının sağlanması, yararlı bir kirlilik önleme yöntemi olacaktır. Ayrıca mevcut atıksu arıtma tesislerinin ileri arıtım, örneğin membran sistemleri, eklenerek iyileştirilmesi mümkün gözükmektedir (Sarıoğlu ve Koç, 2017). Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan teknoloji henüz mikro boyuttaki parçacıkları tutabilecek kapasiteye ulaşmış durumda değildir. Bu sebeple arıtıldığını düşündüğümüz atıksu içerisindeki birçok mikro parçacık arıtılmadan su kaynaklarına ulaşmaktadır. Su kaynaklarından uzaklaştırılamayan bu mikro parçacıklar zehirli kirleticileri adsorplayıp besin zincirindeki, zooplankton, makro omurgasızlar, balıklar vb. canlıların doku veya organlarında birikmektedir (Van Cauwenberghe ve Janssen, 2014). Kalıcı özelliklerinden dolayı MP'lerin, su ortamında akıntılar ve hidrodinamik süreçler ile büyük çaplı alanlara yayılması mümkündür. Yoğunluğu yüksek olan parçacıklar, çökelp tortu oluştururken; düşük yoğunluklu parçacıklar ise su yüzeyinde yayılmaktadır. Mikrometre boyutlu plastik partiküller, balık, solucan, deniz kuşları, kabuklular, midye gibi deniz canlıları tarafından yutulur. MP yutulması canlıların yaşamsal işlevlerine ciddi zarar verebilmektedir (Kadızoğlu, 2019).

MP polietilen granüller, sucul ekosistemler için ciddi problem olarak kabul edilmektedir. Balıklar ve diğer istiridye ve midye gibi suyu filtre ederek beslenen deniz canlıları tarafından bu plastiklerin besin olarak alınabildiği ve bu canlılarda MP birikimi olduğu bilinmektedir. Bu plastikler yenildiklerinde, suda yaşayan hayvanların sindirim sistemlerinde birikimi ile canlıları gerçek yiyeceklerin tüketilmesinden geri bırakacaktır. Bu durum sucul canlıların büyümesini, üreme yeteneklerini ve yaşam koşulları engellemektedir (Doğa ve Sürdürülebilirlik Derneği, 2018). Türkiye'nin Akdeniz kıyıları boyunca MP tespiti ile ilgili yapılan çalışmada, 1.322 balık örneğinin mide ve bağırsakları incelenmiş, lifler (%70) ve sert plastiklerden (%20,8) ibaret olmak üzere 1.622 MP parçacığı tespit edilmiştir (Güven, Gökdağ, Jovanovic ve Kıdeys, 2017).

Evsel veya endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde arıtılmış suyun, içme suyu kaynaklarına yakın bir alana deşarj edilmesi, büyük miktarlarda MP parçacığının içme suyuna geçmesine neden olmaktadır (Carr, Liu ve Tesoro, 2016; Eriksen vd., 2013). Bu, günde 50.000 ile 15 milyon MP parçacığın içme suyuna karışması anlamına gelmektedir (Mason vd., 2016).

Buraya kadar anlatılanlardan anlaşıldığı üzere suda MP'lere sıklıkla rastlanmaktadır. Bu kirleticilerin suya ulaşmasındaki araçlardan biri de atıksu deşarjlarıdır. Özellikle konvansiyonel arıtma yöntemleri ile atıksu arıtma tesislerinde arıtılmayan atıksu içerisindeki mikro-kirleticiler, alıcı su kaynaklarına ulaşarak sucul ekosistemlerdeki canlılara ve insan hayatına zarar verme potansiyeline sahiptir.

MP, günümüzde çok sayıda çevresel ortamda bulunmaları ve miktarlarının giderek artması dolayısıyla, kaynaklarının belirlenmesi ve oluşumlarının en aza düşürülmesi için iyi takip edilmesi gereken bileşenlerdendir. Ülkemizde tekstil malzemelerinin evsel çamaşır makinelerinde yıkanmasından kaynaklanan MP kirliliği ile ilgili yayınlanmış kapsamlı bir araştırma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile günlük hayatımızda sıkça kullandığımız kıyafetler ve diğer tekstil malzemelerinin çamaşır makinelerinde yıkanması ile oluşan ve evsel atıksuya karışan MP kirliliği araştırılmıştır. Bu amaçla önceden lif kompozisyonu kaydedilen tekstil ürünleri, çamaşır makinesinde yıkanmış, makine giderinden toplanan atıksu farklı boyutlarda filtrelerden geçirilerek filtrede tutulan MP'lerin ağırlıkları tespit edilmiştir. Daha sonra dinamik sistem modeli oluşturularak, MP birikimi, bölgesel nüfus dinamikleri ve toplumsal davranışlar da dikkate alınarak, bir stok-akış diyagramı üzerinde incelenmiştir. Literatür taraması ve anket çalışması, model için veri teşkil etmiştir. Modelin simülasyonu ve deney çalışmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak incelenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Son zamanlarda farklı alanlarda faaliyet gösteren birçok sektörde plastik kullanımı hızla artmaktadır (Kasamesiri, Meksumpun, Meksumpun ve Ruengsorn, 2021). Bununla birlikte, plastiğin doğada değişime olan direnci ve bozunmaya karşı olan yüksek dayanımı, plastiklere dair önemli çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Plastiklerin biyobozunur olmamasından ötürü uygun şekilde bertaraf edilmeyen plastik atıklar çevreye yüzyıllarca zarar vermektedir. Günümüzde atık bertaraf alanlarında biriken bu plastikler, doğaya karışarak, özellikle de sudaki çökeltilerde büyük miktarda plastik birikimine sebep olmaktadır (Dong vd., 2021; Ji vd., 2021). Geçmişte çevre sorunları incelenirken öncelikle büyük plastiklere odaklanılmış olsa da, MP olarak tanımlanan daha küçük parçacıkların doğaya etkilerine ilişkin endişeler son yıllarda artmaya başlamıştır (Ouyang vd, 2021; Alimi, Fadare ve Okoffo, 2021).

MP'ler, ayrıca deniz faunasında ve gelgit çökeltilerinde de tespit edilmektedir (Ji vd., 2021; Zhang vd., 2021a; Chen, Lu, Yang ve Liao, 2021). En yaygın saptanan polimer tipleri, polipropilen (PP), polietilen (PE), polivinilklorür (PVC), polistiren (PS) ve politetrafloroetilendir (PTFE) (Xu, Ma, Ji, Pan ve Miao, 2020). Bu durum, MP'lerin balık embriyoları ve larvaları gibi deniz organizmalarının besin zincirine katılması bakımından deniz ortamı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Zitouni vd., 2021; Zhang vd., 2021b; Kasamesiri vd., 2021). Konya (2019), tez çalışmasında Marmara Denizi'ndeki Büyükçekmece ve Tuzla içlerindeki istasyonlarından aldığı numunelerde MP miktarını ve dağılımını incelemiştir. Yapılan çalışmada, su yüzeyi, sediment ve su kolonlarındaki MP miktarları ölçülmüştür. Xu vd. (2020) yaptıkları çalışmada ise sucul ortamlardaki MP birikimini ve bunun biyolojik etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, sucul ekosistemde MP'nin su canlılarına geçerek besin zincirine dahil olduğu sonucuna varılmıştır. Sidney Limanı'nda yapılan bir başka çalışmada ise polimer tipini tanımlamak için spektroskopi ile ölçüm yapılarak liman atıklarının en az %53'ünün MP olduğu ve bu oranın balık bünyesinde tutulan miktarı tespit edilmiştir (Halstead, Smith, Carter, Lay ve Johnston, 2018). Sucul ortamlara karışan bu MP'ler, deniz ürünlerinin tüketilmesi ile insanların besin zincirine de dahil olmaktadır (Huang vd., 2021). MP'nin, maruz kalan kişilerde oluşturabileceği fiziksel zararları inceleyen birçok araştırma bulunmaktadır (Abbasi ve Turner, 2021; Rai, Lee, Brown ve Kim, 2021). MP'ler küçük boyutları ve ince uçları sayesinde, kişilerde iltihaplanmalara

neden olabilmektedir (Sun, Dai, Wang, Van Loosdrecht ve Ni, 2019). MP'ler hücre zarından ve plasentadan geçerek insan sağlığını etkilemektedir (Vethaak ve Leslie, 2016).

Mason vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada ABD'de atıksulardaki MP kirliliğinin yoğunluğunu inceleyerek en yaygın kirlilik kaynağının MP lifler olduğunu tespit etmiştir. Bu çalışmada, aynı zamanda atıksu arıtma tesislerinin mikro kirliliği arıtma konusunda yetersiz kalabileceği de gösterilmektedir. Su kirliliğini inceleyen bir diğer çalışmada, Tuz Gölü'ndeki MP birikimi değerlendirilmektedir (Çatalbaş, 2017). Bu çalışmada, Tuz Gölü'nün yedi farklı noktasından alınan tuz ve su numuneleri laboratuvar ortamında incelenmiştir. İncelenen bu numunelerde rastlanan MP kirliliğinin, evsel ve endüstriyel atıkların Tuz Gölü'ne deşarj edilmesinden kaynaklandığı gösterilmiştir. Benzer şekilde, Gürbüz (2017), Marmara Denizi'ndeki MP kirliliğinin dağılımını ve karakterizasyonu incelemek üzere, 9 farklı nokta belirlemiştir. Sonuç olarak, Marmara Denizi'nde, askıda olan kirliliğin 1.405 adet/m<sup>2</sup>, sedimentte biriken kirliliğin ise 2.044 adet /m<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir.

Tekstil sektöründeki rekabet ve hızlı tüketimin etkisiyle tekstil ürünlerinde gün geçtikçe daha fazla sentetik içerik kullanılmaya başlanmıştır. Bu şekilde tekstil ürünlerinden kaynaklanan MP'ler, MP kirliliğinde önemli artışa neden olmaktadır. Tekstilden kaynaklanan MP'nin yılda yarım milyon tona ulaştığı belirlenmiştir (Boucher ve Friot, 2017).

Atıksulardaki birincil MP'ler başlıca kişisel bakım ürünleri ve polietilen, polipropilen veya polistiren polimerlerden yapılan temizlik ürünlerinden kaynaklanırken, ikincil tip MP'ler, polyester, akrilik, polyamid vb. tekstil ürünlerinin yıkanmasından kaynaklanan mikrofiberlerdir (Browne vd., 2011; Hernandez, Nowack ve Mitrano, 2017). Arıtma tesislerine gelen mikrofiberler genellikle naylon, akrilik, polyester, polipropilen, rayon, selüloz, yün ve selofandır (Gago, Carretero, Filgueiras ve Viñas, 2018; Mishra, Rath, Charan ve Das, 2019; Peterson, 2015).

Çamaşır yıkama sonucunda MP üretildiğini gösteren ilk çalışma ise, Browne vd. (2011) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışmayı takiben, deneysel ölçekte çamaşır yıkama faaliyetinden çıkan MP miktarını araştıran çok sayıda çalışma yapılmıştır. Örneğin, Napper ve Thompson (2016), tipik bir yıkama yükünün (6 kg) 700.000'den fazla MP üretebileceğini tahmin ederken, bir başka çalışma, standart 5 kg yıkama yükünden salınan MP sayısının, kullanılan deterjan türüne bağlı olarak 6 milyon partikül olabileceğini göstermiştir (De Falco vd., 2018).

Napper ve Thompson (2016), aynı zamanda, yaptıkları çalışma ile sentetik malzemelerin çamaşır makinesinde yıkanması faaliyetini, potansiyel olarak önemli bir mikroskobik elyaf üretim kaynağı olarak değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada polyester, polyester-pamuk karışımı ve akrilik kumaşlardan liflerin salınımı inceleyerek, farklı kumaşları çeşitli sıcaklıkta deterjanla yıkama işlemlerinden geçirmişlerdir. Polyester-pamuklu kumaşların, genel olarak, polyesterden veya akrilikten çok daha az elyaf dökmekte olduğu sonucuna varmışlardır.

MP'nin çamaşır yıkama faaliyeti sonucunda doğaya salındığının tespit edilmesi ile beraber bu salınımın nasıl azaltılabileceği de araştırmacıların yoğunlaştığı konular içine girmiştir. Örneğin, Francesca vd. (2018), poliamid kumaşlardan salınan MP miktarını azaltmak için pektin esaslı son işlemi incelemiştir. İşlem, bitkilerin hücre duvarlarında mevcut olan doğal bir polisakarit olan pektin kullanımına dayanmaktadır. Kumaşı işlevselleştirmek için pektin, poliamid üzerine aşılanmıştır. Yıkama testleri sonucunda, işlemde geçirilmiş kumaşların yıkanması ile salınan MP'nin, işlem görmemiş kumaşların yıkanması ile salınan mikro elyaf miktarından yaklaşık %90 daha az olduğu görülmüştür.

Pirc, Vidmar, Mozer ve Kržan (2016), iki adet 320 gram ağırlığında ve 120 x 70 cm boyutlarında battaniyenin deterjan kullanılmadan, deterjan kullanılarak ve deterjan-yumuşatıcı kullanarak yıkanması sonucundaki MP oluşumunu değerlendirmişlerdir. Çalışmada her yıkamada aynı miktar deterjan ve yumuşatıcı kullanarak 10 tekrar yıkama yapılmıştır. Her yıkama öncesi makine, 105 dakika, 60°C'de 1.200 devir/dakika programında boş çalıştırılmıştır. Yıkamalar sonucu oluşan çıkış suyu 200 µm filtreden geçirilmiştir. Birinci yıkamada ağırlıkça %0,008-0,021 MP salınımı olurken, ilerleyen yıkamalarda bu miktar gittikçe azalmıştır. Bir diğer çalışmada ise, Jönsson vd. (2018), laboratuvar tipi Gyrowash yıkama makinesi kullanarak, yıkama sonucu oluşan atıksuyu, 20 µm ve 5 µm filtrelerden geçirilerek tutulan MP'leri saymışlardır.

Ülkemizde ise MP ile ilgili çalışmalar oldukça yenidir. Denizlerde (Gökdağ, 2017; Gündoğdu, 2017), deniz canlılarında (Gündoğdu, Çevik ve Ataş, 2020) ve bazı gıda maddelerinde (Yurtsever, 2018) MP ile ilgili yapılmış çalışmalar olsa da, özellikle tekstil malzemelerinden kaynaklanan MP kirliliğine dair kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ülkemizde ayrıca MP ile ilgili arıtma tesisi bazında atıksuda yapılmış az sayıda çalışma mevcuttur (Gündoğdu, Çevik, Güzel ve Kilercioğlu, 2018; Akarsu, Kumbur, Gökdağ, Kıdeys

ve Sanchez-Vidal, 2020). Oysaki sucul ortamda rastlanan MP'nin önemli bir bölümü tekstil kaynaklıdır.

Ayrıca, yayınlanan uluslararası çalışmalar incelendiğinde, tekstil ürünlerinin çamaşır makinelerinde yıkanması ile oluşan MP'nin incelenmesi için genellikle ticari yıkama koşulları altında standart ekipmanların kullanıldığı görülmektedir (Jönsson vd., 2018; Hernandez vd., 2017; Belzagui, Crespi, Alvarez, Gutierrez-Bouzan ve Vilaseca, 2019; Kelly, Lant, Kurr ve Burgess, 2019; Yang vd., 2019). Oysaki laboratuvar koşullarında standart ekipmanlarla yürütülen çalışmalar ile evsel koşullarda yıkama sonucu oluşacak MP özellikleri farklılık gösterecektir. Laboratuvar koşullarında, çelik kafes içinde simülatör yıkama makinesinde yıkanan çamaşırdan çıkan MP'nin evsel koşullarda salınan MP'den farklı olacağı aşıkardır. Bunun yanında, bu çalışmalarda yeni kıyafetler yıkanmış ve en fazla birkaç tekrar uygulanmıştır. Evsel koşullarda ise kullanımdaki kıyafetler, bu çalışmalarda uygulanan en fazla 10 yıkama koşulunun çok üzerinde sayılarda yıkanarak kullanılmaya devam edebilmektedir. Ayrıca çalışmalarda sınırlı sayıda filtre kullanılmasından ötürü, belirli boyut aralığındaki MP'ler incelenmiştir.

Bu çalışma ile evsel çamaşır yıkama faaliyetinden kaynaklanan MP miktarının ortaya konmasının yanı sıra, çamaşır makinesi çıkış suyu, 200 µm, 100 µm, 50 µm ve 5 µm'lik filtrelerden süzülerek MP boyut dağılımı da belirlenmiştir. Bu şekilde oluşan MP'ler miktar ve boyut büyüklüğü açısından değerlendirilmiştir. Bunun yanında, Vensim yazılımı ile dinamik sistem modeli oluşturulmuş ve MP oluşumuna etki eden parametreler ve MP birikiminin farklı şartlar altında değişimi, hassasiyet analizi (Monte Carlo) ile değerlendirilmiştir.

Dinamik sistem modelleri, kullanıcıların karmaşık sorunların nedenlerini ve değişkenlerin bu sorunlar üzerindeki etkisini incelemelerine olanak tanır (Barlas, 1996). Şimdiye kadar sadece bir grup araştırmacı MP'lerin yüzey sularındaki oluşumunu ve değişkenliğini daha iyi anlamak için sistem yaklaşımını kullanmıştır (Minteniğ vd., 2020). Oysaki sistem yaklaşımı, farklı parametrelerin kendi içinde ve birbirleriyle etkileşimlerinin anlaşılmasına yardımcı olması sebebiyle, çevre biliminde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Araştırmacılar bu yöntemi, ya mevcut çevre yönetim sistemlerinin performansını iyileştirmek (birinci grup), ya da belirli bir çevre sorununa çözüm bulmak için (ikinci grup) kullanmaktadır. Birinci gruptaki çalışmalar, İran'da yapılan bir çalışmada kentsel ulaşım sisteminde etkili politikaların belirlenmesi ve seyahat talebinin tahmin edilmesi (Norouzian-



Maleki vd., 2020), Malezya'da şantiyelerde karşılaşılan çevre sorunlarının analizi (Haron ve Hawari, 2018) ve de Çin'de yeşil tasarım uygulamalarının yaygınlaştırması (Li, Zhang, Zhang ve Jha, 2021) gibi konuları kapsamaktadır. İkinci gruptakiler ise, örneğin Kolombiya'daki cep telefonu kirliliğine (Galeano ve Rodriguez, 2021), Portekiz'deki kentsel dönüşüme (Lousada vd., 2021) ve Çin'deki kırsal yerleşimlerin düzenine ilişkin konulara (Huang, Song ve Song, 2020) odaklanmaktadır. Bu anlamda, şu ana kadar, farklı koşullar altında MP deşarjını uzun vadede tahmin etmek ve karşılaştırmak için sistem dinamikleri yaklaşımını deneysel analizlerle birleştiren bir çalışma bulunmamaktadır.



### 3. MP YAPISI VE OLUŞUMU

Genel olarak 5 mm'den küçük plastikler, MP olarak adlandırılmaktadır. Çevrede rastlanan plastik parçalar, genellikle boyutlarına göre beş farklı kategoride değerlendirilir. Bunlar; nanoplastikler (1nm - 1mm), mikroplastikler (1mm - 5mm), mezoplastikler (5mm – 20mm), makroplastikler (20mm - 100mm) ve de megaplastikler (100 mm den büyük)'dir. MP'ler ise büyüklüklerine göre; küçük MP'ler (1 mm'den küçük boyuttakiler) ve büyük MP'ler (2–5 mm) olmak üzere iki sınıfa ayrılarak incelenmektedir (Yurtsever, 2018).

MP'ler oluşum şekline göre iki grupta değerlendirilir. Kozmetik sanayi, boya sanayi ve ilaç sektörü gibi çok çeşitli alanlarda, mikroskobik boyutta üretilen plastik parçacıklar, birincil MP'ler olarak adlandırılır. Bunun yanı sıra, karasal veya denizel ortamda bulunan büyük boyuttaki plastik atıkların zaman içerisinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin etkisi ile yapısal bütünlüğünün bozulmasına bağlı olarak parçalanmasıyla ortaya çıkan mikroskobik plastik parçacıklar, ikincil MP'lerdir. Bu büyük plastik atıklar, özellikle UV-B ışınların tetiklediği dalga hareketi ve fotokimyasal süreçlerin neden olduğu mekanik aşınma sonucu parçalanıp MP'leri oluşturmaktadır (Çatalbaş, 2017). Aynı zamanda, MP'ler yoğunluklarının az olması sebebiyle, rüzgar ve su akıntıları ile uzun mesafelere taşınabilmektedir. Plastiklerin ömür ve dayanıklılığının on binlerce yıl olduğu tahmin edilmektedir. İnsanlar deniz ürünleri ve içme suyu ile MP'ye maruz kalabilirler. Hücre zarını ve insan plasentasını geçen MP insan sağlığını etkilemektedir (Vethaak ve Leslie, 2016). Bu da plastik kirliliğinin önemli ölçüde artmasına sebep olmuştur. Şekil 3.1'de birincil ve ikincil MP'lere ilişkin örnekler verilmektedir.



Şekil 3.1. Birincil ve ikincil MP'ler

#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu projede, Marmara Bölgesi'nin en kalabalık ili olan Tekirdağ, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Tekirdağ, yaklaşık 6.218 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüne sahiptir (Tekirdağ Valiliği, 2021). Şehrin toplam nüfusu ise 1.055.412 kişidir (TÜİK, 2019).

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere proje ilindeki nüfus artış hızı, ülke genelindeki nüfus artış hızının üzerindedir.

Çizelge 4.1. Yıllara göre Tekirdağ nüfusu

Yıllar	Türkiye		Tekirdağ	
	Nüfus (kişi)	Nüfus Artış Hızı (%)	Nüfus (kişi)	Nüfus Artış Hızı (%)
2017	80.810.525	-	1.005.463	-
2018	82.003.882	1,45	1.029.927	24,0
2019	83.154.997	1,38	1.055.412	24,4

Proje ili göç durumuna göre incelendiğinde, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2019) verilerine göre, 2018-2019 dönemine ait göç alma ve verme değerleri, 2017-2018 dönemlerindeki değerlere göre azalış göstermektedir (Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3). Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'e göre ilgili dönemlerde, Tekirdağ İlinin aldığı göç, verdiği göçten daha fazladır. Bu da göç hareketliliğinin proje ilindeki nüfusu arttırıcı yönde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2. 2017-2018 ve 2018-2019 dönemlerinde Tekirdağ ilinin göç alma durumu

Dönem	Tekirdağ İlinin Aldığı Göç (kişi)	Ülke Bazında İller Arası Göç (kişi)	Tekirdağ İlinin Aldığı Göçün Ülke Bazında İller Arası Göçe Oranı (%)
2017 - 2018	53.895	3.057.606	1,763
2018 - 2019	48.911	2.806.123	1,743

Çizelge 4.3. 2017-2018 ve 2018-2019 dönemlerinde Tekirdağ ilinin göç verme durumu

Dönem	Tekirdağ İlinin Verdiği Göç (kişi)	Ülke Bazında İller Arası Göç (kişi)	Tekirdağ İlinin Verdiği Göçün Ülke Bazında İller Arası Göçe Oranı (%)
2017 - 2018	41.010	3.057.606	1,341
2018 - 2019	38.109	2.806.123	1,359

Sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması bakımından 81 il arasında Tekirdağ 9. sırada bulunmaktadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2017). Bu sıralama, proje ilindeki sosyo-ekonomik konumun üst seviyelerde olduğunu işaret etmektedir. Bu durum, Tekirdağ'da yaşayan halkın yaşam standartları, eğitim ve ekonomik durumlar vb. şartlarının ülke genelinde ortalamanın üzerinde olduğunu göstermektedir.

#### 4.1. Deney Çalışması

Çalışma kapsamında, polyester, akrilik, pamuk ve elastan elyaf kompozisyonları (%) not edilen çamaşırların ağırlıkları belirlenmiştir. Çamaşırlar daha sonra, Profilo marka Super 8 CM104K0TR A+++ model, ev tipi çamaşır makinasında, Jet Plus programında (44 dakika, 40 °C, 1000 devir, maksimum 3,5 kg çamaşır yükü) yıkanmıştır. Her bir yıkamadan sonra makine boş çalıştırılarak temizlenmiş, böylece bir önceki yıkamadan kalan MP-ML karışmasının önüne geçilmiştir. Deterjandan kaynaklı MP-ML salınımının da gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Ancak tüm yıkamaların deterjan kullanılarak yapılmış olmasından dolayı, yıkama başına çıkan MP-ML miktarlarının kıyaslanmasında bu durumun fark oluşturmayacağı düşünülmektedir. Deterjanlı boş yıkama yapılmış ve numune alımı gerçekleştirilmiştir. Deterjanlı boş yıkamada oluşan deterjan kirliliği 0,0001 mg olarak bulunmuştur ve bu değer kirlilik oranlarını çok etkilemediği için deterjan kirlilik ağırlığı hesaplamalarda göz ardı edilmiştir. Çizelge 4.4, bu çalışmada kullanılan çamaşır gruplarının kompozisyonlarını, ağırlıklarını ve yıkama detaylarını göstermektedir.

Çizelge 4.4. Yıkama esnasında kullanılan çamaşır içerikleri

Grup No	Yıkama Öncesi (kg)	Kurutma Sonrası (kg)	Kirlilik yükü (kg)	Yıkamada Kullanılan Çamaşırlar	Çamaşır İçerikleri
1.	2,745	2,690	0,055	2 Yetişkin Pantolonu, 2 Yetişkin Pijaması, 1 Yetişkin Kazağı, 1 Yetişkin Gömleği, 1 Yetişkin Tişörtü, 1 Çocuk Kazağı	Pamuk %90,75 Polyester %8 Elastan %1,25
2.	2,350	2,310	0,04	2 Yetişkin Tişörtü, 2 Yetişkin Hırkası, 1 Yetişkin Kazağı, 1 Yetişkin Pijaması, 1 Yetişkin Şortu, 1 Yetişkin Pantolonu	Akrilik %25 Pamuk %43,125 Polyester %30,625 Elastan %1,25
3.	2,875	2,825	0,05	2 Yetişkin Hırkası, 2 Yetişkin Kazağı, 1 Yetişkin Pijaması, 1 Yetişkin Pantolonu, 1 Yetişkin Şortu, 1 Yetişkin Tişörtü, 1 Çocuk Kazağı, 1 Çocuk Pantolonu	Pamuk %64,5 Polyester %33 Elastan %1,5 Akrilik %1
4.	3,775	3,730	0,045	4 Yetişkin Pijaması, 3 Yetişkin Kazağı, 2 Yetişkin Pantolonu, 1 Çocuk Kazağı	Pamuk %51 Polyester %43,5 Akrilik %5 Elastan %0,5
5.	3,785	3,760	0,025	3 Yetişkin Pantolonu, 2 Yetişkin Kazağı, 2 Yetişkin Pijaması, 1 Yetişkin Şortu, 1 Yetişkin Hırkası, 1 Yetişkin Tişörtü, 1 Yetişkin Atleti, 1 Çocuk Pijaması	Pamuk %63,33 Polyester %34,75 Akrilik %1,08 Elastan %0,83

Çizelge 4.4. (devam) Yıkama esnasında kullanılan çamaşır içerikleri

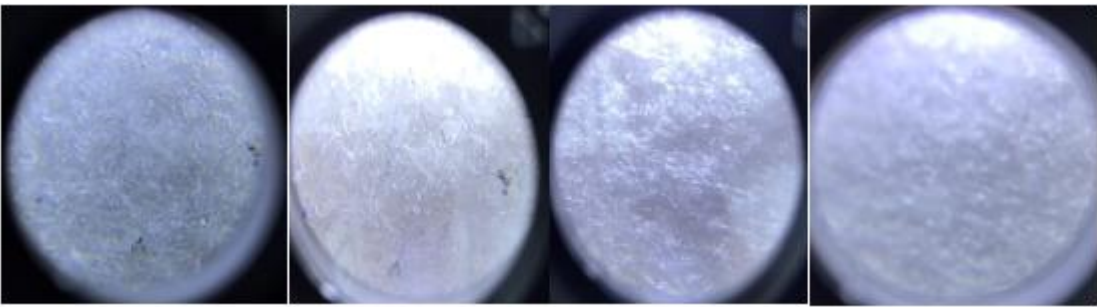
6.	3,790	3,760	0,03	3 Yetişkin Tişörtü, 3 Yetişkin Kazağı, 2 Yetişkin Pijaması, 1 Yetişkin Pantolonu, 1 Yetişkin Gömleği, 1 Yetişkin Şortu, 1 Yetişkin Hırkası	Pamuk %63,91 Polyester %29,66 Akrilik %4,16 Elastan %2,25
7.	3,510	3,470	0,04	3 Çocuk Kazağı, 2 Yetişkin Pantolonu, 2 Yetişkin Kazağı, 2 Yetişkin Tişörtü, 2 Yetişkin Pijaması, 1 Yetişkin Şortu	Pamuk %51,7 Polyester %32,5 Akrilik %15 Elastan %0,8
8.	2,950	2,925	0,025	2 Yetişkin Kazağı, 2 Yetişkin Pijaması, 2 Yetişkin Tişörtü, 1 Yetişkin Şortu, 1 Yetişkin Pantolonu, 1 Yetişkin Atleti, 1 Çocuk Pijaması, 1 Çocuk Montu	Pamuk %63,53 Polyester %34,15 Elastan %2,3
9.	3,380	3,350	0,03	3 Yetişkin Pantolonu, 2 Yetişkin Kazağı, 1 Yetişkin Pijaması, 1 Yetişkin Gömleği, 1 Yetişkin Tişörtü	Pamuk %83 Polyester %9,5 Akrilik %6,25 Elastan %1,25
10.	3,325	3,310	0,015	3 Yetişkin Kazağı, 3 Yetişkin Hırkası, 2 Yetişkin Pijaması, 1 Yetişkin Pantolonu, 1 Yetişkin Tişörtü	Pamuk %65,1 Polyester %22,8 Akrilik %11 Elastan %1,1

Her yıkama işleminin ardından çamaşır makinesi çıkış suyu, gider borusu çıkartılarak büyük hacimli plastik bir tankta toplanmıştır. Birkaç dakika karıştırılan bu tanktan 5 litrelik plastik şişelerle numune alınmıştır. Ölçümleri yapılacak numuneler için, 5 litrelik bu şişeler tekrar karıştırılarak, bu defa 250 ml'lik numuneler alınmıştır. Toplanan numuneler 200µm, 100µm, 50µm ve 5µm filtrelerden süzülerek, etüvde 105 °C'de 30 dakika kurutulmuştur. Kurutulan filtreler hassas terazide tartılarak, filtrelerde tutulan MP-ML ağırlığı belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada kullanılan filtreler ve mikroskop görüntüleri sırası ile Şekil 4.1, Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan filtreler



Şekil 4.2. Filtrelerin mikroskop görüntüleri

Deney çalışmasından elde edilen sonuçlar, Vensim yazılımı kullanılarak oluşturulan dinamik simülasyon modeli ile karşılaştırılmıştır. Modele ilişkin veriler, kaynak taraması ve Tekirdağ’da yapılan anket çalışması ile elde edilmiştir. Anket çalışmasında, halkın çamaşır

yıkama alışkanlıklarına ilişkin bilgi ve veri elde edilmiştir (Çizelge 4.5). Bu bilgi ve veriler model değişkenlerinin belirlenmesi ve ölçülmesinde kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. Anket çalışması soruları

Soru No	Sorular
1	Haftalık çamaşır yıkama sıklığınız nedir?
2	Çamaşır makinenizin maksimum çamaşır kapasitesi nedir? (Yıkama esnasında % kaçını dolduruyorsunuz?) (Örneğin: Maksimum kapasite: 8,5 kg, %50 dolduruyorum)
3	Evde kaç kişi yaşamaktasınız? (kişilerin yaş dağılımı nasıldır?) (Örneğin: 2 kişi yaşıyor, x ve y yaşlarında)
4	Genel olarak kullandığınız yıkama programı hangisidir? (yıkama dakika, sıcaklığı, devir ve makine kapasitesi olarak) (Örneğin: Karışık: 44 dakika, 30 °C, 1.000 Devir, Program Kapasitesi: 3,5 kg)
5	Yıkama esnasında kullandığınız deterjan ve yumuşatıcı (eğer kullanıyorsanız) hangisidir? (Bir yıkamada ne kadar kullanıyorsunuz?)

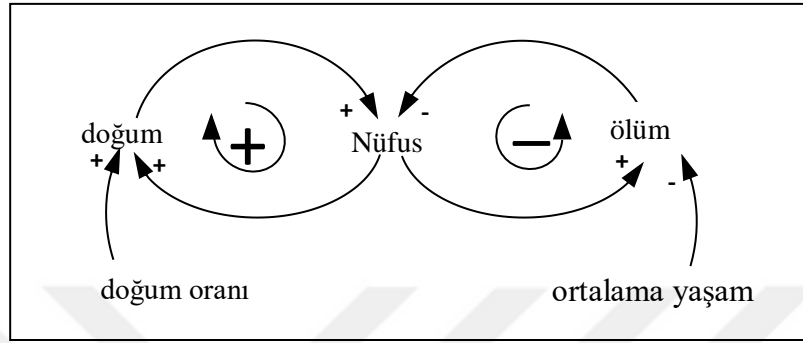
#### 4.2. Model Çalışması

Dinamik sistem modellerinin yapısı neden-sonuç döngüleri ile ifade edilir. Neden-sonuç döngüleri, modele dair genel bir fikir vermeleri ve model hipotezini ortaya koymaları bakımından önemlidir.



### 4.2.1. Neden Sonuç Döngüsü

Bu döngülerdeki sözcükler değişkenleri (parametre), tekli oklar ise değişkenler arasındaki neden sonuç ilişkisini gösterir. Şekil 4.3’de, neden-sonuç döngülerine ilişkin bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Neden Sonuç Döngüsü (Sterman, 2000)

Şekil 4.3’de, “Nüfus” parametresi, “doğum” akımı ile beslenirken, “ölüm” akımı ile boşalmaktadır. Parametreleri birbirine bağlayan konektörler ya negatif (-) ya da pozitif (+) polariteye sahiptir. Birbirine neden-sonuç ilgisiyle bağıntılanmış iki parametrenin değeri aynı doğrultuda değişiyorsa bu iki parametre arasındaki ilişki pozitif polariteye (+) sahiptir. Örneğin; Şekil 4.3’de, nüfus ve doğum parametrelerini birbirine bağıntılayan ilişkinin (okun) pozitif polariteye sahip olması, nüfustaki artışın doğumlarda artışa sebep olacağını, aynı şekilde nüfustaki azalışın da doğumlarda azalışa sebep olacağı anlamına gelmektedir.

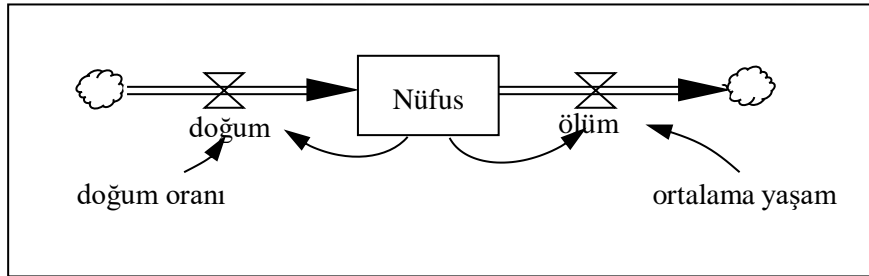
Sterman (2000) ve Ford (1999) bu konuyu şöyle açıklamaktadır; birbirine neden-sonuç ilgisiyle bağıntılanmış iki parametrenin değeri ayrı doğrultuda değişiyorsa bu iki parametre arasındaki ilişki negatif değere (-) sahiptir. Örneğin; Şekil 4.3’de, nüfus ve ölüm parametrelerini birbirine bağıntılayan okun negatif polariteye sahip olması, ölümlerdeki artışın nüfusta azalmaya sebep olacağını, aynı şekilde ölümlerdeki azalışın da nüfusta artışa sebep olacağı anlamına gelmektedir.

Parametreler arasındaki okların polaritelerinin yanı sıra döngülerin de polariteleri vardır (Sterman, 2000; Ford, 1999). Sistemin dinamik özelliği iki farklı türde bulunan döngülerin etkileşiminden kaynaklanır. Bu döngüler ya pozitif ya da negatif olmaktadır. Döngünün işareti ve yönü, döngünün içerdiği parametrelerin aralarındaki okların yön ve işaretlerine göre belirlenir. Pozitif döngüler sistem davranışını pekiştirici davranışlardır. Bu

döngülerde başlangıçtaki hareketlilik sistem boyunca değişime yol açar ve sistemi kararsız bir dengeye doğru sürükler (Örneğin, Şekil 4.4'deki nüfus ve doğum döngüsü). Negatif döngüler ise değişime karşı davranıştır. Bu döngüler sistemde denge oluşturmak ve değişimi sınırlandırmak üzere davranış gösterirler. Başlangıçtaki hareketliliğin ardından sistem denge konumuna girer (Örneğin, Şekil 4.4'deki nüfus ve ölümler döngüsü).

#### 4.2.2. Stok-Akış Diyagramı

Benzetim modelleri üç farklı değişken türü içerir. Bunlar stok değişkenleri, akış değişkenleri ve ara değişkenlerdir (Şekil 4.4). Stok değişkenleri (dikdörtgen kutular), sistemdeki birikimleri temsil eder. Akış değişkenleri (vanalı borular), stok değişkenlerinin değişim şeklini (besleme ya da drenaj) temsil eder. Ara değişkenler ise bu iki kategori dışındaki tüm değişkenlerdir ve çeşitli hesaplamalar için kullanılırlar. Ayrıca Şekil 4.4'te gösterilen tekli oklar modelin yapısındaki neden sonuç ilişkisini temsil eden bilgileri taşıyan hatlardır. Bir de “gölge değişkenler” vardır; herhangi bir alt modelde, bir önceki alt modelde oluşturulan parametre tekrar kullanılacaksa o değişken gölge modunda çağırılır ve (<parametre>) olarak görüntülenir.



Şekil 4.4. Stok ve Akış Şemaları (Ford, 1999)

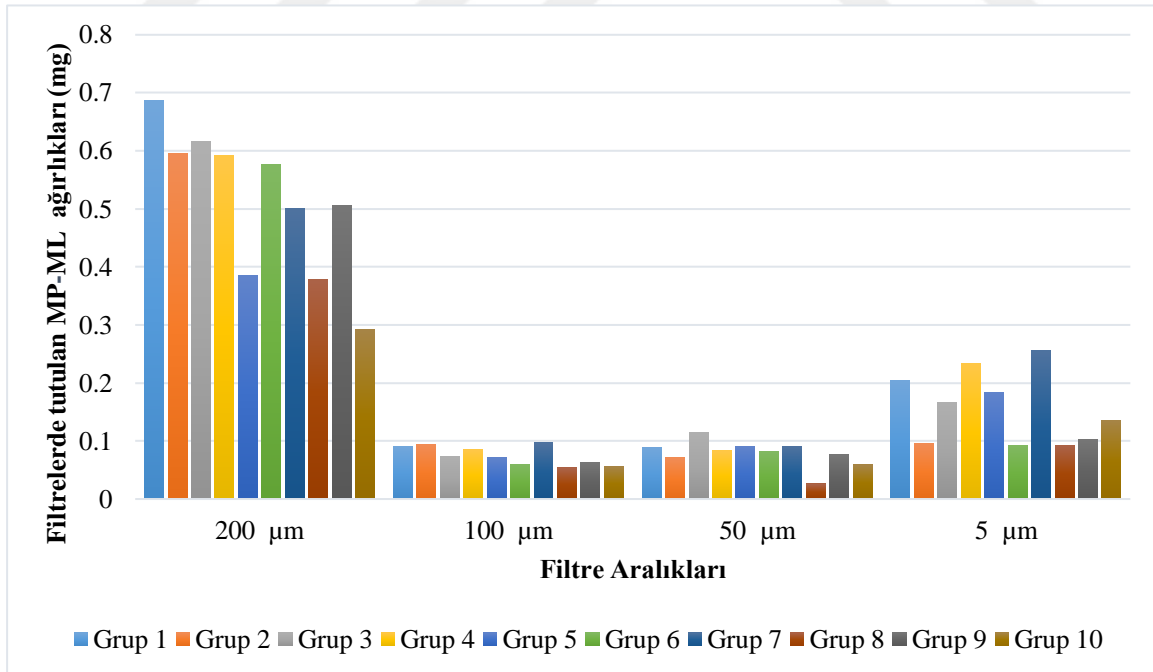
Bu projede oluşturulan MP-ML benzetim modelinin zaman aralığı, beyaz eşyaların ortalama ömrü ve buna bağlı olarak kişilerin çamaşır yıkama alışkanlıklarının tekrar şekillenebileceği esas alınarak, 2017-2030 yılları olarak belirlenmiştir. Modelin simülasyon sıklığı ise, mikroplastik tutucu filtrelerin temizliği ve çamaşır yıkama sıklığı göz önüne alınarak ay bazında incelenmiştir. Benzetim modelindeki başlangıç nüfus değerleri için 2017 yılında yayınlanan veriler kullanılmıştır. Böylece 2017, 2018 ve 2019 model sonuçları, gerçek sonuçlarla (istatistiki) karşılaştırıp modelin geçerliliği kontrol edilmiştir (Bölüm 5.2.2).

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 5.1. Deneysel Çalışma Sonuçları

Deney çalışmaları aşamasında günlük yaşamda kullanılan çamaşırların yıkanmasıyla elde edilen atıksudan numune alınmıştır. Bu yıkama işlemlerinde kullanılan çamaşırlar, daha önce günlük yaşantımızda kullandığımız ve defalarca yıkama işlemi yapılmış kıyafetlerden oluşmaktadır.

Her yıkama işleminin ardından çamaşır makinesi çıkış suyu, gider borusu çıkartılarak büyük hacimli plastik bir tankta toplanmıştır. Çamaşır makinası, yıkama başına 38 litre atıksu çıkışı gerçekleştirmiştir. Birkaç dakika karıştırılan bu tanktan 5 litrelik plastik şişelerle numune alınmıştır. Ölçümleri yapılacak numuneler için, 5 litrelik bu şişeler tekrar karıştırılarak, bu defa 250 ml'lik numuneler alınmıştır. Toplanan numuneler, 200µm, 100µm, 50µm ve 5µm filtrelerden süzülerek, etüvde 105 °C'de 30 dakika kurutulmuştur. Kurutulan filtreler hassas terazide tartılarak, filtrelerde tutulan MP-ML ağırlığı belirlenmiştir. Şekil 5.1'de etüvde kurutma işlemlerinden sonra filtre kağıtlarında oluşan MP-ML kirlilik yükleri verilmiştir.



Şekil 5.1. Filtrede tutulan MP-ML ağırlıkları

Yıkamalarda ki kıyafet içerikleri, filtrelerde biriken MP-ML kirlilik yüklerinin filtre başına kirlilik tutma oranları, Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Yıkama içerikleri, filtrelerde tutulan MP-ML kirlilik yükleri ve filtrelerin kirlilik tutma oranları

Grup	Yıkamadaki Kıyafet İçeriği	Yıkama Ağırlığı (kg)	Filtrelerdeki MP-ML Kirlilik Ağırlıkları (mg)				Filtrede Tutulan Toplam MP-ML Ağırlığı	MP-ML Kirlilik Yükü Tutma Oranı (%)			
			200 $\mu$ m	100 $\mu$ m	50 $\mu$ m	5 $\mu$ m		200 $\mu$ m	100 $\mu$ m	50 $\mu$ m	5 $\mu$ m
1	Pamuk %90,75 Polyester %8 Elastan %1,25	2,745	0,686	0,091	0,088	0,205	1,070	%64,11	%8,50	%8,22	%19,16
2	Akrilik %25 Pamuk%43,12 Polyester %30,625 Elastan %1,25	2,350	0,596	0,094	0,071	0,096	0,857	%69,54	%10,97	%8,28	%11,20
3	Pamuk %64,5 Polyester %33 Elastan %1,5 Akrilik %1	2,875	0,617	0,073	0,114	0,167	0,971	%63,54	%7,50	%11,74	%17,20
4	Pamuk %51 Polyester %43,5 Akrilik %5 Elastan %0,5	3,775	0,592	0,085	0,083	0,234	0,994	%59,55	%8,55	%8,35	%23,54

Çizelge 5.1. (devam) Yıkama içerikleri, filtrelerde tutulan MP-ML kirlilik yükleri ve filtrelerin kirlilik tutma oranları

5	Pamuk %63,3 Polyester %34,75 Akrilik %1,08 Elastan %0,83	2,745	0,686	0,091	0,088	0,184	0,732	%52,59	%9,83	%12,43	%25,13
6	Pamuk %63,91 Polyester% 29,66 Akrilik %4,16 Elastan %2,25	2,350	0,596	0,094	0,071	0,093	0,812	%70,94	%7,40	%10,22	%11,45
7	Pamuk %51,7 Polyester% 32,5 Akrilik %15 Elastan %0,8	2,875	0,617	0,073	0,114	0,256	0,945	%53,01	%10,26	%9,63	%27,10
8	Pamuk %63,53 Polyester %34,15 Elastan %2,3	3,775	0,592	0,085	0,083	0,092	0,550	%68,72	%9,81	%4,72	%16,72

Çizelge 5.1. (devam) Yıkama içerikleri, filtrelerde tutulan MP-ML kirlilik yükleri ve filtrelerin kirlilik tutma oranları

9	Pamuk %83 Polyester %9,5 Akrilik %6,25 Elastan %1,25	3,380	0,505	0,063	0,077	0,103	0,748	%67,51	%8,42	%10,29	%13,77
10	Pamuk %65,1 Polyester% 22,8 Akrilik %11 Elastan %1,1	3,325	0,293	0,056	0,059	0,136	0,544	%53,86	%10,29	%10,84	%25

Çizelge 5.1’de verilen filtrelerin kirlilik tutma yüzdeleri incelendiği zaman verim oranı ortalaması en yüksek olanlar sırasıyla 200 µm (62.3%) ve 5 µm (%19) filtreleridir. MP-ML kirlilik değerlerinin verildiği Çizelge 5.1’deki filtrelerin MP-ML kirlilik ağırlıkları baz alınarak mikroplastik kirlilik yükleri hesaplanmıştır. Kirlilik yükü hesaplamaları, alınan numune hacmi ve kullanılan kıyafet ağırlığı baz alınarak yapılmıştır. Bu hesaplamalara ilişkin sonuçlar Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.2’de atıksu numunesindeki MP-ML kirlilik yükü gösterilmektedir. Çizelge 5.3’te ise yıkama başına oluşan MP-ML kirlilik yükü verilmektedir. Bu aşamada yapılan hesaplamalarda Çizelge 5.2’de verilen MP-ML ağırlık değerleri (mg/l), çıkış suyunun 38 litre olduğu baz alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2. Atıksudaki MP-ML kirlilik yükü

<b>Grup No</b>	<b>200 µm (mg/l)</b>	<b>100 µm (mg/l)</b>	<b>50 µm (mg/l)</b>	<b>5 µm (mg/l)</b>	<b>Filtrede Tutulan Toplam MP-ML Ağırlığı (mg/l)</b>
1	2,744	0,364	0,352	0,820	4,276
2	2,384	0,376	0,284	0,384	3,424
3	2,468	0,292	0,456	0,668	3,876
4	2,360	0,340	0,332	0,936	3,968
5	1,540	0,288	0,364	0,736	2,928
6	2,304	0,240	0,328	0,372	3,24
7	2,004	0,388	0,364	1,024	3,776
8	1,512	0,216	0,104	0,368	2,198
9	2,020	0,252	0,308	0,412	2,992
10	1,172	0,224	0,236	0,544	2,174

Çizelge 5.3. Yıkama başına oluşan MP-ML kirlilik ağırlığı

<b>Grup No</b>	<b>200 µm (mg/yıkama)</b>	<b>100 µm (mg/yıkama)</b>	<b>50 µm (mg/yıkama)</b>	<b>5 µm (mg/yıkama)</b>	<b>Filtrede Tutulan Toplam MP-ML Ağırlığı (mg/yıkama)</b>
1	104,27	13,832	13,376	31,160	162,638
2	90,590	14,288	10,792	14,592	130,262
3	93,780	11,096	17,328	25,384	147,588
4	89,980	12,920	12,616	35,568	151,084
5	58,520	10,944	13,832	27,968	111,264
6	87,550	9,120	12,464	14,136	123,270
7	76,150	14,744	13,832	38,912	143,638
8	57,456	8,208	3,952	13,984	83,600
9	76,760	9,576	11,704	15,656	113,696
10	44,536	8,512	8,968	20,672	82,688

Yıkamalardaki kıyafet ağırlığı başına oluşan MP-ML kirliliği ise, yıkama öncesi tartılan kıyafetlerin toplam ağırlığı (Çizelge 5.1) baz alınarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.4'te yıkama işlemlerinde kullanılan kıyafet ağırlığı başına oluşan MP-ML kirlilik değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.4. Yıkamalardaki kg kıyafet başına oluşan MP-ML kirlilik yükleri

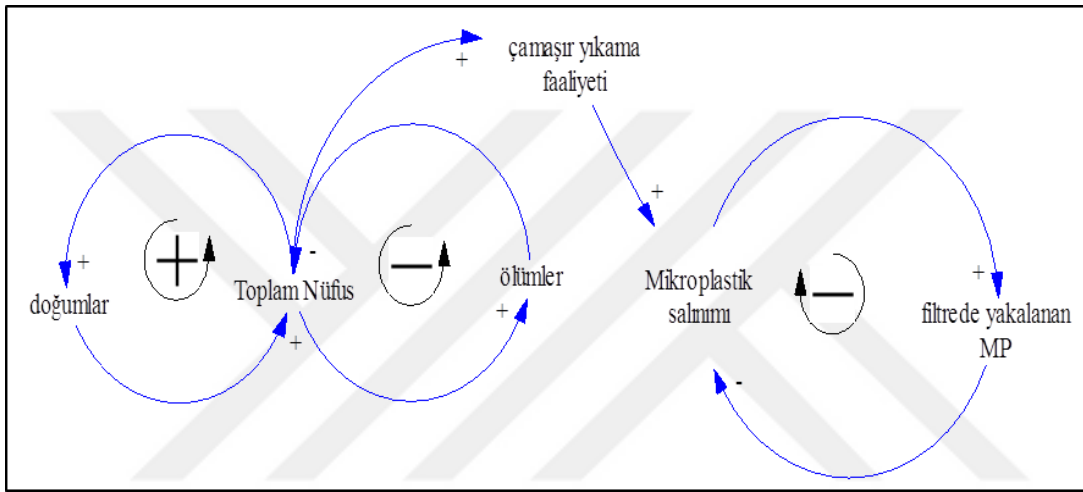
<b>Grup No</b>	<b>200 <math>\mu</math>m (mg/kg)</b>	<b>100 <math>\mu</math>m (mg/kg)</b>	<b>50 <math>\mu</math>m (mg/kg)</b>	<b>5 <math>\mu</math>m (mg/kg)</b>	<b>Filtrede Tutulan Toplam MP-ML Ağırlığı (mg/kg)</b>
<b>1</b>	37,985	5,038	4,872	11,351	59,246
<b>2</b>	38,548	6,08	4,592	6,209	55,429
<b>3</b>	32,619	3,859	6,027	8,829	51,334
<b>4</b>	23,835	3,422	3,341	9,421	40,019
<b>5</b>	15,461	2,891	3,654	7,389	29,395
<b>6</b>	23,100	2,406	3,288	3,729	32,523
<b>7</b>	21,695	4,200	3,940	11,086	40,921
<b>8</b>	19,476	2,782	1,339	4,740	28,337
<b>9</b>	22,710	2,833	3,462	4,631	33,636
<b>10</b>	13,394	2,56	2,697	6,217	24,868

Çizelge 5.4 incelediğinde yıkanan kilogram kıyafet başına 24,868 mg ila 59,246 mg mikrofiber atıksuya dahil olmaktadır. Çeşitli boşluk büyüklüğüne sahip filtrelerin uygulanması sonucu, filtrelerde tutulan mikrofiber dağılımını gösteren Şekil 5.1 ve Çizelge 5.1 birlikte değerlendirildiğinde her yıkama için geçerli olmak üzere mikrofiberlerin büyük bir kısmının 200  $\mu$ m filtrede tutulduğu görülmektedir. 200  $\mu$ mde tutulan kısım, ağırlık olarak %52,59 ile 70,94 arasında değişmektedir. Bu çalışma için elde edilen on yıkamalık döngüye göre, çamaşır makinesinde ya da daha sonrasında teşkil edilecek bir düzenekte yıkama suyunun 200  $\mu$ m gibi küçük boyutlu olmayan bir filtreden geçirilmesi ile ağırlıkça %53,01-%70,94 mikrofiberin atıksuya karışması önlenebilecektir.



## 5.2. Model Çalışması Sonuçları

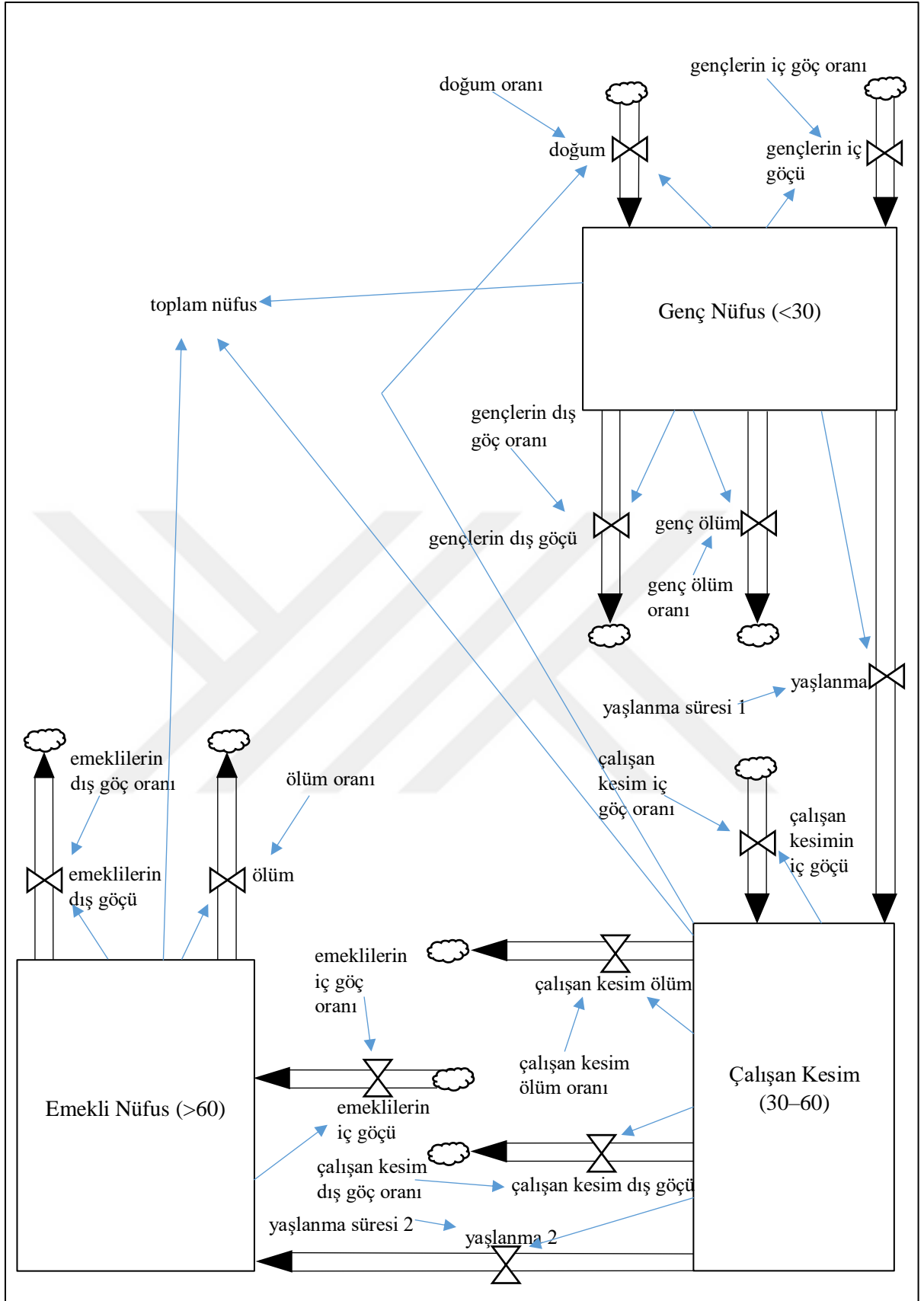
Bu çalışmada oluşturulan MP-ML benzetim modeline ait neden-sonuç ilişkisi, (geribildirim) Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Çamaşır yıkama faaliyetinden kaynaklanan MP-ML salınımı, çamaşır yıkama sıklığı ve nüfus değişimi ile orantılı olmalıdır. Çamaşır makinelerinin atıksu giderlerine monte edilebilecek farklı büyüklüklerdeki filtreler sayesinde MP tutulumu arttıkça, alıcı ortama deşarj edilen MP-ML miktarı azalacaktır. Filtrelerdeki bu MP tutulumunun düşmesi halinde ise, atıksu içerisinde salınan MP-ML miktarının da artması beklenir.



Şekil 5.2. MP-ML benzetim modeline ait neden-sonuç döngüsü

### 5.2.1. MP-ML Benzetim Modelinin Stok-Akış Yapısı

MP-ML benzetim modeli iki alt modelden oluşacak şekilde kurulmuştur. Bunlardan birincisi, nüfus alt modeli (Şekil 5.3); diğeri ise MP-ML oluşumu (Şekil 5.4) alt modelidir.



Şekil 5.3. Nüfus alt modeli

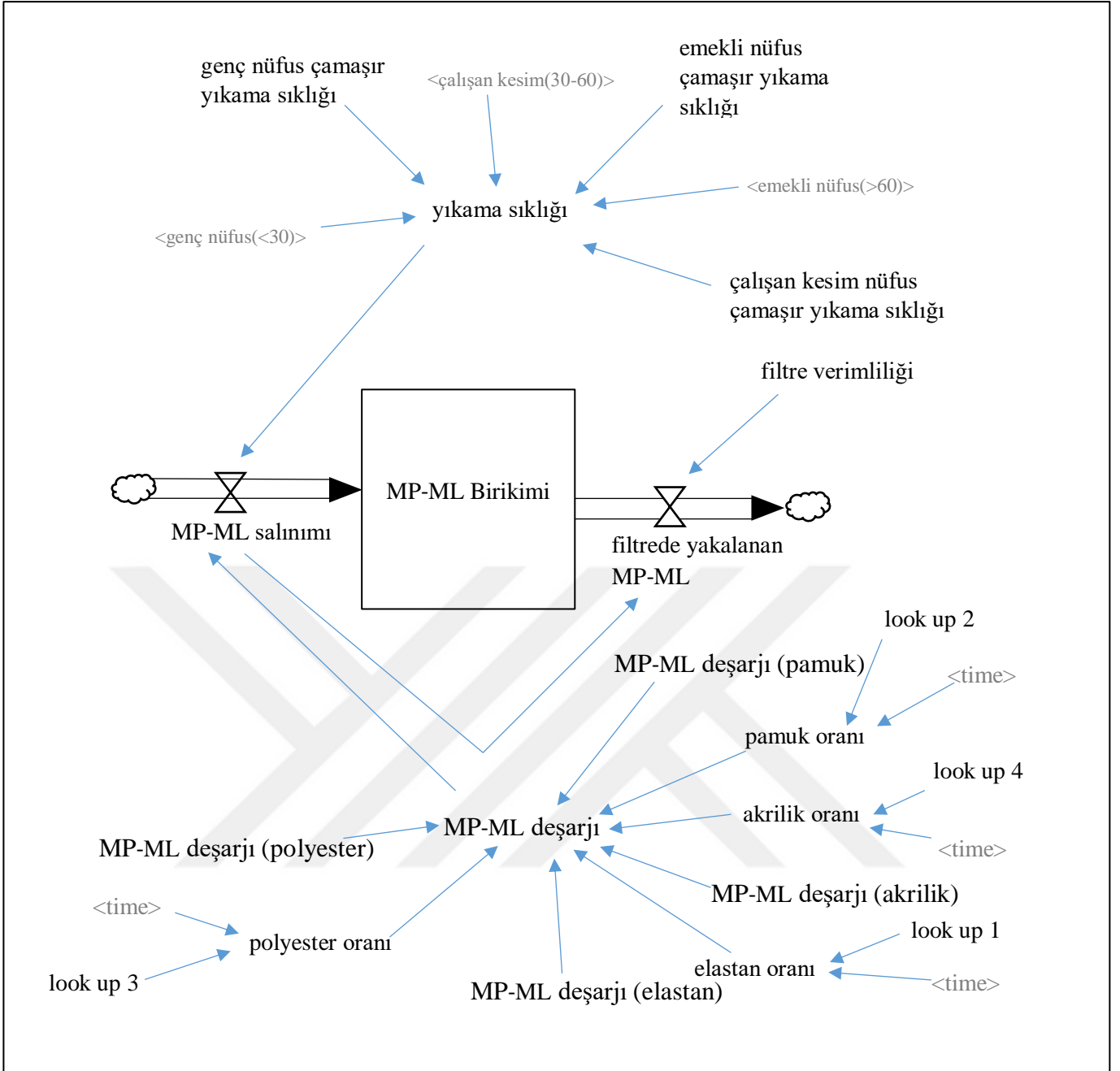
Bölgesel nüfus alt modelindeki parametrelerin detaylandırılması, çamaşır yıkama faaliyetindeki davranış farkları gözetilerek yapılmıştır. Nüfus, buna bağlı olarak üç kategori ile temsil edilmektedir [genç nüfus (30 yaş altı), çalışan kesim (30-60 yaş arası) ve emekli grup (60 yaş üstü)]. Bu üç grup arasında, çamaşır yıkama sıklığı açısından belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar, anket çalışması (Bkz. 4. Materyal ve Yöntem, Çizelge 4.5) ile tespit edilmiştir. Nüfus alt modeline ait matematiksel yapı ve TÜİK (2017) tarafından yayınlanan veriler Çizelge 5.5’de verilmektedir.

Çizelge 5.5. Tekirdağ ili için nüfus alt modeline ait matematiksel yapı ve veriler

<u>Ara değişkenler</u>			
Parametre	Birim	Değer /Denklem	
gençlerin iç göç oranı	1/ay	0,006	TÜİK (2017)
gençlerin dış göç oranı	1/ay	0,004	
çalışan kesim iç göç oranı	1/ay	0,003	
çalışan kesim dış göç oranı	1/ay	0,002	
emeklilerin iç göç oranı	1/ay	0,002	
emeklilerin dış göç oranı	1/ay	0,002	
gençlerin ölüm oranı	1/ay	0,00002	
çalışan kesim ölüm oranı	1/ay	0,0001	
ortalama ömür	ay	77,6x12	
doğum oranı	kişi/(ay* kişi)	0,00125	
yaşlanma 1 süresi	ay	240 (kabul edilmiştir)	
yaşlanma 2 süresi	ay	300 (kabul edilmiştir)	

Çizelge 5.5. (devam) Tekirdağ ili için nüfus alt modeline ait matematiksel yapı ve veriler

<u>Stoklar</u>		
Genç Nüfus (<30)	kişi	INTEG (doğum + gençlerin iç göçü- genç ölüm- gençlerin dış göçü-yaşlanma 1, Başlangıç Genç Nüfus (<30) <sup>&amp;</sup> )
Çalışan Kesim (30-60)	kişi	INTEG (çalışan kesimin iç göçü + yaşlanma 1-çalışan kesim ölüm-çalışan kesimin dış göçü-yaşlanma 2, Başlangıç Çalışan Kesim (30-60) <sup>&amp;</sup> )
Emekli Nüfus (<60)	kişi	INTEG (yaşlanma 2+emeklilerin iç göçü-ölüm-emeklilerin dış göçü, Başlangıç Emekli Nüfus (<60) <sup>&amp;</sup> )
<p><sup>&amp;</sup>Başlangıç nüfus değerleri, TÜİK (2017) verilerine göre Tekirdağ için sırasıyla: 441.720; 438.387 ve 125.356 kişidir.</p>		
<u>Akış değişkenleri</u>		
gençlerin dış göçü	kişi/ay	Genç Nüfus (<30)*gençlerin dış göç oranı
gençlerin iç göçü	kişi/ay	Genç Nüfus (<30)*gençlerin iç göç oranı
çalışan kesimin dış göçü	kişi/ay	Çalışan Kesim (30-60)*çalışan kesimin dış göç oranı
emeklilerin iç göçü	kişi/ay	Emekli Nüfus (>60)*emeklilerin iç göç oranı
emeklilerin dış göçü	kişi/ay	Emekli Nüfus (>60)*emeklilerin dış göç oranı
yaşlanma 1	kişi/ay	Genç Nüfus (<30)/yaşlanma 1 için geçen süre
yaşlanma 2	kişi/ay	Çalışan Kesim (30-60)/yaşlanma 2 için geçen süre
ölüm	kişi/ay	Emekli Nüfus (>60)/ortalama ömür
çalışan kesim ölüm	kişi/ay	Çalışan Kesim (30-60)*çalışan kesim ölüm oranı
genç ölüm	kişi/ay	Genç Nüfus (<30)*gençlerin ölüm oranı
doğum	kişi/ay	doğum oranı*(“Çalışan Kesim (30-60)”+“Genç Nüfus (<30)“)



Şekil 5.4. MP-ML oluşumu alt modeli

MP oluşumu alt modeli ise “MP-ML birikimi” isimli stok parametresi içermektedir. Bu stok parametresi, çamaşır yıkama faaliyetinden kaynaklanan MP-ML birikimini temsil etmektedir. Bu MP-ML değeri, farklı nüfus gruplarının çamaşır yıkama sıklıklarına, yıkadıkları çamaşırın kompozisyonuna (elyaf türü) ve farklı türdeki bu çamaşırın yıkama başına çıkardığı MP-ML miktarına bağlı olarak değişmektedir. Çizelge 5.6’de, MP-ML oluşumu alt modelindeki parametrelerin detayları verilmektedir. Bu alt modelde yer alan elastan, pamuk, akrilik ve polyester oranları, model süresi boyunca mevsime göre kullanılan kumaş türlerine göre seçilmiştir. Bu konu, MP-ML Benzetim Modeli Analiz Sonuçları bölümünde detayları ile açıklanmıştır.

Çizelge 5.6. Tekirdağ ili için MP-ML oluşumu alt modeline ait matematiksel yapı ve veriler

<u>Ara Değişken</u>			
Parametre	Birim	Değer/Denklem	Kaynak
MP Deşarjı (Pamuk)	g/yıkama	0,0097	Napper ve Thamson (2016)
MP Deşarjı (Polyester)	g/yıkama	0,035	
MP Deşarjı (Akrilik)	g/yıkama	0,05	
MP Deşarjı (Elastan)	g/yıkama	0,455	Belzagui vd. (2019)
Genç nüfus çamaşır yıkama sayısı	yıkama/(ay*kişi)	4,18	Anket çalışması
Çalışan kesim çamaşır yıkama sayısı	yıkama/(ay*kişi)	4,59	
Emekli nüfus çamaşır yıkama sayısı	yıkama/(ay*kişi)	4,57	
<u>Akış Değişkeni</u>			
MP salınımı	g/ay	MP-ML deşarjı*yıkama sıklığı	
filtrede yakalanan MP	g/ay	MP-ML salınımı* filtre verimliliği*	
*Filtre verimliliği 0,78 kabul edilmiştir (Napper, Barrett ve Thompson, 2020)			
<u>Stok</u>			
yıkama sıklığı	yıkama/ay	"Çalışan Kesim (30-60)"*çalışan kesim çamaşır yıkama sıklığı+"Emekli Nüfus (>60)"*emekli nüfus çamaşır yıkama sıklığı+"Genç Nüfus (<30)"*genç nüfus çamaşır yıkama sıklığı	
MP-ML deşarjı	g/ay	akrilik oranı*"MP-ML deşarjı (akrilik)" + elastan oranı*"MP-ML deşarjı (elastan)" + pamuk oranı*"MP-ML deşarjı (pamuk)" + polyester oranı*"MP-ML deşarjı (polyester)"	
MP-ML birikimi	g	MP-ML salınımı-filtrede yakalanan MP-ML	

MP-ML birikimi aynı zamanda, çamaşır yıkama faaliyeti sonrasında filtrede tutulabilen MP-ML miktarından da etkilenmektedir. Bu sebeple, çamaşır makinelerinin atıksu giderinde farklı boyutlarda filtreler kullanılması durumunda, makinelerin ekonomik ömrü süresince (model zaman aralığı) deşarj ettiği atıksuda biriken MP-ML miktarının değişiminin test edilmesi için “filtrede yakalanan MP-ML” akış değişkeni, “MP-ML birikimi” stok değişkenine eklenmiştir.

Modelde “MP-ML deşarjı”, farklı kompozisyondaki çamaşırın yıkanmasından kaynaklanan MP-ML üretimini göstermektedir. Bu deşarj miktarı, sıcaklık, yumuşatıcı kullanılması, deterjan çeşidi, çamaşır kompozisyonu, devir sayısı gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Fontana, Mossotti ve Montarsolo, 2020).

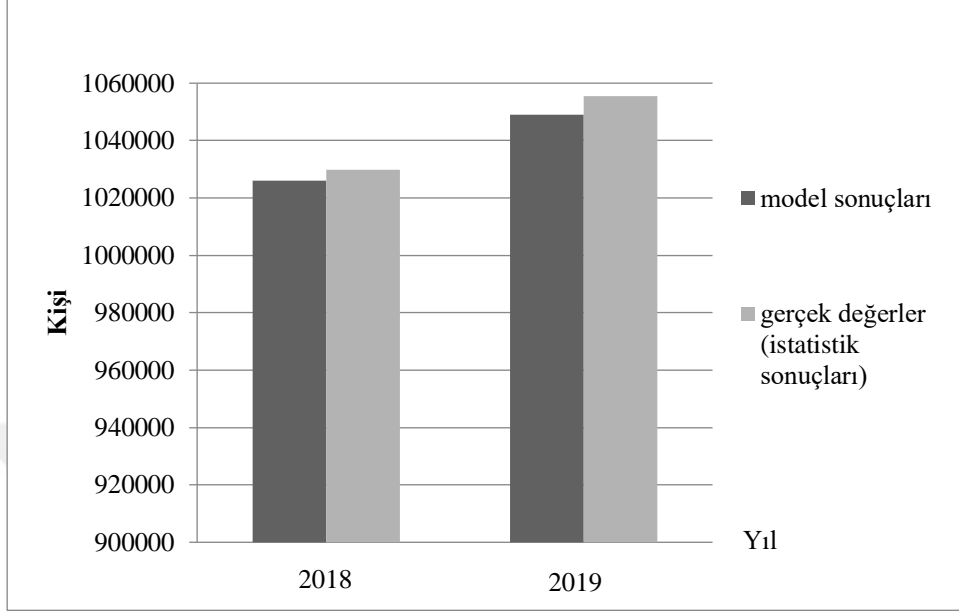
### **5.2.2. MP-ML Benzetim Modeli Geçerlilik Testleri**

Model geçerliliğinin test edilebilmesi için, model araştırmacıları bir takım testler kullanmışlardır (Saysel, Barlas ve Yenigün, 2002; Anand, Vrat ve Dahiya, 2006; Georgiadis ve Besiou, 2008; Barlas, 1996). Geçerlilik testleri adı verilen bu testler, benzetim modellerinin yapısına ait analizlerin yer aldığı “yapısal testler” ve model davranışının tutarlılığının incelendiği “davranış kalıbı testleri” olmak üzere iki kategoride toplanmaktadır.

Yapısal testler içinde en yaygın kullanılanı “boyutsal tutarlılık testidir”. Bu kapsamda, modeldeki parametrelerin birimlerinin tutarlı olup olmadığı kontrol edilmektedir. Benzetim modelinde kullanılan tüm parametrelerinin birimleri ve formülleri, Vensim yazılımının “Birim Kontrolü” özelliği ile kontrol edilebilmektedir. Hatalı birimlendirme model simülasyonunun hata vermesine sebep olmaktadır. MP benzetim modelinde böyle bir durum bulunmamaktadır.

Davranış kalıbı testleri olarak ise, “Geçmişe Yönelik Davranış Testi” en yaygın kullanılan geçerlilik testlerinden biridir. Bu test kapsamında modelin verdiği sonuçların geçmişe ait (istatistiki) veriler ile olan benzerliği analiz edilir. MP-ML benzetim modelinin geçmişe yönelik davranışının test edilmesi için, üç farklı nüfus stok parametresinin birleşimi olan “toplam nüfus” seçilmiştir.

2018 ve 2019 yıllarına ait Tekirdağ nüfusunun istatistiki verileri (Tük, 2019) ile model simülasyonu sonucunda, toplam nüfus parametresine ait değerler, Şekil 5.4'te verilmektedir.



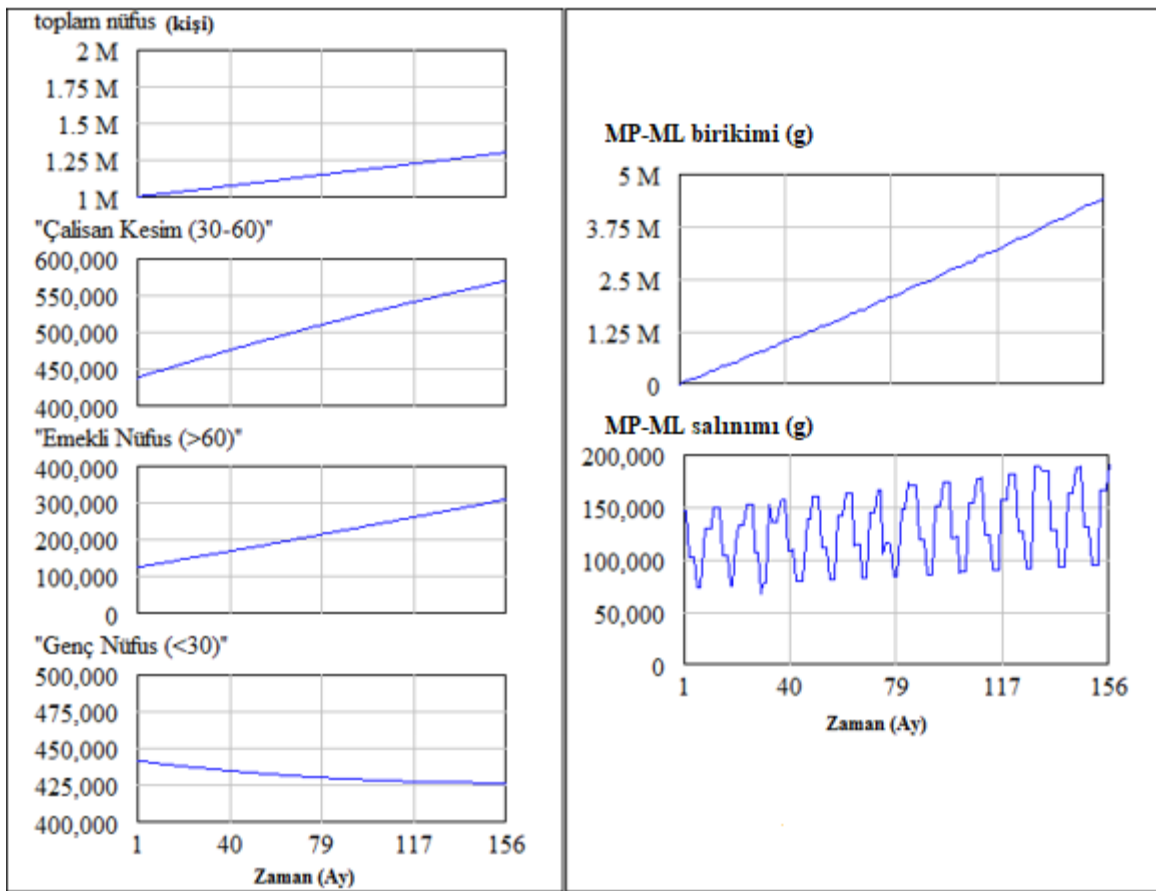
Şekil 5.5. Nüfusa Ait Geçmişe Yönelik Davranış Testi

Şekil 5.5, model sonuçları ile gerçek değerlerin büyük ölçüde tutarlı olduğunu göstermektedir.



### 5.2.3. MP-ML Benzetim Modeli Analiz Sonuçları

MP-ML benzetim modeli, tüm alt modelleri ile birlikte simüle edilmiştir. Nüfus ve MP-ML birikimi değerleri Şekil 5.6’te gösterilmektedir. Yaz aylarında, polyester-koton içerikli tekstil ürünlerinin daha sık kullanıldığı; kış aylarında ise, sıcak tutma özelliğinden ötürü akrilik vb. kumaşların tercih edildiği bilinmektedir. Bu sebeple, “MP-ML birikimi” parametresi için mevsimlere göre modele girilen çamaşır kompozisyonu değerleri, yılın sıcak aylarında pamuklu oranı yüksek, soğuk aylarında ise akrilik oranı yüksek olacak şekilde, Çizelge 4.4’ten seçilerek oluşturulmuştur (Çizelge 5.7).



Şekil 5.6. Nüfus ve MP-ML birikimi

Çizelge 5.7. Mevsimlere göre çamaşır kompozisyonları

Mevsim	Materyal ve Metot Çizelge 4.4	Akrilik (%)	Polyester (%)	Pamuk (%)	Elastan (%)
Kış	2. grup	25	30,625	43,125	1,25
İlkbahar	3. grup	1	33	64,5	1,5
Yaz	1. grup	0	8	90,75	1,25
Sonbahar	7. grup	15	32,5	51,7	0,8

Şekil 5.6’da, Tekirdağ il nüfusu değerlendirildiğinde, genç nüfusun dışa göç hareketliliği sebebiyle düşüş eğiliminde olmasına rağmen, çalışan ve emekli nüfusunda içe göçün fazla olması ve doğumların, çalışan nüfusa paralel olarak yükseliş göstermesi sebebiyle, toplam il nüfusunun zamanla artacağı görülmektedir. MP-ML birikiminin ise artan nüfusa bağlı olarak çamaşır yıkama sayılarının da artması ve Çizelge 5.8’te verilen mevsimlere göre tekrar eden çamaşır kompozisyonlarının yıkanmasıyla (MP-ML salınımı) proje süresi boyunca toplam yaklaşık 4 ton (milyon gram) MP-ML’ye ulaşacağı görülmektedir. MP-ML birikiminde yıllar süren bu artışın ulaşacağı en yüksek ve en düşük değerler, yıkama başına çıkan MP-ML miktarına bağlı olacaktır. Farklı şartlar altında (sıcaklık, devir sayısı, deterjan türü, vb.), farklı kumaş türlerinin yıkanması ile deşarj edilen MP-ML miktarı, daha önce yapılmış çalışmalarda Çizelge 5.8’deki gibi tespit edilmiştir.

Buna göre, MP-ML benzetim modelinde, değeri değişken olan 4 adet parametre bulunmaktadır; MP-ML deşarjı (elastan), MP-ML deşarjı (polyester), MP-ML deşarjı (pamuk) ve MP-ML deşarjı (akrilik). Bu parametre değerleri, Çizelge 5.8’de gösterilen farklı çalışmalardan elde edilmiş verilere göre farklılık göstermektedir. Vensim yazılımının bir özelliği olan Monte Carlo hassasiyet analizi, benzetim modellerinde seçilen sabit parametrelerin değerindeki değişimin model sonuçları üzerindeki etkisinin incelenmesini amacı ile yapılmaktadır. Vensim yazılımında bu analiz, çok değişkenli hassasiyet analizi olarak bilinen işlem dizisini otomatik olarak yapmaktadır. Bu sayede, hassasiyeti ölçülecek olan parametrelerin değerlerindeki değişimin, model sonuçları üzerindeki etkisinin incelenmesine olanak sağlamaktadır.

Çizelge 5.8. Çamaşır kompozisyonuna göre MP-ML salınımı

<b>Kaynak</b>	<b>Kumaş Türü</b>	<b>Aynı birimlerle ifade edilen bibliyografik sonuçlar (Adet MP-ML / çamaşır yükü)</b>
Napper ve Thompson (2016)	Polyester-pamuk karışımı	137.951
	Polyester	496.030
	Akrilik	728.789
Pirc vd. (2016)	Polietilen, tereftalat, polyester	135.600
De Falco vd. (2018)	Polyester, polipropilen	6.000.000-17.700.000 MP-ML / 5 kg
De Falco vd. (2019)	polyester/selüloz karışımı	1.920.000 – 9.000.000 MP-ML / 6 kg
Belzagui vd. (2019)	Polyester, polyester ve elastan karışımı, akrilik ve poliamid karışımı	1.000.000 - 6.500.000 MP-ML /6 kg
Galvao vd. (2020)	polyester, poliamid, viskoz, elastan ve akrilik	18.000.000 MP-ML / 6 kg

Bunun için öncelikle ilgili parametrelerin minimum ve maksimum değeri belirlenir. Seçilen parametreler minimum ve maksimum değerler arasında farklı değerler alırken, benzetim modeli otomatik olarak 200 kez çalıştırılır. Seçilen her bir parametrenin değerinin, minimum ve maksimum değer arasında değişimine “dağılım” adı verilmektedir. Hassasiyet testinde en çok kullanılan dağılım türleri; rastlantısal homojen dağılım ve rastlantısal normal dağılımdır. Rastlantısal homojen dağılımda ilgili parametrenin minimum ve maksimum

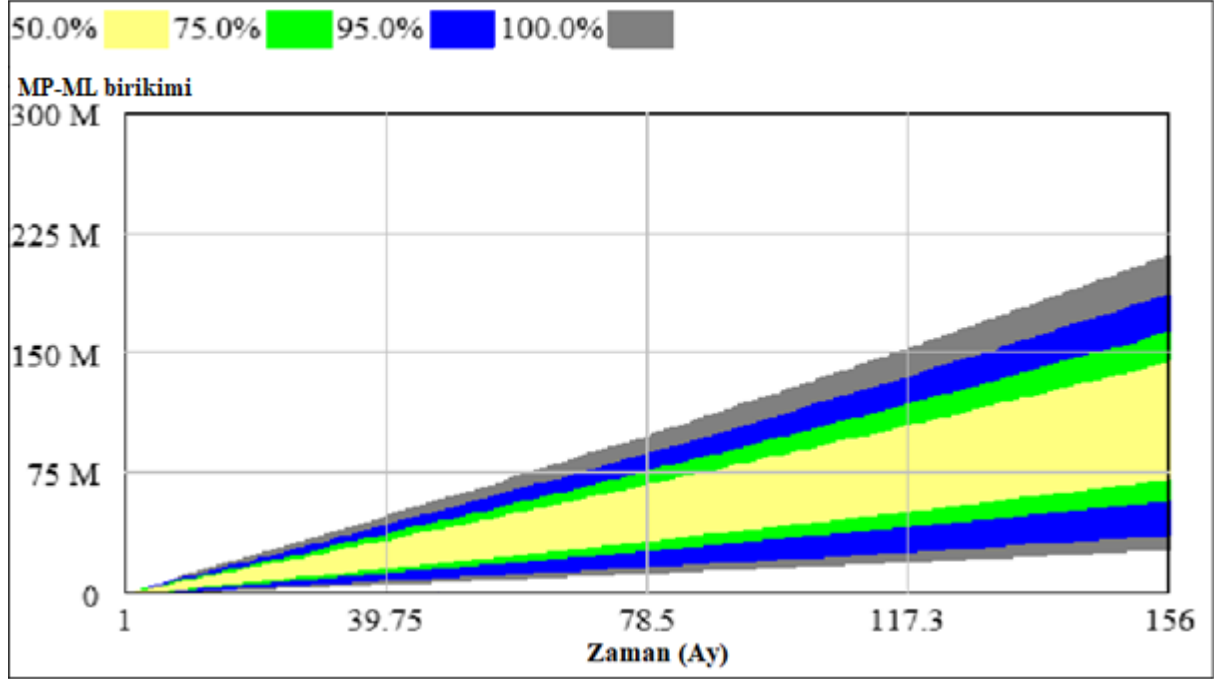
değerleri arasında kalan değerlerinden her biri için seçilme olasılığı eşittir. Diğer bir deyişle, minimum-maksimum aralığındaki her değer için seçilme olasılığı aynı, aralığın dışında ise ihtimal sıfırdır. Rastlantısal normal dağılımda ise dağılımdan seçilecek değerler, normal dağılım eğrisi formunda olmaktadır. Bu çalışmada ilgili parametrelerin değerlerinin hassasiyet analizinde kullanılacak olan dağılım aralığında ortaya çıkma olasılıklarının eşit olduğu varsayılarak, dağılım türü olarak “rastlantısal homojen dağılım” seçilmiştir. Çizelge 5.9, kaynak taraması ile elde edilen sonuçlara göre (Çizelge 5.8), seçilen parametrelerin değer aralıklarını göstermektedir.

Çizelge 5.9. Hassasiyet analizi için parametre değer aralıkları

	<b>MP-ML değer aralığı</b>	<b>İlgili Kaynak</b>
MP deşarjı (pamuk)	137.951 – 18.000.000 adet (0,0097 – 1,26 gram)*	Napper ve Thompson (2016) ve Galvao vd. (2020)
MP deşarjı (polyester)	135.600 - 18.000.000 adet (0,0095 – 1,26 gram)*	Pirc vd. (2016) ve Galvao vd. (2020)
MP deşarjı (elastan)	1.000.000 - 18.000.000 adet (0,07 – 1,26 gram)*	Belzagui vd. (2019) ve Galvao vd. (2020)
MP deşarjı (akrilik)	728.789 - 18.000.000 adet (0,05 – 1,26 gram)*	Napper ve Thompson (2016) ve Galvao vd. (2020)
*1 MP, $7,2 \times 10^{-8}$ gram olarak kabul edilmiştir (De Falco vd., 2018)		

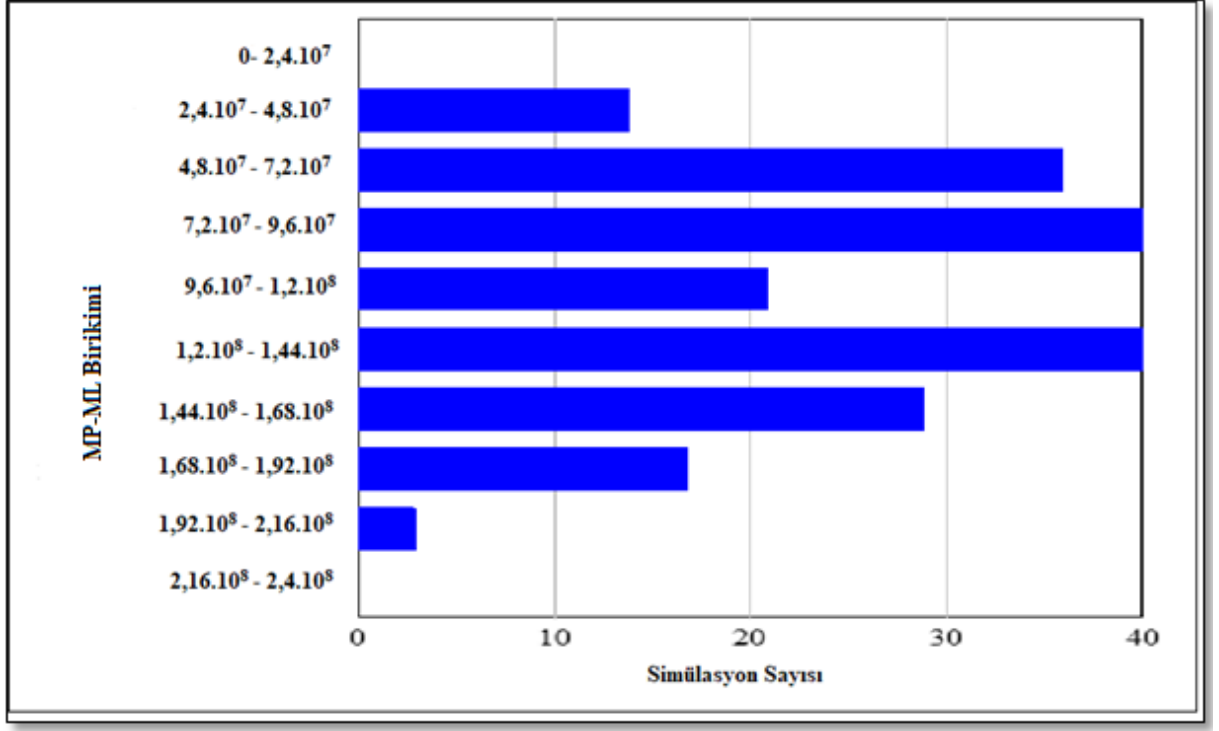
Hassasiyet analizinin sonuçlarını farklı formatlarda göstermek mümkündür. Sonuçlar, seçilen parametrelerin değerleri değişirken, davranışı incelenen değişkenin simülasyon sonuçlarının “güven aralığı” ile gösterildiği grafik üzerinde verilebilir. Bir diğer seçenek ise histogramdır. Histogramlar, proje periyodu içinde belirlenen bir zamandaki hassasiyet testi sonucu ile analiz edilen parametrenin aldığı değerlerin en-kesit halinde gösterilmesini sağlar. Bu zaman periyodu, genellikle proje süresinin son yılı olarak alınmaktadır. Her iki format da değişime olan hassasiyeti test edilen parametrenin değerinin belli bir zamanda ya da tüm proje süresince dağılımının gösterildiği mekanizmalardır.

Şekil 5.7, dört parametrenin değeri belirlenen dağılım arasında değişirken (Çizelge 5.9), “MP-ML birikimi” stok parametresinin proje süresince değişimi güven aralıkları (%50, %75, %95 ve %100) ile gösterilmektedir.



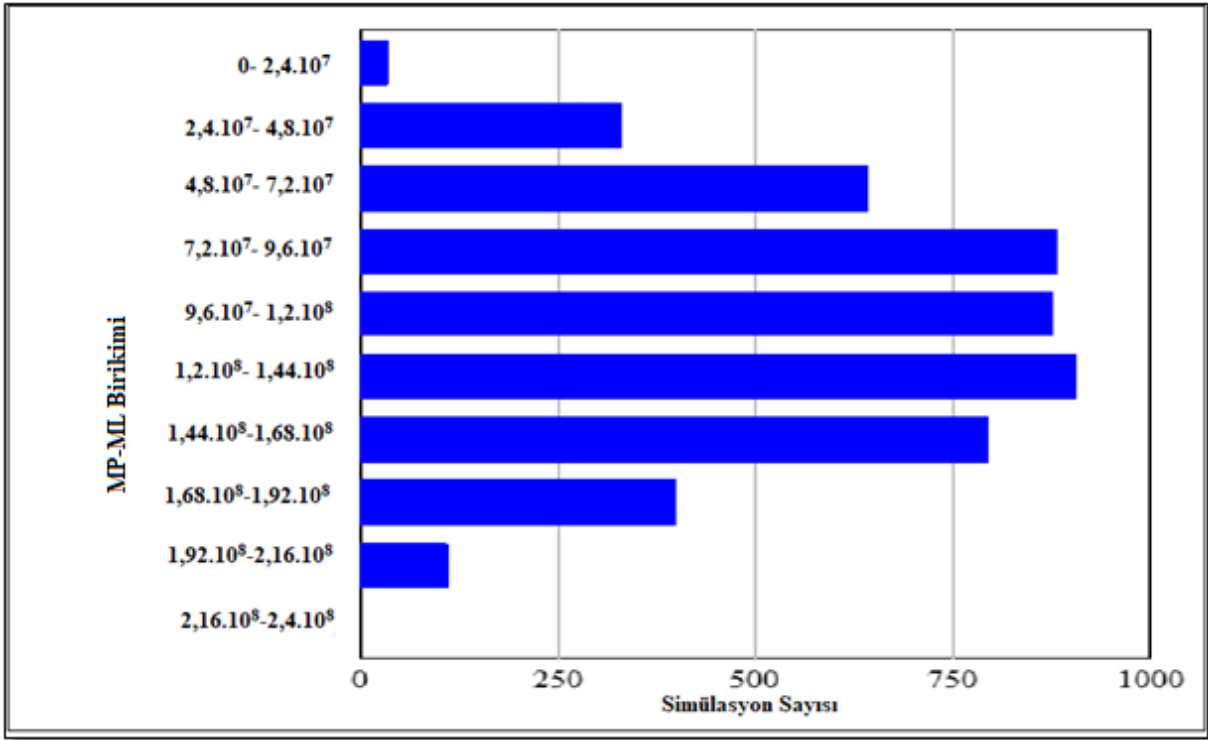
Şekil 5.7. MP-ML Birikimi Hassasiyet Analizi

Güven aralıkları, proje periyodu boyunca her ay (model simülasyon ayarları ay bazında programlandığı için) modelin simüle edilmesiyle elde edilen sonuçların gruplanmasıyla oluşturulur. Örneğin, %50 güven aralığında, tüm simülasyon sonuçlarının yarısının %50 güven aralığının ya üst limitinden büyük ya da alt sınır değerinden küçük değerler yer almaktadır. %100 güven aralığının alt ve üst sınırları ise ilgili parametreye ait minimum ve maksimum değerleri vermektedir. Örneğin Şekil 5.6’da MP-ML birikiminin 2030 yılının son ayında en yüksek değeri yaklaşık 200 ton MP olurken, en düşük değeri 30 ton MP’dir.



Şekil 5.8. MP-ML birikimi histogramı (200 simülasyon)

Şekil 5.8’de ise 2030 yılının son ayındaki MP-ML birikimine ait hassasiyet analizinin 200 simülasyon ile elde edilen sonucu histogram ile gösterilmektedir. Burada, 2030 yılına kadar olan MP-ML birikiminin 72-96 ton ve de 120-144 ton aralığında değer aldığı 40’ar simülasyon olduğu görülmektedir. Histogramların genellikle tek modlu (artış yönü değişmeyen) olduğu bilinmektedir. Diğer bir diğer deyişle, gittikçe artan sütunların ardından en yüksek sütun yer almaktadır ve onun ardından da giderek azalan sütunlar diziliş göstermektedir. Ancak Şekil 5.8’de görülen dağılımda iki tane tepe noktası vardır. Bu durumun tesadüfi bir durum olup olmadığını kontrol etmek için, hassasiyet testindeki simülasyon sayısı 200’den 5000’e çıkartılıp analiz tekrarlanmıştır.



Şekil 5.9. MP-ML birikimi histogramı (5000 simülasyon)

Şekil 5.9’de görüldüğü üzere, analiz sonucunda yine iki tepe noktası olan bir dizilim oluşmaktadır. Yapılan hassasiyet analizinde seçilen üç parametre [MP-ML deşarjı (elastan), MP-ML deşarjı (pamuk), MP-ML deşarjı (polyester) ve MP-ML deşarjı (akrilik)] değerinin belirlenen değer aralığında değişimiyle oluşan etkileşim sonucunda rastlantısal olarak üç yüksek frekansın oluşması normal bir model davranışıdır. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9, simülasyon sayısının artması ile sütun yüksekliklerinin de bununla orantılı olarak artmayacağını da kıyaslamalı olarak göstermektedir. Simülasyon sayısının artması ortada yer alan sütunları genel olarak zirve sütunlara yaklaştırmaktadır.

Çamaşır yıkama faaliyetinden kaynaklanan MP-ML birikimini uzun vadede tahmin eden yayınlanmış çalışmalar şu şekildedir:

- Van Sebille, vd. (2015), Kuzey Atlantik ve Pasifik’te 2014 yılında yaklaşık 93.000 ile 236.000 ton MP parçacığın biriktiğini tahmin etmişlerdir.
- Vassilenko, Watkins, Chastain, Posacka ve Ross (2019), yaptıkları çalışmada, Kanada ve ABD’deki çamaşır yıkama faaliyeti sebebiyle, her yıl, atıksu arıtma tesislerinden 878 ton plastik mikrofiber salındığını tespit etmiştir.
- Sundt, Schulze ve Syversen (2014) tarafından hazırlanan Norveç Çevre Ajansı Raporu’na göre, Norveç’te çamaşır yıkama faaliyetinden kaynaklanan MP salınımı yılda 100

ton olmaktadır. Aynı raporda, bu konuda veri eksikliği olduğu ve daha fazla çalışma yapılması gerektiği de vurgulanmaktadır.

- 1992 yılında Oslo ve Paris'te imzaya açılan Denizlerin Korunmasına İlişkin Sözleşme'nin Komisyon Raporu, bu konuda ülkeler bazında, çamaşır yıkama faaliyetinden salınan tahmini MP-ML değerlerini yayınlayan en kapsamlı rapor olma özelliğine sahiptir. Oskar Komisyonu (2017) tarafından yayınlanan bu veriler, proje periyoduna göre (13 yıl) normalize edilerek, Çizelge 5.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.10. Çamaşır yıkama faaliyetinden kaynaklanan MP-ML birikimi (Oskar Komisyonu, 2017)

<b>Yüksek Nüfuslu Ülkeler</b>				
<b>Ülke</b>	<b>Nüfus (kişi)</b>	<b>Çamaşır yıkama sıklığı (kere/ay)</b>	<b>Tahmini MP-ML salınımı (ton/13 yıl)</b>	
			<b>En düşük</b>	<b>En fazla</b>
Fransa	64.395.350	5,8	1.573	7.068
Almanya	80.688.540	5,8	1.430	6.464
İngiltere	65.015.480	7,5	1.391	6.253
<b>Düşük Nüfuslu Ülkeler</b>				
<b>Ülke</b>	<b>Nüfus (kişi)</b>	<b>Çamaşır yıkama sıklığı (kere/ay)</b>	<b>Tahmini MP-ML salınımı (ton/13 yıl)</b>	
			<b>En düşük</b>	<b>En fazla</b>
Norveç	3.804.008	5,5	87	392,6
İsveç	2.640.446	5,5	54,6	248,3
Çekya	6.642.207	6,1	156	724,1

Çizelge 5.10'da verilen örnekler incelendiğinde, nüfus ve çamaşır yıkama sıklığı açısından proje bölgesine en çok benzerlik gösteren İsveç'te, 13 yıllık MP-ML birikiminin yaklaşık 54,6-248,3 ton olarak tahmin edildiği görülmektedir. Proje süresince (2017-2030 arasında), Tekirdağ ilinde çamaşır yıkama faaliyetinden kaynaklanan MP-ML birikiminin 30-



200 ton (Şekil 5.6) arasında olacak şekilde tahmin edildiği düşünüldüğünde, projeden elde edilen sonuçların Ospar Komisyonu (2017) verileri ile tutarlılık gösterdiği görülmektedir.

### 5.3. Deneysel Çalışma İle Dinamik Sistem Modelinin Karşılaştırılması

Deney ve model çalışmalarının tamamlanmasıyla elde edilen MP-ML değerleri (MP-ML yükleri) karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada, yıkama sıklığı (anket), standart yıkama başına oluşan kirlilik yükü (Çizelge 5.3) ve bölgesel nüfus değerleri kullanılmıştır. Çizelge 5.11, Tekirdağ ilinde proje süresince birikmesi tahmin edilen MP-ML kirlilik yükünün, deney çalışması sonuçlarına göre boyutsal dağılımını göstermektedir.

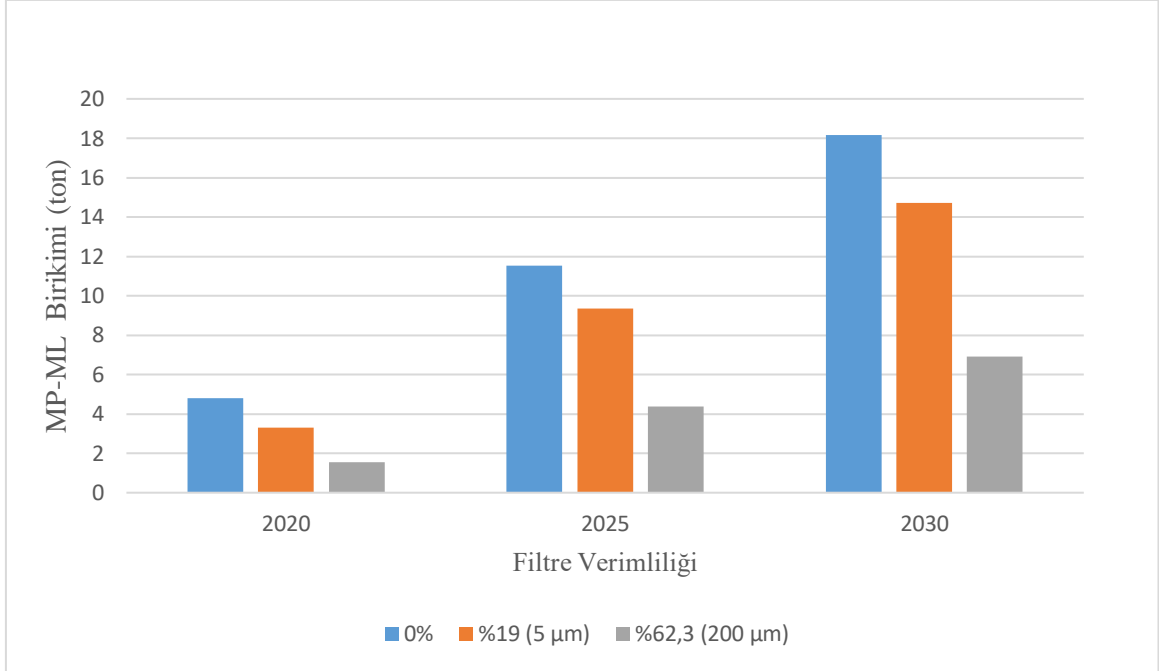
Çizelge 5.11. Tekirdağ'da oluşması tahmin edilen MP kirlilik yüklerinin boyutsal dağılımı

Filtre	Yıkama sıklığı* yıkama/(ay*kişi)	Yıkama başına ortalama salınım** (mg/yıkama)	Yıllık MP- ML Salınımı mg/(kişi*yıl)	Toplam tahmini MP-ML Salınımı (ton/yıl)
200 µm	4,44	0,578	30,8	35,6
100 µm		0,081	4,32	5,0
50 µm		0,085	4,53	5,2
5 µm		0,164	8,74	10,1
*Çizelge 4.5'te verilen anket sonuçlarından elde edilmiştir				
**Çizelge 5.1'den alınmıştır.				

Çizelge 5.11'de, deney çalışmasından elde edilen MP-ML salınımı değerleri kullanılarak elde edilen toplam MP-ML kirliliğinin yılda yaklaşık 55.9 ton (200 µm için 35,6 ton, 100 µm için 5 ton, 50 µm için 5,2 ton ve 5 µm için 10,1 ton) olduğu görülmektedir. Model çalışmasında ise toplam MP-ML birikiminin, değişen şartlar dikkate alınarak, 30-200 ton değerleri arasında olduğu tahmin edilmektedir (bkz. 5.2.3. MP-ML Benzetim Modeli Analiz Sonuçları). Deney çalışmasından hesaplanan MP-ML birikim değerlerinin, model çalışması ile tahmin edilen MP-ML birikim değer aralığının içinde olduğu görülmektedir.

Ayrıca, deney çalışmasında elde edilen filtrelerin kirlilik tutma yüzdeleri incelendiğinde verimi en yüksek olan filtrelerin sırasıyla 200 µm (62.3%) ve 5 µm (%19) olduğu görülmektedir (bkz. 5.1. Deneysel Çalışma Sonuçları). Bu farklı filtrelerin çamaşır

makinelerinde kullanılması halinde çamaşır yıkama faaliyetinden kaynaklanan MP-ML deşarjını azaltma potansiyelleri, filtre verimliliği parametresine ilgili veriler girilerek modelin 3 kez (filtre takılı değilken, filtre verimliliği 0.62 ve 0.19 iken) çalıştırılmasıyla elde edilmiştir. Sonuçlar, Şekil 5.10.'da gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Filtrelerin MP-ML Deşarjına Etkisi

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, en fazla MP-ML birikimi, çamaşır makinelerinin tambur ya da çıkış suyu borusunda herhangi bir filtrenin uygulanmadığı günümüz şartlarında oluşmaktadır. 200 µm'lik filtrelerin makinelerde kullanılması halinde, 5 µm'lik filtrelerin kullanılmasına kıyasla, MP-ML birikiminin yaklaşık %53'ünün su ekosistemine geçmeden kaynağında tutulabileceği görülmektedir.

## 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tekirdağ ili için 2017-2030 yılları arasında çamaşır yıkama faaliyetinden oluşabilecek MP-ML deşarjı ve birikimi, sistem yaklaşımı ve deney çalışmaları ile tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak verimi en yüksek olan filtre boyutları belirlenmiş ve bu filtrelerin uzun vadede MP-ML birikimini önlemedeki potansiyelleri değerlendirilmiştir.

Ayrıca MP kirleticiler küçük boyutlarda oldukları için filtrelerde tutulabilecek MP-ML miktarından çok daha fazlasının atıksu arıtma tesislerine ulaşmakta olduğu bilinmektedir. Filtrelerde tutulması bu kadar zor olan MP-ML'lerin atıksu arıtma tesislerinde tamamen giderilmesi ise günümüz şartlarında mümkün görünmemektedir.

Çamaşır makinelerinde filtre kullanılmasının, potansiyel olarak deniz ortamına giren mikroskobik parçacıkların miktarını önemli ölçüde azaltabileceği güncel tartışma konularından biridir. Plymouth Üniversitesi'nde yapılan bir araştırma, prototiplerden ticari olarak mevcut ürünlere kadar değişen altı adet filtreyi karşılaştırmıştır. Araştırma, en başarılı olanın, atık suya salınan mikroplastik miktarını neredeyse % 80 oranında azalttığını ortaya koymaktadır (Napper vd., 2020). Bu konudaki araştırmacılar, genel olarak, filtreler arasında büyük bir çeşitlilik olduğunu ve bazılarının bu salınımı önemli ölçüde azalttığını tespit etmekle beraber asıl önemli olan hususun kumaşların bu partikülleri dökmesinin önüne geçmek olduğu konusunda birleşmektedir.

Bu anlamda, Bilim Odağı (2020) dergisine göre, 2024 yılından itibaren çamaşır makinelerinin atık su çıkışına filtre takılmasının zorunlu hale getirilmesi için imza toplayan çevreci toplulukların girişimleri bulunmaktadır. Diğer yandan, İngiltere'de Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı (Defra, 2019), çamaşır makinelerine filtre takmanın, elyaf kaybını azaltmak için kumaş tasarımlarını değiştirmekten daha az etkili olduğunu raporlamıştır. Bu konuda kumaş tasarımında yapılabilecek değişikliklerin etkisinin incelenmesi ve de arıtım tesis verimliliklerinin MP gibi küçük partikülleri yakalamak üzere iyileştirilmesi bir sonraki araştırma konusu olacaktır.

Her çamaşır makinası için filtre yapılması ve bunların düzenli değiştirilmeleri söz konusu olduğunda insanları ekonomik yönden çok zorlayacaktır. Fakat kıyafetler veya atıksu arıtma tesislerinde yapılabilecek değişiklikler ve yeniliklerle birlikte bu problemin de önüne geçilebilir.

## KAYNAKLAR

- Abbasi, S. ve Turner, A. (2021). Human exposure to microplastics: A study in Iran. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123799. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.123799.
- Akarsu, C., Kumbur, H., Gökdağ, K., Kıdeyş, A.E. ve Sanchez-Vidal, A. (2020). Microplastics composition and load from three wastewater treatment plants discharging into Mersin Bay, north eastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110776. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.110776.
- Alimi, O.S., Fadare, O.O. ve Okoffo, E.D. (2021). Microplastics in African ecosystems: Current knowledge, abundance, associated contaminants, techniques, and research needs *Science of the Total Environment*, 755 Part: 1, 142422. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142422.
- Altuğ, H. (2020). *Yozgat atık su arıtma tesisinin mikroplastik tutma kapasitesinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Alvim, C.B., Bes-Pia, M. A. ve Mendoza-Roca, J. A. (2020). Separation and identification of microplastics from primary and secondary effluents and activated sludge from wastewater treatment plants. *Chemical Engineering Journal*, 402, 126293. doi:10.1016/j.cej.2020.126293.
- Anand, S., Vrat, P. ve Dahiya, R. P. (2006). Application of a system dynamics approach for assessment and mitigation of CO<sub>2</sub> emissions from the cement industry. *Journal of Environmental Management*, 79(4): 383-398. doi:10.1016/j.jenvman.2005.08.007.
- Aydın, E. (2020). *Yüzey sularında mikroplastik kirliliğinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Bakkaloğlu, E. (2019). *Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin akıbeti ve taşınımı* (Yüksek Lisans Tezi), Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics, *System Dynamic Review*. 12: 183-210. doi:10.1002/(SICI)1099-1727(199623)12:3<183::AID-SDR103>3.0.CO;2-4.
- Belzagui, F., Crespi, M., Alvarez, A., Gutierrez-Bouzan, C. ve Vilaseca, M. (2019). Microplastics' emissions: Microfibers' detachment from textile garments. *Environmental Pollution*, 248:1028-1035. doi:10.1016/j.envpol.2019.02.059.

- Ben-David, E.A., Habibi, M., Haddad, E., Hasanin, M., Angel, D.L., Booth, A.M. ve Sabbah, I. (2021). Microplastic distributions in a domestic wastewater treatment plant: Removal efficiency, seasonal variation and influence of sampling technique. *Science Of The Total Environment*, 752, 141880. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141880.
- Bilim Odağı. (2020). *Microplastics: Laundry filters 'dramatically' reduce fibres* By Sara Rigby. 21 Kasım 2020, Erişim adresi <https://www.sciencefocus.com/news/microplastics-laundry-filters-dramatically-reduce-fibres/>
- Boucher, J. ve Friot, D. (2017). Primary microplastics in the oceans: A Global evaluation of sources. Gland, Switzerland: IUCN. 43 pp.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. ve Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21): 9175-9179. doi:10.1021/Es201811s.
- Carr, S.A., Liu J. ve Tesoro, A.G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research*, 91, 174-182. doi:10.1016/j.watres.2016.01.002
- Çatalbaş, F. (2017). *Tuz Gölü tuzlarında mikroplastik varlığının incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi) Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Chen, C.Y., Lu, T.H., Yang, Y.F. ve Liao, C.M. (2021). Marine mussel-based biomarkers as risk indicators to assess oceanic region-specific microplastics impact potential. *Ecological Indicators*, 120, 106915. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106915.
- De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M. ve Avella, M. (2019). The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Scientific Reports*, 9:6633. doi:10.1038/s41598-019-43023-x.
- De Falco, F., Gullo M.P., Gentile G., Pace E.D., Cocca, M., Gelabert, L., Brouta-Agnesa, M., Rovira, A., Escudero, R., Villalba, R., Mossotti, R., Montarsolo, A., Gavignano, S., Tonin, C. ve Avella, M. (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*, 236: 916-925. doi:10.1016/j.envpol.2017.10.057
- Defra. İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı. (2019). *Investigation of Sources and Pathways of Microplastic Pollution into the Marine Environment*. 21 Kasım 2020, Erişim adresi

<http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&ProjectID=20110&FromSearch=Y&Publisher=1&SearchText=ME5435&SortString=ProjectCode&SortOrder=Asc&Paging=10#Description>

Doğa ve Sürdürülebilirlik Derneği (2018). *Giysilerimizden kaynaklanan polyester iplik parçaları sucul yaşamı plastik mikrogranüllerden daha fazla tehdit etmektedir*. Erişim tarihi:14.11.2020. Erişim adresi <http://dosder.org.tr/mikroplastik-iplikler-sucul-yasami-tehdit-ediyor/>

Doğruyol, P. (2019). *Haliç sedimanlarında mikroplastik kirliliğinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Dong, H., Chen, Y.L., Wang, J., Zhang, Y., Zhang, P., Zou, J.X. ve Zhou, A.G. (2021). Interactions of microplastics and antibiotic resistance genes and their effects on the aquaculture environments. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123961. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.123961.

Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers A, Edwards W. ve Amato, S, (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77, 1-2, 177-182. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.10.007.

Esmeray, E. ve Armutlu C. (2020). Mikroplastikler, çevre-insan sağlığı üzerine etkileri ve analiz yöntemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 839-868. doi:10.29130/dubited.586453

Fontana, G.D., Mossotti, R. ve Montarsolo, A. (2020). Assessment of microplastics release from polyester fabrics: The impact of different washing conditions. *Environmental Pollution*, 264, 113960. doi:10.1016/j.envpol.2020.113960.

Ford, A. (1999). *Modelling the environment: an introduction to system dynamics modelling of environmental systems*. Washington: Island Press.

Francesca, D. F., Gennaro, G., Roberto, A. Emanuela, E. M., Emilia, D. P., Veronica, A., Maurizio, A. ve Mariacristina, C. (2018). Pectin based finishing to mitigate the impact of microplastics released by polyamide fabrics. *Carbohydrate Polymers*, 198, 175-180. doi:10.1016/j.carbpol.2018.06.062.

Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A. V. ve Viñas, L. (2018). Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 365–376. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.11.070.

- Galeano, D.A.R. ve Rodriguez, S.C.B. (2021). An integrated method of environmental analysis and system dynamics for management of mobile phone waste in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123768. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123768.
- Galvao, A., Aleixo, M., De Pablo, H., Lopes, C. ve Raimundo, J. (2020). Microplastics in wastewater: microfiber emissions from common household laundry. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 26643–26649. doi:0.1007/s11356-020-08765-6.
- Georgiadis, P. ve Besiou, M. (2008). Sustainability in electrical and electronic equipment closed-loop supply chains: a system dynamics approach. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1665-1678. doi:10.1016/j.jclepro.2008.04.019.
- Gökdağ, K. (2017). *Microplastic pollution in seawater, sediment and gastrointestinal tract of fishes of the North-Eastern Mediterranean Sea* (Yüksek Lisans Tezi), ODTÜ, Ankara.
- Gündoğdu, S. (2017). High level of micro-plastic pollution in the Iskenderun Bay NE Levantine coast of Turkey. *Su Ürünleri Dergisi*, 34(4), 401-408. doi:10.12714/egejfas.2017.34.4.06.
- Gündoğdu, S., Çevik, C. ve Ataş, N.T. (2020). Stuffed with microplastics: Microplastic occurrence in traditional stuffed mussels sold in the Turkish market. *Food Bioscience*, 37, 100715. doi:10.1016/j.fbio.2020.100715.
- Gündoğdu, S., Çevik, C., Güzel, E., Kilercioğlu, S. (2018). Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 626. doi:10.1007/s10661-018-7010-y.
- Gürbüz, Ö. (2017). *Marmara denizi mikroplastik karakterizasyonu ve dağılımı*. (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.
- Güven, O., Gökdağ, K., Jovanovic, B. ve Kıdeys, AE. (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environmental Pollution*, 223, 286-294. doi:10.1016/j.envpol.2017.01.025.
- Halstead, J. E., Smith, J. A., Carter, E. A., Lay, P. A. ve Johnston, E. L. (2018). Assessment tools for microplastics and natural fibres ingested by fish in an urbanised estuary. *Environmental Pollution*, 234, 552-561. doi:10.1016/j.envpol.2017.11.085.

- Haron, F.F. ve Hawari, N.N. (2018). A system dynamics model to analyse the environmental problem at construction site. *Journal of Technology Management and Business*. doi:10.30880/jtmb.2018.05.02.003
- Hernandez, E., Nowack, B. ve Mitrano, D. M. (2017). Polyester textiles as a source of microplastics from households: A mechanistic study to understand microfiber release during washing. *Environmental Science and Technology*, 51(12), 7036–7046. doi:10.1021/acs.est.7b01750
- Huang, Q., Song, W. ve Song C. (2020). Consolidating the layout of rural settlements using system dynamics and the multi-agent system. *Journal of Cleaner Production*, 274, 123150. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123150.
- Huang, Y.Y., Li, W., Gao, J., Wang, F., Yang, W., Han, L., Lin, D.M., Min, B.L. Zhi, Y., Grieger, K. ve Yao, J.M. (2021). Effect of microplastics on ecosystem functioning: Microbial nitrogen removal mediated by benthic invertebrates. *Science of the Total Environment*, 754, 142133. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142133.
- Ji, X.L., Ma, Y., Zeng, G.N., Xu, X., Mei, K., Wang, Z.F., Chen, Z., Dahlgren, R., Zhang, M.H. ve Shang, X. (2021). Transport and fate of microplastics from riverine sediment dredge piles: Implications for disposal. *Journal of Hazardous Materials*, 404(A), 124132. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124132.
- Jiang, J.H., Wang, X.W., Ren, H.Y., Cao, G.L., Xie, G.J., Xing, D.F. ve Liu, B.F. (2020). Investigation and fate of microplastics in wastewater and sludge filter cake from a wastewater treatment plant in China. *Science of the Total Environment*, 746, 141378. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141378.
- Jönsson, C., Arturin, O.L., Hanning, A.C., Landin, R., Holmström, E. ve Roos, S. (2018). Microplastics Shedding from Textiles-Developing Analytical Method for Measurement of Shed Material Representing Release during Domestic Washing. *Sustainability* 10(7), 2457. doi:10.3390/su10072457.
- Kadızoade, G. (2019). *Mikroplastikler üzerine ağır metal adsorpsiyonu araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi) Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kasamesiri, P., Meksumpun, C., Meksumpun, S. ve Ruengsorn, C. (2021). Assessment on Microplastics Contamination in Freshwater Fish: A Case Study of the Ubolratana



- Reservoir, Thailand. *International Journal of Geomate*, 20(77), 62-68. doi:10.21660/2020.77.6108.
- Kelly, M., Lant, N., Kurr, M. ve Burgess, J. G. G. (2019). The importance of water-volume on the release of microplastic fibres from laundry. *Environmental Science and Technology*, 53(20), 11735–11744. doi:10.1021/acs.est.9b03022.
- Konya, M. Y. (2019). *Marmara denizi Büyükçekmece ve Tuzla istasyonları mikroplastik miktarı ve dağılımı*. (Yüksek Lisans Tezi) Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Li, Q., Zhang, L., Zhang, L. ve Jha, S. (2021). Exploring multi-level motivations towards green design practices: A system dynamics approach. *Sustainable Cities and Society*, 64, 102490. doi: 10.1016/j.scs.2020.102490.
- Lousada, A.L.D., Ferreira, F.A.F., Meidute-Kavaliauskiene, I., Spahr, R.W., Sunderman, M.A. ve Pereira, L.F. (2021). A sociotechnical approach to causes of urban blight using fuzzy cognitive mapping and system dynamics. *Cities*, 108, 102963. doi:10.1016/j.cities.2020.102963.
- Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D. ve Rogers, D. L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution*, 218, 1045-1054. doi:10.1016/j.envpol.2016.08.056.
- Mintenig, S.M., Kooi, M., Erich, M.W., Primpke, S., Redondo- Hasselerharm, P.E., Dekker, S.C., Koelmans, A.A. ve van Wezel, A.P. (2020). A systems approach to understand microplastic occurrence and variability in Dutch riverine surface waters. *Water Research*, 76, 115723. doi:10.1016/j.watres.2020.115723.
- Mishra, S., Rath, C.C. ve Das, A. P. (2019). Marine microfiber pollution: A review on present status and future challenges. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 188–197. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.01.039.
- Naji, A., Azadkhan, S., Farahani, H., Uddin, S. ve Khan, F.R. (2021). Microplastics in wastewater outlets of Bandar Abbas city (Iran): A potential point source of microplastics into the Persian Gulf. *Chemosphere*, 262, 128039. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.128039.

- Napper, I.E. ve Thompson, R.C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1-2), 39–45. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.09.025.
- Napper, I.E., Barrett, A.C. ve Thompson, R.C. (2020). The efficiency of devices intended to reduce microfibre release during clothes washing. *Science of The Total Environment*, 738, 140412. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140412.
- Norouzian-Maleki, P., Izadbakhsh, H., Saberi, M., Hussain, O., Rezaee, M.J. ve Tehrani, N.G. (2020). An integrated approach to system dynamics and data envelopment analysis for determining efficient policies and forecasting travel demand in an urban transport system *Transportation Letters-The International Journal of Transportation Research*. doi:10.1080/19427867.2020.1839716.
- Ospar Komisyonu (2017). *Assessment document of land-based inputs of microplastics in the marine environment*. 2 Mart 2021. Erişim adresi <https://www.ospar.org/documents?v=38018>
- Ouda, M., Kadadou, D., Swaidan, B., Al-Othman, A., Al-Asheh, S., Banat, F. ve Hasan, S.W. (2021). Emerging contaminants in the water bodies of the Middle East and North Africa (MENA): A critical review. *Science of the Total Environment*, 754, 142177. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142177.
- Ouyang, M.Y., Liu, J.H. Wen, B., Huang, J.N., Feng, X.S., Gao, J.Z. ve Chen, Z.Z. (2021). Ecological stoichiometric and stable isotopic responses to microplastics are modified by food conditions in koi carp. *Journal of Hazardous Materials*, 404(A), 124121. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124121.
- Peterson, A. (2015). *Towards recycling of textile fibers separation and characterization of textile fibers and blends* (Yüksek Lisans Tezi), Chalmers Teknoloji Üniversitesi, Gothenburg, İsveç.
- Petroody, S.S.A., Hashemi, S.H. ve van Gestel, C.A.M. (2020). Factors affecting microplastic retention and emission by a wastewater treatment plant on the southern coast of Caspian Sea. *Chemosphere*, 261, 128179. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.128179.
- Pirc, U., Vidmar, M., Mozer, A. ve Kržan, A. (2016). Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing. *Environmental Science and Pollution Research*. 23, 22206–22211. doi:10.1007/s11356-016-7703-0.

- Pittura, L., Foglia, A., Akyol, C., Cipolletta, G., Benedetti, M., Regoli, F., Eusebi, A.L., Sabbatini, S., Tseng, L.Y., Katsou, E., Gorbi, S. ve Fatone, F. (2021). Microplastics in real wastewater treatment schemes: Comparative assessment and relevant inhibition effects on anaerobic processes. *Chemosphere*, 262, 128415. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.128415.
- Rai, P.K., Lee, J., Brown, R.J.C. ve Kim, K.H. (2021). Environmental fate, ecotoxicity biomarkers, and potential health effects of micro- and nano-scale plastic contamination. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123910, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123910.
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, (2017). *İllerin ve bölgelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırması*. Erişim tarihi: 25.11.2020. Erişim adresi <https://www.sanayi.gov.tr/bolgesel-kalkinma-faaliyetleri/analitik-cal%C4%B1smalar/01123b>
- Sarıoğlu, M. ve Koç, C. (2017, Eylül 12-15). *Mikroplastiklerin sucul ortamdaki etkileri*. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu sunulan bildiri, Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Sinop. 148.Erişim adres. [http://susemp2017.sinop.edu.tr/images/Bildiri\\_Ozet\\_Kitabi.pdf](http://susemp2017.sinop.edu.tr/images/Bildiri_Ozet_Kitabi.pdf)
- Saysel, A. K., Barlas, Y. ve Yenigün, O. (2002). Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach. *Journal of Environmental Management* 64(3): 247-260.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. USA: McGraw Hill.
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M. ve Ni, B.J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: detection, occurrence and removal. *Water Research*, 152, 21-37. doi:10.1016/j.watres.2018.12.050.
- Sundt, P., Schulze, P. E. ve Syversen, F. (2014). *Sources of microplastic pollution to the marine environment, Report no: M-321/2015, Norwegian Environment Agency*. 1 Mart 2021. Erisim adresi <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M321/M321.pdf>
- Tang, N., Liu, X.N. ve Xing, W. (2020). Microplastics in wastewater treatment plants of Wuhan, Central China: Abundance, removal, and potential source in household wastewater. *Science of the Total Environment*, 745, 141026. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141026.

- Taş Divrik, M., Karakaş, H. ve Divrik, B. (2018). Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin Plastik Atıklar ve Geri Dönüşüme Yönelik Tutumları. *Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 21(2), 448-470.
- Tekirdağ Valiliği (2021). Erişim tarihi: 10.02.2021. Erişim adresi <http://www.tekirdag.gov.tr/ilcelerimiz>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2017). Erişim tarihi: 15.01.2021. Erişim adresi <https://web.tuik.gov.tr/tr/classification-categories/>.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2019). Erişim tarihi: 15.01.2021. Erişim adresi <https://web.tuik.gov.tr/tr/classification-categories/>.
- Van Cauwenberghe, L. ve Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, 65-70. doi:10.1016/j.envpol.2014.06.010.
- Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B.D., Van Franeker, J., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F. ve Law, K.L. (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental research letters*, 10(12), 124006. doi:10.1088/1748-9326/10/12/124006.
- Vethaak, A. D. ve Leslie, H. A. (2016). Plastic debris is a human health issue. *Environmental Science and Technology*, 50(13), 6825–6826. doi:10.1021/acs.est.6b02569.
- Xu, S., Ma, J., Ji, R., Pan, K. ve Miao, A. (2020). Microplastics in aquatic environments: Occurrence, accumulation, and biological effects. *Science of The Total Environment*, 703, 134699. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134699.
- Vassilenko, K., Watkins, M., Chastain, S., Posacka, A. ve Ross, P.s. (2019). *Me, My Clothes and the Ocean*. 21 Kasım 2020, Erişim adresi [https://assets.ctfassets.net/fsquhe7zbn68/4MQ9y89yx4KeyHv9Svynyq/8434de64585e9d2cfbcd3c46627c7a4a/Research\\_MicrofibersReport\\_191004-e.pdf](https://assets.ctfassets.net/fsquhe7zbn68/4MQ9y89yx4KeyHv9Svynyq/8434de64585e9d2cfbcd3c46627c7a4a/Research_MicrofibersReport_191004-e.pdf)
- Yalman, N. (2019). *Plastik Geri Dönüşüm Sektöründe Kullanılan Makinelerde Karşılaşılan Risklerin İncelenmesi* (Yüksek lisans Tezi), İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yang, L., Qiao, F., Lei, K., Li, H., Kang, Y., Cui, S. ve An, L. (2019). Microfiber release from different fabrics during washing. *Environmental Pollution*, 249, 136–143. doi:10.1016/j.envpol.2019.03.011.

- Yurtsever, M. (2018). *Küresel plastik kirliliği, nanomikroplastik tehlikesi ve sürdürülebilirlik*.  
Erişim tarihi: 10.11.2020. Erişim adresi  
[https://mevci.sakarya.edu.tr/sites/mevci.sakarya.edu.tr/file/MYurtseverKuresel\\_Plastik\\_Kirlilgi\\_NMP\\_Tehlikesi\\_ve\\_Surdurulebilirlik.pdf](https://mevci.sakarya.edu.tr/sites/mevci.sakarya.edu.tr/file/MYurtseverKuresel_Plastik_Kirlilgi_NMP_Tehlikesi_ve_Surdurulebilirlik.pdf)
- Zhang, C.N., Wang, J., Zhou, A.G., Ye, Q., Feng, Y.Y. Wang, Z.L., Wang, S.D. Xu, G.H. ve Zou, J.X. (2021b). Species-specific effect of microplastics on fish embryos and observation of toxicity kinetics in larvae. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123948. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.123948.
- Zhang, L.S., Xie, Y.S., Zhong, S., Liu, J.Y., Qin, Y. ve Gao, P. (2021a). Microplastics in freshwater and wild fishes from Lijiang River in Guangxi, Southwest China. *Science of the Total Environment*, 755(1), 142428. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142428
- Zitouni, N., Bousserrhine, N., Missawi, O., Boughattas, I., Chevre, N., Santos, R., Belbekhouche, S., Alphonse, V., Tisserand, F., Balmassiere, L., Dos Santos, S.P. Mokni, M., Guerbej, H. ve Banni, M. (2021). Uptake, tissue distribution and toxicological effects of environmental microplastics in early juvenile fish *Dicentrarchus labrax*. *Journal Of Hazardous Materials*, 403, 124055. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124055.

## **EKLER**