**TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN YIKANMASINDAN KAYNAKLANAN MİKROPLASTİK SALINIMININ İNCELENMESİ**

**Emrah Bektaş1, Nesli Aydın2, Suna Özden Çelik3**

1 Namık Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ (e-posta: [emrahbkts07@gmail.com](mailto:emrahbkts07@gmail.com))

2 Namık Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ (Corresponding Author: e-posta: [naydin@nku.edu.tr](mailto:naydin@nku.edu.tr))

3 Namık Kemal Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ (e-posta: sunacelik[@nku.edu.tr](mailto:emrahbkts07@gmail.com))

**Özet:**

Mikroplastikler, günümüzde çok sayıda çevresel ortamda bulunmaları ve miktarlarının giderek artması dolayısıyla, kaynaklarının belirlenmesi ve oluşumlarının en aza düşürülmesi için iyi takip edilmesi gereken bileşenlerdendir. Tekstil sektöründeki rekabet ve hızlı tüketimin etkisiyle tekstil ürünlerinde gün geçtikçe daha fazla sentetik içerik kullanılmaya başlanmıştır. Bu şekilde tekstil ürünlerinden kaynaklanan mikroplastikler, mikroplastik kirliliğinde önemli artışa neden olmaktadır. Mikroplastiklerin çamaşır yıkama faaliyeti sonucunda doğaya salındığının tespit edilmesi ile beraber bu salınımın nasıl azaltılabileceği de araştırmacıların yoğunlaştığı konular içine girmiştir. Bu çalışmada, tekstil ürünlerinin yıkanmasından kaynaklanan mikroplastik deşarjının farklı şartlar altında değişimi, kaynak taraması yapılarak incelenmiştir. Sonuç olarak; (1) Bu deşarj miktarı, sıcaklık, yumuşatıcı kullanılması, deterjan çeşidi, çamaşır kompozisyonu, devir sayısı gibi birçok faktörden etkilenmektedir ve de, (2) Bu konuda yayınlanan araştırmalarda iki farklı yaklaşımın kullanıldığı görülmüştür. İlk yaklaşımda, yıkanan tekstil ürünlerinden çıkan atık su, elek kullanılarak filtrelenerek mikroskop altında incelenmektedir. İkinci yaklaşımda ise, mikroplastik salınımı, miktar, ağırlık ve boyut olarak istatistiksel yöntemler kullanılarak tahmin edilmektedir. Ancak görülmüştür ki, farklı yöntemlere dayanan bu araştırmalar arasındaki tutarlılık zayıftır. Ayrıca, bu araştırmalarda sonuçları ifade etmek için kullanılan birimlerin farklı olması, karşılaştırma yapılmasını zorlaştırmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Atık su, mikroplastik kirliliği, mikroplastik salınımı, tekstil sektörü

**Giriş**

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 (Yalman, 2019). Oysaki doğal yaşamı tehdit eden unsurların daha detaylı araştırılmaya başlanmasıyla, mikroplastiklerin sebep olduğu kirlilik son dönemde daha çok gündeme gelmeye başlamıştır.

Mikroplastikler oluşum şekline göre iki grupta değerlendirilir. Kozmetik sanayi, boya sanayi ve ilaç sektörü gibi çok çeşitli alanlarda kullanımı için mikroskobik boyutta üretilen plastik parçacıklar birincil mikroplastikler olarak adlandırılır. Bunun yanında karasal veya denizel ortamda bulunan büyük boyuttaki plastik atıkların zaman içerisinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin etkisi ile yapısal bütünlüğünün bozulmasına bağlı olarak parçalanması neticesinde ortaya çıkan mikroskobik boyuttaki plastik parçacıklar ikincil mikroplastiklerdir. Bununla birlikte, büyük plastik ürünler, ağırlıklı olarak UV-B ışınlarının tetiklediği dalga hareketi ve fotokimyasal süreçlerin neden olduğu mekanik aşınma sonucu parçalanır ve mikroplastikleri oluşturur (Çatalbaş, 2017). Mikroplastikler yoğunluklarının az olması sayesinde rüzgar ve su akıntıları ile uzun mesafeli alanlara ulaşabilmektedir. Plastiklerin ömür ve dayanıklılığının on binlerce yıl olduğu tahmin edilmektedir. Bu da plastik kirliliğinin önemli ölçüde artmasına sebep olmaktadır.

Genel olarak 5 milimetreden küçük plastik parçalar mikroplastik olarak tanımlanmaktadır. Çevrede rastlanan plastik parçalar, genellikle boyutlarına göre beş farklı kategoride değerlendirilir. Bunlar; 1nm-1mm arası olanları nano-plastik, 1mm-5 mm arası mikroplastik, 5–20 mm arası mezo-plastik, 20 mm-100 mm arası makro-plastik, 100 mm’ den büyük olanları ise mega-plastik olarak isimlendirilmektedir. Mikroplastikler, büyüklüklerine göre; küçük mikroplastikler (<1 mm) ve büyük mikroplastikler (2–5 mm) olmak üzere iki sınıfa ayrılarak incelenmektedir (Yurtsever, 2018).

Dünya genelinde, mikroplastik kirliliğinin ele alındığı çalışmalarda mikroplastiklerin, çamaşır makinelerinden ve atıksu arıtma tesislerinden deşarj edilerek, tatlı ve tuzlu sularda biriktiği tespit edilmiştir (Ji vd., 2021; Pittura vd., 2021). Buna paralel olarak, Türkiye’de, mikroplastikler ile ilgili çalışmalar, çoğunlukla bu partiküllerin su kaynaklarında birikimini incelemektedir (Altuğ, 2020; Aydın, 2020)

Mikroplastiklerin iki farklı yoldan çevreye salındığı bilinmektedir. Bunlardan ilki, büyük plastiklerin zaman içinde parçalanması ile olurken, diğeri, çamaşır makinelerinden atılan atık sudaki mikroplastiklerin doğaya karışması şeklinde olmaktadır (Browne vd., 2011). Çamaşır yıkama faaliyeti ile oluşan mikroplastik salınımı, kumaşların yıkama işlemi esnasında mekanik ve kimyasal gerilime maruz kalmasından ileri gelir. Boyutları nedeniyle yakalanamayan mikroplastiklerin çoğu, atık su arıtma tesisleri tarafından filtrelenemez ve böylece su ortamlarına ulaşır (Alvim vd., 2020).

Atıksu arıtma tesislerinde yapılan çalışmalarda mikroplastiklerin, filtrelenemeyecek kadar küçük olduklarından sucul ortama ve suda yaşayan canlılara zarar verdikleri belirlenmiştir. Atık sularda mikroplastik kirliliğini önlemede, kanalizasyona gelen mikroplastik kirliliğinin kaynağında azaltımının sağlanmasının, yararlı bir kirlilik önleme yöntemi olacağı kesindir. Ayrıca mevcut atık su arıtma tesislerinin ileri arıtım, örneğin membran sistemleri, eklenerek iyileştirilmesi mümkün gözükmektedir (Sarıoğlu ve Koç, 2017). Atık su arıtma tesislerinde kullanılan teknoloji henüz mikro boyuttaki parçacıkları tutabilecek kapasiteye ulaşmış durumda değildir. Bu sebeple arıtıldığını düşündüğümüz atık su içerisindeki birçok mikro parçacık arıtılamadan 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). Deniz ve tatlı su ekosistemlerinde bulunan plastik parçalarının küçük deniz canlıları yardımı sonucunda küçük partiküller oluşturduğu bilinmektedir. Kalıcı özelliklerinden dolayı mikroplastiklerin, su ortamında akıntılar ve hidrodinamik süreçler ile büyük çaplı alanlara yayılması mümkündür. Yoğunluğu yüksek olan parçacıklar, çökelip tortu oluştururken, düşük yoğunluklu parçacıklar ise su yüzeyinde yayılmaktadır. Mikrometre boyutlu plastik partiküller, balık, solucan, deniz kuşları, kabuklular, midye gibi deniz canlıları tarafından yutulur. Mikroplastiklerin yutulması canlıların yaşamsal işlevlerine ciddi zarar verebilmektedir (Kadızade, 2019).

Mikroplastik polietilen granüller, bir süredir 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 mikroplastik 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 mikroplastik tespiti ile ilgili yapılan çalışmada, 1322 balık örneğinin mide ve bağırsakları incelenmiş, lifler (%70) ve sert plastiklerden (%20.8) ibaret olmak üzere 1622 mikroplastik parçacığı tespit edilmiştir (Güven vd., 2017).

Evsel veya endüstriyel atık su arıtma tesislerinde arıtılmış suyun, içme suyu kaynaklarına yakın bir alana deşarj edilmesi, büyük miktarlarda mikroplastik parçacığının içme suyuna geçmesine neden olmaktadır (Carr vd., 2016). Bu, günde 50000 ile 15 milyon mikroplastik parçacığının içme suyuna karışması anlamına gelmektedir (Mason vd., 2016).

Bu çalışmada, tekstil ürünlerinin yıkanmasıyla atık suya karışan mikroplastik miktarının, sıcaklık, yumuşatıcı kullanılması, deterjan çeşidi, çamaşır kompozisyonu, devir sayısı gibi birçok faktörden etkilendiğini ortaya koyan araştırmalar ele alınmıştır. Mikroplastik salınımının elyaf türüne göre değişimi incelenmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan yöntemler karşılaştırılarak, mikroplastik kirliliğinin azaltılmasına yönelik çözüm önerileri tartışılmıştır.

**Yöntem**

Bu çalışmanın yöntemi kaynak taramasıdır. Kaynak taraması yapılırken ele alınan konu başlıkları ise şu şekildedir:

A. Mikroplastik salınım miktarını etkileyen faktörler nelerdir?

B. Mikroplastik salınım miktarını tespit eden araştırmacılar en çok hangi yöntemlere başvurmaktadır?

C. Atık su arıtma tesis veriminin yüksek olması mikroplastik salınımının önüne geçer mi?

D. Çamaşır makinelerinin atık su çıkışına filtre takılması mikroplastik miktarını etkiler mi?

**Bulgular ve Tartışma**

Sonuç olarak tekstil ürünlerinin yıkanması sonucunda atıksuya karışan mikroplastiklerin miktar ve dağılımlarını inceleyen çalışmaların, özellikle 2020 yılından itibaren hızla arttığı görülmektedir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

*A. Mikroplastik salınım miktarını etkileyen faktörler nelerdir?*

Bu salınım, sıcaklık, yumuşatıcı kullanılması, deterjan çeşidi, çamaşır kompozisyonu, devir sayısı gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Özellikle çamaşır kompozisyonuna bağlı olarak farklı elyaf türlerinin yıkanması bu salınımın miktarını değiştirmektedir. Tablo 1, farklı kumaşların yıkanması ile deşarj edilen mikroplastiklerin alt ve üst değerlerini göstermektedir. Tablo 1’de verilen araştırmalarda görülmektedir ki, mikroplastik salınımı değer aralığı, farklı elyaf türlerine göre önemli şekilde değişmektedir.

**Tablo 1:** Elyaf türlerine göre mikroplastik salınımı

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Elyaf Türü** | **Mikroplastik salınımı**  **(adet)** | **Kaynak** |
| **Pamuk** | 137.951 – 18.000.000 | Napper ve Thompson (2016); Galvao vd. (2020) |
| **Polyester** | 135.600 - 18.000.000 | Pirc vd. (2016); Galvao vd. (2020) |
| **Elastan** | 1.000.000 - 18.000.000 | Belzagui vd. (2019); Galvao vd. (2020) |
| **Akrilik** | 728.789 - 18.000.000 | Napper ve Thompson (2016); Galvao vd. (2020) |

*B. Mikroplastik salınım miktarını tespit eden araştırmacılar en çok hangi yöntemlere başvurmaktadır?*

Bu konuda yayınlanan araştırmalarda iki farklı yaklaşımın kullanıldığı görülmüştür. İlk yaklaşımda, yıkanan tekstil ürünlerinden çıkan atık su, elek kullanılarak filtrelenerek mikroskop altında incelenmektedir. İkinci yaklaşımda ise, mikroplastik salınımı, miktar, ağırlık ve boyut olarak istatistiksel yöntemler kullanılarak tahmin edilmektedir. Ancak görülmüştür ki, farklı yöntemlere dayanan bu araştırmalar arasındaki tutarlılık zayıftır. Ayrıca, bu araştırmalarda sonuçları ifade etmek için kullanılan birimlerin farklı olması, karşılaştırma yapılmasını zorlaştırmaktadır.

*C. Atık su arıtma tesis veriminin yüksek olması mikroplastik salınımının önüne geçer mi?*

Atık su arıtma tesislerinde verimliğin yüksek olması durumunda dahi mikroplastiklerin su kaynaklarına sızma riskinin bulunduğunu tespit eden çok sayıda yayınlanmış çalışma bulunmaktadır. Bu durum mikroplastik kirliliğinin önemini ortaya koymaktadır.

*D. Çamaşır makinelerinin atık su çıkışına filtre takılması mikroplastik miktarını etkiler mi?*

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. Oysaki 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.

**Teşekkür**

Bu çalışma, Emrah Bektaş’ın, Namık Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yürütülen yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Tez çalışmasında, Nesli Aydın danışman, Suna Özden Çelik ikinci danışman olarak yer almaktadır.

**Kaynaklar**

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

Aydın, E. (2020). Yüzey sularında mikroplastik kirliliğinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri

Belzagui, F., Crespi, M., Alvarez, A., Gutierrez-Bouzan, C. ve Vilasecaa, M. (2019). Microplastics' emissions: Microfibers' detachment from textile garments. Environmental Pollution 248:1028-1035. doi: 10.1016/j.envpol.2019.02.059

Bilim Odağı. (2020). Microplastics: Laundry filters ‘dramatically’ reduce fibres By Sara Rigby. Online: https://www.sciencefocus.com/news/microplastics-laundry-filters-dramatically-reduce-fibres/

Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. ve Thompson, R. (2011). Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: 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, vol. 91, pp. 174-182, 2016

Çatalbaş, F. (2017). Tuz Gölü tuzlarında mikroplastik varlığının incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi) Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya

Defra. İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı. 2019. Investigation of Sources and Pathways of Microplastic Pollution into the Marine Environment - ME5435. Online: 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 mikro-granüllerden daha fazla tehdit etmektedir. http://dosder.org.tr/mikroplastik-iplikler-sucul-yasami-tehdit-ediyor/.

Esmeray, E. ve Armutlu C. (2020). Mikroplastikler, çevre-insan sağlığı üzerine etkileri ve analiz yöntemleri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 839-868

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

Güven, O., Gökdag, K., Jovanovic, B. ve Kõdeys, 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, vol. 223, pp. 286-294

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 Part: A, 124132. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124132

Kadızade, G. (2019). Mikroplastikler üzerine ağır metal adsorpsiyonu araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi) Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya

Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimoz, D. ve Rogers, D. L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. Environmental Pollution. 1045-1054

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, 39–45

Napper, I.E., Barrett, A.C. and Thompson, R.C. 2020, “The efficiency of devices intended to reduce microfibre release during clothes washing” Science of the Total Environment 738:140412

Pirc, U., Vidmar, M., Mozer, A. ve Kržan, A. (2016). Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing. Environ Sci Pollut Res. 23:22206–22211.

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

Sarıoğlu, M. ve Koç, C. (2017). Mikroplastiklerin sucul ortamdaki etkileri. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu. 12-15 Eylül 2017. Syf: 148. http://susemp2017.sinop.edu.tr/images/Bildiri\_Ozet\_Kitabi.pdf

Van Cauwenberghe, L. ve Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. Environmental Pollution, 193, 65-70. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749114002425?via%3Dihub>

Yalman, N, (2019). Plastik Geri Dönüşüm Sektöründe Kullanılan Makinelerde Karşılaşılan Risklerin İncelenmesi (Yükseklisans Tezi), İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Ensitütüsü, İstanbul

Yurtsever, M. (2018). Küresel plastik kirliliği, nanomikroplastik tehlikesi ve sürdürülebilirlik. http://mevci.sakarya.edu.tr/sites/mevci.sakarya.edu.tr/file/MYurtseverKuresel Plastik Kirlilgi NMP Tehlikesi ve Surdurulebilirlik.pdf