

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ÜRÜNLERDE MİKROPLASTİK SALIM  
POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serenay HAZAR**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**NİSAN 2023**



**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ÜRÜNLERDE MİKROPLASTİK SALIM  
POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serenay HAZAR**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Meral YURTSEVER**

**NİSAN 2023**



Serenay HAZAR tarafından hazırlanan “PLASTİK ÜRÜNLERDE MİKROPLASTİK SALIM POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ ” adlı tez çalışması  
19.04.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

**Jüri Başkanı :**            **Unvan Adı SOYADI** .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :**            **Unvan Adı SOYADI** .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :**            **Unvan Adı SOYADI** .....  
Sakarya Üniversitesi



## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “PLASTİK ÜRÜNLERDE MİKROPLASTİK SALIM POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığımı, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(19/04/2023)

Serenay HAZAR



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi birikiminden, tecrübelerinden ve değerli düşüncelerinden faydalandığım, sürecimin her aşamasında rehberliği sayesinde aydınlandığım, çalışma ve araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar bütün aşamalarında yardımcı olan, teşvik ve motive eden, zorluklar karşısında yapılması gerekenleri öğreten, değerli danışman hocam Doç. Dr. Meral YURTSEVER'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma ve deney sürecinde kullanılması gereken cihazları detaylı ve anlaşılır bir şekilde anlatan, takıldığım noktalarda engin bilgilerini paylaşarak devam etmeme olanak sağlayan sayın hocam Öğr.Gör.Dr. Ulaş YURTSEVER'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımda olduğu için şanslı hissettiğim, hiçbir zorlukta pes etmeme izin vermeyen, sadece yüksek lisans eğitimimde değil hayatımın her anında en büyük destekçim ve ömür boyu yol arkadaşım olan sevgili Furkan KOCAYILDIZ'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimine başlamama vesile olan ve bu süreçte desteğini ve yardımlarını esirgemeyen dostum,sırdaşım sevgili Dilara ESER GÖZÜTOK'a teşekkür ederim.

Bu çalışma, proje yürütücülüğünü Öğr. Gör. Dr. Ulaş Yurtsever'inyaptığı 220M024 numaralı TÜBİTAK projesi ile sağlanan imkanlar dahilinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleşmesinde katkı sağlayan TÜBİTAK'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Serenay HAZAR



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ</b> .....	x
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	vii
<b>KISALTMALAR</b> .....	xi
<b>SİMGELER</b> .....	xiii
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	xv
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xvii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>2</b>
2.1. Küresel Plastik Kirliliği .....	2
2.2. Mikroplastikler .....	6
2.3. Çevredeki Mikroplastikler .....	6
2.3.1. Kaynakları,parçalanma ve oluşum mekanizmaları .....	6
2.3.2. Dağılımı,taşınımı ve akıbeti .....	6
2.3.3. Örnekleme ve analiz yöntemleri .....	7
2.3.4. Etkileri .....	8
2.3.4.1. Çevreye etkileri .....	8
2.3.4.2. İnsana etkileri .....	11
2.4. Mikroplastik İncelemeleri.....	11
2.4.1. Örnekleme.....	11
2.4.2. Ekstraksiyon.....	12
2.4.3. Analiz.....	13
2.4.3.1. Mikroskopik .....	13
2.4.3.2. Polimer karakterizasyonu .....	14
2.5. Farklı Plastik Malzemelerin Mikroplastik Salım Potansiyelleri .....	14
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>15</b>
3.1. Numuneler .....	15
3.2. Kullanılan Alet ve Ekipmanlar .....	15
3.3. Mikroplastik Fiber Salım Testleri .....	16
3.3.1. Kontrollü şartların oluşturulması ve yaşlandırma işlemleri.....	17
3.4. Numune İşlem ve Analizleri .....	18
3.4.1. Salım testi numunelerinin mikroskopik incelemesi.....	18
3.4.2. ATR-FT-IR analizleri .....	18
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	<b>19</b>
4.1. Karakterizasyon Çalışmaları .....	21
4.1.1. ATR-FT-IR analiz sonuçları .....	23
4.1.2. İp numunelerinde mikroplastik fiber salım testleri.....	26
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	<b>36</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>39</b>



## **KISALTMALAR**

<b>ABS</b>	: Akrilonitril Bütadien Stiren
<b>ASA</b>	: Akrilonitril stiren akrilat
<b>LDPE</b>	: Low-density polyethylene/ Düşük yoğunluklu polietilen
<b>PAP</b>	: Paper, kağıt ve karton vb.
<b>PC</b>	: Polikarbonat
<b>PES</b>	: Polyester
<b>PMMA</b>	: Polimetil metakrilat, akrilik, pleksiglas
<b>POM</b>	: Polioksimetilen, asetal
<b>PUR</b>	: Poliüretan
<b>SAN</b>	: Stiren akrilonitril
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>UV</b>	: Ultraviyole
<b>ATR-FTIR</b>	: Zayıflatılmış Toplam Yansımali Fourier Dönüşümlü



## **SİMGELER**

<b>mm</b>	: Milimetre
<b>nm</b>	: Nanometre
<b>µm</b>	: Mikrometre



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> Plastiklerin kodları, kimyasal adları, özellikleri ve sık kullanım alanları..	5
<b>Tablo 2.2.</b> Çeşitli gıda ürünlerinde görülen mikroplastik konsantrasyonları .....	10
<b>Tablo 3.1.</b> Araştırmada kullanılan iplere ait içerik bilgisi .....	15
<b>Tablo 3.2.</b> Salım Testlerinde Kullanılan İplerin Ağırlığı .....	16
<b>Tablo 3.3.</b> İklimlendirme Test Kabini İçin Oluşturulan Kontrollü Şartlar .....	17



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Farklı Bir Kumaşı Temsil Eden Kıyafetler ve Mikroliflerine ait SEM Görüntüleri.....	3
Şekil 4.1. İncelenen Plastik Yün ve İpliklere Ait Mikroskop Görüntüleri (4x ve 10x) .....	21
Şekil 4.2 İp Numuneleri Üzerinde ATR-FT-IR Analiz Sonuçlarından Elde Edilen Spektra Örnekleri .....	23
Şekil 4.3. MP Salım Sonuçları .....	26
Şekil 4.4 Yaşlandırma Yapılan İp Numunelerinde MP Salım Oranları Karşılaştırması .....	28
Şekil 4.5. Yaşlandırma - MP salım incelemelerinde optik mikroskop görüntüleri ...	29
Şekil 4.6. Yaşlandırma - MP salım incelemelerinde Nil kırmızısı boyama-floresan mikroskop görüntüleri.....	30
Şekil 4.7. .Polipropilen İp Yaşlandırma İşlemi Sonrası Oluşan Mikrofiberin ATR-FT-IR Analizine Örnek .....	35
Şekil 4.8. Akrilik (Akrilonitril stiren akrilat polyamid ASA-PA) İp Yaşlandırma İşlemi Sonrası Oluşan Mikrofiberin ATR-FT-IR Analizine Örnek.....	35



## PLASTİK ÜRÜNLERDE MİKROPLASTİK SALIM POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

### ÖZET

Günlük hayatta kullanılan her tür plastiğin kullanılmaya başladığı andan itibaren çevreye çok küçük boyutlardaki parçacıkları olan mikro plastik ( $1 \mu\text{m} < \text{MP} < 5\text{mm}$ ) ve nano plastikleri ( $1 \text{nm} < \text{NP} < 1 \mu\text{m}$ ) saldığı bilinmektedir. Global ölçekte yapılmış araştırmalar, çevrede meydana gelen mikro plastik kirliliğine sentetik tekstil liflerinin katkısının oldukça fazla olduğunu ortaya koymaktadır. Her yıl 200.000 ila 500.000 ton arası sentetik tekstil kaynaklı mikro plastik (polyester, poliamid, akrilik gibi) küresel deniz ortamına girmektedir. Sentetik mikrofiber (SMF) olarak da tanımlayabileceğimiz sentetik tekstil lif döküntüleri deniz, kara ve hava ortamlarında, kısaca her ortamda tespit edilmiş durumdadır. Yalnızca basit bir yeme içme işlemi sırasında bile, havadan çökelen MP'lerin yutulması yılda milyonlarca adete ulaşabilir. İnsanların kullandığı sentetik kıyafet veya sentetik ev tekstiline bağlı olarak bu oran, dış mekanlara nazaran İç Mekanlarda daha fazladır. Bir tekstil ürününden etrafa dökülecek MF miktarı üründe kullanılan sentetik tekstil ürününün dokuma şekline ve kullanılan sentetik malzeme oranlarına göre değişiklik gösterebilir. Bu çalışmada piyasada yaygın olarak kullanılan farklı polimer malzemeden üretilmiş iplik türlerinin sentetik SMF salım oranları incelenmiştir. Araştırmalarda kullanılan ipler mikroskop altında incelendikten sonra kimyasal yapıları da belirlenmiştir. Polyester, poliamid, akrilik, polipropilen ve poliüretan türevi malzemelerden yapılmış olduğu belirlenen bu iplik ürünleri üzerinde bir iklimlendirme kabini içerisinde kontrollü şartlarda yaşlandırma testleri yapılmıştır. Yaşlandırma testleri neticesinde belli periyotlarda alınan numunelerin SMF salım potansiyeli incelenmiştir. İnceleme işlemlerinde, son zamanlarda mikro plastik incelemede kullanışlı olduğu anlaşılan Nil kırmızısı boyama Floresan tekniği kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılan iplerin formunun ve yapısal özelliklerinin mikro plastik salımında önemli olduğunu göstermiştir.



## INVESTIGATION OF MICROPLASTIC RELEASE POTENTIAL IN PLASTIC PRODUCTS

### SUMMARY

The effects of plastics on the environment and human health are known. It is known that every kind of plastic used in daily life has released microplastics ( $1\ \mu\text{m} < \text{MP} < 5\text{mm}$ ) and nanoplastics ( $1\text{nm} < \text{NP} < 1\ \mu\text{m}$ ), which are very small particles, to the environment since they are used. Studies conducted on a global scale reveal that the contribution of synthetic textile fibers to microplastic pollution in the environment is quite high. Every year, between 200,000 and 500,000 tons of synthetic textile-derived microplastics (such as polyester, polyamide, acrylic) enter the global marine environment. Synthetic textile fiber waste, which we can also define as synthetic microfiber (SMF), has been detected in sea, land and air environments, in short, in every environment. Ingestion of air-precipitated MP's can amount to millions per year, even during just a simple eating and drinking process. Depending on the synthetic clothing or synthetic home textile people use, this rate is higher indoors than outdoors. The amount of MF to be poured from a textile product may vary according to the weaving style of the synthetic textile product used in the product and the synthetic material ratios used.

Plastic polymers of different types and properties are used in every field. In fact, it is seen that plastics are included in the content of new generation composite packaging materials. In addition to materials such as plastics, paper, cardboard; Although the use of metals such as aluminum and tin in the production of composite materials increases the durability of these materials, it can make it difficult to separate, recycle or dispose of when they become waste. Along with this situation, the "C/" identification code found in new generation packages shows that the package consists of composite materials. Waste bearing this identification code should be separated into the mixed waste bin. This type of mixed waste is frequently encountered in the packaging of food products.

Microplastics have been detected in terrestrial and aquatic ecosystems, but microplastics are not homogeneous pollutants in ecosystems. Although most of the researches have focused more on microplastics in aquatic ecosystems, microplastics in aquatic ecosystems have reached the waters as a result of transport from terrestrial ecosystems. Microplastics are effective and dangerous pollutants in terrestrial ecosystems. Microplastics in terrestrial ecosystems can be displaced by interacting with weather events such as precipitation or by erosion. In addition to these, it can even mix with groundwater. Living things living in the soil can take in microplastics, and according to studies, microplastics may be displaced by interacting with the movements of living things such as earthworms and moles in the soil. The first layer of the soil is directly exposed to all events. UV rays, air (oxygen), temperature directly affect the upper layer, and therefore microplastics decompose.

In addition, the soil structure and the organisms in it also affect the microplastic degradation. Despite all these effects, the deterioration of microplastics can take a very long time.

The factors affecting the degradation of plastics consist of two separate parts, physicochemical and biological. UV rays, humidity, temperature, salinity and oxygen are among the physicochemical effects. Photo-oxidation with solar UV is considered the most effective mechanism of environmental degradation. Almost all plastics need UV light to initiate degradation. UV light causes bond breakage and reduction in molecular weight in the substance. High humidity levels accelerate the decomposition of plastics, thereby accelerating deterioration. Degradation of plastic occurs faster in climates with high temperature and humidity than in climates with low temperature and humidity.

Polymeric materials used in daily life are subject to wear, fragmentation or debris formation over time and/or with the effect of various forces. Therefore, due to many materials, there is visible or invisible nano and microparticle debris. Microplastics formed by shedding from synthetic polymers such as plastics in this way are called secondary microplastics.

As of today, it has been understood that especially single-use plastics pose a serious danger to the environment. While some plastics can become quite durable thanks to the additives added during production and can remain intact for many years even when the wastes are dispersed into the environment, some plastics start to form a large amount of tiny debris from the first time they are used. Especially synthetic textile material yarns are a good example of this.

In today's life, there is almost no area where plastic is not used. For example, internet shopping is very popular in almost every part of the world. Accordingly, a large amount of plastic waste is created by using a large number of packages in order to ensure a continuous circulation of cargo and naturally not to damage the products. Although we think that they make our work easier during the day and increase our living standards, even if plastic products save the moment, they do more harm than good in the long run.

As a result of the vital activities of people, microplastics enter the environmental environment. Environmental conditions (temperature, humidity, etc.), physicochemical properties of microplastics affect their transport and fate. Microplastics have been detected in terrestrial and aquatic ecosystems, but microplastics are not homogeneous pollutants in ecosystems. Although most of the researches have focused more on microplastics in aquatic ecosystems, microplastics in aquatic ecosystems have reached the waters as a result of transport from terrestrial ecosystems.

There is no study yet on the destruction of microplastics. However, it is known that it accumulates in many ecosystems day by day. It spreads rapidly to most places from the sea to the ground and then to the air. It adversely affects all living things in these environments. The most striking environmental effects of microplastic are their absorption of other pollutants and their consumption by living things, mistaking them for nutrients. It is now that the growth, fertility and survival processes of organisms exposed to microplastics are affected.

Microplastics can enter the human body in certain ways. These are the oral, respiratory and dermal routes. The water we drink orally, the seafood we eat and some certain foods cause microplastic up take. Humans can be exposed to microplastics by inhalation.

Although less likely, microplastics can enter the human body through the dermal route. This is possible with cosmetic products such as cleansing gels, care creams, make-up materials used.

In this study, synthetic SMF release rates of yarn types made from different polymer materials commonly used in the market were investigated. After the threads used in the research were examined under the microscope, their chemical structures were also determined. Controlled conditions aging test was carried out on these yarn products, which are stated to be made of polyester, polyamide, acrylic, polypropylene and polyurethane derivatives in an airconditioning cabinet. As a result of aging tests, the SMF release potential of the samples taken at certain periods was examined. Nile red staining Fluorescent technique was used in the examination procedures, which has recently been found to be useful in microplastic examination. The obtained results showed that the form and structural properties of the yarns used are important in microplastic release.

The microplastic inspection process with Nile red dye, which is an economical and effective method compared to other microplastic inspection methods, is also very practical because it makes the plastic particles of the dye more visible. A stock solution was prepared by first dissolving a certain amount of Nile red with acetone (0.05 g/L). Then, for the standard solution, the solution was prepared by dilution with 10-100 times hexane (5 and 0.5 mg/L), respectively. The dye solution was stored in an amber bottle at 4 0C. In the examinations, the dye solution taken with a glass pipette was dropped onto the sample on the filter paper, and the sample was examined under a fluorescent microscope after it was kept at 60 0C for 30 minutes.

(ATR)-FT-IR analyzes are widely used in microplastic investigations. In the studies, the results obtained using Bruker Lumos brand ATR-FTIR (Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared) device were evaluated and compared.

UV, green, blue filters were used in the examinations and since better results were obtained with the blue filter, the examinations were continued with the blue filter.

The aging of plastic textile products in yarn form in an aging cabinet was investigated. The aging of the yarn types and the resulting debris were recorded by following them with microscopic and spectroscopic techniques. The states of the materials used before and after the aging process, that is, their original state and their change and aging in certain periods and under different and controlled conditions such as UV light, temperature, humidity, and the debris they formed were compared.



## 1. GİRİŞ

Plastikler dayanıklı ve sık tercih edilen çok yönlü malzemelerdir. Elektronikten gıdaya, medikal uygulamalardan tekstile kadar her alanda plastik malzemeler kullanılmaktadır. Bu plastikler tek kullanımlık veya çok kullanımlık olabilmektedir. Son yıllarda genellikle tek kullanımlık plastiklerin çok sık tercih edilmesi ile beraber çevreye göz ardı edilemeyecek bir tehlike arz ettiği anlaşılmıştır.

Sentetik tekstil liflerinin en önemli kaynakları arasında çamaşır yıkama suları gelmektedir. Dünyada birçok ülkede, yıkama atıksuları kanalizasyon sistemleri aracılığıyla eninde sonunda atıksu arıtma tesislerine ulaşmaktadır. Kanalizasyon atık suyunda mikroplastiklerin salınmasını dikkate alan araştırmalar, mikroplastik parçacıkların % 70-99'unun çamurda tutulabileceğini göstermektedir. Atıksu arıtma tesislerinde kum filtrelerinin veya membran biyoreaktörler gibi ileri arıtma teknolojilerinin olması, yani üçüncül arıtımın yapılması, atıksulardan mikroplastik gideriminin daha yüksek verimlerle gerçekleşmesi anlamına gelmektedir [1]. Bununla birlikte, deşarj edilecek olan arıtılmış atıksularda da giderilmemiş mikroplastik liflerin kalacağı aşıkardır. Bununla ilgili olarak saatte 1770 partikülün (veya yaklaşık 0,009 partikül/L) üzerindeki seviyelerdeki mikroplastikler rapor edilmiştir [2]. Bu liflerin doğrudan sucul sistemlere [3] ve çamurun yayılması yoluyla karasal sistemlere ulaştığı bilinmektedir [4].

Bu çalışmada iplik formundaki plastik tekstil ürünlerinin bir yaşlandırma kabinde eskimesi incelenmiştir. İplik türlerinin yaşlanması ve oluşturacağı döküntüler mikroskopik ve spektroskopik tekniklerle takip edilerek kaydedilmiştir. Kullanılan malzemelerin yaşlandırma işlemi öncesi ve sonrası halleri yani orijinal hali ve belli periyotlarda ve UV ışığı, sıcaklık, nem gibi farklı ve kontrollü koşullarda değişimini ve eskimesini temsil eden halleri ve oluşturduğu döküntüler incelenerek kıyaslanmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Küresel Plastik Kirliliği

Günümüz yaşantısında plastik kullanımının olmadığı herhangi bir alan neredeyse yoktur. Örneğin şu an dünyanın hemen hemen her yerinde internet alışverişleri çok sık tercih edilmektedir. Buna bağlı olarak sürekli bir kargo sirkülasyonu ve doğal olarak ürünlerin zarar görmemesi için çok sayıda ambalaj kullanılarak fazlaca miktarda plastik atık oluşturmaktadır. Her ne kadar gün içinde işlerimizi kolaylaştırdığını, hayat standartlarımızı yükselttiğini düşünsekte plastik içerikli ürünler anı kurtarsalar bile uzun vadelere faydadan daha çok zarar vermektedir.

Üretimi sırasında değiştirilip geliştirilerek ekstrem şartlara, farklı çevre koşullarına ve UV ışınlarına dirençli olan plastiklerde vardır. Plastikler, dünyanın tamamında kabul görmüş şekilde 1-7 arasında numaralandırılıp sınıflandırılmıştır. (Tablo 2.1)

Çeşitli tip ve özelliklerdeki plastik polimerler, örneğin PC, PES, PUR, PMMA, ABS, ASA, POM, SAN vb. her alanda kullanılmaktadır. Bununla da kalmayıp yeni nesil kompozit ambalaj malzemelerinin içeriğinde de plastiklerin bulunduğu görülmektedir. Plastiklerin kâğıt, karton gibi malzemelerin yanı sıra; alüminyum, kalay gibi metallerle birlikte kompozit malzeme üretiminde kullanılması, bu malzemelerin dayanıklılığını artırsa da, atık haline geldiğinde ayrılmasını, geri dönüşümünü veya bertarafını zorlaştırabilmektedir. Örneğin yeni nesil ambalajlarda rastlanan “C/” tanımlama kodu, ambalajın kompozit malzemelerden oluştuğunu gösterir ve bu nedenle bu kodu taşıyan atık, karışık atık kutusuna atılmalıdır. C/LDPE (90) ve C/PAP (84) gibi kompozit malzemeler yeme-içme ve gıda malzemelerini ambalajlamada sıklıkla kullanılmaya başlamıştır [5].

İngiltere’ de, polyester, polyester-pamuk karışımı ve akrilikten üretilmiş kumaşlardan salınan mikroplastik lifler incelenmiş ve sonuçlar 6 kg çamaşır yıkandığında salınan lif sayısının 700.000'den fazla life ulaşabileceğini göstermiştir [6]. Aşağıda Şekil 2.1.’ de, çalışmada kullandıkları orijinal giysilere ait görüntüler

verilmiştir. Her biri polyester-pamuk karışımı, polyester ve akrilikten yapılmış farklı bir kumaşı temsil eden kıyafetler ve her bir kumaştan tipik bir elyafın taramalı elektron mikroskobu görüntüsünü (SEM) gösteren görüntüler ( $2500 \times$  büyütme) bulunmaktadır. Yıkama sırasında salınan liflerin ortalama boyutları ve her yıkama sırasında kumaştan salınan tahmini miktar (6 kg'lık tipik bir yıkama yükü varsayılarak) hakkında temel ayrıntılar verilmiştir. Buna dayanarak, polyester-pamuk karışımının bir yıkama yükünün (6 kg) 137.951 lif, polyesterin potansiyel olarak 496.030 ve Akrilik 728.789 lif saldığı tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, giysi yapımında yaygın olarak kullanılan üç kumaştan (polyester, polyester-pamuk karışımı ve akrilik) tekstil liflerinin salınımını incelemiş ve 6 kg sentetik malzemenin yıkanmasının, yıkama başına 137.951–728.789 lif açığa çıkarabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, giysiler yıkandığında salınan çok sayıda elyafın, çevredeki mikroplastik kontaminasyonuna önemli bir katkı yapması muhtemeldir [6].



**Şekil 2.1.** Farklı Bir Kumaşı Temsil Eden Kıyafetler ve Mikroliflerine ait SEM Görüntüleri

Sentetik mikroliflerin, polyester lifleri yuttukları tespit edilen *Daphnia magna* gibi organizmalar üzerinde de olumsuz etkileri olduğu ve sonuç olarak ölüm oranının arttığı gösterilmiştir [7].

Bir çalışmada [8], farklı ölçü ve teknikler kullanılarak rölmüş üç malzeme (akrilik, naylon, polyester) için sentetik tekstillerden dökülen mikro elyaf miktarı ölçülmüştür ve tüm bu kullanılan plastik kaynaklı tekstillerin lif döküğü tespit edilmiştir. Ancak polyester yünlü kumaşların, 87 lif/m<sup>2</sup>/L<sup>-1</sup> tüy dökten polyester kumaşlarla karşılaştırıldığında, bir yıkamada ortalama 7360 lif/m<sup>2</sup>/L<sup>-1</sup> ile en büyük miktarları döküğü ortaya konulmuştur. Gevşek tekstil yapılarının, aşınmış kumaşlarda olduğu gibi daha fazla tüy döküğü ve tüy dökümünü azaltmak için yüksek bükümlü ipliklerin tercih edilmesi gerektiği bildirilmiştir. Giysilerden elde edilen elyaf, potansiyel olarak önemli bir mikroplastik kaynağı olduğundan, daha akıllı tekstil yapımı, üretim alanlarında ön yıkama ve vakumla boşaltma ve ev tipi çamaşır makinelerinde daha verimli filtrelerin kullanılmasının bu sorunu hafifletmeye yardımcı olabileceği önerilmiştir.

**Tablo 2.1.** Plastiklerin kodları, kimyasal adları, özellikleri ve sık kullanım alanları

Plastik Kodu	KimyasalAdı	Özellikleri	KullanımAlanları
 PET	Polyethylene Terephthalate(PET-PETE)	Polyester olarak da bilinir. Parçalanmaya karşı dayanıklı,optikve pürüzsüz yüzey,aynı zamanda hafif bir yapıdadır.	Mikrodalga fırın tepsileri, su ve farklı içecekler için kullanılan şişeler,sıvı formda bulunan kişisel bakım malzemeleri ve yiyeceklerin şişe ve kavanozları.
 HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)	Yüksek kimyasal direnç,kısmen sert ve yüksek mukavemete sahiptir.Pigmentli veya pigmentsiz olabilir.	Evde kullanılan kimyasal içerikli temizlik maddelerinin bulunduğu şişeler,süt veya meyve suyu şişeleri.
 PVC	PolyvinylChloride (PVC-Vinly)	Yüksek kimyasal direnç,farklı hava koşullarına dayanıklı, darbelere dayanıklı, parlaktır. Yapısı sert veya esnek olabilmektedir.	Şarküteri ve et reyonlarında kullanılan sargı malzemeleri(esnek),borular,plastik filmler ve bardaklar.
 LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE)	Yüksek asit/baz direnci,genellikle olarak film şeklinde kullanılan şeffaf ve esnek yapılı plastiktir.	Çöp poşetleri,alışverişpoşetleri ,kuru temizleme torbaları,streç film.
 PP	Polypropylene (PP)	Yüksek kimyasal direnç,düşük nem ve buhar ileme, yüksek erime noktası ve optik netliğe sahiptir. Film ve kalıplı kaplarda kullanılabilmektedir.	Yoğurt kapları, peynir ve katı yağ kapları,şişekapakları,bahçe mobilyaları ve otomobil yan sanayisi.
 PS	Polystyrene (PS)	Düşük erime noktalı, şeffaf,kırılgan aynı zamanda sert bir plastiktir.Köpük formunda da olabilmektedir. Köpük olarak kullanıldığında düşük yoğunlukta, sağlam nem bariyerli ve iyi yalıtımlıdır.	Mobilya ve elektronik eşya ambalajları(köpük), plastik çatal/bıçaklar,izolasyon ve yalıtım işleri.
 OTHER	Diğer	Değişik plastik reçinelerinin karışımı ile oluşan plastik türleridir.Polikarbonat, akrilik gibi.	Kullanılan reçine karışımlarına göre çeşitli kullanım alanları vardır. Örneğin; damacana,tıbbi saklama kapları,mutfak aletleri...

## **2.2. Mikroplastikler**

5 mm'den küçük, genellikle petrol içerikli olan ve suda çözünmeyen, düzgün görünüme sahip veya şekilsiz olan, çevre kirliliğine sebebiyet veren polimerik parçacıklara mikroplastik denilmektedir. Mikroplastikler, oluşum durumlarına göre birincil ve ikincil mikroplastikler olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır [9].

## **2.3. Çevredeki Mikroplastikler**

Mikroplastikler bulunduğumuz yüzyılın en büyük sorunlarından birisi halindedir. İnsanlığın olduğu her yerde var olduklarını söylemek hemen hemen mümkündür. Kullanılan teknolojik aletlerden yediğimiz meyve sebzelere, giydiğimiz kıyafetten içtiğimiz suya, tükettiğimiz etten balıktan en saf diye tabir edilen anne sütüne hatta soluduğumuz havaya kadar her şeyde mikroplastik bulunmaktadır.

### **2.3.1. Kaynakları,parçalanma ve oluşum mekanizmaları**

Mikroplastikler hayatın her aşamasında olduğu için aslında kaynakları da hayatın kendisidir. Birkaç alt başlıkta inceleyecek olursak önceliğimiz tüketimden kaynaklı olan mikroplastikler olmalıdır. Bunlar kozmetik sektöründeki mikroboncuklardır. Mikroboncuklar ; diş macunları,duş jelleri ve şampuanlar, makyaj malzemeleri, makyaj temizleme jelleri, vücut bakım maskeleri gibi bir çok üründe bulunmaktadır.Kıyafetler, çantalar, battaniyeler, masa örtüleri gibi tekstil ürünlerinde kullanılan polyester, polyamid ve polar tekstil malzemeleri mikroplastik kaynaklarından bir diğeridir. Sıradaki mikroplastik kaynakları ise endüstriyel üretim tesisleridir. Endüstriyel üretim tesislerinde hammaddeden plastik üretim, şekillendirme ve detaylandırma prosesleri sonucu oluşan kalıntılar mikroplastik kaynaklarındandır. Son olarak ise insanlığın olmazsa olmazlarından olan ulaşım araçlarının lastiklerinden sürtünme ile oluşan döküntüler de mikroplastik kaynaklarındandır.

### **2.3.2. Dağılımı,taşınımı ve akıbeti**

İnsanların yaşamsal aktiviteleri sonucu mikroplastikler çevresel ortamlara girmektedir. Çevrenin şartları(sıcaklık,nem vb.), mikroplastiklerin fizikokimyasal özellikleri taşınım ve akıbetlerini etkilemektedir.

Karasal ekosistemlerde homojen bir şekilde olan kirleticilerden değildir. Yapılan araştırmaların birçoğunda sucul ekosistemlerde ki mikroplastiklere daha fazla yoğunlaşılmış olsa da sucul ekosistemdeki mikroplastikler karasal ekosistemlerden taşınım sonucu sulara ulaşmıştır.

Karasal ekosistem içinde mikroplastikler öncelikli kirleticilerdendir [10]. Karasal ekosistemdeki mikroplastikler hava şartları(yağış,rüzgar vb.) ile etkileşime girerek veya erezyon yoluyla yer değiştirebilir, toprak içinde tutulabilir, çevresel etkiler ile bozulma yaşayabilir hatta bu olaylar vasıtasıyla yer altı sularına karışabilmektedir. Toprak içinde yaşayan canlılar mikroplastikleri bünyelerine alabilmektedirler hatta yapılan araştırmalara göre sincap, köstebek gibi canlıların toprak içindeki hareketleri vasıtasıyla bile mikroplastikler yer değiştirebilmektedir [11,12]. Toprağın ilk katmanı bütün olaylara direkt olarak maruz kalmaktadır. Uv ışınları, hava(oksijen),sıcaklık direkt olarak üst katmanı etkilemekte ve dolayısıyla mikroplastiklerde bozunma yaşanmaktadır. Buna ek olarak toprak yapısı ve içinde ki organizmalar da mikroplastik bozunmasını etkilemektedir.Toprakta yapılan tarısal aktiviteler, ilaçlama işlemleri gibi faaliyetler de mikroplastiklerin bozunmasını sağlamaktadır. Bütün bu etkilere rağmen mikroplastiklerin bozulması çok uzun bir sürece tabii olabilmektedir. Yapılan araştırmalara göre topraktaki polietilen 800 gün sonra yalnızca %0.1-0.4 oranında polipropilen bir yıllık süre sonunda%0.4 ağırlık kaybına uğramıştır. Polivinil klorür ise 35 yıl boyunca parçalanmadan kalmıştır [10,13].

### **2.3.3. Örnekleme ve analiz yöntemleri**

Mikroplastikler şekilleri, yapıları ve içerikleri için farklı yöntemlerle farklı cihazlarda analiz edilmektedir. Genellikle mikroplastikler, mikrospektroskopi ve flouresans teknikleri ile görüntülenmektedir. Optik mikroskop, elektron mikroskobu, raman spektroskopisi ve fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (ATR-FTIR) cihazları mikroplastik incelemelerinde kullanılmaktadır.

Görsel tanımlama, çıplak gözle gözleme veya optik bir mikroskop (tipik olarak bir stereomikroskop) yardımı ile elde edilebilecek mikroplastiklerin tanımlanmasında en basit ve en yaygın kullanılan tekniktir.Görsel tanımlama, özellikle pahalı analitik cihazların bulunmadığı durumlarda, yüksek hacimli numuneler için uygun bir yöntemdir [14].İncelenen parçacıkların boyutu azaldıkça, optik tekniklerle yanlı

tanıma olasılığı oldukça artmaktadır [15].Bu durum sonucunda görsel tanımlama yüksek derecede hatalar verebilmektedir. Buna bağlı olarak özellikle daha küçük numunelerde mikroplastiklerin kimliğini doğrulamak için bazı spektroskopik aletler ve optik teknik harici analitik teknikler kullanılması tavsiye edilmektedir.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), numune yüzeyine yüksek yoğunluklu bir elektron ışını atışleyerek ve raster tarama modelinde tarayarak, bir numunenin yüksek çözünürlüklü görüntülerini sağlayabilmektedir [15]. Potansiyel mikro plastikler, SEM kapsamında yüzey morfolojilerinin yüksek çözünürlüklü görüntülerini inceleyerek diğer organik veya inorganik safsızlıklardan ayırt edilebilmektedirler [15].

Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), belirlenen kimyasal bağ için eşsiz bir kızılötesi spektrum sağlayabilmektedir. Farklı numuneler, farklı bağ bileşimlerine sahiptir ve bu da bilinmeyen bir maddenin tayfini, bilinen maddelerin tayfi ile karşılaştırarak tanımlanmasını mümkün kılmaktadır [16]. Yüksek güvenilirliği sebebiyle FTIR, çevresel örneklerden elde edilen mikroplastiklerin kimyasal karakterizasyonun da en sık kullanılan tekniklerden biri haline gelmektedir [17]. Mikroplastikleri tanımlama FTIR iki şekilde kullanılmaktadır: görsel tanımlama sonuçlarını doğrulamak için bir dizi alt örneği analiz etmek [18] veya şüpheli tüm parçacıkları taramak [19] .

#### **2.3.4. Etkileri**

2000’li yılların başından günümüze plastik kullanımının ve doğal olarak kirliliğinin arttığı bilinmektedir. Plastik kirliliğinin artması ile beraber mikroplastik kirliliği ve mikroplastiklerin zararlı etkileri de küresel boyutta bir sorun haline gelmiştir. Özellikle son yıllarda çevreye ve canlılara olumsuz etkileri gözlenmekte ve üzerine olan araştırmalar çoğalmaktadır.

##### **2.3.4.1. Çevreye etkileri**

Mikroplastiklerin yok edilebilmesi ile ilgili henüz bir çalışma olmamakla birlikte birçok ekosistemde çoğalarak biriktiği bilimektedir. Denizden toprağa oradan da havaya kadar her yere hızlıca yayılmakta ve buralardaki tüm canlıları olumsuz etkilemektedir.

Mikroplastiklerin en önemli çevresel etkileri diğer kirleticileri absorplamaları ve canlılar tarafından yiyecek sanılarak tüketilmeleridir. Mikroplastiklerin maruz kalan organizmaların büyümesi, doğurganlığı ve hayatta kalması üzerine (hem fiziksel hem de kimyasal) önemli zararlı etkilere yol açtığı bilinmektedir [20,21]. Mikroplastikler ayrıca doğrudan fiziksel hasara, besinlerin tüketiminin azalmasına, ozmotik basıncın artmasına ve toksik kimyasalların salınmasına neden olabilir [22].

Birincil trofik seviyedeki canlılar tarafından alınan mikroplastikler besin zincirine aktarılabilmektedirler. Balda, şekerde, tuzda, birada hatta içme sularında bile mikroplastikler tespit edilmiştir [22]. Çeşitli gıda ürünlerinde görülen mikroplastik konsantrasyonları Tablo2.2'de verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Çeşitli gıda ürünlerinde görülen mikroplastik konsantrasyonları

Numune	Konsantrasyon	PlastikÇeşidi	Ülke/Bölge	Kaynak
<b>MuslukveŞişeSuları</b>	0-61 partikül/L	Lifler, fragmanlar, filmler	Ekvator, İngiltere, Fransa, Almanya, Hindistan, Küba, Endonezya, İrlanda, İtalya, Lübnan, Slovakya, İsviçre, ABD	Kosuth vediğ., 2018
<b>Tuz</b>	16–84 tane/kg deniztuzu 8–102 tan/kg göltuzu 9–16 tane/kg kaya tuzu	Lifler, fragmanlar, filmler	Türkiye	Gündoğdu, 2018
<b>Tuz</b>	550–681 partikül/ kg deniztuzu 43-364 partikül/ kg göltuzu 7–204 partikül/ kuyutuzu	Lifler, fragmanlar, pelletler	Çin	Yang ve diğ.2015
<b>Bal</b>	166 ± 147 lif/kg bal 9 ± 9 fragman/kg bal	Lifler, fragmanlar	Fransa, İtalya, İspanya, Meksika, Almanya	Liebezeit, 2013
<b>Bira</b>	2–79 lif/L, 12–109 fragman/L, 2–66 granül/L	Lifler, fragmanlar, granüller	Almanya	Liebezeit,2014
<b>Bira</b>	0–14.3 partikül/L	Lifler, fragmanlar	ABD	Kosuth vediğ., 2018

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi, havadaki mikroplastik tiplerinin başında gelen mikroliflerin yediğimiz ve içtiğimiz temel gıdalar da dahil olmak üzere bir çok gıdayı da kirletmiş durumdadır.

### **2.3.4.2. İnsana etkileri**

Mikroplastikler insan vücuduna belirli yollarla girebilmektedir. Bunlar oral, solunum ve dermal yollardır. Oral olarak içtiğimiz su, yediğimiz deniz ürünleri ve bazı belli başlı yiyecekler mikroplastik alımına sebep vermektedir. İnsanların inhalasyon (solunum) yoluyla mikroplastiklere maruz kalması, mikroplastiklerin hava yoluyla alınmasından, potansiyel olarak su ortamlarındaki dalga hareketinden veya atık su arıtma çamuru uygulamasından kaynaklanabilmektedir [23]. Daha düşük bir olasılıkla olsa dermal yolla da mikroplastikler insan vücuduna girebilmektedir. Kullanılan temizleme jelleri, bakım kremleri gibi kozmetik ürünlerle bu durum mümkündür.

Mikroplastiklerin insan sağlığına da etkisi çok fazladır. Yapılan çalışmalar da bunu kanıtlar niteliktedir. Mikroplastikler biyolojik olarak dirençlidir ve insanlarda iltihaplanma, genotoksisite, oksidatif stres, hücre apoptozisi ve doku nekrozu gibi negatif biyolojik tepkilerden ve dolayısıyla lokalize hücre ve doku hasarı, fibroz ve potansiyel olarak kanserojenlikten sorumlu olabilmektedirler ve buna ek olarak insan kromozomlarında olası değişiklikler yaparak kısırlığa, obeziteye de yol açtığı tespit edilmiştir [24-27]. Olası kromozom değişiklikleri sonucu mikroplastikler organlarda tıkanmaya, iltihaplanmaya ve birikmeye neden olan çok çeşitli organizmalar ile etkileşime girebilmektedirler [25]. Mikroplastikler ayrıca kirleticileri atmosferden yoğunlaştırıp, yüksek konsantrasyonlarda ciğerlerimize de ulaştırabilmektedir. Kirleticiler veya monomerler gibi sızıntı suyunun, mikroplastiklerin neden olduğu solunum sistemindeki iltihaplanma ölçөгüne katkıda bulunduğu görülmektedir [28].

## **2.4. Mikroplastik İncelemeleri**

### **2.4.1. Örnekleme**

Sucul ekosistemdeki mikroplastikleri çeşitlerini toplamak için sıklıkla kullanılan üç örnekleme yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler seçici örnekleme, toplu örnekleme ve hacmi azaltılmış örnekleme şeklinde bilinmektedir.

Plastik maddelerin çıplak göz ile tanımlanabildiği durumlarda seçici örnekleme kullanılabilir. Seçici örnekleme yöntemi ile çevresel matrislerden kolay ve spesifik veriler elde edilebilmektedir. Mikroplastikler için dezavantajları bulunmaktadır. Birincisi mikroplastiklerin boyut sınırlandırmasının yüksek

olmasından kaynaklıdır. Diğer bir dezavantaj ise daha az belirgin olan maddelerin, özellikle diğer maddelerle karıştırıldığında kolayca göz ardı edilmesidir [15].

Örnekleme işlemi yapılırken hacim sıkıntısı olmadan tüm numunenin toplanması durumu toplu örnekleme yöntemi olarak bilinmektedir. Teorik olarak boyut ve görünürlük özelliklerine bakılmaksızın numune içindeki bütün mikroplastikler toplu örnekleme yöntemi ile yakalanabilmektedir. Fakat, toplu örnekleme yalnızca örneklemin temsil edilebilirliğini olumsuz yönde etkileyebilecek olan nispeten küçük bir miktarın toplanmasına izin vermektedir [29].

Hacmi azaltılmış örnekleme yöntemi, hızlı filtrasyon işlemi ile numunenin bütün hacminin azaltılmasını ve yapılacak analiz için numunenin ufak bir kısmının korunması durumudur. Bu sebeple bu yöntemin avantajı büyük miktardaki numunelerin de örnekleme yöntemine tabii tutulabilmesidir. Dezavantajı ise hızlı filtrasyon işlemi sırasında numunenin büyük bir kısmının atılması ile doğru orantılı olarak yüksek miktarda mikroplastik kaybıdır [15].

#### **2.4.2. Ekstraksiyon**

Ekstraksiyon bir çeşit ayırma işlemidir. Yoğunluk farkı ile ekstraksiyon, basınçlı sıvı ekstraksiyonu ve vakumlu filtrasyon ekstraksiyonu şeklinde üç farklı ekstraksiyon yöntemi bulunmaktadır.

Yoğunluk farkı ile ekstraksiyon işlemi genelde mikroplastik analizlerinin ilk aşamasıdır. Numunelerin yoğunluk farkından faydalanarak hafif olan mikroplastiklerin ayrılmasını sağlamaktadır. Öncelikle analiz edilecek numune önceden belirlenen yoğunluğa sahip bir sıvı çözeltisi ile karıştırılarak çökme işlemi için bırakılmaktadır. Çökme işlemi sonrası mikroplastik gibi düşük yoğunluktaki parçacıkların yüzmesi, inorganik kil gibi yüksek yoğunluklu parçacıkların ise dibeye çökmesini sağlanmaktadır [30]. Bu yöntem sonucunda çökmeyen mikroplastikler çözeltiden geri kazanılmaktadır.

Basınçlı sıvı ekstraksiyonu işleminde hafif mikroplastikler kendiliğinden tasarlanmış bir elutrasyon ve yüzdürme aparatında yukarı doğru su akışı ve havalandırma ile çözeltide askıda tutulabilmekte ve daha sonra 35 µm'lık bir elek ile

Toplanabilmektedir [30]. Uygulanan yöntemin verimliliği ortalama %95 civarındadır. Basınçlı sıvı ekstraksiyonunun dezavantajı ise uygulanabilirliğinin yüksek organik madde içerikli atıksular ile sınırlı olmasıdır [31].

Vakum filtrasyon ekstraksiyonu işlemi için öncelikle numuneler 5 mm'lik açıklığı bulunan eleklerden geçirilerek istenmeyen atıklardan ayrılmaktadır. Bu işlemden sonra numuneler 500 µm, 200 µm ve 100 µm açıklıkları bulunan eleklerden oluşan süzme kolonundan geçirilerek değişik büyüklüklere sahip organik ve inorganik parçacıkların ayrıştırılması sağlanmaktadır. İstenmeyen tüm parçacıklar ayrıldıktan sonra numune içinden mikroplastiklerin ayrılması için 26 µm göz açıklığındaki filtre kağıdı üzerine hızlı bir süzme yapılarak vakum filtrasyon işlemi kullanılmaktadır [30].

### **2.4.3. Analiz**

Numune içinde kil,alg gibi değişik büyüklüklerde ki parçacıklar yoksa eğer mikroplastikler rahatlıkla görsel analiz yöntemi ile tanımlanabilmektedir. Farklı boyutta parçacıkların olduğu numunelere önce ön saflaştırma yapılmalı yeterli gelmediği durumlarda analitik ve spektroskopik yöntemlere de başvurulmalıdır.

#### **2.4.3.1. Mikroskopik**

Mikroskopik sayım yöntemini kullanabilmek için numune içindeki parçacıklar µm boyutunda olmalıdır.Mikroskopik sayım metodu ile yüksek miktarda mikroplastik içeren numunelerin hızlı bir şekilde renk ve miktarının genel durumu düşük maliyetli olmakta ve kısa sürede belirlenmektedir [31,32].

Görsel analiz metodu sonucunda elde edilen sonuçlar analizi gerçekleştiren birey kaynaklı ya da mikroskobun kalitesi kaynaklı etkilenebilmektedir. Ayrıca parçacık yapısı küçüldükçe de metodun hata oranı yükselmektedir. Mikroplastik incelemelerinde kalıplaşmış belli şartlar bulunmaktadır. Örneğin biyolojik organizma yapısına sahip parçacıklar veya lifler mikroplastik olarak dâhil edilmemelidir [30].

Bu bilgiye ek olarak lifler eğer üç boyutlu yapıya sahip ve homojen renkte ise mikroplastik olarak sayılması gerekmektedir [32].

### **2.4.3.2. Polimer karakterizasyonu**

Sentetik polimerlerin analizleri, mikroplastik incelemelerinde hassasiyet gerektiren önemli bir aşamadır. Ancak bu tip çalışmalarda, örnekler teker teker analiz edildiğinden dolayı uzun mesai ve dikkat gerektirir. Kullanılan cihazın marka ve modeli bu çalışmalarda epey önemli olabilmektedir. Polimer karakterizasyonunda genellikle FTIR ve Raman spektroskopisine başvurulmaktadır

### **2.5. Farklı Plastik Malzemelerin Mikroplastik Salım Potansiyelleri**

Günlük hayatta kullanılan polimerik malzemelerin zamanla ve/veya çeşitli kuvvetlerin etkisiyle aşınması, parçalanması veya döküntü oluşturması söz konusudur. Bundan dolayı da bir çok malzemedeki kaynaklı olarak gözle görülebilen veya görülemeyecek kadar küçük nano ve mikroparçacık döküntüsü olmaktadır. Bu şekilde plastikler gibi sentetik polimerlerden dökülme yoluyla oluşan mikroplastiklere İkincil mikroplastikler denir.

Bu çalışmanın amacı, tekstil endüstrisinde ve el örgü işlerinde yaygın kullanımı olan polipropilen, akrilik, polyamid gibi polimerlerden üretilen ipliklerin MP salım potansiyelinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Sentetik tekstil liflerinin yapay yollarla bir yaşlandırma kabinde yaşlandırılması sonrasında oluşan ikincil mikroplastikler kaynaklarıyla birlikte incelenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Numuneler

Araştırmada, günlük hayatta çok sık kullanılan ve özellikleri birbirinden farklı 10 adet iplik numunesi kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan iplerin yapısı poliüretan(TPU), polyester(PES), polyamid(PA,naylon), polipropilen(PP) ve akrilik esaslıdır. Renkleri şeffaf ve beyaz tonlarındadır. Kullanılan ipliklere ait etiket bilgileri Tablo 3.1’de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Araştırmada kullanılan iplere ait içerik bilgisi

	Materyal	Kalınlık
Ip-1	Esnek	0,6 mm
Ip-2		0,35 mm
Ip-3	Polyester	
Ip-4	%100 Polyester	
Ip-5	%100 Bonded Naylon	
Ip-6	%100 Polipropilen	
Ip-7	%100 MikroAkrilik	
Ip-8	%100 Akrilik	
Ip-9	%50Akrilik %50Polyamid	
Ip-10	%100 Olefin	

#### 3.2. Kullanılan Alet ve Ekipmanlar

Çalışmada kullanılan ana ekipmanlar, Olympus bx51 optik mikroskop, Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), iklimlendirme test kabini, BAB floresan mikroskop, Memmert inkübatör, Multi-functional Orbital Shaker,

Finnipipette pipet kullanılmıştır. Nil kırmızısı boyama için Acros marka Nil kırmızısı (9-diethylamino-5H-benzo[ $\alpha$ ]phenoxazine-5-one) boya kullanılmıştır.

### 3.3. Mikroplastik Fiber Salım Testleri

Çalışmalarda kullanılan iplikler sırasıyla 1'den 10'a kadar kodlanmış ve her birinden 1 m ölçülerek dikkatlice kesilmiş ve uçlardaki kalıntı liflerin yapılacak salım deneylerini bozmaması için kesme yapıldıktan sonra en uçlarda kalan döküntüler alınmıştır. Daha sonra numuneler deterjanla yıkanmış ve ultra saf sudan geçirilmiş cam beherlerin içerisine yerleştirilmiştir. Deneyler üzerinde herhangi bir kontaminasyonu önlemek için, kullanılan ultra safsu, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Nil kırmızısı çözeltisi gibi tüm çözeltiler 0.45  $\mu$ m selüloz filtre kağıdından süzülmüştür.

Oluşturulan setlerde her numuneden birer blank ayrılmış ve diğerleri yaşlandırma testlerine tabi tutulmuştur. Her periyot sonunda kabinden alınarak üzeri cam kapakla kapatılan numuneler karanlık bir dolapta tutulmuştur. Böylece numunelerin ön işlemleri ile diğer incelemeleri toplu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Salım testlerinde ön denemeler sonucu seçilen 4 adet farklı ip kullanılmıştır. İp malzemeleri, %100 Polipropilen (Ip-6), %100 Mikro akrilik(Ip-7), %100 Akrilik (Ip-8) ve %50 Akrilik %50 Polyamid (Ip-9) tipindedir. Kullanılan iplerin 1 metresine karşılık gelen ağırlıkları Tablo3.2'de verilmiştir.

İklimlendirme test kabine her bir numuneden 4 adet koyularak seriler oluşturulmuştur. İlk numune serisi 168 saat, ikinci numune serisi 336 saat, üçüncü numune serisi 504 saat ve son numune serisi de 672 saat kontrollü şartlar altında eskitme işlemine tabii tutulmuştur. İklimlendirme test kabini için oluşturulan kontrollü şartlar Tablo3.2'te verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Salım Testlerinde Kullanılan İplerin Ağırlığı

İp Kodu	Polimer Tipi	Ağırlığı(g)
6.1	%100 Polipropilen	0,7359
6.2	%100 Polipropilen	0,7404
6.3	%100 Polipropilen	0,7556
6.4	%100 Polipropilen	0,7718
7.1	%100 Mikro Akrilik	0,4864
7.2	%100 Mikro Akrilik	0,4882
7.3	%100 Mikro Akrilik	0,4907
7.4	%100 Mikro Akrilik	0,4947

**Tablo 3.2.(Devamı) Salım Testlerinde Kullanılan İplerin Ağırlığı**

8.1	%100 Akriklik	0,3559
8.2	%100 Akriklik	0,3591
8.3	%100 Akriklik	0,3645
8.4	%100 Akriklik	0,3734
9.1	%50 Akriklik- %50 Polyamid	0,3325
9.2	%50 Akriklik- %50 Polyamid	0,3329
9.3	%50 Akriklik- %50 Polyamid	0,3370
9.4	%50 Akriklik- %50 Polyamid	0,3429

### 3.3.1. Kontrollü şartların oluşturulması ve yaşlandırma işlemleri

İklimlendirme test kabinine her bir numunedan 4 adet yerleştirilerek numune setleri oluşturulmuştur. İlk numune serisi 240 saat, ikinci numune serisi 480 saat, üçüncü numune serisi 720 saat ve son numune serisi de 960 saat kontrollü şartlar altında eskitme işlemine tabii tutulmuştur. Ayrıca salım testi uygulanan her numune için aynı ebatlarda blank numuneleri hazırlanarak, süzölmüş ultra saf su ile normal oda koşullarında muamele edilmiş ve mikroskop altında incelenmiştir.

Numunelere belli sıcaklık, ışık ve nem (60 0 C, % 80 nem, 10.000 lux) değerlerinde 28 gün eskitme işlemi uygulandıktan sonra mikroplastik oluşturma potansiyelleri incelenmiştir. İklimlendirme test kabini için oluşturulan kontrollü şartlar Tablo 3.3'te verilmiştir

**Tablo 3.3. İklimlendirme Test Kabini İçin Oluşturulan Kontrollü Şartlar**

Seriler	Süre(saat)	Sıcaklık(°C)	Nem(%)	Lüx
1.Seri	168	60	80	10000
2.Seri	336	60	80	10000
3.Seri	504	60	80	10000
4.Seri	672	60	80	10000

### **3.4. Numune İşlem ve Analizleri**

İncelemelerde makas kullanılarak 1 metre uzunluklarında kesilen ve yaşlandırma kabiniinde muamele edilen ip numuneleri belirlenen sürelerce(10,20,30 ve 40 gün) bekletildikten sonra alınarak üzerine,0.45 µm pore çapa sahip selüloz asetat filtre kağıdından süzölmüş olan ultra saf su eklenmiştir. Daha sonra üzerine 5 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (%30'luk) eklenerek çalkalayıcıda 150 rpm'de 60 dakika boyunca çalkalanmış ve 8 saat bekletildikten sonra bir cam elyaf filtre kâğıdı üzerine filtre edilerek lipofilik bir boya olan Nil kırmızısı boyama metoduna uygun şekilde (Shim vd., 2016) boyama yapılarak, Floresan mikroskop altında incelenmiştir.

#### **3.4.1. Salım testi numunelerinin mikroskopik incelemesi**

Nil kırmızısı ile boyama işleminde Acros marka Nil kırmızısı (9-diethylamino-5H-benzo[α]phenoxazine-5-one) boyası kullanılmıştır. Diğer mikroplastik inceleme metotlarına göre ekonomik ve etkili bir metot olan Nil kırmızısı boyası ile mikroplastik inceleme işlemi, boyanın plastik parçacıklarını daha görünür hale getirmesi sebebiyle de oldukça pratik olmaktadır. Belli miktarda alınan Nil kırmızısı ile önce asetonla (0.05 g/L) çözdürölerek stok solüsyon hazırlanmıştır. Daha sonra standart solüsyon için sırasıyla 10-100 kat hekzanla seyreltme (5 ve 0.5 mg/L) yapılarak çözelti hazırlanmıştır. Boya çözeltisi amber şişede 4 °C' de muhafaza edilmiştir. İncelemelerde ise cam pipetle alınan boya çözeltisi filtre kâğıdı üzerindeki numuneye damlatılarak, numune 60 °C' de, 30 dk kadar bekletildikten sonra floresan mikroskop altında incelenmiştir.

#### **3.4.2. ATR-FT-IR analizleri**

Zayıflatılmış Toplam Yansımali (ATR) Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre (FT-IR), (ATR)-FT-IR analizleri mikroplastik incelemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışmalarda Bruker Lumos marka ATR-FTIR (Attenuated Total Reflectance- Fourier Transform Infrared) cihazı kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve kıyaslanmıştır.

#### **4. ARAŞTIRMA BULGULARI**

Araştırmada kullanılan numunelerin mikroskop altındaki görüntüleri ve karakter analizleri yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılan iplikler sırasıyla 1'den 10'a kadar kodlanmış ve her birinden 1 m  l lerek dikkatlice kesilmiş ve uçlardaki kalıntı liflerin yapılacak salım deneylerini bozmaması için kesme yapıldıktan sonra en uçlarda kalan döküntüler alınmıştır. Deney sonuçlarının etkilenmemesi için uygun ortam ve Şartlar yerine getirilmiŐtir.

Yapılan ATR-FT-IR analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar, bu iplere ait verilen etiket bilgileri ile uyumludur. Elde edilen sonuçlar, ip numunelerinin etiket bilgilerindeki kimyasal yapılarını doğrular niteliktedir. Bununla beraber bu sonuçlar salım testlerinde kullanılan polimerlerden salınan mikro plastik fiberlerin yapısını da göstermektedir.

İncelenen farklı ip numunelerinden salınan MP fiberlerin optik mikroskop incelemeleri ile birlikte Nil kırmızısı boyama-floresan incelemeleri yapılmıştır. Bu  alıŐmalar sonucunda bir çok mikroskobik görüntü elde edilmiştir.

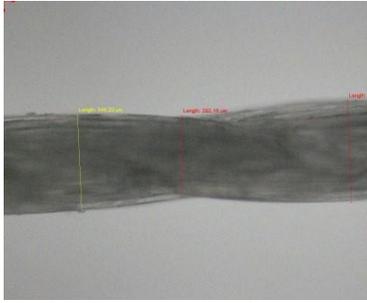
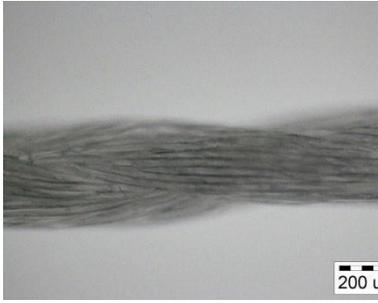
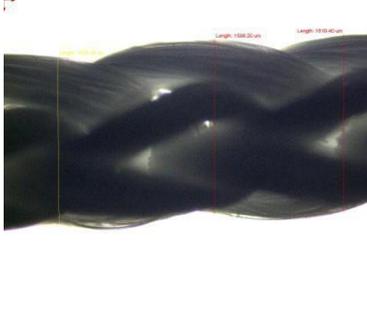
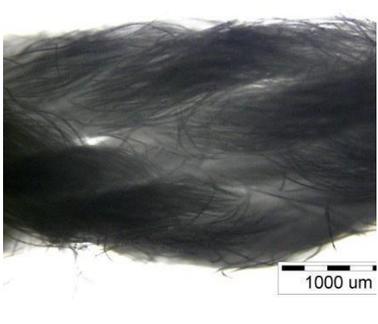
#### 4.1. Karakterizasyon Çalışmaları

Tiftikli, tiftiksiz, esnek, esnek olmayan, filament, uzun filament tipi vb. olmak üzere farklı tip ve polimer yapısında olan ipler mikroskobik ve spektroskopik olarak incelenmiştir. İplerden, ip1 esnek misina benzeri, ip2 esnek olmayan misina tipi, ip3, ip4 ve ip5 dikiş ipi, diğerleri is el örgü işlerinde de yoğun kullanımı olan örgü yünü tipi iplerdir. İncelenen iplere ait mikroskobik görüntüler Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

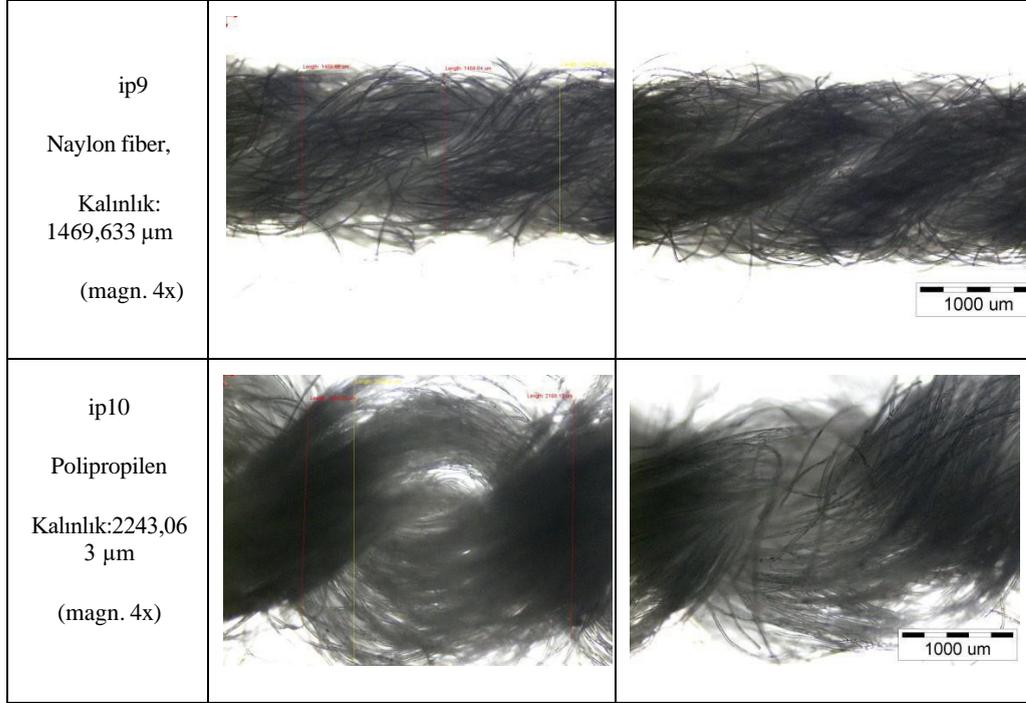
ip1 TermoplastikPoli üretan (TPU) Kalınlık:581,616 $\mu\text{m}$ (magn. 10x)		
ip2 Naylon fiber (PA6) Kalınlık:345,003 $\mu\text{m}$ (magn. 10x)		
ip3 Polyester fiber Kalınlık:391,6 $\mu\text{m}$ (magn. 10x)		
ip4 Polyester fiber Kalınlık:256,36 $\mu\text{m}$ (magn. 10x)		

Şekil 4.1. İncelenen Plastik Yün ve İpliklere Ait Mikroskop Görüntüleri (4x ve 10x)

**Şekil 4.1.(Devamı)** İncelenen Plastik Yün ve İpliklere Ait Mikroskop Görüntüleri (4x ve 10x)

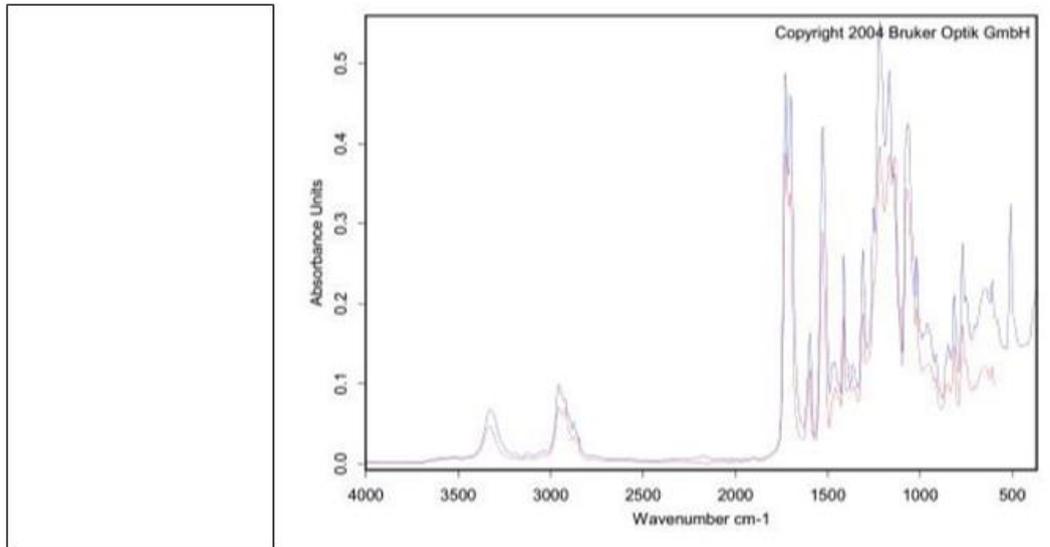
<p>ip5 Naylon</p> <p>Kalınlık:3 33,436 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>(magn. 10x)</p>		
<p>ip6</p> <p>Polipropil en</p> <p>Kalınlık:1 575,226 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>(magn. 4x)</p>		
<p>ip7</p> <p>Polisoprene</p> <p>Kalınlık:1 763,67 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>(magn. 4x)</p>		
<p>ip8</p> <p>Akrilik</p> <p>Kalınlık:1 447,626 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>(magn. 4x)</p>		

**Şekil 4.1.(Devamı)** İncelenen Plastik Yün ve İpliklere Ait Mikroskop Görüntüleri  
(4x ve 10x)



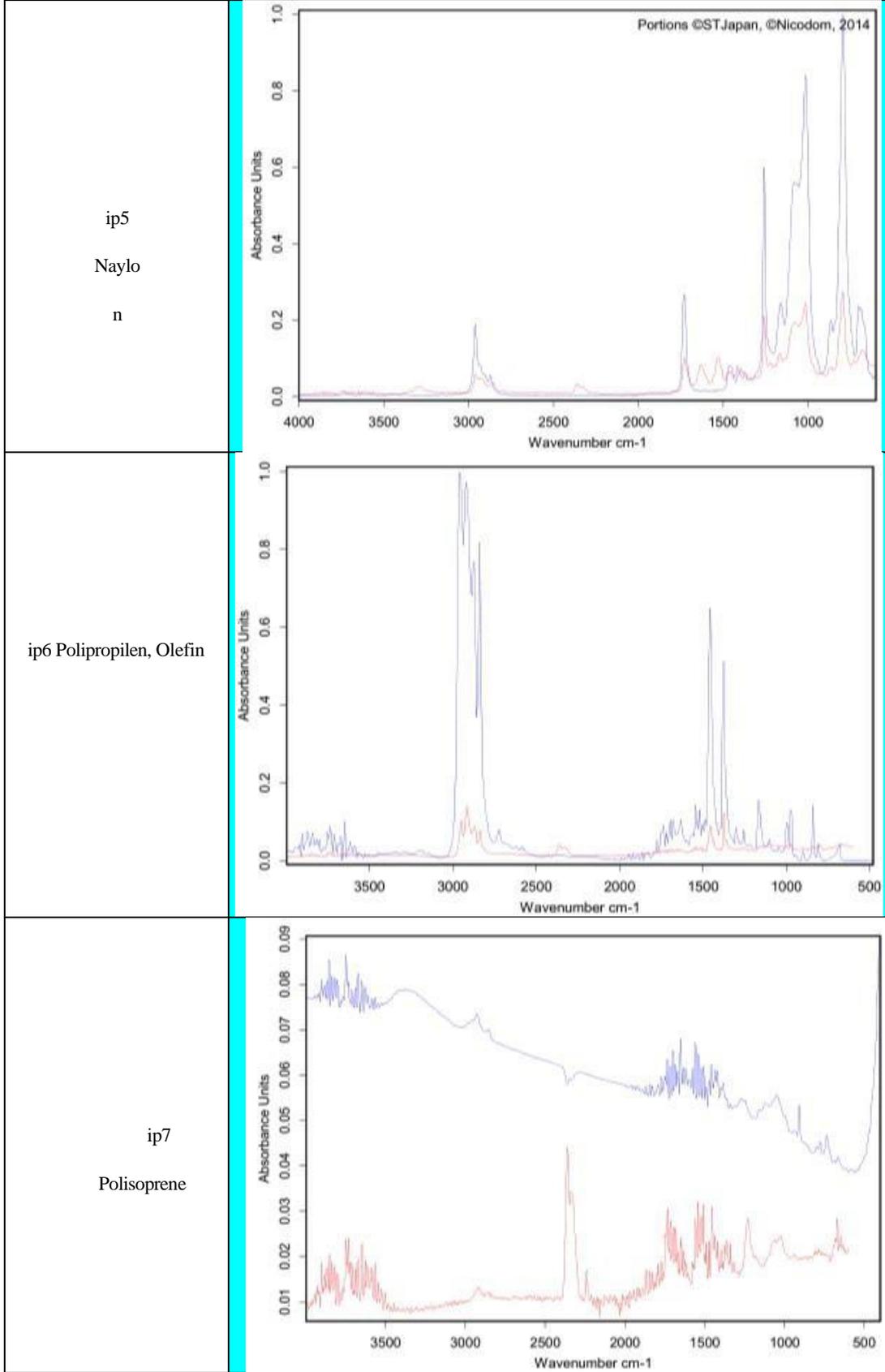
#### 4.1.1. ATR-FT-IR analiz sonuçları

Araştırmalarda kullanılan ip numunleri üzerinde yapılan ATR-FT-IR analizleri sonucunda elde edilen spektralara ait bazı örnekler aşağıda Şekil 4.1'de sırasıyla verilmiştir.

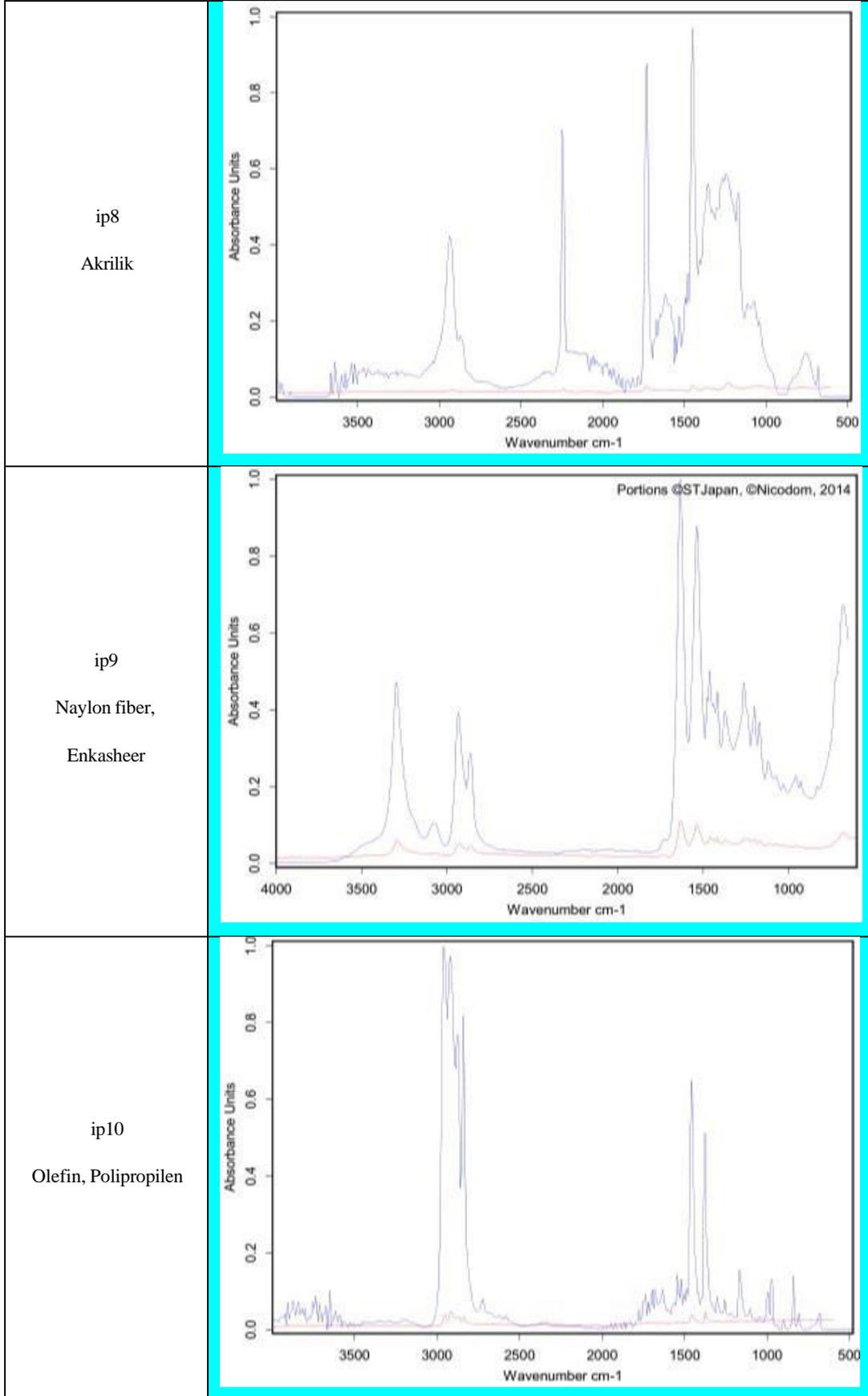


**Şekil 4.2** İp Numuneleri Üzerinde ATR-FT-IR Analiz Sonuçlarından Elde Edilen Spektra Örnekleri

Şekil 4.2.(Devamı) İp Numuneleri Üzerinde ATR-FT-IR Analiz



Şekil 4.2.(Devamı) İp Numuneleri Üzerinde ATR-FT-IR Analiz

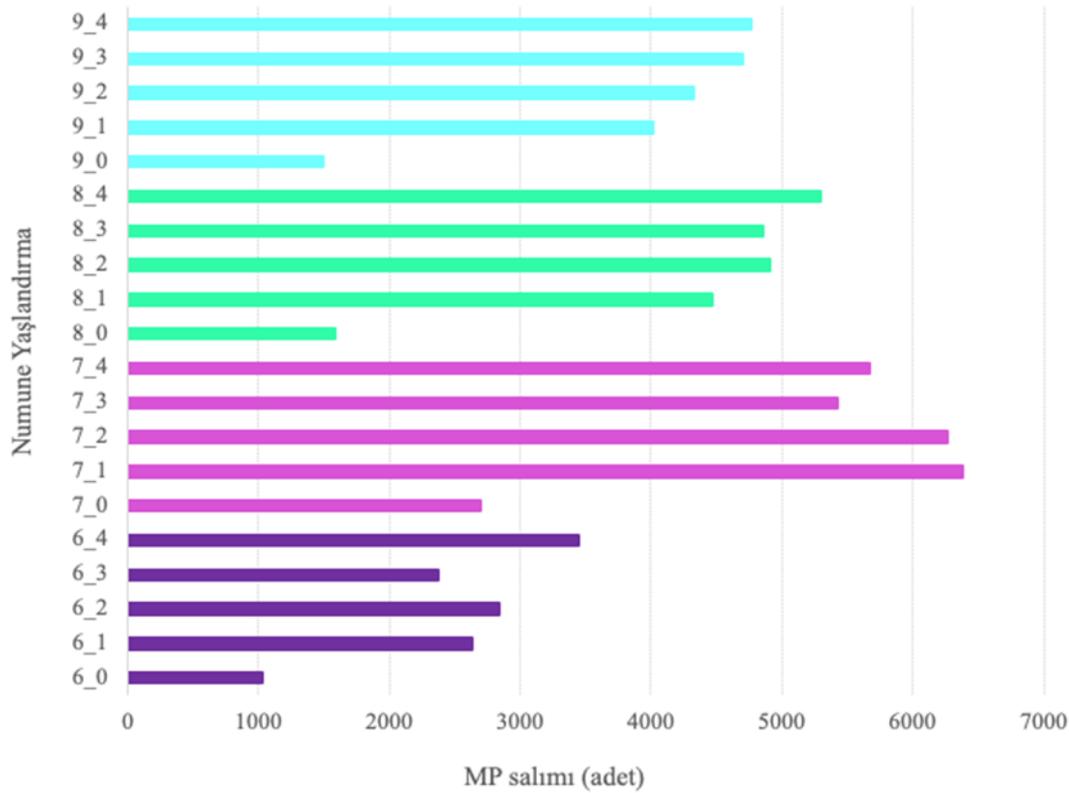


Yapılan ATR-FT-IR analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar, bu iplere ait verilen etiket bilgileri ile uyumludur. Elde edilen sonuçlar, ip numunelerinin etiket bilgilerindeki kimyasal yapılarını doğrular niteliktedir. Bununla beraber bu sonuçlar salım testlerinde kullanılan polimerlerden salınan mikroplastik fiberlerin yapısını da göstermektedir.

#### 4.1.2. İp numunelerinde mikroplastik fiber salım testleri

MP salım testlerine tabi tutulan yani iklimlendirme test kabiniinde belli sürelerde (240 saat, 480 saat, 720 saat ve 960 saat) muamele edilen numunelerden salınan lif döküntüleri boyanarak mikroskop yardımıyla incelenmiş ve sayılmıştır.

Floresan incelemelerde UV, green, blue filtreler kullanılmış ve içlerinden blue filtre ile daha iyi sonuçlar elde edildiği için incelemelere blue filtre ile devam edilmiştir. Mikroskop altında alınan görüntüler Fiji ImageJ (ImageJ2 version: 2.3.0/1.53f) programı yardımıyla kullanılarak sayılarak kategorize edilmiştir. MP salım inceleme sonuçları Şekil 4.2’te grafik olarak verilmiştir.

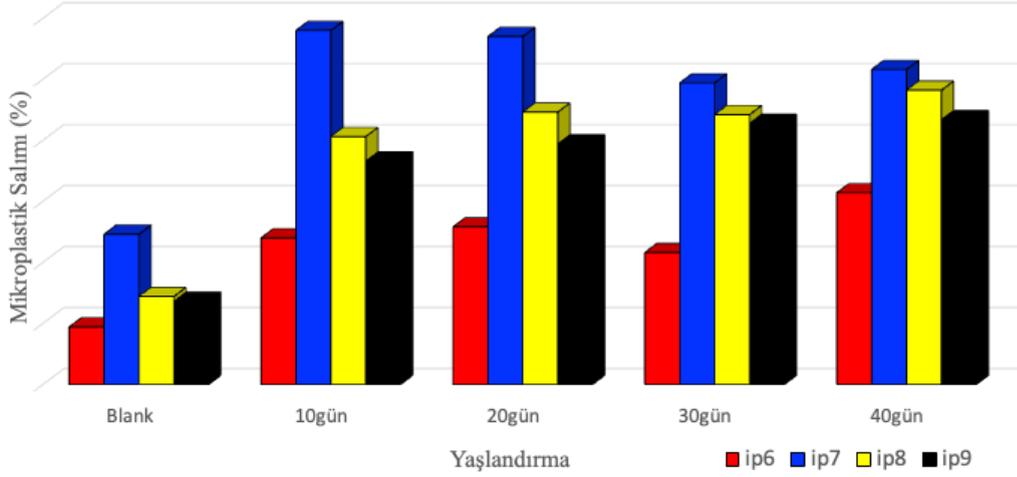


Şekil 4.3. MP Salım Sonuçları

Yaşlandırma yapılmadan sayım yapılan blank numunelerinde 1000 adetten fazla mikroplastik fiberin salındığı anlaşılmaktadır (>1000MP/1metre ip). İp6, İp7, ip8 ve ip9 blank numunelerinden sırasıyla 1034, 2970, 1584 ve 1496 adet MP/1m salındığı tespit edilmiştir. İklimlendirme test kabiniinde toplam 40 gün süresince yapılan eskitme sonrasında ise İp6, İp7, ip8 ve ip9'dan, sırasıyla 3454, 5676, 5302 ve 4774 adet MP/1m salındığı anlaşılmıştır. Salım numunelerinin blanklerini de hesaba kattığımızda, yalnızca 10, 20, 30 ve 40 gün sonraki eskimleri sonrasında dökülen parçacıkların yine aynı sırayla 2420, 2970, 3718 ve 3278 adet MP/1m olması söz konusudur. Bu bilimsel bulgulara dayanarak malzeme eskime ve yaşlanmasının, iplerden MP salımını ciddi derecede artırabileceği söylenebilir. Blank numunelerinden salınan MP adeti ise, gerek tekstil endüstrisinde gerekse evlerde el işi örgü işlemlerinde sıklıkla kullanılan yünlerden her an binlerce MP fiber salınacağını kanıtlar durumdadır.

En fazla mikroplastik fiber salan ipin 7 numaralı % 100 mikro akrilik olan ip numunesi olduğu anlaşılmıştır. İpin mikroskop görüntüleri dikkate alındığında zaten çok kesikli tüylü-tiftikli bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır. Ancak diğer iplerin de mikroskopik görüntüleri incelendiğinde, yalnızca 7 numaralı ipin değil 8 ve 9 numaralı akrilik iplerin de kesikli tüylü-tiftikli yapısı olduğu görülmektedir. Yine görüntülerden 7 numaralı ipin (1763,67 µm), 8 ve 9 numaralı akrilikli iplere daha göre kalın olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca 7 numaralı akrilik ipin MP fiber salımının fazla olması yalnızca diğer akrilikli iplerden kalın olması değil, birim metresi başına düşen ağırlığının da fazla (yaklaşık 0.13 gram kadar) olmasıyla da açıklanabilir. 6 numaralı polipropilen ipin yapısı kalın, metresi başına ağırlığı fazla olmakta beraber MP salımının az olması dikkat çekicidir. Bu durum da bu ipin yapısının daha uzun filament şeklinde olması ile açıklanabilir.

Sonuçlar karşılaştırıldığında, hiç yaşlandırma işlemine tutulmamış olan blank numunelerinden (..\_0 olarak kodlanmış) MP fiber salımlarının, yaşlandırılmış tüm ip numunelerinden salınan fiberlerin %50'sinden daha az olduğu söylenebilir. Aşağıdaki Şekil 4.3. te farklı iplerden salınan mikroplastik fiberlerin yaşlandırma süresince değişimine ait grafik görülmektedir.



**Şekil 4.4** Yaşlandırma Yapılan İp Numunelerinde MP Salım Oranları Karşılaştırması

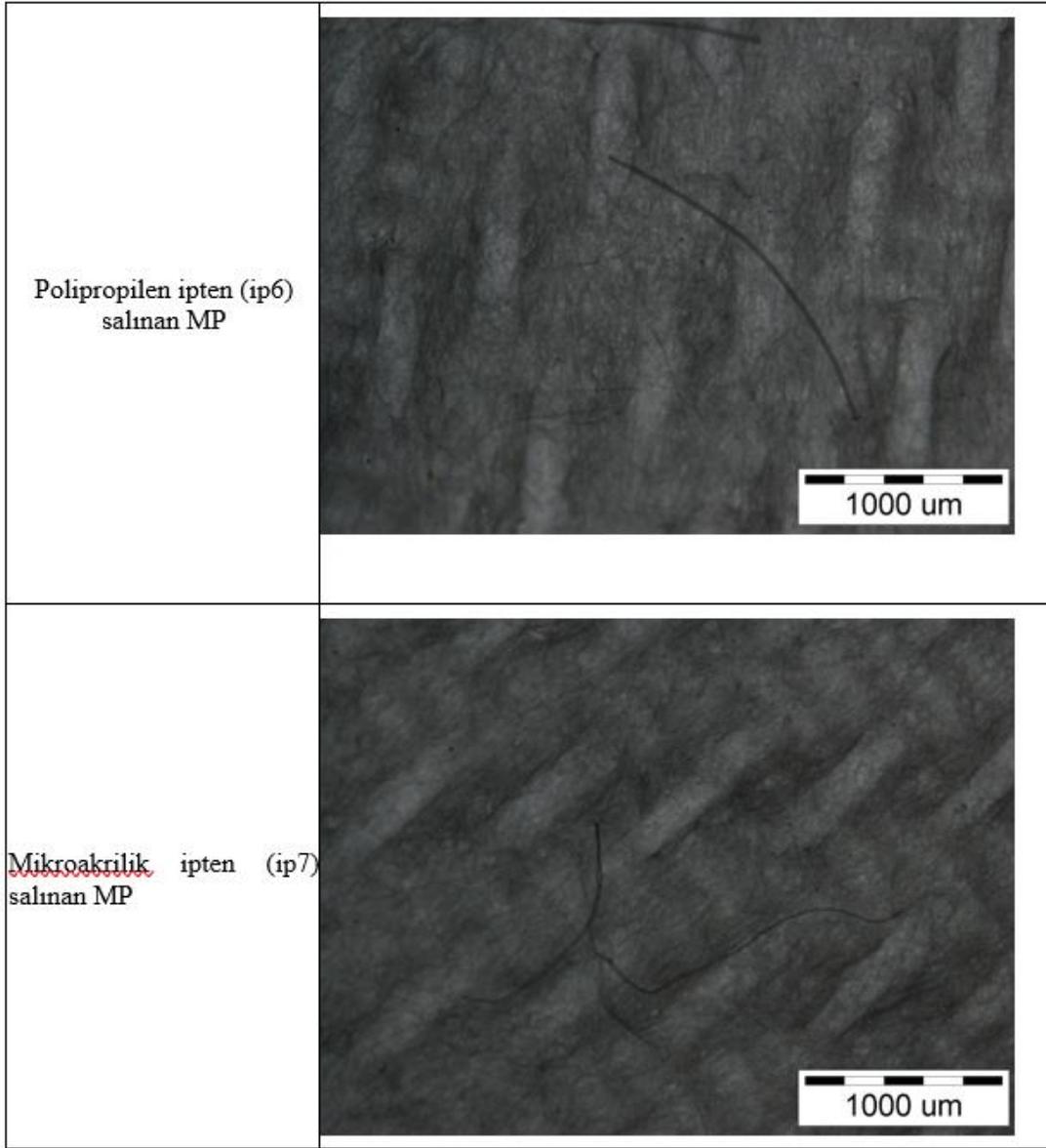
İncelenen farklı ip numunelerinden salınan MP fiberlerin optik mikroskop incelemeleri ile birlikte Nil kırmızısı boyama-floresan incelemeleri yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda bir çok mikroskopik görüntü elde edilmiştir.

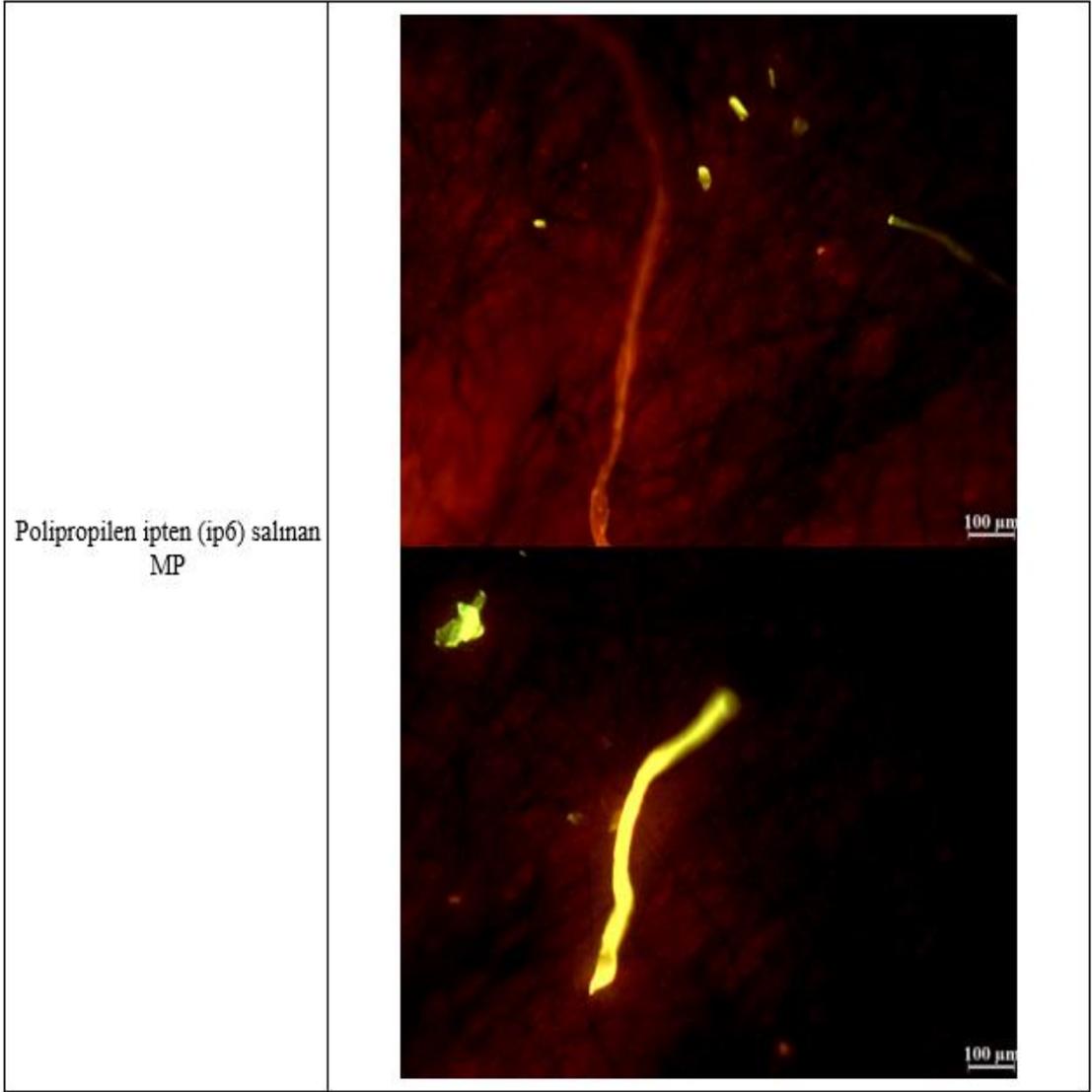
Elde edilen optik mikroskop görüntülerine ait bazı örnekler aşağıda Şekil 4.4'te, Nil kırmızısı boyama-floresan mikroskop görüntülerine ait bazı örnekler ise aşağıda Şekil 4.5.'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Yaşlandırma - MP salım incelemelerinde optik mikroskop görüntüleri

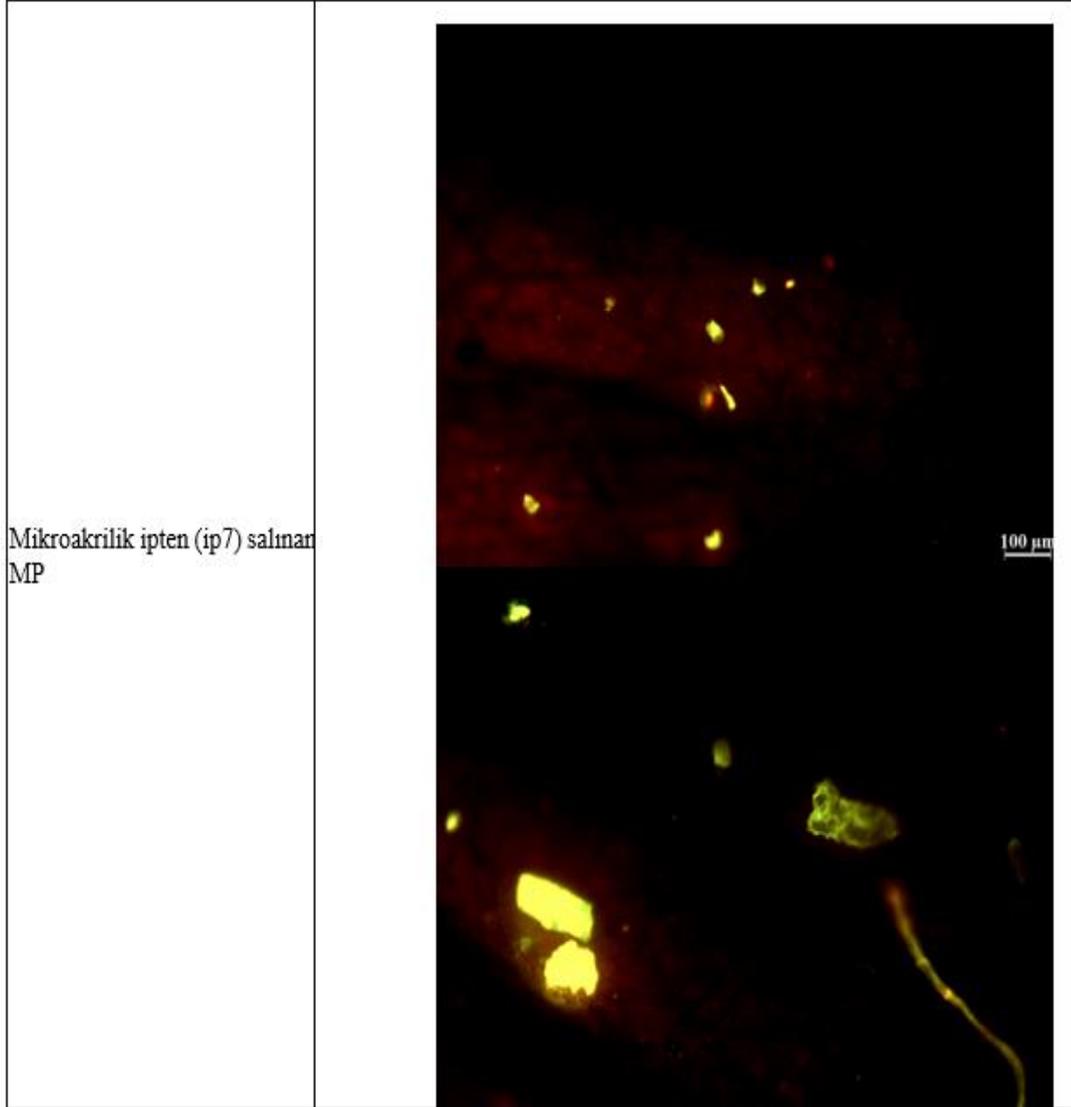
**Şekil 4.5.(Devamı)** Yaşlandırma - MP salın incelemelerinde optik mikroskop görüntüleri



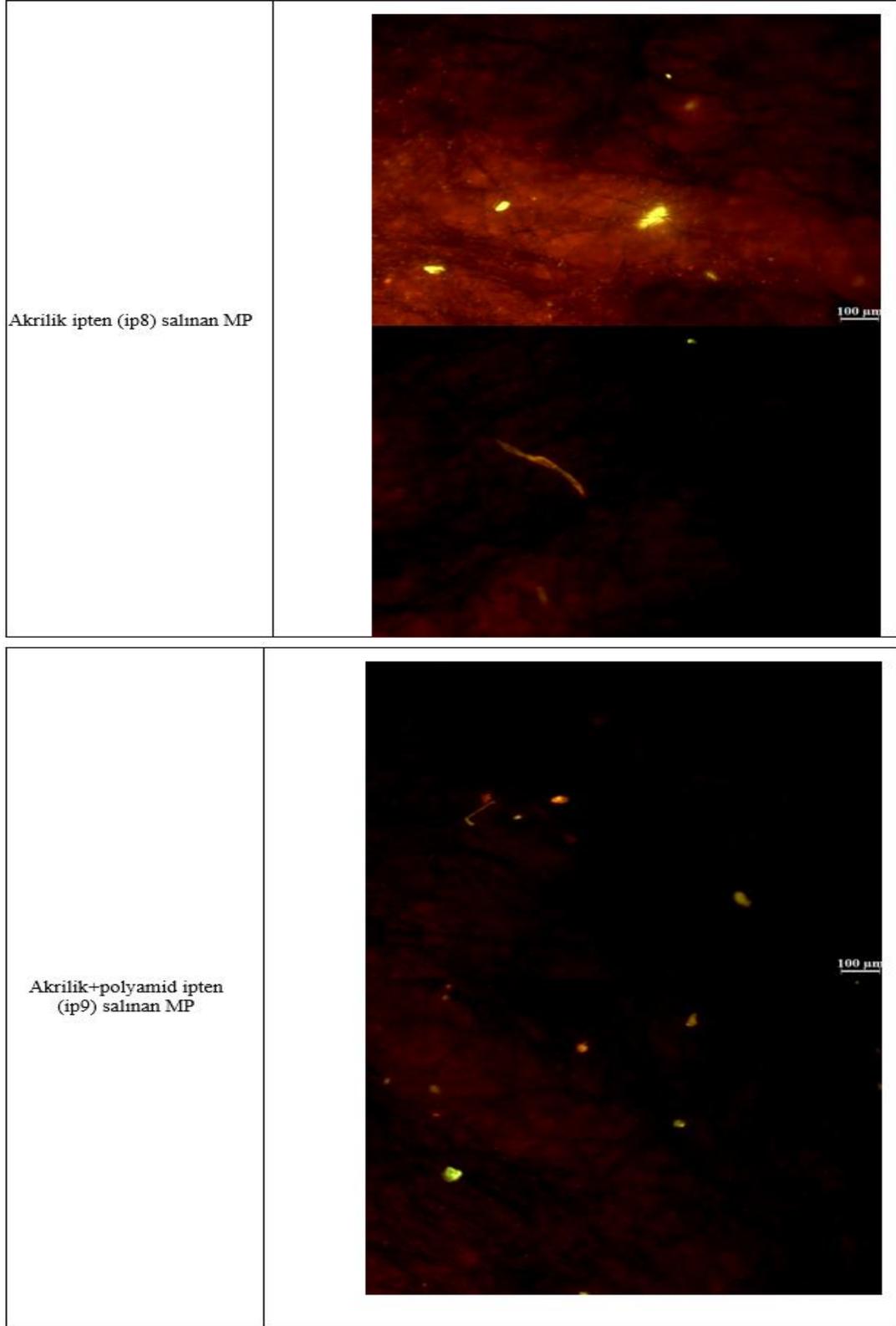


**Şekil 4.6.** Yaşlandırma - MP salım incelemelerinde Nil kırmızısı boyama-floresan mikroskop görüntüleri

**Şekil 4.6.(Devamı)** Yaşlandırma - MP salım incelemelerinde Nil kırmızısı boyama-floresan mikroskop görüntüleri



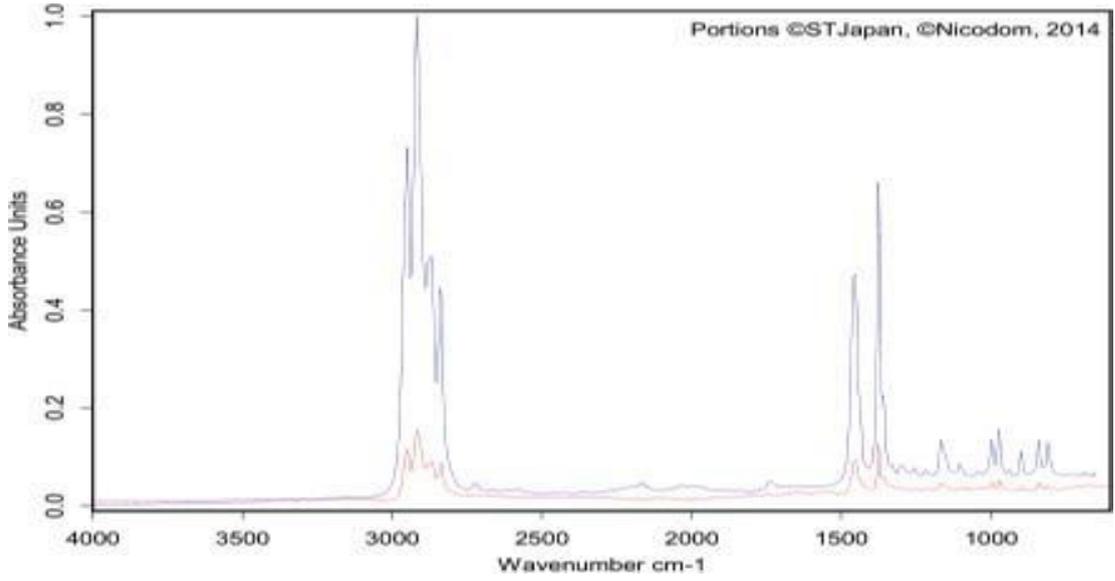
**Şekil 4.6.(Devamı)** Yaşlandırma - MP salım incelemelerinde Nil kırmızısı boyama-floresan mikroskop görüntüleri



Şekillerde (Şekil 4.5) % 100 Polipropilen (Ip-6), % 100 mikro akrilik (Ip-7), % 100 akrilik (Ip-8) ve % 50 akrilik-% 50 polyamid (Ip-9) tipindeki ip numunelerinden salınan mikroplastiklere ait bazı mikroskop görüntüleri örnek olarak gösterilmiştir.

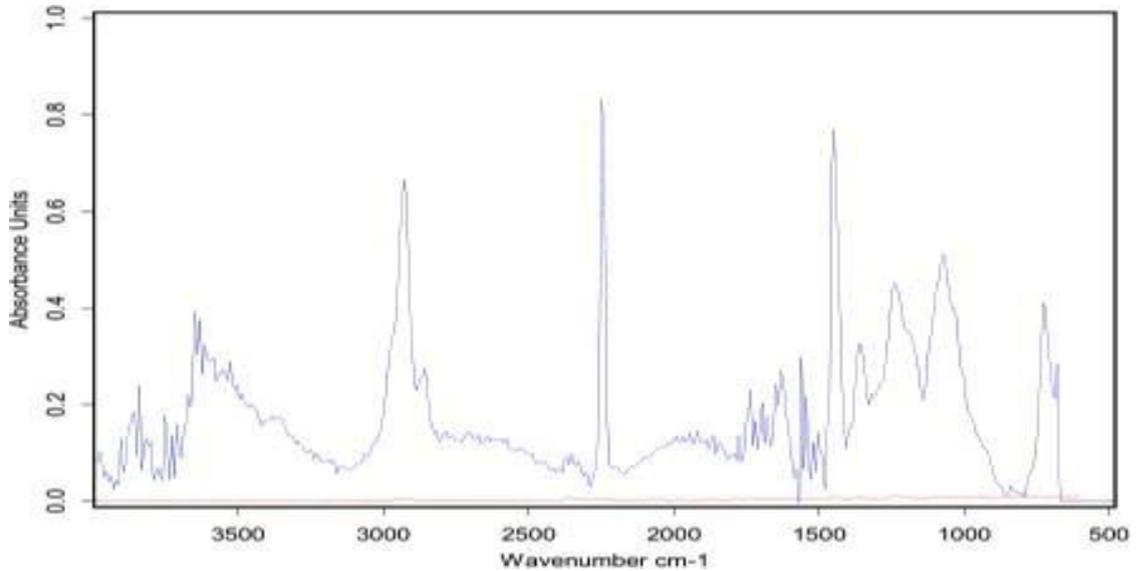
Yapılan incelemeler sonucunda, mikroakrilik ip numunelerinin mikroplastik salım potansiyelinin oldukça yüksek olduğu anlaşılmıştır. İp8 nolu akrilik numuneden ise neredeyse nano boyutlara doğru çok minik parçacıkların dökülmüş olması dikkat çekicidir. Malzemelerin mikroplastik salım potansiyelinin de kendi yapı, tip ve özelliklerine özgü bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca Napper ve Thompson (2016) çalışmalarının sonuçlarına benzer şekilde akrilik ip numunelerinde daha fazla salım olması söz konusudur.

Salım testi yapılan numunelerden polipropilen ve akrilik ip numunesinin 1., 2., 3., ve 4., set sonrasında, yıkama sonrası cam elyaf filtre kağıdı üzerine geçirilen örneklerdeki parçacık ve lifler üzerinde yapılan ATR-FT-IR analizlerinde elde edilen sonuçlarda polipropilen spektraları elde edilmiştir. PP liflere ait ATR ATR-FT-IR analiz sonucu Şekil 4.6.'de ve akrilik iplere ait ATR ATR-FT-IR sonucu Şekil x'te örnek olarak gösterilmiştir.



**Şekil 4.7.** Polipropilen İp Yaşlandırma İşlemi Sonrası Oluşan Mikrofiberin ATR-FT-IR Analizine Örnek

Salım testi yapılan numunelerden ip8 kodlu akrilik ip numunesinin 1., 2., 3., ve 4., hafta sonrasında yıkama sonrası cam elyaf filtre kağıdı üzerine geçirilen örneklerdeki parçacık ve lifler üzerinde yapılan ATR-FT-IR analizlerinde elde edilen sonuçlarda akrilik spektralleri elde edilmiştir. Bahsedilen liflere ait ATR-FT-IR sonucu, Şekil 4.7'da örnek olarak gösterilmiştir.



**Şekil 4.8.** Akrilik (Akrilonitril stiren akrilat polyamid ASA-PA) İp Yaşlandırma işlemi Sonrası Oluşan Mikrofiberin ATR-FT-IR Analizine Örnek

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada piyasada satılan 10 farklı ip numunesi kullanılmıştır. Numunelerin önce ham halleri optik mikroskop ve ATR-FT-IR ile incelenmiştir. Daha sonra bu numuneler arasından MP salım potansiyeli olabilecek iplerden 4 adeti seçilerek hızlı yaşlandırma (iklimlendirme) kabiniinde 10 gün, 20 gün, 30 gün ve 40 gün muamele edilecek setler oluşturulmuş ve bu numuneler üzerinde MP salım potansiyelleri incelenmiştir.

İklimlendirme test kabinine yerleştirilen numuneler sıcaklık, UV ve nem açısından kontrollü şartlarda belirtilen periyotlarda tutulmuş ve işlemler tamamlanmıştır. Numunelerin blank hallerinin ve işlem gördükten sonraki hallerinin çalışma kapsamında olması ve çalışmanın kontrollü yürütülmüş olması bu sentetik ip numunelerinden salınan mikro plastiklerin ortaya konulmasında karşılaştırma olanağı sağlamıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, yaygın kullanılan bu sentetik iplerden her an döküntünün olabileceği anlaşılmaktadır. Bu durumda ülkemizde ve dünyada çok fazla kullanılan ve sentetik polimerlerden üretilen tekstil ürünlerinin özellikle ev veya ofis gibi kapalı ortamlarda milyonlarca döküntüsünün oluşabilmesi ve bu döküntülerin ortam havasında da dolaşabileceği aşıkardır.

## KAYNAKLAR

- [1] 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.
- [2] Magnusson K, Norén F (2014) Screening of microplastic particles in and downstream a wastewater treatment plant, Swedish Environmental Protection Agency.
- [3] Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5), 592-599.
- [4] Habib, D., Locke, D. C., & Cannone, L. J. (1998). Synthetic fibers as indicators of municipal sewage sludge, sludge products, and sewage treatment plant effluents. *Water, Air, and Soil Pollution*, 103(1), 1-8.
- [5] Yurtsever, Meral. “Küresel plastik kirliliği nano-mikroplastik tehlikesi ve sürdürülebilirlik.” Erişim tarihi 10(2018):2020.
- [6] Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine pollution bulletin*, 112(1-2), 39-45.
- [7] Jemec, A., Horvat, P., Kunej, U., Bele, M., & Kržan, A. (2016). Uptake and effects of microplastic textile fibers on freshwater crustacean *Daphnia magna*. *Environmental Pollution*, 219, 201-209.
- [8] Carney, B. M., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., & Persson, N. K. (2018). Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environmental Science and pollution research*, 25(2), 1191- 1199.
- [9] Yurtsever, Meral. "MİKROPLASTİKLER'E GENELBİR BAKIŞ." *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 17.50 (2015): 68-83.
- [10] D. He, Y. Luo, S. Lu, M. Liu, Y. Song, L. Lei, (2018) “Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks” *Trends in Analytical Chemistry* 109 163-172.
- [11] M.C, Rillig, L. Ziersch, S. Hempel, (2017) “Microplastic transport in soil by earthworms” *Scientific Reports* 7 1362.
- [12] R.R. Hurley, L. Nizzetto, (2018) “Fate and occurrence of micro(nano)plastics in soils: knowledge gaps and possible risks” *Current Opinion in Environmental Science & Health* 1, 6-11.
- [13] M.I. Ali, S. Ahmed, G. Robson, I. Javed, N. Ali, N. Atiq, A. Hameed, (2014) “Hameed, Isolation and molecular characterization of polyvinyl chloride 18-27

- [14] Esmeray, E., & Armutcu, C. (2020). Mikroplastikler, Çevre Ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri Ve Analiz Yöntemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 839-868.
- [15] M. T. Rose, T. R. Cavagnaro, C. A. Scanlan, T. J. Rose, T. Vancov, S. Kimber, I. R. Kennedy, R. S. Kookana ve L. Van Zwieten, “Impact of Herbicides on Soil Biology and Function”, *Advances in Agronomy*, vol. 136, pp. 133-220, 2016.
- [16] A. B. Silva, S. B. Ana, I. J. Celine, J. P. Costa, A. C. Duarte ve T. A. Rocha-Santos, “Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry”, *Analytica Chimica Acta*, vol. 1017, pp. 1-19, 2018.
- [17] K. Zhang, J. Su, X. Xiong, X. Wu, C. Wu ve J. Liu, “Microplastic pollution of lakeshore sediments from remote lakes in Tibet plateau, China”, *Environmental Pollution*, vol. 219, pp. 450-455, 2016.
- [18] F. Gusmão , M. D. Domenico , A. Z. Amaral , A. Martínez , B. C. Gonzalez, K. Worsaae , J. A. Ivar do Sul ve P. D. Cunha Lana , “In situ ingestion of microfibrils by meiofauna from sandy beaches”, *Environmental Pollution*, vol. 216, pp. 584-590, 2016.
- [19] A. L. Andrady , “Microplastics in the Marine Environment”, *Marine Pollution Bulletin*, cilt 62, p. 1596–1605, 2011.
- [20] Chua, E.M., Shimeta, J., Nugegoda, D., Morrison, P.D., Clarke, B.O., (2014) “Assimilation of polybrominated diphenyl ethers from microplastics by the marine amphipod, *Allorchestes compressa*” *Environmental Science & Technology*. 48, 8127- 8134.
- [21] Au, S.Y., Bruce, T.F., Bridges, W.C., Klaine, S.J., (2015) “Responses of *Hyalella azteca* to acute and chronic microplastic exposures” *Environmental Toxicology and Chemistry* 34, 2564-2572.
- [22] AYDIN, S., Muhammed, U. L. V. İ., AYDIN, M. E., & ULVİ, Ö. Ü. A. MİKROPLASTİKLER VE ÇEVRESEL ETKİLERİ. *FEN VE MÜHENDİSLİK*, 17.
- [23] Revel, M., Châtel, A., Mouneyrac, C. “Micro(nano)plastics: A threat to human health?”, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, vol. 1, pp. 17-23, 2018.
- [24] L. Lu, . T. Luo, . Y. Zhao, C. Cai, Z. Fu ve . Y. Jin, “Interaction between microplastics and microorganism as well as gut microbiota: A consideration on environmental animal and human health”, *Science of the Total Environment*, vol. 667, pp. 94-100, 2019.
- [25] S. Sharma ve S. Chatterjee, “Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review”, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 27, p. 21530–21547, 2017.
- [26] Y. Deng, Y. Zhang, B. Lemos ve H. Ren, “Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure”, *Scientific Reports*, 2017.

- [27] A. Nel, "Toxic Potential of Materials at the Nanolevel", *Science*, vol. 311, no. 5761, pp. 622- 627, 2007.
- [28] J. L. Pauly, S. J. Stegmeier, H. A. Allaart, R. T. Cheney, P. J. Zhang ve A. G. Mayer, "Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue", *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, vol. 7, no. 5, pp. 419-428, 1998.
- [29] V. Hidalgo-Ruz, L. Gutow, R. C. Thompson ve M. Thiel , "Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods used for Identification and Quantification", *Environmental Science&Technology*, vol. 46, pp. 3060- 3075, 2012.
- [30] T. Nilüfer, "Sucul ortamdaki mikroplastiklerin insan sağlığına etkisi ve arıtma yöntemlerinin araştırılması", (2019) 54-67.
- [31] Li, J., Liu, H., & Chen, P. " Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence,environmental effects, and methods for microplastics detection." *Water Research* , (2018) 362-374.
- [32] Li, H.-X., Ma, L.-S., Lin, L., Ni, Z.-X., Xu, X.-R., Shi, H.-H., Rittschof, D."Microplastics in oysters *Saccostrea cucullata* along the Pearl River Estuary", *China. Environmental Pollution*, (2018) 619-625.

## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Serenay HAZAR

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2020, Sakarya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Sentetik Yün ve İpliklerden Mikroplastik Salınımının İncelenmesi.