



Likenler ve Mikroplastikler

Lichens and Microplastics

 Nida Nur ÖZBEY^a

 Atila YILDIZ^b

^aAnkara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye

^bAnkara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye

Özet

Likenler, algler ile mantarların fizyolojik ve morfolojik birlikteliklerinden oluşmuştur. Likenlerin ekstrem koşullarda bile yaşayabilmesini, çevresel faktörlere adaptasyonunu yapılarındaki sekonder metabolitler sağlar. Sekonder metabolitler likenlere, antimikrobiyal, antibakteriyal, antifungal gibi biyolojik aktiviteler kazandırır. Likenlerin çok sayıda kullanım alanları vardır. Geçmişten bugüne alternatif tıpta, gıda alanında, sanayide, biyoizleme alanlarında kullanılmıştır. Boyutları oldukça küçük olan mikroplastiklerin, doğaya ve insanlara verdiği zararların giderek artıyor olması, bu alandaki çalışmalara ağırlık verilmesi ihtiyacını doğurmuştur. *Xanthoria parietina* liken türü başta olmak üzere farklı liken türleri kullanılarak havadaki mikroplastik oranlarının pasif yöntem ile biyoizlemesi yapılmıştır. Bu yöntemle incelenen likenlerde mikroplastik kalıntılara rastlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Kirlilik, Liken, Sağlık

Summary

Lichens are composed of the physiological and morphological associations of algae and fungi. The secondary metabolites within lichens enable them to survive even in extreme conditions and adapt to environmental factors. Secondary metabolites confer biological activities such as antimicrobial, antibacterial, and antifungal properties on lichens. Lichens have numerous applications. From past to present, they have been used in alternative medicine, food, industry, and biomonitoring. The increasing harm caused by microplastics, which are quite small in size, to nature and humans has led to the need to focus on research in this area. Passive biomonitoring of microplastic levels in the air was conducted using various lichen species, particularly the *Xanthoria parietina* lichen. Microplastic residues were detected in the lichens examined using this method.

Keywords: Microplastic, Pollution, Lichen, Health

1. Giriş

Likenler hava kirliliğine karşı hassastır [1, 2]. Bu nedenle hava kirliliğinin belirlenmesi ve izlenmesinde kullanılırlar. Likenler tallustu yapıları nedeniyle havadaki partikülleri kolaylıkla bünyelerine alıp biriktirebilirler. Bu sebeple likenler hava kirliliğinin, atmosferdeki ağır metallerin, radyoaktif elementlerin biyoizleme yöntemi ile tespitinde çok iyi biyobelirteç canlılardır. Likenlerin bu özellikleri göze alındığında, havadaki mikroplastiklerin biyoizleme yolu ile tespit edilmesi, bu mikroplastiklerin likenler üzerinde ne kadar biriktiğinin belirlenmesi çalışmalarında da likenlerin kullanılabilmesi düşünülmüştür [1, 3, 4].

Özen (2020) ve Loppi vd. (2021) belirli istasyonlardan topladıkları likenleri kullanarak biyoizleme çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmaların sonucunda topladıkları likenlerin mikroplastikleri yapısında biriktirdiklerini gözlemlemişlerdir.

2. Mikroplastikler

Plymouth Üniversitesi'nde Deniz Enstitüsü Müdürü, Deniz Biyolojisi Profesörü ve Uluslararası Deniz Çöpleri Araştırma Birimi Yöneticisi olarak görev yapan Prof. Dr. Richard Thompson, 2004 yılında, denizlerdeki plastik kirliliği araştırmaları yaparken tespit ettiği küçük plastik parçacıkları için ilk kez "mikroplastik" terimini kullanmıştır. ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'ne (NOAA) göre, "mikroplastikler (MP), 1 mikrometreden 5 mm'ye kadar boyutlara sahip her türlü plastik maddeleridir" (Şekil 1).

Doğaya bilinçsizce atılan plastik çöpler, çeşitli faktörlerle taşınıp, geniş alanlara yayılabilir. Plastiklerin sadece çok küçük bir kısmının geri dönüştürülebildiği ve eğer gerekli tedbirler alınmaz ise dünyanın plastik bir gezegene dönüşebileceği konusunda bilim insanları bizi uyarmaktadır. Plastik kirliliğinin boyutları arttıkça, çevre ve içinde yaşayan canlılar tehlikeye girecektir [6].



Şekil 1. Mikroplastikler [5]

Plastiğin bir süredir nehir kirliliğinin önemli bir bileşeni olduğu bilinmektedir ve plastik bozulma ürünleri toprak ortamları için potansiyel bir sorun olarak dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, yakın zamana kadar plastik kirliliği ile ilgili araştırmaların ana odağı deniz olmuştur. Bunu vurgulamak için, ISI Web of Science'da yapılan bir literatür araştırması, 'mikroplastik' terimini içeren 1.228 makaleyi kapsar ve bunların yalnızca 45 adet yayınlanmış bir alt kümesi (%3,7) 'tatlı su' terimini içerir. Bu son yıllarda değişmeye başlamıştır ve dikkatler artık hem karasal hem de tatlı su ortamlarına yönelmiştir [7].

2.1. Mikroplastik Çeşitleri

Oluşumlarına göre mikroplastikler: Birincil mikroplastikler ve ikincil mikroplastikler olmak üzere ikiye ayrılır.

• Birincil mikroplastikler

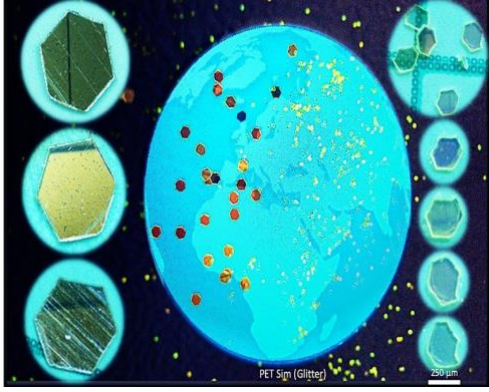
Bilinçli olarak kullanılan mikroplastiklerdir. Boyutları 1 mikrometre ile 5 mm arasındadır. Sabun, şampuan, diş macunu ve diğer kozmetik, ilaç ve hava teknolojilerinde kullanılır (Şekil 2-3) [4].



Şekil 2. Birincil mikroplastik [8]



Şekil 3. Birincil mikroplastik [9]



Şekil 4. Piyasada en çok satılan hekzagonal şekilli simlere ait görüntü [6]

• İkincil mikroplastikler

Büyük plastiklerin zamanla ve çeşitli etkilerle aşınarak parçalanması neticesinde oluşan mikroplastiklerdir. İkincil mikroplastiklere örnek olarak; plastik eşyaların dökülmüş parçaları, sentetik tekstil ürünlerinden kopan mikrolifler, ulaşımdan kaynaklanan araç lastiği döküntüleri, hava tozlarındaki sentetik partiküller vb. sayılabilir (Şekil 5).



Şekil 5. İkincil (sekonder) mikroplastik kaynakları [6]

Polystyrene yapısındaki, 1 cm² lik bir kahve bardağı kapağı ile deneysel bir çalışma yapılmıştır. Kahve kapağının, 56 gün boyunca 30°C derecede, 24 saat içinde 320-400 nm ultraviyole ışığa maruz bırakıldığında, ortalama boyları 224 nm olan, 126 milyon nanopartikül üretebileceği gösterilmiştir. Bu durum, bu küçük plastik parçacıklarının tüm su kolonuna rahatlıkla dağılabileceği ve birçok deniz canlısı tarafından besin sanılarak alınabileceğini göstermiştir [10].

2.2. Mikroplastik Kaynakları

Mikroplastikler çeşitli şekillerde çevremize yayılıp, fark etmediğimiz şekilde ciddi boyutlarda kirliliğe ve tehlikeye yol açarlar. Mikroplastiklerin okyanus temelli ve dolaylı arazi temelli olmak üzere iki kaynağı vardır.

Okyanus Temelli Kaynaklar

Rüzgar, kıyı akıntıları, dalga hareketleri, mikroorganizmalar, gelgit olayları, deniz taşımacılığı endüstrisi, okyanuslar üzerindeki insan aktiviteleri mikroplastik taşınımının kaynaklarındandır [6].

Dolaylı Arazi Temelli Kaynaklar

Mikroplastikler rüzgar, hava, ulaşım, sanayi, insan faaliyetleri ile taşınarak çevreye ve su kaynaklarına dökülür [6].

2.3. Mikroplastik Kirliliğinin Canlılar Üzerindeki Etkileri

Mikroplastiklerin çeşitli maddeleri adsorblama özellikleri vardır. Bu nedenle birtakım organik/inorganik zararlı maddeleri yüzeylerinde biriktirirler ve biriktirdikleri bu maddeleri canlılara taşıyabilir, olumsuz etkiler yaratabilirler [11]. Örneğin, denizlerde yaşayan çeşitli canlılarda gözlemlenen mikroplastikler, bunlar ile beslenen diğer canlılara da taşınıp tehlike oluştururlar.

Mikroplastikler, boyutlarının küçük olmasından kaynaklı olarak, deniz omurgasızları, zooplanktonlar, deniz kuşları, balıklar ve deniz memelileri gibi çeşitli canlılar tarafından farkında olmadan alınabilirler. Canlılar mikroplastikleri yuttuklarında, beslenme kapasitelerinde, enerji rezervlerinde düşüklük gözlenebilir, bağırsak işlevlerinde zararlı değişiklikler meydana gelebilir. Mikroplastikler aynı zamanda av öğelerinin, avcılar tarafından tüketilmesi ile transfer şeklinde dolaylı olarak da alınabilirler [12].

Yapılan bazı çalışmalarda, yakalanmış bazı yabani balık türlerinin mide-bağırsak yollarında mikroplastik parçacıkları bulunmuştur. Bu çalışmalar, mikroplastiklerin daha ziyade doğrudan değil, transfer yoluyla alınma olasılığının daha fazla olduğunu göstermiştir. Örneğin, Lusher vd. (2016) yaptıkları bir çalışmada, incelenen bazı balıkların %11'inin mikroplastik içerdiğini ve mikroplastik içeren avı tüketen bir çizgili yunus (*Stenella coeruleoalba* Meyen, 1833) yaklaşık 463 milyon mikroplastığı yutabileceğini bulmuşlardır [12].

Mikroplastikler heterojen olarak dağılırlar ve hem karasal hem de sucul ortamlarda gözlemlenirler. Günümüzdeki çalışmalar sucul ekosistemlerdeki mikroplastikler üzerinde daha çok duruyor olsa da, sucul ekosistemlere taşınan mikroplastikler büyük ölçekte karasal ekosistem kaynaklıdır [11]. Toprakta hasat gibi tarımsal çalışmalar, bitki köklerinin toprak altında uzaması, solucanların toprak üzerindeki faaliyetleri ve hatta topraktaki diğer canlıların toprağı kazma hareketleri, topraktaki mikroplastiklerin çok daha derine taşınmasını sağlayabilirler [13]. Mikroplastiklerin tarımsal alanlardaki kaynaklarını atık suların tarımsal amaçlı kullanımları, sera naylonları, sulama boruları, gübre kapsülleri gibi uygulamalar oluşturmaktadır (Tablo 1).

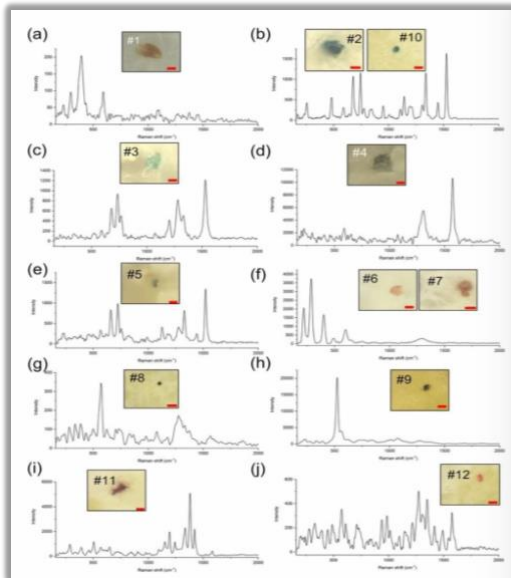
Tablo 1. Mikroplastiklerin farklı toprak türlerinde bulunuşu ve özellikleri [13]

Toprak tipi	Miktar	Boyut Aralığı	Şekil	Kompozisyon	Yer
Endüstriyel alandaki topraklar	300-67.500 mg kg ⁻¹	-	-	PVC (>80%), PE, PS	Avusturalya
Sahil toprağı	317 madde 500 g ⁻¹ (ortalama)	1.56 mm	parça, granül, lif, film	-	Çin
Sahil toprağı	1.3-14.712 madde kg ⁻¹	<1 mm (% 60)	köpük, pellet, parça, lif, film, sünger	PE, PP, PS	Çin
Taşkın yatağı toprağı	55.5 mg kg ⁻¹ veya 593 madde kg ⁻¹	125-500 µm (%88)	-	PE, PS, PVC	İsviçre
Tarım toprağı	<0.54 mg kg ⁻¹	>100 µm	-	PE	Çin
Orman toprağı	7100-42.960 madde kg ⁻¹	10-0.05 mm	lif, parça, film	-	Çin
Tarım toprağı	78.0- 62.5 madde kg ⁻¹	0.03-16 mm	film, parça	PE (%50.51), PP (%43.43), PES (%6.06)	Çin

PVC: Polivinilklorür, PE:Polietilen, PS:Polistren, PP:Polipropilen, PES:Polietersülfon

2.4. Mikroplastik Kirliliğinin İnsanlar Üzerindeki Etkileri

Bol miktarda mikroplastik bulunduran hava insanlar tarafından solunduğunda solunum sıkıntıları, astım gibi problemlere rastlanmış [14], bazı yiyecek, içeceklerde gözlemlenen mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki toksik etkileri belirgin olarak kanıtlanmamıştır ve bu konu üzerindeki araştırmalar devam etmektedir [6].



Şekil 6. İnsan plasentasında bulunan mikroplastiklerin mikrofotografı ve Raman Spektrumları [19]

Bilinçsiz insan faaliyetleri, karasal ve sucul ekosistemlerde mikroplastik kirliliğine yol açmıştır. Bununla birlikte, kontamine ortamdaki canlılar mikroplastikleri bünyelerine alabilirler. Örneğin, sucul ekosistemlerdeki balıklar, kabuklu deniz canlıları ve daha birçok canlı mikroplastikleri yutabilir. İnsanlar da bu deniz ürünlerini tüketerek, mikroplastığe maruz kalabilirler [15].

Mikroplastiklerin hemen her yerde bulunuyor olması, içme sularında da kirliliğin mevcut olup olmadığı konusunda merak uyandırmıştır. Sınırlı sayıda olmakla birlikte yapılan çalışmalarda musluk suyunda ve şişelenmiş sularda mikroplastik varlığı tespit edilmiştir. Bu durum, insanların içme suları vasıtasıyla mikroplastığe maruz kalabileceği konusunda dikkatleri toplamıştır. Mikroplastikler şişelenmiş sularda, musluk sularında, kabuklu deniz ürünleri ve tuz gibi çeşitli yiyeceklerde bulunmuştur [16].

Yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalar, gıdaların da mikroplastik içerebileceğini göstermiştir. Gıda maddelerindeki mikroplastikler; hammadde, gıda üretim aşamaları, ambalajlamada kullanılan plastiklerden kaynaklanabilir [17].

Gıda zincirinde biriken mikroplastiklerin bazı toksik maddeleri içermesi insan sağlığı için en büyük endişe kaynaklarından birisidir. Bu toksik maddeler dokulara sızarak organizmalarda, gıda zincirlerinde biyolojik birikme yapabilirler [18].

Son zamanlarda yapılan bir çalışmada, bebeklerin plasentasında mikroplastik parçacıklara rastlanılmıştır. Environment International’ da 2021 yılı Ocak ayında yayımlanan, Svelato ve ark. (2021) tarafından yapılan bir araştırmada verilen bilgiye göre sağlıklı ve hamilelik geçiren 6 kadın araştırmaya katılmıştır. Araştırmacılar, plastiklerin bulaşını önlemek amacıyla, dış taraftaki plastik bir kap ya da aletlerle temas etmemesini sağlayan bir yöntemle, plasentaları toplamışlardır. Toplanan bu 6 plasentanın 4 tanesinde toplam 12 mikroplastik parçacık bulmuşlardır (Şekil 6).

Araştırmacıların tahminlerine göre, bulunan mikroplastik parçacıklarının, herhangi bir yiyeceğin yutulması veya solunum yoluyla annenin vücuduna girip daha sonra plasentaya ulaşmış olabilir [19].

3. Likenler

Bilim dünyasına likenlerin algler ve mantarların birlikteliklerinden oluştuğunu ilk tanıtan bilim insanı: Alman Botanikçi “Schwenderer”dir [20, 21]. Bu birliktelikten meydana gelen likenler, mantarlarla ya da alglerle benzerlik taşımayan bir tallus meydana getirirler. Günümüzde yaklaşık 25.000 liken türü bulunmaktadır [21].

Likenler ekolojik açıdan oldukça önemli bir yere sahiptirler. Salgıladıkları liken asitleri sayesinde kayaları parçalayarak ufak taşlar oluşmasına sebep olur ve daha sonra bu taşlar üzerinde karayosunları gelişmeye başlar. Bu durumda oluşan ince toprak tabakasında yüksek bitkiler yetişir. Sonuç olarak süksesyonel gelişimin öncül birliktelikleridir [21, 22].

Likenler, çok yüksek bölgelerden çok alçak bölgelere, ovalardan deniz kıyılarına, kutuplardan ekvatora, çok sıcak ve/veya çok soğuk bölgelere, kendilerini meydana getiren mantarların ve alglerin ayrı ayrı yaşayamayacağı ekstrem yerlere kadar geniş bir alanda yetişebilirler [20, 21].

3.1. Likenlerin Yaşam Alanları

Her liken türünün farklı yetişme alanı vardır ve burada çeşitli faktörler rol oynar. Rutubet en önemli faktördür. Liken türleri nemli yerlerde, kuzey yamaçlarda daha sık görülürler. Fotosentez için ışıklı alanlarda bulunurlar, bu nedenle çoğu liken türüne orman kenarlarında, yol kenarındaki ağaçların gövde ve dallarında, eski duvarlarda



Şekil 7. a. Çatı kiremitleri üzerinde likenler [23], b. Cam üzerinde likenler [24], c. Metal üzerinde likenler [25], d. Plastik üzerinde likenler [26], e. Ankara Çamlıdere Barajı kıyısındaki camelyaf su deposu üzerindeki likenler [Fotoğraf: Nida Nur ÖZBEY]

rastlanır. Genel olarak likenler, toprak üstlerinde, ağaç kütüklerinde, kayalar üzerinde, ağaçların gövde ve dalları üzerinde [20, 21] ve hatta çatı kiremitleri, cam, metaller ve plastikler gibi insan yapımı maddeler üzerinde yaşayabilirler (Şekil 7) [2].

Şekil 7. a. Çatı kiremitleri üzerinde likenler [23], b. Cam üzerinde likenler [24], c. Metal üzerinde likenler [25], d. Plastik üzerinde likenler [26], e. Ankara Çamlıdere Barajı kıyısındaki camelyaf su deposu üzerindeki likenler [Fotoğraf: Nida Nur ÖZBEY]

3.2. Likenlerin Sekonder Metabolitleri

Likenlerin yapılarındaki sekonder metabolitler onlara ekstrem koşullara dayanıklılık, çevresel koşullara adaptasyon sağlar [27] ve bu metabolitler mantar ortakları tarafından büyük miktarlarda salgılanabilirler, hatta bazı likenlerin kuru ağırlığının %50'sinden fazlasını oluşturabilirler [2].

Yapılan birçok araştırma, yapılarındaki sekonder metabolitler sayesinde likenlerin antimikrobiyal, antiviral, antiinflamatuvar, antioksidan gibi çeşitli aktivitelere sahip

olabileceğini göstermiştir [28]. Yine çok sayıda çalışma, liken sekonder metabolitlerinin Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere karşı antimikrobiyal aktivitelerini kanıtlamıştır. Çok sık görülen patojen bir bakteri olan

Escherichia coli (Migula 1985) bağırsak mikroflorasında bulunan Gram negatif bir bakteridir ve bu bakteriden kaynaklanan hastalıklarda kullanılabilecek antibiyotiklerin elde edilmesi için likenler aday organizmalardır [29].

3.3. Likenlerin Kullanım Alanları



Şekil 8. Ren geyikleri *Cladonia* sp. yiyor [30]

Likenler çok eski zamanlardan beri besin kaynağı, boya üretimi, parfüm endüstrisi, ilaç yapımı, süs eşyaları, biyolojik izleme gibi çeşitli amaçlar için kullanılmıştır.

Likenlerin çoğu, memeli hayvanların ve mikrofaunanın besin kaynağını oluşturur. Kuzey bölgelerinde, kar altında *Cladonia alpestris* (Pouzar & Vězda 1971) liken türü ren geyikleri için besin kaynağıdır (Şekil 8).

Letharia vulpina (Hue 1899) (Şekil 9) ve *Vulpicidia pinastri* (= *Cetraria pinastri*) (J.-E. Mattsson & M.J. Lai 1993) (Şekil 10) liken türleri zehirlidir ve İskandinavya bölgelerinde kurtları zehirlenmek için kullanılır. Kurtlar bu liken türlerini tükettikleri zaman solunum sistemini felç ederek, onları öldürürler [20, 21].



Şekil 9. *Letharia vulpina* [31]



Şekil 10. *Vulpicidia pinastri* (= *Cetraria pinastri*) [32]

Geçmişten bugüne kadar likenler sağlık alanında kullanılmıştır fakat bu bilimsel bir kullanımdan ziyade [20] likenlerin morfolojik özellikleri ile hastalıklar bağdaştırarak yapılmıştır [33]. Örneğin *Usnea* türleri saç benzediği için saç çıkartmak amacı ile, alveollu yüzeyinden dolayı *Lobaria pulmonaria* (Hoffm. 1796) (Şekil 11) ise akciğer hastalıklarında, sarı renkte tallusa sahip olması sebebiyle *Xanthoria parietina* (Fries 1860) (Şekil 12) sarılık tedavisinde kullanılmıştır [20].



Şekil 11. *Lobaria pulmonaria* [34]



Şekil 2. *Xanthoria parietina* [35]

Akdeniz çevresinde bulunan *Rocella tinctoria* (Candolle 1805), *Rocella fuciformis* (Candolle 1805) ve diğer *Rocella* türleri ile birlikte *Ochrolechia tartarea* (Massal 1852), *Ochrolechia parella* (Zahlbr. 1852), *Parmelia* türlerinin talluslarından elde edilen "Lacca Musci" drogu fermente edilerek Turnusol kağıdı elde edilir.

Bazı liken türleri parfümeri sanayinde kullanılmıştır. *Evernia prunastri* (Acharius 1810), *Usnea*, *Physcia* türlerinden elde edilen "Poudre de chypre" Fransa'da saçlar için yapılmış bir pudradır. Günümüzde de *E. prunastri* ve *L. pulmonaria* bazı parfümlerin bileşimine girmektedir [20].

4. Mikroplastiklerin Likenler ile Biyoizlenmesi

Atmosferi oluşturan gazların bileşiminden oluşan hava; canlılar için oldukça önemlidir. Bazı moleküller soluduğumuz havada uzun süre ve yoğunlukta bulunduklarında, canlıların yaşamına, çevreye zarar verebilir ve havanın kalitesini düşürerek kirliliğe sebep olabilir.

20. yüzyılın ortalarında yıllık bir milyon ton üzerinde üretim hacmine ulaşan plastikler, üretim süreçlerinde oldukça fazla plastik atık maddelerin oluşmasına, çevreye ve en önemlisi havaya karışarak tehlike oluşturmaya sebep olmuştur [4]. Plastiğin en belirgin özelliklerinden biri çok dayanıklı ve uzun süre yok olmayarak kalıcı bir kirliliğe sebep olmasıdır (Şekil 13). Mikroplastik kirliliği açısından denizler ve tatlı sularda yapılan geniş çaptaki araştırmaların yanı sıra, mikroplastiklerin atmosferi de çok uzak bölgelerde bile kirlettiği tespit edilmiştir [15].



Şekil 13. Denize atılmış plastik şişe [36]

Plastik-mikroplastik kirliliği çoğunlukla insan kaynaklı olabilmektedir. Plastik ayak izinin azaltılması, tek kullanımlık plastik ürünlerin kullanılmaması, plastiklerin yerlere, çöplere, denizlere atılmaması gerekirken, insanların bu bilince sahip olmaması büyük bir tehlikeye yol açabilmektedir [4]. Bunun yanı sıra geri dönüşüm, yakma tesislerinde yakma veya gömme işlemleri atık plastiğin yönetimini kapsar ve depolama alanlarında plastiğin yeniden kullanılması, yok edilmesi ya da muhafaza edilmesi ve çevreye bırakılmaması için gerçekleştirilir. Ancak bu depolama alanlarına plastiğin boşaltılması sırasında ve rüzgar yoluyla çöplerin savrulması

sonucunda mikroplastikler oluşabilir ve havaya karışabilir [15].

Havanın mikroplastik içermesi insanların ve canlıların sağlığını olumsuz etkileyeceği ve bu konuda önlemler alınabilmesi için mikroplastiklerin havada ne yoğunlukta bulunduğu tespit edilmesi gerekir [4]. Bazı ağır metaller ve diğer önemli hava kirleticileri canlı organizmalar kullanılarak izleniyorlar. Aynı şekilde mikroplastiklerinde canlı organizmalar kullanılarak, atmosferdeki varlığının ve yoğunluğunun izlenmesi oldukça faydalı olacaktır. Fakat şimdiye kadar bu konu üzerinde çok fazla araştırma yapılmamıştır.

Sınırlı sayıda yapılan çalışmalarda, mikroplastiklerin atmosferdeki biyoizlenmesi iyi bir biyoindikatör olan likenlerden faydalanılarak yapılmıştır.

Normal şartlarda hava kirliliğinin tespiti ve değerlendirilmesi hem pahalı hem de kompleks bir işlemdir. Buna karşılık biyoizleme yöntemi ise kolay ve güvenilir olması ile birlikte ucuz bir yöntemdir. Biyoizleme yönteminin avantajları arasında az maliyetle uzun süre izleme, örnekleme kolaylığı, uzak alanda izleme imkanı gibi etkenler yer alır. Biyolojik izleme sonucunda, izlenen türlerin davranışlarında meydana gelen değişikliklerden bilgi sağlanır ve türlerin dokularındaki kirleticilerin yoğunlukları tespit edilir [4].

Likenlerin su değişimini sağlayan yapıları bulunmaz, bu nedenle dış uyaranlara anında tepki verebilirler. Bu durum onların biyoizleme çalışmaları için iyi bir biyobelirteç olmalarında önemli rol oynar.

5. Liken Biyoizleme ile Mikroplastiklerin İzlenmesi Çalışmaları

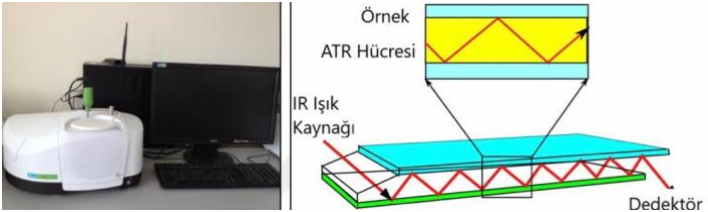
Özen (2020) İstanbul'un Asya yakasında havadaki mikroplastiklerin varlığını tespit etmek için liken biyoizleme yöntemini kullanmıştır. Kirliliğe toleransı olan bazı liken türlerini kullanmıştır. İstanbul Asya yakasındaki belirli bölgelerden liken örnekleri toplamıştır. Biyoindikatör likenleri pasif izleme yöntemi ile incelemiştir. Örnekleri Adalar, Ataşehir, Beykoz, Kartal, Maltepe, Sancaktepe, Sultanbeyli, Şile ve Pendik ilçelerinde belirlenmiş olan 27 adet istasyon bölgesindeki ağaçların üzerinden toplamıştır. Örneklerin toplandığı bölgede, hava kirliliğinin yoğun olduğu alanlarda liken gelişimi çok fazla gözlemlenmediği için, tüm bölgelerde gelişim gösteren *X. parietina* liken türünü tercih etmiştir. Analiz yapımına kadar hava almayacak bir şekilde, steril falkon tüplerinin içerisine koyup herbaryumda muhafaza etmiştir (Şekil 14) [4].



Şekil 14. Liken örneklerinin muhafaza edilmesi [4]

Topladığı örnekleri jilet yardımı ile substratından ayırmış, stereo mikroskop altında inceleyerek kontamine olduğu küçük maddelerden uzaklaştırmıştır. Örneklerini distile su ile üç kere yıkayıp, oda sıcaklığında kuruttuktan sonra cam petri kabının içine koyup etüve yerleştirmiştir ve 60 °C sıcaklıkta 24 saat inkübe etmiştir [4].

Örnekler tamamen nemini kaybetmiştir ve etüvden çıkarılarak seramik havanda öğütülerek toz haline getirilip analiz yapımına kadar steril falkon tüplerine toz halindeki örneklerden birer gram konulup saklanmıştır. Artık analiz için hazır olan örneklerin FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) spektrometre analizleri yapılmıştır. Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) referans materyalini de bir gram tartarak falkon tüpe yerleştirmiştir. Sakarya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya bölümünde bulunan ATR (Zayıflatılmış Toplam Yansıma)-FTIR cihazında (Şekil 15) mikroplastik analizini yapmıştır [4].



Şekil 15. ATR-FTIR Spektroskopisi a. Cihazı; b. Şematik olarak gösterimi [4]

Nile Red floresan boyası kullanarak floresan mikroskobu gözleminde yarım saat önce filtre kağıdına konulan örneklerin yüzeyini eşit şekilde boyamıştır ve daha sonra floresan mikroskobu ile incelemiştir [4].

FTIR analizi ile incelediği referans liken örneğinde kirli parçacık olarak değerlendirilebilecek bileşikler gözlemlenmemiştir. Referans örneğin floresan

mikroskobu ile incelemesinde de herhangi bir mikroplastik parçacığa rastlamamıştır [4].

Topladığı örneklerin FTIR analizinin sonucunda ortaya çıkan bileşikler: aldehit, alken, alkol, amin, eter, hidrokarbon, hidroksil, keton, kükürt dioksit, metil, metilen ve nitrojen dioksit olmuştur [4].

Aldehitler, plastikler, boyalar gibi polimerlerin ham maddesi olarak kullanılır. Örneklerde aldehit bileşiğine rastlanması Özen'in (2020) örneklerini topladığı bazı istasyonlarda piknik alanlarının da bulunması ve orada bulunan insanların plastik atıklarını etrafa atmasından kaynaklanabilir. Plastikler mikro boyutlarda olsalar da kimyasal yapılarını korumaktadırlar [4].

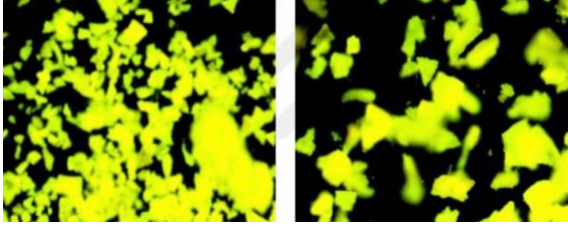
Motorlu taşıtların yanması sonucu egzoz emisyonlarından meydana gelen alkenler, plastiklerin polimerizasyonu sonucunda da meydana gelebilirler ve bu sebeple plastiklerin içeriklerinde ve mikroplastik parçacıklarında bulunmaktadırlar. Özen (2020) çalışmasında "Alken bileşiği çıkan istasyonlarda tek kullanımlık plastiklerin kullanılması ve çöp olarak bırakılmasından da kaynaklıdır" demiştir [4].

Eterler plastik üretiminde çözücü olarak kullanılırlar ve Özen'in (2020) örneklerinde etere rastlamış olması çevreye atılan plastik atıklardan kaynaklanabilir [4].

Plastik üretiminde kullanılan hidrokarbonlar benzinin yanması sonucu egzoz emisyonlarından ve mikroplastik kirliliğinden kaynaklıdır. Özen'in (2020) örneklerini topladığı alanlardaki araç trafiği ve plastik atıklar, sonuçlarda hidrokarbonlara rastlamasına sebep olmuş olabilir [4].

Özen (2020) daha sonra örneklerini floresan mikroskobu altında inceleyerek, mikroplastik parçacıklarının tespitini Shim vd. (2016), Dowara vd. (2020) ve Helmberger vd. (2020) makalelerinden yararlanarak yapmıştır. Sarı parlak renkte gözüken parçacıkların mikroplastik olduğunu söylemiştir (Şekil 16) fakat mikroplastiklerin çeşitlerini, kimyasal yapılarındaki farklılıkları tespit edememiştir [4].

Nile Red boyama sonrası floresan mikroskobu ile incelemesinin sonucunda tüm istasyonlardan topladığı örneklerde mikroplastik varlığını gözlemiştir. Mikroplastiklerin varlığını tespit ettiği örneklerin FTIR analizlerinde ise hidrokarbonların varlığını tespit eden Özen (2020) "Bundan dolayı hidrokarbonların mikroplastik



Şekil 16. Referans materyalinin floresan mikroskobu görüntüsü [4]

parçacıklarından kaynaklandığı gözlenmiştir. Örneklerin toplandığı istasyonlardaki plastik atıklarından kaynaklanabileceği görülmektedir. Bu örneklerin FTIR analizinde ise hidrokarbonlar plastiklerin ham maddesi olarak gözlenmiştir. Eter bileşikler ise bulundukları ağaç gövdelerinin reçinelerinden kaynaklanmaktadır” demiştir [4].

Özen’in (2020) çalışmasının sonucunda floresan mikroskobu tekniği ile İstanbul Asya Yakasında yer alan Adalar, Ataşehir, Beykoz, Kartal, Maltepe, Pendik, Şile ve

Üsküdar bölgelerinde mikroplastığe, FTIR analizi ile mikroplastiklerin yapı taşı olan hidrokarbon bileşiklerine rastlamıştır. Mikroplastik parçacıklarına en fazla rastladığı yerler; Beykoz ve sanayi alanından uzak bir bölge olan Şile olmuştur. Bu durum mikroplastik parçacıkların uzak mesafelere kadar taşınabileceğini göstermektedir [4].

Loppi vd. (2021) yaptığı bir başka çalışmada ise İtalya’daki bir çöplük sahasının etrafından toplanan likenlerin, daha uzak bölgelerdeki likenlere kıyasla daha yüksek miktarda mikroplastik biriktirip biriktirmediğini değerlendirmiştir. Örnekleri çöplük sahasından yakın, orta ve uzak mesafelerden almışlar ve tüm örneklerde antropojenik kökenli plastik dokular ve parçalar tespit etmişlerdir. Depolama alanına yakın yerlerde likenler antropojenik kökenli mikro liflerin en yüksek konsantrasyonunu biriktirmiştir [15].

Loppi vd. (2021) çalışma alanları yaklaşık 3 milyon m³ hacime sahip 160.000 m²’lik bir alandır. Bu alanda kağıt, plastik ve metal artıkları, ambalajları, kullanılmış lastikleri, tekstil ürünleri, yapı malzemeleri, belediye katı atık yakma fırınlarından gelen külleri, çevresel ıslahtan kaynaklanan malzemeleri içerir. Daha önceki likenolojik çalışmalara dayanarak örnekleme birimlerini üçe ayırmışlardır;

- Grup 1: yakın mesafe, doğrudan depolama alanına bakan alanlar;
- Grup 2: orta mesafe, alandan yaklaşık 200 m uzaklıkta bulunan siteler ve
- Grup 3: uzak mesafe, alandan yaklaşık 1500 m uzaklıkta bulunan siteler.

Mikroplastiklerin analizinde, geniş yayılışa sahip olduğu için yapraksı bir liken olan *Flavoparmelia caperata* (Hale 1986) örneklerini toplamışlardır. Yerden 1-2 m yükseklikteki meşe ağacının gövdesinden liken numunesi almışlardır. Likenleri laboratuvarında hava ortamında kurutup, cam beherlere yerleştirmişler ve ıslak peroksit oksidasyon yöntemi ile ayrı ayrı muamele etmişlerdir. Daha sonra örnekleri filtre kağıtlarına 1 mL Rose Bengal ile boyamışlar ve boyanmış filtre kağıtlarını petri kaplarına aktarmışlardır. Ardından mikroplastiklerin varlığını analiz etmek için filtre kağıtlarını stereomikroskop altında incelemişlerdir. Bu incelemenin yanında, plastik parçacıklarını, polimer bileşimini belirlemek için mikro-raman spektroskopisi kullanarak analiz etmişlerdir. Sınırlı veri nedeniyle fiberler, fragmanlar ve mikroplastiklerdeki farklılıkları kontrol etmek için iki taraflı bir permütasyon testi kullanmışlardır [15].

Yapılan tüm çalışmaların sonuçları, mikroplastiklerin kilometrelerce uzağa taşınabildiği ve doğada yıllarca bozulmadan kalabildiği için her geçen gün insanların ve tüm canlıların yaşamında tehlikeli olmaya devam ettiğini göstermektedir.

Doğa, insan olmadan da yaşar ama insan, doğa yok olduktan sonra yaşayamaz (Paul Ehrlich).

Referanslar

1. Yıldız, A., 2005. Hava Kirliliği ve Likenler. Air Pollution and Lichens. Tabiat ve İnsan. 39 (3): 12-16.
2. Lutzoni, F., Miadlikowska, J. 2009. Lichens. Current Biology Vol 19, No 13. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.04.034>.
3. Kurnaz, K. 2012. Biyomonitör likenlerle İstanbul ili Avrupa yakası hava kalitesinin izlenmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
4. Özen, E. 2020. İstanbul Asya yakasında havadaki mikroplastik parçacık kirliliğinin liken biyoizleme ile araştırılması. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
5. Anonim. 2022. Web Sitesi: <https://www.gidanotlari.com/mikroplastikler-ve-gidalar-uzerindeki-etkisi/>, Erişim Tarihi: 11/04/2022
6. Yurtsever, M. 2018. Küresel plastik kirliliği, nanomikroplastik tehlikesi ve sürdürülebilirlik. Çevre Bilim Ve Teknoloji, ISBN:978-605-7594-06-8, sayfa:171-197.
7. Wagner, M., Lambert, S. 2018. Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environments: An Overview. Freshwater Microplastics vol: 58. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>.
8. Anonim. 2022. Web Sitesi: <https://www.hseturkiye.net/post/mikroplastik-ve-mikroplastik-kirlili%C4%9Finedir-nas%C4%B1l-hayat%C4%B1m%C4%B1za-girdi>, Erişim Tarihi: 16/04/2022
9. Anonim. 2022. Web Sitesi: <https://iletim.istanbul.edu.tr/index.php/2023/11/06/mikroplastikler-kendisi-mikro-etkisi-makro/>, Erişim Tarihi: 16/04/2022
10. Anonim. 2022. Web Sitesi: <https://mikroplastik.org/mikroplastik-nedir/>, Erişim Tarihi: 27/03/2022
11. Arı, M., Öğüt, S. 2021. Mikroplastikler ve çevresel etkileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9 (2021) 864-877. <https://doi.org/10.29130/dubited.757698>.
12. Nelms, S.E., Galloway, T.S., Godley, B.J., Jarvis, D.S., Lindeque, P.K. 2018. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. Environmental Pollution. 238: 999-1007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016>.
13. Akça, M.O., Sözüdoğru Ok, S. 2021. Toprak ekosistemi üzerine mikroplastiklerin etkileri. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi 9(2) 79 – 91. <https://doi.org/10.33409/tbbbd.997807>.
14. Anonymous. 2022. Web Sitesi: <https://www.plymouth.ac.uk/staff/richard-thompson>, Erişim Tarihi: 01/04/2022
15. Lippi, S., Roblin, B., Paoli, L., Aherne, J. 2021. Accumulation of airborne microplastics in lichens from a landfill dumping site (Italy). Scientific Reports (2021) 11:4564. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84251-4>.
16. Anonymous. 2022. Web Sitesi: <https://www.sciencefocus.com/news/microplastics-are-they-harmful/>, Erişim Tarihi: 20/03/2022.
17. Akçay, S., Törnük, F., Yetim, H. 2020. Mikroplastikler: Gıdalarda bulunuşu ve sağlık üzerine etkileri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 20, 530 – 538. <https://doi.org/10.31590/ejosat.725259>.
18. Tunçelli, İ.C., Erkan, N. 2021. Gıda güvenliği açısından su ürünlerinde mikroplastik riski ve araştırma yöntemleri. Aquat Res 4(1), 73-87 (2021) • <https://doi.org/10.3153/AR21007>.
19. Svelato, A., Ragusa, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M.C.A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., Giorgini, E. 2021. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. Environment International. 146 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>.
20. Karamanoğlu, K. 1971. Türkiye'nin önemli liken türleri. Ankara Ecz. Fak. Mec. 1, 53.
21. Yıldız, A., Yurdakulol, E. 2002. Likenler. Tabiat ve İnsan. 36 (4): 6-11.
22. Cansaran Duman, D. 2008. Likenler ve moleküler biyoloji uygulamaları. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi 2008; 65 (1): 43-50.
23. Anonymous. 2022. Web Sitesi: <https://pixabay.com/tr/photos/%C3%A7at%C4%B1-texas-likenler-bitki-1003472/>, Erişim Tarihi: 17/04/2022
24. Anonymous. 2022. Web Sitesi: <https://montucky.wordpress.com/2016/01/31/decorated-glass/>, Erişim Tarihi: 19/04/2022
25. Anonymous. 2022. Web Sitesi: sporesmouldsandfungi.wordpress.com/2015/12/17/one-with-the-earth/, Erişim Tarihi: 19/04/2022
26. Anonymous. 2022. Web Sitesi: <https://www.dw.com/en/lichens-astonishing-microcosmos/a-36932679>, Erişim Tarihi: 20/04/2022
27. Çobanoğlu Özyiğitoğlu, G., Açıkgöz, B., Sesal, C. 2016. Liken sekonder metabolitleri: Sentez yolları ve biyolojik aktiviteler. Acta Biologica Turcica. Cilt 29, Sayı 4.
28. Gültekin, S., Özyiğitoğlu, G. 2018. Pseudevernia furfuracea (L.) Zopf Likenin antibakteriyel aktivitesi ve antioksidan kapasitesinin araştırılması. Marmara Fen Bilimleri Dergisi. 2: 210-216. <https://doi.org/10.7240/marufbd.410268>.

29. Uçarkuş, E., Gökalsın, B., Yıldırım, N., Açıkgöz, B., Özyiğitoğlu, G., Sesal, N.C. 2017. Balıkesir bölgesinden toplanan liken örneklerine ait özütlerin *Escherichia coli* ATCC 25922 üzerindeki antibakteriyel etkinlikleri. Türk Mikrobiyol Cem Derg. 47(1):26-32. <https://doi.org/10.5222/TMCD.2017.026>.
30. Anonymous. 2022. Web Sitesi: <https://tr.pinterest.com/pin/527202700118780066/>, Erişim Tarihi: 25/04/2022
31. Anonymous. 2022. Web Sitesi: https://en.wikipedia.org/wiki/Letharia_vulpina, Erişim Tarihi: 20/04/2022
32. Anonymous. 2022. Web Sitesi: https://www.afllichenologie.fr/Photos_AFL/Photos_AFL_C/Textes_C6/Cetraria_pinastri.htm, Erişim Tarihi: 20/04/2022
33. Akpınar, Ü. 2009. Türkiye'de yayılış gösteren ve usnik asit içeren Xanthoparmelia (var.) hale (ascomycotina, parmeliaceae) türlerinin taksonomik ve ekolojik özellikleri. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.
34. Anonim. 2022. Web Sitesi: <https://www.healthline.com/health/lungmoss>, Erişim Tarihi: 20/04/2022
35. Anonymous. 2022. Web Sitesi: https://en.wikipedia.org/wiki/Xanthoria_parietina, Erişim Tarihi: 20/04/2022
36. <https://www.aa.com.tr/tr/cevre/plastik-atiklar-denizlerde-biyocesitliliği-olumsuz-etkiliyor/2552185>