

Occurrence and Spatial Distribution of Microplastics in Coastal Lagoon Sediments: The Case from Küçükçekmece Lagoon

Şevval İŞLEK, Zeynep BOSTAN, Ecem GÜNEY, Vildan Zülal SÖNMEZ*

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, Istanbul, TÜRKİYE.

ORCID ID: Şevval İŞLEK: <https://orcid.org/0000-0002-4472-1470>; Zeynep BOSTAN: <https://orcid.org/0000-0002-3310-053X>; Ecem GÜNEY: <https://orcid.org/0000-0001-7683-3007>; Vildan Zülal SÖNMEZ: <https://orcid.org/0000-0002-7488-2996>

Received: 22.12.2022

Accepted: 30.01.2023

Published online: 07.03.2023

Issue published: 30.06.2023

Abstract: Rivers, estuaries, and lagoons provide a link between terrestrial and marine ecosystems; however, they reveal a comprehensive profile of microplastic pollution in the sediment structures just like other pollutants. This study aims to determine the microplastic abundance and characterization in the sediment samples of three different aquatic areas (sea, channel, and lake) of Küçükçekmece Lagoon. In this context, 12 month-sediment samples (March 2019 – February 2020) were taken from 5 stations in the lagoon. Microplastic (MP) abundance and physical characterization (size, type, and color) of the microplastics in the sediment samples were performed via stereomicroscope. The mean MP abundance was determined as 2922.32 ± 517.35 MP/kg and the mean MP abundance value was found to be 2.4 times higher than the ones found in the previous studies in Türkiye. It was determined that the fibers (59%) were the dominant MP type, the dominant MP color was black (42%), and 50% of the MP sizes were between 1-100 μ m. When the seasonal MP distribution is examined, it was determined that the highest abundance values are in the rainy winter season. The L1 station, which has the highest average MP abundance in the study area, represents the Küçükçekmece Lagoon Connection Area and emerges as the station where all the anthropogenic pressures in the lagoon are felt. This study aims to provide representative data on MP abundance and distribution for similar sediment areas in other parts of the world.

Keywords: Micropollutant, plastic, size, fiber, coastal area.

Kıyı Lagün Sedimentlerinde Mikroplastiklerin Oluşumları ve Mekansal Dağılımları: Küçükçekmece Lagünü Örneği

Öz: Nehir, haliç ve lagünler, karasal ve deniz ekosistemleri arasında bağlantıyı sağlarken, tıpkı diğer kirleticilerde olduğu gibi sediment yapılarında da mikroplastik kirliliği hakkında kapsamlı bir profil ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, Küçükçekmece Lagünü'nün üç farklı sucul alanından (deniz, kanal ve göl) alınan sediment örneklerinde mikroplastik bolluğu ve karakterizasyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, lagünde belirlenen 5 istasyondan 12 aylık (Mart 2019 – Şubat 2020) sediment örnekleri alınmıştır. Mikroplastik ön işlemlerine tabi tutulan sediment örneklerinde, stereomikroskop ile mikroplastik bolluğu sayımı ve kategorizasyonu (boyut, tip ve renk) yapılmıştır. Ortalama mikroplastik bolluğu $2922,32 \pm 517,35$ MP/kg olarak belirlenmiş olup, tespit edilen ortalama mikroplastik bolluğu değeri, ülkemizde daha önce yapılmış benzer çalışmalara kıyasla 2,4 kat daha yüksek bulunmuştur. Liflerin (%59) baskın mikroplastik tipi olduğu, baskın mikroplastik renginin siyah (%42) olduğu ve MP boyutlarının %50'sinin 1-100 μ m arasında olduğu belirlenmiştir. Mevsimsel mikroplastik dağılımı irdelendiğinde ise, en yüksek bolluk değerlerinin yağışlı sezon olan kış aylarında olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanında en yüksek ortalama mikroplastik bolluğuna sahip L1 istasyonu, Küçükçekmece Lagünü Bağlantı Alanı temsil etmekte olup, lagündeki tüm antropojenik baskıların hissedildiği istasyon olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma, dünyanın diğer bölgelerindeki benzer sediment alanları için mikroplastik bolluğu ve dağılımı hakkında temsili veriler sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Mikrokirletici, plastik, boyut, lif, kıyısız alan.

1. Giriş

Sucul ekosistemler, mikroplastik kirliliğinden en çok etkilenen ekosistemlerin başında gelmektedir. Bunun en büyük sebebi, mikroplastiklerin (MP) ana kaynağı olarak gösterilen sucul alanlara yapılan evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları, katı atık bertaraf alanlarından gelen sızıntı suları ve su ürünleri faaliyetleridir (GESAMP, 2016; Sevrandi Dharmadasa et al., 2021). Aslında, bozunmaya dayanıklı polimer kimyasal yapıya sahip olan MP'lerin büyük bir kısmı atıksu arıtma tesislerinde giderilmektedir (Bozdaş et al., 2020). Ancak atıksu artıma tesislerinden kaçan MP'ler ulaştığı sucul alanlarda birikim yapmaktadır. Sucul alanlara ulaşan MP'lerin birçoğu ise, yoğunlukları nedeniyle su yüzeyinde kalma eğilimi göstermektedir. Farklı polimer yapıları (PVC vb.) zaman

içerisinde MP'lerin yoğunluğunu değiştirecek seviyede kirleticileri adsorplaması veya yüzeyinde oluşan biyofilm tabakaları nedeniyle batma eğilimi de gösterebilirler. Bu süreçlerden geçen sudaki MP'lerin yaklaşık %70 ila %90 oranında sediment profili boyunca birikmesi beklenebilir (Uddin et al., 2021).

Nehir, haliç ve lagünler, karasal ve deniz sistemleri arasındaki temel etkileşim araçları olarak, deniz ortamdaki plastik birikimi için ana kanallardır (Chico-Ortiz et al., 2020). Sediment örnekleri tıpkı diğer kirleticilerde olduğu gibi alanın MP kirlilik profili hakkında bilgi verebilmektedir (Andrady, 2017). Sediment ve su profilleri sürekli etkileşim halinde olduğundan, sedimentlerde birikim yapan MP'ler, antropojenik etkiler ve fiziksel su hareketleri ile birlikte zamansal ve mekansal

olarak farklılıklar göstererek taşınma uğramaktadır (Renzi et al., 2020; Quesadas-Rojas et al., 2021). Lagün sedimentlerindeki MP bolluğu ve karakterizasyonu üzerine son yıllarda yapılmış çalışmalarda, ortalama 1957.37 ± 4079.96 MP/kg (Sarı Erkan et al., 2021a), 63.8 ± 30.9 MP/kg (Wakkaf et al., 2021), 328 MP/kg (Quesadas-Rojas et al., 2021), 130.55 ± 65.61 MP/kg (Jaouani et al., 2022) gibi farklı bolluk miktarları tespit edilmiştir.

Küçükçekmece Lagünü, İstanbul'un güneybatı kıyısında yer almakta olup, tatlı-tuzlu su bağlantısı ile acı su formu oluşturan geçişli bir su olma özelliği taşımaktadır. Bu bağlantı nedeniyle, Küçükçekmece Gölü sürekli deniz suyu girişi ile dinamik bir yapıya sahip olmaktadır (Çullu et al., 2021). Sucul alan, göl (tatlı su), bağlantı alanı (acı su) ve denizel alan (tuzlu su) olmak üzere üç farklı ekosistemin etkisi altında olup, ekoton bölge özelliğine sahiptir (Bağcı & Bahadır, 2018). Lagünün oldukça derin olması (lagünün orta bölgesinde derinlik 18 metreye kadar ulaşmaktadır) ve yönlenmesinin kıyıya dik şekilde olması nedeniyle tipik kıyı lagünlerinden ayrılır ve zayıf bağlantılı bir lagün özelliğine sahiptir (Şenduran, 2007; Köker et al., 2021). Küçükçekmece Lagünü'nde nanogelgit görünmekte olup; taşınım yüksek oranda rüzgâr etkisi ve hidrodinamik olaylarla gerçekleşmektedir.

Kendine has ekosistemi olan Küçükçekmece Lagünü'nde MP kirliliği hakkında sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır (Çullu et al., 2021; Sarı Erkan et al., 2021a; Sarı Erkan et al., 2021b). Çalışmadaki (Sarı Erkan et al., 2021a) istasyonlardan biri olan Küçükçekmece istasyonunda sediment matrisindeki (31.5 m derinlik) MP bolluğu 300 MP/kg olarak bulunmuştur. MP'lerin büyük çoğunluğunu 0.3-1 mm boyutu oluştururken, tespit edilen MP'lerin %50'si mavi renkli partiküllerden oluşturmaktadır (Sarı Erkan et al., 2021a). Bu çalışmada, Küçükçekmece Lagünü'nün üç farklı sucul alanının (deniz, kanal ve göl) kıyasal alan sedimentindeki MP bolluğu ve karakterizasyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Küçükçekmece Lagünü'nde seçilen 5 kıyasal alan istasyonunun (D1, D2, D3, L1, G1) her birinden rastgele seçilen beş farklı bölgeden, sedimentin yaklaşık 2-3 cm'lik üst tabakasından paslanmaz çelik bir kürek kullanılarak yaklaşık 200 g sediment numuneleri toplanmıştır (Jiang et al., 2019; Sönmez et al., 2022). Çalışma alanında birbirinden farklı üç alan olduğu görülmektedir. Bunlar: *i*) deniz suyu (D1-D2-D3), *ii*) acı su (L1) ve *iii*) göl suyu (G1) karakterli bölgelerdir. Çalışma alanı ve istasyonları Şekil 1'de sunulmuştur. Alana ait su geçişleri, rotalar ve göl-deniz suyu karışımları ile ilgili detaylı incelemelerde; D1 numaralı istasyonun yağışlı dönemler dışında, doğu batı yönlü akıntı oluşturmadığı gözlenmektedir. Aynı zamanda bu istasyon, Büyükşehir Belediyesi Parkı'nın önündeki alandır. Batı yönünde İSKİ Küçükçekmece Atıksu Ön Arıtma Tesisi bulunmaktadır. D2 numaralı istasyonun kanal çıkışı olarak direkt etkilenen istasyon olduğu görülmektedir. D3 numaralı istasyon birikim oluşturan alanın doğu yönünde kalan ve akıntı yönü nedeniyle olası kirlilikten nispeten daha az etkilenen istasyondur. L1 numaralı istasyon kanal suyunu temsil ettiğinden, kanal içerisindeki tüm antropojenik etkilerin

görülebileceği istasyondur. Batı hattını takip eden göl suyu, birikim oluşturduğu alandan D2 numaralı istasyon çıkışından da denize karışabilmektedir. G1 numaralı istasyon E-5 anayol hattına çok yakın olup, göl karakterini taşımaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı [Çullu et al., (2021)'den uyarlanmıştır]

Figure 1. Study area [Adapted from Çullu et al., (2021)]

Lagünde belirlenen 5 istasyondan 12 aylık (Mart 2019 - Şubat 2020) sediment örnekleri alınmıştır. Mikroplastik ayrıştırma ön işlemlerine tabi tutulan sediment örneklerinde MP bolluğu, stereomikroskop ile sayım yapılarak belirlenmiştir. Ayrıca, MP'ler tip (parçacık, lif, film vb.), boyut (1000, 500, 250, 100 ve 1 μ m) ve renk (siyah, seffaf, mavi, kırmızı ve diğ.) olarak kategorize edilmiştir.

2.2. Mikroplastiklerin İzolasyonu

Mikroplastiklerin su ve sediment ortamlarından izole edilmesi ve tanımlanması için standart bir metot yoktur. Ancak yapılmış çalışmalar ve geliştirilmiş olan prosedürlerden yararlanılarak, araştırmacılar tarafından kabul gören yöntemlerden yararlanılmıştır (Sönmez et al., 2022). Buna göre, sediment numunelerine sırasıyla *i*) boyut analizi, *ii*) yoğunluk ayırma, *iii*) organik madde oksidasyonu *iv*) filtreleme ve *v*) stereomikroskopta görsel tanımlama işlemleri yapılmıştır.

Boyut analizi için 100 gram sediment numunesine, 1000-500-250-100 ve 1 μ m gözenek çaplarına sahip paslanmaz çelik elek setlerinden eleme işlemi yapılmıştır. Her paslanmaz çelik eleğin altında kalan numune, sodyum klorür (NaCl) ile yoğunluk ayırma işlemine tabi tutulmuştur. NaCl çözeltisi (yoğunluk 1.13 g cm^{-3}) ile birlikte numuneler, 1 L'lik beherlere konulmuş ve 5 dakika hızlı karıştırma yapılmıştır (Galgani et al., 2013; Toumi et al., 2019). Tüm gece boyunca bekletilen numunedeki asılı parçacıklar içeren üst katman sifonlama yöntemi ile alınmıştır. NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi-National Oceanic and Atmospheric Administration)

prosedürlerini takiben, yaklaşık 100 ml hacmindeki sulu çözeltideki organik maddeyi okside etmek için ıslak oksidasyon yapılmıştır (Masura et al., 2015; Quesadas-Rojas et al., 2021). Islak oksidasyon için 50°C'de 30 dakika boyunca hidrojen peroksit (H₂O₂; v/v: %35) ile muamele edilmiştir. Mikroplastik tanımlama esas olarak görsel incelemeye dayandığı için, çözelti GF/C (Whatman, 1.2 µm) filtre kağıdından süzülmüştür (Gao et al., 2021).

50°C'de etüvde kurutulan filtre kağıtları, stereomikroskop altında 4x10 ve 10x10 büyütme gücünde incelenmiştir. Sonuçlar, sedimentte kuru ağırlık başına MP sayısı (MP/kg) olarak rapor edilmiştir. Mikroplastikler şekillerine göre parçacık (EN: fragment), lif (EN: fiber), film (EN: film) ve mikroboncuklar (EN: bead) olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Ayrıca, şeffaf, siyah, kırmızı, mavi ve diğerleri olmak üzere MP'ler renklerine göre de kategorize edilmiştir.

2.3. Mikroplastik Analizleri için Kalite Kontrol

Mikroplastik çalışmalarda olası kontaminasyonların önlenmesi önem arz etmektedir. Özellikle kıyafet kaynaklı lifler, laboratuvar malzemelerindeki mikro taneli parçacıklar gibi olası kontaminant varlıkları analizde

hatalı sonuçların elde edilmesine sebep olmaktadır (Prata et al., 2021; Sönmez et al., 2023). Analiz sırasında numunelerin laboratuvar içi kontaminasyonunu önlemek adına, pamuklu olmayan giysilerden kaçınılmıştır. Tüm MP tayinleri sırasında pamuklu giysiler ve pamuklu laboratuvar önlükleri kullanılmıştır. Laboratuvar materyalleri kullanımdan önce iki kez distile su ile yıkanmış ve durulanmıştır. Laboratuvarda plastik malzeme kullanımından olabildiğince kaçınılmıştır. Filtreler kullanımdan önce mikroskop altında analiz edilip, MP kontaminasyonu olmadığına emin olunduktan sonra işlem yapılmıştır. Ortamdaki kontaminasyonu en aza indirmek için, beherler mümkün olduğunca bir alüminyum folyo ile kaplanmıştır (Sönmez et al., 2022).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mikroplastiklerin Bolluk Dağılımları

Çalışma alanı incelendiğinde, tüm istasyonlarda ortalama MP bolluğu 2922.32±517.35 MP/kg olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). Alandaki MP bolluğu 11600 MP/kg (Haziran 2019) ile 520 MP/kg (Ağustos 2019) arasında değişiklik göstermektedir.

Tablo 1. Konum ve zamana bağlı olarak MP bolluğunun dağılımları (MP/kg)

Table 1. Distribution of abundance of MP in relation to location and time (MP/kg)

Aylar	İstasyonlar				
	D1	D2	D3	L1	G1
Mart 2019	2090	1480	1010	2890	1900
Nisan 2019	1590	2020	890	1760	790
Mayıs 2019	2380	1035	4895	6890	4902
Haziran 2019	700	11600	1220	2820	2092
Temmuz 2019	3400	2620	3808	2908	1700
Ağustos 2019	2690	520	2140	1045	720
Eylül 2019	4464	2220	3800	4400	4200
Ekim 2019	620	890	704	1232	2870
Kasım 2019	1050	870	1524	3366	1596
Aralık 2019	1170	1550	2690	4170	3190
Ocak 2020	5664	4290	3894	4530	3810
Şubat 2020	7470	3000	3400	9800	6400
Ort. (Değer±SS)	2774.00±2135.64	2674.58±3007.67	2497.92±1436.05	3817.58±2480.71	2847.50±1727.47

Literatürde farklı ülkelerde ve Türkiye'de sediment ortamlarında yapılmış olan MP kirliliğine ait çalışmalar Tablo 2'de verilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalardan elde edilen MP bolluğu verilerine göre, bu çalışmadan elde edilen sonuçların ortalamasının 1.3 kat üstünde olduğu görülmektedir. Çin (Qiu et al., 2015), Tunus (Abidli et al., 2017) ve İspanya (Edo et al., 2020) gibi ülkelerde yapılmış çalışmaların sonuçlarına göre ise, Türkiye'deki sucul alanlara kıyasla bu ülkelerin MP kirliliği açısından daha yoğun bölgeler olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, Türkiye kıyısı alanlarının sediment ortamlarında tespit edilen MP bolluğunun yaklaşık 2.4 katı olarak bulunmuştur.

İstasyonlara bağlı olarak MP bolluklarının dağılımları incelendiğinde, çalışma alanında en yüksek ortalama MP bolluğu L1 istasyonunda tespit edilmiş olup, bu değer 3817.58 ± 2480.71 MP/kg olarak bulunmuştur (Şekil 2). L1 numaralı istasyon kanal suyunu (Küçükçekmece Lagünü Bağlantı Alanı) temsil etmekte

olup, lagündeki tüm antropojenik baskıların hissedildiği istasyondur. Akıntı sistemi sayesinde, Küçükçekmece Gölü'ndeki kirleticiler dar bağlantı alanı sayesinde Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır. Alanda aynı zamanda balıkçı tekneleri dahil olmak üzere, hobi/ticari amaçla kullanılan teknelerin konuşlanma noktaları olup, tekne kiralama, bakım-onarım faaliyetleri sürdürülmektedir (Çullu et al., 2021). Vianello et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada lagünlerdeki MP kirliliğinin en temel kaynakları arasında balıkçılıkta kullanılan ağlar, endüstriyel ve evsel deşarjlar olduğu belirtilmiştir. Kıyı şeridinin farklı noktalarından gelen yasadışı atıksu deşarjlarına rastlamak da mümkündür. En düşük MP bolluğu D3 istasyonunda ortalama 2497,92±1436,05 MP/kg değeri olarak bulunmuştur. D3 numaralı istasyon, birikim oluşturan alanın doğu yönünde kalan ve akıntı yönü nedeniyle olası kirlilikten nispeten daha az etkilenen istasyon olarak karşılaşılmaktadır.

Tablo 2. Literatürde farklı ülkelerde yapılmış çalışmalardan elde edilen sedimentteki MP bolluğu verileri (Bu tablo, Yabanlı et al., 2019; Doğruyol et al., 2019; Edo et al., 2020; Baysal et al., 2020; Yaranal et al., 2021; Erkan et al., 2021; Belivermiş et al., 2021'den derlenmiştir.)

Table 2. MP abundance data in sediment from studies in various countries in the literature (This table was adapted by Wildli et al., 2019; Doğruyol et al., 2019; Edo et al., 2020; Baysal et al., 2020; Yaranal et al., 2021; Erkan et al., 2021; Compiled from Belivermiş et al., 2021.)

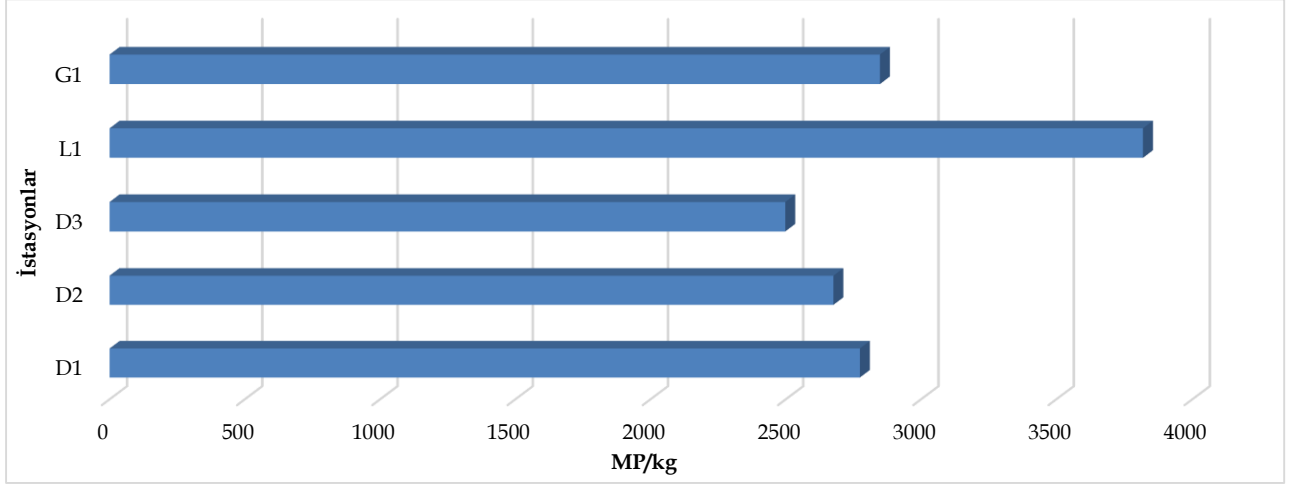
ÜLKE	MP BOLLUĞU (MP/kg)	KAYNAK
Chennai, Hindistan	309 ± 184	(Sathish et al., 2019)
Mumbai, Hindistan	220 ± 50	(Tiwari et al., 2019)
Tuticorin, Hindistan	181 ± 60	(Tiwari et al., 2019)
Dhanushkodi, Hindistan	45 ± 12	(Tiwari et al., 2019)
Puducherry, Hindistan	720 ± 191	(Dowarah & Devipriya, 2019)
Andaman, Hindistan	414.35 ± 87.4	(Patchaiyappan et al., 2020)
İtalya	672-2175	(Vianello et al., 2013)
Hollanda ve İtalya	72 ± 24- 1512 ± 187	(Lots et al., 2017)
Hollanda	200-1500	(Besley et al., 2017)
Bijianshan, Çin	102.9 ± 39.9	(Yu et al., 2016)
Xingcheng, Çin	163.3 ± 37.7	(Yu et al., 2016)
Dongdaihe, Çin	117.5 ± 23.4	(Yu et al., 2016)
Çin	5020-8720	(Qiu et al., 2015)
Tunus	3000-18000	(Abidli et al., 2017)
Dakshina kannada ve Udupi, Karnataka, Hindistan	664 ± 114	(Yaranal et al., 2021)
Trieste Körfezi, Slovenya	133.3	(Laglbauer et al., 2014)
Baja California Yarımadası, Meksika	135 ± 92	(Piñon-Colin et al., 2018)
Karayipler Kumsalları	261 ± 6	(Bosker et al., 2018)
Portuguese Sahili, Portekiz	454 ± 1908	(Antunes et al., 2018)
Quero, İspanya	24400 ± 5200	(Edo et al., 2020)
Villacañas, İspanya	14200 ± 3500	(Edo et al., 2020)
Lillo, İspanya	2000 ± 800	(Edo et al., 2020)
Akdeniz	291 ± 62	(Lots et al., 2017)
Türkiye	1154.4 ± 700.3	(Yabanlı et al., 2019)
İzmir, Türkiye	248 ± 47	(Lots et al., 2017)
İstanbul, Türkiye	1957.37 ± 4079.96	(Erkan et al., 2021)
Haliç, Türkiye	733 ± 3000	(Belivermiş et al., 2021)
İstanbul, Türkiye	13-5100	(Baysal et al., 2020)
Haliç, Türkiye	566	(Doğruyol et al., 2019)
Ovabükü, Türkiye	593.3 ± 283.0	(Yabanlı et al., 2019)
Surf Kamp, Türkiye	1327.5 ± 422.4	(Yabanlı et al., 2019)
Aktur, Türkiye	2073.3 ± 648.6	(Yabanlı et al., 2019)
Kurucabük, Türkiye	623.3 ± 144.3	(Yabanlı et al., 2019)
Küçükçekmece Lagünü, Türkiye	2922.32±517.35	Bu çalışma

İstasyon ayrımı gözetmeksizin zamana bağlı olarak yapılan değerlendirmede en yüksek MP bolluğu 6015 MP/kg (Şubat 2020), en düşük MP bolluğu ise, 1265 MP/kg (Ekim 2019) olarak tespit edilmiştir (Şekil 3). Çalışma alanındaki MP bolluğu mevsimlere bağlı olarak, ilkbahar mevsiminde 7309 MP/kg, yaz mevsiminde 7997 MP/kg, sonbahar mevsiminde 6765 MP/kg ve kış mevsiminde 13007 MP/kg olarak bulunmuştur. Kış aylarındaki MP bolluğunun, yaz aylarına göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Sediment ve su profilleri sürekli etkileşim halinde olduğundan, sedimentlerde birikim yapan MP'ler, antropojenik etkiler ve fiziksel su hareketleri ile zamansal ve mekansal olarak farklılıklar göstererek taşınımına uğramaktadır (Renzi et al., 2020; Quesadas-rojas et al., 2021). Ayrıca, kış aylarında artan balıkçılık faaliyetleri sebebi ile de MP miktarında bir artışın meydana geldiği düşünülmektedir (Habib et al., 2020).

Deniz suyu karakterizasyonuna sahip istasyonlar kendi içinde kıyaslandığında, D2 istasyonunun çalışma süresi boyunca hem en yüksek (11600 MP/kg), hem de en düşük MP bolluk değerlerini (520 MP/kg) aldığı görülmektedir (Şekil 4). Bu sonuca göre, deniz istasyonları arasında MP kirliliği açısından en çok değişkenlik D2 istasyonunda görülmektedir. Bu dalgalanmanın, lagündeki kanal çıkışını temsil edici özellikte olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Göl ve kanaldan gelen tüm kirleticiler D2 istasyonundan Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır. Suyun akışını etkileyen dinamikler, MP'ler de dahil olmak üzere parçacıkların boyutlar ve yoğunluklarına göre askıda hareket ettirerek veya sedimente çöktürerek çevresel akıbetini belirlemektedir. Örneğin, su sütunundan yavaşça çöken küçük parçacıklar, su akışıyla kolayca taşınabilmekte ve daha yavaş su hareketlerinin olduğu alanlarda birikebilmektedir. Bu alanlardaki MP bolluğu diğer alanlara kıyasla ortalama değer üzerinde seyredebilir (Dalrymple et al., 1992;

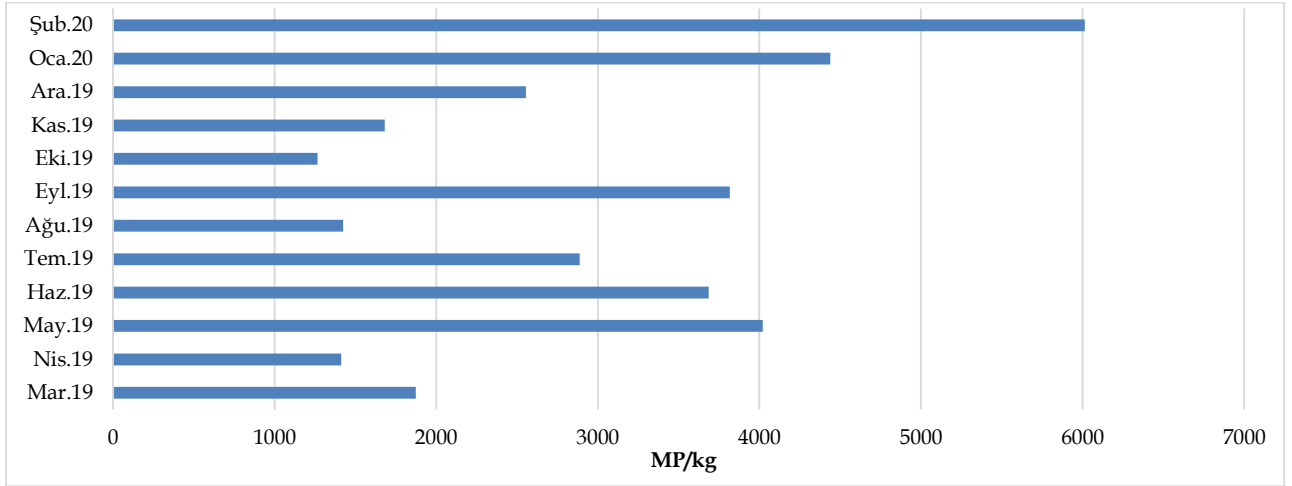
Browne et al., 2010; Martellini et al., 2018). Vianello et al. (2013) tarafından yapılan Venedik lagünündeki MP bolluğuna ilişkin çalışmada, yerel plastik endüstrilerinden (polivinilklorür, polietilen tereftalat, polietilen, polistiren ve poliamid endüstriyel dökümler, balıkçılık/su kültürü faaliyetleri, endüstriyel ve kentsel deşarjlar, jeotekstil

bariyerlerin varlığı özellikle tatlı su akışının olduğu istasyonlarda çeşitli potansiyel kaynaklardan lagüne ulaştığını belirtmiştir. D1 ve D3 istasyonları yılın büyük çoğunluğunda ortalama değerin (2923 MP/kg) altında MP bolluğu değerine sahip bulunmuştur.



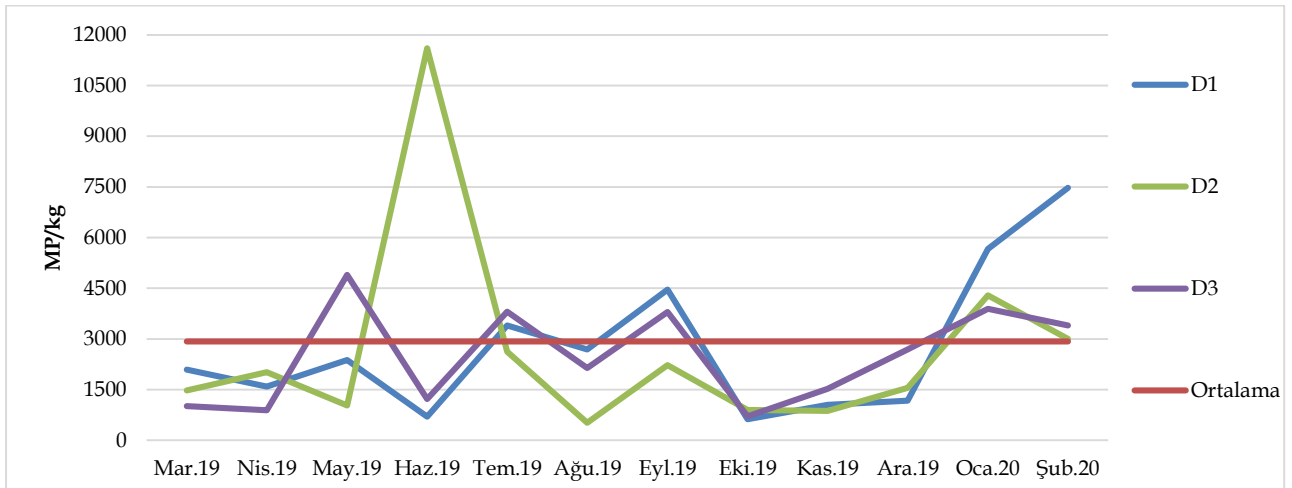
Şekil 2. İstasyonlara bağlı olarak MP bolluklarının dağılımı (MP/kg)

Figure 2. Distribution of MP abundances depending on stations (MP/kg)



Şekil 3. Zamana bağlı olarak MP bolluğunun dağılımı (MP/kg)

Figure 3. Distribution of MP abundance over time (MP/kg)

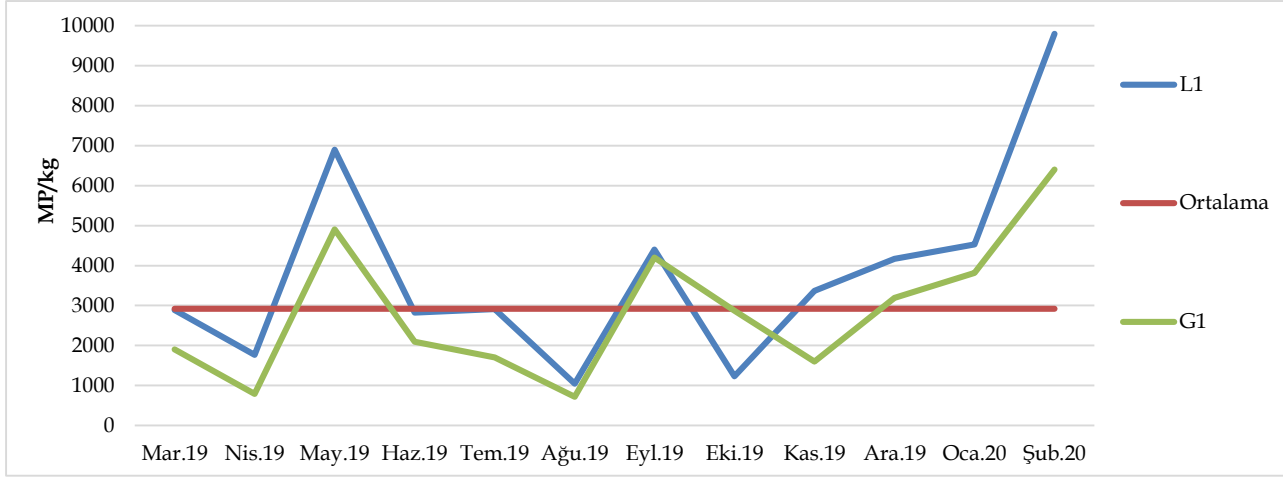


Şekil 4. Deniz istasyonlarının zamana bağlı olarak MP bolluğu dağılımları (MP/kg)

Figure 4. MP abundance distribution of sea stations over time (MP/kg)

D1 istasyonu ise, batı yönünde bulunan İSKİ Küçükçekmece Atıksu Ön Arıtma Tesisi'nden etkilendiği düşünülmektedir. Her ne kadar Küçükçekmece Atıksu Ön Arıtma Tesisi, derin deniz deşarjı yolu ile Marmara Denizi'ne deşarj yapsa da, bazı işletme problemlerinden kaynaklı dönem dönem kıyıya direkt deşarjlar yaptığı bilinmektedir (DHA, 2020).

Lagün ve göl suyu karakterizasyonuna sahip istasyonlar kendi içinde kıyaslandığında MP bolluğu en yüksek L1 istasyonunda (9900 MP/kg), en düşük ise G1 istasyonunda (800 MP/kg) tespit edilmiştir (Şekil 5). Ancak MP bolluğundaki değişimler L1 ve G1 istasyonları için paralellik göstermektedir.



Şekil 5. Lagün ve göl istasyonlarının zamana bağlı olarak MP bolluğu dağılımları (MP/kg)

Figure 5. MP distribution of lagoon and lake stations over time (MP /kg)

3.2. Mikroplastiklerin Morfolojik Özelliklerine Göre Dağılımları

Çalışma kapsamında incelenen numunelerde tespit edilen MP'lere ait görseller Şekil 6'da sunulmuş olup, MP'lerin boyut, tip ve renklerine göre dağılımları Şekil 7'de verilmiştir. MP boyutlarının %50'sinin 1-100 µm arasında olduğu tespit edilmiştir. Tunus kıyılarında 2022 yılında yapılan bir çalışmanın numunelerinde tespit edilen MP'lerin boyutları yaklaşık 70 ila 300 µm arasında değiştiği ifade edilmiştir (Jaouani et al., 2022). Kuzeybatı Çin'de batı İç Moğolistan'da Baoritulegai (BRTL) Gölü ve Naogunnuoer (NGNE) Gölü'nün MP bolluk ve dağılımını incelendiğinde, MP boyutunun esas olarak yaklaşık 50-200 µm arasında yoğunlaştığı bulunmuştur (Wang et al., 2021). Sarı Erkan et al. (2021a) tarafından yapılan sedimet numunelerindeki MP bolluğunun tespitine yönelik olan çalışmada, MP'lerin en yüksek yüzdesinin 500 µm'den küçük boyut aralığı için %37.87 olduğu, ardından 1000-2500 µm ve 2500-5000 µm için sırasıyla %33.2 ve %28.95 geldiği tespit edilmiştir. Birçok çalışmada, daha küçük boyutlu MP'lerin (yaklaşık 500 ya da 300 µm altı), diğer boyutlara kıyasla daha yüksek bir oranda tespit edildiği bulunmuştur (Blašković et al., 2017; Lot et al., 2017; Sarı Erkan et al., 2021a).

Çalışma sahasında rastlanan MP'lerin %59'u lif; %14'ü parçacık; %23'ü film ve %4'ü mikroboncuk tiplerinde olduğu bulunmuştur (Şekil 7). Lif tipli MP parçalarının oldukça fazla olması, MP kaynağı olarak özellikle tekstil sanayi kuruluşlarının atık ve atık sularını kontrollü/kontROLSÜZ biçimde deşarj etmeleri ve/veya balıkçılık faaliyetlerinden ileri gelen ağ ve olta takımı parçalarından kaynaklanabileceğini göstermektedir (Habib et al., 2020; Talvitie et al., 2017). Çamaşır makinelerinden atık olarak her 5 kg çamaşır için 600.000'e kadar küçük tekstil lifleri salınmaktadır. Serbest kalan mikro liflerin miktarı ve boyutu, bunların atıksu arıtma

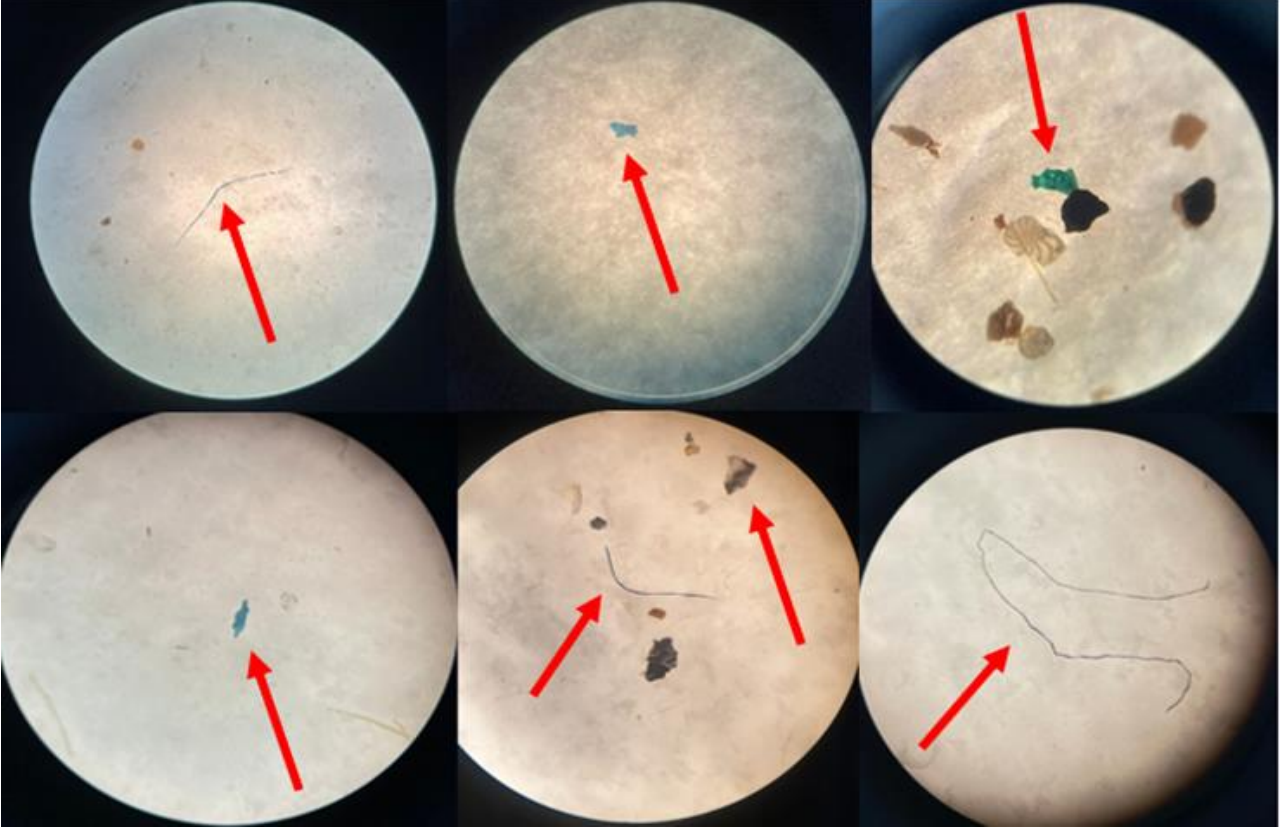
tesisleri tarafından tamamen tutulamayacağını ve potansiyel olarak çevreyi etkileyebileceğini doğrulamaktadır (De Falco et al., 2018). 2017 yılında yapılan bir çalışmaya göre, liflerin lagün sedimentinde genel olarak en sık rastlanan MP tipi olarak tespit edilmiştir (Abidli et al., 2017). Çin Changsha'nın kentsel bölgesinde, seçilen sekiz büyük göl üzerine yapılan bir çalışmada da, MP'lerin morfolojilerinin yüksek orandan düşük orana doğru lif, parçacık ve film olarak sıra almıştır (Yin et al., 2019).

Mikroplastiklerin renk dağılımında ise, %42'si siyah; %23'ü şeffaf; %15'i mavi; %8'i kırmızı ve %12'si diğer renklerin yer aldığı görülmektedir. Küçükçekmece Lagünü su yüzeyinde tespit edilen MP'lerde baskın olarak mavi renk bulunmuştur (Çullu et al., 2021). İstanbul'da yapılan bir diğer çalışmada ise, MP'lerin renk dağılımında en yüksek yüzdenin mavi (%45) olduğu ve ardından kırmızı (%27.5) ve şeffaf (%20) renk geldiği belirtilmiştir (Sarı Erkan et al., 2021b). Mikroplastiklerin farklı rengi, antropojenik kökeni gösterebilir ve göldeki çoklu plastik kirliliği kaynaklarını vurgulayabilir (Gallagher et al., 2016; Bertoldi et al., 2021). 2022 yılında Pakistan, Rawal Gölü'ndeki siyah MP'lerin, diğer renklere göre %25 ile %48 arasında daha baskın olduğu ve siyah MP'lerin lastikler, plastik torbalar ve sentetik tekstil ürünlerinden kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Alfonso et al., 2020; Nousheen et al., 2022). Yapılan çalışmalarda, balıkların yanlışlıkla planktonik avlarına benzeyen beyaz, kahverengi ve sarı renklere sahip MP'ler ile beslendiği (Shaw & Day, 1994; Boerger et al., 2010; Osorio et al., 2021) benzer şekilde deniz kuşlarının da bazı şekil ve renklerde plastikleri yanlışlıkla yuttuğu tespit edilmiştir (Barboza & Gimenez, 2015; Osorio et al., 2021).

İstasyonlara bağlı olarak, MP'lerin tipleri incelendiğinde, tüm istasyonlarda lif tipli parçacıkların diğer parçacıklara oranla daha fazla (>%50) olduğu görülmektedir (Şekil 8).

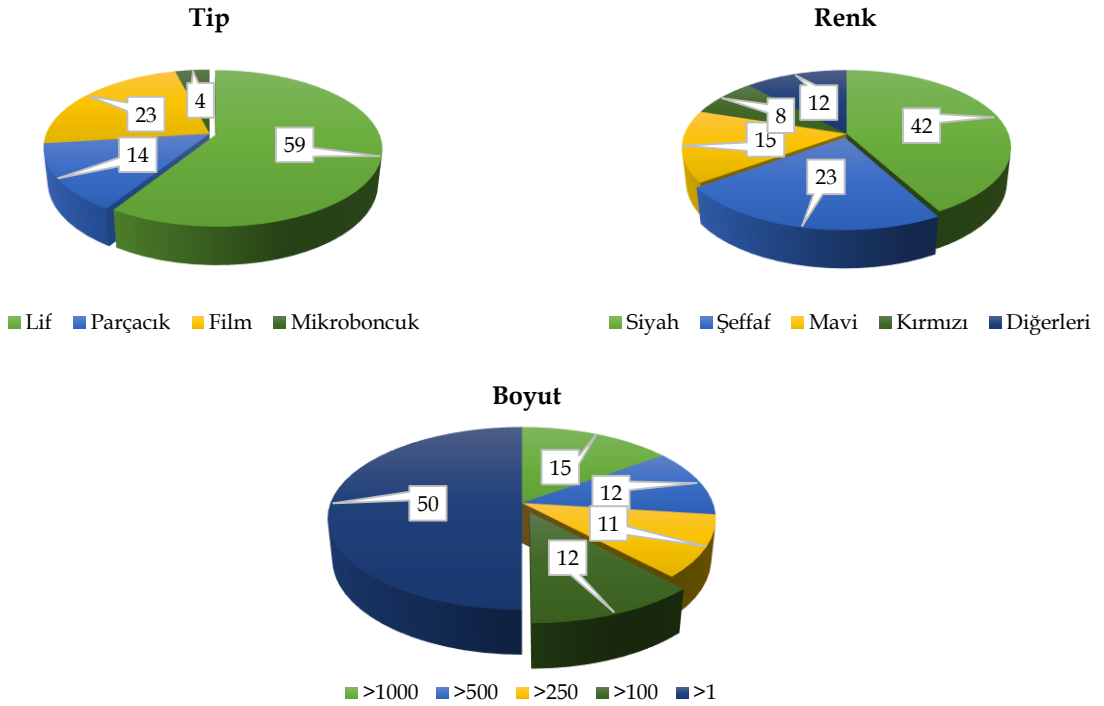
Bu durum, çalışma alanının tekstil endüstrisi başta olmak üzere, farklı endüstriyel kaynaklı atıksu deşarjlarına maruz kalması ile açıklanabilir. Bunun yanı sıra tüm istasyonlarda ortak olarak, en az tespit edilen parçacık tipi mikroboncuktur. Mikroboncukların kaynağı birçok sağlık

ve kozmetik ürününden ileri gelmektedir (Dąbrowska et al., 2022). Bu sonuçlara bakıldığında, lagüne gelen sağlık ve kozmetik ürünleri kaynaklı atıklara göre diğer kaynaklardan gelen atıkların daha baskın olduğu düşünülebilir.



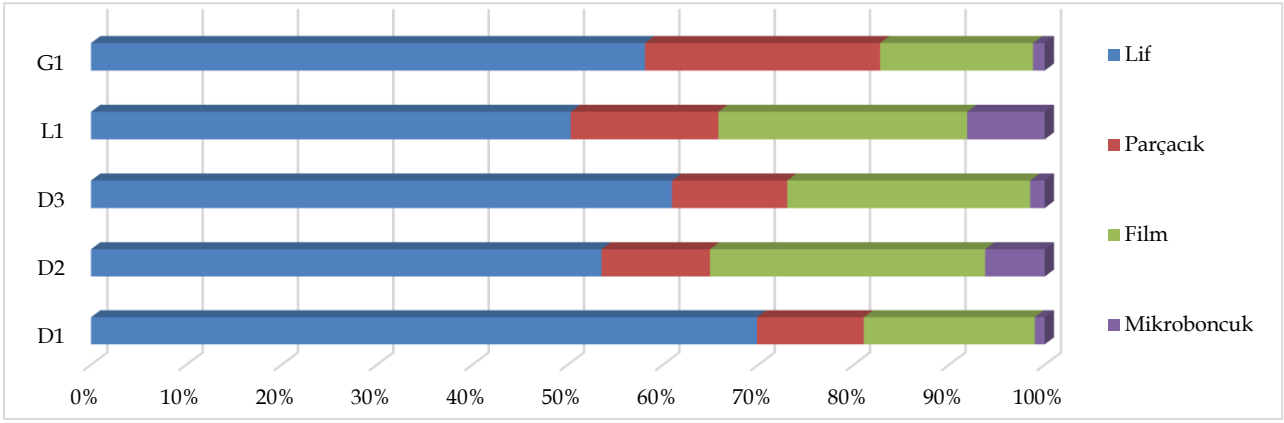
Şekil 6. Çalışma alanında tespit edilen MP'lerin görselleri (Işık mikroskobu, büyütme gücü:4x10)

Figure 6. Images of MPs detected in the study area (Light microscope, magnification power: 4x10)



Şekil 7. Çalışma alanında tespit edilen MP'lerin boyut, tip ve renklerine göre dağılımları (Sayılar yüzdelik (%) olarak verilmiştir.)

Figure 7. Distribution of MPs detected in the study area by size, type and colour (Numbers are given as percentages.)



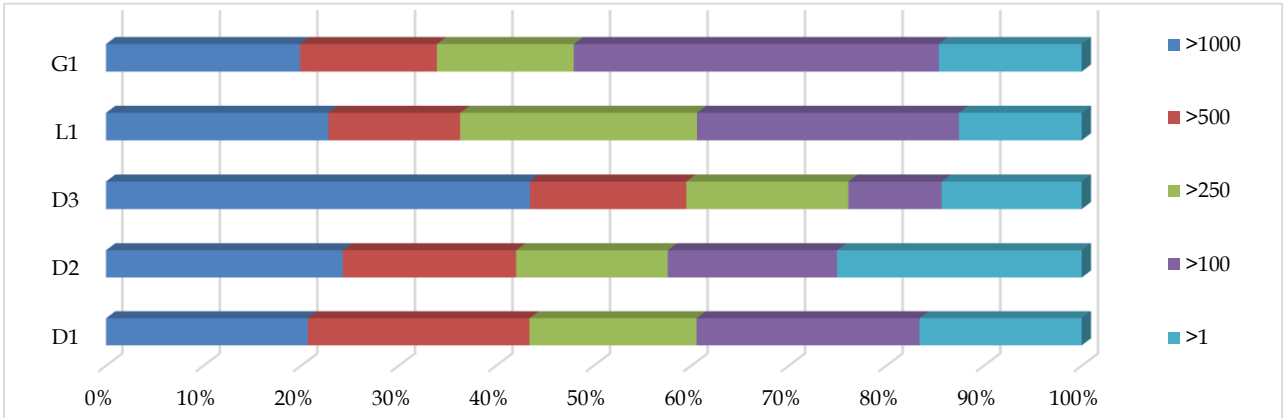
Şekil 8. İstasyonlara göre MP tip dağılımları (%)

Figure 8. Distribution of MP types by stations (%)

Bu çalışmada istasyonlara bağlı olarak MP boyut dağılımı incelendiğinde; G1 (%37.43), L1 (%26.84) ve D1 (%22.86) istasyonlarında 100- 250 µm boyutları arasında parçacıkların baskın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9). D2 (%25.06) istasyonu diğer istasyonlardan farklı olarak, en fazla tespit edilen MP boyutlarının 1-100 µm arasında ve D3 istasyonunda en fazla tespit edilen parçacık boyutlarının 1000 µm'den büyük olduğu bulunmuştur. MP'lerin boyut dağılımı, MP'lerin çevredeki bozulma hızı ve davranışından etkilenmektedir (Zhang et al., 2015). Sarı Erkan et al., (2021a) yaptığı çalışmada Küçükçekmece istasyonunda %70 oranında 1 mm ve %30 oranında 0.3 mm

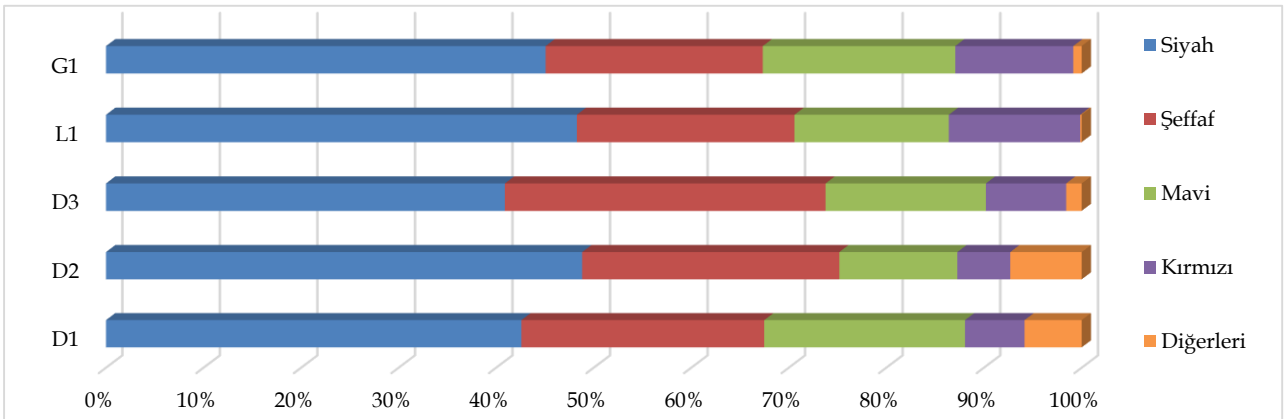
boyutlu parçacıklar tespit edilmiştir.

Çalışma alanında tespit edilen MP renklerinin istasyonlara göre dağılımları Şekil 10'da verilmiştir. Siyah renkli parçacıklar %45.07 değeri ile L1 istasyonunda, en fazla şeffaf renkli parçacıklar %31.68 değeri ile D3 istasyonunda, mavi renkli parçacıklar %19.37 değeri ile D1 istasyonunda, kırmızı renkli parçacıklar %12.55 değeri ile L1 istasyonunda ve diğer renklerdeki parçacıklar %6.72 değeriyle D2 istasyonunda en yüksek oranlarda tespit edilmiştir.



Şekil 9. İstasyonlara göre MP boyut dağılımları (%)

Figure 9. Distribution of MP size by stations (%)



Şekil 10. İstasyonlara göre MP renk dağılımları

Figure 10. Distribution of MP color by stations (%)

4. Sonuç

Küçükçekmece Lagünü sediment profilindeki MP kirliliği ve dağılımının belirlendiği bu çalışmada, tüm istasyonların ortalama MP bolluğu 2922.32±517.35 MP/kg olarak tespit edilmiştir. İstasyonlara bağlı olarak MP bolluklarının dağılımları incelendiğinde, çalışma alanında en yüksek ortalama MP bolluğu L1 istasyonu, kanal suyunu temsil etmekte olup, lagündeki tüm antropojenik baskıların en yoğun hissedildiği istasyondur. Akıntı sistemi sayesinde, Küçükçekmece Gölü'ndeki kirleticiler dar bağlantı alanı ile Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır. Lif tipli MP'lerin oldukça fazla olması (%59), MP kaynağı olarak özellikle tekstil sanayi kuruluşlarının lagüne su girdisi bulunan derelere atıklarını ve atık sularını kontrollü/kontrolsüz biçimde deşarj etmeleri ve/veya balıkçılık faaliyetlerinden ileri gelen ağ ve olta takımı parçaları olduğu düşünülmektedir.

Mevcut antropojenik etkenler ve kanal bağlantısı göz önünde bulundurulduğunda, lagündeki MP yükünün zamanla artacağı ve Marmara Denizi'ne kanal bağlantısıyla ulaşacağı öngörülmektedir. Küçükçekmece Lagünü'nden Marmara Denizi'ne MP taşınımını ve biyotada MP'lerin varlığı ölçülmeli, toksikolojik etkilerini değerlendirmek ve lagünün iyileştirilmesi için yeterli zaman ve bütçe ayrılarak çalışmalar gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmanın verilerinin, yürütülecek kapsamlı proje ve araştırmalar için referans veya temel veri olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

Teşekkür: Yazarlar, bu makalenin hazırlanmasına temel olan "Kıyı Lagün Sedimentlerinde Mikroplastiklerin Oluşumları ve Mekansal Dağılımları: Küçükçekmece Lagünü Örneği" konulu TUBITAK 2209-A destekleme programı kapsamında araştırma projesine verdiği destekten dolayı TUBITAK'a teşekkür ederler. Yazarlar, Prof. Dr. Nüket SİVRİ'ye bilimsel katkılarından dolayı teşekkür ederler.

Etik kurul onayı: Bu çalışma için etik kurul onayı alınmasına gerek yoktur.

Çıkar çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Yazar katkısı: Fikir/Kavram - V.Z.S.; Tasarım - V.Z.S.; Denetleme/Danışmanlık - V.Z.S.; Kaynaklar/Fon Sağlama - S.İ.; Materyaller - S.İ., Z.B., E.G.; Veri Toplama veya İşleme - S.İ., Z.B., E.G.; Analiz Yorumlama - V.Z.S., S.İ., Z.B., E.G.; Kaynak Taraması - E.G., Z.B.; Makalenin Yazımı - V.Z.S., S.İ., Z.B., E.G.; Eleştirel İnceleme - V.Z.S., S.İ., Z.B., E.G.

Kaynaklar

Abidli, S., Toumi, H., Lahbib, Y., & Trigui El Menif, N. (2017). The first evaluation of microplastics in sediments from the complex lagoon-channel of Bizerte (Northern Tunisia). *Water, Air & Soil Pollution*, 228(7), 1-10. <https://www.doi.org/10.1007/s11270-017-3439-9>

Alfonso, M.B., Scordo, F., Seitz, C., Manstretta, G.M.M., Ronda, A.C., Arias, A.H., & Piccolo, M.C. (2020). First evidence of microplastics in nine lakes across Patagonia (South America). *Science of the Total Environment*, 733, 139385. <https://www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139385>

Andrady, A.L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12-22. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>

Antunes, J., Frias, J., & Sobral, P. (2018). Microplastics on the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 294-302. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.025>

Bağcı, H.R. & Bahadır, M. (2018). İklim Değişikliği ve Antropojenik Baskıların Yeşilirmak Deltası (Samsun) Sulak Alanlarına Etkileri. The 2nd UNIDOKAP International Symposium on Biodiversity, Ondokuzmayıs Üniversitesi.

Barboza, L.G.A., & Gimenez, B.C.G. (2015). Microplastics in the marine environment: current trends and future perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1-2), 5-12. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.008>

Baysal, A., Saygin, H., & Ustabasi, G.S. (2020). Microplastic Occurrences in Sediments Collected from Marmara Sea-Istanbul, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105(4), 522-529. <https://www.doi.org/10.1007/s00128-020-02993-9>

Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Sezer, N., Sıkdokur, E., Güngör, N.D., & Altuğ, G. (2021). Microplastic inventory in sediment profile: A case study of Golden Horn Estuary, Sea of Marmara. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113117. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113117>

Bertoldi, C., Lara, L.Z., Fernanda, A.D.L., Martins, F.C., Battisti, M.A., Hinrichs, R., & Fernandes, A.N. (2021). First evidence of microplastic contamination in the freshwaters of Lake Guaíba, Porto Alegre, Brazil. *Total Environmental Science*, 759, 143503. <https://www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143503>

Besley, A., Vijver, M.G., Behrens, P., & Bosker, T. (2017). A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 77-83. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.055>

Blašković, A., Fastelli, P., Čizmek, H., Guerranti, C., & Renzi, M. (2017). Plastic litter in sediments from the Croatian marine protected area of the natural park of Telašćica bay (Adriatic Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 583-586. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.018>

Boerger, C.M., Lattin, G.L., Moore, S.L., & Moore, C.J. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 60(12), 2275-2278. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.007>

Bosker, T., Guaita, L., & Behrens, P. (2018). Microplastic pollution on Caribbean beaches in the Lesser Antilles. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 442-447. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.060>

Bozdaş, K., Üstün, G.E., & Aygün, A. (2020). Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikro plastikler ve Giderim Yöntemleri. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 25(3), 1577-1592. <https://www.doi.org/10.17482/uumfd.758523>

Browne, M.A., Galloway, T.S., & Thompson, R.C. (2010). Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science & Technology*, 44(9), 3404-3409. <https://www.doi.org/10.1021/es903784e>

Chico-Ortiz, N., Mahu, E., Crane, R., Gordon, C., & Marchant, R. (2020). Microplastics in Ghanaian coastal lagoon sediments: Their occurrence and spatial distribution. *Regional Studies in Marine Science*, 40, 101509. <https://www.doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101509>

Çullu, A.F., Sönmez, V.Z., & Sivri, N. (2021). Microplastic contamination in surface waters of the Küçükçekmece Lagoon, Marmara Sea (Turkey): Sources and areal distribution. *Environmental Pollution*, 268, 115801. <https://www.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115801>

Dąbrowska, A., Mielańczuk, M., & Syczewski, M. (2022). The Raman spectroscopy and SEM/EDS investigation of the primary sources of microplastics from cosmetics available in Poland. *Chemosphere*, 308, 136407. <https://www.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136407>

Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A., & Boyd, R. (1992). Estuarine facies models; conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Research*, 62(6), 1130-1146. <https://www.doi.org/10.1306/D4267A69-2B26-11D7-8648000102C1865D>

De Falco, F., Gullo, M.P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., ... & Avella, M. (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*, 236, 916-925. <https://www.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.057>

De Jesus Piñon-Colin, T., Rodriguez-Jimenez, R., Pastrana-Corral, M.A., Rogel-Hernandez, E., & Wakida, F.T. (2018). Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 63-71. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.055>

San, E. & Dörtkadeş, İ. (2020). İSKİ'nin arıtma tesisinden bırakılan suyla denizin rengi böyle değişti. Retrieved from <https://www.dha.com.tr/arama/iski-nin-aritma-tesisinden-birakilan-suyla-denizin-rengi-boyle-degist>

Doğruyol, P., Şener, M., & Balkaya, N. (2019). Determination of microplastics and large plastics in the sediments of the Golden Horn Estuary (Halic), Istanbul, Turkey. *Desalin Water Treat*, 172, 344-350. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.25067>

Dowarah, K. & Devipriya, S.P. (2019). Microplastic prevalence in the beaches of Puducherry, India and its correlation with fishing and tourism/recreational activities. *Marine Pollution Bulletin*, 148, 123-133. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.066>

- Edo, C., González-Pleiter, M., Tamayo-Belda, M., Ortega-Ojeda, F.E., Leganés, F., Fernández-Piñas, F., & Rosal, R. (2020). Microplastics in sediments of artificially recharged lagoons: Case study in a Biosphere Reserve. *Science of The Total Environment*, 729, 138824. <https://www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138824>
- Galgani, F., Hanke, G., Werner, S.D.V.L., & De Vrees, L. (2013). Marine litter within the European marine strategy framework directive. *ICES Journal of Marine Science*, 70(6), 1055-1064. <https://www.doi.org/10.1093/icesjms/fst122>
- Gallagher, A., Rees, A., Rowe, R., Stevens, J., & Wright, P. (2016). Microplastics in the Solent estuarine complex, UK: An initial assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 102 (2), 243-249. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.002>
- Gao, F., Li, J., Hu, J., Sui, B., Wang, C., Sun, C., Li X. & Ju, P. (2021). The seasonal distribution characteristics of microplastics on bathing beaches along the coast of Qingdao, China. *Science of The Total Environment*, 783, 146969. <https://www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146969>
- GESAMP, (2016). Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment (Part 2). London, IMO.,221pp.
- Habib, R.Z., Thiemann, T., & Kendi, R.A. (2020). Microplastics and Wastewater Treatment Plants – A Review. *Journal of Water Resource and Protection*, 12(01), 35. <https://www.doi.org/10.4236/jwarp.2020.121001>
- Jauouani, R., Mouneyrac, C., Châtel, A., Amiard, F., Dellali, M., Beyrem, H. & Lagarde, F. (2022). Seasonal and spatial distribution of microplastics in sediments by FTIR imaging throughout a continuum lake-lagoon-beach from the Tunisian coast. *Science of The Total Environment*, 156519. <https://www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156519>
- Jiang, C., Yin, L., Li, Z., Wen, X., Luo, X., Hu, S. & Liu, Y. (2019). Microplastic pollution in the rivers of the Tibet Plateau. *Environmental Pollution*, 249, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.022>
- Köker, L., Akcaalan, R., Dittmann, E., & Albay, M. (2021). Depth profiles of protein-bound microcystin in Küçükçekmece Lagoon. *Toxicol*, 198, 156-163. <https://doi.org/10.1016/j.toxicol.2021.05.005>
- Laglbauer, B.J., Franco-Santos, R.M., Andreu-Cazenave, M., Brunelli, L., Papadatou, M., Palatinus, A., & Deprez, T. (2014). Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia. *Marine Pollution Bulletin*, 89(1-2), 356-366. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.09.036>
- Li, J., Zhang, H., Zhang, K., Yang, R., Li, R., & Li, Y. (2018). Characterization, source, and retention of microplastic in sandy beaches and mangrove wetlands of the Qinzhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 401-406. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.025>
- Lots, F.A., Behrens, P., Vijver, M.G., Horton, A.A., & Bosker, T. (2017). A large-scale investigation of microplastic contamination: abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1-2), 219-226. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.057>
- Martellini, T., Guerranti, C., Scopetani, C., Ugolini, A., Chelazzi, D., & Cincinelli, A. (2018). A snapshot of microplastics in the coastal areas of the Mediterranean Sea. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 173-179. <https://www.doi.org/10.1016/j.trac.2018.09.028>
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. USA, NOAA Marine Debris Division, 31pp.
- Nousheen, R., Hashmi, I., Rittschof, D., & Capper, A. (2022). Comprehensive analysis of the spatial distribution of microplastics using trawl net and sieve sampling methods in Rawal Lake, Pakistan. *Chemosphere*, 308, 136111. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136111>
- Osorio, E.D., Tanchuling, M.A.N., & Diola, M.B.L.D. (2021). Microplastics occurrence in surface waters and sediments in five river mouths of Manila Bay. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 719274. <https://www.doi.org/10.3389/fenvs.2021.719274>
- Patchaiyappan, A., Ahmed, S.Z., Dowarah, K., Jayakumar, S., & Devipriya, S.P. (2020). Occurrence, distribution and composition of microplastics in the sediments of South Andaman beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111227. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111227>
- Prata, J.C., Reis, V., da Costa, J.P., Mouneyrac, C., Duarte, A.C., & Rocha-Santos, T. (2021). Contamination issues as a challenge in quality control and quality assurance in microplastics analytics. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123660. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123660>
- Qiu, Q., Peng, J., Yu, X., Chen, F., Wang, J., & Dong, F. (2015). Occurrence of microplastics in the coastal marine environment: first observation on sediment of China. *Marine Pollution Bulletin*, 98(1-2), 274-280. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.028>
- Quesadas-Rojas, M., Enriquez, C., & Valle-Levinson, A. (2021). Natural and anthropogenic effects on microplastic distribution in a hypersaline lagoon. *Science of the Total Environment*, 776, 145803. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145803>
- Renzi, M., Pauna, V.H., Provenza, F., Munari, C., & Mistri, M. (2020). Marine litter in transitional water ecosystems: State of the art review based on a Bibliometric analysis. *Water*, 12(2), 612. <https://www.doi.org/10.3390/w12020612>
- Sarı Erkan, H., Turan, N.B., Albay, M., & Engin, G.O. (2021a). Microplastic pollution in seabed sediments at different sites on the shores of Istanbul-Turkey: Preliminary results. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129539. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129539>
- Sarı Erkan, H., Turan, N.B., Albay, M., & Engin, G.O. (2021b). A preliminary study on the distribution and morphology of microplastics in the coastal areas of Istanbul, the metropolitan city of Turkey: The effect of location differences. *Journal of Cleaner Production*, 307, 127320. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127320>
- Sathish, N., Jeyasanta, K.I., & Patterson, J. (2019). Abundance, characteristics and surface degradation features of microplastics in beach sediments of five coastal areas in Tamil Nadu, India. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 112-118. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.037>
- Sevrandi Dharmadasa, W.S., Andraday, A.L., Kumara, P.T.P., Maes, T., & Gangabadege, C.S. (2021). Microplastics pollution in Marine Protected Areas of Southern Sri Lanka. *Marine Pollution Bulletin*, 168, 112462. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112462>
- Shaw, D.G., & Day, R.H. (1994). Colour-and form-dependent loss of plastic micro-debris from the North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 28(1), 39-43. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90184-8](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90184-8)
- Sönmez, V.Z., Akarsu, C., Cumbul Altay, M., & Sivri, N. (2022). Extraction, Enumeration, and Identification Methods for Monitoring Microplastics in the Aquatic Environment. In *Microplastic Pollution* (pp. 21-66). Springer, Cham.
- Sönmez, V.Z., Akarsu, C., & Sivri, N. (2023). Impact of coastal wastewater treatment plants on microplastic pollution in surface seawater and ecological risk assessment. *Environmental Pollution*, 120922. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120922>
- Şenduran, C. (2007). Küçükçekmece lagününde limnolojik özellikler ve sediment taşınımının araştırılması. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul. Retrieved from <http://localhost:6060/xmlui/handle/1/8753>
- Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., & Koistinen, A. (2017). How well is microlitter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Research*, 109, 164-172. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.046>
- Tiwari, M., Rathod, T.D., Ajmal, P.Y., Bhangare, R.C., & Sahu, S.K. (2019). Distribution and characterization of microplastics in beach sand from three different Indian coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 262-273. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.055>
- Toumi, H., Abdli, S., & Bejaoui, M. (2019). Microplastics in freshwater environment: the first evaluation in sediments from seven water streams surrounding the lagoon of Bizerte (Northern Tunisia). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(14), 14673-14682. <https://www.doi.org/10.1007/s11356-019-04695-0>
- Uddin, S., Fowler, S. W., Uddin, M. F., Behbehani, M., & Naji, A. (2021). A review of microplastic distribution in sediment profiles. *Marine Pollution Bulletin*, 163, 111973. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111973>
- Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., & Da Ros, L. (2013). Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.03.022>
- Wakkaf, T., El Zrelli, R., Yacoubi, L., Kedzierski, M., Lin, Y.J., Mansour, L., ... & Rabaoui, L. (2022). Seasonal patterns of microplastics in surface sediments of a Mediterranean lagoon heavily impacted by human activities (Bizerte lagoon, Northern Tunisia). *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18. <https://www.doi.org/10.1007/s11356-022-21129-6>
- Wang, F., Lai, Z., Peng, G., Luo, L., Liu, K., Huang, X., ... & Li, D. (2021). Microplastic abundance and distribution in a Central Asian desert. *Science of The Total Environment*, 800, 149529. <https://www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149529>
- Yabanlı, M., Yozukmaz, A., Şener, İ., & Ölmez, Ö.T. (2019). Microplastic pollution at the intersection of the Aegean and Mediterranean Seas: A study of the Datça Peninsula (Turkey). *Marine Pollution Bulletin*, 145, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.003>

- Yaranal, N.A., Subbiah, S., & Mohanty, K. (2021). Distribution and characterization of microplastics in beach sediments from Karnataka (India) coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112550. <https://www.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112550>
- Yin, L., Jiang, C., Wen, X., Du, C., Zhong, W., Feng, Z., ... & Ma, Y. (2019). Microplastic pollution in surface water of urban lakes in Changsha, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(9), 1650. <https://www.doi.org/10.3390/ijerph16091650>
- Yu, X., Peng, J., Wang, J., Wang, K., & Bao, S. (2016). Occurrence of microplastics in the beach sand of the Chinese inner sea: The Bohai Sea. *Environmental Pollution*, 214, 722-730. <https://www.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.080>
- Zhang, K., Gong, W., Lv, J., Xiong, X., & Wu, C. (2015). Accumulation of floating microplastics behind the Three Gorges Dam. *Environmental Pollution*, 204, 117-123. <https://www.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.04.023>
-