



## Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Institute of Natural and Applied Science Journal

Dergi ana sayfası/ Journal home page: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kujs>



E-ISSN: 258'

## Likenlerde Ağır Metal Alınma Mekanizmaları

Volkan IŞIK<sup>1</sup> , Atıla YILDIZ<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye

(İlk Gönderim / Received: 02. 12. 2022, Kabul / Accepted: 14. 02. 2023, Online Yayın / Published Online: 31. 03. 2023)

### Keywords:

Ağır metal,  
Biyozileme,  
Hava kirliliği,  
Liken.

**Özet:** Giderek sanayileşen dünyamızda, birçok canlıda olduğu gibi likenler de ağır metallerle karşı savunmasız olduklarından yoğun biçimde ağır metallerle maruz kalmaktadırlar. Bu çalışmanın amacı likenlerin ağır metallerin olumsuz etkilerine karşı nasıl tolerans oluşturduklarını, ağır metalleri kendi bünyelerine nasıl kattıklarını ve ağır metal alımı ile liken tallusu arasındaki ilişkileri incelemektir. Bu kapsamda likenlerin ağır metalleri nasıl biriktirdiğini ve liken metabolizmasının ağır metallerle nasıl tepki verdiğini bilmek, biyoçeşitliliğin korunması için gereklidir. Ayrıca biyozileme ve hatta biyojeokimyasal süreçlerin anlaşılması için de ipucu niteliğindedir. Yapılan biyozileme çalışmalarının sonucu olarak liken tallusu içindeki ağır metal miktarı iklim, arazi örtüsü ve kirlilik kaynağına olan uzaklık ile ilişkilidir ve bu etmenler liken türlerinin dağılımını ve zenginliğini etkilemektedir. Likenler ağır metalleri absorblama yeteneklerinden dolayı çok iyi bir biyoindikatör özellik gösterirler. Likenlerin bu biyoindikatör özelliği şehir planlamasında, sanayi bölgelerinin oluşturulmasında, kirli alanların belirlenmesinde, atmosferik ağır metal kirliliğin tespitinde ve belirlenmesinde halk sağlığı için önemlidir.

## Heavy Metal Uptake Mechanisms in Lichens

### Anahtar Kelimeler:

Air pollution,  
Biomonitoring,  
Heavy metal,  
Lichen.

**Abstract:** In our increasingly industrialized world, like many living things, lichens are also vulnerable to heavy metals and are increasingly exposed to heavy metals. The aim of this study is to examine how lichens tolerate the negative effects of heavy metals, how they incorporate heavy metals into their body and the relationship between heavy metal uptake and lichen thallus. In this context, knowing how lichens accumulate heavy metals and how lichen metabolism responds to heavy metals is essential for biodiversity conservation and is a clue for biomonitoring and even understanding biogeochemical processes. As a result of the biomonitoring studies, the amount of heavy metals in the lichen thallus is related to the climate, land cover and distance to the pollution source, and these factors affect the distribution and richness of lichen species. Lichens show very good bioindicator properties due to their ability to absorb heavy metals. This bioindicator feature of lichens is important for public health in city planning, creation of industrial zones, determination of polluted areas, detection and determination of atmospheric heavy metal pollution.

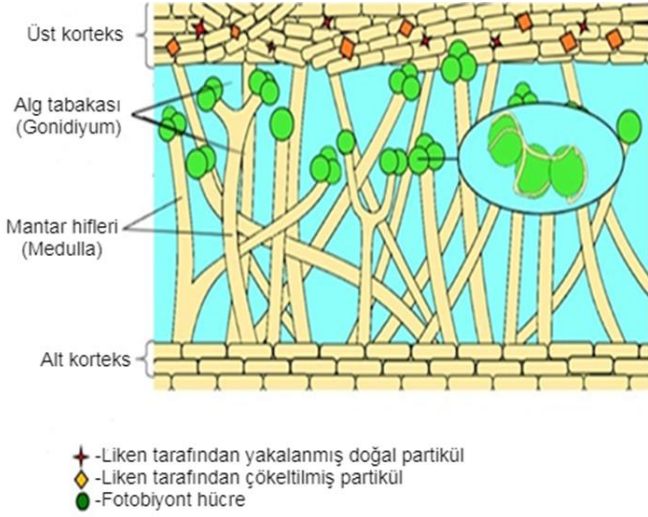
## 1. GİRİŞ

Likenler, mantar (mikobiyont) ve yeşil alg veya siyanobakterilerin (fotobiyont) bir araya gelerek oluşturdukları morfolojik ve fizyolojik birlikteliklerdir (Yıldız ve ark., 2008, 2011, 2018). Likenler su ve çözünmüş mineral besin maddelerini atmosferden yağış, doğrudan gaz değişimi ve kuru parçacık yoluyla tallus yüzeyi ile alırlar (Garty, 2001; Backor ve Fahselt, 2008; Anderson ve ark.,

2022). Mineral maddeler daha sonra liken tallusu içinde veya medulla boşluğunda yer değiştirir (Şekil 1) (Anderson ve ark., 2022). Canlı organizmalar, maruz kalma derecesine ve ağır metalin derişimine bağlı olarak birçok ağır metalin toksisitesinden etkilenmektedir (Garty, 2001). Likenler de diğer canlılar gibi ağır metallerle karşı savunmasızdırlar, ancak ağır metallerin olumsuz etkilerine karşı tolerans gösterirler (Backor ve Fahselt, 2008). Likenlerin ağır metalleri tallus içerisinde nasıl biriktirdiğini ve liken

metabolizmasının bu elementlere karşı nasıl tepki verdiğini bilmek, biyoçeşitliliğin korunması için gereklidir ve biyoizleme süreçlerin anlaşılması için ipucu niteliğindedir (Exposito ve ark., 2020).

Likenler ağır metalleri bünyelerine alabilmelerine ve ağır metallere karşı yüksek bir direnç göstermelerine rağmen, likenlerin tümü ağır metallere karşı toleranslı değildir. Agnan ve ark. (2017) toksik maddelere karşı toleranslarına göre liken türlerinin ayrıntılı listesini hazırlamışlardır (Tablo 1).

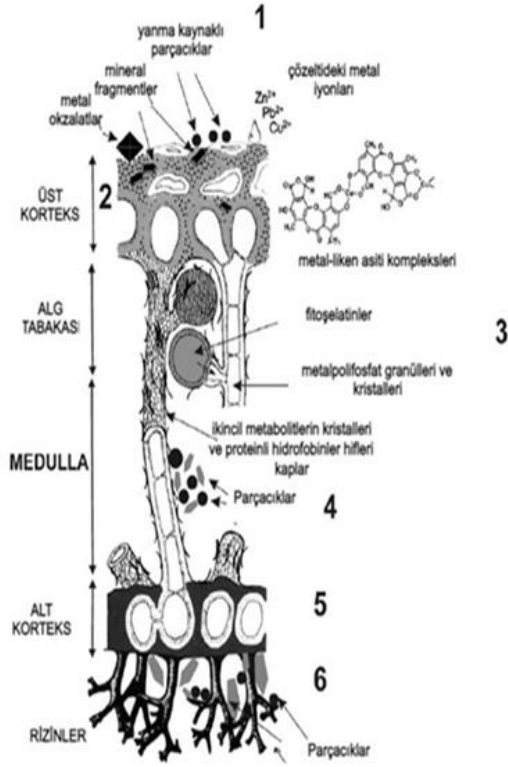


Şekil 1. Heteromerik liken tallusunun enine kesiti (Anderson ve ark., 2022)

Liken tallusunda bulunan ağır metal miktarı, iklim, arazi örtüsü ve kirlilik kaynağına olan uzaklık ile ilişkilidir ve metaller liken türlerinin dağılımını ve zenginliğini büyük ölçüde etkiler (Exposito ve ark., 2020). Likenler yüksek ağır metal derişimine karşı metalleri hücre dışına aktararak zararlı etkisini tolere ederler. Ağır metaller mikobiyont ve fotobiyont hücre duvarlarının hücre dışı bölgelerine bağlanırlar (şelat kompleksi) ve bu durum kirleticilerin hücreye girişini önlemede en önemli tolerans mekanizmalardan birisidir. Ayrıca ağır metallerin organik asitlerle, oksalat kristalleriyle, liken sekonder metabolitlerle, polisakkarit ve melanin pigmentleriyle bağlanması diğer bir bilinen detoksifikasyon mekanizmasıdır (Şekil 2).

Tablo 1. Atmosferik ağır metal kirliliğine karşı dayanıklı, orta dayanıklı ve hassas liken türlerinin listesi (Agnan ve ark., 2017)

Dayanıklı (=toleranslı) Türler	Orta derecede dayanıklı Türler	Duyarlı Türler
<i>Acrocordia gemmata</i>	<i>Amandinea punctata</i>	<i>Caloplaca ferruginea</i>
<i>Arthonia radiata</i>	<i>Buellia disciformis</i>	<i>Evernia prunastri</i>
<i>Calicium salicinum</i>	<i>Chrysothrix candelaris</i>	<i>Hypogymnia physodes</i>
<i>Cladonia fimbriata</i>	<i>Lecanora argentata</i>	<i>Pertusaria coccodes</i>
<i>Dendrographa decolorans</i>	<i>Lecanora barkmaniana</i>	<i>Physcia adscendens</i>
<i>Graphis scripta</i>	<i>Lecanora carpinea</i>	<i>Physconia distorta</i>
<i>Lecanactis subabietina</i>	<i>Lecanora chlorotera</i>	<i>Pleurosticta acetabulum</i>
<i>Lecanora allophana</i>	<i>Lecanora conizaeoides</i>	<i>Pseudevernia furfuracea</i>
<i>Lepraria incana</i>	<i>Lecanora expallens</i>	<i>Ramalina farinacea</i>
<i>Melanohalea exasperatula</i>	<i>Lecidella elaeochroma</i>	<i>Usnea</i> sp.
<i>Ochrolechia androgyna</i>	<i>Melanelixia glabrata</i>	
<i>Ochrolechia pallescens</i> subsp. <i>parella</i>	<i>Ochrolechia turneri</i>	
<i>Pertusaria albescens</i>	<i>Parmelia sulcata</i>	
<i>Pertusaria amara</i>	<i>Parmelina carporrhizans</i>	
<i>Pertusaria leioplaca</i>	<i>Phlyctis argena</i>	
<i>Physcia tenella</i>	<i>Xanthoria parietina</i>	
<i>Schismatomma cretaceum</i>		



**Şekil 2.** Bir yapraksız likende olası metal alım mekanizmalarının ve metal lokalizasyonunun şematik gösterimi (Honegger, 1997; Sarret ve ark., 1998; Purvis, 2000; Haas ve Purvis, 2006).

Liken tallusundaki hücre içi ve hücre dışı ağır metal derişim oranı likenin türüne ve elemente bağlıdır (Rola, 2020). Şekil 2’te numaralar ile gösterilen mekanizma şu şekildedir;

1-Fosil yakıt yanması ve mineral kaynaklı parçacıklar kuru ve yaş birikim yolu ile hücreler arası boşluklarda birikir. Çözünebilir fazlar yoluyla ağır metal iyonları emilir.

2-Hücre dışında metal oksalat ve metal liken asit- kompleksi oluşur.

3-Ağır metal şelatlayıcı sülfidril gruplarını içeren hücre içi fitoşelatın peptitleri, fotobiyontların ağır metal toksitesinden korunmasına yardımcı olur.

4-Fosil yakıt yanması ve mineral kaynaklı parçacıklar mantar hiflerinin hücreler arası boşluklarında tutulur ve hidrofobik mikobiyonttan türetilen sekonder metabolitlerle kaplanmış medulladaki hiflere bağlanır. Parçacıklar ayrıca ağır metal içeren çözeltilerin hücre içi penetrasyonundan tallusu koruyan su itici proteinler olan "hidrofobinler" ile kaplanır.

5-Bu kısımda 2.maddedeki gibi ağır metalleri bağlayabilen, kortikal hücreler tarafından salgılanan hücre dışı hidrofobik β-glukanları içeren alt korteks ve ağır metalleri emebilen melaninler sıklıkla mevcuttur.

6-Ağır metal parçacıkları (mineral veya yanma kaynaklı) yüzey akışı yoluyla rizinler tarafından tutularak hücre

duvarının içine ve hücre dışındaki melanize bölgelerde emilir (Purvis ve Pawlik-Skowronska, 2008).

## 1.1. Ağır Metaller

Burtis ve Ashwood (2002)’a göre ağır metaller, düşük miktarları bile bitki ve hayvanlar için zehir etkisine sahip, yoğunluğu  $4,5 \text{ g/cm}^3$ ’ten yüksek olan metallerdir. Ağır metaller ekosistemde kalıcıdır ve canlı organizmalarda birikmektedir (Yavuz, 2010). Hatta düşük yoğunlukta ve kısa süre içinde maruz kalınan ağır metal miktarları canlılarda zararlı etkiye sahip olabilir. Biyoizleme araştırmalarında Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, V ve Zn takibi yapılan başlıca ağır metallerdir (Aras ve ark., 2008; Garty, 2001).

### 1.1.1. Doğadaki ağır metal kaynakları

**Doğal kaynaklar:** Doğadaki ağır metallerin başlıca kaynağı, Dünya yüzeyinde çözünmüş ve aşınmış toprak malzemesi veya volkanik aktivite ile Dünya atmosferine verilen malzemedir. Bu iki kaynak, tüm doğal kaynakların %80’ini oluşturmaktadır; orman yangınları ve biyojenik kaynaklar ise geriye kalan %20’lik kısmı oluşturmaktadır (Hoodaji ve ark., 2012).

**Antropojenik kaynaklar:** Genellikle ağır metaller çevreye insan kaynaklı olarak üç yoldan katılırlar;

1. Atmosferik partikül birikimi (örneğin demir-çelik fabrikaları, madencilik, eritme, fosil yakıt, belediyelerin atık yakma faaliyetleri, çimento üretimi ve fosfat madenciliği vb.)
2. Ağır metalle zenginleştirilmiş kanalizasyon çamuru ve kanalizasyon atıklarının, ticari gübreler ve pestisitlerin ve hayvansal atıkların özellikle karasal ve sulcul ortama atılması
3. Metal madenciliği işlemlerinden oluşan yan ürünler (Hoodaji ve ark., 2012)

## 1.2 Likenlerde Ağır Metal Alımının Bağlı Olduğu Faktörler

Likenlerin yapısındaki ağır metal içeriği atmosfer kaynaklıdır, fakat substrat kaynaklı ağır metal parçacıkları da alınmaktadır. Likenlerin üzerinde geliştiği metal içerikli kayalar ve topraklar, likenin ağır metal içeriğinin belirlenmesinde göz ardı edilmemelidir. Ağır metal parçacıkları tallus yüzeyinde veya hücreler arası odacıklarda uzun süre kalabilirler. Likenler metabolik ihtiyaçlarından fazla miktarlarda ağır metal biriktiren, hücre dışı kristaller (kalsiyum oksalat kristali) veya liken asitleri (parietin) ile kompleks oluşturup ağır metallerle karşı tolerans mekanizması geliştirirler. Yakalanan ve hücreye hapsedilen parçacıkların toksitesisi, ağır metallerin miktarına, kimyasal formuna, farklı pH ve sıcaklıktaki çözünürlüğü gibi parametrelere bağlıdır. Likenlerdeki ağır metal birikim süreci sabit olmayıp ağır metal çözeltilisine bırakılan likenlerde, ağır metal iyonlarının birkaç saatlik zaman zarfında tallusun içinde biriktiği gözlemlenmiştir. Liken transplantasyon deneylerinde likenler bir kaç aylık süre içerisinde atmosfer kaynaklı ağır metal değişikliklerine tepki göstermişlerdir. Çoğu ağır metalin liken tallusunda birikme süresi 2 ile 5 yılı bulmaktadır (Çobanoğlu, 2015).

Farklı liken türlerinin talluslarındaki ağır metal derişimi çeşitlilik göstermiştir. *Flavoparmelia baltimorensis* (Gyeln. & Fóriş) Hale ve *Xanthoparmelia conspersa* (Ach.) Hale gibi yapraksı likenlerdeki ağır metal miktarı, dalsı liken *Cladonia subtenuis* (Abbayes) A. Evans 'dan daha çok çıkmıştır. Likenlerdeki tallus yüzeyi (müsilaj, siller, delikler ve isitler gibi ağır metal parçacıklarının yakalanmasını etkilemektedir. Örneğin *Usnea* ve *Alectoria*'nın *Umbilicaria*'dan daha fazla parçacık yakalama özelliği dikkat çekmiştir (Çobanoğlu, 2015).

### 1.3 Ağır Metal Alım Mekanizmaları

Likenlerde üç temel ağır metal alım mekanizması olduğu bilinmektedir:

1. İyon değişimi işlemi yoluyla hücre dışı ağır metal alımı (hücre dışı iyon değişimi)
2. Ağır metal açısından zengin parçacıkların yakalanması (metal parçacığı yakalama)
3. Hücre içi ağır metal alımı (Richardson, 1995)

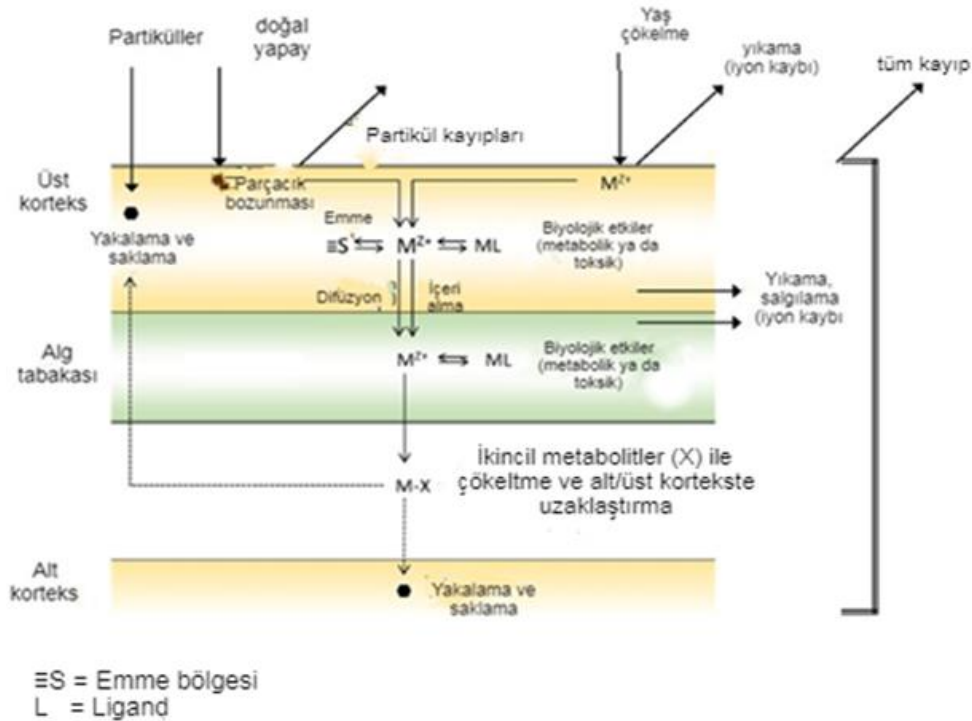
#### 1.3.1 Hücre dışı iyon değişimi

Likenlerin çözünür ağır metal iyonlarını iyon değişimi yoluyla biriktirdiği bilinmektedir. Bu iyon değişim işlemi şöyledir; alınan ağır metal iyonu hidrojen iyonlarıyla yer değiştirir veya hücre duvarının üzerinde ya da içindeki bağlanma bölgesinde diğer daha zayıf ağır metal iyonlarıyla yer değiştirir (Richardson, 1995).

Hücre dışı kaynaklı ağır metal birikimi çoğunlukla korteks veya medulla içinde gerçekleşir. Hücre dışı ağır metal alımı, likenin hücre duvarındaki kation değişim bölgelerinde hidroksil, karboksil, fosfat, amin veya sülfhidril fonksiyonel grupları gibi (Şekil 3'te  $\equiv S$  olarak belirtilmiştir) kompleks oluşturma yoluyla gerçekleşmektedir. Ağır metaller ligand olarak (ligand=moleküle bağlanarak kompleks oluşturan bileşik, Şekil 3'te L olarak belirtilmiştir) görev yapan hücre dışı sekonder metabolitlere kimyasal olarak bağlanabilir veya oksalat kristalleri olarak çöktülebilir. Bu emme mekanizması genellikle fiziko-kimyasal bir işlemdir. Büyük ölçüde hücre duvarı yüzeylerine, çözeltinin pH'ına (duvar yüzeyine etki eden) ve metallerin türüne (aynı zamanda pH'dan da etkilenir) bağlıdır (Anderson ve ark., 2022).

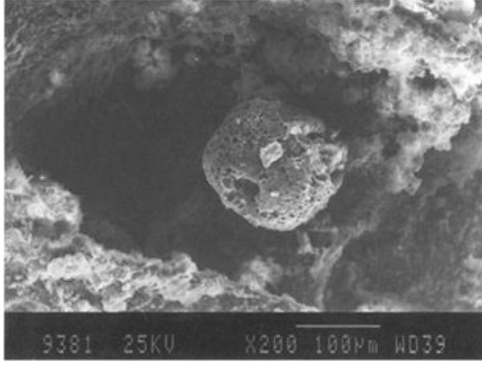
#### 1.3.2 Ağır metal parçacığı yakalama

Birçok çalışma likenlerin atmosferik ağır metal parçacıkları yakalama ve ortamdaki ağır metali biriktirme yeteneklerinin olduğunu göstermiştir. Ağır metallerin tam olarak nerede biriktiği ve bunun nasıl meydana geldiği araştırma konusudur ve araştırmalar halen devam etmektedir. Genel olarak ağır metal parçacıklarının likenlerin medulla bölgesindeki hiflerde biriktiği kabul edilmiştir. Peki bu parçacıklar hiflere kadar nasıl ulaşmaktadır? Elektron mikroskobu çalışmaları, bazı likenlerin üst korteks yüzeyinde gözenek ve deliklerin var olduğunu göstermiştir.

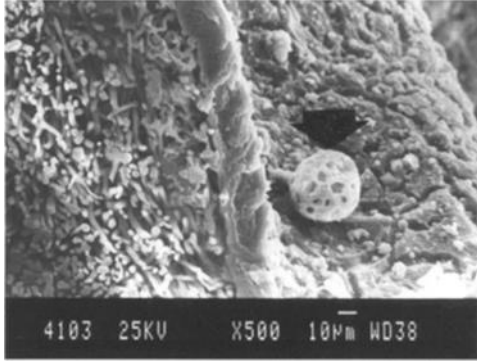


Şekil 3. Hücre dışı ağır metal parçacık alımı (Anderson ve ark., 2022).

Ancak diğerlerinin, muhtemelen likenin ve izolikeninler gibi polimerler tarafından oldukça iyi kapatılmış bir üst kortekse sahip olduğu görülmüştür (Richardson, 1995).



(a)



(b)

**Şekil 4.** a- *Ramalina lacerata* Müll.Arg.'nın tallus yüzeyinde tespit edilen yakıt yanması kaynaklı ağır metal parçacığı a-100 µm, b- 10 µm (ok işaretli) (Wolterbeek ve ark., 2003).

### 1.3.3. Hücre içi ağır metal alımı

Likenlerde ağır metallerin hücre içi alımı özellikle Cd iyonları açısından Brown ve Beckett (1984) tarafından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. *Peltigera membranacea* (Ach.) Nyl.'deki hücre içi Cd alımı, diğer organizmalardaki transmembran taşıma sistemlerinin çalışma mekanizmasına benzemekte ve muhtemelen enerji kullanımını gerektirmektedir (Richardson, 1995).

Hücre dışı alım sürecinden farklı olarak, hücre içi bölgelerdeki alım, zamanla artan ve büyük ölçüde yavaş işleyen bir süreçtir. Liken tallusunun 2-5 saat süren CdSO<sub>4</sub> çözeltisine maruz bırakılmasının ardından, hücre içi Cd alımını *Peltigera*'daki toplam alımının %10'undan az olduğu bulunmuştur. *Ramalina*'da Cu için oran % 6 dır (Çobanoğlu, 2015; Garty, 2001).

Hücre içi ağır metal alımının ışık ile arttığı ve liken metabolizmasıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Karanlıkta ise hücre içi Cd alımının hızlı biçimde azaldığı bilinmektedir. Canlı veya ısıtılmış görecelik öldürülmüş liken talluslarında

ağır metal alışverişi liken türlerine göre değişiklik gösterir. *Peltigera horizontalis* (Huds.) Baumg., *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. ve *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. 'nın ölü talluslarının, canlı talluslardan daha fazla Pb<sup>2+</sup> aldığı tespit edilmiştir (Çobanoğlu, 2015; Garty, 2001).

## 1.4 Ağır Metaller ve Liken Tallusu Arasındaki İlişkiler

### 1.4.1 Tallusun yaşına göre metal birikimi

Liken tallusunun bölümleri ile yapılan çalışmalar tallusun merkezi bölümlerinin çevresel bölümlerinden daha fazla miktarda ağır metal içerdiğini göstermiştir. *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale 'nın merkez kısmındaki yüksek Cr içeriği, çevresel bölümlere göre ıslak birikim ya da Cr 'un tallusun merkezine doğru hareketi ile açıklanmıştır. Aynı şekilde *Parmelia saxatilis* (L.) Ach. ve *Parmelia sulcata* Taylor'nın Fe, Pb, Zn, Mn, Al, Cu, Se ve Hg içeriği dış bölgelere kıyasla iç bölgelerde nispeten yüksek bulunmuştur (Garty, 2001).

### 1.4.2 Ağır metallerin mikobiyont ve fotobiyontta birikim yerleri

Rizinlerin liken tallusundan ayrılması, ağır metal alımı, birikimi, tallusta bulunduğu yer ve ağır metallerin yer değiştirmesinin araştırılmasına imkan sağlamıştır. *Peltigera* sp.'deki rizin ve damarların koyu rengi ağır metal konsantrasyonu yüksek habitatlardan kaynaklanan yüksek ağır metal içeriğini kanıtlamıştır. *Peltigera* sp. rizinlerinin ağır metal birikim kapasitesi Fe, Mn ve Pb ağır metalleri için maksimum olurken, bu likenlerin fotobiyont kısmı Cu, Ni ve Zn için maksimum birikim kapasitesinde olduğu belirlenmiştir (Çobanoğlu, 2015; Garty, 2001).

### 1.4.3 Ağır metal içeren parçacıkların yakalanmasının görsel kanıtı

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile *Xanthoparmelia chlorochroa* (Tuck.) Hale 'nın rizinlerinin yüzeyine yapışan ağır metal parçacıklarının yapısı incelenmiş ve bu parçacıkların yıkama işlemleri ile temizlenebileceği gösterilmiştir. İncelemede kullanılan yöntemler arasında nicel bilgi sağlayan enerji dağıtıcı X-ışını analizi (EDX) ile birleştirilmiş SEM ve X-ışını floresan (XRF) ile birleştirilmiş SEM bulunur (Çobanoğlu, 2015; Garty, 2001).

### 1.4.4 Havadaki ağır metal parçacıkların liken tallusu tarafından alınmasında morfolojik ve yapısal özelliklerin önemi

Bir likenin içerdiği ağır metal miktarı likenin türüne, morfolojik ve yapısal özelliklerine bağlıdır. Aynı lokasyonda bulunan farklı liken türleri, farklı miktarlarda ağır metal içerir. Örneğin yapraksız likenler *F.lavoparmelia baltimorensis* ve *X.anthoparmelia conspersa*, frutikoz liken *C.ladonia subtenuis*'en, *Hypogymnia enteromorpha* (Ach.) Nyl. türlerinden, *Punctelia rudecta* (Ach.) Krog ve *Parmelia. sulcata*, frutikoz liken *Anaptychia ciliaris* (L.) Körb.'ten daha fazla miktarda ağır metal içerdiği belirlenmiştir (Garty, 2001).

İnce ve yassı tallus, likenin kuru ağırlığına yüksek bir yüzey alanı sağlar. Buna göre *Rhizoplaca melanophthalma* (DC.) Leuckert için elde edilen düşük ağır metal değerleri, kalın tallusunun bir sonucu olarak yüzey/hacim oranının düşük olmasıyla alakalı bulunmuştur.

Liken tallusunun siller, çukurlar ve isitler gibi yüzey özellikleri parçacık tutulması üzerinde son derece önemli role sahiptir. Bu nedenle, *Usnea* veya *Alectoria* gibi ince iplikli frutikoz tallusların, geniş yüzeyli bir tallusa sahip *Umbilicaria*'dan daha büyük bir parçacık madde afinitesine sahip olduğu varsayılmıştır. Pürüzlü, çukurlu, yapışkan veya tomentoz bir yüzey, pürüzsüz bir yüzeye kıyasla parçacıkların tutulmasına yardımcı olur. Jelatinli bir yüzey, partikül maddeyi yakalama kabiliyetini daha da artırır. Yapraksı liken *Parmelia* sp.'deki K, Fe, B, Zn, Al, Si, P, Ca, Mg, Na ve Sr miktarlarının frutikoz liken *Usnea* sp.'daki miktarlarından yüksek olduğu tespitine dayanarak, yapraksı likenlerdeki ağır metal alınımının büyük ölçüde atmosferik kuru birikime bağlı olduğu düşünülmüştür (Garty, 2001).

#### 1.4.5 Ağır metal kirliliği ve liken canlılığının fizyolojik parametreleri

Çevre kirliliğinin liken canlılığı üzerindeki etkisini test etmek için farklı deneysel işlemler uygulanmıştır. Fotobiyont ve mikobiyont hücrelerini çevreleyen plazma zarının bütünlüğünü kontrol etmek için bir parça liken tallusu kesilerek distile suya birkaç dakika batırılmıştır. Liken tallusunun artan derişimlerde Cu, Hg ve Ag ağır metallerine maruz kalması kademeli bir K<sup>+</sup> kaybına neden olurken, Ni, Co, Cd ve Pb ağır metallerinde ise belirli bir derişimde önemli ölçüde K<sup>+</sup> artışına neden olduğu gözlenmiştir (Garty, 2001). Ağır metal içeren çözeltilere maruz kalan likenlerin klorofil absorpsiyon spektrumunda önemli bir değişiklik meydana gelmiştir. Değişiklikler, spesifik iyona ve maruz kalma süresine bağlıdır. Arazi koşulları altında, kimyasal kirliliğe maruz kalan likenlerdeki klorofil bozulmasının, birçok durumda tallusta bulunan yüksek miktarlarda ağır metal ve diğer elementlerle ilişkili olduğu belirtilmiştir (Garty, 2001).

Likenlerde tespit edilen ağır metale bağlı hasarın derecesi, ağır metal konsantrasyonunun açık bir göstergesi olarak yorumlanamaz. Yine de, gözle görülür bozunma belirtileri, belirli eşik seviyelerini aşan derişimlerde zararlı elementlerin varlığını göstermiştir. Örneğin otoyoldan 15 m uzaklıkta toplanan *Evernia prunastri* (L.) Ach., *H. physodes* ve *F. caperata* numuneleri fotosentezde önemli net bir düşüş göstermiştir. Zn, Cd ve Cu birikiminin siyanobakteriyel ve yeşil alg fotobiyontu içeren likenlerde düşük derişimlerde fotosentezi engellediği gösterilmiştir (Garty, 2001).

Etilen bitki büyümesini düzenleyen hidrokarbon kökenli bir gazdır. Etilen normal koşullarda az miktarda üretilir, ancak canlı dokular farklı stres faktörlerine maruz kaldıkça etilen miktarı artar. Etilen salınımının ağır metallere, örneğin Hg buharına, Cu<sup>2+</sup>'ye maruz kaldıktan sonra arttığı görülmüştür. Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cd<sup>2+</sup> ve Zn<sup>2+</sup> belirli ağır metaller, 1-aminosiklopropan-1-karboksilik asidin (ACC) etilene dönüştürülmesinde kofaktörler olarak görev yapmıştır. Çoğu durumda etilen salınımının, mikobiyont veya fotobiyont hücrelerinin maruz kaldığı hasardan kaynaklandığı varsayılmıştır. Farklı liken türleri önemli ölçüde farklı

miktarlarda etilen üretebilirler. Artan etilen üretimine yol açan stres faktörleri arasında taşıt ve endüstriyel kirliliğin olduğu belirtilmiştir (Garty, 2001).

## 2. SONUÇ

Dünya yüzeyinde çözülmüş ve aşınmış toprak malzemesi, volkanik faaliyetler, orman yangınları, biyogenik kaynaklar, sanayi faaliyetleri (demir-çelik fabrikaları, eritme, çimento üretimi, metal madenciliği, baca gazları, fosil yakıt kullanımı vb.), belediyelerin atık yakma işlemleri, motorlu taşıt kullanımı, kanalizasyon atıkları, ticari gübreler/pestisitler ve hayvansal atıklar yoluyla atmosferde artan ağır metal miktarı ekosistemdeki tüm canlıları olduğu gibi likenleri de olumsuz etkilemektedir. Likenler tamamında olmasa da genel olarak ağır metallere karşı gösterdikleri tolerans ve tepki ile yaşam mücadelesine devam etmektedirler. Likenlerin talluslarında ağır metal biriktirebilmek için hücre içi ve hücre dışı metal alım mekanizmaları geliştirdikleri anlaşılmaktadır. Liken tallusundaki ağır metal miktarı iklim, arazi, substrat, kirlilik kaynağına olan uzaklık, liken türünün yapısı gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

## 3. KAYNAKLAR

- Agan, Y., Probst A., Séjalon-Delmas, N. (2017) Evaluation of lichen species resistance to atmospheric metal pollution by coupling diversity and bioaccumulation approaches: a new bioindication scale for French forested areas. *Ecol Indic*, 72, 99–110.
- Anderson, J., Levesque, N., Caron, F., Beckett, P., Spiers, G.A. (2022). A review on the use of lichens as a biomonitoring tool for environmental radioactivity. *Journal of Environmental Radioactivity*, 243, 106797.
- Aras, S., Beyaztaş, T., Cansaran-Duman, D. (2008). Likenlerde ağır metal birikiminin dna üzerindeki etkileri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 1 (2), 37-43.
- Backor, M., Fahselt, D. (2008). Lichen photobionts and metal toxicity. *Symbiosis*, 46, 1-10.
- Brown, D.H., Beckett, R.P. (1984). Uptake and effect of cations on lichen metabolism. *Lichenologist*, 16(2), 173-188.
- Burtis, C. A., Ashwood, R. E. (2002). *Fundamentals of clinical chemistry*. 5th Edition, 652- 659.
- Çobanoğlu, G. (2015). The use of lichens for biomonitoring of atmospheric pollution. *Sigma J Eng & Nat Sci*, 33 (4), 591-613.
- Exposito, J.R., Barreno, E., Catala, M. (2020). Biological strategies of lichen symbionts to the toxicity of lead (Pb). *Springer Nature Switzerland AG*, 149-170.



- Garty, J. (2001). Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 20(4),309-371.
- Haas, J.R., Purvis, O.W. (2006). Lichen Biogeochemistry. *Fungi in Biogeochemical Cycles* (G.M. Gadd, ed.).Cambridge University, Cambridge, 344-376.
- Honegger, R. (1997). Metabolic interactions at the mycobiont-photobiont interface in lichens. In: *The Mycota, Vol 5A, Plant Relationships, Part A.* (G.C. Carroll and P. Tudzynski, eds.).Springer-Verlag, New York, 209-221.
- Hoodaji, M., Atabadi, M., Najafi, P. (2012). Biomonitoring of airborne heavy metal contamination. *Air Pollution – Monitoring, Modelling, Health and Control*, 97-122.
- Purvis, O.W. (2000). Lichens. Life series. Natural History Museum, London, ISBN 0-565-09153-0.
- Purvis, O.W., Pawlik-Skowronska, B. (2008). Lichens and metals. *British Mycological Society Symposia Series*.27,175-200.
- Richardson, D.H.S. (1995). Metal uptake in lichens. *Symbiosis*, 18,119-127.
- Rola, K. (2020). Insight into the pattern of heavy-metal accumulation in lichen thalli. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 61-126512.
- Sarrett, G., Manceau, A., Cuny, D., Van Haluwyn, C., Deruelle, S., Hazemann, J.L., Soldo, Y., Eybert-Berard, L. and Menthonnex, J.J. (1998). Mechanisms of lichen resistance to metallic pollution. *Environmental Science and Technology*, 32, 3325–3330.
- Yavuz, M. (2010). Gölcük Tabiat Parkı liken florası ve Isparta hava kirliliğinin likenlerle derecelendirilmesi. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Yıldız, A., Aksoy, A., Tuğ, G.N., İşlek, C., Demirezen, D. (2008). Biomonitoring of heavy metals by *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Ankara (Turkey). *Journal of Atmospheric Chemistry*, 60, 71-81.
- Yıldız, A., Aksoy, A., Akbulut, G., Demirezen, D., İşlek, C., Altuner, E.M., Duman, F. (2011). Correlation between chlorophyll degradation and the amount of heavy metals found in *Pseudevernia furfuracea* in Kayseri (Turkey). *Ekoloji*, 20, 78, 82-88.
- 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, 2(1), 9-22.
- Wolterbeek, H.T., Garty, J., Reis, M.A., Freitas, M.C. (2003). Biomonitoring in use: lichens and metal air pollution. *Bioindicators and biomonitors*, 11, 377-419.