



MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNE SENTETİK ESASLI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN YIKAMA İŞLEMLERİNİN ETKİSİ

Fatma GÜNDÜZ BALPETEK^{1*}, Aşlı DEMİR², Esen ÖZDOĞAN²

¹ Ege Üniversitesi, Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi, İzmir, Türkiye

² Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Mikroplastik, Sentetik Lifler, Yıkama.</i>	Plastik ürünlerin kullanımı sırasında ve atıklarının birikimi konusunda bilinçli hareket edilmediğinde, mikroplastik tehlikesiyle karşılaşılması söz konusudur. Mikroplastikler genel olarak boyutu 1 nm ile 5 mm arasındaki partiküller olarak ifade edilmektedir. Tekstil ürünlerinin yıkanması sonucu salınan mikro ve nano boyutlu liflerin, toplam mikroplastiklerin önemli bir kısmını oluşturduğu çeşitli kaynaklarda gösterilmektedir. Sentetik liflerden üretilen tekstil ürünlerinin yıkanmasıyla çevreye salınan, mikroplastik kirliliğine ilişkin araştırmalar daha da önem kazanmıştır. Bu derlemede, yıkama sırasında salınan mikroplastik lif miktarına, yıkama parametrelerinin etkilerinin değerlendirildiği çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenmektedir.

THE EFFECTS OF WASHING PROCESSES OF SYNTHETIC BASED TEXTILE PRODUCTS ON MICROPLASTIC POLLUTION

Keywords	Abstract
<i>Mikroplastik, Synthetic Fibers, Washing.</i>	Microplastics dangers are encountered when conscious action is not taken about the accumulation of waste and during use of plastic products. Microplastics are generally expressed as particles between 1 nm and 5 mm in size. It is stated in the various literature that micro and nano-sized fibers released as a result of washing textile products constitute a significant amount of the total microplastics. Researches on microplastic pollution released to the environment by washing textile products produced from synthetic fibers have gained more importance. A detailed literature search on the effect of washed materials and washing parameters on the microplastic fibers shed during washing are reviewed in this study.

Alıntı / Cite

Gündüz Balpetek, F., Demir, A., Özdoğan, E., (2022). Mikroplastik Kirliliğine Sentetik Esaslı Tekstil Ürünlerinin Yıkama İşlemlerinin Etkisi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 1097-1106.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

F. Gündüz Balpetek 0000-0002-9179-4824

A. Demir 0000-0002-6642-1604

E. Özdoğan 0000-0001-8071-9100

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 20.05.2021

Revizyon Tarihi / Revision Date 21.02.2022

Kabul Tarihi / Accepted Date 28.02.2022

Yayın Tarihi / Published Date 30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Yunanca "plasticos" kelimesinden gelen ve "şekillendirmek", bir kalıba uydurmak anlamını taşıyan plastiklerin, dayanıklılığı, işlenebilirliği, hafifliği ve düşük maliyeti gibi özellikleri sayesinde, paketleme, inşaat, otomotiv, elektrikli ve elektronik aletler, tarımsal üretim, giyim ve ayakkabı, ev ve kişisel temizlik ürünleri gibi günlük yaşamın her yerinde ve pek çok uygulamada kullanımı mümkündür. (Ergen, 2017;Boucher ve Friot, 2017).

Dünya ekonomisinde önemli bir yere sahip olan plastik sektöründe, tüketim özellikle 1950'li yıllardan itibaren hızla artış göstermiştir. 2019 yılında dünyada yaklaşık 368 milyon ton olan plastik üretimine (Tiseo, 2021), 2050 yılına gelindiğinde 33 milyar ton eklenmesi beklenmektedir (Aslan, 2018). 2019 yılında Türkiye'de plastik ürün

* İlgili yazar / Corresponding author: fatma.gunduz@mail.ege.edu.tr, +90-232-311-3890

üretimi 9,46 milyon ton olmuş ve bu rakamın yaklaşık %40'ı ambalaj malzemesi olarak üretilmiştir (Pagev, 2019). Plastik ambalajlar, tüm plastiklerin %36'sını ve plastik atıkların %47'sini oluşturmaktadır. Tüm plastik materyallerin %90'ı bir kez kullanılıp atılmakta ve bunlar üretilen toplam plastik kütlelerinin yaklaşık %50'sine karşılık gelmektedir (Rhodes, 2019).

Plastik ürünlerin kullanılması ve atıklarının birikimi konusunda bilinçli hareket edilmediğinde, mikroplastik tehlikesiyle karşılaşılması söz konusudur. (Rhodes, 2019; Arslan, 2018). Genellikle 5 mm'den küçük plastik atıklara mikro plastik denilmektedir (Sillanpää ve Sainio, 2017). Mikroplastik, 1 nm-5 mm arasında uzunluk ve ağırlıkça \geq %1 olan partiküller ile 3 nm -15 mm uzunluk ile uzunluk/çap oranı $>$ 3 olan lifleri de içeren parçacıklardan oluşan bir malzeme olarak da tanımlanabilmektedir Mikroplastik terimi önceleri 5 mm'den daha küçük plastik parçacıkları belirtmekte iken (Boucher ve Friot, 2017; Belzagui vd, 2019; De Falco vd., 2018a; Zambrano vd., 2019; Cesa vd., 2017; Fahrenfeld vd., 2019; Hoang, 2019), bazı araştırmacıların çalışmalarında, son yıllarda 1 mm'den daha küçük plastik parçacıklar için de kullanılmaya başlanmıştır (Carney vd., 2018; Browne vd., 2011; Paula vd., 2019)

Mikroplastik kaynakları genellikle birincil mikroplastikler ve ikincil mikroplastikler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Birincil mikroplastikler, mikroplastik boyutlarında karasal ve sucul alanlara terk edilen malzemelerdir. İkincil mikroplastikler ise, UV ışığa maruz kalma, donma, ısı, rüzgâr ve fiziksel aşınma gibi çevresel nedenlerle parçalanmış plastik atıkların deniz ortamına maruz kalmasından ve daha küçük parçalara ayrılmasından oluşan plastiklerdir (Boucher ve Friot, 2017; Belzagui vd, 2019; Zambrano vd., 2019; Hoang, 2019). Diğer deyimle, orijinal olarak küçük boyuta göre üretilen mikroplastikler birincil, daha büyük plastik maddelerin parçalanması ile ortaya çıkan mikroplastikler ikincil olarak sınıflandırılmaktadır (GESAMP, 2016).

Kişisel bakım, temizlik, hijyen ve kozmetik ürünlerinde kullanılan mikro boncuklar, imalat ve şekil verme gibi işlemler sırasında toprak veya okyanus, deniz gibi ortamlara bırakılan plastik hammaddeleri, kalıntıları ve atıkları birincil mikroplastik kaynaklarını oluşturmaktadır (Arslan, 2018).

İkincil mikroplastikler, günlük yaşamda ev, mutfak ve dış ortamlarda kullanılan plastiklerin yıpranması, daha küçük parçalara ayrılması sonucu ortama bırakılan plastiklerdir. Poliamid, poliester, akrilik gibi liflerden üretilen tekstiller, ıslak mendil, çanta, ayakkabı, giysi, halı gibi birçok malzeme ve bu tip malzemelerin yıkanması sırasında oluşan mikrolifler de ikincil mikroplastiklerdir (Arslan, 2018).

Mikroplastikler, deniz canlılarının yaşamını doğrudan olumsuz yönde etkilemekle beraber, tek kullanımlık plastik malzemelerin üretiminde kullanılan polimerler, tüketicilerin vücut içine kadar ilerleyebilmektedir. Greenpeace Akdenizin, "Tek Kullanımlık Plastikler Yasaklansın" projesi kapsamında yayınlanan raporunda, balık, karides ve midye gibi deniz canlılarında 13 farklı polimer çeşidinden mikroplastik olduğu tespit edilmiştir. En fazla karşılaşılan polimerlerin, poşet üretiminde kullanılan polietilen (PE), soğuk içecek şişelerinin üretiminde kullanılan polipropilen (PP) ve su şişesi hammaddesi olan polietilen tereftalat (PET) olduğu belirlenmiştir. (Gündoğdu ve Çevik, 2019).

Mikroplastiklerin yaşadığımız her yerde bulunma olasılığı, insanların bu mikro parçacıklara maruz kalmasına neden olmaktadır. Bağışıklık sisteminin sentetik partikülleri uzaklaştıramaması, kronik inflamasyona yol açabilmektedir. Ayrıca, mikroplastikler bileşenlerindeki, adsorbe edilmiş kirleticileri ve patojenik organizmaları serbest bırakabilmektedir. Bununla birlikte, mikroplastik toksisite hakkındaki bilgiler hala sınırlıdır ve maruz kalma konsantrasyonundan, partikül özelliklerinden, adsorbe edilen kirleticilerden, ilgili dokulardan ve bireysel duyarlılıktan büyük ölçüde etkilenmektedir ve daha fazla araştırılması gerekmektedir (Correia vd., 2020).

Mikroplastiklerin solunum veya yutma yoluyla vücuda girdiğinde, dokularda yer değiştirebileceğini gösteren bir çalışmaya göre, farelere verilen floresan polistiren mikrokürelerin 10 gün sonra dalakta bulunabileceği gösterilmiştir (Eyles vd., 2001).

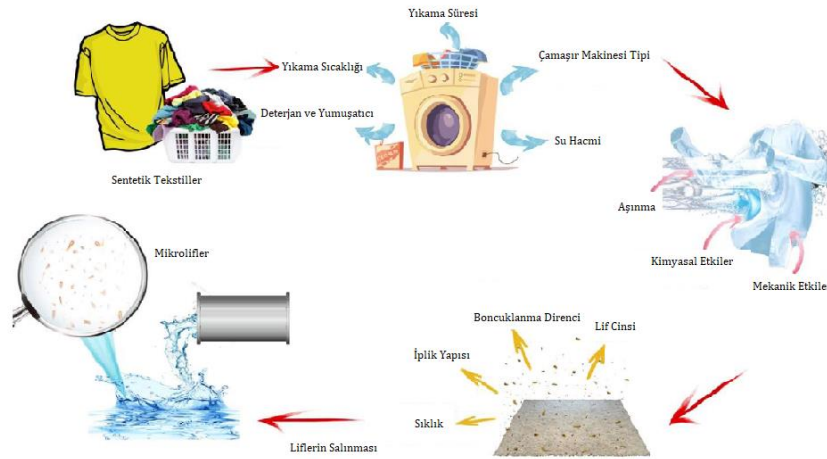
Mikroplastikler, karasal ve sucul ekosistemlerde heterojen olarak yayılmış şekilde bulunmaktadır. Toprak içindeki mikroplastikler, toprakta depolanabildiği gibi, erozyonla başka bir yere de taşınabilmektedir ve çevresel faktörlerle bozunma sonucunda, yeraltı sularına kadar sızabilmektedir. Böylece, birçok canlı suda bulunan mikroplastikleri vücuduna alarak organlarına yayabilmektedir. Ayrıca mikroplastikler, organo-klor yapısındaki pestisitler ve hormon bozucular başta olmak üzere toksik yapıdaki kimyasal maddeleri ve ağır metalleri adsorblayabildiği için, yüzeylerinde zamanla biriktirerek, içinde bulunduğu karasal veya sucul çevreye son derece zararlı olabilmektedir. (Arı ve Söğüt, 2021).

Boucher ve Friot, okyanuslardaki tüm plastiğin %15 ila %31'inin birincil kaynaklardan kaynaklanabileceğini ifade etmektedir (Boucher ve Friot, 2017). Hoang'ın çalışması ise mikroplastiklerin %34,8'inin tekstillerin

yıkınmasından, %28,3'ünün sürüş sırasında lastiklerin aşınmasından, %24,2 oranında şehirleşme kaynaklı meydana gelen tozlanmadan, %12,7'sinin yol yapımı, gemilerin dış yüzey kaplaması, kişisel bakım ürünleri ve plastik peletlerden oluştuğunu ortaya koymuştur (Hoang, 2019).

Tekstil ürünlerinin yıkınması sonucu mikroplastik boyutlu salınan liflerin, büyük bir mikroplastik kaynağı olduğu birçok kaynakta yer almaktadır (Piñol vd., 2015; Browne vd., 2011; Napper ve Thompson, 2016; Mishra vd., 2019). Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN), her yıl yaklaşık 0,8- 2,5 milyon ton arasında mikroplastığın okyanusa salındığını bildirmiştir. Bu miktarın %35'inin sentetik liflerden üretilen tekstil ürünlerinin evsel ve/veya endüstriyel yıkama işlemleri sırasında kaynaklandığı belirtilmektedir (Boucher ve Friot, 2017; Zambrano vd., 2019). Sentetik liflerden üretilen tekstil ürünlerinin yıkınmasıyla çevreye salınan, mikroplastik kirliliğine ilişkin araştırmaların önemi daha da artmıştır (Cesa vd., 2017; Hoang, 2019; Mishra vd., 2019). Yapılan bir çalışmada sentetik giysilerin yıkınması sırasında mikroliflerin ortalama emisyonunun yıkama başına giysi kütlesinin %0,3'ü olduğu belirtilmiştir (Hartline vd., 2016). Bu durum, her yıkamada 3 kg sentetik lif yükü için yaklaşık 10 g mikrolif çıktığı anlamına gelmektedir (Schöpel ve Stamminger, 2019)

Yıkama sırasında dökülen mikroplastik lif miktarının tekstil materyalinin özelliklerine, uygulanan işlemlere ve yıkama parametrelerine etkisi çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır. Bu derlemede, yıkama parametrelerinin mikrolif salınımına etkisinin incelendiği araştırmalara yer verilmiştir.



Şekil 1. Mikrolif salınmasının şematik gösterimi (Schematic representation of microfiber release) (Rathinamoorthy ve Balasaraswathi, 2021b)

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Kelly vd. (2019) çalışmalarında, %100 poliester siyah tişörtlerden mikrolif salınımı üzerine, su hacminin, çalkalama hızının, sıcaklığın ve yıkama süresinin etkisini, tergotometre ve çamaşır makinesi (Miele W3622) kullanarak araştırmışlardır. Tergotometre ile yapılan yıkama işlemlerinde, su hacminin (300 ml, 600 ml) ve çalkalama hızının etkisi (100 rpm, 200 rpm) 30°C'de 60 dakika yıkama programı ile incelenmiştir. Sıcaklığın (15°C ve 30°C) ve yıkama süresinin (15 dakika ve 60 dakika) etkisi, 200 rpm çalkalama hızında, 300 ml su hacminde yapılan yıkama işlemleri ile araştırılmıştır. Yıkama suyu, önce 20 µm CellMicroSieve filtre ile daha sonra 22 µm gözenek boyutlu Whatman 541 filtre kağıdı ile filtrelenmiş, kurutulmuş ve filtreler DigiEye görüntü yakalama makinesi /yazılımı kullanılarak görüntülenmiştir.

Çamaşır makinesi ile yapılan yıkamalarda ise, pamuklu kısa programı (85 dakika, 1600 rpm, 36 L, 30 °C), soğuk hızlı programı (30 dakika, 1600 rpm, 30 L, 13-15 °C) ve hassas programı (59 dakika, 600 rpm, 69 L, 30 °C) kullanılmıştır. Çamaşır makinesinden gelen yıkama suyu doğrudan çıkış borusundan toplanmış ve filtrelenmiştir. Mikrolifleri içeren filtreler bir mikro terazide tartılmıştır. İlk yıkamada, daha yüksek su hacmi kullanılan hassas yıkama programı, daha düşük su hacmindeki standart yıkamaya göre yıkama başına 800.000 daha fazla mikrolif (94 mg / kg) salmıştır. Sonuçlar, çalkalamadan ziyade, yüksek bir su hacmi-kumaş oranının mikrolif salınımı için en etkili faktör olduğunu göstermiştir. Hem tergotometre hem de çamaşır makinesi yıkamaları, daha yüksek su hacminin mikrolif salınımını arttırdığını, sıcaklık ve sürenin önemli bir etkiye sahip olmadığını ve en büyük mikrolif salınımının ilk yıkamada olduğunu göstermiştir (Kelly vd., 2019).

Yang vd. farklı çamaşır makinesi tiplerinin (pulsatör, merdaneli çamaşır makinesi) ve yıkama koşullarının (sıcaklık ve deterjan), en fazla bulunan sentetik lifler olan poliester, poliamid ve asetat liflerinden yapılan kumaşlarda mikroliflerin salınımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çamaşır makinesi tipi, sıcaklık (30, 40 ve 60°C) ve deterjan (5 ml/15 L deterjanlı, deterjansız) etkisinin karşılaştırılması için deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, bir pulsatör

çamaşır makinesi ile yıkamanın, bir merdaneli çamaşır makinesi ile yıkamadan daha fazla mikrolif açığa çıkardığını göstermiştir. Her ne kadar tüm malzemelerden mikrolif dökülmüş olsa da en fazla mikrolif, yıkama başına $74,816 \pm 10,656$ mikrolif/m²'ye kadar olan asetat kumaşından salınmıştır. Ayrıca, yıkama sıcaklığı arttıkça sentetik kumaşlardan salınan mikrolif sayısında artış eğilimi bulunmuş ve kumaşları sadece suyla değil, deterjanla birlikte yıkarken daha fazla mikrolif salınımı meydana geldiği belirtilmiştir (Yang vd., 2019).

Hernandez vd. çalışmasında, %100 poliester ipliklerden örülmüş interlok kumaş ve %98 poliester ve %2 Spandex ile örülmüş süprem kumaştan numuneler, aynı boyutta kesilmiş, kenarları dikilmiş, tartılmış ve deney işlemlerinden önce bir ön yıkamaya (5 dakika durulama) tabi tutulmuştur. Yıkama işlemleri ISO 105-C06: 2010 standardına göre, sıvı ve toz deterjan çözeltileri ile 1, 2, 4, 8 saat yıkama süresinde, 25, 40, 60 ve 80°C sıcaklıkta, 5 ardışık yıkama ile yapılmıştır. Yıkama suyu, 0,45 µm gözenek boyutlu Whatman filtre kağıdından bir vakum pompası yardımıyla filtrelenmiştir. Filtre kağıtlarını görüntülemek için dijital mikroskop sistemi kullanılmıştır. Yıkama sonrası tekstil ürününden salınan lifler taramalı elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir. Test edilen tüm değişkenler arasında, deterjan kullanımının, salınan toplam lif kütlelerini etkilediği ancak, deterjan bileşiminin (sıvı veya toz) veya deterjanın aşırı doz kullanılmasının, mikroplastik salınımını önemli ölçüde etkilemediği bulunmuştur. Bir yüzey aktif maddenin eklenmesi (deterjansız yıkanmış 0,025 mg lif/g tekstil; deterjanla yıkanmış yaklaşık 0,1 mg lif/g tekstil) nedeniyle farklı miktarlarda lif salınmasına rağmen, genel mikroplastik lif uzunluğu profili, yıkama durumuna veya kumaş yapısına bakılmaksızın benzer kalmıştır. Liflerin büyük çoğunluğunun, yıkama sayısına bakılmaksızın, uzunluğunun 100 ila 800 µm arasında değiştiği görülmüştür. Bu sonuçlar, kısa liflerin ve/veya kumaşın içine iplik eğirme işleminden geçen döküntülerin, yıkama sırasında salınan liflerin kaynağı olabileceğini göstermektedir (Hernandez vd., 2017).

Zambrano vd., kumaş yapısı (dokuma, örme, dokusuz yüzey), iplik yapısı (bükümü, düzgünlüğü, tüylülüğü ve lif cinsi) ve işlem geçmişi (ağartma, boyama, terbiye ve kurutma işlemleri) aynı olan kumaşlarla çalışmıştır. Yıkama işlemleri, AATCC Monograph 6-2016 standardına göre, deiyonize su ve deterjan çözeltisi ile 25 ° C ve 44 ° C sıcaklıkta yapılmıştır. Yıkama sırasında salınan mikrolifler, Whatman (GF/C sınıfı, 47 mm, 1,2µm partikül tutabilen) cam mikrolif filtre kağıdıyla süzölmüştür ve HiRes Fiber Kalite Analiz Cihazı (FQA) ile her bir lifin miktarı, uzunluk ve genişlik dağılımı elde edilmiştir. Yıkama işlemi, sıcaklık kontrol sistemli (Quick Temp SDL ATLAS) çamaşır makinesinde (Whirlpool, WTW57005WO), kurutma işlemi (Whirlpool, WED57005WO) kurutma makinesinde yapılmıştır. Yıkama işlemine başlamadan önce, çamaşır makinesinin tahliye borusuna, naylon bir filtreleme eleği sabitlenmiştir. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra, kumaş numunesi 60 dakika süreyle yüksek sıcaklık (ağır yük) ayarında kurutma makinesinde kurutulmuştur. Test edilen tüm kumaş tiplerinde önemli miktarda mikrolif salınımı gözlenmiştir. Aynı örgü yapısındaki suni ipek, pamuk ve poliester-pamuk kumaşlar, hızlı yıkama sırasında poliester kumaşlardan çok daha fazla mikrolif ortaya çıkarmıştır. Test edilen tüm kumaşlar için, deterjan kullanımının ve sıcaklık artışının mikrolif salınımını arttırdığı görülmüştür. (Zambrano vd.,2019)

Almroth vd. tarafından, tekrarlanan yıkama ve giyme ile oluşan lif kaybının, poliester, poliakrilonitril ve poliamid gibi farklı sentetik liflerin kullanılmasıyla değişimini incelenmiştir. Kumaşlar hem kesikli hem de multifilament iplikler kullanılarak, süprem örgü olarak üretilmiştir. Kumaş kenarlarından lif kaybını önlemek için lazer kesici ile kesilen kumaşlar, ayırt edilebilmesi için farklı renklerde boyanmıştır. Kumaşlardaki gevşek lif ve tozları gidermek için, deterjan kullanılmadan, 40°C'de 15 dakika ön yıkama yapılmıştır. Ana yıkama işlemi, piyasada satılan renkliler için sıvı deterjanı kullanılarak Gyrowash cihazında 30 dakika, 60°C'de yapılmıştır. Kullanım sırasında giysilerde meydana gelen aşınma ve yıpranmayı taklit etmek üzere bazı kumaşlar, laboratuvar ortamında aşındırılmıştır. Yıkama suyu, gözenek boyutu 1,2 µm olan bir Whatman GF/C cam filtre ile filtrelenmiştir. Filtreler, ışık mikroskobu kullanılarak analiz edilmiş ve SPSS 23 kullanılarak istatistik değerlendirme yapılmıştır. Mekanik olarak tüyendirilen ya da kesilen kumaşların, diğer örme kumaşlara kıyasla yıkandıklarında önemli ölçüde daha fazla sayıda lif saldırdığı, yaklaşık 1 m² kumaş kullanıldığında, giysinin yaklaşık 110.000 lifi serbest bırakabileceği, daha sıkı örülmüş kumaşın (aynı kumaş alanında daha fazla lif olmasından) daha büyük lif kaybına yol açtığı gözlenmiştir. Poliamid ve poliakrilik kumaşların poliester benzer miktarlarda lif döktüğü, eskitilmiş giysilerin yeni giysilere göre daha yüksek lif kütleleri saçtığı, deterjanla yıkamanın test edilen dört kumaştan üçü için salınan lif miktarında önemli bir artışa neden olduğu belirlenmiştir (Almroth vd., 2018).

Hartline vd., çoğunluğu poliester liflerinden oluşmuş ceket veya kazaklarla, önden ve üstten yüklemeli ev tipi çamaşır makinelerinde, deterjansız yıkama deneyleri yapmıştır. Yıkama suyu, farklı boyutlarda mikrolifleri tutabilen iki filtreden (> 333 µm ve 20 ila 333 µm arasında) süzölmüştür. Filtreler, dijital fotoğraf makinesi kullanılarak görüntülenmiş ve mikrolif kütleleri hesaplanmıştır. Tüm işlemlerde, giysi başına mikrolif kütlelerinin, yaklaşık 0-2 g arasında olduğu ve yıkanmamış giysi kütlelerinin %0,3'ünü aştığı bulunmuştur. Üstten yüklemeli makinelerde, önden yüklemeli makinelere kıyasla yaklaşık 7 kat daha fazla mikrolif kütleleri bulunmuştur. Aynı yıkama protokolü altında, 24 saat süreklilikle yıkama ile mekanik olarak eskitilen giysilerden, yeni giysilere göre daha fazla kütlede lif salınımı olmuştur (Hartline vd., 2016).

Napper ve Thompson çalışmasında, poliester, poliester-pamuk karışımı ve akrilik kumaşlardan liflerin salınımını incelemek üzere, çeşitli sıcaklık (30°C ve 40°C), deterjan ve yumuşatıcı kullanımıyla çamaşır makinesinde yıkama işlemi yapmıştır. 25 µm gözenekli bir filtre ile yıkama sonrası lifler toplanmıştır. Ortalama lif boyutu 11,9 ile 17,7 µm çapında ve 5,0 ile 7,8 mm uzunluğunda değişmektedir. Poliester-pamuklu kumaştan, poliester veya akrilik kumaşa göre tutarlı olarak daha az lif dökülmüştür. Bununla birlikte, lif salınımı çeşitli karmaşık etkileşimlerle, yıkama işlemine göre değişmektedir. Akrilik kumaşın ortalama 6 kg'lık yıkama yükünden 700.000'den fazla lifi serbest bırakabileceği tahmin edilmiştir (Napper ve Thompson, 2016).

Pirc vd. çalışmasında, polar (mikrolif poliester) tekstil ürününün önden yüklemeli çamaşır makinesinde deterjan ve yumuşatıcı ile yıkanmasından ve kurutulmasından kaynaklanan mikrolif salınımı incelemiştir. Çamaşır makinesinden gelen atık su, 200 µm gözenek boyutlu filtre ile filtrelenmiştir. Filtrelerden toplanan lifler analiz edildiğinde, 10 ardışık yıkama sırasında salınımın başlangıçta azaldığı, daha sonra ağırlıkça yaklaşık %0,0012'de dengeye geldiği gösterilmiştir. Deterjan ve yumuşatıcı kullanımı salınımı önemli ölçüde etkilememiştir. Kurutma sırasında salınan lifler, yıkama sırasındakinden yaklaşık 3,5 kat daha fazla bulunmuştur (Pirc, vd., 2016).

Yıkama işlemlerinin Linitest cihazında yapıldığı, De Falco vd. çalışmasında, poliester, akrilik ve poliester-pamuk liflerden yapılmış süveterlerden gelen mikro lif salınımı, 30 ve 40°C sıcaklıkta, bir deterjan ve bir yumuşatıcı varlığında/yokluğunda gerçekleştirilen evsel yıkama sonrasında incelenmiştir. Yıkama çözeltileri 5 µm gözenek boyutuna sahip bir filtreden süzölmüş ve filtreler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Farklı deterjanların, yıkama parametrelerinin (sıcaklık, zaman, su sertliği vb.) ve yıkama koşullarının (evsel ve endüstriyel) mikrolif salınımına etkisi değerlendirilmiştir. Endüstriyel bir yıkama işlemi simüle etmek için başka bir yıkama testi yapılmıştır. Sonuçlar, dokuma poliesterin, kullanılan deterjandan bağımsız olarak, evsel koşullar altında yıkama sırasında, örme poliester ve dokuma polipropilene göre en fazla sayıda mikrolif serbest bıraktığını göstermiştir. Dokuma poliester ile yapılan denemelerden, yumuşatıcı kullanıldığında mikrolif salınımının en düşük olduğu tespit edilmiştir. Çamaşır suyunun salınan mikro lif sayısına etkisinin anlaşılması için, daha ileri çalışmalara ihtiyaç bulunduğu belirtilmiştir. Sonuçlar toz deterjan, yüksek sıcaklık, daha yüksek su sertliği ve mekanik hareketin, mikroplastik salınımını arttırdığını göstermiştir. Endüstriyel yıkamalar önemli miktarda mikrolif salınımı oluşturmuştur (De Falco vd., 2018a)

Cocca ile çalışma grubunun yaptığı bir çalışmada, dokuma poliester, örme poliester ve dokuma polipropilen kumaşlar, hem endüstriyel hem de evsel yıkama koşullarına göre Linitest cihazında yıkanmıştır. Evsel yıkama koşullarını temsil eden yıkamalarda sıvı deterjan, toz deterjan, oksijen-ürün, ağartıcı ve yumuşatıcı ürünler kullanılmıştır. Endüstriyel yıkama koşullarını temsil eden yıkamalarda referans standart alkali deterjan ve iki ticari deterjan kullanılmıştır. Yıkama suları toplanmış, PVDF (Poliviniliden florür) membran filtrelerinden (gözenek genişliği = 5 µm) süzölmüş ve filtreler, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlenmiştir. Filtre yüzeyinin birkaç mikrografi alınarak bir sayım yöntemi geliştirilmiştir. Sadece su, sıvı deterjan ve toz deterjan ile yapılan yıkamalar değerlendirildiğinde, deterjan kullanıldığında tüm kumaşlar için salınan mikro lif miktarında artış olduğu görülmüştür. En fazla salınım, toz deterjanın kullanıldığı durumda bulunmuştur. Dokuma poliester kumaşın, en fazla miktarda mikro lif saldırdığı görülmüştür. Dokuma poliester kumaş, farklı tipte yıkama ürünleri (ağartıcı, yumuşatıcı ve oksitleyici ürünler) kullanılarak ve yıkama koşulları (sıcaklık, süre, mekanik hareket ve su sertliği) değiştirilerek, endüstriyel yıkama koşullarında daha detaylı araştırılmıştır. Sıvı deterjan, yumuşatıcı ve ağartıcı madde kullanımının, küçük bir mikrolif salınımına neden olduğu; yüksek sıcaklık, yıkama süresi ve mekanik hareketin ise mikrolif salınımında artışa neden olduğu bulunmuştur. Endüstriyel yıkama koşulları ise, daha sert yıkamalar olduğundan, ev tipi yıkamalara kıyasla daha fazla sayıda mikrolif salınmasına neden olmuştur.

Yıkama işlemi sırasında açığa çıkan mikroplastik miktarını azaltmak için dokuma poliester kumaşa akrilik reçine, silikon emülsiyonu ve poliüretan/akrilik reçine gibi farklı apre işlemleri uygulanmıştır. Apreli kumaşların deterjanlı ve deterjansız ev tipi yıkama sonuçlarına göre, silikon emülsiyon ile kaplanan kumaşlardan gram başına salınan lif sayısı, yalnızca su ile yapılan yıkamadan bile daha az miktarda mikro lif salınımı göstermiştir. (Cocca vd., 2017)

Linn Åström tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, deterjan kullanımının yıkama sırasında mikrolif dökülmesine etkisi incelenmiştir. Deterjan kullanılmayan yıkama işlemine göre, deterjan kullanıldığında mikrolif dökülmesinde önemli bir artış olduğu bulunmuştur. Farklı deterjanların (biyo-deterjanlar ve biyo olmayan-deterjanlar) mikrolif dökülme üzerindeki etkisinin analizi ise her iki deterjanın da dökülmeyi artırdığını ancak biyo-deterjan kullanımının biyo olmayan-deterjanlara göre daha az dökülmeye neden olduğu bulunmuştur. (Rathinamoorthy ve Balasaraswathi, 2021a).

De Falco vd. (2019), çeşitli renk, lif ve kumaş yapılarında ticari giysilerden mikroplastiklerin salınımı ve tekstil özelliklerinin salınım üzerindeki olası etkilerini belirlemek için 40°C'de 107 dakika ve 1200 rpm'de, sentetikler için yıkama programı ve 2-2,5 kg yıkama yükü kullanılarak ev tipi çamaşır makinesinde yıkama denemeleri

yapmıştır. Yıkama sayısının mikrolif salınımına etkisini belirlemek için, ardışık on yıkama yapılmıştır. Giysiler, gerçek çamaşır yıkama alışkanlıklarını simüle etmek için ardışık yıkama işlemleri arasında kurutulmuştur. Mikrolif salınımının değerlendirilmesi için, doğrudan çamaşır makinesinin drenaj borusundan gelen atık su, gözenekliliği azalan ardışık filtrelerden (400 µm, 60 µm, 20 µm ve 5 µm gözenek boyutundaki) toplanmış, süzölmüş, mikroliflerin miktarı ve boyutları belirlenmiştir. Sonuçlar, yıkanmış çamaşırın cinsine bağlı olarak, yıkanmış kumaşın kg'ı için 124 ile 308 mg arasında değişen mikro lif dağılımını göstermiştir ve bu 640.000 ile 1.500.000 arasında değişen bir miktarda mikrolife karşılık gelmektedir. İplikleri oluşturan liflerin türü ve ipliklerin bükümü gibi özellikler yıkama sırasında mikro liflerin salınımını etkilemiştir. Poliester/selüloz lif karışımı ile yapılan giysilerin yıkanması sırasında büyük miktarda selülozik yapıdaki mikro lifler de salınmıştır. En fazla miktarda mikrolif döküntüsü, 60 µm gözenek boyutuna sahip filtreler tarafından tutulmuştur. Mikrolif döküntüsü, ortalama olarak 360-660 µm uzunluğunda ve 12-16 µm ortalama çapında bulunmuştur. %100 poliester giysilerden salınan mikrolifler 4-5 yıkamadan sonra sabitlenirken, poliester /pamuk /modal bileşimine sahip giysilerden mikroliflerin salınımı, 10 yıkamadan sonra hala oldukça fazla bulunmuştur (De Falco vd., 2019).

De Falco vd (2018b) başka bir çalışmada, %100 poliester tişörtlerden salınan mikrolif miktarını, hem ev tipi çamaşır makinesinde 40°C'de, 1200 rpm'de, sentetikler için yıkama programı kullanarak hem de Gyrowash cihazında 40°C'de 45 dakika yıkama işlemi ile incelemiştir. Mikrolif salınımının değerlendirilmesi için, çamaşır makinesinin drenaj borusundan gelen atık su 400 µm, 60 µm ve 20 µm gözenek boyutuna sahip üç filtrelemeden geçirilmiştir. Gyrowash yıkama testlerinde, kesilen kumaş parçalarının kenarları ısı ile yapılandırılmış (liflerin kesilmiş kenarlardan salınımını önlemek için), 10 çelik bilye eklenmiş, sıvı deterjan (üretici tarafından önerilen dozda) kullanılmıştır. Yıkama suyu, ortalama 5 µm gözenek genişliğine sahip filtre ile filtrelenmiştir. Laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilen yıkamalar sırasında salınan toplam mikro lif sayısı, yıkanmış kumaşın gramı başına 1733 ± 428 mikrolif, yani, yıkanmış kumaşın kg'ı başına yaklaşık 1.733.000 mikrolif olarak hesaplanmıştır. Mikrolif boyutlarının uzunluğunun 376 ± 82 µm, çapının 18 ± 4 µm olduğu, yıkanmış kumaşın kg başına salınan mikrolif miktarının 219 mg olduğu SEM mikrografları kullanılarak hesaplanmıştır (De Falco vd., 2018b).

Dalla Fontana vd. çalışmasında, ev tipi çamaşır makinesinde yıkanan %100 poliester kumaşlardan, yıkama süresi, sıcaklığı, tambur uzunluğu, santrifüjleme süresi gibi farklı koşullar uygulandığında salınan mikroliflerin miktarı belirlenmiştir. Ayrıca, tek başına deterjan ile deterjan ve leke çıkarıcının birlikte kullanımı karşılaştırılmıştır. 1., 2., 3., 4. ve 5. yıkamalardan sonra veriler alınmıştır. Çamaşır makinesi atık sularından, 40 µm gözenekli bir elek kullanılarak filtre edilen mikroplastikler, nitel ve nicel yöntemlerle karakterize edilmiştir. Mikroplastik salınımının yıkama sayısı artışı ile azalmadığı, kalıntı değerleri dağılımının, pamuk yıkama programı için 40,19 mg/kg iken, hassas/ipek programı için 33,86 mg/kg olduğu bulunmuştur. "Pamuk" yıkama programı; yıkama süresi, sıcaklığı, santrifüjleme hızı, tamburların ters çevrilme sayısı, tamburun sabit kaldığı tambur uzunluğu ve % hareketsiz tambur nedeniyle daha fazla salınım etkisi oluşturmuştur. "Hassas" yıkama programında ise, kumaşa uygulanan stres/sürtünme daha az olduğundan, daha düşük bir mikroplastik salınımı bulunmuştur. "Hassas" ipek yıkama programında sadece deterjan ile deterjan ve leke çıkarıcı kullanımı karşılaştırıldığında istatistiksel önemli bir fark (yaklaşık %4) olmadığı gözlenmiştir (Dalla Fontana vd., 2020).

Cesa vd. çalışmasında, yıkama ve tekstil parametreleri kombinasyonlarının lif salınımını nasıl etkilediğini, kimyasal etki (deterjan) ve mekanik etki (10 ardışık yıkama) ile ilgili faktörler kullanarak, pamuk, akrilik, poliester ve poliamid kumaşta incelemiştir. Deneyler için, 1 kg kapasiteli, üstten yüklemeli, mini çamaşır makinesi su ısıtması olmadan (ortalama 24°C) kullanılmıştır. Makinede, gözenek boyutu ortalama 450 µm olan dahili bir filtre bulunmaktadır. Makine filtresinden geçtikten sonra, her yıkamadan çıkan atık sular 500 µm ve 63 µm gözenek boyutlu iki ardışık paslanmaz çelik elek içinde manuel olarak filtrelenmiştir. Her bir alımdan elde edilen hacim (lifli damıtılmış su), 8 µm gözenek boyutlu bir filtre kağıdı üzerinde bir cam filtre tutucu düzeneğine bağlı bir vakum pompasında ayrı ayrı süzölmüştür. Filtre kağıtları, filtrasyondan önce ve sonra tartılmıştır. Deterjan kullanılan ve deterjan kullanılmayan yıkamalarda salınan lif kütleleri karşılaştırıldığında, deterjan kullanımında istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az lif salınımı bulunmuştur. Pamuk yıkamasında deterjan kullanılması ya da kullanılmaması lif salınımında istatistiksel olarak anlamlı fark yaratmamıştır. Deterjan kullanımı, poliakrilnitril, poliamid ve poliester için liflerin tutulmasında daha etkili olmuştur. Denemelerde kullanılan tüm giysi ve filtreleme malzemeleri göz önüne alındığında, ilk 3 yıkama, ortalama %53 ile salınan toplam lif kütesinin minimum %37'sinden ve maksimum %76'sından sorumlu bulunmuştur. Çamaşır makinesi filtresi (450µm), toplam filtrasyonun minimum %25'ini ve maksimum %60'ını korumuştur. Poliester ve poliamid için değerler %45'den küçük, pamuk ve poliakrilnitril için değerler %50 ile %60 arasında bulunmuştur (Cesa vd., 2019).

Lant vd. çalışmasında, İngiltere'de 79 evden toplanmış ve laboratuvarında sabit miktarda kirletilmiş çamaşırlardan mikrolif salınımını incelemiştir. Avrupa yıkama alışkanlıklarına göre yıkamalar, önden yüklemeli çamaşır makinesinde (Miele W3622) 40°C Pamuk Kısa (85 dak., 1600 dev/dak) veya 15°C Soğuk Hızlı (30 dk., 1600 rpm) programları ile Kuzey Amerika alışkanlıklarına göre yıkamalar ise üstten yüklemeli çamaşır makinesi (64 L dolun hacimli, bir durulamalı, 18 dak. Süper yıkama programı) ya da üstten yüklemeli bir diğer çamaşır makinesi (30 L

dolum hacimli, 18 dakika yıkama, toplam 47 dakikalık Casual yıkama programı) ile yapılmıştır. Avrupa yıkamalarında, kumaşlar yıkamalar arasında kurutulmamış, Kuzey Amerika yıkamalarında ise yıkama aralarında kumaşlar, 1 saat boyunca düşük bir sıcaklık ayarında (50°C) kurutma makinesi kullanılarak kurutulmuştur. Çamaşır makinesinin tahliye hortumundan atık su toplanmış ve 20 µm CellMicroSieve filtre içinden süzölmüştür. Buradan toplanan lifler, Whatman No 541 filtre kağıdıyla vakum altında süzölmüş, 50°C'de gece boyunca kurutulmuştur. Lif tanımlama, ilk olarak Yüksek Güçlü Mikroskop ve Polarize Işık Mikroskobu (Ortholux, Leica) kombinasyonu kullanılarak yapılmıştır. Lif tanımlama için daha sonra, %100 doğrulanmış numuneler ve FT-NIR Spektrometresine bağlı bir FT-IR Mikroskobu kullanılmıştır ve lifler karakterize edilmiştir. 1,0-3,5 kg kütle aralığında ortalama 132,4±68,6 ppm mikrolif salınımı, 3,5-6,0 kg aralığında ortalama 66,3±27,0 ppm mikrolif salınımı bulunmuştur. Bu iki yük aralığı birbiriyle karşılaştırıldığında, 3,5-6,0 kg yük aralığında %50 daha düşük mikrolif salınımı olduğu görölmektedir. Ortalama çamaşır kütlesi 2,69 kg olan Avrupa yıkamalarında, 40°C yıkama programı için ortalama 181,6 ± 87,1 ppm lif salınımı; "Soğuk Hızlı" yıkama programı için 129,5±42,9 ppm lif salınımı olmuştur. Bu iki yıkama programı birbiriyle karşılaştırıldığında, soğuk hızlı yıkama programı için %30 daha düşük mikrolif salınımı olduğu görölmektedir. Yumuşatıcı kullanımının mikrolif salınımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı gösterilmiştir. Mikrolif salınımının sekiz yıkamadan sonra sabit bir düşük seviyeye ulaştığı ve daha sonraki 48 yıkama süresinde artmadığı bulunmuştur. Kuzey Amerika testlerinde kullanılan, yüksek verimli üstten yüklemeli makineler, geleneksel üstten yüklemeli makinelere kıyasla önemli ölçüde daha düşük seviyelerde mikrolif salınımına neden olmuştur. (Lant vd., 2020)

Ross ve vd. çalışmasında, poliester kumaş özellikleri ile mikroplastik salınması arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Numuneler ya makasla ya da ultrasonik kesme makinesiyle kesildikten sonra, 40°C'de 60 dakika Gyrowash ile deterjan kullanarak ve kullanmadan yıkanmıştır. Yıkama suyu, 100 µm, 5 µm ve 0.65 µm filtrelerden süzölmüş ve optik mikroskop ile değerlendirilmiştir. Optik mikroskop, parçacıkların sayısını, malzeme özelliklerini ve boyut dağılımını tanımlayan otomatik bir lif tanımlama yazılımına bağlanmıştır. Bu yöntem, farklı türdeki partikülleri saymak ve liflerle diğer kirlilik türlerini ayırt etmek için etkili olmuştur. Ancak, iki veya daha fazla lif birbiri üzerinden geçtiğinde, yazılım bu lifleri bir olarak saymıştır.

Fırçalama işlemi yapılmadan, mekanik olarak geri dönüştürölmüş poliesterden yapılmış ve yeni poliesterden yapılmış aynı özelliklere sahip 2 kumaşın yıkama sonuçları karşılaştırıldığında geri dönüştürölmüş poliesterden toplam 843 lif döküldüğü, yeni poliesterden 1890 lif döküldüğü gözlenmiştir.

Bir numune kumaş makası ile diğeri ultrasonik kesme makinesi ile kesilmiştir. Ultrasonik kesimli kumaştan toplam 890 adet, makaslı kesimli kumaştan ise 1927 adet lif döküldüğü bulunmuştur.

Fırçalama azaltılarak, kesme-dikme işleminde ultrasonlu kesim uygulanarak ve kumaşlardaki mikropartiküller daha üretim aşamasında uzaklaştırılarak, giysilerden mikroplastik dökölme riskinin azaltılacağı ön görölmüştür (Roos vd., 2017).

3. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

1950'li yıllardan bu yana birçok alanda kullanılmaya başlayan, dayanıklılığı, hafifliği ve işlenebilirliği gibi nedenlerle her geçen gün üretimi artan plastikler beraberinde artan çevre yükünü de getirmiştir. Özellikle plastik malzemelerin gerek zamanla çeşitli faktörler yardımıyla daha küçük parçalara ayrılması ve gerekse üretim kaynaklı mikro boyutta olmaları sebebiyle ortaya çıkan mikroplastikler, ekolojik açıdan önemli bir risk oluşturmaktadır. Mikroplastiklerin, suda ve karada yaşayan canlılar tarafından sindirildiği ve besin zincirine girerek toksik etkiler gösterdiği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Acharya vd, 2021)

Bu derlemede, sentetik liflerden oluşan tekstillerin yıkama işlemlerinde kullanılan değişken parametrelerinin lif salınımı ve mikroplastik kaynağı oluşturması hakkındaki literatürlere yer verilmiştir. Yıkama sıcaklığı, deterjan kullanımı, yumuşatıcı kullanımı, yıkama programının süresi ve su hacminin rolü, yıkama makinesinin çeşidi gibi parametrelerin mikrolif salınmasına etkisi incelenmiştir. Yıkama suyunun özelliklerinin değişken olduğu, ağartıcı madde, leke çıkarıcı gibi kimyasal etkilerin değerlendirildiği çalışmaların yetersiz olduğu, bu konularda daha fazla çalışma yapılmasına gerek olduğu görölmüştür.

İncelenen çalışmalardan; yıkama sıcaklığının artmasıyla mikrolif salınımının arttığı (Napper ve Thompson, 2016; Yang vd, 2019; De Falco vd, 2018a; Cocca vd., 2017; Zambrano vd. 2019), yıkama sırasında deterjan kullanımının mikrolif salınımını arttırdığı (Hernandez vd., 2017; Cocca vd.,2017; Cesa vd., 2019; De Falco vd, 2018a; Yang vd, 2019; Zambrano vd, 2019), üstten yüklemeli çamaşır makinelerinin önden yüklemeli çamaşır makinelerine göre daha fazla (Hartline vd, 2016), pulsatör tipi çamaşır makinelerinin merdaneli tip çamaşır makinesine göre daha fazla (Yang vd., 2019) mikrolif salınmasına neden olduğu, daha yüksek su hacminin mikrolif salınımını arttırdığı (Kelly vd., 2019) gibi genel sonuçlara varılabilmektedir. Yumuşatıcı kullanımının mikrolif salınımını azalttığı (De

Falco vd, 2018a; Cocca vd.,2017) yönünde bulgular olduğu gibi herhangi bir etkisinin olmadığını (Napper ve Thompson, 2016; Pirc vd., 2016) ifade eden çalışmalar da bulunmaktadır. Yıkama süresinin etkisi ile ilgili çalışmalardan genel bir sonuç çıkarılamamaktadır. Mikro lif salınımı için incelenen standart tekstil örneği olmaması, yıkama parametrelerinin değişkenliği, ölçüm tekniklerindeki farklılıklar nedeniyle çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması zor hale gelmektedir. Bu kapsamda, yıkanmış tekstil ürünlerinin özelliklerinin, mikrolif oluşumuna etkisinin tüm parametreler bazında incelendiği çalışmalar konusundaki literatür eksikliği hala devam etmektedir.

Yıkama sırasında çevreye salınan mikrolif miktarı büyük ölçüde lifin cinsi, uzunluğu, iplik cinsi, numarası, bükümü, kumaşın doku tipi, sıklığı, yeni ya da geri dönüştürülmüş liflerden olması, boncuklanmaya yatkınlığı, bitim işlemi gibi tekstil malzemesi ve ona uygulanan işlemlerin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Yıkamada kullanılan suyun sertliği, miktarı, pH'ı, sıcaklığı, yıkama devri, süresi, sayısı, programı, yıkama makinesinin tipi, yıkamanın endüstriyel veya evsel olması, kurutma devri, deterjan ve yumuşatıcı tipi gibi çeşitli yıkama koşulları da salınan mikroplastik miktarına etki etmektedir (Mermaids Consortium vd., 2017; Prata, 2018; Adner, 2018; Cai vd., 2020).

Sentetik liflerden üretilen tekstil ürünlerinin tüketici kullanımına sunulmadan önce, mikrolif dökülmesini azaltacak şekilde tasarlanması, üretim sırasında gevşek liflerin ortadan kaldırılması, ön yıkama ve vakumla çektirme yapılması (Almroth vd., 2018) gibi önlemler tüketici kullanımında ilk yıkamalarda salınması beklenen mikroplastiklerin miktarını azaltmada yardımcı olacaktır.

Bu konudaki mevcut literatürler incelendiğinde, tekstil ürünlerinden kaynaklanan mikro liflerin salınımını azaltmak için çeşitli çözüm olanakları arasında ev tipi çamaşır makinelerinde daha verimli filtrelerin kullanılması (Almroth vd., 2018), susuz çamaşır makinelerinin (Adner, 2018) ve ultrason yıkama teknolojilerinin kullanılması, (Cai vd., 2020) su yerine basınçlı karbondioksit ile yıkama (Adner, 2018) yapılmasının da etkili olduğu görülmüştür.

Mikroplastik kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik çalışmaların daha sistematik bir şekilde incelenmesi, gelecekteki çalışmalar için standartlaştırılmış protokollerin ve prosedürlerin oluşturulması son derece önemlidir. Bir tekstil ürününün yıkama işlemi sırasında suya bırakabileceği mikroplastik miktarının ölçülmesi ve değerlendirilmesine ilişkin bir düzenlemenin getirilmesi, açığa çıkan mikroplastik miktarının sınırlandırılmasına ilişkin zorunlulukların oluşturulması ve bu işlem adımlarına yardımcı olacak standartların veya yöntemlerin oluşturulması için kapsamlı bir çalışmanın yürütülmesi son derece önem taşımaktadır. Bu nedenle hammaddeden tedarik zincirine ve imha etmeye kadar olan her aşamada standart yöntemlerin belirlenmesi ve uygulanmasına en kısa sürede başlanması ve tüm paydaşların bu konuda bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Sürdürülebilir bir dünya için plastik malzeme kullanımı konusunda toplum bazında yeterince bilinç oluşturulması, üretici, tüketici ve tüm paydaşların gereken hassasiyeti göstermesinin ön koşul olduğu değerlendirilmektedir. Mümkün olduğunca iyi bir geri dönüşüm ve atık yönetimi yapılarak plastik kaynaklı çevre yükünün azaltılması ve bunların canlılar üzerindeki olumsuz etkilerinin düşürülmesi tüm tarafların birlikte yapacağı çalışma ve bilinçle gerçekleştirilebilecektir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Acharya, S., Rumi, S. S., Hu, Y., Abidi, N., 2021, Microfibers From Synthetic Textiles As A Major Source Of Microplastics In The Environment: A Review, Textile Research Journal, Vol. 91(17-18) 2136-2156, <https://doi.org/10.1177/0040517521991244>
- Adner, J., 2018, Management Of Microplastics In Apparel Value Chain – Design- And Production Process, M.S. Thesis, University of Borås, Sweeden.
- Almroth B. M. C., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., Persson, N. K., 2018, Quantifying Shedding Of Synthetic Fibers From Textiles; A Source Of Microplastics Released Into The Environment, Environmental Science and Pollution Research, 25(2), 1191-1199.
- Arı, M., Ögüt, S., 2021, Mikroplastikler ve Çevresel Etkiler, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 864-877.
- Arslan, R., 2018, Mikroplastikler: Hayatı Kuşatan Yeni Tehlike, Ayrıntı Dergisi, 6(66), 61-67.
- Belzagui, F., Crespi, M., Álvarez, A., Gutiérrez-Bouzán, C., Vilaseca, M., 2019, Microplastics' Emissions: Microfibers' Detachment From Textile Garments, Environmental Pollution, 248, 1028-1035.

- Boucher, J. and Friot D., 2017, Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources, ch.4, 20-24, Gland, Switzerland: IUCN.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011, Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks, *Environ. Sci. Technol.*, 45, 9175–9179.
- Cai, Y., Mitrano, D. M., Heuberger, M., Hufenus, R., Nowack, B., 2020, The Origin of Microplastic Fiber In Polyester Textiles: The Textile Production Process Matters, *Journal of Cleaner Production*, 267, 121970.
- Cesa, F. S., Turra, A., Baruque-Ramos, J., 2017, Synthetic Fibers As Microplastics In The Marine Environment: A Review From Textile Perspective With A Focus On Domestic Washings, *Science of The Total Environment*, 598, 1116-1129.
- Cesa, F. S., Turra, A., Checon, H. H., Leonardi, B., Baruque-Ramos, J., 2019, Laundering And Textile Parameters Influence Fibers Release In Household Washings, *Environmental Pollution*, 257, 113553.
- Cocca M., De Falco F., Gullo M. P. , Gentile G., Di Pace E., Gelabert L., Brouta-Agnésa M., Rovira A. , Escudero R. , Villalba R., Mossotti R., Montarsolo A. , Gavignano S., Tonin C. And Avella M., 2017, Microplastics From Synthetic Clothes: Environmental Impact And Mitigation Strategies, 15th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece
- Correia, J., Costa, PJP, Lopes, I., Duarte, A., Rocha-Santos, T., 2020, Environmental Exposure To Microplastics: An Overview On Possible Human Health Effects, *Science of The Total Environment*, 702, 2020, Article number: 134455
- Dalla Fontana, G., Mossotti, R., Montarsolo, A., 2020, Assessment Of Microplastics Release From Polyester Fabrics: The Impact Of Different Washing Conditions, *Environmental Pollution*, 264, 113960.
- De Falco, F., Pia Gullo, M., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., Brouta-Agnésa, M., Rovira, A., Escudero, R., Villalba, R., Mossotti, R., Montarsolo, A., Gavignano, S., Tonin, C., Avella, M., 2018a, Evaluation Of Microplastic Release Caused By Textile Washing Processes Of Synthetic Fabrics, *Environmental Pollution*, 236, 916-925.
- De Falco, F., Gentile, G., Di Pace, E., Avella, M., Cocca, M., 2018b, Quantification Of Microfibres Released During Washing Of Synthetic Clothes In Real Conditions And At Lab Scale, *The European Physical Journal Plus*, 133, Article number: 257.
- De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M., Avella, M., 2019, The Contribution Of Washing Processes Of Synthetic Clothes To Microplastic Pollution, *Scientific Reports*, 9, Article number: 6633.
- Ergen, O. G., 2017, Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahisi İçin Başvuran Hasta Profiline İncelenmesi: Özel ve Kamu Hastanelerinin Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye.
- Eyles, J.E., Bramwell, V.W., Williamson, E.D., Alpar. H.O., 2001, Microsphere Translocation And Immunopotential In Systemic Tissues Following Intranasal Administration. *Vaccine* 19, 4732-4742
- Fahrenfeld, N.L., Arbuckle-Keil, G., Naderi Beni, N., L.Bartelt-Hunt, S., 2019, Source Tracking Microplastics In The Freshwater Environment, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 112, 248-254.
- GESAMP Working Group 40, 2016, Sources, Fate And Effects Of Microplastics In The Marine Environment: Part Two Of A Global Assessment, (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/ UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), London, England: International Maritime Organization, GESAMP No. 93.
- Gündoğdu, S., Çevik, C., 2019, Plastikten Kurtul, Oltaya Gelme, Greenpeace Akdeniz, Türkiye, Rapor. Türkiye'deki Deniz Canlılarında Mikroplastik Kirliliği.
- Hartline, N. L., Bruce, N. J., Karba, S. N., Ruff, E. O., Holden, P. A., 2016, Microfiber Masses Recovered from Conventional Machine Washing of New or Aged Garments, *Environ. Sci. Technol.* 50, 11532–11538.
- Hernandez, E., Nowack, B., Mitrano, D. M., 2017, Polyester Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release During Washing, *Environmental Science&Technology*, 51, 7036–7046.
- Hoang, H. N., 2019, Washing Machine Microplastics, Bachelor's Thesis, Tampere University of Applied Sciences, Finland.
- Kelly, M. R., Lant, N. J., Kurr, M., Burgess, J. G., 2019, Importance of Water-Volume on the Release of Microplastic Fibers from Laundry, *Environ. Sci. Technol.* 53 (20), 11735-11744.
- Lant, N. J., Hayward, A. S., Pethhawadu, M. M. D., Sheridan, K. J., Dean, J. R., 2020, Microfiber Release From Real Soiled Consumer Laundry And The Impact Of Fabric Care Products And Washing Conditions, *PLoS ONE* 15(6): e0233332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233332>.
- Mermaids Consortium, Plastic Soup Foundation, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Polysistec, Leitai Technological Center, Ocean Clean Wash, 2017, Microfiber Release From Clothes After Washing: Hard Facts, Figures And Promising Solutions, Mermaids Consortium, European Community, Rep. Position Paper.
- Mishra, S., Rath, C. C., Das, A. P., 2019, Marine Microfiber Pollution: A Review On Present Status And Future Challenges, *Marine Pollution Bulletin*, 140, 188-197.
- Napper, I. E., 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.
- Pagev, 2019, Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu, Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı, Rapor: 2019, Türkiye.
- Paula, F.C., Nora, B., Ruth, G. C., Lorenzo, B., 2019, Textile Microplastics: A Critical Overview, AUTEX 2019 –19th World Textile Conference on Textiles at the Crossroads, Ghent, Belgium.
- Piñol, L., Rodriguez, L., Brouta, M., Escamilla, M., Escudero, R., 2015, Mitigation of microplastics impact caused by textile washing processes, Mermaids Ocean Clean Wash, Plastic Soup Foundation, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Polysistec, Leitai Technological Center, Ocean Clean Wash, European Community, Rep. LIFE13 ENV IT 1069.
- Pirc, U., Vidmar, M., Mozer, A., Kržan, A., 2016, Emissions Of Microplastic Fibers From Microfiber Fleece During Domestic Washing, *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 22206–22211.
- Prata, J. C., 2018, Microplastics In Wastewater: State Of The Knowledge On Sources, Fate And Solutions, *Marine Pollution Bulletin*, 129, 262-265.
- Rathinamoorthy, R., Balasaraswathi, S. R., 2021a, Investigations On The Impact Of Handwash And Laundry Softener On Microfiber Shedding From Polyester Textiles, *The Journal of The Textile Institute*, <https://doi.org/10.1080/00405000.2021.1929709>

- Rathinamoorthy, R., Balasaraswathi, 2021b, S. R., A Review Of The Current Status Of Microfiber Pollution Research In Textiles, International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 33 No. 3.
- Rhodes, C. J., 2019, Solving The Plastic Problem: From Cradle To Grave, To Reincarnation, Science Progress, 102 (3), 218–248.
- Roos S., Arturin O. L., Hanning A.-C., 2017, Microplastics shedding from polyester fabrics, ISBN: 978-91-88695-00-0, Mistra Future Fashion report number: 2017:1
- Schöpel, B., Stamminger, R., 2019, A Comprehensive Literature Study on Microfibres from Washing Machines, Tenside Surfactants Detergents, 56 (2), 94-104.
- Sillanpää, M., Sainio, P., 2017, Release Of Polyester And Cotton Fibers From Textiles In Machine Washings, Environmental Science and Pollution Research, 24 (23), 19313–19321.
- Tiseo, I., [2021, Jan 27]. Global Plastic Production 1950-2019 [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/#:~:text=In%202019%2C%20the%20global%20production,quarter%20of%20the%20global%20production>
- Yang, L., Qiao, F., Lei, K., Li, H., Kang, Y., Cui, S., An, L., 2019, Microfiber Release From Different Fabrics During Washing, Environmental Pollution, 249, 136-143.
- Zambrano, M.C., Pawlak, J.J., Daystar, J., Ankeny, M., Cheng, J. J., Venditti, R. A., 2019, Microfibers Generated From The Laundering Of Cotton, Rayon And Polyester Based Fabrics And Their Aquatic Biodegradation, Marine Pollution Bulletin, 142, 394-407.