

## *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. likeni kullanılarak yapılan biyoizleme (=biyomonitöring) çalışmaları

Volkan IŞIK<sup>1</sup> ve Atila YILDIZ<sup>2</sup>

### Öz

Likenler alg ve mantarların bir araya gelerek meydana getirdikleri morfolojik ve fizyolojik birliklerdir. Likenlerde yüksek bitkilerdeki gibi stoma, kütikula ve epidermisin olmayışı nedeniyle, havadaki kirleticilerin hepsi tüm tallus yüzeyi ile emilmektedir. *Xanthoria parietina* hava kirliliğine karşı yüksek toleranslı bir liken türüdür ve havadaki toksik elementlerin seviyelerini belirlemek için biyobelirteç (=biyoindikatör) canlı olarak kullanılmaktadır. Biyoizleme (=biyomonitöring) ekosistemde meydana gelen değişiklikleri saptayıp, özellikle kirleticilere karşı önlem almada faydalı bir erken alarm mekanizmasıdır. Türkiye’de ve Dünya’da *Xanthoria parietina* likeni ile yapılan biyoizleme çalışmalarından elde edilen veriler havadaki ağır metal birikiminin, radyoaktif elementlerin, radyonüklidlerin ve SO<sub>2</sub> kirliliğinin kaynağını likenin toplandığı istasyonların konumuna ve likenlerin kirleticilere maruz kalma sürelerine büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermiştir.

### 1. Giriş

Likenler atmosferik kirlilik çalışmalarında birçok sebepten dolayı biyoizleme araçları olarak kullanılmaktadır (Nash, 2008). Likenlerin vasküler (damarlı) bitkilerden 100 kat daha fazla SO<sub>2</sub>’i absorbladığı belirtilmiştir (Winner vd., 1988). Hava kirliliğinin belirlenmesi bakımından çiçekli bitkilerle, diğer organizmalar karşılaştırıldığında, liken ve karayosunları gibi talluslu ve yapraklı bitkiler daha fazla öne çıkmaktadır. Çünkü hava kalitesinin izlenmesi ve belirlenmesi söz konusu olduğunda, talluslu bir canlı olan likenlerin tercih edilmesi ve elde edilen sonuçların güvenilirliği çok önemlidir (Çobanoğlu, 2015).

*Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. hava kirliliğine özellikle ağır metal kontaminasyonuna karşı çok toleranslı, besince zengin çok çeşitli substratlarda, yol kenarlarındaki ağaçlar, odunlar, çatı kiremidi, duvar ve beton üzerinde, asidik ve kalkerli kayalarda gelişebilen geniş yayılış alanına sahip kozmopolit bir türdür (Şekil 1) (Purvis vd., 1994; Wirth, 1995).

**Biyoizleme** (=biyomonitöring) çalışmalarında atmosferdeki, hidrosferdeki veya litosferdeki kirlilik seviyesi, indikatör organizmanın yaşam döngüsündeki değişikliklerin veya indikatör organizmanın



Şekil 1- *Xanthoria parietina* liken örnekleri.

dokusundaki kirletici konsantrasyonunun ölçülmesi ile elde edilir (Wolterbeek, 2002: Loppi ve Pirintos, 2003; Yaprak vd., 2007). Son yıllarda, yoğun bir şekilde hava kirliliğinin likenler üzerindeki etkisini inceleyen birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Sanayi devriminden sonra bakır, kurşun, çinko, kadmiyum, civa, demir, alüminyum ve nikel gibi ağır metallerin salınımı sürekli olarak artmıştır (Nriagu, 1996). Bu metaller ve diğer bazı toksik ametal elementler sınırlı coğrafik bölgelerde aşırı miktarlarda birikmiş ve insan sağlığını tehdit edecek düzeyde etkilemiştir (Yu, 2005). Likenlerin ağır metalleri biriktirmesi üzerine yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu; maden ocakları, enerji santralleri, araç yoğunluğu yüksek otoyollar, kentler ve kırsal alanlardaki kirlenme üzerine odaklanmıştır (Garty, 1993).

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Şehit Ömer Halisdemir Bulvarı, TR- 06110, Dışkapı-Altındağ / Ankara

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, TR-06100, Beşevler-Tandoğan / Ankara

## 2. *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. Hakkında Genel Bilgiler

Taksonomisi:

Kingdom : Fungi

Division : *Ascomycota*

Subdivision : *Pezizomycotina*

Class : *Lecanoromycetes*

Subclass : *Lecanoromycetidae*

Order : *Teloschistales*

Family : *Teloschistaceae*

Genus : *Xanthoria*

Species : *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. 1860  
(<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=533795>) (Şekil 2)



Şekil 2- *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. (Ankara/Gölbaşı Mogan Gölü).

Tallusu 15 cm'ye kadar çap yapabilen, oldukça düzgün rozet şeklinde, sarı-turuncu (gölgede gri) renkte, yapraksı, çok kıvrımlı-yatay veya kısmen dik loblu bir liken türüdür. *X. parietina* ile ilişkili fotosentetik fotobiyont, yeşil alg cinsi *Trebouxia*'dır. Bulunan türler arasında *Trebouxia arboricola* Puymaly, 1924 ve *Trebouxia irregularis* Hildreth ve Ahmadjian, 1981 bulunur. *X. parietina*, geniş-alçak yükseklikteki vadilerin sert ağaç ormanlarında, kentsel ve tarımsal nüfuslu bölgelerin kıyı kesimlerde, *Populus* ve diğer sert ağaç populasyonlarında habitat oluşturur. Avustralya, Afrika, Asya, Kuzey Amerika kıtaları ve Avrupa'da geniş oranda yayılmıştır. *X. parietina*, üst korteksin üst tabakasında küçük kristaller

olarak biriken turuncu renkli bir antrokinon pigmenti olan parietin üretir. Laboratuvar deneylerinde, hava kirleticilerine ve bisülfid iyonlarına maruz kalmayı çok az veya hiç zarar vermeden tolere ettiği görülmüştür. Bu nedenle, bu tür toksik elementlerin seviyelerini ölçmek için biyobelirteç (=biyoindikatör) organizma olarak kullanılmaktadır ([https://en.wikipedia.org/wiki/Xanthoria\\_parietina](https://en.wikipedia.org/wiki/Xanthoria_parietina)).

## 3. Likenler ve Biyoizleme (=Biyomonitöring)

Likenlerin atmosferik ve diğer kaynaklardan gelen kirliliğe duyarlılığının yüksek oluşu onların biyolojisi ve anatomisi ile yakın ilişkilidir. Uzun yaşayan çok yıllık organizmalar olarak bütün yıl kirleticilere maruz kalan likenler simbiyoz ortaklığı korumak zorundadır. Bütün liken türleri kirliliğe aynı oranda duyarlılık göstermezler (Nash, 2008). Genel anlamda biyomonitöring —biyolojik bir organizma veya materyal ile biyosferdeki değişikliklerin izlenmesi— olarak tanımlanmaktadır (Wolterbeek, 2002; Gür, 2006, Yaprak vd., 2007; Sukatar vd., 2007). Bu yaklaşım, çevrede yer alan herhangi bir değişimin biyotop üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu varsayımı üzerine kurulmuştur (Nimis, 2000, 2001).

Ağır metal kirliliği çalışmalarında kirlilik seviyeleri zamanla organizmaları tehdit eden oranlara ulaşabildiğinden veri kalitesi ve doğruluğu oldukça önemlidir. Kirlilik çalışmalarında kullanılacak ideal ağır metal, radyoaktif ve SO<sub>2</sub> biyobelirteç (=biyoindikatör) organizmaların;

- Geniş bir coğrafik dağılıma sahip olması,
- Tür tanımının, teşhisinin ve örneklemesinin kolay yapılabilmesi,
- Araştırma yapılan istasyonlarda yeteri kadar liken bulunması,
- Morfolojilerinin metal, plastik, radyoaktif ve SO<sub>2</sub> biriktirme yeteneğini veya biriktirilen metal, radyoaktif ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonunu etkileyebilecek mevsimsel değişimlere uğramaması ve yapısını koruması,
- Her mevsim elde edilebilir ve her zaman çalışılabilir olmalı, mevsimsel değişimlerden etkilenmemelidir. Bütün bir yıl boyunca incelemeye uygun olması,
- Örnekleme ya da analitik incelemeler için uygun yöntemler bulunması,
- Kirleticilere karşı genel olarak toleranslı olması, bazende aşırı hassasiyet göstermesi,
- Ekosistemde bulunan elementler ve organizmanın biriktirdiği elementler arasında belirli bir korelasyonun bulunması,

- Araştırma yapılan ekosisteme optimum derecede adapte olmuş olması gibi özellikleri sahip olması istenir (Manning ve Feder, 1980; Martin ve Coughtrey, 1982; Wittig, 1993).

Atmosfer kaynaklı ağır metal kirliliği çalışmalarında önemli bir biyobelirteç likenler bu özelliklerin hemen hepsine sahip organizmalardır. Geniş coğrafik dağılıma sahip olmaları likenleri iyi bir biyobelirteç organizma yapan başlıca sebeplerdendir. Bu sayede farklı bölgelerdeki kirleticileri karşılaştırmaya olanak sağlarlar. Damarlı bitkilerdeki gibi kök sistemleri olmadığından beslenebilmeleri için atmosferik kökenli maddelere bağımlıdır. Bir kütükülünün bulunmayışı atmosferdeki elementlerin absorplanmasına izin veren bir özelliktir (Puckett, 1988; Nash, 1996).

Pb, Zn, Cd, Ni, Cu, Hg, ve Cr gibi çok yaşayan bir çok organizma için zararı olan çeşitli ağır metaller, genellikle zarar vermeden bir liken tarafından eş zamanlı olarak biriktirilebilirler ve likenlerin çoğu bu metallere karşı oldukça toleranslı ve dayanıklıdır (Garty, 1993).

Likenlerin kirlilik çalışmalarında biyobelirteç (=biyoindikatör) organizma olarak kullanılmasının önemli avantajları vardır;

- Çok geniş coğrafik alanlara dağılmış ve büyük alanlar için araştırma projelerinin yapılmasına olanak sağlarlar.
- Üzerinde yaşadıkları substrattan (toprak, kaya, ağaç gibi) kısıtlı miktarlarda (toprak, kaya, ağaç gibi) mineral element alırlar, başlıca besin kaynakları atmosferik materyallerdir.
- Kütüküla ve stomaları bulunmadığı için tüm tallus yüzeyi atmosferik depozisyon ile temas halinde ve etkileşimdedir.
- Mevsimsel değişim göstermezler, bütün yıl boyunca incelenebilir ve araştırmalarda kullanılabilirler.
- Yaprak vb. dökülen yapılara sahip olmadıklarından biriktirilerek depolanan elementlerin kaybı çok azdır.
- Çok yavaş büyürler ve uzun yıllar yaşarlar, geniş bir zaman aralığında uzun yıllarda oluşmuş atmosferik depozisyonun kaydını tutarlar.
- Ağır metal biriktirme ve tolerans kapasiteleri yüksektir. Toksikiteye karşı olan reaksiyonları bitkilere oranla daha geç oluşur ve nükleer test alanları veya maden ocakları gibi kirliliğin çok yüksek olduğu alanlarda biyoizleme için güvenle kullanılabilirler.

- Zor çevre koşullarında yaşayabildiklerinden çöller ya da kutuplar gibi uzak alanlarda da inceleme yapma olanağı sağlarlar.
- Kirleticilere toleranslı olan liken türlerinin tersine, duyarlı olan liken türleri de vardır. Araştırma bölgesinde duyarlı türlerin bulunmayışı kirliliğin yüksek seviyelerde olma ihtimalini düşündürür.
- Transplant biyoizleme çalışmaları için uygun organizmalardır. Doğal yaşam alanı olmayan büyük metropoller gibi bölgeler için de biyoindikatör olarak kullanılabilirler.
- Anatomileri oldukça basittir ve yüzey-hacim oranları yüksektir.
- Tallusları havadan gelen partikülleri tutabilecek yapılar geliştirmiştir ve böylece rüzgar ile taşınan partikülleri de yakalayabilirler (Garty, 1993).

Kirlilik çalışmalarında biyobelirteç (=biyoindikatör) organizma olarak likenlerin kullanılmasının dezavantajları ise şunlardır;

- Likenlerin fizyolojisi henüz tam anlamıyla açıklanabilmiş değildir, tolerans mekanizmaları hakkında kesin bilgi ve kanıtlar yoktur.
- Genetik bütünlüğe sahip değildirler ve kültürlerinin yapılması oldukça zordur, hiçbir kirliliğe maruz kalmamış yetişkin birey bulunamaz.
- Transplant kirlilik çalışmalarında kullanılan likenler atmosferik kirliliğin daha az olduğu uzak alanlardan toplandıkları için, araştırma alanındaki çevresel koşullar (iklim gibi) farklıysa biyoakümülyasyonda değişimler oluşacaktır.
- SO<sub>2</sub> duyarlılığı, ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde olumsuz yönde etkili olmaktadır.
- Yaşadıkları bölgede sadece atmosferik ağır metal kirliliğine değil, mevcut diğer kirlilik çeşitlerine de maruz kalırlar.
- Her türün kirliliğe karşı duyarlılığı ve tolerans seviyesi farklıdır, geniş alanlarda türler arası korelasyon yapılması zordur.
- Hakim rüzgar yönü, ortalama nem oranı, yükseklik, likenin yaşı, tallusun farklı bölgelerindeki olası yaş farkı, substrat tipi gibi bir çok faktör likenlerin ağır metal biriktirme durumlarını etkiler (Garty, 1993).

#### 4. Biyoizleme (= Biyomonitöring) Çalışmalarında Kullanılan Yöntemler

Likenlerle biyoizleme yöntemleri, uygulamanın amaç ve içeriğine göre farklı biçimlerde sınıflandırılabilir. Bugüne kadar likenlerin kullanıldığı hava kalitesi ve kirlilik düzeyi izleme çalışmalarının kapsamındaki çeşitli yöntemler, başlıca şu başlıklar altında sınıflandırılabilir (Çobanoğlu, 2015);

#### 4.1. Pasif Biyoizleme

1. Tüm liken florasını temel alan yöntem (Genel liken çalışması ve Haritalama yöntemi)
2. Biyobelirteç türleri esas alan yöntem ve IAP yöntemi (Atmosferik Saflık İndeksi)
3. Kantitatif laboratuvar analizleri (Çoklu-element ve Radyonüklid analizleri).

##### 4.1.1. Pasif Biyoizleme Yöntemleri

Pasif yöntemlerden öncelikle ilk ikisi genel liken florasını oluşturan veya biyoindikatör olarak seçilen türlerin dağılımına dayalı kalitatif bir değerlendirmedir. Diğerleri ise doğrudan seviyesi ölçülmek istenen hava kirlleticilerinin liken tallusunun içindeki miktarlarını ve etkilerini tespit edebilen kantitatif analizlere dayandırılabilir ( Oksanen vd., 1991).







#### 4.2. Aktif Biyoizleme

1. Transplantasyon
2. Kontrollü dumanlama (Fumigasyon)
3. Kültürleme

##### 4.2.2. Aktif Biyoizleme Yöntemleri

Aktif biyoizleme; doğal yaşama ortamından alınan likenlerin kirlilik düzeyi belirlenecek bölgeye taşınan likenlerle hava kalitesinin izlenmesidir (Huckaby, 1993).

Çizelge 1- Hava Kalitesi İndeks (HKİ) Kategorileri (<https://sim.csb.gov.tr/Home/HKI?baslik=HAVZA%20%C4%B0ZLEME%20S%C4%B0STEM%C4%B0>)

| HKİ | Sağlık Seviyesi | Renkler  | Günlük (µg/m³) |   |                |                |                |                |                |
|-----|-----------------|----------|----------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|     |                 |          | Günlük (µg/m³) | Günlük (µg/m³)  | Günlük (µg/m³) | Günlük (µg/m³) | Günlük (µg/m³) | Günlük (µg/m³) | Günlük (µg/m³) |
| 1   | 0 - 50          | Çok iyi  | Açık Yeşil     |  | 0 -50          | 0 - 45         | 0 – 2,9        | 0 - 35         | 0 - 55         |
| 2   | 51- 100         | İyi      | Yeşil          |  | 51-199         | 46 - 89        | 3,0 – 8,9      | 36 - 89        | 56-109         |
| 3   | 101- 150        | Yeterli  | Koyu Yeşil     |  | 200-399        | 90 - 179       | 9,0 – 15,9     | 90 - 179       | 110-159        |
| 4   | 151- 200        | Orta     | Sarı           |  | 400-899        | 180 -299       | 16 – 21,9      | 180 - 239      | 160-219        |
| 5   | 201- 300        | Kötü     | Turuncu        |  | 900-1499       | 300- 699       | 22,0 - 49,9    | 240 - 359      | 220-799        |
| 6   | 301- 500        | Çok Kötü | Kırmızı        |  | >1500          | >700           | >50,0          | >360           | >800           |

#### 5. Likenler ve Hava Kirliliği Elemanları

Hava kirliliği terimi “hava kalitesi” ile eş anlamlı değildir. “Hava kirliliği”, kirleticiler ile “hava kalitesi” ise kirleticilerin etkileri ile tanımlanmakta olup bu etkiler insanları, hayvanları, biyolojik organizmaları ve inorganik maddeleri, anıtları vb. içine almaktadır (Garty, 2001). Atmosferik kirleticiler Hutchinson vd. (1996) tarafından şöyle sınıflandırılmıştır:

- 1- Birincil kirleticiler; SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve F gaz bileşikler olup atmosferde aynı kimyasal formunda kalırlar.
- 2- İkincil kirleticiler; atmosferde taşınma sırasında birincil kirleticilerin kimyasal reaksiyonları sonucu ortaya çıkan (O<sub>3</sub>) ozon, peroksi asetil nitrat (PAN) ve asit yağmurlarından kaynaklanan sülfirik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ve nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) gibi asitlerdir.
- 3- Üçüncü grup kirleticiler; havadaki toksik maddeleri içine alan endüstriyel organik bileşikler, tarımsal pestisitler, iz metaller ve metalloidleri içine almaktadır.

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) ise yaşadığımız ortamdaki hava kalitesinin belirlenmesi için kullanılan ve hava kalitesinin daha rahat anlaşılmasına olanak sağlayan, hava kalitesinin günlük olarak rapor edilmesi için kullanılan bir indekstir. Yaşadığımız bölgenin havasının ne kadar temiz veya kirli olduğu konusunda bilgiler verir. Örneğin; HKİ değerinin 50 olması, hava kalitesinin iyi olduğunu ve toplum sağlığını etkileyebilecek riskin çok az olduğunu gösterir (Çizelge 1) ([www.meteoroloji.gov.tr](http://www.meteoroloji.gov.tr)).



Biyolojik araştırmalarda sıklıkla kullanılan ‘‘ağır metal’’ terimi; fiziksel olarak metal, geçiş metal veya yarı-metal gibi atmosferde yüksek miktarlarda bulunduğu zaman canlılar üzerinde toksik etki gösteren elementler anlamına gelmektedir (obanoğlu, 2015). Ağır metallerin çoğu biyolojik organizmalarda birikme ve protein ya da nükleik asitler gibi biyomoleküllere bağlanma eğilimlerinden dolayı oldukça zararlıdır. Arsenik, kadmiyum, nikel, kurşun, krom gibi ağır metallerin kanseri tetiklediği gösterilmiştir. Bu ağır metallerden bazıları insanlar ve hayvanlar için esansiyeldir. Örneğin krom memeli hayvanlarda normal glikoz metabolizmasının düzenlenmesinde önemli rol oynar (Yu, 2005).

Ağır metallerin büyük çoğunluğu canlılar için esansiyel değildir ve düşük konsantrasyonlarda kısa süreli etkimleri bile zarar verici olabilir. Ağır metal terimi göreceli bir kavram olarak kabul edilir ve yoğunluğu yaklaşık 5 gr/cm<sup>3</sup> den büyük olan metalleri kapsar. Fakat yaygın kullanımda toksik etkisi göz önüne alınarak bazen yoğunluğu düşük olan metaller de ağır metal olarak adlandırılabilir (Garty, 2001).

Çizelge 2’deki veriler tüm Dünya lkeleri için genel veriler olmayıp İngiltere’de yapılan bir çalışmaya aittir. Dolayısıyla bu likenlerin farklı ülkelerdeki toprak yapısı, yükselti, iklim vb. yaşam koşulları farklı olacağından SO<sub>2</sub> değerlerinin etkileri değişecektir.

Türkiye’deki likenlerle yapılan biyoizleme çalışmalarına örnek verecek olursak, Yıldız vd.

Çizelge 2- Likenlerin kirlilikten etkilenme dereceleri (Jahns, 1987).

| Bölge | Kış Ortalama SO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | Türler   |
|-------|---|--|
| 0     | ∞   | Epifitik Trler Grlmez   |
| 1     | > 170   | Yeşil Algler Mevcut, Liken Yok   |
| 2     | ~ 150   | Yeşil Algler ve <i>Lecanora conizaeoides</i>   |
| 3     | ~ 125   | <i>Lecanora conizeoides</i> ve <i>Lepraria incana</i>                                    |
| 4     | ~ 70  | <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia saxatilis</i> veya <i>P. sulcata</i>            |
| 5     | ~ 60  | <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia saxatilis</i> veya <i>P. sulcata</i>            |
| 6     | ~ 50  | <i>Parmelia caperata</i> , <i>Pertusaria</i> spp.  |
| 7     | ~ 40  | <i>Parmelia caperata</i> , <i>Usnea subfloridana</i>                                     |
| 8     | ~ 35  | <i>Usnea ceratina</i> veya <i>Parmelia perlata</i>                                       |
| 9     | < 30  | <i>Lobaria pulmonaria</i> veya <i>Usnea florida</i>                                      |
| 10    | Saf   | <i>Lobaria scrobiculata</i> , <i>Teloschistes flavicans</i> veya <i>Usnea articulata</i> |

(2017)’nin Aksaray’da *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf likeni kullanarak yaptıkları biyoizleme çalışmasında, Aksaray’da 6 noktadan, kontrol numunesi olarak ise ankırı’da 2 noktaya asılan *P. furfuracea* rneklerinden ağır metaller Ni, Pb, Zn, Cu ve Mn ile klorofil a ve klorofil b içerikleri incelenmiştir. Klorofil a ve b haritaları, beklenen hava kirliliğinden klorofil a’ nın fotosentez pigmentlerinin klorofil b’ nin pigmentlerine göre daha fazla etkilendiğini göstermiştir. *P. furfuracea*’nin ağır metal analiz sonuçlarına göre, Aksaray’da endüstriyel faaliyetler, ısıtma ve trafik nedeniyle hava kirliliği, incelenen farklı istasyonlarda ve dönemlerde çeşitli değişiklikler göstermiştir. Bu çalışmadan elde edilen veriler, likenlerin metal birikiminin, istasyonların konumuna ve maruz kalma sürelerine büyük lde bağlı olduğunu desteklemiştir (Yıldız vd., 2017).

Yıldız vd. (2018)’nin orum ilinde yaptıkları bir başka çalışmada *P. furfuracea*, orum havasındaki ağır metal seviyesini belirlemek ve şehrin hava kirliliği haritasını çıkarmak için biyondikatr olarak kullanılmıştır. orum’daki kirliliğin nedenleri şehirdeki yoğun trafik, endüstriyel faaliyetler ve ısınma süreçleri olarak ifade edilmiş ve *P. furfuracea*’nin, kirlilik çalışmaları için biyoindikatör tür olarak kullanılabilereği belirtilmiştir (izelge 3) (Yıldız vd., 2018).

## 6. Türkiye’de *Xanthoria parietina* ile Yapılan Biyoizleme alışmaları

Demiray vd. (2012)’nin İzmit Körfezi’nin önemli sanayi kentlerinden biri olan Kocaeli’de yaptıkları bir

Çizelge 3- Çeşitli liken türleri ile yapılmış ağır metal kirliliği çalışmalarından örnekler (Beyaztaş, 2008).

| Liken türü                    | Lokalite                                     | Referans                  |
|-------------------------------|--|---------------------------|
| <i>Parmelia chlorochroa</i>   | Termik enerji santrali civarı, ABD.          | Gough ve Erdman, 1977     |
| <i>Lecanora conizaeoides</i>  | Çelik fabrikası civarı, Danimarka.           | Pilegaard, 1978           |
| <i>Peltigera rufescens</i>    | Çelik ocağı civarı, İngiltere.               | Goyal ve Seaward, 1981    |
| <i>Hypogymnia physodes</i>    | Klor-alkali fabrikası civarı, Finlandiya.    | Lodenus ve Tulisalo, 1984 |
| <i>Parmelia ceparata</i>      | Termik enerji santrali civarı ABD.           | Ölmez vd., 1985           |
| <i>Hypogymnia physodes</i>    | Çelik fabrikaları civarı, İngiltere.         | Gailey ve Lloyd, 1986     |
| <i>Flavoparmelia caperata</i> | Otoyol kenarları, Portekiz.                  | Máguas vd., 1990          |
| <i>Cladina stellaris</i>      | Çimento fabrikası civarı, Finlandiya.        | Kortesharju vd., 1990     |
| <i>Parmelia ssp.</i>          | Otoyol kenarları, Nijerya.                   | Kapu vd., 1991            |
| <i>Hypogymnia physodes</i>    | Sülfür-selüloz fabrikası civarı, Finlandiya. | Kytömaa vd., 1995         |
| <i>Hypogymnia physodes</i>    | Doğal gaz işleme tesisi civarı, Hırvatistan. | Horvat vd., 2000          |
| <i>Flavoparmelia caperata</i> | Katı atık rafinerisi civarı, İtalya.         | Loppi vd., 2000           |
| <i>Ramalina lacera</i>        | Klor alkali fabrikası civarı, İsrail.        | Garty vd., 2000           |

çalışmada *Xanthoria parietina* likeni biyoindikatör organizma olarak kullanılmış ve bölgedeki potansiyel kirlenici kaynakları ile havayla taşınan metal birikim derecesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Sanayi tesislerin yoğun olduğu Dilovası'nda havayla taşınan metal birikim derecesinin Kocaeli şehir merkezine göre 2-7 kat daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Demiray vd., 2012).

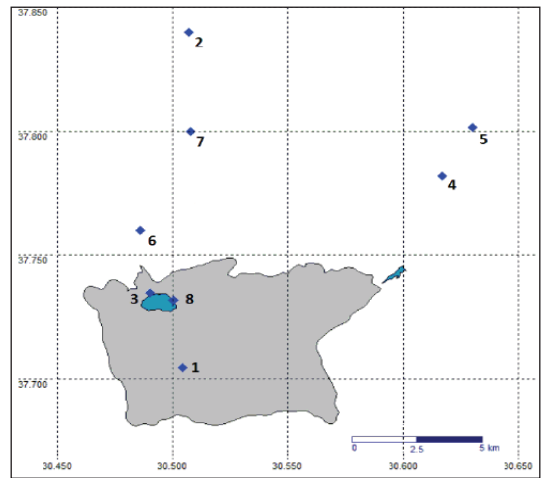
Ölgen ve Gür (2012)'ün Yatağan Termik Santrali çevresindeki *Xanthoria parietina* likenini biyoindikatör olarak kullanmış, talluslarında ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının hava kirliliği ve çevreye etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla toplam altı elementin (Hg, Ni, Pb, Cu ve Fe) analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar haritalanarak önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Buna göre en kirli alanların santralin yakın çevresi (daha çok batı tarafı) ile hakim rüzgar yönü ve topoğrafya özelliklerine göre, Yatağan depresyonunun güneydoğusunda yer alan yamaçlar olduğu belirlenmiştir (Ölgen ve Gür, 2012).

Gür ve Yaprak (2011)'in Batı Anadolu Soma'da kömürle çalışan elektrik santrali çevresindeki hava kirliliğinin biyoizlenmesi *Xanthoria parietina* ile yapılmıştır. Ağır metallerin içeriği azalan düzende  $Fe > Zn > V > Pb > Cr > Cu > Ni > As > Co > U > Th > Se > Cd > Hg$  şeklindedir. Cd, Co, Hg, Ni, Pb elementleri için bazı düşük değerler mevcut olmasına rağmen, bu çalışmada elde edilen sonuçlar genellikle literatürde bildirilen verilerden daha yüksek bulunmuştur. En kirli alanların, özellikle baskın rüzgar yönü boyunca ve topoğrafik koşullar nedeniyle batıdan güneydoğuya

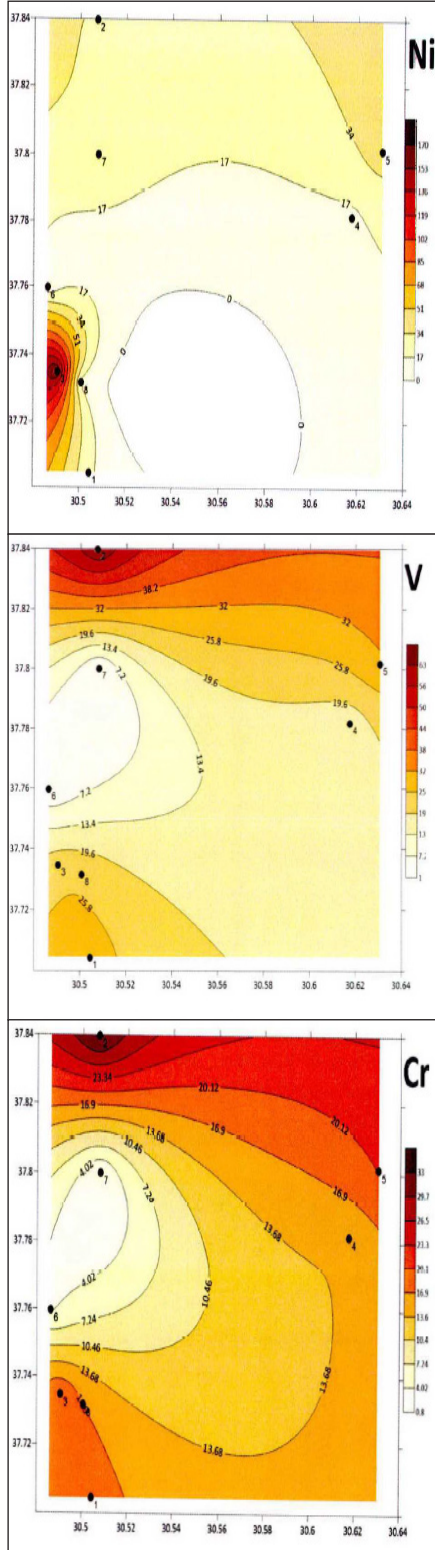
doğru uzanan koridorda, kömürle çalışan enerji santralinin çevresinde olduğu bulunmuştur (Gür ve Yaprak, 2011).

Yavuz ve Çobanoğlu (2019) 'nın Isparta Gölcük Park'ta yaptıkları çalışmada (Şekil 3) kozmopolit epifitik foliose liken *Xanthoria parietina* örnekleri çalışma alanındaki 8 lokaliteden toplanmış ve Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V ve Zn elementlerini tespit etmek için referans materyalli ICP – MS (=İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) cihazı kullanılmıştır.

Havadaki elementlerin çalışma alanındaki dağılımı mekansal olarak haritalanmıştır (Şekil 4). Sonuçlar, ölçülen ortalama konsantrasyonların temel dizisinin  $Ni > V > Cr > Fe > As > Cu > Al > Zn > Mn$



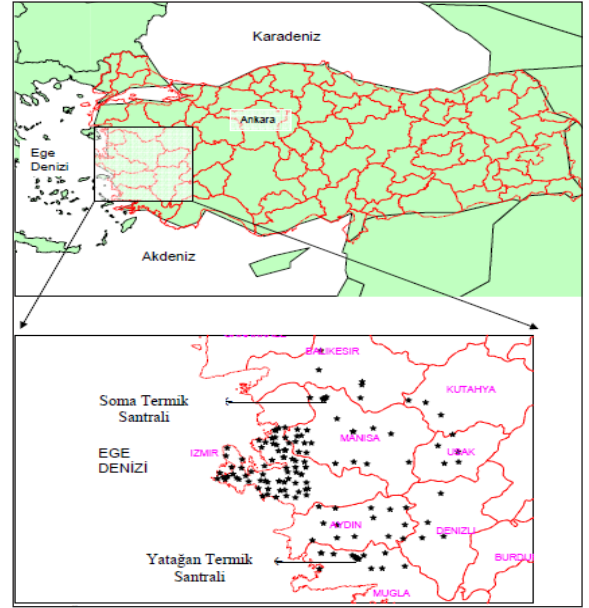
Şekil 3- Isparta-Gölcük park koordinatları (Yavuz ve Çobanoğlu, 2019).



Şekil 4- Havadaki 3 ana kirletici elementin çalışma alanındaki mekansal haritalanmış dağılımı (Yavuz ve Çobanoğlu, 2019).

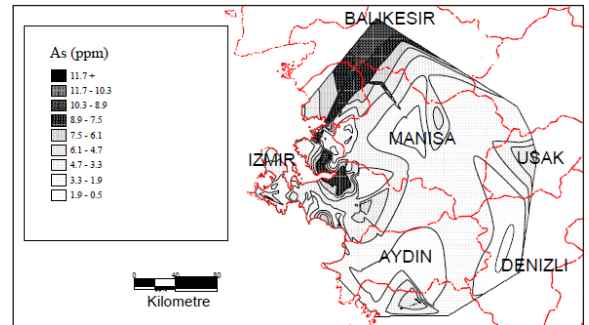
> Cd > Pb olduğunu göstermiştir (Çizelge 4). Temel verilerin küme analizi sonuçları, kentsel alandaki ana 3 kirleticinin Ni, V ve Cr olduğunu göstermiştir. Isparta'daki temel kirlilik, kömürün kentte fosil yakıt olarak yaygın kullanımı nedeniyle beklenenden daha yüksektir ve kentin topografik ve iklimsel özellikleri ile ilişkili görülmüştür (Yavuz ve Çobanoğlu, 2019).

Yenisoy-Karakaş ve Tuncel (2004) Ege Bölgesi'nin farklı yerlerinden aldıkları liken örneklerinde toplam 35 farklı elementin analizini yapmışlar. Bunlar içinde 8 tanesinin kirlilik açısından öneme sahip olduklarını belirlemişlerdir. 234 adet *Xanthoria parietina* örneği 51.800 km<sup>2</sup>'lik alandan toplanmış (Şekil 5).



Şekil 5- *Xanthoria parietina*'nın Ege Bölgesi'ndeki toplanma alanları (Yenisoy-Karakaş ve Tuncel, 2004).

*X. parietina*'da bulunan sekiz gösterge elementinin konsantrasyonları ölçülerek Ege Bölgesi üzerinde haritalanmış (Şekil 6 ve şekil 7), biriken elementler belirli alanlardaki kirlilik kaynaklarının varlığı ile ilişkilendirilmiştir.

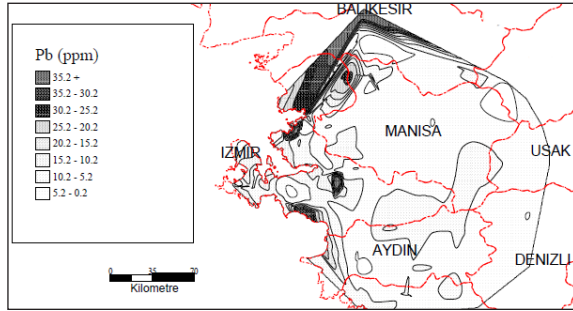


Şekil 6- Arsenik elementinin Ege Bölgesi'ndeki dağılım haritası (Yenisoy-Karakaş ve Tuncel 2004).

Çizelge 4- *Xanthoria parietina*'daki element konsantrasyonlarının IAEA-336 (Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın Liken İz Element Referans Tablosu) oranları kullanılarak İzmir, İstanbul ve Kocaeli'nde yapılan çalışmalarla karşılaştırılması (Yavuz ve Çobanoğlu, 2019).

|    | İzmir (2004) |                        | İstanbul (2009) |                        | Kocaeli (2012) |                        | Isparta present study |                        | IAEA-336 Sertifikası |
|----|--------------|------------------------|-----------------|------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
|    | Ortalama     | IAEA-336 için Ortalama | Ortalama        | IAEA-336 için Ortalama | Ortalama       | IAEA-336 için Ortalama | Ortalama              | IAEA-336 için Ortalama |                      |
| Al | 3,160.00     | 4.65                   | ---             | ---                    | ---            | ---                    | 6,206.45              | 9.13                   | 680.00               |
| As | 4.50         | 7.14                   | ---             | ---                    | 2.63           | 4.17                   | 6.08                  | 9.65                   | 0.63                 |
| Cd | 0.30         | 2.56                   | 0.35            | 2.99                   | 0.93           | 7.95                   | 0.22                  | 1.88                   | 0.12                 |
| Cr | 9.90         | 9.34                   | 21.39           | 20.18                  | 11.73          | 11.07                  | 20.62                 | 19.45                  | 1.06                 |
| Cu | ---          | ---                    | 45.24           | 12.57                  | 19.19          | 5.33                   | 24.89                 | 6.91                   | 3.60                 |
| Fe | 2,360.00     | 5.49                   | ---             | ---                    | 3,686.00       | 8.57                   | 5,539.61              | 12.88                  | 430.00               |
| Mn | 60.00        | 0.95                   | 150.43          | 2.39                   | 152.00         | 2.41                   | 274.07                | 4.35                   | 63.00                |
| Ni | ---          | ---                    | 17.07           | 6.96                   | 7.47           | 3.05                   | 48.42                 | 19.76                  | 2.45*                |
| Pb | ---          | ---                    | 71.35           | 14.56                  | 70.20          | 14.33                  | 10.77                 | 2.20                   | 4.90                 |
| V  | 6.40         | 4.35                   | ---             | ---                    | 10.67          | 7.26                   | 30.81                 | 20.96                  | 1.47                 |
| Zn | 100.00       | 3.29                   | 194.87          | 6.41                   | 280.10         | 9.21                   | 265.77                | 8.74                   | 30.40                |

Demir-Çelik fabrikaları ve şehirlerde kömür yakma, endüstriyel faaliyet ve iki önemli kömür yakıtı enerji santrali gibi kirlilik kaynaklarının yeri genellikle likenlerde en yüksek element birikimlerinin bulunduğu yerlerle eşleşmiştir (Yenisoy-Karakaş ve Tuncel 2004).



Şekil 7- Kurşun elementinin Ege Bölgesindeki dağılım haritası (Yenisoy-Karakaş ve Tuncel 2004).

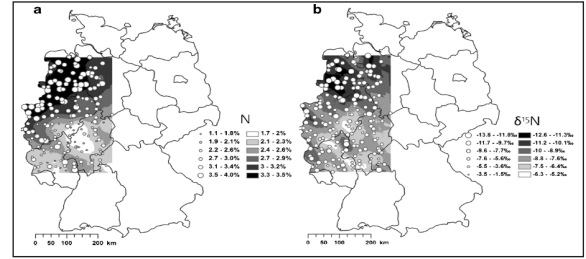
## 7. Dünya'da *Xanthoria parietina* ile Yapılan Biyoizleme Çalışmaları

### 7.1. Azot, Nitrat ve Amonyum ile Yapılan Çalışmalar

Boltersdorf ve Werner (2014), Almanya'da farklı arazilerde atmosferik azot yüklerinin kaynağını ve miktarını belirlemek için *X. parietina* ve *Physcia* sp.'nin azot içeriği ile birlikte azot izotop değerlerini kullanmıştır (Şekil 8) (Boltersdorf ve Werner, 2014).

Fрати vd. (2007), İtalya'da bir domuz çiftliği çevresinde amonyak emisyonu ve nitrojen birikiminin biyoizlemesini yaptıkları çalışmada *Xanthoria parietina* ve *Flavoparmelia caperata*'nın tallusları  $NH_3$ 'e maruz bırakılmıştır. Amonyak,

hayvan çiftliğinin merkezinden, kabuk pH'ıyla ilişkili olduğu örneklenen alanlara doğru dramatik bir şekilde azalmıştır. Toplam liken çeşitliliği,  $NH_3$  konsantrasyonları veya kabuk pH'ı ile ilişkili olmamış, ancak kesinlikle nitrofitik türlerin çeşitliliği, her iki parametre ile yüksek oranda korelasyon göstermiştir (Fрати vd., 2007).



Şekil 8- Kuzeybatı Almanya'daki toplam 174 adet liken toplama alanındaki bütün liken örneklerinin (*Xanthoria parietina* ve *Physcia* sp.) a) ortalama N ve b) ortalama N izotop içerikleri (Boltersdorf ve Werner, 2014).

### 7.2. Havadaki Metaller ile Yapılan Çalışmalar

Paoli vd. (2018), *X. parietina*'daki metallerin potansiyel olarak farklı davranışlarını bildirmiştir. Örneğin daha fazla toksik metal (Pb ve Cd) tercihen hücre dışı olarak depolanırken, diğerleri (yani mikroelementler Zn ve Cu) hücre içi olarak birikmiştir (Paoli vd., 2018).

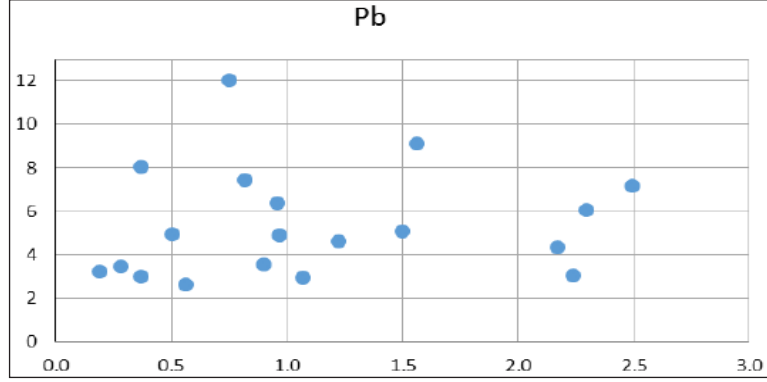
Pilecka vd. (2017)'nin Litvanya'nın Jelgava şehrinden ve ormanlık alanlardan alınan kar ve liken örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarını inceledikleri araştırmanın sonuçlarındaki oluşan gruplar; birinci grup demiryolu ve sanayi bölgelerine



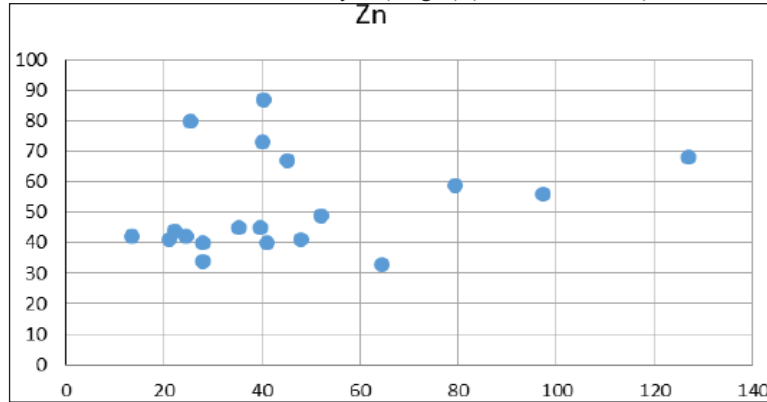
yakın noktalar, ikinci grup yoğun kentleşmeye sahip transit yollar ve üçüncü grup temiz orman ve Jelgava kentindeki tüm açık alanları içermektedir. Jelgava şehrinin kentsel alanlarındaki kar ve likenlerdeki ağır metal konsantrasyonu analiz edilmiş (Çizelge 5, 6, 7) ve kısa ve uzun vadeli hava kirliliği riskleri belirtilmiştir (Pilecka vd., 2017).

Sarret vd. (1998)'nin çalışmalarında likenlerde elementlerin birikimi mekanizmasına değinilmiştir. Çalışmalarında Fransa'dan toplanan yüksek oranda metal biriktirici (hiperakümülatör) özellikteki *Xanthoria parietina* ve *Diploschistes muscorum* (Scop.) R. Sant likenlerindeki metal birikim mekanizmalarını araştırmışlardır. Belirlenen bu iki tür; XRD (X-ray Diffraction = X Işını Kırınımı) ve

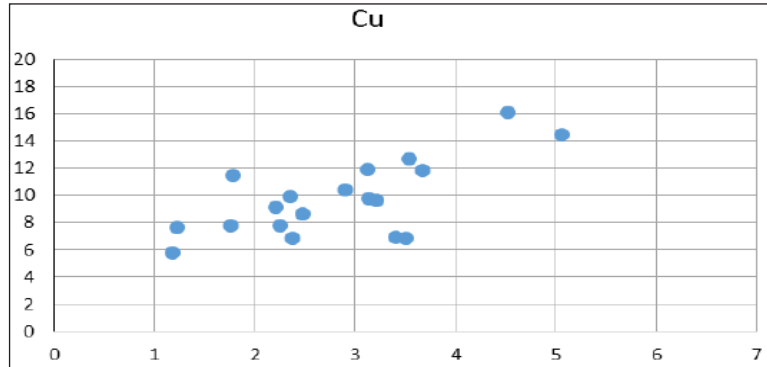
Çizelge 5- Kar ve Likenlerdeki Pb konsantrasyonları arasındaki ilişki. Yatay grafik Likenlerdeki Pb konsantrasyon ( mg/kg) , düşey grafik Kar'daki Pb konsantrasyon ( mkg/L) (Pilecka vd., 2017).



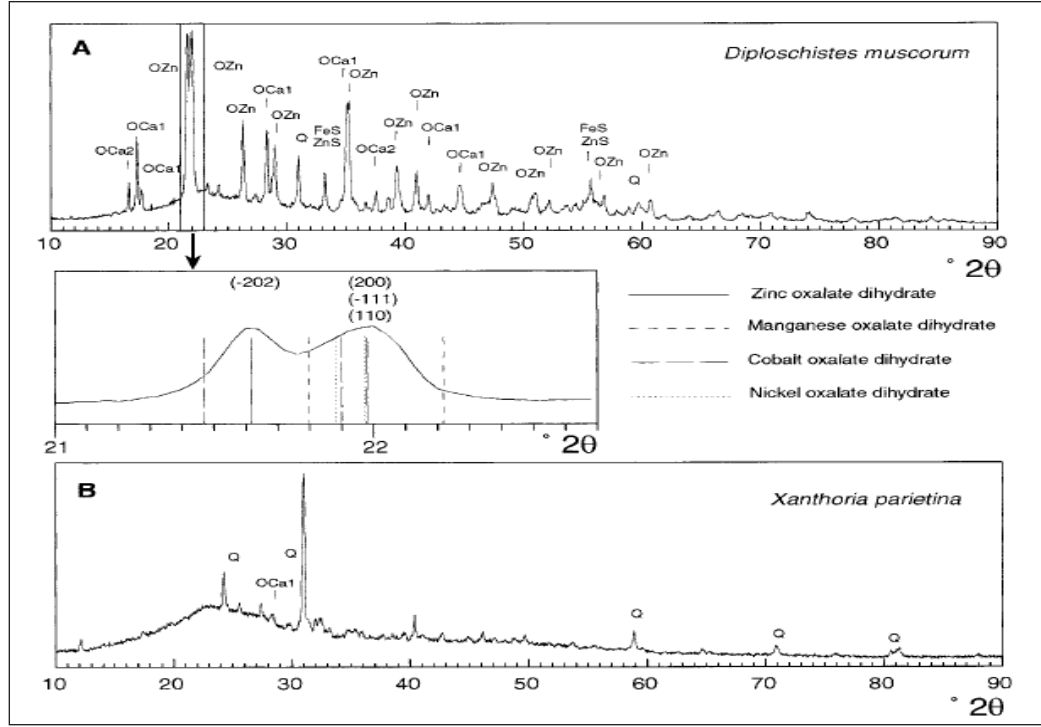
Çizelge 6- Kar ve Likenlerdeki Zn konsantrasyonları arasındaki ilişki. Yatay grafik Likenlerdeki Zn konsantrasyon (mg/kg), düşey grafik Kar'daki Zn konsantrasyon (mkg/L) (Pilecka vd., 2017).



Çizelge 7- Kar ve Likenlerdeki Cu konsantrasyonları arasındaki ilişki. Yatay grafik Likenlerdeki Cu konsantrasyon (mg/kg), düşey grafik Kar'daki Cu konsantrasyon (mkg/L) (Pilecka vd., 2017).



Çizelge 8- Elementlerin her iki likendeki XRD desenleri: 21.4-22.4 sayıları arasındaki aralığın yakınlaştırılmasıyla elementlerin oksalat kristalleri dikey çizgiler şeklinde yansıma göstermiştir (Sarret vd., 1998).



EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure Spectroscopy = Genişletilmiş X Işını Emilim İnce Yapısı Spektroskopisi) ile incelenmiştir (Çizelge 8). Referans bileşiklerle yapılan çalışmanın sonucunda *D. muscorum* türünün elementleri organik bağlayıcılar (oksalat kristalleri) ile kompleks oluşturduğu ve *X. parietina* likenlerinde ise mikobiyontun hücre duvarıyla kompleks oluşturup toksik etkiden korunduğu, yani iki liken türünün metal kirliliğine karşı farklı bir direnç mekanizması olduğu sonucuna varılmıştır (Sarret vd., 1998).

Rhzaoui vd. (2015)'nin yaptıkları çalışmada Fas'ın kuzeydoğusundaki ormanlık alanlarda Fe, Cr, Zn, Pb ve Cu elementlerinin konsantrasyonları incelenmiştir. Metallerin konsantrasyonu, araç aktivitesi ve kentleşme ile ilişkili olduğu ve yolların yakınındaki örneklerde yüksek düzeyde Cu, Cr, Zn ve Pb konsantrasyonu ortaya çıkmıştır (Rhzaoui vd., 2015).

İtalya'daki sanayileşmenin yoğun olduğu Livorno bölgesinde, 65 adet *Xanthoria parietina* ile yapılan çalışmada As, Cd, Cr, Ni, Pb, V, Zn ve Hg elementlerinin konsantrasyonları ölçülmüştür. Analiz sonuçlarına göre elementlerin en yoğun konsantrasyonludan en az konsantrasyonluya doğru sıralanışı şöyledir: Zn, Pb, Cr, Ni, V, As, Cd, Hg. Bu sonuçlar, özellikle çelik üretimi, kimya sanayi, enerji üretimiyle ilgili yanma işlemleri ve trafik kaynaklı

emisyonları kirlenici olarak işaret etmiştir (Scerbo vd.,1999).

### 7.3 PAH (= Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ) ile Yapılan Çalışmalar

Augusto vd. (2015), 16 günlük bir süre boyunca floranten ve benzopirene *X. parietina*'nın tallusunu maruz bırakmış ve her iki PAH'ın da liken alg tabakasına nüfuz ettiğini tespit etmiştir (Augusto vd., 2015).

## 8. Sonuç

Hava kirliliğine karşı özellikle belirli liken türlerinin farklı oranlarda duyarlı olduğunun anlaşılmasından sonra, doğrudan canlı organizmalar ile hava kirliliğinin biyolojik olarak ölçülmesi konusunda çalışmalar ve uygulama alanları giderek artmıştır. Geliştirilen çeşitli yöntemler ile biyolojik yoldan (likeler, karayosunları, mantarlar gibi hava kirliliği biyobelirteçleri kullanılarak) ölçüm yapılması sağlanmıştır. Bu biyolojik yöntemlerin uygulanmasında tam bir standart olmamasına rağmen doğru biyobelirteç ve metod seçimi yapıldığında, genellikle büyük şehirler ve sanayi alanları ile sınırlı olan hava kirliliği ölçüm istasyonlarına alternatif olarak kullanılabilirdiği görülmüştür.

Burada konu edilen hava kalitesinin likenlerle izlenmesi üzerine yapılan çalışmalardan çıkarılabilecek önemli bazı sonuçlar şöyle sıralanabilir:

1. Likenin atmosferden elementleri tutma oranında tallusunun yapısal özellikleri önemli derecede etkilidir.
2. Çalışılan bölgeye en uygun biyoizleme yöntem ve yöntemlerinin seçilerek uygulanması doğru sonuçlara ulaşmada oldukça önemlidir.
3. Araştırma yapılan bir bölgedeki analiz için seçilen likenlerin atmosferik kirletici konsantrasyonlarını birebir yansıtması beklenirken, aslında, türün etkilendiği çeşitli mikrohabitat, substrat veya iklimsel ve mikroiklimsel faktörlere bağlı olan etkiler ve anlık insan kaynaklı etmenler göz ardı edilmiş olur. Bu bakımdan çok sayıda örnekten elde edilen ağır metal element ortalama oranları daha güvenilir sonuçlar verebilir. Bu çalışmaların sonuç değerlendirilmesinde likenlerin duyarlılığını etkileyen faktörler de bir bütün olarak ele alınmalıdır.
4. Nicel analiz örneklerinin toplandığı alanlardaki değişkenlerin sabit tutulmasında zorluk çekilebileceği için nitel gözlemler de gereklidir. Örneğin bir alandaki liken tür çeşitliliğinin tanımlanması ve liken florasındaki değişikliklerin uzun yıllar boyu takip edilmesi, kirlilik seviyesini belirlemede destekleyici veriler sağlayacaktır.
5. Biyoyararlanım, birikim, toksisite ve ağır metal detoksifikasyonu için likenlerdeki düzenleyici mekanizmaların ve fizyolojik aktivitelerinin dikkatli şekilde çalışılması gereklidir (Çobanoğlu, 2015)

Türkiye çiçekli bitkiler ve diğer bitki ve mantar gruplarında olduğu gibi likenler bakımından da oldukça zengin bir biyoçeşitlilik göstermektedir. Günümüze kadar yaklaşık 1600 kadar liken türü tespit edilmiş olsa da henüz ülkemiz liken florası tümüyle belirlenmemiştir. Oldukça hızlı ilerleyen liken flora çalışmalarının yanında, hava kirliliği veya kalitesinin likenlerle biyoizlenmesi konusunda yapılan çalışmalar da artmaya başlamıştır. Özellikle şehirlerin hava kalitesi hakkında element ve ağır metal, radyonüklid ve kükürt dioksit düzeyleri bakımından likenlerden yararlanılarak yapılan araştırmalar gün geçtikçe artmakta. Yapılan onlarca bilimsel çalışmada *Xanthoria parietina*'nın çok iyi bir biyoindikatör liken olduğu görülmüştür. Bu çalışmalar belli aralıklarla tekrarlanmak suretiyle zaman içindeki değişimlerin de tespit edilmesi mümkün olabilecektir. Bu tür çalışmaların hızlanması için öncelikle Türkiye'de

flora çalışmalarının bir an önce tamamlanması gerekmektedir. Böylece liken türleri belirlenen bölgelerde likenle biyoizleme yöntemlerinin daha etkin olarak uygulandığı çalışmalar yapılabilecektir (Çobanoğlu, 2015).

## Değinilen Belgeler

- Augusto, S., Sierra, J., Nadal, M., Schuhmacher, M. 2015. Tracking polycyclic aromatic hydrocarbons in lichens: It's all about the algae. *Environmental Pollution*. Elsevier Sci Ltd, Oxford, England, 207, December, pp. 441–445.
- Beyaztaş, T. 2008. Karabük civarında bulunan *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. var. *furfuracea* liken türünde ağır metal kirliliğinin atomik absorpsiyon spektroskopisi ve rapd analizi ile araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 72s. Ankara.
- Boltersdorf, S. H., Werner, W. 2014. Lichens as a useful mapping tool?—an approach to assess atmospheric N loads in Germany by total N content and stable isotope signature. *Environmental Monitoring and Assessment* 186(8), 4767–4778.
- Çobanoğlu, G. 2015. Atmosferik kirliliğin biyolojik izlenmesinde likenlerin kullanımı. *Sigma J Eng & National Sciences* 33 (4), 2015, 591-613.
- Demiray, D. A., Yolcubay, İ., Akyol, N.H., Çobanoğlu, G. 2012. Biomonitoring of Airborne Metals Using The Lichen *Xanthoria parietina* in Kocaeli Province, Turkey. *Ecological Indicators* 18, 632-643.
- Frati, L., Santoni, S., Nicolardi, V., Gaggi, C., Brunialti, G., Guttova, A., Gaudino, S., Pati, A., Pirintsos, S. A. ve Loppi, S. 2007. Lichen biomonitoring of ammonia emission and nitrogen deposition around a pig stockfarm. *Environmental Pollution* 146(2) pp. 311–316.
- Garty, J. 1993. Lichens as bioindicators of heavy metal pollution, In: *Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. Markert, B. (ed), VCH, pp. 193-263, Weinheim.
- Garty, J. 2001. Biomonitoring Atmospheric Heavy Metals with Lichens: Theory and Application. *Critical Reviews in Plant Sciences* 20(4), 309-371.
- Gür, F. 2006. Batı Anadolu Termik Santralleri Çevresinde Radyoaktif ve Ağır Metal Kirliliğinin Biyomonitörlerle Saptanması, Doktora Tezi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 280s. İzmir.
- Gür, F., Yaprak, G. 2011. Biomonitoring of metals in the vicinity of Soma coal-fired power plant in western Anatolia, Turkey using the epiphytic lichen, *Xanthoria parietina*. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 46, 1503–1511.
- <https://sim.csb.gov.tr/Home/HKI?baslik=HAVZA%20%C4%B0ZLEME%20S%C4%B0STEM%C4%B0>

- Huckaby, L. S. 1993. Lichens As Bioindicators of Air Quality”, Huckaby L.S. (Ed.), USDA Forest Service General Technical, RM-224, U.S.A.
- Hutchinson, J., Maynard, D., Geiser, L. 1996. Air Quality and Lichens- A Literature Review Emphasizing The Pacific Northwest, USA”, USDA Forest Service, <http://gis.nacse.org/lichenair/index.php?page=literature>.
- Index Fungorum, <http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=533795>. 12.02.2020.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <http://www.meteoroloji.gov.tr>. 12.02.2020
- Jahns, H. M. 1987. *Collins Guide to the Ferns, Mosses and Lichens of Britain and Northern and Central Europe*. Collins Grafton Street, London.
- Lastdragon. [http://www.lichens.lastdragon.org/Xanthoria\\_parietina.html](http://www.lichens.lastdragon.org/Xanthoria_parietina.html). 12.02.2020.
- Loppi, S., Pirintsos, S. A. 2003. Epiphytic lichens as sentinels for heavy metal pollution at forest ecosystems (central Italy), *Environmental Pollution* 121: 327-332.
- Manning, W. J., Feder, W. A. 1980. *Biomonitoring air pollutants with plants*. Applied Science Publishers, London.
- Martin, M. H., Coughtrey, P. J. 1982. *Biological Monitoring of Heavy Metal Pollution*, Kluwer Academic, ISBN 978-0853341369, London.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü . <http://www.meteoroloji.gov.tr> HYPERLINK “<http://www.meteoroloji.gov.tr>” [www.meteoroloji.gov.tr](http://www.meteoroloji.gov.tr). Erişim Tarihi : 12.02.2020.
- Nash, T. H. 1996. *Lichen Biology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Nash III, T. H. 2008. *Lichen Biology*. Cambridge University Press, Cambridge, London.
- Nimis, P.L., Lazzarin, G., Lazzarin, A., Skert, N. 2000. Biomonitoring of trace elements with lichens in Veneto (NE Italy), *The Science of the Total Environment*, 255, 97-111.
- Nimis, P. L., Andreussi, S., Pittao, E. 2001. The performance of two lichen species as bioaccumulators of trace metals, *The Science of the Total Environment* 275: 43-51pp.
- Nriagu, J., 1996. A History of Global Metal Pollution, *Science*, New Series, Vol. 272, Issue 5259, pp. 223
- Oksanen, J., Laara, E., Zobel, K. 1991. Statistical Analysis of Bioindicator Value of Epiphytic Lichens. *Lichenologist* 23(2), 167-180.
- Ölgen, M. K., Gür, F. 2012. Yatağan termik santrali çevresinden toplanan likenlerde (*Xanthoria parietina*) saptanan ağır metal kirliliğinin coğrafi dağılışı. *Türk Coğrafya Dergisi*, sayı 57: 43-54.
- Paoli, L., Maslaňáková, I., Grassi, A., Bačkor, M., Loppi, S. 2015. Effects of acute NH<sub>3</sub> air pollution on N-sensitive and N-tolerant lichen species. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 122, 377-383.
- Paoli, L., Munzib, S., Guttová, A., Senkoc, D., Sardellad, G., Loppi, S. 2015. Lichens As Suitable Indicators of The Biological Effects of Atmospheric Pollutants Around A Municipal Solid Waste Incinerator (S Italy). *Ecological Indicators* 52, 362-370.
- Paoli, L., Vannini, A., Fačkovcová, Z., Guarnieri, M., Bačkor, M. ve Loppi, S. 2018 One year of transplant: Is it enough for lichens to reflect the new atmospheric conditions? *Ecological Indicators*, 88(January) pp. 495-502.
- Pilecka, J., Grinfelde, I., Valujeva, K., Straupe, I., Purmalis, O. 2017. Heavy metal concentration and distribution of snow and lichen samples in urban area: case study of Jelgava. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 41; 459-466. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/41>.
- Puckett, K. J. 1988. Bryophytes and lichens as monitors of metal deposition. *Bibliotheca Lichenologica*, 30; 231-267.
- Purvis, O.W., Coppins, B.J., Hawksworth, D.L., James, P.W., Moore, D.M. 1994. *The Lichen Flora of Great Britain and Ireland*. - Natural History Museum Publications in association with The British Lichen Society, London.
- Rhzaouii, G. E., K. Divakar, P., Crespo, A., Tahiri, H., Ezzahra El Alaoui-Faris, F. 2015. *Xanthoria parietina* as a biomonitor of airborne heavy metal pollution in forest sites in the North East of Morocco. *Lazaroa* 36: 31-41.
- Sarret, G., Manceau, A., Cuny, D., Van Haluwijn, C., Deruelle, S., Hazemann, J. L. Soldo, Y., Eybert-Berard, L. Menthonnex, J. J. 1998. Mechanism of lichen resistance to metallic pollution. *Environmental Science and Technology* (32), 3325-3330.
- Scerbo, R., Possenti, L., Lampugnani, L., Ristori, T., Barale, R., Barghigiani, C. 1999. Lichen (*Xanthoria parietina*) biomonitoring of trace element contamination and air quality assessment in Livorno Province (Tuscany), Italy. *The Science of the Total Environment* 241, 91-106.
- Sukatari, A., Yaprak, G., Şenkardeşler, A., Gür, F., Çam, F. N., Sarıtepe, P., Tanıl, H. 2007. Ege Bölgesinde Gelişen Epifitik Likenlerin Radyonüklid Biyomonitörü Olarak Değerlendirilmesi, TÜBİTAK Proje No:103 T 066 Nolu TBAG projesi.
- Yaprak G., Erduran, M.N., Gür, F. 2007. Batı Anadolu termik santralleri çevresinde radyoaktif ve ağır metal kirliliğinin biyomonitörlerle izlenmesi. *Ege Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu*, Proje No. 007/2003, 131s.



- Yavuz, M., Çobanoğlu, G. 2019. A biomonitoring study on *Xanthoria parietina* (L.) Th.Fr in Isparta, Turkey. Muzeul Olteniei Craiova. *Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii*. Tom. 35, No. 1/2019 ISSN 1454-6914.
- Yenisoy-Karakaş, S., Tuncel, S.G. 2004. Geographic Patterns of Elemental Deposition in The Aegean Region of Turkey Indicated By The Lichen, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.. *Science of the Total Environment* 329, 43–60.
- Yıldız, A., Vardar, Ç., Aksoy, A., Ünal, E. 2018. Biomonitoring of Heavy Metals Deposition With *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Çorum City, TURKEY. *Journal of Scientific Perspectives*, January 2018, Vol:2, Issue: 1.
- Yıldız, A. 2020. Likenlerin Ekolojisi ve Sistematığı Ders Notları (yayımlanmamış).
- Yıldız, A., Vardar, Ç., Aksoy, A. , Ünal, E., Yaşrin, N., Gürkan, B., Gürsu, G., Turan, A., Okuş, F., Kunt, N. 2017. Biomonitoring of Heavy Metals by *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Aksaray city, Turkey. Ankara Üniversitesi 5. Çevre Günleri Uluslararası Sempozyumu Poster Sunumu.
- İnsanların Doğayla Kenetlenmesi-Kentte ve Doğal Alanda Kutuplardan Ekvatora. 9 Haziran 2017. Ankara. Poster 9.
- Yu, M.-H. 2005. *Environmental toxicology: biological and health effects of pollutants*. CRC pres, Boca Raton.
- Wikipedia. The Free Encyclopedia. ([https://en.wikipedia.org/wiki/xanthoria\\_parietina](https://en.wikipedia.org/wiki/xanthoria_parietina)).
- Winner, W. E., Atkinson, C. J., Nash, T.H. 1988. Comparisons of SO<sub>2</sub> Absorption Capacities of Mosses, Lichens, and Vascular Plants in Diverse Habitats. *Lichens, Bryophytes and Air Quality*. *Bibliotheca Lichenologica* 30, 217-230.
- Wirth, W. 1995. *Die Flechten*. Baden-Württembergs teil 1 and 2. - Eugen Ulmer GmbH and Co., Stuttgart, 1006 pp.
- Wittig, R. 1993. General Aspects of Biomonitoring Heavy Metals by Plants. In: *Plants as biomonitors - Indicators for heavy metals in the terrestrial environment*, B. Markert, (Ed), pp.3-27, VHC, ISBN 3527300015, Weinheim
- Wolterbeek, B. 2002. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives, *Environmental Pollution* 120 (1):11-21.