

**MERSİN KÖRFEZİ'NE DÖKÜLEN BAZI NEHİRLERDEN  
KAYNAKLI MİKROPLASTİK BOLLUĞUNUN YAĞIŞLI  
DÖNEMDEKİ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÜLKÜ ÖZGÜLER**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
ŞUBAT- 2022**

**MERSİN KÖRFEZİ'NE DÖKÜLEN BAZI NEHİRLERDEN  
KAYNAKLI MİKROPLASTİK BOLLUĞUNUN YAĞIŞLI  
DÖNEMDEKİ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖĞRENCİ ADI VE SOYADI ÜLKÜ ÖZGÜLER**  
**ORCID ID: 0000-0002-5628-0000**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**Danışman**  
**Doç. Dr. Aydeniz DEMİR**  
**ORCID ID: 0000-0002-3803-3647**

**İkinci Danışman**  
**Prof. Dr. Ahmet Erkan Kıdeys**

**MERSİN**  
**ŞUBAT- 2022**

## ÖZET

### MERSİN KÖRFEZİ'NE DÖKÜLEN BAZI NEHİRLERDEN KAYNAKLI MİKROPLASTİK BOLLUĞUNUN YAĞIŞLI DÖNEMDEKİ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Kuzeydoğu Akdeniz'deki Mersin Körfezi'ne nehirlerden yüklenen mikroplastik bileşimi belirlemeye yönelik yapılan bu ilk analiz için Kasım 2019'da toplam sekiz nehirde numune alınmıştır. Tüm numuneler arasında %83,5'lik pay ile lifler baskın bulunmuştur. Gözlenen mikroplastiklerin yarısından fazlası mavi renkte (%55) iken ardından siyah (%30) renk gelmiştir. Nehir sularında tespit edilen mikroplastiklerin %91'inin uzunluğu 2,5 mm'den kısa bulunmuştur. FTIR tarafından analiz edilen 31 fiber olmayan partikülden yirmi dördü polietilen (PE) olarak tanımlanmıştır. Bu nehirlerdeki mikroplastiklerin temel özellikleri (biçim, renk, ortalama boyut, polimer) Mersin Körfezi'ndeki deniz ortamında 2017 ve 2020 yıllarında yapılan çalışmalarda bizim sonuçlarımıza benzer olarak bildirilmiştir.

Lamas nehri için 95 partikül/m<sup>3</sup> ile Arpaçbahşiş nehri için 613 partikül/m<sup>3</sup> arasında değişen ortalama mikroplastik konsantrasyonları nehirler arasında önemli ölçüde farklılık göstermiştir ( $p < 0,003$ ). Kasım 2019'da sekiz nehir için hesaplanan toplam ortalama mikroplastik sayısı  $293 \pm 59$  partikül/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bu değer, Avrupa'da incelenen nehirlerin çoğundan daha yüksektir. Mersin nehirlerinden Kasım 2019'da alınan numunelerden Kuzey-Doğu Akdeniz'e kadar olan yıllık toplam mikroplastik yükü, 1030 milyardan fazla parçacık olarak hesaplanmıştır (çoğunluğu Göksu Nehri'nden geliyor). Mersin Körfezi'ndeki su sütununda bulunan toplam mikroplastik stoğunun iki katına eşdeğer bu miktar, nehirlerin kıyı denizleri için birincil mikroplastik kirliliği kaynağı olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroplastik yük, Mersin Körfezi, Akdeniz, Nehir.

**Danışman:** Doç. Dr. Aydeniz DEMİR, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin. Prof. Dr. Ahmet Erkan KIDEYŞ, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü Mersin.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF MICROPLASTIC POLLUTION FROM RIVERS IN THE BAY OF MERSIN

Microplastics from a total of eight rivers downstream samples were analyzed as a first attempt to determine the microplastic composition in the rivers and the microplastic composition loaded into Mersin Bay in the northeastern Mediterranean. Fibers were the dominant category with a share of 83.5% among all samples. More than half of the microplastics observed were blue (55%), followed by black (30%). 91% of the microplastics detected in river waters were shorter than 2.5 mm in length. Twenty-four of the 31 non-fiber particles analyzed by FTIR were identified as polyethylene (PE). The basic properties (form, color, average size, polymer) of microplastics in these rivers were reported similar to our results in studies conducted in the marine environment of Mersin Bay in 2017 and 2020.

Average microplastic concentrations ranging from 95 to 613 particles/m<sup>3</sup> (for Lamas and Arpaçbahşiş rivers, respectively) differed significantly between rivers ( $p<0.003$ ). The total mean microplastic count for eight rivers was determined as  $293\pm59$  particles/m<sup>3</sup>. This value is higher than most of the rivers studied in Europe. The total annual microplastic load from the Mersin rivers to the north-eastern Mediterranean was calculated to be more than 1030 billion particles (mostly from the Göksu River). This amount, equivalent to twice the total stock of microplastics in the Mersin Bay water column, indicates that rivers are the primary source of microplastic pollution for coastal seas.

**Keywords:** Microplastic load, Mersin Bay, Mediterranean, River.

**Advisor:** Assoc. Prof. Dr. Aydeniz DEMİR, Mersin University, Department of Environmental Engineering, Mersin. Prof. Dr. Ahmet Erkan KIDEYŞ, Middle East Technical University, Institute of Marine Sciences, Mersin.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma Mersin Körfezi'ndeki mikroplastik kirliliğine ilişkin bundan sonra yapılacak çalışmalara katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Bu araştırmayı yapmamı öneren, beni yönlendiren, bilgilerini esirgemeyen danışmanlarım Prof. Dr. Ahmet KIDEYŞ ve Doç. Dr. Aydeniz DEMİR'e teşekkür ederim. Örneklem aşamasında yardımlarından dolayı Ertan KEŞ, Gülşah CAN KAYADELEN ve Nazım GÖREN'e T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Ambalaj Laboratuvarı Ekibi'ne FTIR analizlerinde vermiş oldukları desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Her zaman her koşulda yanımda olan güzel aileme ve nişanlım Hidayet KANDEMİR'e teşekkür ederim.

Lisans hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen ve buralara gelmeme en büyük katkısı olan zihnimde dün gibi yaşattığım rahmetli dedem H. Mustafa ÖZGÜLER'e minnettarım.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                 | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| İÇ KAPAK                                                        | i     |
| ONAY                                                            | ii    |
| ETİK BEYAN                                                      | iii   |
| ÖZET                                                            | iv    |
| ABSTRACT                                                        | v     |
| TEŞEKKÜR                                                        | vi    |
| İÇİNDEKİLER                                                     | vii   |
| TABLolar DİZİNİ                                                 | viii  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                 | viii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR                                         | ix    |
| <br>                                                            |       |
| 1. GİRİŞ .....                                                  | 1     |
| <br>                                                            |       |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI .....                                   | 3     |
| <br>                                                            |       |
| 2.1. PLASTİKLER.....                                            | 3     |
| 2.1.1. PLASTİK TÜRLERİ .....                                    | 5     |
| 2.1.2. PLASTİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ .....                     | 8     |
| 2.1.3. PLASTİKLERİN KULLANIM ALANLARI .....                     | 9     |
| 2.1.4. PLASTİK ATIKLAR.....                                     | 10    |
| 2.2. MİKROPLASTİKLER .....                                      | 12    |
| 2.2.1. MİKROPLASTİKLERİN KAYNAKLARI .....                       | 13    |
| 2.2.1.1. Birincil Mikroplastikler .....                         | 15    |
| 2.2.1.2. İkincil Mikroplastikler .....                          | 15    |
| 2.2.2. MİKROPLASTİKLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ .....             | 15    |
| 2.2.2.1. Mikroplastiklerin Boyutları ve Sınıflandırılması ..... | 16    |
| 2.2.2.2. Mikroplastiklerin Şekilleri .....                      | 16    |
| 2.2.2.3. Mikroplastiklerin Yoğunlukları.....                    | 17    |
| 2.2.2.4. Mikroplastiklerin Renkleri.....                        | 17    |
| 2.2.3. MİKROPLASTİKLERİN ÇEVREYE ETKİLERİ .....                 | 18    |
| 2.2.4. MİKROPLASTİKLERİN ÇEVRESEL ORTAMDA TAŞINIMI .....        | 19    |
| 2.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                                     | 20    |
|                                                                 | vii   |

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>                            | <b>23</b> |
| 3.1. ÇALIŞMA ALANI .....                                      | 23        |
| 3.2. ÖRNEK TOPLAMA VE İŞLEME .....                            | 24        |
| 3.3. ATR-FTIR İLE MİKROPLASTİKLERİN TANIMLANMASI .....        | 26        |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>                          | <b>28</b> |
| 4.1. MİKROPLASTİKLERİN ŞEKİL, RENK VE BÜYÜKLÜK DAĞILIMI ..... | 28        |
| 4.2. ATR-FTIR KULLANARAK MİKROPLASTİK TANIMLAMA .....         | 33        |
| 4.3. MİKROPLASTİK KONSANTRASYONU VE YÜKÜ .....                | 37        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                           | <b>42</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                         | <b>45</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                             | <b>57</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                         | <b>61</b> |

## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                                                       | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Tablo 2.1.</b> Plastiklerin türlerine göre kullanım alanları                                                       | 9     |
| <b>Tablo 2.2.</b> Plastik tanımlama ve geri dönüşüm kodları                                                           | 11    |
| <b>Tablo 2.3.</b> Plastiklerin boyutlarına göre sınıflandırılması                                                     | 16    |
| <b>Tablo 3.1.</b> Örneklemeye noktalarına ait bilgiler                                                                | 24    |
| <b>Tablo 4.1.</b> Bu çalışma ve diğer örneklenen nehirler arasındaki nehir mikroplastik seviyelerinin karşılaştırması | 38    |
| <b>Tablo 4.2.</b> Kuzeydoğu Akdeniz'deki Mersin Körfezi'ne dökülen nehirlerdeki mikroplastik yükü                     | 39    |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                                     | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Şekil 2.1</b> Polimerleşme                                                                                                                                                                                       | 3     |
| <b>Şekil 2.2</b> Etilenin polimerize edilmesiyle oluşan polietilen                                                                                                                                                  | 4     |
| <b>Şekil 2.3</b> Etilen monomerlerinin bir araya gelerek oluşturduğu büyük polimer zincirleri sonucu oluşan polietilen poşet torba                                                                                  | 4     |
| <b>Şekil 2.4</b> Plastik türleri                                                                                                                                                                                    | 5     |
| <b>Şekil 2.5</b> Termoplastiklerin molekül zincir yapıları                                                                                                                                                          | 5     |
| <b>Şekil 2.6</b> Amorf termoplastik örnekleri                                                                                                                                                                       | 6     |
| <b>Şekil 2.7</b> Plastiklerin makro molekül yapılarının amorf ve kısmi kristal formunun yaklaşık $1 \times 10^6$ kat büyütülmüş gösterimi                                                                           | 7     |
| <b>Şekil 2.8</b> Kristal termoplastik örnekleri                                                                                                                                                                     | 7     |
| <b>Şekil 2.9</b> Tipik bir termosetin çapraz bağlı yapısı                                                                                                                                                           | 8     |
| <b>Şekil 2.10</b> Mikroplastiklerin meydana gelme aşamaları                                                                                                                                                         | 12    |
| <b>Şekil 2.11</b> Mikroplastik parçacıkları                                                                                                                                                                         | 13    |
| <b>Şekil 2.12</b> Mikroplastiklerin şekilleri                                                                                                                                                                       | 17    |
| <b>Şekil 2.13</b> Mikroplastiklerin balık üzerindeki başlıca etkileri                                                                                                                                               | 19    |
| <b>Şekil 3.1</b> Mersin Körfezi'ndeki numune alma istasyonları                                                                                                                                                      | 23    |
| <b>Şekil 3.2</b> Mersin nehirlerinden mikroplastiklerin örneklenmesi ve filtrasyonu (1: Nehir/dere, 2: Örneklenmiş su, 3: Filtreleme aparatı/boru 4: Valf, 5: 26 µm plankton ağı, 6: Valf tutucu 7: Filtrelenmiş su | 25    |
| <b>Şekil 3.3</b> FTIR Spektroskopisi                                                                                                                                                                                | 26    |
| <b>Şekil 4.1</b> Mersin nehirlerinde bulunan mikroplastik formların yüzdesi.                                                                                                                                        | 28    |
| <b>Şekil 4.2</b> Örneklenen mikroplastiklerin renk dağılımı.                                                                                                                                                        | 29    |
| <b>Şekil 4.3</b> Mikroplastiklerin boyut frekans dağılımı.                                                                                                                                                          | 31    |
| <b>Şekil 4.4</b> Her nehir için ve tüm nehirler için ortalama mikroplastik uzunluklar (µm).                                                                                                                         | 31    |
| <b>Şekil 4.5</b> Çalışmada tespit edilen PP (Arpaçbahşiş) polimerlerinin FTIR spektrumları.                                                                                                                         | 34    |
| <b>Şekil 4.6</b> Çalışmada tespit edilen PE (Deliçay) polimerlerinin FTIR spektrumları.                                                                                                                             | 34    |
| <b>Şekil 4.7</b> Arpaçbahşiş deresinden alınan bazı mikroplastiklerin mikroskopik görüntüleri                                                                                                                       | 36    |
| <b>Şekil 4.8</b> Deliçay deresinden alınan bazı mikroplastiklerin mikroskopik görüntüleri                                                                                                                           | 36    |
| <b>Şekil 4.9.</b> Mersin nehirlerindeki ortalama mikroplastik konsantrasyonları                                                                                                                                     | 37    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

| Kısaltma/Simgesi   | Tanım                                         |
|--------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Simgeler</b>    | <b>Tanım</b>                                  |
| ml                 | : Mililitre                                   |
| km                 | : Kilometre                                   |
| m                  | : Metre                                       |
| mm                 | : Milimetre                                   |
| µm                 | : Mikrometre                                  |
| m <sup>2</sup>     | : Metrekare                                   |
| °                  | : Derece                                      |
| %                  | : Yüzde                                       |
| <b>Kisaltmalar</b> | <b>Tanım</b>                                  |
| FTIR               | : Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi |
| MP                 | : Mikroplastik                                |
| AAT                | : Atıksu Arıtma Tesisi                        |
| TÜDAV              | : Türk Deniz Araştırmaları Vakfı              |
| ODTÜ               | : Orta Doğu Teknik Üniversitesi               |
| DSİ                | : Devlet Su İşleri                            |

## 1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın en büyük buluşlarından olan plastikler, kısa zamanda Avrupa'dan dünyaya yayılarak hayatımıza girmiştir. Küresel ölçekte plastik üretimi 2018 yılında 359 milyon ton, 2019 yılında ise 368 milyon tona ulaşmıştır [1]. Petrolden yapılan plastikler, yapay organik polimerler olarak tanımlanmaktadır. Plastikler çok sayıda üretilmelerinin yanı sıra, bir defaya mahsus kullanılmaları, çözünmelerinin uzun zaman alması ve doğal nedenlerle yok olmamaları gibi özelliklere sahiptirler. Üretim sıklığı gibi diğer özellikleri sebebiyle toprakta, akarsularda, göllerde ve denizler gibi doğal yaşam alanlarında birikmektedirler. Bu birikimleriyle özellikle sucul ekosistemlerde yaşayan canlılara büyük zarar vermektedirler [2,3].

Dünyadaki plastik malzeme üretiminin ve uygulamasının sürekli büyümesi, karasal ve su ekosistemlerine önemli miktarda plastik atığın salınmasına neden olmuştur [4,5]. Plastikler uzun yıllar süren bozunmalar ile mikroskopta görülebilecek kadar küçük parçalara ayrılmaktadırlar. Bu parçalar mikroplastik olarak adlandırılmaktadır. Mikroplastikler genellikle çapı 5 mm'den küçük sentetik polimer partikülleri olarak tanımlanmaktadır [6,7,8]. Mikroplastikler sabit bir biçim veya ebatta olmamaktadırlar. Mikroplastikler; boyut, şekil, renk, kimyasal bileşim, yoğunluk ve diğer bazı özelliklere göre değişen çok heterojen yapıdadırlar. Genellikle amorf şekillerde olan mikroplastik parçacıklar küresel, silindirik, uç kısımları yuvarlak, oval ve çeşitli boyutlarda lifçikler formunda olabilmektedirler [9]. Mikroplastik parçacıklar optik ve elektron mikroskopları ile incelenebilmekte ayrıca Raman ve FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy- Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi) spektrofotometreleri ile tanımlanmaktadır [10]. Yapılan bu tez çalışmasında yöntem olarak; Mikroplastiklerin moleküllerdeki titreşim frekanslarını ölçerek polimer karakterizasyonunu belirlemek için FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy- Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi) spektrofotometre kullanılmıştır.

Mikroplastikler, birincil kaynaklardan (endüstriyel, tekstil, kişisel bakım aşındırıcı veya farmasötik ürünler) ve ikincil kaynaklardan (tarımsal malç gibi büyük plastik parçalarının parçalanması, günlük atık) farklı şekillerde, doğrudan veya dolaylı olarak çevreye salınmaktadır [11,12]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda mikroplastiklerin su yüzeylerinde, deniz ve akarsu sedimanlarında, toprakta, tatlı su ekosistemlerinde hatta kutuplarda bile bulunduğunu göstermiştir. Mikroplastiklerin doğrudan ya da dolaylı olarak Akdeniz'e salınması deniz ekosisteminde ekolojik bozukluklara neden olmaktadır. Dolayısıyla mikroplastiklerin Akdeniz Havzasını tehdit eden başlıca kirletici kaynaklardandır.

“Sucul alanlardaki mikroplastik türleri fiber, polyester ve naylon şeklinde olabilmektedir. Naylon, farklı formüllerde olmasının yanı sıra sanayileşme ile beraber kullanılan öncelikli plastiktir. Plastikler, polietilen yapıdadır ve sadece karbon ve hidrojen atomlarından oluşmaktadırlar. Naylon ise, karbon, hidrojen ve azot atomlarından oluşmaktadır. Günlük hayatımızın her alanında yer almaktadır. Mol ağırlıklarının fazla olması ve biyolojik olarak parçalanamamaları sebebiyle doğada kalıcıdır. Mikroplastikler su ortamlarında küçük parçacıklar halinde bulunduklarından, suda yaşayan organizmalar tarafından kolayca alınarak canlıların dokularında, organlarında birikmekte ve canlıları olumsuz etkilemektedir [13]. Değişik yapıda bulunan plastik parçalarını tüketen canlılar yaşamlarını kaybetmektedir [14,15].

Her yıl yüz binlerce ton mikroplastik denizlere verilmektedir. Avrupa da mikroplastiklerin denizlere verilmesi sorununda ciddi oranda pay sahibidir. Bu durum sonucunda plastiklerin çoğu göçünü Akdeniz'de tamamlamaktadır. Birçok ülkeye kıyısı olan Akdeniz Havzası mikroplastiklerden kaynaklı kirliliğin etkisiyle tehdit altındadır [16]. Mikroplastikler, atık su arıtma tesisleri tarafından etkin bir şekilde uzaklaştırılmazlar [17]. Sonuç olarak arıtımı tamamlanan atık suyun deşarjı Akdeniz'e veya kentsel tatlı su ekosistemlerine yani akarsulara tahliye edilmektedir. Nüfus yoğunluğu yüksek olan ve endüstriyel faaliyetlerin aktif olduğu alanlarda özellikle nehirler yoluyla denizlere plastik salınımı gerçekleşmektedir. Nehir sistemleri üzerinde sınırlı sayıda yapılan çalışmalarda, nehirlerin toplam plastik yükünün %80'ini okyanusa taşıdığı bilinmektedir [18]. Nehirlerden okyanuslara giden yıllık plastik atık miktarının son zamanlarda 0,8-2,7 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir [19].

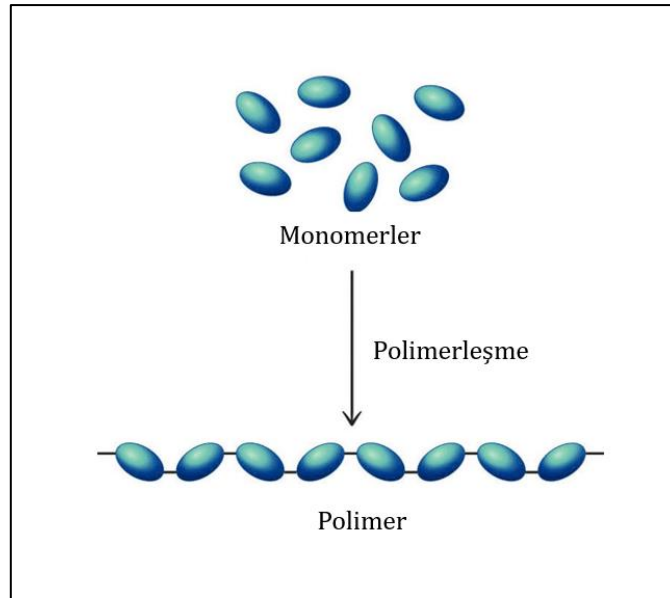
Mikroplastik kirlilik ile ilgili çalışmaların sadece %13'ü tatlı su ortamlarında gerçekleştirilmiş ve bunların sınırlı bir kısmı Mersin gibi yoğun nüfuslu şehirlerde kentsel akarsularda yapılmıştır [20]. Mersin Körfezi; büyük limanı, serbest bölgesi, yerli turist potansiyeli ve 1,8 milyon nüfusa sahip Mersin şehri nedeniyle önemli bir kirlilik yükü altındadır. Akdeniz'in doğu ucunda yer alan Mersin Körfezi de mikroplastik kirliliğinden nasibini almaktadır [21]. Mersin'de atık su arıtma tesisinden [22], sellerden [21] ve karasularından [23] Akdeniz'e giren mikroplastik miktarını belirleyen birkaç çalışma yapılmıştır. Ancak Mersin nehirleri ve küçük akarsulardaki mikroplastik seviyesi henüz araştırılmamıştır. Bu nedenle, mevcut araştırmanın amacı hem Göksu nehrinde hem de Mersin Körfezi'ne dökülen daha küçük akarsularda mikroplastiklerin miktarlarını, morfolojisini ve kimyasal özelliklerini değerlendirmektir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

### 2.1. Plastikler

“Plastik” terimi ilk olarak 1960’larda ortaya çıkmıştır. Kalıplanabilen veya şekillendirilebilen maddeleri tanımlamak için kullanılmıştır. Eski Yunancada *plastikos* kelimesinden, kalıplama veya şekillendirme ile Latince *plasticus* terimlerinden türemiştir. Plastik teriminin modern kullanımı ilk olarak 1909’da Leo Hendrick Baekeland tarafından icat edilmiştir [24].

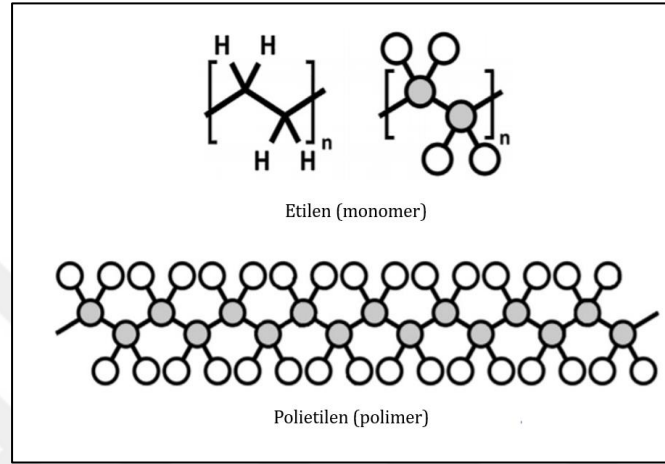
Günümüzde plastik, çok çeşitli malzemeleri tanımlamak için kullanılan genel bir terim olarak kullanılmaktadır [24]. Plastikler, polimer (makro molekül) adı verilen büyük zincir benzeri moleküllerden oluşmaktadır. Bir polimer zincirindeki her bir molekül tek bir birim olarak kabul edilmektedir. Polimer zincirlerindeki tekli bu birimler “monomer” olarak adlandırılmaktadır. Monomerler birleşerek polimerleri oluştururlar. (Şekil 2.1) [25]. Bu tür moleküler düzenlemeye sahip maddeler “polimer” olarak adlandırılmaktadır. Makro moleküllerin varlığı ve polimer olarak nitelendirilmesi, ilk olarak 1920’lerde Alman Kimyager Hermann Staudinger tarafından kanıtlanmıştır [24].



Şekil 0.1 Polimerleşme [26].

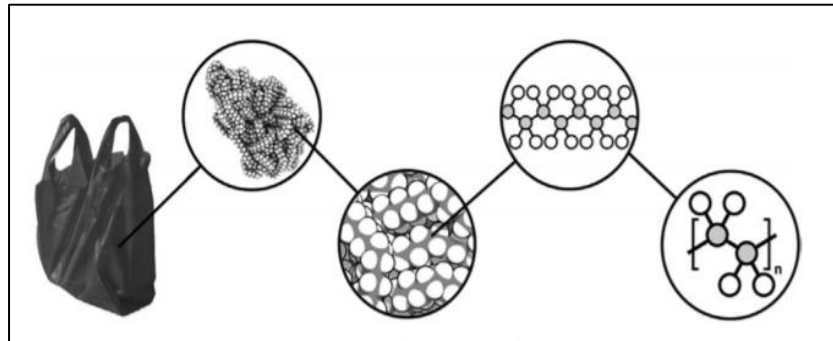
Etilen (monomer) polimerize edildiğinde, plastik polietileni oluşturduğu (Şekil 2.2) görülmektedir [24]. Polimerleşme sonucu oluşan büyük moleküler zincirler, kalıplanarak ve şekillendirilerek katı nesneler oluşturmaktadır (Şekil 2.3).

Polietilenden oluşan torba aslında, karışık dallı polimer zincirlerinin amorf kütesinden oluşmaktadır. Birleşen zincirlerin her biri sırayla, birçok tekrar eden etilen monomerinden oluşmaktadır [24].



**Şekil 0.2** Etilenin polimerize edilmesiyle oluşan polietilen [24].

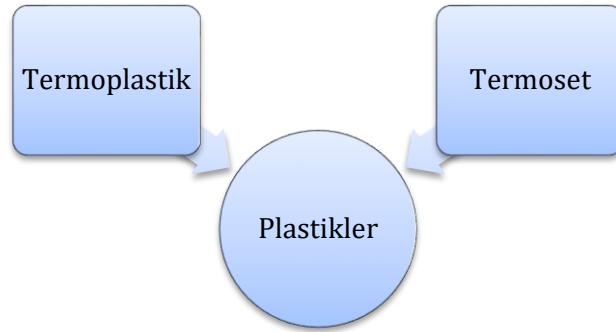
Bu nedenle, tüm plastikler polimerlerdir ve polimerler, birçok tekrar eden monomerin uzun zincirleridir. Tipik olarak, ticari plastiklerde, plastik türüne bağlı olarak zincir başına 10.000 ila 100.000.000 arasında monomer şeklinde oluşmaktadır. Çoğu zaman, bir polimerin her bir monomeri, dizideki bir sonraki monomer ile aynı dizilimi göstermektedir. Buna "homopolimer" adı verilmektedir. Bazı polimerler ise farklı monomerlerden oluşarak "kopolimer" adını almaktadır [24].



**Şekil 0.3** Etilen monomerlerinin bir araya gelerek oluşturduğu büyük polimer zincirleri sonucu oluşan polietilen torba [24].

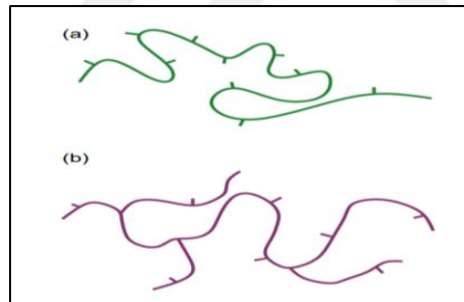
### 2.1.1. Plastik Türleri

Plastikler, sıcaklıkla beraber erimeyen (termoset) ve eriyen (termoplastik) şeklinde iki şekilde sınıflandırılmaktadır [27].



**Şekil 0.4** Plastik türleri [27].

Moleküller arası zayıf Van Der Waals kuvvetleriyle birbirine bağlanmış ya da düzgün makro molekül sıralamasından meydana gelen plastiklere termoplastik denilmektedir (Şekil 2.5) [28,29].

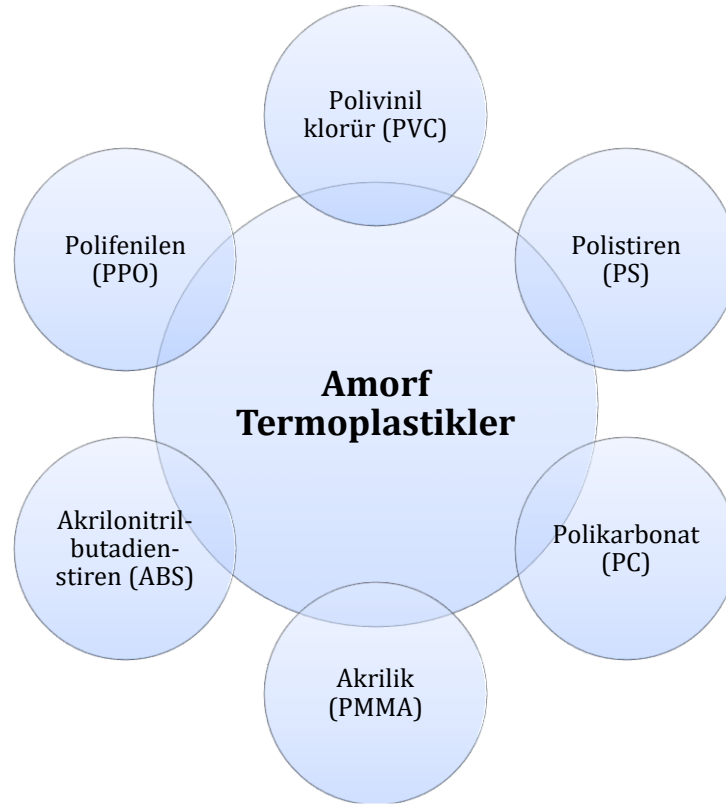


**Şekil 0.5** Termoplastiklerin molekül zincir yapıları [29].

Termoplastik malzeme ısıtıldığında, moleküller arası kuvvetler zayıflayarak yumuşak ve esnek bir hale dönüşmektedir. Termoplastik malzeme soğumaya bırakıldığında tekrar katılaşarak eski formuna geri dönmektedir [29]. Isıyla yumuşatma ve soğutma ile katılaşma döngüsü çoğu işleme yönteminin temeli olması açısından büyük bir avantajdır [29]. Termoplastiklerin ısıya duyarlı olmaları ise dezavantajdır.

Termoplastikler moleküller iki şekilde gruplandırılırlar: Amorf Polimerler ve Kısmi Kristal Yapılı Polimerler (Semi-Crystalline) [29]. Amorf polimerler rastgele dizilmiş molekül zincirinden meydana gelmektedir [30]. Belli bir erime sıcaklığı yoktur. Sıcaklık arttıkça katıdan

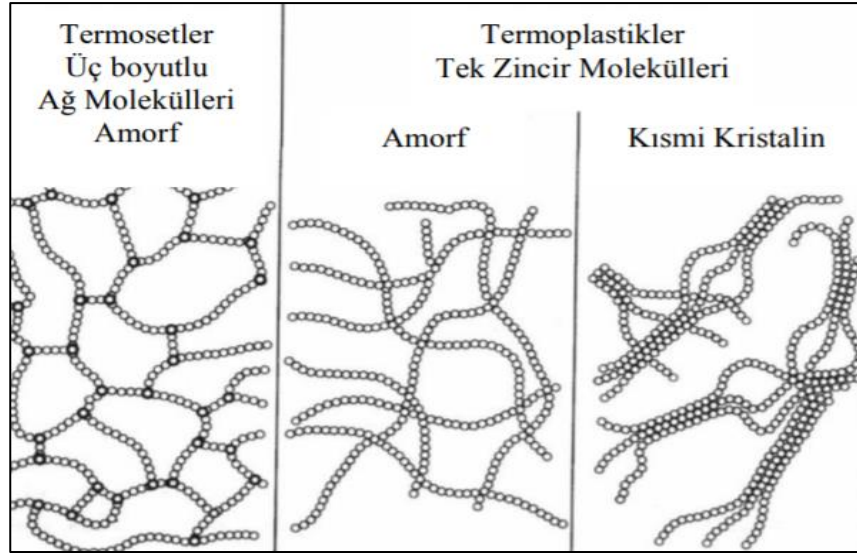
sıvı faza geçmektedir. Sıcaklık artırıldıkça daha da yumuşayarak istenilen şekle uygun hale gelmektedir. Amorf malzemelerin sıcaklıkla birlikte yapıları belirgin değişiklik göstermez [30]. Bunlar lifli içerikli bir katkı malzemesi ile desteklenmemiş ise (Cam, mika, asbest, vb. takviye katkıları yok ise), kalıplaşma ile ortaya çıkan oranlar %0,3-0,9 arasında değişmektedir. Eklenen katkı malzemeleri bu oranları azaltmaktadır [30]. Termoplastik türlerinin örnekleri (Şekil 2.6) ve (Şekil 2.8) gösterilmiştir.



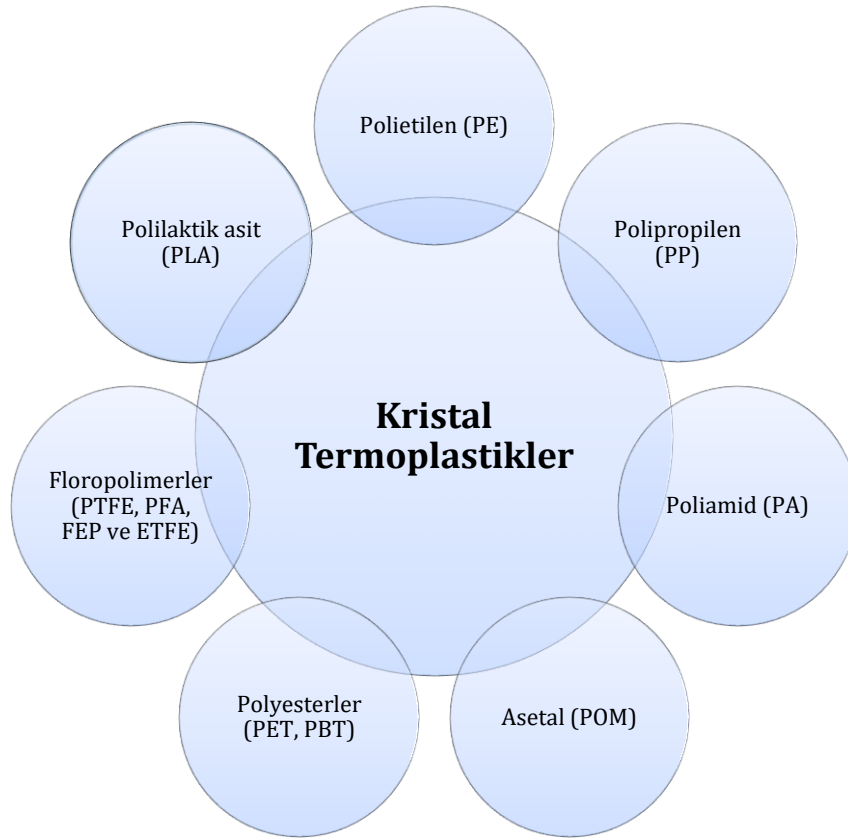
**Şekil 0.6** Amorf termoplastik örnekleri.

Kısmi kristal yapılı polimerler ise etrafı amorf malzeme ile çevrilmiş kristal yapıdan oluşmaktadır. Kristal yapılı bölgelerde polimer zinciri sıkı, düzenli, sıralı bir yapıdadır (Şekil 2.7) [30]. Kristalleşebilen plastikler kristal miktarı arttıkça, yoğunluğu azalır ve bu durumda malzemenin dayanıklılığı artmaktadır [31].



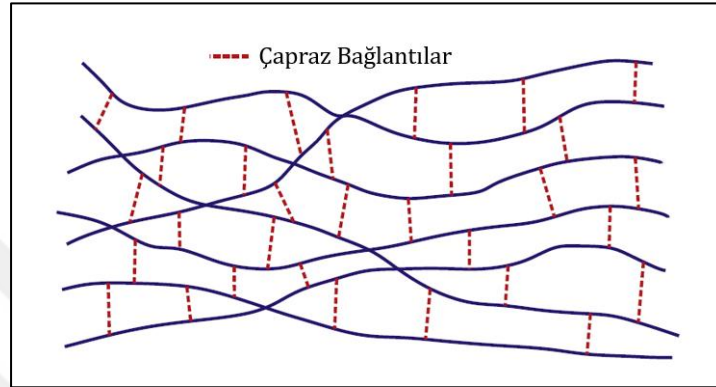


**Şekil 0.7** Plastiklerin makro molekül yapılarının amorf ve kısmi kristal formunun yaklaşık  $1 \times 10^6$  kat büyütülmüş gösterimi [32].



**Şekil 0.8** Kristal Termoplastik Örnekleri

Termoset plastikler ise oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta çapraz bağlı yapıya evrilebilen anlamındadır. Bu plastiklerde polimer zincirleri arasında çapraz bağlar bulunduğu için söz konusu plastikler her sıcaklıkta katı haldedirler (Şekil 2.9) [29]. Termoset plastiklere verilebilecek örnekler; Fenolik reçineler, aminoasitler, alkitler, doymamış asit poliesterleri, epoksi reçineler, poliüretanlar ve silikonlardır [30].



**Şekil 0.9** Tipik bir termosetin çapraz bağlı yapısı [31].

### 2.1.2. Plastiklerin Genel Özellikleri

Plastikler; hidrokarbonlardan yararlanım sonucunda meydana gelmektedirler. Molekül ağırlığı fazla olan polimerlerden oluşmaktadırlar [31]. Yüksek sıcaklıkla birlikte erimeden şekillendirilebilmektedirler. Düşük sıcaklıklarda ise yeniden sertleşebilmektedirler. Plastiklerin polimer yapıda olmaları bu duruma neden olmaktadır [25]. Plastikler; hafif, esnek, kolay işlenebilir, yalıtkan, korozyona karşı dayanıklı ve düşük maliyetli olmaları sebebi ile birçok endüstri için vazgeçilmez olmakta ve her alanda kullanılabilmektedir [33,10].

Sıcaklık, basınç ve bazı kimyasal maddelerin etkileşimiyle birlikte plastiklerin polimerizasyon aşaması başlamaktadır. Monomerler, peşpeşe (zincir şeklinde) bağlanarak resinleri meydana getirirler. Etilenin, polietilene, propilenin, polipropilene, stirenin, polistirene dönüştüğü bu süreç ile polimer veya plastikler meydana gelmektedir. Yoğunluğu fazla olan polimerlerden kaplar, boru, tank vs. yapım aşamalarında, yoğunluğu az olanlardan ise film, ambalaj, poşet vs. yapım aşamalarında yararlanılmaktadır. Bazı katkı maddeleri eklenerek plastiklerde renk değişimi mümkün olmaktadır. Eklenen katkı maddeleri plastiklerin %1'lik kısmını oluşturduğu takdirde çeşitli plastiklerde renk oranı %10'lara kadar çıkabilmektedir.

Plastiklerin içeriğindeki söz konusu katkı maddeleri genel olarak ağır metaller ve toksik kimyasallar ihtiva etmektedir [34].

Kendine has bir biçimi olmayan plastiklerin katıdan sıvıya geçişleri yavaş olmakla birlikte sıcaklığa karşı dirençleri de oldukça düşüktür. Buna rağmen plastikler çevresel, atmosferik ve kimyasal etkilere karşı dirençlidir. Plastikler tekrar tekrar kullanıma uygun yapıda olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır [35].

### 2.1.3. Plastiklerin Kullanım Alanları

Günümüzde, insan hayatının vazgeçilmez parçası haline gelen plastiğin birçok farklı sektörde geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Düşük maliyetli ve kolay işlenebilir ürünler olmaları sebebiyle, teknolojik çalışmalarda önemli oranda tercih edilmektedir. Düşük maliyetli olan plastik ürünler; ev, mutfak ve büro eşyaları, inşaat malzemeleri, elektronik ürünler, bir çok alanda kullanılmaktadır [27,35]. Plastiklerin türlerine göre kullanım alanları (Tablo 2.1) verilmiştir.

**Tablo 0.1** Plastiklerin türlerine göre kullanım alanları [33,36].

| Plastik Adı                                                                  | Kullanım Alanları                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Akrilonitril bütadien stiren (ABS)                                           | Elektronik aletler, otomotiv, mutfak gereçleri.                                                                                           |
| Akrilonitril stiren akrilat (ASA)                                            | Otomotiv, elektrik/elektronik uygulamaları, bahçe ekipmanları aletleri, ev eşyaları.                                                      |
| Polyamid- Nylon (PA) 1.02-1.04 g/cm <sup>3</sup>                             | Fiber, diş fırçası kılları, misina.                                                                                                       |
| Polibütilen tereftalat (PBT) 1.31 g/cm <sup>3</sup>                          | Tekstil, halı.                                                                                                                            |
| Polikarbonat (PC) 1.20-1.22 g/cm <sup>3</sup>                                | Tıbbi aletler, su şişesi, kapak, bardak, çatal, mutfak gereçleri, otomotiv, CD, gözlük vb. imalatı.                                       |
| Polietilen (PE) 0.917-0.965 g/cm <sup>3</sup>                                | Paketleme, plastik mutfak ürünleri, otomotiv sanayi, altyapı malzemeleri, beyaz eşya ve makina parçaları, oyuncak ve tekstil.             |
| Polietilen-yüksek yoğunluklu (PE-HD, HDPE) 0.94 – 0.96 g/cm <sup>3</sup>     | Temizlik maddeleri, çamaşır deterjanı ambalajı, bazı poşetler, şampuan ve süt şişeleri, borular, tanklar, varil, kablo yalıtımı, oyuncak. |
| Polietilen-düşük yoğunluklu (PE-LD, LDPE) 0.91 – 0.93 g/cm <sup>3</sup>      | Şişe, dondurulmuş gıda, ekmek ve market poşetleri.                                                                                        |
| Polietilen-doğrusal düşük yoğunluklu (PE-LLD)                                | Yaygın kullanım.                                                                                                                          |
| Polietilen tereftalat (PET, PETE) 1.37-1.45 g/cm <sup>3</sup>                | Pet şişe ismi bundan gelir. Şeffaftır. Su, meşrubat ve yemeklik yağ.                                                                      |
| Polimetil akrilat (PMA) 1.22 g/cm <sup>3</sup>                               | Kaplama malzemeleri, vernikler ve yapıştırıcılar                                                                                          |
| Polimetil metakrilat, Akrilik, Pleksiglas (PMMA) 1.15-1.19 g/cm <sup>3</sup> | Otomotiv farı, cihaz kapakları, levha, optik ekipmanlar, boya, elyaf, iplik ve ev dekorasyon ürünleri.                                    |
| Polyester 1.24-2.3 g/cm <sup>3</sup>                                         | Tekstil endüstrisi.                                                                                                                       |
| Polioksümetilen, Asetal (POM) 1.41-1.61 g/cm <sup>3</sup>                    | Elektrik ve sıhhi tesisat bağlantıları.                                                                                                   |
| Polipropilen (PP) 0.83-0.90 g/cm <sup>3</sup>                                | Otomobil yan sanayi, bahçe mobilyaları, yiyecek kabı, çocuk bezleri, biberon vs.                                                          |

**Tablo 2.1.** (devamı)

| <b>Plastik Adı</b>                                 | <b>Kullanım Alanları</b>                                                                                                          |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Polistiren (PS) 0.96–1.05 g/cm <sup>3</sup>        | Gıda paketlenme, elektronik ve beyaz eşya, film, levha, kapaklar, şişe, köpüklü izolasyon, buzdolabı, çamaşır makinesi parçaları. |
| Politetrafloretilen (Teflon-PTFE)                  | Mutfak gereçleri, kaplar. Polistiren-genleştirilebilir                                                                            |
| (PS-E, EPS)                                        | Elektronik, ambalaj, yalıtım, çatı ve cephe panellerde, dekoratif, döşeme, deponi alanları.                                       |
| Poliüretan (PU, PUR) 1.2 g/cm <sup>3</sup>         | Dolgu köpükleri, ısı yalıtım köpükleri, yüzey kaplamaları, baskı silindirleri.                                                    |
| Polivinil klorid (PVC) 1.16-1.58 g/cm <sup>3</sup> | Döşeme, ev dış cephe kaplaması, borular, streç film, yiyecek kaplama, şişe, bardak, suni deri, kredi kartı, spor malzemeleri.     |
| Poliviniliden klorid (PVDC) 1.63 g/cm <sup>3</sup> | Yiyecek paketlenme, evsel, endüstriyel gereçler. Stiren-akrilonitril                                                              |
| Stiren-akrilonitril (SAN)                          | Mutfak gereçleri, buzdolabı parçaları, raf ayraçları, ışık kapakları, kozmetik ambalajı                                           |

### 2.1.4. Plastik Atıklar

Endüstrinin gelişmesi çevresel olarak büyük miktarlarda atıklar oluşması ile sonuçlanmaktadır. Endüstriyel üretim sonucunda kullanılmış ürünler insan faaliyetleri sonucunda deşarj edilmektedir [37]. Bu atıklar arasında gaz atıkları, su atıkları ve katı atıklar bulunmaktadır [38,39,40]. Plastik atık, endüstriyel gelişmeden kaynaklanan temsili bir atık üründür ve çevreye deşarjı ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır [37]. Şu anda, plastik ürünler insanların günlük yaşamlarının vazgeçilmez bir parçasını oluşturmaktadır [41]. Plastik ürünler; inşaat, sağlık, elektronik bileşenler, tarım, otomotiv ve ambalajlama gibi çeşitli endüstrilerde uygulanmaktadır. Plastik atıklar, dünyadaki çoğu gelişmiş ülkede kentsel katı atıkların önemli bir bölümünü temsil etmektedir [42]. Literatür incelemelerinde tüm dünyada atıkların %60-80 aralığında plastiklerden kaynaklandığı düşünülmektedir [43,44].

Gelişen teknoloji plastiğe olan ilginin artmasına sebep olduğu için plastik sanayisi tarafından üretim artmaktadır. Plastiklerin sağlam, kolay ve ucuz olması kullanım alanını artırmaktadır. Genel olarak bir defalık kullanımdan sonra atık olmaktadır ve dayanıklı olmalarından ötürü doğada uzun süre kalabilmektedir. Sucul ortamlara ulaşan plastikler ise yoğunlukları düşük olduğundan su yüzeyinde kirlilik yaratmaktadır [45].

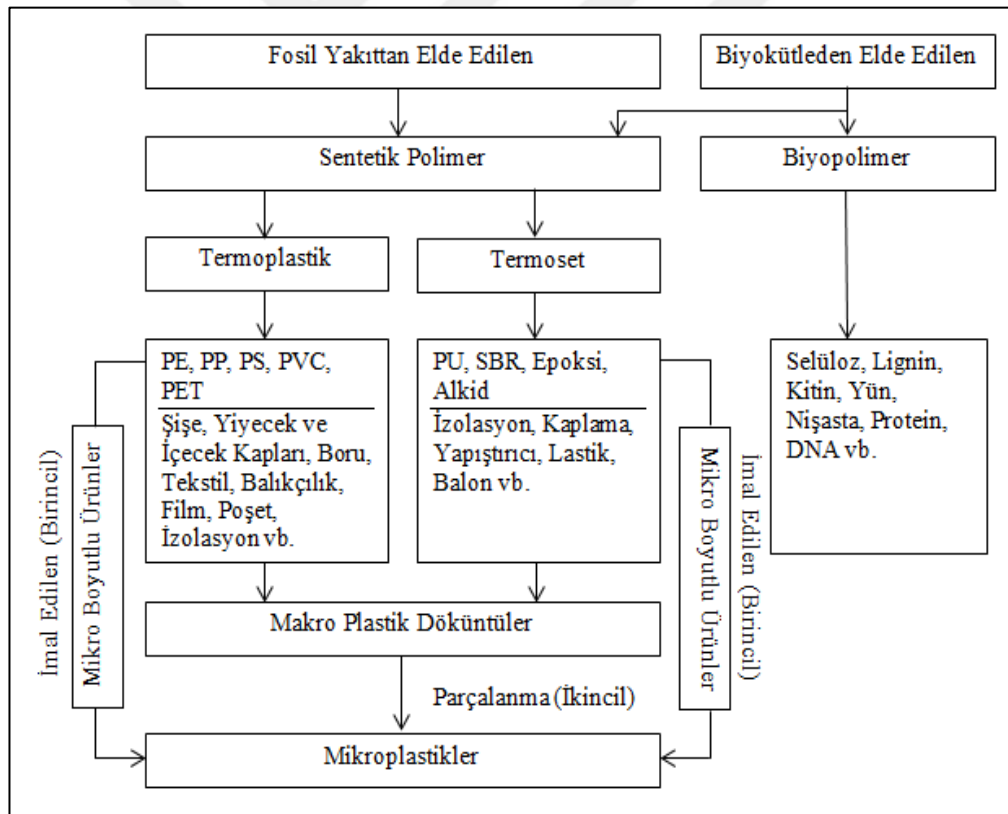
Plastik Endüstrisi Topluluğu (SPI) plastiklerin tanınması maksadıyla 1988 senesinde plastik kodlama ve yeniden kullanım sistemi oluşturmuştur. Yeniden kullanım kodları üçgen şeklinde olmakla birlikte ürünün alt kısmında yer almaktadır [46]. Tablo 2.2’de plastik çeşitlerinde sağlığa zararlı olup/olmadığı gösterilmektedir [47].

**Tablo 0.2** Plastik tanımlama ve geri dönüşüm kodları [46].

| Plastik Kodu                                                                              | Kısaltması  | Plastik Adı                                                            | Morfoloji                                      | Tekrar Kullanım | Geri Dönüşüm                  | Sağlık                                           | Erime Sıcaklığı T <sub>m</sub> (°C) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <br>PET  | PET, PETE   | Polietilen tereftalat                                                  | Kristalleşen Termoplastik                      | Tek kullanım    | Var                           | Zararsızdır.                                     | 250-260 Tg=800 C                    |
| <br>HDPE | PE-HD, HDPE | Polietilen-yüksek yoğunluklu                                           | Kristalleşen Termoplastik                      | Evet            | Var                           | Zararsızdır.                                     | 130                                 |
| <br>PVC  | PVC, V      | Polivinil klorid (Vinil klorür CH <sub>2</sub> = CHCl)                 | Amorf Termoplastik                             | Tek kullanım    | Az bir kısmı dönüştürülebilir | Zararlıdır.                                      | Tg=800 C                            |
| <br>LDPE | PE-LD, LDPE | Polietilen-düşük yoğunluklu                                            | Kristalleşen Termoplastik                      | Evet            | Sıklıkla dönüşüm yapılamaz    | Zararsızdır.                                     | 110                                 |
| <br>PP   | PP          | Polipropilen (Propilen CH <sub>3</sub> CH= CH <sub>2</sub> )           | Kristalleşen Termoplastik (Yarı şeffaf, beyaz) | Evet            | Yok                           | Zararsızdır.                                     | 160                                 |
| <br>PS | PS          | Polistiren (Stiren C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH= CH <sub>2</sub> ) | Amorf Termoplastik (renksiz, saydam)           | Tek kullanım    | Dönüşümü yüksek maliyetli     | Zararlıdır.                                      | 240 Tg=70-1150°C                    |
|        |             | Polikarbonat, Akrilik,                                                 | Çeşitli                                        | Tek kullanım    | Yok                           | Etken maddesine göre değişkenlik göstermektedir. | -                                   |

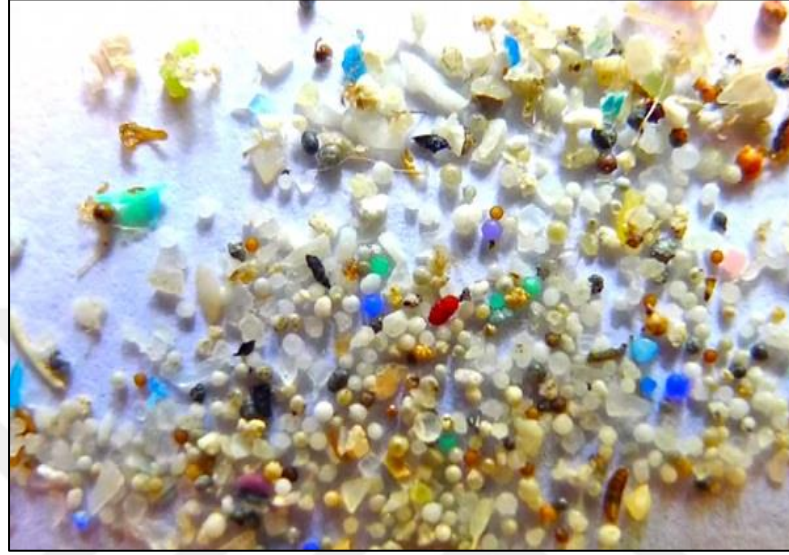
## 2.2. Mikroplastikler

Deniz ortamında (açık deniz ve kıyı sistemleri dahil) plastik ve mikroplastiklerin varlığı ve birikimi giderek artan bir endişe kaynağıdır [48]. Plastik döküntüler çevreye atıldıktan sonra dünyanın her yerindeki deniz habitatlarında dağılarak birikmektedir [49,50,51]. Bu nedenle, plastiklerin neden olduğu çevre kirliliği birçok karmaşık sorunu ortaya çıkarmaktadır [48]. Özellikle deniz organizmaları ve ekosistemler için artan bir tehdit oluşturmaktadır. Açık okyanusta küçük plastik parçaların varlığı ilk olarak 1970'lerde belgelenmiştir [52]. 1987 yılında iki bilim adamının yaptığı yayınlarda 1960'larda kuşlarda plastik parçaları tanımlayan araştırmalar yapılmıştır. Ancak o dönemlerde yapılan çalışmalarda "mikroplastik" teriminin deniz çöprü ile ilgili kullanıldığına dair kesin bir bilgi yoktur [53]. Literatürde mikroplastik terimi ilk olarak 2004 yılında deniz suyu üzerinde araştırma yapan Thompson [54] ve arkadaşlarının araştırmaları sonucunda kullanılmıştır. Şekil 2.10'da mikroplastiklerin meydana gelme aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 0.10 Mikroplastiklerin meydana gelme aşamaları [55].

Plastikler, mikrobiyal etkilere, ultraviyole radyasyona (UV), hidrolize, mekanik aşınmaya, toprak erozyonu ve hava koşulları gibi etkilere maruz kalmaktadırlar. Uzun süreli maruz kalmalarının sonucu olarak, plastikler aşamalı olarak mikroplastiklere hatta sayısız daha küçük plastik partiküllere parçalanmaktadırlar (Şekil 2.11). Mikroplastikler genellikle çapı 5 mm'den küçük sentetik polimer partikülleri olarak tanımlanmaktadır [55].



**Şekil 0.11** Mikroplastik Parçacıkları [56].

Yapılan araştırmalar, bu mikroskobik plastik parçacıklar, dünya genelinde sucul ekosistemlerin çeşitli matrislerinde mevcut olduğunu vurgulamışlardır. Tropikal bölgelerden dünyanın kutup bölgelerine kadar, çökelti ve suda yaşayan canlıların da farklı konsantrasyonlarda mikroplastiklerle kontamine oldukları bulunmuştur.

### **2.2.1. Mikroplastiklerin Kaynakları**

Günümüzde denizlere okyanuslarda bulunan mikroplastiklerin %20'si direkt gelmektedir. Kalan %80'i ise kara kökenli kirleticilerden oluşmaktadır. Deniz ve sahillerde bulunan atıkların %75'inden fazlası plastiklerden meydana gelmektedir. Küçülerek çok minik parçalar haline gelebilen plastikler; nehirler, rüzgâr vb. etkisiyle yer değiştirebilmektedirler. Sucul ortamlarda önemli miktarlarda mikroplastikler tespit edilebilmektedir. Literatür araştırmalarında evlerde kullanılan çamaşır ve bulaşık makineleri ciddi şekilde mikroplastik çıkışına neden olmaktadır. Cilt temizleme ürünleri de önemli ölçüde dikkat gerektiren kimyasallar içermektedir [57]. Mikroboncuk içeren bu ürünlerin kullanımı ile birlikte çok sayıda mikroplastik sucul ortamlara taşınmaktadır. Gelişmiş bir teknoloji sistemi olmayan atıksu arıtma tesislerinde söz konusu mikro boncukların arıtımı yapılamamaktadır. Dolayısı ile bu

mikro boncuklar arıtılan su ile sucul ortamlara taşınmaktadır. Böylelikle suda yaşayan canlı kaynaklara ciddi zararlar verebilmektedir [58].

Tüm dünyada katı atıkların %80'inden daha çoğu plastik atıklardır. Plastiklerin çevrede çözünme süreci farklılık gösterebilir hem kimyasal hem de fiziksel sebeplerle partiküllere ayrılıp 5 mm'den de küçük parçalara dönüşerek mikroplastikler meydana getirmektedir [57,59]. Karasal çöplerin parçalanması dışında sucul ortamlardaki, ciddi derecede mikroplastik kaynağı atıksu arıtma tesisleridir [57]. Eski tip atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik giderimi yapılamamaktadır. Elektroliz ve filtrasyon gibi gelişmiş teknolojilerin kullanıldığı sistemlerde bunların arıtımı yapılabilmektedir. Mikroplastiklerin ekosistemlerdeki kirlilik seviyesinin takip edilmesi ve zararlı çevresel etkilerinin araştırılması Avrupa Birliği müktesebatında yasal bir zorunluluk olduğundan ülkemizde de mikroplastik seviyelerinin takibi yapılmakta, bu konuda akademik çalışmalar yürütülmektedir. 2014 senesinde dünya denizlerinde su yüzeyinde bulunan plastik miktarının 5,25 trilyon olduğu, bunun 4.85 trilyonunun mikroplastiklerden meydana geldiği tespit edilmiştir. ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, 2016 yılında Doğu Akdeniz kıyılarında yaptığı bilimsel çalışmada, 1 metreküp deniz suyunda 0.29-21.23 mikroplastik parçacığı tespit etmiştir. Deniz dibinde bu 1 m<sup>3</sup> kumda 100-560 mikroplastik parçacık gözlemlenmiştir [59]. Deniz suyundaki ve dibindeki mikroplastiklerde en çok gözlenen tipler sırasıyla fiber, polyester ve naylondur [57,59].

Mikroplastikler sanayi ve zirai faaliyetler, evsel atıklar gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanabilmektedir. Bunların ne tür sorun yaratacağı hangi kaynaktan üretildiğiyle alakalıdır [57]. Atıkların denize taşınması iki biçimde meydana gelmektedir. Birincisi ticari balıkçılık faaliyetleri illegal katı atık deşarjı yapılan denizcilik faaliyetleri sebep olmaktadır. İkinci olarak kara kökenli kirleticilerin (akarsu, yağmur suyu, rüzgar, atık su deşarjları vb.) denizlere ulaşmasıdır [47]. Kalabalık nüfuslu yerlerdeki denizlerde tespit edilen plastiğin çoğunluğunun kara kökenli olduğu değerlendirilmektedir [43]. Sucul alanlara gelen mikroplastikler yoğunluk, boyut, şekil ve kimyasal yapıları açısından değişiklik göstermektedirler. Kişisel bakım ürünlerinde bulunan mikro boncuklar denizlerdeki birincil mikroplastik kaynağıdır [60]. Denize ulaşan ya da direkt bırakılan plastikler açık denizlere sürüklenerek senelerce güneş, bakteriler gibi farklı etkenlerle parçalanarak ikincil mikroplastiklere neden olmaktadır [61].

Mikroplastiklerin kaynakları birincil ve ikincil mikroplastikler olarak aşağıdaki iki alt başlık altında verilmiştir.



### **2.2.1.1. Birincil Mikroplastikler**

Kişisel bakım ve temizlik malzemelerinde bulunan mikro boncuklar birincil mikroplastikler olarak adlandırılırlar. Mikro boncuklar, saç bakım ürünlerinde ağız bakım ürünlerinde, makyaj malzemelerinde vb. bulunabilmektedir [57]. Yapılan çalışmalar özellikle kozmetik ürünlerde “mikro boncuk” olarak tanımlanan plastiklerin yoğun bir şekilde bulunduğunu ve atık su arıtma tesislerine gelen bu mikroplastiklerin tesisteki mevcut arıtma kademelerinde giderilemeden alıcı ortamlara deşarj edildiğini göstermektedir [62].

5 mm’den daha küçük boyutta olan ve “pelet” olarak isimlendirilen plastiklerin üretiminde kullanılan mikroplastikler de hem üretim hem taşınma esnalarında sucul ortamlara dökülebilmekte ve böylelikle birincil mikroplastik kaynakları arasında yer almaktadır[53,62].

Endüstri alanında kullanılmak maksadıyla üretilmekte olan akrilik, melamin ya da polyester gibi hijyen ürünleri de birincil mikroplastik kaynakları arasında yer [63].

### **2.2.1.2. İkincil Mikroplastikler**

Hem denizlerde hem kara parçalarında bulunan mevcut plastiklerin küçük parçalara ayrılması ikincil mikroplastikleri meydana getirmektedir. Söz konusu parçalara ayrılma durumu ısı, güneş, rüzgar vb. faktörlere bağlı olarak plastiğin şekli, sertliği gibi özelliklerinden de etkilenmektedir. [53,60]. Plastiklerin denizlerdeki mikroorganizmalardan kaynaklı parçalara ayrılma ve bozulma durumu daha uzun süre zarfında meydana gelmektedir [64].

### **2.2.2. Mikroplastiklerin Fiziksel Özellikleri**

Fiziksel özellikler, mikroplastiklerin sucul ortamdaki morfolojisini ve hareketliliğini etkilemektedir. Ayrıca mikroplastiklerin sucul ortamdaki dağılımı değiştirerek biyoyararlanımı etkilemektedir. Doğal maddelere benzer bir görünüm sunarak organizmada farklı boyutlarda fiziksel hasara neden olmaktadır. En çok incelenen fiziksel özellikler, mikroplastiklerin boyutunu, rengini, yoğunluğunu ve şeklini içerir ve özelliklerin her biri, olumsuz etkilere farklı şekilde katkı sağlamaktadır [65].

### 2.2.2.1. Mikroplastiklerin Boyutları ve Sınıflandırılması

Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (2008/56/EC), denizlerde bulunan katı atıkları boyutları açısından makro ve mikro (5mm uzunluğunun üstünde veya altında) olarak tanımlamaktadır [66].

Avrupa Birliği tarafından denizlerde bulunan mikroplastiklerin tespit edilmesinde bir standart sağlanması amacıyla Avrupa Denizlerinde Deniz Çöpleri için İzleme Kılavuzu oluşturulmuş ve plastikler (> 25mm), mezoplastikler (5 ila 25 mm), mikroplastikler (1 ila 5mm), nanoplastikler (20 µm ila 1 mm), olarak boyutları belirlenmiştir. Plastiklerin boyutlarına göre sınıflandırılması Tablo 2.3’de verilmiştir [64,67,68].

**Tablo 0.3** Plastiklerin boyutlarına göre sınıflandırılması [66].

| Plastiklerin Boyutlarına Göre Sınıflandırılması |                       |
|-------------------------------------------------|-----------------------|
| Megaplastikler                                  | >1 m                  |
| Makroplastikler                                 | <1m                   |
| Mezoplastikler                                  | <2.5cm (25mm)         |
| Mikroplastikler                                 | 1mm – 5 mm            |
| Nanoplastikler                                  | 1mm – 20 µm (0.02 mm) |

Laboratuvarlarda sıklıkla FTIR spektrumu yardımı ile belirlenen mikroplastiklerin alt sınır uzunluğu 20 µm olarak belirlenmiştir. Ama uluslararası olarak standartize edilmiş bir mikroplastik tanımı bulunmadığı bildirilmektedir [67]. Ulusal ve uluslararası araştırmalar yapan akademisyenler tarafından; mikroplastikler 5 mm' den küçük, yüksek polimer içerikli sentetik malzeme ve suda çözünmeyen, parçalanamayan katı parçacıklar olarak tanımlanmıştır [67]. Plastiklerin boyutlarına göre sınıflandırılması Tablo 2.3’de verilmiştir [64,67,68].

### 2.2.2.2. Mikroplastiklerin Şekilleri

Mikroplastiklerin şekli, genel olarak düzenli ve düzensiz şekillere bölünmüş, hava koşullarından etkilenen kritik bir morfolojik özelliktedir. Daha spesifik olarak, mikroplastikler küreler, lifler, parçalar, peletler, filmler ve pullar olarak da sınıflandırılabilir (Şekil 2.12).



**Şekil 0.12** Mikroplastiklerin Şekilleri [66].

Fiziksel özellikler, mikroplastiklerin sucul ortamdaki morfolojisini ve hareketliliğini etkilemektedir. Mikroplastiklerin su ortamlarındaki çökme hızı, şekillerindeki değişkenliğe bağlı olarak gerçekleşmektedir [69]. Plastik lifler ve ince filmler, aynı yoğunluk ve hacme sahip olsa bile küresel plastik parçacıklara göre daha yüksek kaldırma kuvveti ve daha düşük çökme hızı göstermektedir [70,71]. Basitleştirilmiş fiziksel modellere ve geometrik değerlendirmelere dayanarak, polistiren mikroplastiklerin su ortamındaki taşıma süreleri, köpüklü polistiren <polistiren lifler <küresel polistiren parçacıklarının sırasını takip etmektedir [72].

### 2.2.2.3. Mikroplastiklerin Yoğunlukları

Yoğunluk, mikroplastiklerin yörüngesini, batma hızını ve uzamsal dağılımını etkileyerek mikroplastiklerin dağılımını ve hedefini etkilemektedir. Bu durum farklı biyota ve habitatlarda mikroplastik dağılımını etkilemektedir [68]. Örneğin, düşük yoğunluklu plastiklerin yüzey suyu üzerine yayılması, alglerin fotosentezini ve zooplanktonun solunumunu engellemektedir [73]. Ayrıca düşük yoğunluklu mikroplastikler, toksisiteyi doğrudan etkileyen yüksek yoğunluklu mikroplastiklerden daha yüksek difüzyon katsayılarına sahip olma eğilimindedir [68].

### 2.2.2.4. Mikroplastiklerin Renkleri

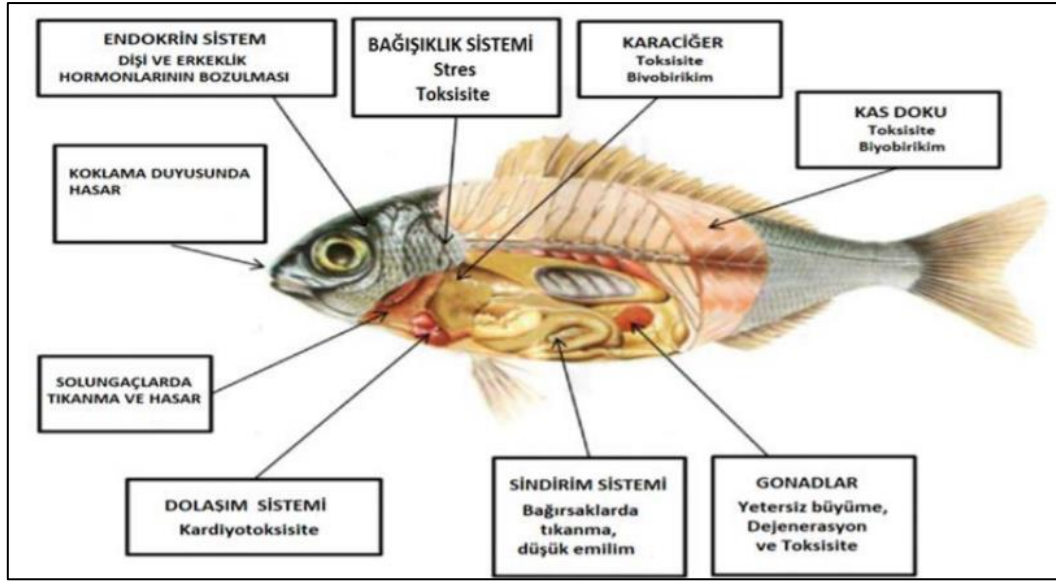
Mikroplastikler renklerini genellikle ana plastik ürününün renginden almaktadır. Ama çevresel, atmosferik şartlar plastiğin rengini etkilemektedir. Sucul ortamlardaki canlıların avlarıyla aynı/benzer renkte olan mikroplastikleri tüketmeye daha eğilimli oldukları

gözlenmiştir. Bu sebeple gerçekleştirilen bilimsel çalışmalarda sucul ortamlarda yaşayan canlıların hangi mikroplastikleri tükettiklerini anlayabilmek için mikroplastiklerin renklerine bakılmaktadır. Mikroplastikler genel olarak şeffaf, kristalin, beyaz, krem, kırmızı, turuncu, mavi, mor, opak, saydam, siyah, gri, kahverengi, yeşil, pembe, ten rengi ve sarı vb. renklerde bulunmaktadır [66].

### **2.2.3. Mikroplastiklerin Çevreye Etkileri**

Plastik polimerlerin toksik değerleri çeşitlilik gösterebilmektedir [9]. Bu nedenle mikroplastiklerin olumsuz etkileri plastiğin polimer türüne, kimyasal bileşimine ve plastik afiniteye sahip kimyasal kirleticilerin emilimine de bağlıdır [74]. Mikroplastiklerin içeriğinde bulunan kimyasal maddeler ve yüzeyine tutunan kalıcı organik maddeler insan vücuduna girdiğinde sağlık açısından risk oluşturmaktadır [75]. Polisiklik aromatik hidrokarbonlar, organoklorlu pestisitler ve poliklorlu bifeniller gibi hidrofobik organik kirletici maddeler ve kadmiyum, çinko, nikel ve kurşun gibi ağır metaller plastiklerin hidrofobik kimyasal özellikleri sebebiyle parçacıkların dış yüzeyine tutunabilmektedir [76]. Rist ve arkadaşları [75], 2018 yılında yaptıkları bir çalışmada, polimerlerin büyük çoğunluğunun biyolojik açıdan parçalara ayrılmayan maddeler olduğu bildirmişlerdir. Aynı zamanda, plastiklerin üretim aşamasında kullanılan bazı monomerler ve oligomerlerin kullanım esnasında ortama sızıp daha sonra canlıların bünyesine girdiği belirtilmiştir [75].

Bazı canlılar mikroplastiklere maruz kaldıklarında sindirim, boşaltım, üreme ve büyüme sistemlerinde önemli sorunlarla karşılaşabilmektedir [58]. Mikroplastiklerin balık üzerindeki başlıca etkileri Şekil 2.13' de gösterilmiştir [9].



**Şekil 0.13** Mikroplastiklerin balık üzerindeki başlıca etkileri [9].

Mikroplastiklerin katkı malzemesi içermeleri [77], toksik kirleticileri adsorplayabilmeleri [78,76], canlılar tarafından besin zannedilerek yutulabilmeleri [76,80], arıtma tesislerinde tamamıyla giderilememeleri [81], atmosferde [82] ve su kaynaklarında kolayca taşınmaları [83], ve doğada zor yok olmaları [84], gibi özelliklerinden dolayı çevre ve sağlık açısından büyük tehlike arz etmektedir.

#### 2.2.4. Mikroplastiklerin Çevresel Ortamda Taşınımı

Plastikler çevrede durağan halde kalmamakla birlikte karadan nehir/akarsulara ve nehir/akarsulardan da denizlere ulaşabilmektedir [66]. Mikroplastiklerin denize taşınmasında nehirler havadan taşınmasına ise rüzgarlar neden olabilmektedir [85]. İnsan kaynaklı olan bu yapının insan dahi olmayan suçlu alanlarda mikroplastiklerle karşılaşılmasına neden olabilmektedir [66]. Dünya genelinde yapılan çalışmalarda yüzey tatlı su ekosistemlerinde, atmosferde ve toprakta mikroplastiklerin varlığı doğrulanmıştır. Yapılan çalışmalarda mikroplastiklerin su yüzeyinde, su sütununda ya da sedimanlardaki konsantrasyonları bulundukları bölgenin coğrafi konumu, rüzgârı ve akarsu akış hızı gibi etmenlere bağlı olduğu belirtilmiştir. Örneğin körfezlerde, akarsular da bulunan mikroplastiklerin, kentsel yerlerde kırsal alanlara göre derişimleri yükselmektedir.

Atık plastiklerin doğru bir şekilde bertarafının sağlanamaması dışında havada bulunan mikroplastikler de çevreye zarar vermektedir [66]. Kentlerde ve kırsal alanlarda havada kirletici olarak bulunan döküntüler incelenmiş ve bu döküntülerde tekstil üretiminde kullanılan

petrol kökenli sentetik mikroplastikler %29 oranında bulunmuştur. Bu da bizlere mikroplastiklerin havada da mesafelerce taşınabildiğini göstermektedir [85].

Mikroplastikler sıklıkla kirleticiler tarafından taşıma işlevi göstermektedir. Sudan kaçma özelliğine sahip (hidrofobik) kimyasallar bazı plastik parçalara kuvvetli bir şekilde bağlanmakta ve balıkların bunları yutması sonucu bünyelerine girmektedir [66].

### 2.3. Önceki Çalışmalar

Piperagkas ve ark. tarafından yapılan çalışmada, Kuzey Giritte Pacheia Ammos plajı, Analoukas plajı ve Sitia Körfezi'nin kuzey ucunda bulunan üç plajdan, yaz ve kış aylarındaki zamansal değişim dikkate alınarak ikişer örnekleme (25-26/11/ 2015 ve 31/3 ve 1/4/2016) yapılmıştır. Sonuç olarak; farklı plajlar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Aynı zamanda, mevsimsel değişkenliğe bağlı olan mikroplastiklerin içeriğinde de önemli farklılıklar olduğunu ortaya koyulmuştur. Analizde, mikroplastiklerin, yüzey katmanlarına göre farklı konsantrasyonlarda daha derin sediment katmanlarında bulunabileceği vurgulanmıştır [86].

Constant ve ark. tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada, Kuzeybatı Akdeniz'in sahil çökellerinde mikroplastiklerin oluşumu araştırılmıştır. Batı Aslan Körfezi'nin iki plajında (kuzey ve güney bölgesi) belirgin farklı özellikler gösteren örnekler toplanmıştır. Mikroplastikler bir Perkin Elmer Frontier FTIR spektrometresi ile analiz edilmiş ve küçük hacimlerinden dolayı fiberler bir Bomem ABB FTLA FTIR spektrometresine bağlanmış bir IR-Plan Spectra Tech mikroskobu ile analizleri yapılmıştır. En yüksek konsantrasyonlar üç spesifik noktada yerel bir nehir ağzı yakınında, bir toplama alanı içinde ve biriken bir üst plajda bulunduğu belirtilmiştir [87].

Hamdy Shabaka ve arkadaşları tarafından 30 Aralık 2017'de Doğu Limanı'nı kapsayan on istasyonda bir fitoplankton ağı ile örneklemler alınmıştır. Fitoplankton ağı ile toplanan açık deniz numuneleri, kesin, basit ve uygun maliyetli yöntem olan mikroplastikleri ayırıcı taramalı kalorimetre (DSC) kullanarak tanımlanmıştır. Kıyı örneklerinden çıkarılan mikroplastik parçaların fiziksel özellikleri açık deniz örneklerinden çıkarılan parçaların özelliklerinden farklı bulunmuştur. Mısır'da uygun katı atık yönetimi eksikliğinin, su yollarında plastik çöp birikmesine neden olduğu değerlendirilmiştir [88].

Yabanlı ve arkadaşları tarafından Eylül 2018'de, Ege ve Akdeniz'in kesiştiği noktada bulunan Datça Yarımadası kıyı şeridindeki 4 kumlu plajda (Aktur Plajı, Ovabükü Plajı, Flow Sörf

Kampı, Kurucabük Plajı) (Türkiye'nin Güney Ege kıyıları) bulunan mikroplastik kirliliği değerlendirilmiştir. MP'ler bazı deneysel tekniklerle birlikte standart çalışma prosedürü kullanılarak analiz etmişlerdir. ATR-FTIR tarafından yapılan tanımlama işleminden önce, 1 ila 5 mm arasındaki mikroplastikler deneysel bir ön işlemden geçirilmiş ve verimli polimer taramasına maruz bırakılmıştır. Daha spesifik olarak en yüksek kirlenme yaz mevsiminde denizcilik ve turizm faaliyetlerinin arttığı Aktur Plajı'nda bulunmuştur [89].

Gündoğdu tarafından 2017 yılında yapılan başka çalışmada, Türkiye'nin Kuzeydoğu Levant kıyısında bulunan İskenderun körfezindeki mikroplastik kirliliğinin düzeyi araştırmıştır. 14 istasyonda yapılan çalışmada ortalama mikroplastik partikül miktarı, 1,067,120 partikül/km<sup>2</sup> olarak tespit etmiştir. En yüksek mikroplastik miktarı körfezin orta noktasına denk gelen M4 nolu istasyonda tespit etmiştir. M4'ün körfez akıntılarının ortasındaki konumunun, mevcut siklon nedeniyle yüksek MP düzeylerinin arkasındaki nedeni olabileceğini bildirmiştir (1820 partikül; 2,888,889 partikül/km<sup>2</sup>). Sonuç olarak İskenderun körfezindeki mikroplastik kirliliği miktarı Akdeniz'in diğer bölgelerine göre oldukça fazla bulunmuştur [90].

Güven, Gökdağ, Kıdeyş 2015 yılında yapılan çalışmada, Akdeniz kıyıları boyunca 18 noktadan su/sediment örnekleri toplamışlardır. Toplanan mikro parçacıkların gerçekten plastik polimerler olduğunu doğrulamak için rastgele 25 parçacık FTIR spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak, denizden toplanan tüm mikroplastiklerin %94'ü 0,1 ile 2,5 mm arasında değişirken, diğer boyutların nadir olduğunu bildirmiştir [23].

Angel ve ark. Tarafından 2017 yılında İsrail Akdeniz kıyıları boyunca çeşitli yerlerden toplam 108 deniz yüzeyi örneği alınmıştır. Numune alma, her mevsimde bir kez, 2013 yazından 2015 baharına kadar yapmışlardır. 17 bölgede mevsimsel deniz yüzeyi mikroplastik dağılımı kaydetmişlerdir. Tüm numunelerde ortalama  $7.68 \pm 2.38$  partikül/m<sup>3</sup> veya 1.518.340 partikül/km<sup>2</sup> bolluğu bulunan mikroplastikler (0.3-5 mm) bulmuşlardır. Sonuç olarak İsrail kıyı sularında alınan bazı örneklerde bulunan mikroplastik parçacıkların bolluğu rahatsız edici derecede yüksek olsa da hem mekansal hem de zamansal olarak miktarın oldukça değişken olduğu belirlenmiştir [91].

Gündoğdu tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada, Türkiye'nin kuzeydoğu Levant kıyılarında bulunan İskenderun ve Mersin Körfezlerinde mikro ve mezoplastik kirlilik seviyesi belirlenmiştir. Hem mikro hem de mezoplastiklerin ortalama seviyesi yedi istasyonda 0.376 partikül/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. En yüksek seviye Seyhan nehrinin güneyindeki Mersin

Körfezi'nde tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, Türkiye'nin Akdeniz kıyılarındaki mikroplastik kirlilik seviyesinin Akdeniz'in diğer bölgelerine benzer olduğu bildirilmiştir [92].





### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Çalışma Alanı

Mersin Körfezi batıda Taşucu'dan başlayıp doğuda Karataş'a kadar uzanmaktadır. Mersin İli, 321 km'lik kıyı şeridi ile Türkiye'nin önemli bir kıyı kentidir. Mersin İli'nin en büyük iki akarsuyu Göksu Nehri ve Tarsus (Berdan) Çayı'dır. Bunların dışında Akdeniz'e akan irili ufaklı birçok akarsu vardır. Mersin Körfezi; büyük limanı, serbest bölgesi, yerli turist potansiyeli, yoğun tarım ve 1,8 milyon nüfusla önemli bir kirlilik yükü altındadır. Mersin Körfezi, endüstriyel atık su girişi, kentsel kanalizasyon, turizm faaliyetleri, deniz taşımacılığı ve artan balıkçılık faaliyetleri nedeniyle giderek daha fazla kirlenmektedir.



**Şekil 0.1** Mersin Körfezi'ndeki numune alma istasyonları.

Bu çalışmada Mersin Körfezi'ndeki mikroplastik kirliliğine nehir/akarsuların katkısını araştırmak ve Akdeniz'deki karasal kaynaklı mikroplastik yükünü belirlemek amacıyla Deliçay Çayı, Müftü Çayı, Mezitli Çayı, Kandak Çayı, Arpaçbahşiş Çayı, Alata (Erdemli Çayı), Lamas Çayı, Göksu Nehirlerinden numuneler alınmıştır. (Şekil 3.1). Deliçay ve Müftü nehirlerinin aktığı Akdeniz İlçesi 262.265, Mezitli ve Kandak nehirlerinin aktığı Mezitli İlçesi 204.240, Arpaçbahşiş, Erdemli ve Lamas nehirlerinin aktığı Erdemli İlçesi 141.476 ve Göksu Nehrinin aktığı Silifke İlçesi 120.873 nüfusa sahiptir ([www.nvi.gov.tr](http://www.nvi.gov.tr)). Tüm bu akarsular nüfusun ve tarımsal

faaliyetlerin yoğun olduğu yerleşim merkezlerinden geçerek denize dökülmektedir. 01 Kasım 2019 tarihinde sağanak yağışlı, 20 km/sa rüzgar hızı, % 61-73 nem oranı ve sıcaklığın 22 °C, 12 Kasım 2019 tarihinde hafif sağanak yağışlı, 19 km/sa'lık rüzgar hızı ve % 29-74 aralığında nem oranının (<http://mgm.gov.tr>) olduğu günlerde yapılan örnekleme bilgisi her bir istasyon için Tablo 3.1 de gösterilmiştir.

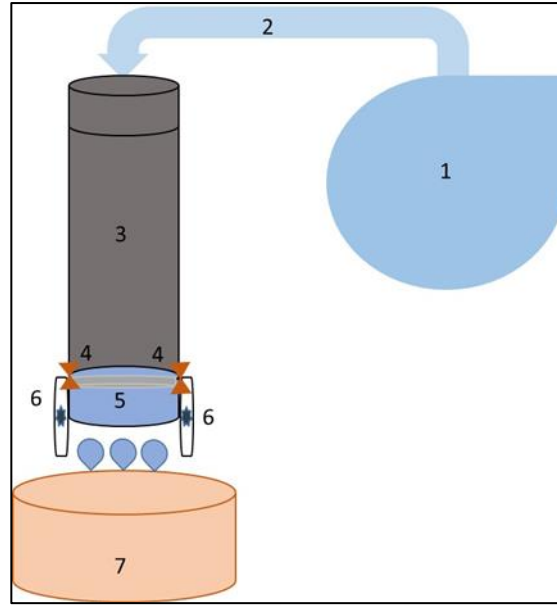
**Tablo 0.1** Örnekleme noktalarına ait bilgiler

| Nehir       | Tarih      | Koordinat     | Denizden Uzaklık (m) |
|-------------|------------|---------------|----------------------|
| Arpaçbahşiş | 12.11.2019 | 36° 38' 16" N | 52                   |
| Lamas       | 01.11.2019 | 36° 33' 27" N | 18                   |
| Alata       | 01.11.2019 | 36° 36' 14" N | 6                    |
| Göksu       | 01.11.2019 | 36° 20' 15" N | 5715                 |
| Kandak      | 12.11.2019 | 36° 43' 28" N | 23                   |
| Mezitli     | 01.11.2019 | 36° 45' 04" N | 140                  |
| Müftü       | 12.11.2019 | 36° 47' 05" N | 88                   |
| Deliçay     | 12.11.2019 | 36° 48' 52" N | 728                  |

Örnekleme noktaları, Deliçay (728 m) ve Göksu (5715 m) hariç, genellikle denizden 150 m'den daha azdır. Bu iki nehirde elverişsiz arazi koşulları nedeniyle nehirlerin denize döküldüğü yerlere yaklaşılamamıştır. Silifke atık su arıtma tesisi (AAT) çıkış suyu Göksu Nehri'ne deşarj edilmektedir. Atık su arıtma tesisleri varolan mikroplastik miktarını iyi oranda azaltıyor olmasına rağmen, bu nehirden alınan numuneler, arıtma tesisinde giderilemeyen mikroplastikleri de içermektedir [22].

### 3.2. Örnek Toplama ve İşleme

Örnekleme, uzun turizm sezonunun sona ermesinden sonra Kasım 2019'da gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.1). İki litrelik ölçülü bir beher kullanılarak, her nehrin yüzeyinden denize mümkün olduğunca yakın bir noktadan toplam 150-200 litre su numunesi alınmıştır (6-5715 m aralığı; bkz. Tablo 1). Su numunelerini yerinde filtrelemek için, tarafımızdan hazırlanan tabanında değiştirilebilir 26 µm plankton ağına sahip 10 cm çapında bir borudan oluşan özelleştirilmiş bir aparat kullanılmıştır (Şekil 3.2). Süzme işleminden sonra süzüntü, bir yıkama şişesi kullanılarak şişelere aktarılmıştır. Laboratuvarında flakonlardaki su numuneleri yine 26 µm filtreli vakumlu filtrasyon sistemi ile süzülmüştür. Filtreler daha sonra ayrı ayrı cam petri kaplarına aktarılmıştır. Organik maddeyi çözmek için cam petri kaplarına 1-2 mL hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ilave edilmiştir.



**Şekil 0.2** Mersin nehirlerinden mikroplastiklerin örneklenmesi ve filtrasyonu (1: Nehir/dere, 2: Örneklenmiş su, 3: Filtreleme aparatı/boru 4: Valf, 5: 26 µm plankton ağı, 6: Valf tutucu 7: Filtrelenmiş su)

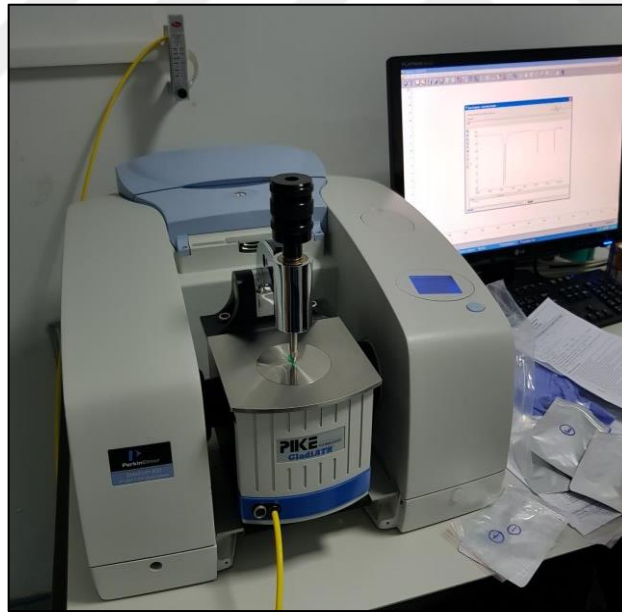
Genel olarak, mikroplastik numunelerin işlenmesi için standart EC yönergeleri izlenmiştir (Avrupa Komisyonu, 2013). Ağ üzerindeki her mikroplastik öge, bir stereomikroskop (30x büyötmeye kadar) (Olympus SZX16) altında manuel olarak başka bir filtre kağıdına (mikroplastiklerin varlığı için sterilize edilmiş/önceden taranmış) aktarılmıştır. Plastik olmayan doğal parçacıklar (yani tahta, kâğıt ve diğer organik maddeler), iğnenin ısıtılması ile dokunulduğunda kolay ayırt edilebildiği için iğne yardımıyla çıkarılmıştır. Her bir mikroplastik parçacığın çapı/uzunluğu daha sonra Olympus cellSens Image Analysis yazılımı kullanılarak ölçölmüştür. Stereo mikroskop altında ayrılan mikroplastikler, bir DP26-Olympus 5.0 MP yüksek renk çözünürlüklü mikroskop dijital kamera ile fotoğraflanmıştır. Yalnızca <5 mm uzunluğundaki plastik katı parçalar mikroplastik olarak kabul edilirken, >5 mm'lik parçalar analizin dışında tutulmuştur.

Numune işleme sırasında lif kontaminasyonunu (örneğin, her zaman giyilen pamuklu laboratuvar önlüklerinden kaynaklanabilecek) önlemek için azami özen gösterilmiştir. Cam petri kapları sadece H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklemek, partikülleri mikroskop altında başka bir filtreye aktarmak ve mikroskop analizleri için açılmıştır. Bu işlemler sırasında herhangi bir olası kontaminasyonu değerlendirmek için aynı süre boyunca mikroskopun yanında bir kontrol camı petri kabı tutulmuş ve bu kadar kısa süre içinde herhangi bir kontaminasyon meydana gelmemiştir. Bu

süreçler sırasında başka herhangi bir olası kontaminasyon, çalışmanın doğası gereği göz ardı edilmemiştir.

### 3.3. ATR-FTIR ile Mikroplastiklerin Tanımlanması

500 $\mu$ m'den büyük plastik parçacıkların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) spektrometresi kullanılmaktadır. Cihaz polimer parçacık analizini 400-4000 dalga boyunda yapmaktadır. Cihazın elmas kristal zemini inert bir temizleyici olan aseton ile iyice silindikten sonra numune bu kısma yerleştirilmektedir. Cihazın numune parçacığı üzerine temasıyla gönderilen ışınlar sayesinde malzemenin sahip olduğu kimyasal bağ enerjisi özelliğine göre kızılötesi ışınları soğurması ile parçacık spektrumları belirlenmektedir. Her bir plastik polimerlerin kendine özgü spektrumları bulunmaktadır [66]. Belirlenen mikroplastik IR spektrumları ile veri tabanından önceden kayıtlı olan IR spektrumları karşılaştırılarak tek bir ölçümle polimerlerin kimyasal yapısına ilişkin özellikler yüzdelik yaklaşım bilgisi olarak hızlıca belirlenmektedir [93]. Şekil 3.3'de FTIR Spektroskopisi gösterilmiştir.



**Şekil 0.3** FTIR Spektroskopisi [66].

FTIR, ortaya çıkan FTIR spektrumların spektral kütüphanede bilinen plastik polimerlerle karşılaştırarak farklı mikroplastiklerin polimer tiplerini tanımlamak için tanınan hızlı ve oldukça güvenli bir yöntemdir. Tez çalışmasında polimerleri tanımlamak için ATR-FTIR cihazı kullanılmıştır. Geleneksel FTIR'a göre ATR-FTIR hem uygun maliyetli hem de numune

hazırlama ya da karmaşık matematiksel düzenleme gerektirmez ATR teknolojisinde yansıma kaynaklı ölçüm hataları minimize edildiğinden ölçüm sonuçları daha kesindir [94].

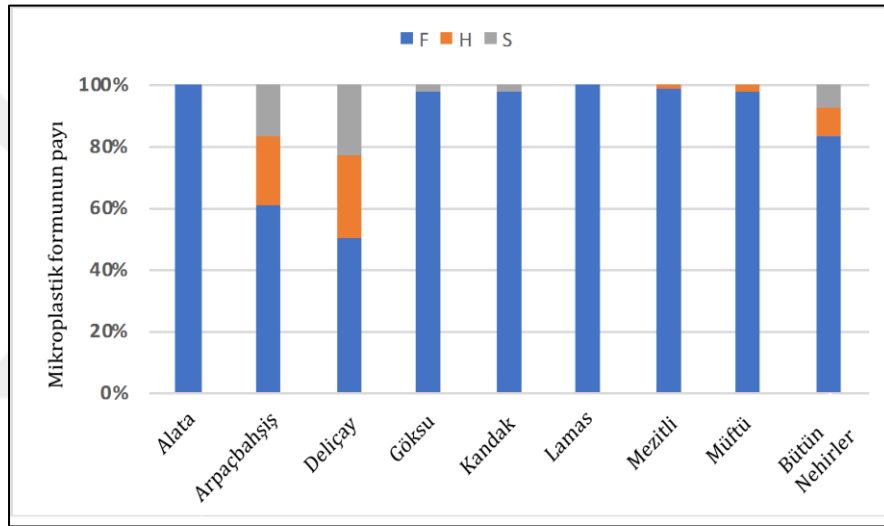
Polimer karakterizasyonu için ATR-FTIR Spektroskopi analizi Bruker tensör 27 ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 2 mm'den büyük olan MP'ler arasından seçilen örnekler, plastik polimer türünü anlayabilmek amacıyla Arpaçbahşiş (21 parçacık) ve Deliçay nehirlerine (10 parçacık) ait rastgele seçilen 31 fiber olmayan parçacığın kimyasal yapısı incelenmiştir. Mikroplastikler için polimer türleri, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Merkez Laboratuvarı'ndaki ATR-FTIR (Alpha Platinum) spektrometre kütüphanesinden elde edilen aralıklarla spektrumların karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Mikroplastiklerin Şekil, Renk ve Büyüklük Dağılımı

Çalışmada, su örneklerinde toplam 449 (<5 mm) mikroplastik parçacık gözlenmiştir. Mikroplastik şekilleri, Şekil 4.1'de her nehir için ve tüm nehirler için bir araya getirilmiştir. Çalıştığımız örneklerde gözlemlenen baskın mikroplastik formu, genel olarak %84'lük bir payla lif olarak belirlenmiştir. En fazla mikroplastik bolluğu Deliçay (%50) ve Arpaçbahşiş'ten (%61) elde edilmiştir. Mikroplastiklerin fragman ve film formlarının elde edilen numunelerdeki toplam bolluğa katkıları sırasıyla sadece %9 ve %7 olarak bulunmuştur.



**Şekil 0.1** Mersin nehirlerinde bulunan mikroplastik formların yüzdesi.

(\*F: Fiber – H: Fragman – S: Film)

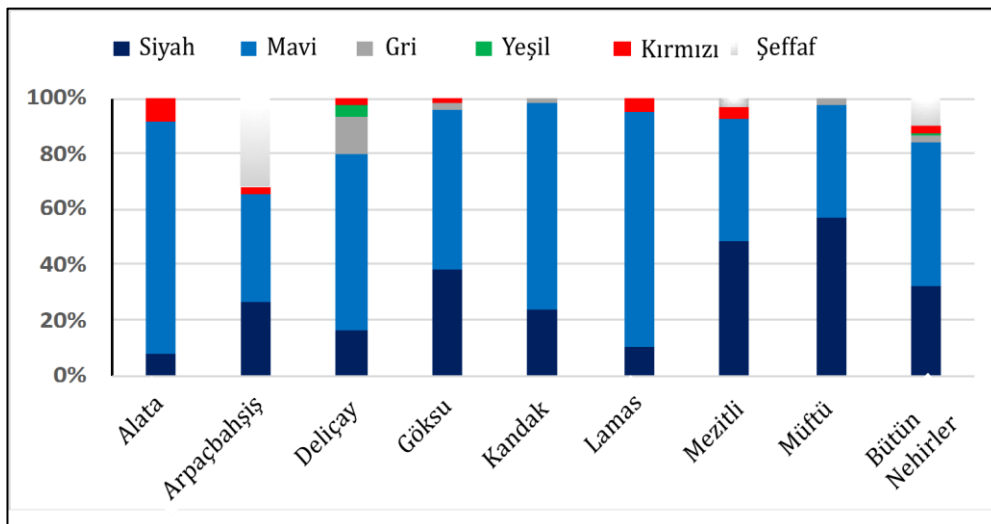
Mikroskop altında tespit edilen parçacıklar, mikroplastiklerin dört ana kategorisinden biri olarak etiketlenmiştir: parçalar, filmler, lifler ve diğerleri (strafor veya polistiren, kauçuk, boya pulu vb.). Fragmanlar, örneğin, parçalanmış PET şişe kapakları veya benzeri sert makroplastik ürünlerden kaynaklanabilirken, filmler, parçalanmış alışveriş torbalarından veya sera örtülerinden kaynaklanabilir. Her form için mikro parçacıkları da renklerine göre kategorize edilmiştir.

Nehir mikroplastiklerindeki liflerin baskınlığı, literatürdeki diğer çalışmalarda da belirtilmiştir [95]. Örneğin, Çin'deki Qiantang Nehri'nden alınan su yüzeyi örneklerinde 45 µm'lik ağdan süzildükten sonra çoğunlukla lif (%53) parçacıkları bulunmuştur [96]. Bu araştırmacılar tarafından liflerin yaygınlığının, incelenen alandaki yoğun bir tekstil

endüstrisinden kaynaklandığını öne sürülmüştür. Filtrasyon için 100 µm naylon ağ kullanılarak yürütülen başka bir çalışmada, fiber partiküllerin; Kanada, Ottawa Nehri ve kollarının açık sularındaki ve tortularındaki mikroplastiklerin büyük kısmını (%95) oluşturduğu bulunmuştur [20]. Yangtze Nehri Havzasında yapılan bir çalışmada da genel olarak, liflerin (%67,8) baskın olduğu bunu fragman (%14,2), film (%6,0), pelet (%5,0) ve diğer şekillerin (%7,0) izlediği bulunmuştur [97]. Sang ve arkadaşları tarafından fiber mikroplastiklerin genellikle sentetik fiber giysilerin, battaniyelerin ve diğer ürünlerin dökülmesinden veya parçalanmasından kaynaklanabileceğini ve havza alanlarında yaşayan nüfus tarafından kullanılan bu ürünlerin, yağış ve atmosfer yoluyla nehirlere taşınabilen lif kirliliğinin kaynağı olabileceği değerlendirilmiştir [98]. Akarsu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma ile kanalizasyon sistemleri için lif kirliliğinde yağışın önemi gösterilmiştir [22].

Akarsu ve arkadaşları tarafından yakın zamanda Mersin Körfezi'ne akan üç atık su arıtma tesisinin (AAT) atık sularında liflerin (toplamda yaklaşık %70) baskın olduğu da rapor edilmiştir [22]. Güven ve arkadaşları tarafından nehirlerdeki ve AAT'lerdeki bileşime benzer şekilde, liflerin Mersin Körfezi'ndeki sularda, tortularda ve balıklarda (yutulan tüm maddelerin %70'i) bulunan en yaygın mikroplastik şekli olduğu belirtilmiştir [23].

Örneklenen mikroplastiklerin renk dağılımı da bu çalışmada analiz edilmiştir (Şekil 4.2). Mikroplastiklerin yarısından fazlası mavi (%55), ardından siyah (%30), şeffaf (%9) ve kırmızı (%3) gözlenmiştir.

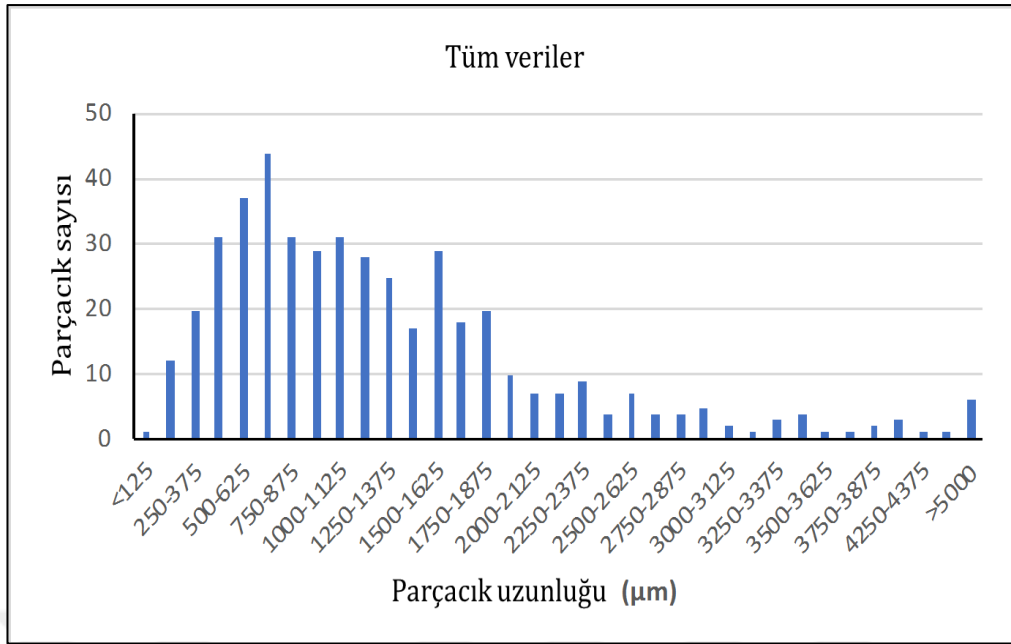


**Şekil 0.2** Örneklenen mikroplastiklerin renk dağılımı.

Bu sonuçlar, diğer benzer çalışmalardan elde edilen sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. Örneğin, yapılan bir çalışmada mikroplastiklerin renk dağılımının Çin nehir ekosistemleri için çoğunlukla mavi, siyah ve şeffaf renklerde olduğunu gözlenmiştir [99, 100]. Ganj Nehri'nde mavinin (%74) baskın mikroplastik rengi olduğu, ardından sırasıyla siyah (%11), kırmızı (%6), mor (%4) ve kahverenginin (%2) bulunmuştur. Çatalbaş yaptığı çalışmada mavi rengin bu kadar sık görülmesi damacana kapakları, pet şişeler, mavi renkli plastik sebze/meyve kasaları, ambalaj ve mutfak gereçlerinden kaynaklanabileceğini belirtmiştir [101]. Bu konularda yapılan çalışmalara bakıldığında Tuz Gölü'nde en çok lacivert- koyu mavi, mavi-açık mavi rengin görüldüğünü saptanmıştır [102]. Singapur'un kıyı mangrov ekosistemlerinde mikroplastikler kapsamında yapılan bir çalışmada mavi, saydam ve kırmızı liflerin yoğun olduğu gözlenmiştir. Plastik renginin, cezbediciliği arttırarak canlılar tarafından besin olarak alınmasında önemli rol oynadığı belirtilmiştir [103]. Sırasıyla Yangtze Nehri Havzasında da renkler için şeffaf (%31,8) genellikle en bol buldukları renk olurken, bunu mavi (%26,1), kırmızı (%9,5), beyaz (%9,3), siyah (%4,0) ve yeşilin (%1,4) izlemiştir [97]. Brahmaputra Nehri'nde yapılan bir çalışmada sırasıyla koyu, şeffaf ve beyaz mikroplastikler de bulunmuştur. İndus Nehri'nde en çok beyaz mikroplastikler daha sonra sırasıyla koyu ve şeffaf renk mikroplastikler bulunmuştur. Beyaz mikroplastiklerin ambalajlardan, torbalardan ve şişelerden kaynaklanabileceğini değerlendirilmiştir[104].

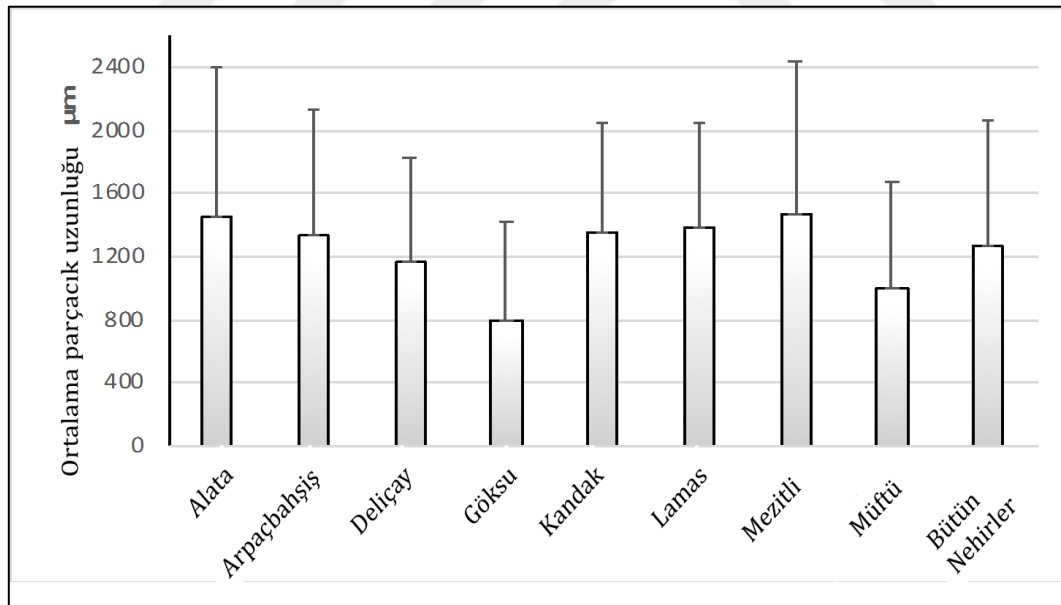
2019 yılında yapılan bir çalışmada incelenen mikroplastiklerin en yaygın renginin siyah olduğu tespit edilmiştir [103]. Akarsu ve arkadaşlarının Mersin'deki üç AAT'nin atık sularındaki yaptıkları bir çalışmada da gözlemlenen ana renkler de mavi (yaklaşık %27), siyah (yaklaşık %22), şeffaf (%13) ve kırmızı (%13) bulunmuştur [22]. Mersin Körfezi'nde örneklenen balıkların sindirim sistemlerinde bulunan mikroplastiklerin %78'inin mavi renkli ardından siyah ve kırmızı olduğunu bildirilmiştir[22]. Arpaçbahşiş numunelerinde (%38) en yüksek oranda şeffaf renk, neredeyse sadece parça ve film mikroplastiklerinde gözlemlenmiştir. Güven ve arkadaşları tarafından film şeffaf mikroplastiklerin ana kaynaklarının muhtemelen tek kullanımlık plastik taşıma torbaları veya tarımsal üretim için kullanılan sera örtüleri olduğu belirtilmiştir [23]. Plastik atıkların taşınmasında boyut, biçim, şekil ve polimer türü gibi özelliklerinin ana itici güç olduğu bildirilmiştir [104]. Plastiklerin sudaki dikey hareketinin veya yağış hızının, genellikle yoğunluk ve parçacık boyutundan etkilendiği bildirilmiştir [104,105]. Küçük plastik parçacıkların akışla daha kolay taşındığı ve büyük parçacıkların genellikle nehir kollarında kalabildiği bildirilmiştir [106]. Şekil 4.3'de, tüm örnekleme noktalarında belirlenen mikroplastiklerin boyut frekans dağılımını göstermektedir.





**Şekil 0.3** Mikroplastiklerin boyut frekans dağılımı.

Her bir nehir ve birleştirilmiş tüm nehirler için ortalama mikroplastik uzunluk (µm) Şekil 4.4'te verilmiştir.



**Şekil 0.4** Her nehir için ve tüm nehirler için ortalama mikroplastik uzunluklar (µm).

Bu çalışmada, nehir sularında tespit edilen mikroplastiklerin %91'den fazlasının uzunluğu 2,5 mm'den az bulunmuştur (Şekil 4.4). İlginç bir şekilde Akarsu ve arkadaşları Mersin'deki üç AAT'nin atık sularında tespit edilen tüm mikroplastiklerin 0,4-2,5 mm boyut

aralığı için aynı değeri (%91) hesaplamıştır [22]. Benzer şekilde Güven ve arkadaşları tarafından Akdeniz'in yüzey suları, su kolonu ve tortullarından alınan numunelerde toplanan tüm MP'lerin %94'ünün 0,1 ile 2,5 mm arasında olduğunu bildirilmiştir. [23]. Pearl River'dan alınan örneklerde bulunan mikroplastikler de çoğunlukla 0,5-2 mm arasında bulunmuştur [107]. Literatürdeki kimi sonuçlar, bazı nehirlerde daha da küçük mikroplastiklerin çoğunlukta olabildiğini göstermiştir. Örneğin, yapılan bir çalışmada mikroplastiklerin %80'inin ve %85'inin sırasıyla 0,5 mm'den küçük olduğu bulunmuştur [99,108]. Çalışmamızda mikroplastiklerin sadece %14'ü <0,5 mm bulunmuştur. Xu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise mikroplastikler boyutlarına göre altı gruba ayrılmıştır (0 – 0,5 mm, 0,5 – 1 mm, 1 – 2 mm, 2 – 3 mm, 3 – 4 mm, 4 – 5 mm). 0,5 mm'den küçük çaplara sahip mikroplastiklerin, numunelerde yaygın olduğu bulunmuştur ve 43 yaz numunesinin %14-70'ini ve 17 kış numunesinin %26-67'sini oluşturduğu ve 1 mm'nin altında ortalama  $72,19 \pm 10,88$  ( $74,19 \pm 10,30$ ) aralığında bulunduğu belirtilmiştir [109]. Bununla birlikte, çalışmamızda incelenen nehirler arasında ortalama mikroplastik boyutu farklılık göstermiştir (Şekil 4.4). En küçük mikroplastikler ortalama 0,79 mm ile Göksu Nehri'nde ortaya çıkarken, en büyük ortalama boyutu 1,47 mm ile Mezitli, 1,44 mm ile Alata izlemiştir. Çalışma bölgemizdeki son iki nehir/akarsu, yoğun nüfuslu alanlardan geçmektedir. Her durumda, mikroplastiklerin uzunluğu azaldıkça sayıları artmıştır (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4) [100]. Ganj Nehri'nde yapılan bir çalışmada mikroplastiklerin ortalama boyutunun  $2459 \pm 209$  µm olduğu bulunmuştur. Çalışmalarında büyük boyuttaki mikroplastiklerin nedeni olarak herhangi bir AAT'nin Ganj nehrine deşerj edilmemesi gösterilmiştir. Atık su arıtma tesislerinden gelen mikroplastikler genellikle 0,5 mm'den küçüktür [99,100]. Zang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada daha büyük boyutların, ikincil mikroplastikler olduğu, yani yavaş yavaş daha küçük parçacıklara dönüşen daha büyük plastik maddeler olduğunu göstermiştir [109].

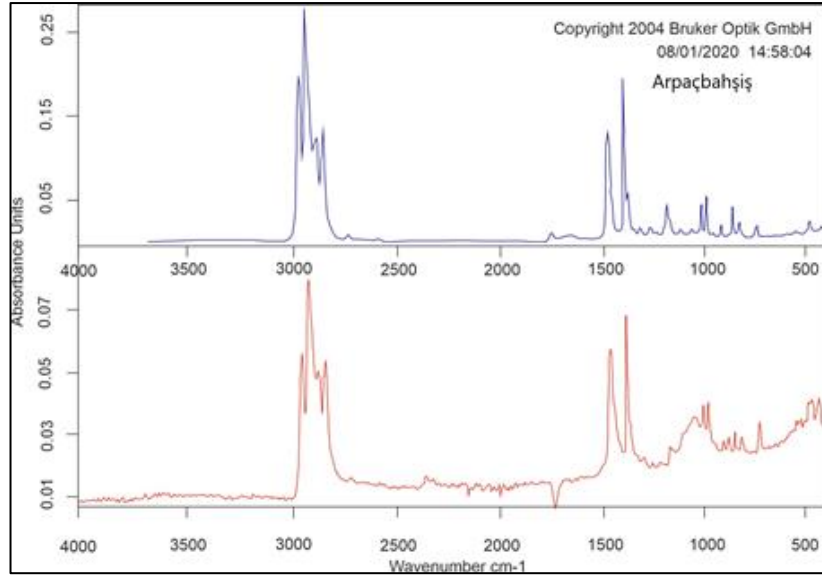
Lam ve arkadaşları daha küçük mikroplastiklerin, özellikle de boyutu 2 mm'den küçük olanların denize taşınmasının, deniz organizmaları için daha büyük bir risk oluşturduğunu bildirmiştir [110]. Collard ve arkadaşları mikroplastiklerin görsel özelliklerinden olan renk ve şeklin balıklar tarafından yutulmasını etkileyebildiğini belirtmiştir [111]. Kentleşmiş bir nehirde yapılan mikroplastik çalışmasında da farklı renk ve şekle sahip bağırsaktaki mikroplastiklerin biyobirikim faktörü (BAF) tek tip bir özellik göstermiştir. Mavi mikroplastikler tercihen balıklar tarafından yutulduğunu ve bağırsakta biriktiğini ve yüksek BAF değeri 5,49 ile 5,59 arasında değiştiği gözlenmiştir [99]. Benzer şekilde, Fransız sahilinde kafeste tutulan balıkların sindirim sisteminde, tespit edilen mikroplastiklerin yarısından fazlası mavi tespit edilmiştir [110]. Ek olarak, küçük boyutlu mikroplastiklerin daha büyük yüzey alanı/hacim oranları sağladığını ve ortam suyunda daha yüksek konsantrasyonlarda ağır

metaller ve organik kirleticiler üzerlerine adsorbe edildiğini belirtilmiştir [112]. Önceki çalışmalarda, partiküllerin küçüldükçe plankton türlerine benzerliklerinin artması nedeniyle suda yaşayan organizmalar tarafından mikroplastik alımının yaygınlaştığını göstermiştir. Mersin Körfezi'nde örneklenen 28 balık türünün mide ve bağırsaklarından çıkarılan mikroplastik boyutunun ortalama 0,6 mm olduğu ve 1822 parçacıktan sadece beşinin 5 mm'den uzun olduğunu bildirilmiştir [23,113]. Bellas ve arkadaşları Batı Akdeniz ve Atlantik Okyanusu'ndan toplanan 212 balığın %17,5'inin mikroplastikleri yuttuğunu ve en baskın boyut sınıfının 0,5-1,0 mm olduğunu bildirmiştir [114]. Bu bulgularla partikül boyutu ne kadar küçük olursa, farklı deniz organizmaları tarafından yutulma şansının o kadar yüksek olduğu bildirilmiştir [115].

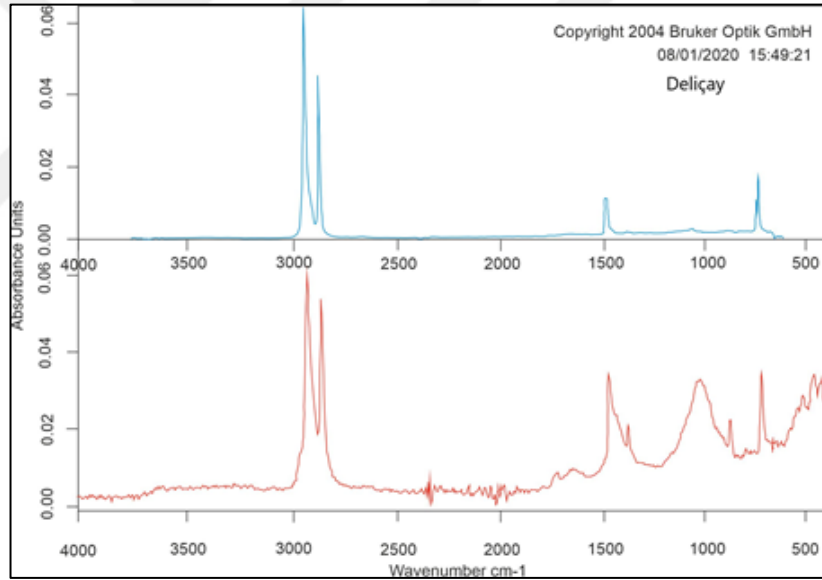
#### 4.2. ATR-FTIR Kullanarak Mikroplastik Tanımlama

Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi (FTIR) polimerlerin moleküler bağ bilgilerini saptamak için yararlı araçlardır. FTIR, bir numunenin kızılötesi radyasyonu absorbladığı mutlak frekansları (pikleri) ölçer [116]. Bu tez çalışmasında, örnekleme noktalarından tespit edilen 449 adet partikülden fiber olmayan ve rastgele seçilen yaklaşık %7'lik kısım ATR-FTIR ile analiz edilmiştir. Nehirlerden elde edilen otuz bir fiber olmayan partikülün, polimer türünün tespiti amacıyla ATR-FTIR ile kimyasal yapı incelemesi gerçekleştirilmiştir. Deliçay ve Arpaçbahşiş'te daha fazla MP tespit edilmesi nedeniyle FT-IR analizleri bu iki örnekleme noktasında tespit edilen MP örneklerinde gerçekleştirilmiştir. Arpaçbahşiş ve Deliçay'a ilişkin bazı polimerlerin FTIR spektrumları görüntüleri Şekil 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Enstrümanın spektrum aralığı,  $4000\text{ cm}^{-1}$  -  $500\text{ cm}^{-1}$  arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Polimer tiplerini belirlemek için tüm spektrumlar cihazın kütüphanesi ile karşılaştırılmış olup şekildeki mavi spektrumlar cihazın kütüphanesine ait olup, kırmızı renkteki spektrumlar ise çalışmada elde edilen mikroplastik örneklerine aittir.



**Şekil 0.5** Arpaçbahşiş’de tespit edilen polipropilen polimerlerinin FTIR spektrumları



**Şekil 0.6** Deliçay’da tespit edilen polietilen polimerlerinin FTIR spektrumları

Şekil 4.5’teki FTIR spektrumunda 2750 ile 3000  $\text{cm}^{-1}$  arasında görülen gerilme piki  $\text{CH}/\text{CH}_2/\text{CH}_3$  fonksiyonel grubuna ait olup polimer yapısının poliprolen olduğunu göstermektedir. 1300 ile 1500  $\text{cm}^{-1}$  aralığında görülen pik de polipropilenin yapısında bulunan  $\text{CH}_2$  bükülme piki. Bu iki pik polipropilende mevcut olan metil grubu ( $-\text{CH}_2$ ) varlığı ile ilgilidir [116].

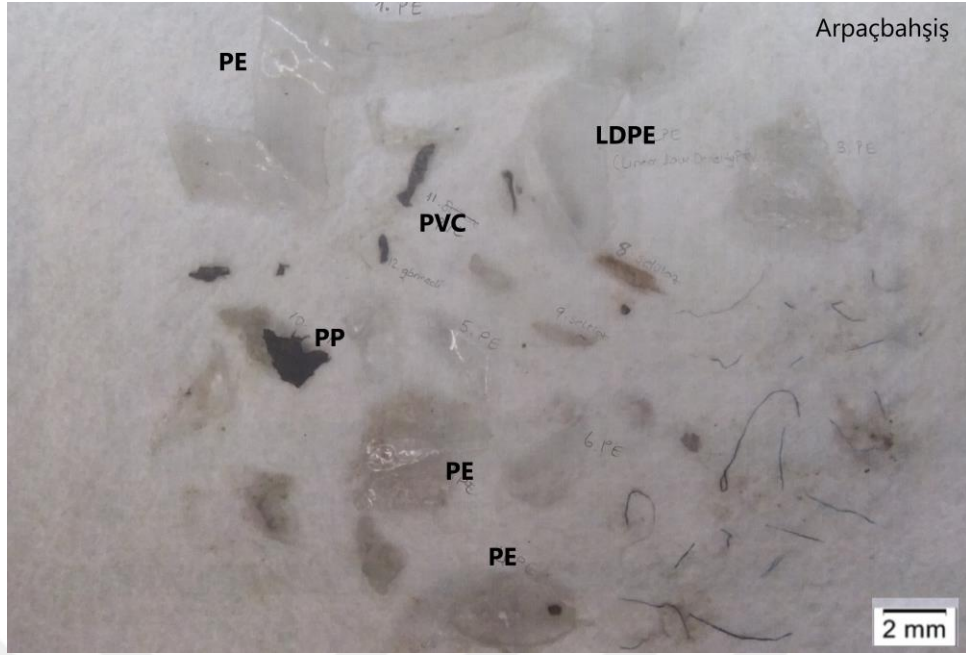
Şekil 4.6 incelendiğinde Şekil 4.5 ile farklı yapıda piklere sahip olduğu görülmektedir. 2800 ile 3000  $\text{cm}^{-1}$  aralığında ve 1500  $\text{cm}^{-1}$  de görülen pikler polietilen polimerine aittir. 2920  $\text{cm}^{-1}$  ve 2851  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarında sırasıyla, polietilenin yapısında olan alkanlar grubuna ait  $\text{CH}_2$  asimetrik ve  $\text{CH}_2$  simetrik gerilme pikleri görülmektedir [117].

PP'nin degradasyon mekanizmaları, PE'ninkine benzerdir bu nedenle ATR-FTIR analizinde benzer yapıda fonksiyonel gruplara rastlanmıştır [118].

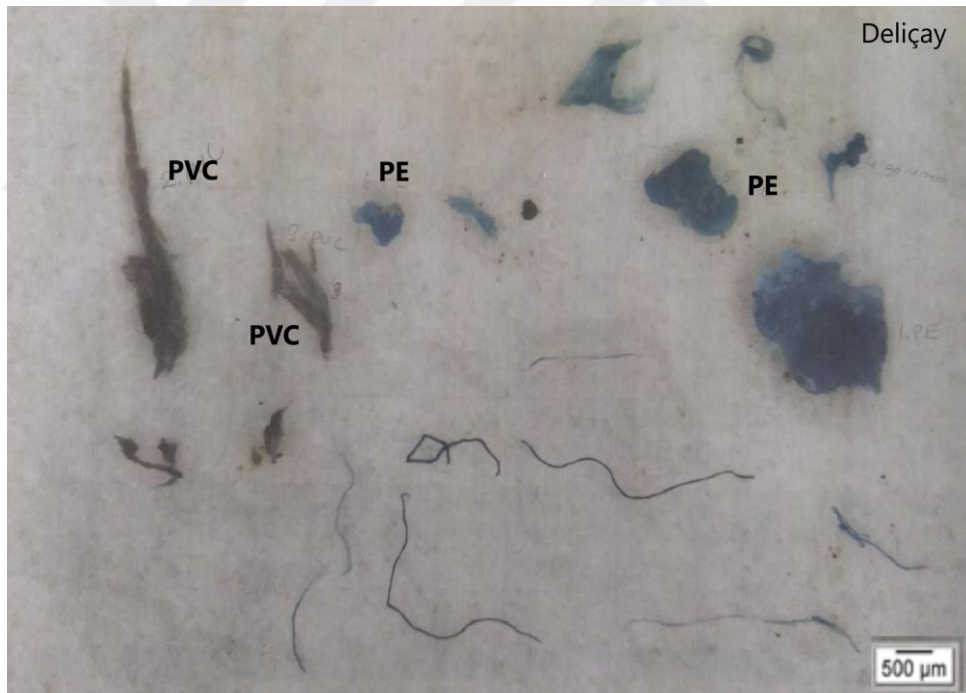
FTIR analizi yapılan MP örneklerinin büyük kısmı (31 partikülden 24'ü) polietilen (PE), üçü polivinil klorür (PVC), üçü selüloz ve bir polipropilen bulunmuştur. Yapılan bazı çalışmalarda PE'nin dünyada en yaygın olarak üretilen polimerlerden biri olduğu ve mikroplastik araştırmalarında yaygın olarak tespit edildiği bildirilmiştir [119,120]. 2017 yılında Mersin Körfezi deniz suyu ve tortullarından örneklenen ve FTIR tarafından analiz edilen toplam 431 partikülün 186'sı (%43) polietilen olduğunu bulunmuştur (A.E. Kideys'in yayınlanmamış verileri). Akarsu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada polietilenin, en ucuz ve en yaygın kullanılan polimer türlerinden biri olduğunu ve tek kullanımlık çantalar, gıda ambalajları, oyuncaklar ve ev eşyaları gibi ürünlerde günlük yaşamın yaygın bir bileşeni olduğunu belirtmiştir [22]. Güneydoğu Karadeniz kıyılarında yapılan bir çalışmada ambalaj malzemelerinden kaynaklı kirlenmenin baskın olduğu bulunmuştur [121].

Yapılan bir çalışmada su numunelerindeki mikroplastiklerin polimer türlerinin başlıca PE (%41,7) olduğu, ardından PP (%31,3) ve PET (%20,7), çok daha düşük oranlarda PVC (%4,2) ve PS (%2,1) olduğunu bildirilmiştir [115]. Sun ve arkadaşları literatür araştırmaları; tespit edilen mikroplastiklerin polietilen olma olasılığının %4-51 arasında değiştiğini göstermiştir [122]. Deniz tuzu, göl tuzu ve kaya tuzu içerisinde mikroplastik miktarı ve karakterizasyonunun inceleyen Gündoğdu çalışmasında en yaygın polimer türlerinin polietilen ve polipropilen olduğunu bildirmiştir [21]. Tropik bir nehirde mikro ve makroplastik kirliliği açısından yapılan bir araştırmada polietilen ve polipropilenin baskın olduğunu saptanmıştır ve bu sonuçların küresel polimer üretimi ile uyumlu olduğu belirtilmiştir [123]. Huron Gölü kıyısında yapılan bir çalışmada 32 plastik parçacığın polietilenden, 12 tanesinin polipropilenden ve bir tanesinin polietilen tereftalattan oluştuğu bulunmuştur [124].

Arpaçbahşiş ve Deliçay'da tespit edilen bazı polimerlerin mikroskop altındaki görüntüleri Şekil 4.7 ve 4.8'de verilmiştir.



**Şekil 0.7** Arpaçbahşiş deresinden alınan bazı mikroplastiklerin mikroskopik görüntüleri



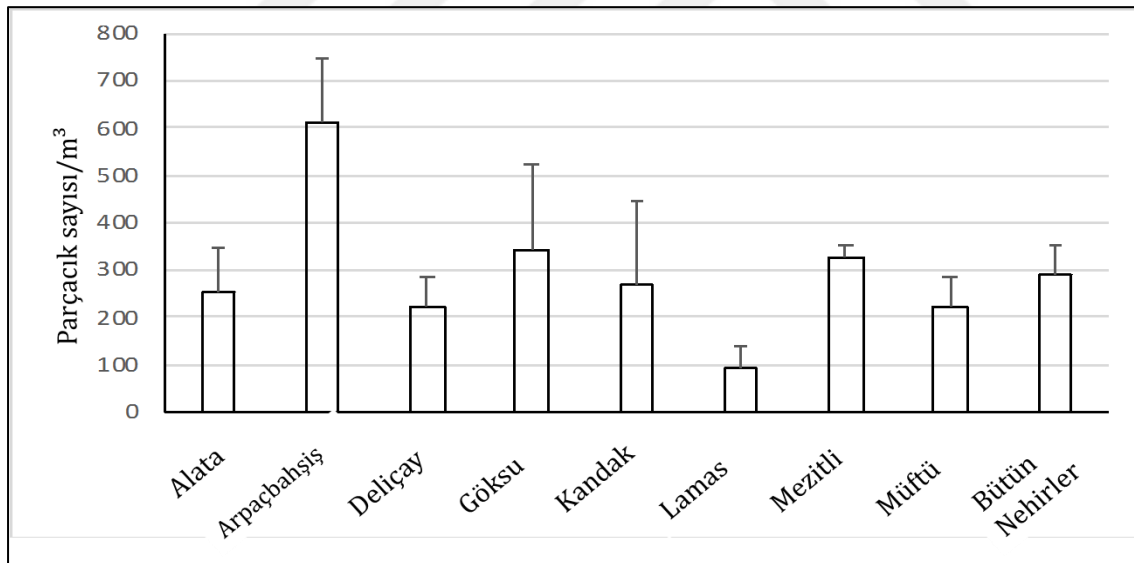
**Şekil 0.8** Deliçay deresinden alınan bazı mikroplastiklerin mikroskopik görüntüleri.

Numune alanlarımızda yoğun bir şekilde seracılık yapılması nedeniyle, yerel olarak satın alınan sera örtüsü örnekleri de FTIR ile analiz edilmiş ve polimer formunun çoğunlukla polietilen (PE) olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, plastik alışveriş poşetlerinin (taşıyıcı poşetler) yanı sıra, sera örtülerinin de nehirler, AAT'ler ve nihayetinde kuzeydoğu Akdeniz'de deniz için

bir mikroplastik kaynağı olabileceğini göstermektedir. FTIR analizinde tespit edilen polimerlerin sadece monomerik yapıda olmadığı, bir kısmının katkı içeren polimerlerden oluştuğu belirlenmiştir. FTIR ile polimer analizi yapılan mikroplastiklerin bazılarının FTIR spektrumlarına ilişkin görüntüleri Ek'lerde verilmiştir.

#### 4.3. Mikroplastik Konsantrasyonu ve Yüğü

Bu çalışmada, kuzeydoğu Akdeniz'de Mersin Körfezi'ne akan 117 km'lik kıyı şeridi boyunca sekiz akarsu/nehirden gelen mikroplastik konsantrasyonu ve yüğü de belirlenmiştir. Şekil 4.9'da görülebileceği gibi, örneklenen akarsular/nehirler arasındaki ortalama mikroplastik konsantrasyonları, 95 (Lamas Nehri) ile 613 adet/m<sup>3</sup> (Arpaçbahşiş Nehri) arasında önemli ölçüde değişmiştir (ANOVA, p=0,002) ve toplam ortalama 293±59 adet/m<sup>3</sup> bulunmuştur. Bölgede bulunan çok sayıda yüksek katlı tatil dairelerinden gelen turizm faaliyetleri ile birlikte yoğun tarımsal faaliyetler bu sonucun nedeni olarak kabul edilmektedir. Hem tatlı sular hem de sahil bandı ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda, yoğun nüfuslu alanlarda yüksek konsantrasyonlarda mikroplastik meydana geldiği bildirilmiştir [125,126]. Şekil 4.9'da Mersin nehirlerindeki ortalama mikroplastik konsantrasyonları verilmiştir.



**Şekil 0.9** Mersin nehirlerindeki ortalama mikroplastik konsantrasyonları.

Bu çalışma ile örneklenen diğer nehirler arasındaki mikroplastik düzeylerinin karşılaştırması Tablo 4.1'de verilmiştir. İlgili çalışmaların olmaması nedeniyle, bu çalışmada elde edilen konsantrasyon değerleri Türkiye'nin diğer bölgeleri veya Doğu Akdeniz ile karşılaştırılamamıştır. Değerlerimiz genellikle Avrupa nehirlerinde gözlenen değerlerden daha

yüksek, ancak güneydoğu Asya nehirlerinin çoğundan daha düşük bulunmuştur (Tablo 4.1). Örneğin, bazı Çin ve Endonezya nehirleri için  $1183 \pm 269$  adet/ $m^3$  ve  $5850 \pm 3280$  adet/ $m^3$  gibi yüksek ortalama değerler rapor edilmiş olup, bu da bizim çalışmamızda bulunan ortalama değerlerden 4-20 kat daha yüksektir. Tersine, Adriyatik'e akan Ofanto Nehri için elde edilen 0,9-1,3 adet/ $m^3$  aralığı, burada bildirilen 95-613 adet/ $m^3$  aralığından çok daha düşüktür. Yağış ve nehir suyu akışındaki değişiklikler ve diğer faktörler, nehirlerdeki mikroplastik bolluğun özelliklerini de etkilemektedir. Xiangxi Nehri, Taihu Gölü ve Yangtze Nehri'nde yapılan çalışmalarda yağmur mevsimi boyunca suda daha yüksek mikroplastik bolluğu tespit edilmiştir [32].

Dahms, mikroplastik araştırmalarındaki örnekleme teknikleri ve kullanılan ekipman (plankton ağ boyutu gibi) ve analiz yöntemlerindeki farklılıkların, literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmasında zorluklar yarattığını bildirmiştir [20]. Cheung tarafından ise mikroplastiklerin boyutundaki farklılıklar ve örnekleme stratejisi, analitik yöntem ve bolluk birimi de etkileyebileceğinden, çalışmalar arasındaki karşılaştırmanın hala birçok sınırlaması olduğu bildirilmiştir [19].

**Tablo 0.1** Bu çalışma ve diğer örneklenen nehirler arasındaki nehir mikroplastik seviyelerinin karşılaştırması.

| Nehirler                    | Ağ boyutu ( $\mu m$ ) | Ortalama (adet/ $m^3$ , $\pm$ standart sapma) | Aralık (adet/ $m^3$ ) | Referans       |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|----------------|
| Mersin Nehirleri, Türkiye   | 26                    | 293 ( $\pm 59$ )                              | 95-613                | Mevcut Çalışma |
| Brest Körfezi, Fransa       | 335                   | 0.2 ( $\pm 0.4$ )                             |                       | [127].         |
| Danube Nehri, Avusturya     | 500                   | 0.32                                          |                       | [128].         |
| Ottawa Nehri, Kanada        | 100                   | 1.4                                           |                       | [129].         |
| Gave de Pau Nehri, Fransa   | 330                   | 3.3                                           |                       | [124].         |
| Rhone Nehri, İsviçre        | 300                   | 7                                             |                       | [125].         |
| Lam Tsuen Nehri, Hong Kong  | 270                   | 7.4 ( $\pm 3.7$ )                             | 1.3-14.0              | [126].         |
| Ganges Nehri, Hindistan     | 330                   | 38 ( $\pm 4$ )                                |                       | [100].         |
| Seine Nehri, Fransa         | 80                    | 108                                           |                       | [127].         |
| Qiantang Nehri, Çin         | 45                    | 1183 ( $\pm 269$ )                            | 54-3379               | [96].          |
| Ciwalengke Nehri, Endonezya | 1.2                   | 5850 ( $\pm 3280$ )                           |                       | [128].         |
| Chicago Nehri, Illinois     | 333                   |                                               | 1.9-17.9              | [129].         |



**Tablo 4.1 (devamı)**

|                                 |     |  |            |             |
|---------------------------------|-----|--|------------|-------------|
| Ofanto Nehri, İtalya            | 300 |  | 0.9-13     | [130, 131]. |
| Rhône and Têt Nehirleri, Fransa | 333 |  | 12-42      | [132].      |
| Han Nehri, Güney Kore           | 100 |  | 0-42.9     | [132].      |
| Zhangjiang Nehri, Çin           | 330 |  | 50-725     | [112].      |
| Antua Nehri, Portekiz           | 55  |  | 58-1265    | [133].      |
| Wei Nehri, Çin                  | 75  |  | 3670-10700 | [134].      |
| Dutch Nehri, Hollanda           | 300 |  | 67-11532   | [135].      |
| Pearl Nehri*, Çin               | 50  |  | 8902-19860 | [99].       |

Tablo 4.1, Kuzeydoğu Akdeniz'de Mersin Körfezi'ne gelen nehir mikroplastik yükü gösterilmiştir. Her nehirde gelen mikroplastik yük, bu çalışmadan elde edilen veriler ve literatürden nehirlerin/akarsuların akış hızları kullanılarak hesaplanmıştır ([www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr)). İncelenen ve Mersin Körfezi'ne akan sekiz nehirin, yaklaşık %84'ü Göksu Nehri'nden olmak üzere toplam 99.41 m<sup>3</sup>/sn'lik bir akış hızı oluşturmaktadır (Tablo 4.2). Her nehirdeki mikroplastiklerin giriş hızları ve konsantrasyonları dikkate alınarak, incelenen sekiz nehirde Mersin Körfezi'ne gelen toplam kirletici yükü de bu çalışmada hesaplanmıştır. Rodrigues, bir nehrin akış dinamiklerinin mikroplastiklerin konsantrasyonunu ve yükünü etkilediğini; yani yüksek nehir akış hızlarının plastik parçacıkların hareketliliğini ve taşınmasını artırdığını bildirmiştir [136]. Horton tarafından ise suyun akış hızı düştüğünde plastik partiküllerin çökelmeye başlayacağı öne sürülmüştür [118]. Sonuç olarak, debisi daha fazla olan nehirlerden daha yüksek mikroplastik yükü denize boşaltılacaktır. Tez çalışması kapsamında örnekleme yapılan nehir/derelerin akış hızlarına bağlı olarak yıllık mikroplastik yükleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.

**Tablo 0.2** Kuzeydoğu Akdeniz'deki Mersin Körfezi'ne dökülen nehirlerdeki mikroplastik yükü

| Lokasyon               | Yıllık Ortalama Akış Hızı (m <sup>3</sup> /s)* | Konsantrasyon (adet/m <sup>3</sup> ) | Atıksudaki Mikroplastik Yükü (adet/yıl) |
|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Alata (Erdemli)</b> | 3.09                                           | 252                                  | 25 x10 <sup>9</sup>                     |
| <b>Arpaçbahşiş</b>     | 1.05                                           | 613                                  | 20 x10 <sup>9</sup>                     |
| <b>Deliçay</b>         | 1.98                                           | 220                                  | 14 x10 <sup>9</sup>                     |
| <b>Göksu</b>           | 84.13                                          | 344                                  | 913 x10 <sup>9</sup>                    |
| <b>Kandak</b>          | 1.59                                           | 271                                  | 15 x10 <sup>9</sup>                     |

**Tablo 4.2 (devamı)**

|                |       |     |                     |
|----------------|-------|-----|---------------------|
| <b>Lamas</b>   | 3.01  | 95  | $9 \times 10^9$     |
| <b>Mezitli</b> | 1.87  | 325 | $19 \times 10^9$    |
| <b>Müftü</b>   | 2.69  | 223 | $18 \times 10^9$    |
| <b>Total</b>   | 99.41 | --- | $1.031 \times 10^9$ |

\*Yıllık Ortalama Akış Hızına ait veriler DSI'den alınarak nehirlerin MP konsantrasyonu ve yükü hesaplanmıştır ([www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr)).

Buna göre, çalışmamızda örneklenen nehirler arasında en fazla mikroplastik yükünün, yüksek akış hızı (debi) nedeniyle yılda  $913 \times 10^9$  adet ile Göksu Nehri'nden kaynaklanacağı öngörülmüştür. Göksu Nehri'ni yılda  $25 \times 10^9$  adet MP yükü ile Alata deresinin izlediği görülmektedir. En fazla MP adeti tespit edilmesine rağmen, Arpaçbahşiş deresi en az debiye sahip olduğu için Akdeniz'e MP yıllık katkısı beklenenden daha az bulunmuştur.

Göksu Nehri'ne Silifke AAT atık suyu da deşarj edilmektedir. Silifke AAT'den gelen yıllık mikroplastik yükü, Göksu nehir yükünün sadece %3'üne tekabül etmekte olup, Göksu Nehri'ne yılda  $2.6 \times 10^9$  adet MP yükünün Silifke AAT'ne girdiği hesaplanmıştır [22]. Mersin'deki üç AAT'sinden gelen  $101,2 \times 10^9$  adet/yıl toplam mikroplastik yükü, çalışmamızda örneklenen sekiz nehir tarafından taşınan parçacıkların sadece %9,7'sidir. Bu durumda AAT lerin önemli miktarda MP giderdiği de görülmüştür. Seyhan ve Berdan nehirleri, Mersin Körfezi'ne akan ve çalışmamızda örneklemeyen diğer iki nehirdir. Bu iki nehir de önemli akış hızlarına sahiptir (Seyhan  $106 \text{ m}^3/\text{s}$ , Özpolat & Demir, 2019 ve Berdan  $22.23 \text{ m}^3/\text{s}$ , [137]. Ortalama  $293 \text{ adet}/\text{m}^3$  mikroplastik konsantrasyonu olduğu varsayıldığında bile bu kadar yüksek akış hızlarının dahil edilmesi, Mersin Körfezi'ne giren toplam nehir yükünü yılda  $2.216 \times 10^9$  adetin üzerine çıkaracaktır.

Mersin Körfezi, mikroplastiklerden etkilenen Akdeniz'deki en kirli bölgeler arasındadır. Güven ve Gökdağ tarafından 2017 yılında deniz yüzeyinde  $172.723 \text{ mikroplastik partikül}/\text{km}^2$ , su sütununda  $3.4 \text{ mikroplastik partikül}/\text{m}^3$  ve tortuda  $274 \text{ mikroplastik partikül}/\text{L}$  kadar yüksek konsantrasyonlar bildirilmiştir [23]. Akarsu tarafından Mersin Körfezi'nin tahmini hacmi  $175 \text{ m}^3$  alınarak su sütunu için  $3.4 \text{ adet}/\text{m}^3$  değeri kullanılarak, mikroplastik içeriği 595 milyar parçacık olduğu hesaplanmıştır [22]. Bu rakam yaklaşık olarak örneklenen sekiz nehirden altı aylık bir mikroplastik taşıma periyodu veya Berdan ve Seyhan nehirlerini dahil ettiğimizde sadece üç aylık bir yükleme periyoduna denk gelmektedir. Sonuçlarımız, nehirlerin

deniz ortamında son derece önemli bir mikroplastik kontaminasyonu kaynağı olduğunu açıkça göstermektedir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezi, kuzeydoğu Akdeniz'de sekiz nehirden Mersin Körfezi'ne taşınan mikroplastik konsantrasyonunu ve yükünü belirleyen ilk çalışmadır. Bu çalışmada incelenen nehirlerden taşınan mikroplastiklerin baskın formu lif ve rengi ise mavi olarak gözlenmiştir. Nehir suları için yapılan bu çalışmada bulunan mikroplastiklerin büyük bir kısmının (%91) 2.5 mm'den daha kısa olduğu görülmüştür. Yüzey suyu örneklerinden belirlenen en baskın polimer türü, dünyada en yaygın kullanılan plastik türü olan polietilendir (PE). Çalışmada, polimer yapısı incelenen mikroplastiklerde yoğun olarak polietilen (PE)'e rastlanmıştır. Polipropilen ve polietilen özellikle ambalaj ürünlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Mikroplastik numunelerinde polipropilen ve polietilene sıklıkla rastlanmasının nedeninin ambalaj atıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada da bahçecilikte kullanılan PE içerikli sera plastik örtülerinin nehirlerdeki mikroplastik konsantrasyonuna katkı sağladığı tespit edilmiştir. Mikroplastik seviyeleri, incelenen nehirler arasında önemli ölçüde farklılık göstermiştir. En yüksek mikroplastik konsantrasyonu Arpaçbahşiş nehrinde (633 adet/m<sup>3</sup>), en düşük konsantrasyon ise Lamas nehrinde (95 adet/m<sup>3</sup>) bulunmuştur. Ancak, yüksek akış hızı nedeniyle Göksu nehri, kuzeydoğu Akdeniz'de Mersin Körfezi'nin alıcı alanı için mikroplastik yüküne açık ara en büyük katkıyı yapan nehir olarak görülmektedir. Altı aylık bir süre boyunca sekiz nehirden gelen toplam mikroplastik yükü, Mersin Körfezi'ndeki su sütununun toplam mikroplastik stoğuna eşdeğer olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma için Akdeniz'e nehirlerden gelen mikroplastik yüklemesi, aynı bölgede bulunan üç atık su arıtma tesisi (AAT) için bildirilenden daha yüksek olarak hesaplanmıştır.

Çalışmamız, nehirlerin karasal mikroplastiklerin deniz ortamına taşınması için önemli bir yol olduğunu doğrulamaktadır. Nüfusun çoğunlukla nehirler, haliçler ve kıyı bölgeleri çevresinde yer aldığı düşünüldüğünde, mevcut plastik tüketimi göz önüne alındığında suçul ekosistemlerdeki mikroplastik konsantrasyonunun artmaya devam etmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle hem daha iyi değerlendirme yapmak hem de karasal çöp sorununa çözümler geliştirmek için mikroplastiklerin nehir sistemleri aracılığıyla taşınması hakkında daha uzun süreli ve analizlerin yoğun olduğu araştırmaların yapılması gerekmektedir. Mikroplastik kirliliği problemi giderek büyüyen bir sorun haline geldiğinden ötürü dünyanın çoğu ülkelerinde bilim insanları ve araştırmacılar bu probleme çözüm aramaktadır. Örneğin; mikroplastik arıtımı için yeni çözümler bulmayı amaçlayan bir grup bilim insanı, plastik kirliliğine çözüm aramaktadır. Almanya'daki Koblenz-Landau Üniversitesinde yapılan bir projede, araştırmacılar geliştirdikleri hibrit silika jel parçalarıyla sudaki mikroplastik parçacıkların toplanmasını sağlayarak büyük parçalar halinde suyu yüzeyine çıkarıp biriktirdiğini kanıtlamışlardır.

Denizdeki katı atıklar ve plastik kirliliği ile mücadele kapsamında bütün dünyada yerel otoriteler ve sivil toplum örgütleri tarafından çeşitli faaliyetler yürütülmektedir. Avrupa Parlamentosu Genel Kurulu, tek kullanımlık plastik atıkların kullanımını sınırlandırmak amacıyla hazırlanan yasal düzenlemeyi sunarak; plastik kulak pamukları, çatal-bıçak setleri, tabaklar, pipetler, içecek karıştırıcılar ve balon çubuklarının 2021 yılından itibaren yasaklanacağını onaylamıştır. Türkiye’de de Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca yapılan düzenleme kapsamında 1 Ocak 2019 tarihinden itibaren plastik poşetleri satış noktalarından ücret karşılığında temin edilmeye başlanmıştır. Bu uygulama ile plastik poşet kullanımının azaltılması için halkın teşvik edilmesi sağlanmıştır.

Bir mantar türü olan *Aspergillus tubingensis* ile ilgili yapılan çalışmalarda, plastik kirliliğine çözüm olabileceği söylenmektedir. Bilim adamları tarafından yayınlanan bir rapora göre, söz konusu mantarların doğada çözünmesi yüzyıllar alan plastiği birkaç hafta içerisinde çözdüğü söylenmektedir. Bu tip çalışmalar mikroplastik kirliliğini önlemek için ümit verici olsada, küresel ölçekte yüksek miktarda plastik tüketiminin önüne geçilmediği sürece kalıcı bir çözüm bulunamayacaktır.

Çevreye ve okyanuslara dökülen plastiklerin hepsini toplamak ve mikroplastikleri normal arıtma yöntemi ile uzaklaştırmak imkansızdır. Bu plastiklerin hepsinin toplandığı varsayılsa bile zararsız olarak geri dönüştürülmesi mümkün değildir. Bu sebeple bu konuda izlenecek politika olarak; aşırı plastik kullanımının önüne geçilmesi ve plastik üretimini geri dönüştürülebilir malzemeden yapılması, plastik kirliliğini kaynağında azaltma olabilir. Tabi bu konudaki etkili çözüm yöntemlerinin başında, mikroplastik kirliliği konusunda bilinçlendirme ve farkındalık oluşturma gelmektedir.

Mikroplastik kirliliği ile mücadelede gerçekleştirilmesi gereken birçok yol bulunmaktadır. Atık su arıtma tesislerinden mikroplastik giderimi gerçekleştirilmeden alıcı ortama bırakılan sular, balıkçılık faaliyetleri sonucu oluşan mikroplastikler (hayalet ağlar vb.) kıyı alanlarının rekreasyonel kullanımı, nüfusun hızla artması ve atıkların doğaya öylece bırakılması dünyamızı plastik kirliliğine maruz bırakmaktadır.

Atıksu arıtma tesislerinin yaygınlaştırılması ve filtrasyon verimliliklerinin artırılması, kentsel su döngüsü ve kanalizasyon odaklı ileri çalışmalar ile yeni teknolojilerin geliştirilerek denizlerimize giren mikroplastiklerin azaltılması/durdurulması gerekmektedir. Mikroplastiklerin kaynak, akümülayon alanları ve etkilerin anlaşılması ve daha etkili yöntemlerin sağlanması, izleme çalışmalarının devamı ve izleme noktalarının artırılması bir

ihtiyaçtır. Çeşitli çalışmalar ve devam eden projeler arasında verileri entegre edebilmek için mikroplastiklerin örneklenmesi, analiz ve raporlanmasında standardizasyona acil ihtiyaç duyulmaktadır.



## KAYNAKLAR

- [1]. [http://www.plasticseurope.org/documents/document/20151216062602plastics\\_the\\_facts\\_2015\\_final\\_30pages\\_14122015.pdf](http://www.plasticseurope.org/documents/document/20151216062602plastics_the_facts_2015_final_30pages_14122015.pdf) (22.01.2021).
- [2]. Bordos, G., Urbányi, B., Micsinai, A., Kriszt, B., Palotai, Z., Szabó, I., Hantosi, Z., Szoboszlay, S. (2019). Identification of microplastics in fish ponds and natural freshwater environments of the Carpathian basin, Europe. *Chemosphere*, 216,110–116.
- [3]. Yuan, W., Liu, X., Wang, W., Di, M., Wang, J. (2019). Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170,180–187.
- [4]. Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci*, 364,1985-1998.
- [5]. Rillig, M.C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environ. Sci. Technol*, 46, 6453-6454.
- [6]. Moore, C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environ. Res*, 108 (2), 131-139.
- [7]. Zarfl, C., Fleet, D., Fries, E. (2011). Microplastics in oceans *Mar. Pollut. Bull.*, 62 (8), 1589-1591.
- [8]. Von, N., Burkhardt-Holm, P., Kohler, A., (2012). Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environ. Sci. Technol*, 46 (20), 11327–11335.
- [9]. Kayhan, E.F. (2019). Mikroplastiklerin (MP) Sucul Organizmalar Üzerindeki Risk Profillerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 45(2), 126-135.
- [10]. Yurtsever, M. (2015). Mikroplastiklere genel bir bakış. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi. Fen ve Mühendislik Dergisi* 17(50), 68–83.
- [11]. Bläsing, M., Amelung, W. (2018). Plastics in soil: analytical methods and possible sources *Sci. Total Environ*, 612,422-435.
- [12]. Guo, J.J., Huang, X.P., Xiang, L., Wang, Y.Z., Li, Y.W., Li, H., Cai, Q.Y., Mo, C.H., M. Wong, H. (2020). Source, migration and toxicology of microplastics in soil *Environ. Int.* 137, 105263.
- [13]. Cauwenberghe, L. V., Janssen, C.R., Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ. Pollut*, 193, 65-70.

- [14]. Perez-Venegas, D.J., Seguel, M., Pavés, H., Pulgar, J., Urbina, M., Ahrendt, C., Galbán-Malagón, C. (2018). First detection of plastic microfibers in a wild population of South American fur seals (*Arctocephalus australis*) in the Chilean Northern Patagonia. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 50–54.
- [15]. Renzi, M., Guerranti, C., Blaskovic, A. (2018). Microplastic contents from maricultured and natural mussels. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 248–251.
- [16]. [https://www.wwf.org.tr/basin\\_bultenleri/raporlar/?7820](https://www.wwf.org.tr/basin_bultenleri/raporlar/?7820) (20.01.2021).
- [17]. Estahbanati, S., Fahrenfeld, N.L. (2016). Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface Water. *Chemosphere*, 162, 277–284.
- [18]. Alimi, O. S., Budarz, J. F., Hernandez, L. M. and Tufenkji, N. (2018). Microplastics and Nanoplastics in Aquatic Environments: Aggregation, Deposition, and Enhanced Contaminant Transport. *Environ. Sci. Technol*, 52, 1704–1724.
- [19]. Cheung, P. K., Hung, P. L., Fo, L. (2019). River Microplastic Contamination and Dynamics upon a Rainfall Event in Hong Kong, China. *Environmental Processes*, 6, 253–264.
- [20]. Dahms, H.T.J., Gregg, J., Rensburg, V., Greenfield, R. (2020). The microplastic profile of an urban African stream. *Science of The Total Environment*, 731, 138893.
- [21]. Gündoğdu, S. (2018). Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food additives & contaminants: part a*, 35, 5, 1006–1014.
- [22]. Akarsu, C., Kumbur, H., Gökdağ, K., Kıdeys, A.E., Vidal, A.S. (2020). Microplastics composition and load from three wastewater treatment plants discharging into Mersin Bay, north eastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110776.
- [23]. Güven, O., Gökdağ, K., Jovanovic, B., Kıdeys, E. A., (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environmental Pollution*, 223, 286–294.
- [24]. Crawford, C.B., Quinn, B. (2017). Microplastic Pollutants. London: Elsevier Science.
- [25]. Güler, Ç., Çobanoğlu Z. (1997). Plastikler. Ankara: Aydoğdu Ofset.
- [26]. <https://www.lafsozluk.com/2016/12/polimer-nedir-polimerlesme-ne-demektir.html> (1.01.2020).
- [27]. Kılıç, M., Yüce, A.E. (2014). PVC ve PET Atıkların Seçimli Flotasyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (2), 79–93.



- [28]. Ozansoy, O. (2005). *Buzdolaplarında Yeni Bir Uygulama “Kapı İçi Kapı” Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [29]. Crawford, R.J., Martin, P.J. (2020). *Plastics Engineering*. ABD: Elsevier Science.
- [30]. Arçelik. (2002). Arçelik Plastik Eğitim Notları. Ankara.
- [31]. <http://muhendisastani.blogspot.com/2017/07/plastik-malzemeler.html> (3.01.2021).
- [32]. Braun, D. (1999). *Identification of Plastics*.
- [33]. [https://www.wikiwand.com/sr/Polietilen tereftalat](https://www.wikiwand.com/sr/Polietilen%20tereftalat) (13.01.2021).
- [34]. Gündoğdu, S., Çevik, C., Karaca, S., 2017. Fouling assemblage of benthic plastic debris collected from Mersin Bay, NE Levantine coast of Turkey, *Marine Pollution Bulletin*, 124, 147-154.
- [35]. Ekşi, O., (2007). *Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi*. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne.
- [36]. Vatansever, A., (2015). *Poli (Bütıl Akrilat-Metil Metakrilat) Nanokompozitlerin Film Özelliklerinin İncelenmesi ve Boya Bağlayıcısı Olarak Kullanımı*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [37]. Zhang, F., Zhao, Y., Wang, D., Yan, M., Zhang, J., Zhang, P., Ding, T., Chen, L. and Chen, C. (2021). Current technologies for plastic waste treatment: A review. *Journal of Cleaner Production*. 282, 124523.
- [38]. Tang, Z., Li, W., Tam, V.W.Y., Xue, C. (2020). Advanced progress in recycling municipal and construction solid wastes for manufacturing sustainable construction materials. *Resour. Conserv. Recycl.* 6.
- [39]. Zhang, K., Shi, H., Peng, J., Wang, Y., Xiong, X., Wu, C., Lam, P.K.S. (2018). Microplastic pollution in China’s inland water systems: a review of findings, methods, characteristics, effects, and management. *Sci. Total Environ.* 630, 1641-1653.
- [40]. Zhao, Y., Tan, Y., Feng, S. (2020). Does reducing air pollution improve the progress of sustainable development in China? *J. Clean. Prod.* 272, 122759.
- [41]. Anuar, S.D., Abnisa, F., Wan, W.M.A., Daud, M., Aroua, K. (2016). A review on pyrolysis of plastic waste. *Energy Convers. Manag.* 115, 308-326.
- [42]. Calero, M., Godoy, V., Quesada, L., Martín-Lara, M.A. (2021). Green strategies for microplastics reduction. *Journal Pre-proof*, 100442.

- [43]. Thomas, K., Nerland, I.L., Halsband, C. and Allan, I., (2014). Microplastics in marine environments: Occurrence, distribution and effects (Rapor No. 6754-2014). Oslo: NIVA.
- [44]. Avio, C.G., Gorbi, S., Regoli, F., (2017). Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research*, 128, 2-11.
- [45]. [https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/IR1\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/IR1_en.pdf) (23.01.2021).
- [46]. Yurtsever, M., (2015). Mikroplastiklere genel bir bakış. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17, 68-83.
- [47]. Doğruyol, P. (2019). Haliç Sedimanlarında Mikroplastik Kirliliğinin Araştırılması. İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [48]. Cózar, A., Martí, E., Duarte, C. M., García-de-Lomas, J., van Sebille, E., Ballatore, T. J. (2017). The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the thermohaline circulation. *Science Advances*, 3, 1600582.
- [49]. Imhof, H. K., Sigl, R., Brauer, E., Feyl, S., Giesemann, P., Klink, S., et al. (2017). Spatial and temporal variation of macro-, meso- and microplastic abundance on a remote coral island of the Maldives, Indian Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 116(1-2), 340-347.
- [50]. van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B. D., van Franeker, J. A., et al. (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters*, 10, 12, 124006.
- [51]. Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., et al. (2014). Plastic pollution in the World's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *Plos One*, 9, 1-15.
- [52]. Carpenter, E. J., & Smith, K. L. (1972). Plastics on the Sargasso sea surface. *Science*, 175, 4027, 1240-1241.
- [53]. GESAMP (The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), (2015). Sources, Fate and Effects of Microplastics In The Marine Environment: A Global Assessment, International Maritime Organization, Reports and Studies (Report No. 90, 98)
- [54]. Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., et al. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838.
- [55]. Moore, C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environ. Res*, 108, 131-139

- [56]. <https://www.yenibiyoloji.com/mikroplastik-nedir-4732/> (21.01.2021).
- [57]. Aslan, R. (2018). Mikroplastikler: Hayatı Kuşan Yeni Tehlike. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi* 6,66.
- [58]. Yurtsever, M. (2018). Küresel Plastik Kirliliği, Nanomikroplastik Tehlikesi ve Sürdürülebilirlik. *Çevre Bilim ve Teknoloji*, 171-197.
- [59]. Kıdeys, A. E. (2017). Su Kaynaklarındaki Mikroplastikler ve Ekotoksikolojik Etkileri. ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü. Antalya. (Denizimi Tanıyorum ve Koruyorum Projesi Eğitim Sunumu)
- [60]. Auta, H.S., Emenike, C.U., Fauziah, S.H., (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165–176.
- [61]. TÜDAV (Türk Deniz Araştırmaları Vakfı), (2017). 2017 Yılı Türkiye Denizleri Raporu. (<http://tudav.org>)
- [62]. Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., Setälä, O., (2017). Solutions to microplastic pollution - Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies, *Water Research*, 123, 401-407.
- [63]. Wu, W. M., Yang, J., & Criddle, C. (2017). Microplastics pollution and reduction strategies. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11,1, 6.
- [64]. GESAMP (The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), (2016). Sources, Fate and Effects of Microplastics In The Marine Environment: Part Two of A Global Assessment, International Maritime Organization, Reports and Studies (Report No. 93, 221).
- [65]. Ma, H., Pu, S., Liu, S., Bai, Y., Mandal, S., Xing, B. (2020). Microplastics in aquatic environments: Toxicity to trigger ecological consequences. *Environmental Pollution*, 261,114089.
- [66]. Tutoğlu, N., (2019). Sucul Ortamdaki Mikroplastiklerin İnsan Sağlığına Etkisi ve Arıtma Yöntemlerinin Araştırılması. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara.
- [67]. Verschoor, A. (2015). Towards a definition of microplastics: Considerations for the specification of physico-chemical properties. *National Institute for Public Health and the Environment*.
- [68]. Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 615.

- [69]. Khatmullina, L., Isachenko, I. (2017). Settling velocity of microplastic particles of regular shapes. *Mar. Pollut. Bull*, 114,871-880.
- [70]. Filella, M. (2015). Questions of size and numbers in environmental research on microplastics: methodological and conceptual aspects. *Environ. Chem*, 12,5, 527-538.
- [71]. Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas Estuar. *Coast Shelf Sci*, 199, 74-86.
- [72]. Chubarenko, I., Bagaev, A., Zobkov, M., Esiukova, E. (2016). On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment. *Mar. Pollut. Bull*, 108,1-2, 105-112.
- [73]. Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, M., Kang, J.H., Kwon, O.Y., Han, M. and Shim, W.J. (2014). Large Accumulation of Micro-sized Synthetic Polymer Particles in the Sea Surface Microlayer. *Environmental Science & Technology*. 48, 9014–9021.
- [74]. Zhu, J., Zhang, Q., Li, Y., Tan, S., Kang, Z., Yu, X., Lan, W., Cai, L., Wang, J., Shi, H. (2019). Microplastic pollution in the Maowei Sea, a typical mariculture bay of China. *Science of the Total Environment* 658, 62–68.
- [75]. Rist, S., Almroth, B. C., Hartmann, N. B., & Karlsson, T. M. (2018). A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Science of The Total Environment*, 626, 720-726.
- [76]. Wright, S., & Kelly, F.J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue?. *Environmental Science & Technology*, 51, 6634-6647.
- [77]. Bakir, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C., (2014). Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions. Estuarine. *Coastal and Shelf Science*, 140, 14-21
- [78]. Koelmans, A.A., Bakir, A., Burton, G.A., Janssen, C.R., (2016). Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies. *Environmental science & technology*. 50. 3315-3326.
- [79]. Teuten, E.L., Rowland, S.J., Galloway, T.S., Thompson, R.C., (2007). Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environmental science & technology*. 41, 7759-7764.
- [80]. Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Galloway, T.S., (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental science & technology*. 49, 1130-1137.
- [81]. Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G., (2016)., Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water research*, 91, 174-182.

- [82]. Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Tassin, B., (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, 221, 453-458.
- [83]. Desforages, J.P.W., Galbraith, M., Dangerfield, N., Ross, P.S., (2014). Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Marine pollution bulletin*, 79, 94-99.
- [84]. Lusher, A.L., Burke, A., O'Connor, I., Officer, R., (2014). Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: validated and opportunistic sampling. *Marine pollution bulletin*, 88, 325-333.
- [85]. Yurtsever, M., Ünlü, Y., Yılmaz, M., & Kartal, A. (2017). İç ve Dış Ortam Havasındaki Mikroplastiklerin İncelenmesi: Bir Kampüs Örneği. 13. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. İzmir: Makina Mühendisleri Odası.
- [86] Piperagkas, O., Papageorgiou, N., Karakassis, I. (2019). Qualitative and quantitative assessment of microplastics in three sandy Mediterranean beaches, including different methodological approaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 219, 169-175.
- [87] Constant, M., Kerherve, P., Mino, M., Vercellio, V., Dumontier, M., Vidal, S.A., Canals, M., Heussner, M. (2019). Beached microplastics in the Northwestern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 263-273.
- [88] Shabaka, H.S., Ghobashy, M., Marey S.R. (2019). Identification of marine microplastics in Eastern Harbor, Mediterranean Coast of Egypt, using differential scanning calorimetry. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 494-503.
- [89] Yabanlı, M., Yozukmaz, A., Şener İdris., Ölmez, T.Ö. (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.
- [90] Gündoğdu, S. (2017). High level of micro-plastic pollution in the Iskenderun Bay NE Levantine coast of Turkey. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 34,4, 401- 408.
- [91] Hal, D.V.N., Ariel, A., Angel, L. D. (2017). Exceptionally high abundances of microplastics in the oligotrophic Israeli Mediterranean coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 116, 151-156.
- [92] Gündoğdu, S. Çevik, C. (2017). Micro- and mesoplastics in Northeast Levantine coast of Turkey: The preliminary results from surface samples. *Marine Pollution Bulletin*, 118, 341-347.
- [93]. Li, J., Liu, H., & Chen, P. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 362-374.

- [94]. S. Veerasingam, M. Ranjani, R. Venkatachalapathy, B. Andrei, M. Vladimir, L. Daria. (2020). Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Volume 51, 2021-Issue 22.
- [95]. Mason, S.A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D., & Rogers, D.L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution*, 218, 1045-1054. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.056>
- [96]. Zhao, W., Huang, W., Yin, M., Huang, P., Ding, Y., Ni, X., Xia, H., Liu, H., Wang, G., Zheng, H., Ca, M., (2020). Tributary inflows enhance the microplastic load in the estuary: A case from the Qiantang River. *Mar. Pollut. Bullet.* 156, 111152.
- [97]. Zhang, Z., Deng, C., Dong, L., Liu, L., Li, H., Wu, J., Ye, C., (2021). Microplastic pollution in the Yangtze River Basin: Heterogeneity of abundances and characteristics in different environments, *Environmental Pollution*, 287, 15 117580.
- [98]. Sang, W., Chen, Z., Mei, L., Hao, S., Zhan, C., Zhang, W., & Liu, J. (2021). The abundance and characteristics of microplastics in rainwater pipelines in Wuhan, China. *Science of the Total Environment*, 755, 142606. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142606>
- [99]. Yan, M., Nie, H., Xu, K., He, Y., Hu, Y., Huang, Y., & Wang, J. (2019). Microplastic abundance, distribution and composition in the Pearl River along Guangzhou city and Pearl River estuary, China. *Chemosphere*. 217, 879-886. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.093>
- [100]. Napper, I.E., Baroth, A., Barrett, A.C., Bhola, S., Chowdhury, G.W., Davies, B.F.R., Duncan, E.M., Kumar, S., Nelms, S.E., Niloy, N.H., Nishat, B., Maddalene, T., Thompson, R.C., & Koldewey, H. (2021). The abundance and characteristics of microplastics in surface water in the transboundary Ganges River. *Environmental Pollution*, 274, 116348. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116348>
- [101]. Çatalbaş, F., (2017), *Tuz Gölü Tuzlarında Mikroplastik Varlığının İncelenmesi*, Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [103]. Ceylan, B., (2017), *Atıksulardaki Mikroplastik Kirliliğinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [104]. Tsering, T., Sillanpää, M., Viitala, M., Pia Reinikainen, S., (2021). Microplastics pollution in the Brahmaputra River and the Indus River of the Indian Himalaya. *Science of The Total Environment* 789, 147968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147968>

- [103]. Fortin, S., Song, B., Burbage, C., (2019). Quantifying and identifying microplastics in the effluent of advanced wastewater treatment systems using Raman microspectroscopy. *Mar. Pollut. Bull.* 149, 110579.
- [104]. Schwarz, A.E., Ligthart, T.N., Boukris, E., & Van Harmelen, T. (2019). Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Marine Pollution Bulletin*, 143, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.029>
- [105]. Kowalski, N., Reichardt, A.M., & Waniek, J.J. (2016). Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors. *Marine Pollution Bulletin*, 109, 310-319. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.064>
- [106]. Hurley, R., & Nizzetto, L. (2018). Fate and occurrence of micro(nano)plastics in soils: knowledge gaps and possible risks. *Current Opinion Environmental Science & Health*, 1, 6-11. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.006>
- [107]. Cheung, P.K. Fok, L., Hung, P.L., & Cheung, L.T.O. (2018). Spatio-temporal comparison of neustonic microplastic density in Hong Kong waters under the influence of the Pearl River Estuary. *Science of the Total Environment*, 628-629, 731-739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.338>
- [108]. Wang, S., Zhang, C., Pan, Z., Sun, D., Zhou, A., Xie, S., Wang, J., Zou, J., (2020). Microplastics in wild freshwater fish of different feeding habits from Beijiang and Pearl River Delta regions, south China. *Chemosphere*. 258, 127345.
- [109]. Zhang, W., Zhang, S., Wang, J., Wang, Y., Mu, J., Wang, P., Lin, X., & Ma, D. (2017). Microplastic pollution in the surface waters of the Bohai Sea China. *Environmental Pollution*, 231, 541-548. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.058>
- [110]. Lam, T.W.L., Foka, L., Linb, L., Xieb, Q., Li, H.X., Xu, X.R., & Yeung, L.C. (2020). Spatial variation of floatable plastic debris and microplastics in the Pearl River Estuary, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111383. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111383>
- [111]. Collard, F., Gasperi, J., Gabrielsen, G.W., Tassin, B., 2019. Plastic particle ingestion by wild freshwater fish: a critical review. *Environ. Sci. Technol.* 53, 12974-12988. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03083.s001>.
- [112]. Pan, Z., Sun, Y., Liu, Q., Lin, C., Sun, X., He, Q., Zhou, K., & Lin, H. (2020). Riverine microplastic pollution matters: A case study in the Zhangjiang River of Southeastern China. *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111516. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111516>
- [113]. Su, L., Deng, H., Li, B., Chen, Q., Pettigrove, V., Wu, C., & Shi, H. (2019). The occurrence of microplastic in specific organs in commercially caught fishes from coast and estuary area of east

China. *Journal of Hazardous Materials*, 365, 716-724.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.024>

[114]. Bellas, J., Martinez-Armental, J., Martinez-Camara, A., Besada, V. & Martinez-Gomez, C. (2016). Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 109, 55-60.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.026>

[115]. Wright, S.L., Thompson, R.C., & Galloway, T.S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483-492.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>

[116]. Zhang,K., Hamidian,A,H., Tubic,A., Zhang,Y., K.H. Fang,J., Wu,C., Paul K.S., Lam. Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review\* *Environmental Pollution* 274 (2021) 116554.

[117]. Gulmine,J.V., Janissek,P.R., Heise,H.M., Akcelrud,L., Polyethylene characterization by FTIR, *Polymer Testing*, 21(5), 2002, 557-563.

[118]. Weber, R., Watson, A., Forter, M., Oliaei, F., 2011. Persistent organic pollutants and landfills - a review of past experiences and future challenges. *Waste Manag. Res.* 29 (1), 107-121.

[119]. Sang, W., Chen, Z., Mei, L., Hao, S., Zhan, C., Zhang, W., & Liu, J. (2021). The abundance and characteristics of microplastics in rainwater pipelines in Wuhan, China. *Science of the Total Environment*, 755,142606. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142606>

[120]. Xiong, X., Wu, C., Elser, J.J., Mei, Z., & Hao, Y. (2019). Occurrence and fate of microplastic debris in middle and lower reaches of the Yangtze River – from inland to the sea. *Science of the Total Environment*, 659, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.313>

[121]. Erüz, C., Liman, Y., Çakır, B., ÖzÇeker, K., (2010). Doğu- Karadeniz Kıyılarında Katı Atık Kirliliği, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VIII. Ulusal Kongresi, 27 Nisan-1 Mayıs 2010.

[122]. Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M.C.M., & Ni, B. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: detection, occurrence and removal. *Water Research*, 152, 21-37.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>

[123]. Lahens, L., Strady, E., Kieu-Le, T-C., Dris, R., Boukerma, K., Rinnert, E., Gasperi, J., Tassin, B., (2018). Macroplastic and microplastic contamination assessment of a tropical river (Saigon River, Vietnam) transversed by a developing megacity\*, *Environmental Pollution*, 236, 661- 671.



- [124]. Zbyszewski, M., Corcoran, P.L., (2011). Distribution and degradation of fresh water plastic particles along the beaches of Lake Huron, Canada, *Water Air Soil Pollut*, 220, 365-372.
- [125]. Horton, A.A., & Dixon, S.J. (2018). Microplastics:an introduction to environmental transport processes. *WIREs Water*, 5(2), e1268. <https://doi.org/10.1002/wat2.1268>
- [126]. He, B., Goonetilleke, A., Ayoko, G.A., & Rintoul, L. (2020). Abundance, distribution patterns, and identification of microplastics in Brisbane River sediments, Australia. *Science of the Total Environment*, 700,134467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134467>
- [127]. Frere, L., Paul-Pont, I., Rinnert, E., Petton, S., Jaffre, J., Bihannic, I., Soudant, P., Lambe, C., Huvet, A., (2017). Influence of environmental and anthropogenic factors on the composition, concentration and spatial distribution of microplastics: A case study of the Bay of Brest (Brittany, France). *Environ. Pollut.* 225, 211-222.
- [128]. Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., Schludermann, E., (2014). The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environ. Pollut.* 188, 177–181.
- [129]. Vermaire, J.C., Pomeroy, C., Herczegh, S.M., Haggart, O., Murphy, M., (2017). Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries. *Facets*, 2, 301-314.
- [130]. Campanale, C., Savino, I., Pojar, I., Massarelli, C., Uricchio, V.F., (2020). A practical overview of methodologies for sampling and analysis of microplastics in riverine environments. *Sustainability* 12, 6755.
- [131]. Constant, M., Ludwig, W., Kerhervé, P., Sola, J., Charrière, B., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Heussner, S., 2020. Microplastic fluxes in a large and a small Mediterranean river catchments: The Têt and the Rhône, Northwestern Mediterranean Sea. *Sci. Tot. Environ.* 716, 136984.
- [132]. Park, T.J., Lee, S.H., Lee, M.S., Lee, J.K. Lee, S.H., Zoh, K.D., (2020). Occurrence of microplastics in the Han River and riverine fish in South Korea. *Sci. Tot. Environ.* 708, 134535.
- [133]. Rodrigues, M.O., Abrantes, N., Gonçalves, F.J.M., Nogueira, H., Marques, J.C., Gonçalves, A.M.M., (2018). Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal). *Sci. Total Environ.* 633, 1549-1559.
- [134]. Ding, L., Mao R.F., Guo, X., Yang, X., Zhang, Q., Yang, C., (2019). Microplastics in surface waters and sediments of the Wei River, in the northwest of China. *Sci. Tot. Environ.* 667, 427-434.

[135]. Mintenig, S.M., Kooi, M., Erich, M.W., Primpke, S., Redondo- Hasselerharm, P.E., Dekker, S.C., Koelmans, A.A., van Wezel A.P., (2020). A systems approach to understand microplastic occurrence and variability in Dutch riverine surface waters. *Water Res.* 176, 115723.

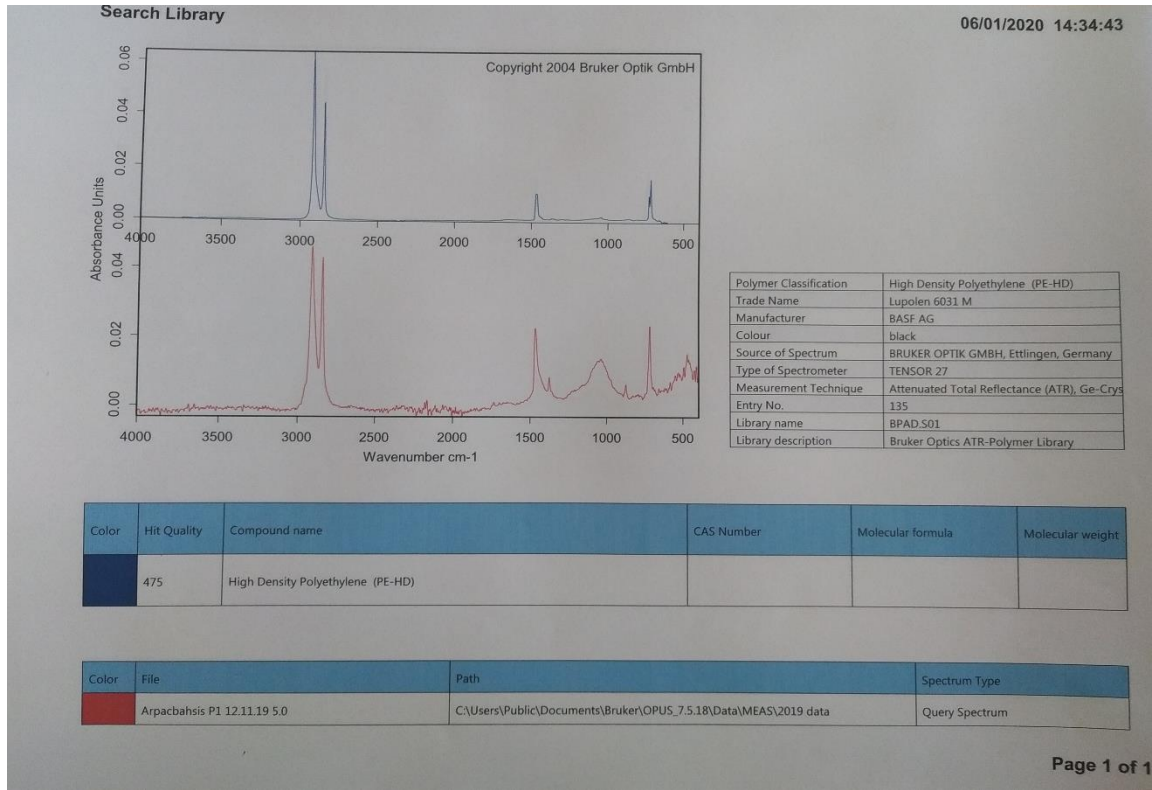
[136]. Rodrigues, M.O., Abrantes, N., Gonçalves, F.J.M., Nogueira, H., Marques, J.C., & Gonçalves, A.M.M. (2018). Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal). *Science of the Total Environment*, 633, 1549-1559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.233>

[137]. Özbay, Ö., Göksu, M., Alp, M.T., & Sungur, M.A. (2013). Berdan Çayı (Tarsus-Mersin) Sedimentinde Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması. *Ekoloji Dergisi*, 22(86), 68-74. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2013.868>

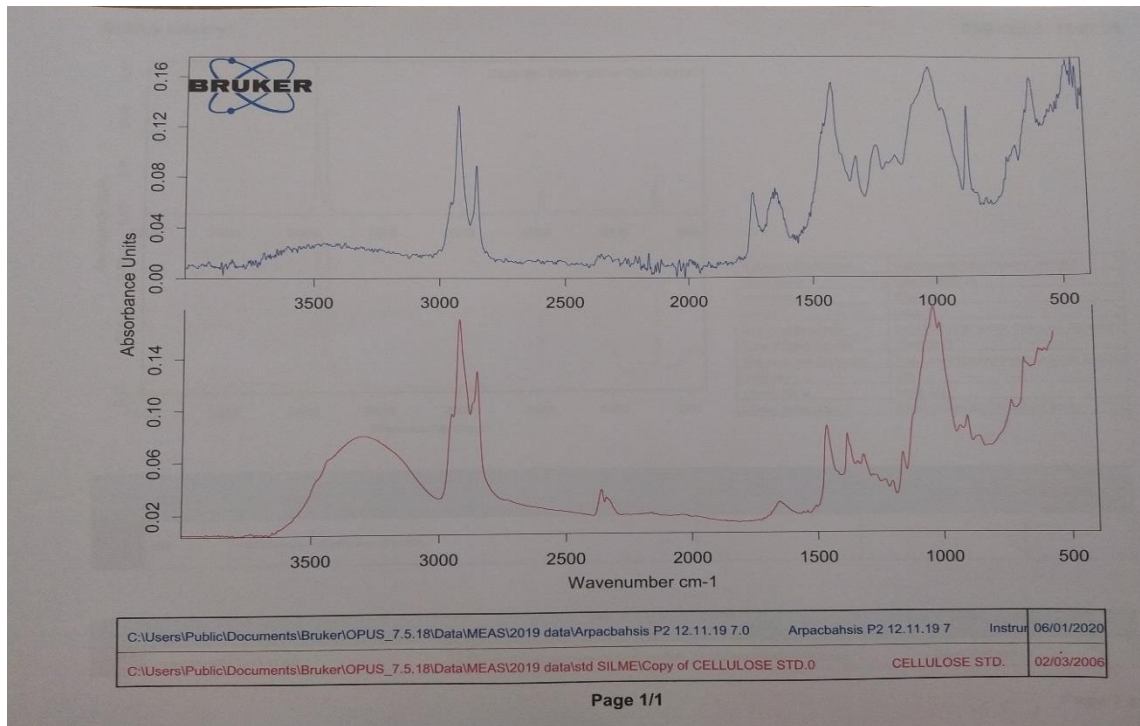


## EKLER

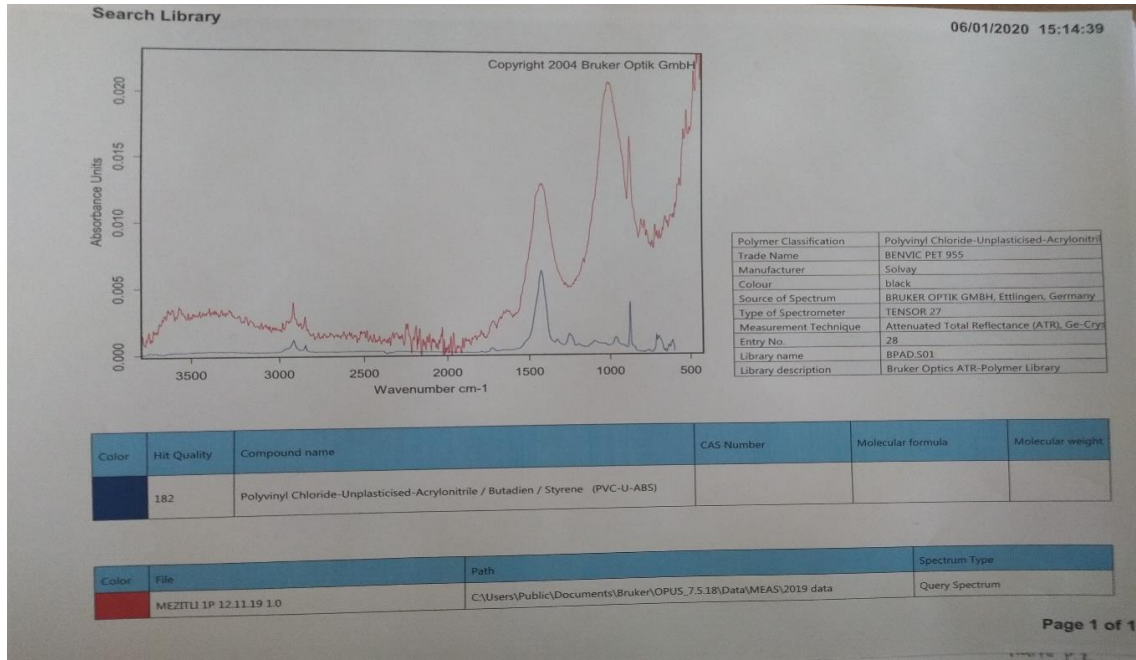
### 1. Arpacbahşiş FTIR Spektrumu (1. Paralel).



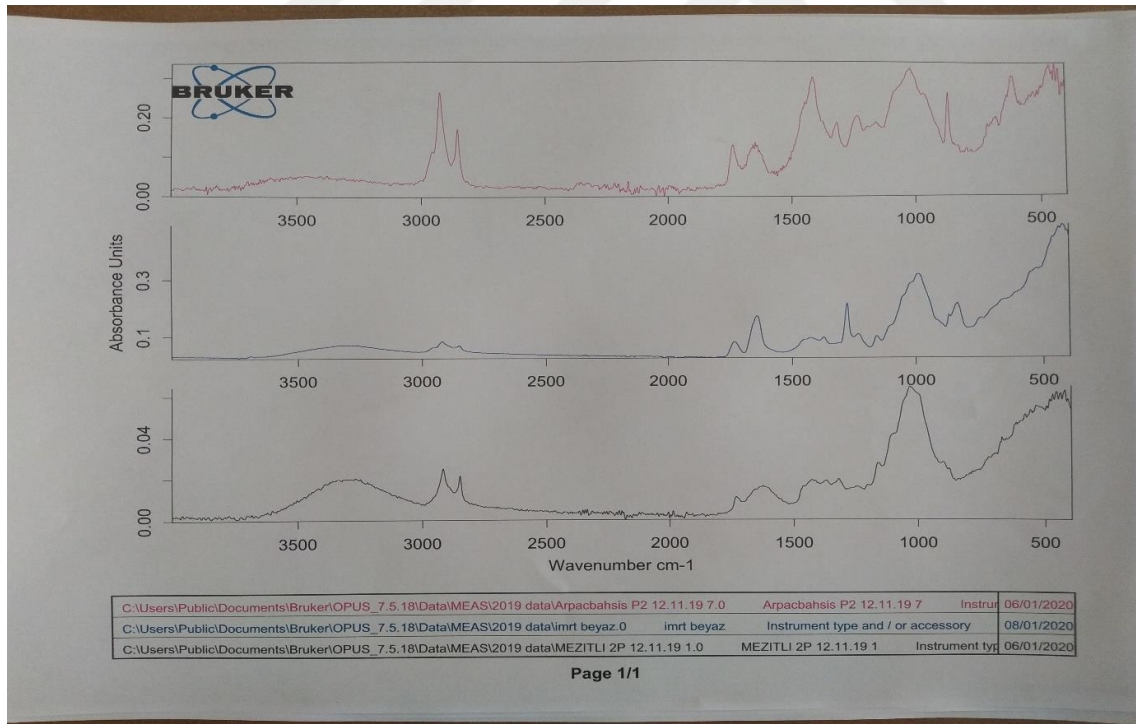
### 2. Arpacbahşiş FTIR Spektrumu (2. Paralel).



### 3. Mezitli FTIR Spektrumu (1. Paralel).

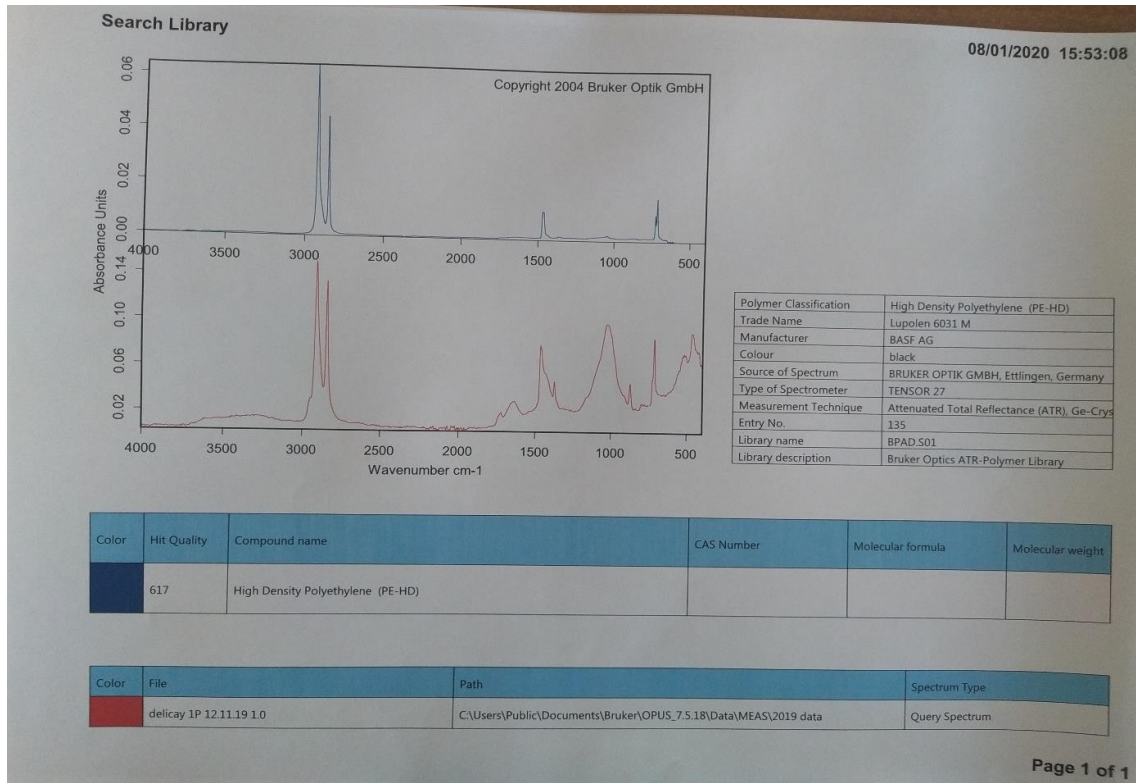


### 4. Mezitli FTIR Spektrumu (2. Paralel).





## 5. Deliçay FTIR Spektrumu (1. Paralel).



## 6. Deliçay FTIR Spektrumu (2. Paralel).

