

Hava kirliliğinin belirlenmesinde likenlerin kullanımı

Özge TUFAN-ÇETİN^{1*} & Hüseyin SÜMBÜL¹

¹Akdeniz Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 07058, Antalya, (* sorumlu yazar e-mail: ozgetufan@akdeniz.edu.tr)

Özet: Hava kirliliğine sebep olan kirleticiler çok değişik formlarda oluşabilmektedirler. Bu yüzden her bir kirletici için gece ve gündüz ölçüm yapan bir ekipman geliştirmek oldukça zordur. Pek çok kirletici ölçümü, kirletici kaynağı olarak bilinen yerlerde ve sınırlı sayıdaki kirletici için yapılabilir. Ancak yaşadığımız yerdeki havanın temiz olduğundan emin olmak isteriz. Bu yüzden ucuz, her yerde kullanılabilen ve havada bulunan pek çok kirleticiye tepki gösteren bir ölçüm aracına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle ağaçta yaşayan likenler, bu görevi kısmen yapabilen çok iyi araçlardır. Pek çok çeşit kirleticiye hassastırlar, her yerde bulunabilirler veya getirilebilirler. Hava kirliliği için cihazlar ile yapılan ölçümler anlık bilgi verirken, likenler ile yapılan biyomonitörleme çalışmaları o bölge için uzun bir döneme ait bilgi vermektedir. Bu nedenlerle likenler, tüm dünyada hava kirliliği biyomonitörleme çalışmalarında en sık kullanılan biyolojik indikatörlerdir. Bu yazıda, likenler yardımıyla hava kirliliğinin belirlenmesi konusunda bilgiler verilmiş ve kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyolojik indikatör, Hava kirliliği, Likenler.

Using lichens for determination of the air pollution

Abstract: Pollutants that lead to the air pollution can occur in very different forms. Therefore, developing an equipment which measures for each pollutants at night and day is highly difficult. Many of the pollutant measurements can be done in places known as pollutant source and for limited numbers of pollutants. However, we want to be sure that the air on our living area is clean. Because of that, a measurement instrument that is cheap, usable in everywhere and effective to a great number of the pollutants is needed. Especially epiphytic lichens that can particularly do this duty are very good agents. They are sensitive to the plenty vary of the pollutants, able to be found or brought everywhere. While the measurements of the devices for air pollution give instant information, the biomonitoring studies with lichens for a region inform belongs to long term period. Because of these reasons, lichens are the most employed biological indicator in air pollution biomonitoring studies in the world. In this text, the information and used methods were stated about the determination of the air pollution with lichens.

Keywords: Biological indicator, Air pollution, Lichens.

Giriş

Likenler yaprağı, gövdesi veya kökü olmayan fakat kendi besinini kendi üretebilen, yüzlerce yıl yaşayabilen, içerisinde bir veya daha çok sayıda alg türünün ve mantarın bulunduğu birlikteliklerdir. Liken bünyesinde bulunan algler serbest olarak yaşayabilmelerine rağmen, mantarlar parazit karakterli olduğundan serbest yaşayamazlar. Pek çok araştırmacıya göre likenler mutual yaşam örneği olmasına karşın, bazı araştırmacılara göre liken ortaklığında mantarın kontrolünde olan parazitizm söz konusudur (Nash, 1996).

Atmosferin doğal yapısında bulunan maddelerin miktarlarının yükselmesi veya yapıya yabancı maddelerin girmesi sonucunda canlı ve cansız tüm ekosistemi farklı seviyelerde olumsuz etkileyen havaya kirli hava denir. Orman yangınları, volkanik patlamalar, bataklıklarda anaerobik bakterilerin karmaşık organik maddeleri oluşturması esnasında ortaya çıkan karbon dioksit, metan, vb. gibi gazların atmosfere yayılması gibi doğal olaylar nedeni ile atmosfer hiç bir zaman tertemiz olmamıştır. Prehistorik devirde ateşin bulunması ile başlayan atmosferik kirlilik 20. yüzyılın ortalarından itibaren patlama noktasına varan endüstrileşme, kırsal alanlardan kentlere yönelik büyük insan göçü, hava kirlenmesi olayının boyutlarını büyütüştür (Anonim, 2001).

Hava kirleticilerini, kaynaktan doğrudan çıkan bileşikler kapsayan birincil kirleticiler (Kükürt dioksit, Hidrojen sülfür, Azot oksitler, Karbon oksitler, Hidrojen florür, Metalik Partiküller vb.) ve atmosferde sonradan oluşan bileşikler kapsayan ikincil kirleticiler (Ozon, Kükürt trioksit, Sülfürik asit, Aldehitler, Ketonlar, Endüstriyel duman, vb.) olarak iki grupta toplamak mümkündür (Anonim, 2001, Corrêa & Arbillab, 2006).

Hava kirliliğinin sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu bilinen bir gerçektir. Bu olumsuz etkiler sonucunda, akciğer kanser vakalarında (özellikle partiküler madde nedeniyle), kronik astım krizi sıklığında, göğüs daralması sıklığında, öksürük/balgam sıklığında, üst solunum sistemi akut bozukluğunda, göz, burun ve boğaz tahribatında, ölüm oranlarında, sağlık tedavi masrafında artış ve soluk alma kapasitesinde, iş veriminde ve üretimde düşüş olmaktadır (Öztürk, 2005).

Ülkeler ve konu ile ilgili örgütler (WHO, EPA, EU gibi) tarafından açıklanan kirleticilerin havada bulunabileceği sınır değerleri farklılık göstermektedir. Tablo 1’de, kentsel alanlarda en tehlikeli ve en yoğun olarak görülen kirleticilerden partikül madde, ozon, azot dioksit ve kükürt dioksitin farklı örgüt ve kuruluşların belirledikleri sınır değerleri verilmiştir (WHO, 2006; EPA, 2009; Anonim, 2009a).

Tablo 1. Partikül madde, ozon, azot dioksit ve kükürt dioksitin farklı örgüt ve kuruluşlara göre sınır değerleri

	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
WHO	10 (yıl. ort.) 25 (24 s. ort.)	20 (yıl. ort.) 50 (24 s. ort.)	100 (8 s. ort.)	40 (yıl. ort.) 200 (1 s. ort.)	20 (24 s. ort.) 500 (10 d. ort.)
EPA	15 (yıl. ort.) 35 (24 s. ort.)	150 (yıl. ort.)	200 (1 s. ort.)	100 (yıl. ort.)	78 (yıl. ort.) 364 (24 s. ort.)
Hav.Kal.Kor Yönetmeliği	-	150 (UVS) 300 (KVS)	- (UVS) (240) (KVS)	100 (UVS) 300 (KVS)	150 (UVS) 400 (900) (KVS)

Parantez içerisindeki değerler maksimum saatlik sınır değerlerdir.

PM_{2.5}: Aerodinamik çapı 2.5 µm; PM₁₀: Aerodinamik çapı 10 µm; O₃: Ozon NO₂: Azotdioksit; SO₂: Kükürtdioksit; yıl. ort.: yıllık ortalama; s. ort.: saatlik ortalama; d. ort.: dakikalık ortalama; UVS: Uzun Vadeli Sınır; KVS: Kısa Vadeli Sınır; WHO: World Health Organization; EPA: Environment Protect Agency; Hav. Kal. Kor. Yönetmeliği: Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği.

Partikül maddeler; asit tozları (nitrat ve sülfat gibi), organik kimyasallar, metaller, toprak veya toz partikülleri, bakteri, küf, mantar, deniz suyunun buharlaşması ile ortaya çıkan tuzlar ve alerjik polenlerden oluşmaktadır. PM_{2.5} genel olarak yanma da kullanılan katı ve sıvı yakıtlar, motorin ve kurşunlu benzin kullanan taşıtlar, termik santraller gibi yanma işlemlerinden ve bazı endüstriyel aktivitelerden meydana gelir.

Türkiye genelinde hava kirliliği seviyesinin izlenmesi için 69 il merkezi ve 7 ilçe merkezinde olmak üzere bazı istisna istasyonlar haricinde toplam 171 istasyonda sadece kükürt dioksit (SO₂) ve partiküler madde (PM) ölçümleri yapılmaktadır (Anonim, 2009b).

Likenler ve hava kirliliği ilişkisi

Likenler; hava kirliliğine hassas, dayanıklı ve kirliliğin bulunduğu yerde yaşayabilen özelliğe sahip türlerden oluşan ve bu özellikleri ile hava kirliliğinin belirlenmesinde kullanılan biyoindikatör canlılardır. Likenler havadan kaynaklanan kirleticileri bünyelerinde depolayarak, farklı seviyelerde kirleticilere farklı reaksiyon gösterirler. Gelişmiş bir kök sistemine sahip olmadıklarından su ve mineral madde alışverişini tüm yüzeyleriyle yaparlar. Böylece hava kirleticilerini bünyelerinde biriktirirler. Hava kirliliğine hassas türler ortamdaki hemen kaybolurken, dayanıklı türler kirleticileri depolamaya devam ederler.

Hava kirliliğine hassasiyet bakımından 3 gruba ayrılan likenleri şu şekilde açıklamak mümkündür:

- Kirleticilerin etkisi ile ortamdaki hemen kalkan duyarlı türler; *Usnea*, *Ramalina* cinslerine ait türler ve *Pseudevernia furfuracea* örnek gösterilebilir.
- Hava kirliliğine rağmen doğal ortamlarındaki gelişmelerini sürdürebilen dayanıklı türler; *Hypogymnia physodes*, *Xanthoria parietina*, *Physcia adscendens*, *Buellia punctata*, *Lepraria incana* örnek gösterilebilir. Bu türler hava kirliliğine dayanıklı olmalarına rağmen kirlilik çok arttığında ortamdaki kalkmaktadırlar.

-Liken türlerinin büyük bir kısmı ortamdaki kirlilikten sonra bile gelişimini sürdürebilen türler; *Lecanora conizeaoides* bu grubun en tipik örneğidir (Ozdemir, 1992). Ayrıca *Lepraria incana*, *L. jackii*, *Mycoblastus fucatus*, *Ropalospora viridis*, *Scoliciosporum chlorococcum* liken türleri de bu gruba örnek gösterilebilir (Hauck ve diğ., 2008).

Hava kirliliğine hassas likenlerin kirliliğe gösterdiği tepki, likenlerin biyolojileri ile alakalıdır. Likenler yüzyıllarca yaşadıklarından, hava kirleticilerine çok maruz kalmaktadır. Vaskular bitkiler gibi dökülme sonucu yenilenebilen yapılara sahip olmadıklarından, bu yolla elde edilebilecek hava kirleticilerine karşı korunma da sağlanamamaktadır. Ayrıca stoma ve kütikula gibi yapılarının bulunmaması nedeniyle havadan gelen sıvı ve gazlar tallusun tüm yüzeyi tarafından emilmekte ve kolayca algelere ulaşmaktadır. Tallusta bulunan su miktarının hızlı değişim göstermesi sebebiyle poikilohidrik organizmalar olan likenler, kurak dönemlerde sıvı içeriğini azaltarak canlı kalmayı sağlarlarken, aynı zamanda, kirletici madde konsantrasyonunun artması nedeniyle, toksik seviyeye karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu maddelerin alımı liken bünyesindeki alg hücrelerinin ölümüne yol açabileceği gibi, oluşan yeni ortam nedeniyle, ortaklardan birinin diğeri ile ortaklıktan vazgeçmesi sonucunu da ortaya koyabilmektedir (Nash 1996).

Yapılan bir çalışmada, özel bir liken asidi olan usnik asitin, hava kirliliği nedeniyle oluşan asitlik değişimine karşı toleransı kontrol eden madde olduğu belirlenmiştir. Usnik asitin konsantrasyonu arttıkça asidik hava kirleticilerine hassasiyet artmaktadır (Hauck & Jurgens, 2008).

Hava kirliliğine dayanıklı likenlerin ise farklı konsantrasyonlardaki hava kirleticilerine karşı toleranslarını, bu maddeleri bünyelerinde bulunan farklı organik bağlayıcılar ile komplekslere dönüştürüp, hücre dışında biriktirmek suretiyle sağladıkları yapılan araştırmalar göstermektedir (Sarret ve diğ., 1998).

Hava kirliliğinin olduğu yerde yaşayan likenlerin yüzeylerinin hidrofobik özelliğe sahip olmaları, su içerisinde çözülmüş halde bulunan hava kirleticilerine karşı korunma sağlamaktadır. Yapılan bir çalışmada, hava kirliliğinin olduğu yerde yaşayan *Lecanora conizeaoides* türünün üzerine damlatılan su damlacıklarının likenin yüzeyinde kaldığı elektron mikroskopları çekimlerinde görülmüştür (Shirtliffe ve diğ., 2006).

Likenlerin hava kirliliğinin tespitinde kullanımları

İlk kez 1896 yılında William Nylander isimli bilim adamı, Paris'in kırsal alanlarında ağaçlar üzerinde görülen bazı liken türlerini, şehrin içindeki aynı ağaç türü üzerinde olmadığını ve buradaki likenlerin hava kirliliği nedeniyle yok olduğunu fark etmiştir. Yine aynı yıllarda Münih ve İngiltere'de de likenlerin yok olduğu belirlenmiştir. 1900'lu yılların başında bu durum Avrupa'da geniş ölçüde hissedilmiş ve ilk olarak yok oluşların nedeni kömür kurumuna bağlanmıştır. Daha sonraki yıllarda, yok oluşların nedeni günümüzde henüz daha tamamı saptanmamış olan hava kirleticilerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu çeşitlilikteki değişimin yanında bazı liken türlerinin ağır metaller ve radyoaktif maddeleri biriktirebildiği, birikimin kaynaktan uzaklaştıkça azaldığı anlaşılmıştır (Ozdemir, 1992).

Son 50 yılda hava kirliliğinin likenler üzerine olan etkileri araştırılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalarda, farklı liken türlerinin hava kirliliğine farklı hassasiyette oldukları açığa çıkmıştır. Buna göre likenler ve hava kirliliğinin seyri ile ilgili araştırmalar şu şekilde yürütülmektedir. Birincisi hava kirliliğine dayanıklı veya hava kirliliğinin olduğu yerlerde yaşayan liken türlerinin bünyesinde biriken kirleticilerin ölçümü ve/veya bu kirleticilerin neden olduğu morfolojik, anatomik ve fizyolojik değişimlerin belirlenmesidir. İkincisi ise spesifik hava kirleticileri ile ilişkili olarak belli liken türlerinin alandaki varlığına göre liken komünitelerinin haritalanmasıdır.

Liken bünyesinde biriken kirleticilerin analizi ve bu kirleticilerin tallusta neden olduğu değişimlerin incelenmesi ile hava kirliliğinin belirlenmesi çalışmalarında iki değişik yol izlenmektedir. Bu yollardan ilki doğal olarak geliştiği alandan toplanan liken örneklerinden element analizlerinin yapılması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesidir. Diğer çalışma yolu ise, doğal olarak geliştiği alandan toplanan liken örneklerinin element analizleri yapıldıktan sonra hava kalitesi bakımından çalışılacak bölgelere yerleştirilmesi ve belli bir süre beklendikten sonra yeniden element analizlerinin yapılmasıdır. Şehir içinde liken örneklerine pek rastlanılmadığından, hava kirliliğinin monitörlenmesinde böyle bir yola başvurulmaktadır. Transplante edilen örneklerden 10 ve 17 hafta sonra element analizleri yapılarak sonuçlar elde edilebilmektedir.

En önemli kirleticilerden ağır metaller, alevli atomik absorpsiyon spektrofotometre, grafit fırın atomik absorpsiyon spektrofotometre veya ICP-MS (İndüktif Çiftlenmiş Plazma Kütle Spektrometresi) cihazları kullanılarak analiz edilirler. Analitik ölçüm kalite kontrol işlemi ile eser ve minör elementlerin ölçümünde Uluslararası Atom Enerjisi Kuruluşu'ndan

(International Atomic Energy Agency) temin edilebilen IAEA-336 referans maddesi kullanılır. IAEA-336 liken referans materyali de aynı analitik aşamalara tabii tutularak, analiz sonuçlarının sertifika değerleri ile uyumlu olduğundan emin olunmalıdır.

Bahsedilen IAEA-336 materyali, Portekiz’de kirletici kaynaklardan uzaktaki alanlarda (Gavião, Ourique ve Serra do Cladeirão bölgeleri) *Cistus ladanifer* ve *Quercus* cinsi ağaç türleri üzerinde bulunan *Evernia prunastri* liken türünden hazırlanmıştır. Diğer Avrupa ülkeleri ile kıyaslandığında Portekiz, likenlerinde element içeriği en düşük olan bölgelere sahiptir. Uluslararası düzeyde yapılan bir çalışma ile, değişik laboratuvarlar tarafından IAEA referans materyalindeki Al, As, Ba, Br, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Eu, Fe, Hg, K, La, Lu, Mn, Na, Nd, P, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Tb, Th, V, Yb ve Zn elementlerin miktarları belirlenmiş ve bir standarda oturtulmuştur (Heller-Zeisler ve diğ.,1999).

Yapılan bir çalışmada atmosferik birikim bakımından 1974’te toplanmış ve Arizona Eyalet Üniversitesi’nin herbayumunda bulunan *Xanthoparmelia* örnekleri ile Maricopa bölgesinden 1998 yılında toplanan *Xanthoparmelia* türleri bazı ağır metal birikimleri bakımından karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yalnızca şehirleşmenin yüksek olduğu bölgelerde Zn, Cu, Pb ve Cd için yüksek konsantrasyonlar belirlenmiştir. Liken örneklerindeki kurşun (Pb) düzeyi geçen otuz yıl zarfında % 71 oranında düşerken, çinko (Zn) konsantrasyonları bazı bölgelerde % 245’e varan boyutta artmıştır (Zschau ve diğ., 2003).

Arjantin’in Kordoba şehrinde yapılan bir araştırmada *Usnea* ve *Ramalina* cinslerine ait türlerde bazı hava kirleticilerinin analizi yapılmıştır. Buna göre şehir içerisinde Zn, endüstriyel alanlarda Mn, Fe, Co, Ni, Cu ve Pb seviyelerinin yüksek olduğu belirlenmiştir (Carreras ve diğ., 2009).

Ülkemizde de likenlerle benzer çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan biri Ege Bölgesi’nden toplanan *Xanthoria parietina* liken türünün ağır metal birikim miktarlarının belirlenmesi ile ilgili çalışmadır. Toplanan 234 *Xanthoria parietina* örneği, 35 element (Al, As, Au, Ba, Br, Cd, Ca, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, K, La, Lu, Mg, Mn, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Th, Ti, V, Yb, Zn, Pb, Ni, Cu) bakımından analiz edilmişlerdir. Sonuç olarak, demir-çelik fabrikaları ve yakıt olarak kömür bölgelerdeki örneklerde, element konsantrasyonları yüksek olduğu belirlenmiştir (Yenisoy-Karakas & Tuncel, 2004).

Yine Kocaeli’de yapılan benzer çalışmada, çinko, kadmiyum, kurşun, molibden ve bakır kirliliği tespit edilmiştir. Bu maddelerin yüksek olmasının nedeni, Kocaeli’nde metal ve kimya sanayinin gelişmiş olması nedeniyle şehirde yoğun bir atmosferik metal çökelinin söz konusu olmasına bağlanmıştır (Doğrul ve diğ. 2007).

Likenlerle hava kirliliğinin belirlenmesi ile ilgili pek çok çalışma, kükürt dioksiti sisleme ve yağmurlama şeklinde uygulayarak likenlere olan etkisinin saptanması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu tip çalışmalarda çoğunlukla kükürtlü bileşiklerin liken tallusunda ve özellikle algin klorofilinin yapısında bozulmalara neden olması kullanılmaktadır. Klorofil bozulduğunda liken bünyesinde Phaeophytin adlı madde açığa çıkmaktadır. Spektrofotometre ile ölçülen Klorofil a/ Phaeophytin a oranı klorofilin sağlamlığı konusunda bilgi veren önemli bir ölçektir. Oran 1.4 ise klorofilin değişmediği, bu değer altıda ise klorofilin zarar gördüğü anlaşılmaktadır (Conti & Cecchetti, 2001).

Yapılan bir çalışmada, 1 ppm kükürtdioksit sulu çözeltisi uygulanan liken membranında fosfolipitler azalırken, doymamış yağ asitlerinin arttığı tespit edilmiştir. Likenin bu şekilde bozulan membranını tamir etmeye yöneldiği düşünülmüştür (Bychek-Guschina ve diğ., 1999). Böylece membrandaki doymamış yağ asiti miktarı ölçülerek de kükürt dioksit kirliliği tespit edilebilmektedir.

Kükürt içerikli solüsyonlara maruz kalan likenlerde farklı seviyelerde etilen tespit edilmiş ve yapılan çalışmada kükürt dioksitle muamele edilen likenlerin endojenik etilen üretiminde artış belirlenmiştir. Bu şekilde etilen miktarındaki artışa göre kükürt dioksit kirliliğinin verdiği zarar miktarı tespit edilebilmektedir (Garty ve diğ., 1995).

Diğer bir araştırmada bir gübre fabrikası ve madene transplante edilen *Hypogymnia physodes* ve *Bryoria capillaris* türlerinde 360 ppm florit tespit edilmiştir. 30-40 ppm'in üzerine çıkan florit seviyelerinde likenin alg hücreleri zarar görmeye başlamaktadır (Palomäki ve diğ., 1992).

1986 yılında Chernobyl kazasından sonra Norveç'in pek çok bölgesinden toplanan likenlerin bünyesinde vasküler bitkilerde saptanandan çok daha yüksek Cs 134 (Sezyum 134) ve Cs 137 (Sezyum 137) radyoizotop değerleri tespit edilmiştir. Chernobyl'e yakın bölgelerden toplanan *Parmelia sulcata* liken türünün I 129 (İyot 129) ve Cl 36 (Klor 36) radyoizotopları ölçüldüğünde, alandan ölçülen radyoaktif madde ölçümleri ile örtüştüğü tespit edilmiştir (Chant ve diğ., 1996).

İkinci yöntem ise, ilk kez Stockholm şehrinde 1926 yılında Sernander tarafından uygulanan haritalama yöntemidir ve bu yöntem alanın liken biyoçeşitliliğini haritalara geçirilmesine dayanmaktadır. Aynı zamanda çalışma alanındaki liken türlerinin çeşitlilik, bolluk ve canlılık özellikleri de haritalar üzerinde değerlendirilmektedir. Sernander, araştırma yaptığı şehrin liken bulunmayan ağaçların yer aldığı bölümüne "Liken Çölü"; sadece birkaç kabuksu ve yapraksı türün geliştiği bölümüne "Çabalama Zonu" ve likenlerin çok sayıda ve sağlıklı geliştiği bölümüne "Normal Zon" isimlerini vererek, üç bölgeye ayırmıştır.

Gerçekten de yapılan hava kirliliği çalışmalarında bu zonların bölgelerdeki kirlilik değerleri, kentsel alan büyüklükleri ve hakim rüzgarlarla örtüştüğü tespit edilmiştir (Nash, 1996).

Sernander'in zonlara ayırma kriterlerinin hava kirliliği çalışmalarındaki en iyi uygulamaları 1967 yılında Laundon ve 1968 yılında Skye tarafından yapılmıştır. Laundon çalışmasında, Londra'yı merkez, iç kentsel alan, orta kentsel alan ve yeşil kuşak halkalarına ayırmıştır. Skye ise Stockholm'u 5 zona ayırmış ve bu zonlara özel liken tür kombinasyonlarını ve türlerin sıklıklarını tanımlamıştır (Saunders, 1970).

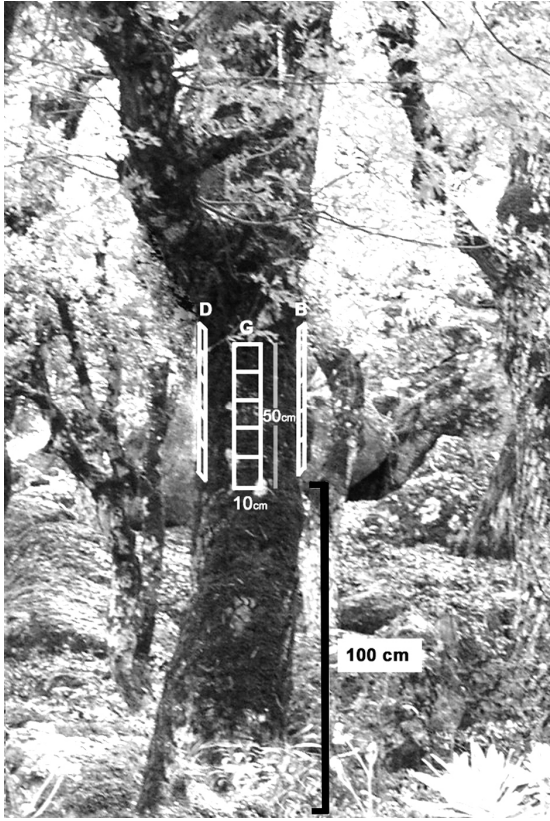
Günümüzde likenler kullanılarak ülkemizde (Sommerfeldt & John, 2001) ve diğer ülkelerde (Geiser & Neitlich, 2007; Munzi ve diğ., 2007; Policnik ve diğ., 2008) bölgelere ait hava kirliliği haritaları oluşturulmaktadır. Bu haritaları oluşturmak için ilk yöntem Alman Mühendisleri Birliği'nin (VDI) geliştirdiği 3799 nolu yönergedir. Daha sonraları bu yöntemden yola çıkılarak pek çok yöntem (ANPA-İtalya, SI-Slovenya gibi) geliştirilmiştir. Son olarak, VDI yöntemi baz alınarak, Avrupa (EU) yöntemi (Asta ve diğ., 2003) geliştirilmiş ve kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde bahsedilen tüm yöntemler kullanılmakla beraber bu yazıda, daha çok tüm yöntemleri içinde barındıran EU yöntemi üzerinde durulmuştur.

Bu yöntemde temel olarak, hava kirliliği veya çevresel stresin epifitik (ağaçlar üzerinde yaşayan) liken çeşitliliğine verdiği zarar kullanılmaktadır. Liken çeşitliliğinin tespiti ve çevresel stresin derecesinin hesaplanması için ağaç kabuğu üzerinde işaretlenen bölgede liken türlerinin bulunma sıklığı belirlenmektedir.

İlk olarak çalışma yapılacak alan örnekleme bölümlerine ayrılır. Eğer alan içerisinde kirletici kaynağı belli değilse, tüm alanı eşit genişlikte bölümlere ayırmak en doğrusudur. Eğer kirletici kaynağı belli ise, kaynak çevresi, hakim rüzgarın yönü ve/veya diğer kaynak özellikleri dikkate alınarak bölümlenme işlemi yapılır. Örnekleme bölümleri başına ağaç sayısı bölüm genişliğine bağlıdır. 0.25 x 0.25 km'de 3-4, 1x1 km'de 6-12 ağaç belirlenmelidir. Ağaç türünün seçimi için çalışma öncesi arazi gezilmeli ve uygun ağaç türlerinin sıklığı ve yayılışı değerlendirilmelidir. Tek duran başka ağaçlarla kapanmamış, mümkünse bir ağaç türü, mümkün değilse benzer kabuk özelliklerine (pH, su tutma kapasitesi, besin içeriği) sahip, yakın yaşlarda, benzer yapıda, herhangi bir nedenle zarar görmemiş ağaçlar tercih edilmelidir. Gövde çevresi 40 cm'den az olmamalı, tercihan en az 70 cm çevre uzunluğuna sahip olmalıdır.

Arazide seçilen ağaçlar üzerine, Şekil 1'de gösterdiği gibi yerden 1 m yüksekte olacak şekilde özel kuadratlar yerleştirilir. Bu kuadratlar 10x10 cm ebatlarında 5 kareden oluşmaktadır. Kuadratlar ağacın kuzey, güney, doğu, batı tüm yönlerine ayın hizada

yerleştirilir. Saat yönünde maksimum 20 derecelik açı ile oynatarak gövdenin boğumlu, yaralı yerlerinden kaçılabilir.



Şekil 1. Seçilen ağaç gövdeleri üzerine kuadratların yerleştirilmesi

Daha sonra her kare içerisinde liken türü teşhis edilerek, her türün rastlanma sıklığı (frekansı) ağaçlar için ayrı ayrı ve yönler için ayrı ayrı not edilir. Teşhisi arazide gerçekleştirilemeyen örnekler laboratuvara getirilerek teşhis edilir.

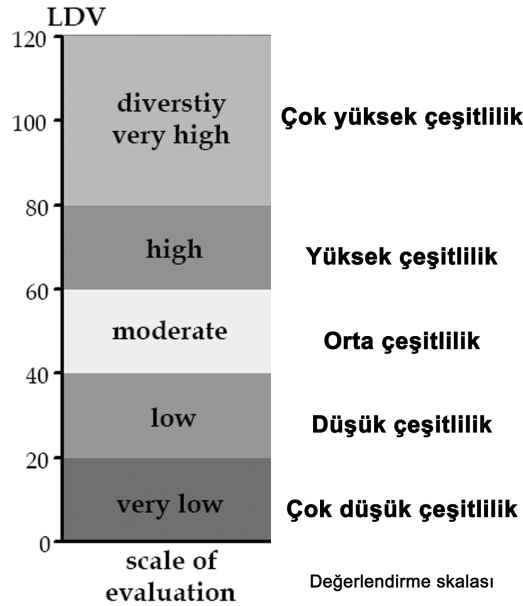
Teşhisler tamamlandıktan sonra Liken Çeşitlilik Değeri (Lichen Diversity Value-LDV) hesaplanır. Bir örnekleme bölümü için LDV değeri, o bölümün çevresel koşullarını istatistiksel olarak değerlendirmeye yarar. Yani LDV değeri hesaplanan örnekleme bölümünün oluşturulacak değişik hava kalitesi sınıflarından hangisine dahil olacağını belirler. Bu değer, çalışma yapılan her ağaçta bulunan liken türlerinin frekanslarının toplamının ağaç sayısına bölünmesi ile hesaplanır.

LDV değeri hesaplama işlemleri sonuçlandırıldığında Liken Çeşitlilik Sınıfı (Lichen Diversity Class-LDC) belirlenir. Liken çeşitlilik veya hava kalitesi sınıflarının aralığı, her bir örnekleme bölümü için toplam frekansın standart sapma ve standart hata hesaplamaları yapılarak belirlenmektedir. Tüm örnekleme bölümlerinden alınan standart hata değerlerinin ortalamaları, sınıfların aralık genişliğini gösterecektir. LDV değerlerini en iyi tanımlayan

standart hata değerleridir. Eğer standart hata büyükse, kullanılacak sınıf aralığı geniş olacak ve liken çeşitliliğinin derecelerini çeşitlendirmede başarılı olunamayacaktır.

Sınıf 1	0	< LDV <	Standart Hata
Sınıf 2	Standart Hata	< LDV <	2 Standart Hata
Sınıf 3	Standart Hata	< LDV <	3 Standart Hata gibi

Daha sonra elde edilen sınıflar, Şekil 2'deki skalaya uygun olarak çok yüksek, yüksek, orta, düşük, çok düşük çeşitlilik veya arası kategorilere göre isimlendirilirler.



Şekil 2. EU yöntemine göre liken çeşitlilik kategorileri skalası (Asta ve diğ., 2003). Kaynağa uygun olarak Türkçeleştirilmiştir.

Harita üzerinde örnekleme yapılan her bölümün sınıfı belirlenir ve sınıfı sembolize eden özel işaretler veya renklerle boyanarak kirlilik haritası oluşturulur. Günümüzde GIS (Geographical Information System) programları ile haritalama işlemi bilgisayar ortamında da yapılabilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Orman Servisi Amerika'nın tüm eyalet ve yerleşkelerinde, yukarıda bahsedilen likenlerden yararlanarak hava kirliliği izleme yöntemlerini uygulamakta ve GIS programları yardımıyla hava kirliliğinin düzeyini düzenli takip etmektedir (US Forest Service, 2010). Avrupa ve Amerika'da araştırmacılar ve çevre koruma konusunda yetkili kurum ve kuruluşlar buna benzer pek çok proje gerçekleştirmektedir. Ne yazık ki, Türkiye'de likenler kullanılarak hava kirliliğinin seyri

gerçekleştirilen il sayısı oldukça sınırlıdır. Ülkemizin farklı illerinde gerçekleştirilecek bu çalışmalar arttırılmalı ve küresel bilgi sistemlerinden faydalanılarak veri tabanları oluşturulmalıdır. Ayrıca bu verilerin güncelliğinin sağlanması çevre korumadan sorumlu kuruluşlar tarafından sürdürülmelidir. Böylece yaşanan ortamdaki havanın kalitesi hakkında bilim insanlarının ve halkın aktif şekilde bilgi edinmesi mümkün olabilecektir.

Kaynaklar

- Anonim (2009a). Adalet Bakanlığı Resmi Sitesi, <http://www.mevzuat.adalet.gov.tr/html/20742.html>)
- Anonim (2009b). Çevre ve sağlık, Sağlık Bakanlığı Resmi Sitesi, http://www.saglikbakanligi.com/html_files/bilgi/CEVRE_VE_SAGLIK/ CVS-5.htm
- Anonim (2001). Hava Kirliliğine Genel Bakış. Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı, Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü, Ankara.
- Asta, J., Erhardt, W. Ferretti, M. Fornasier, F., Kirschbaum, U., Nimis, P. L., Purvis, O. W. Pirentos, S., Scheidegger, C., Van Haluwyn C. & Wirth, V. (2003). European Guideline for Mapping Lichen Diversity as an Indicator of Environmental Stres.
- Bychek-Guschina, I. A., Kotlova, E. R. & Heipieper, H. (1999). Effects of sulphur dioxide on lichen lipids and fatty acids. *Biochemistry*, 64 (1), 61–65.
- Carreras, H. A., Wannaz, E. D. & Pignata M. L. (2009). Assessment of human health risk related to metals by the use of biomonitors in the province of Córdoba, Argentina, *Environmental Pollution*, 157, 117–122.
- Chant, L. A., Andrews, H. R., Cornett, R. J. Koslowsky V., Milton J. C. D., Van Den Berg, G. J., Verburg, T. G. & Wolterbeek, H. T. (1996). ¹²⁹I and ³⁶Cl concentrations in lichens collected in 1990 from three regions around Chernobyl. *Applied Radiation and Isotopes*, 47, (9-10), 933-937.
- Conti, M. E., & Cecchetti G. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment-a review. *Environmental Pollution*, 114 (3), 471-492.
- Corrêa, S. M., & Arbillab, G. (2006) Aromatic hydrocarbons emissions in diesel and biodiesel exhaust. *Atmospheric Environment*, 40, 6821–6826.
- Doğrul, A., Akyol, N. H., Yolcubal, İ. & Çobanoğlu, G. (2007). Kocaeli ili çevresinde atmosferik ağır metal çökeliminin karayosunu ve liken analizi yöntemiyle belirlenmesi, 60. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, (16-22 Nisan 2007) Bildirileri*, Ankara.
- EPA (2009). Environment Protect Agency Resmi Sitesi, www.epa.gov/air/criteria.html
- Garty, J., Kauppi, M. & Kauppi, A. (1995). Differential responses of certain lichen species to sulphur-containing solutions under acidic conditions as expressed by the production of stress ethylene. *Environmental Research*, 69, 132–143.

- Geiser, L. H. & Neitlich, P. N. (2007). Air pollution and climate gradients in western Oregon and Washington, Indicated by epiphytic macrolichens. *Environmental Pollution*, 145, 203-218.
- Hauck, M. & Jurgens, S. R. (2008). Usnic acid controls the acidity tolerance of lichens. *Environmental Pollution*, 156, 115-122.
- Hauck, M., Jurgens, S., Brinkmann, M. & Herminghaus, S. (2008) Surface Hydrophobicity Causes SO₂ Tolerance in Lichens, *Annals of Botany* 101 (4), 531–539.
- Heller-Zeisler, S. F., Zeisler, R., Zeiller E., Parr, R. M., Radecki, Z., Burns, K. I. & De Regge P. (1999). Report on the intercomparison run for the determination of trace and minor elements in lichen material IAEA-336. Section for Nutritional and Health-related Environmental Studies, International Atomic Energy Agency, Division of Human Health and Analytical Quality Control Services, Agency's Laboratories, Seibersdorf.
- Munzi, S., Ravera, S. & Caneva, G. (2007). Epiphytic lichens as indicators of environmental quality in Rome, *Environmental Pollution*, 146, 350-358.
- Nash, T. H. (1996). *Lichen Biology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Ozdemir, A. (1992). Hava Kirliliği ve Likenler. *Ekoloji*, 3, 18-21.
- Öztürk, M. (2005). Şehir içi bölgelerde hava kirliliğinin sağlık üzerine etkileri, Çevre Bakanlığı, Ankara.
- Palomäki, V., Tynnyrinen, S. & Holopainen, T. (1992). Lichen transplantation in monitoring fluoride and sulphur deposition in the surroundings of a fertilizer plant and a strip mine at Siilinjärvi, *Annales Botanici Fennici*, 29, 25-34.
- Policnik, H. Primoz, S. & Batic, F. (2008). Monitoring air quality with lichens: A comparison between mapping in forest sites and in open areas. *Environmental Pollution*, 151, 395-400.
- Sarret, G., Manceau, A., Cuny, D., Van Haluwyn, C., Deruelle, S., Hazemann, J. L., Soldo, Y., Eybert-Bérard, L. & Menthonnex, J. J. (1998). Mechanism of lichen resistance to metallic pollution. *Environmental Science & Technology*, 32, 3325-3330.
- Saunders, P. J. W. (1970). Air pollution in relation to lichens and fungi. *Lichenologist*, 4, 337-349.
- Shirtcliffe N. J., Pyatt, F. B., Newton, M.I. & McHale, G. A. (2006). Lichen protected by a super-hydrophobic and breathable structure, *Journal of Plant Physiology*, 163, 1193-1197.
- Sommerfeldt, M. & John, V. (2001). Evaluation of a method for the reassessment of air quality by lichen mapping in the city of Izmir, Turkey, *Turkish Journal of Botany*, 25, 45-55.
- US Forest Service (2010). United States Forest Service Web Site, National Lichens & Air Quality Database and Clearinghouse <http://gis.nacse.org/lichenair/index.php>
- WHO (2006). Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005-Summary of risk assessment, İsviçre.
- Yenisoy-Karakas 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., *The Science of the Total Environment*, 329 (1), 43-60.

Zschau, T., Getty, S., Gries, C., Ameron, Y., Zambrano, A. & Nash, T. H. (2003). Historical and current atmospheric deposition to the epilithic lichen *Xanthoparmelia* in Maricopa Country, Arizona, *Environmental Pollution*, 125 (1), 21-30.