

# HAVA KİRLİLİĞİNİN İZLENMESİNDE LİKENLERİN KULLANIMI: KOCAELİ İLİ ÖRNEĞİ

**İrfan YOLCUBAL\***

Kocaeli Üniv. Jeoloji Müh. Böl.,  
41380 - Kocaeli,  
yolcubal@kocaeli.edu.tr

**Ayda DOĞRUL**

İstanbul Teknik Üniv. Jeoloji Müh. Böl.,  
34469-İstanbul,  
dogrulayda@gmail.com

\*Yayıncıdan sorumlu yazar

Hava kirliliği, hızla sanayileşen ve kentleşen ülkemizde ve dünyada ciddi boyutlara ulaşmıştır. Nüfus artışı ile bağlantılı olarak araç sayısında ve ısınma gereksinimindeki artış, düşük kaliteli yakıt kullanımı, sanayii tesislerinde hava kirliliğini önlemek için yeterli ve gerekli tedbirlerin alınmaması hava kirliliğinin boyutlarını daha da arttırmıştır.



Şekil 1. TÜPRAŞ'ın bulunduğu Kocaeli Körfez ilçesinin kuzeyden bir görünümü.

Ülkemizin önemli sanayi merkezlerinden biri olan Kocaeli ili de bu hızlı sanayileşme sürecinin getirdiği olumsuz çevresel sorunlardan nasibini alan illerimizin başında gelmektedir (Şekil 1). 1960'lı yıllardan beri bölge, gittikçe artan oranda yoğun ve kontrolsüz sanayileşmeye, hızlı nüfus artışına ve düzensiz şehirleşmeye maruz kalmıştır. Bunların kaçınılmaz sonuçlarından olan hava kirliliği ve hava kirliliği ile bağlantılı olarak gelişen atmosferik kirlenme bölgedeki en önemli çevresel sorunlar arasında yer alır. 1990'lı yılların başından itibaren ilde kirliliği kontrol altına almak ve azaltmak için ciddi önlemler alınmasına rağmen kirlilik seviyeleri bölgede halen yüksek seviyelerdedir.

Hava kirliliği, havadaki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlılara ve ekolojik dengeye zarar verecek miktar, yoğunluk ve sürede atmosferde bulunmasıdır. Hava kirlenmelerinin miktarlarını ölçmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Ölçümler, analitik cihazlarla yapılabildiği gibi, biyoindikatör organizmalar yardımıyla

da yapılabilmektedir. Biyoindikatör organizmalar kirlenmelerin çevre üzerinde etkilerini ayırt etmek ve ölçmek için kullanılan canlılardır. Biyoindikatör organizmalar ile hava kalitesinin belirlenmesinin avantajı, ölçümün, o yöreye ait hava kalitesi hakkında anlık değil, uzun döneme ait bilgi vermesidir. Geniş coğrafik alanlarda hava kalitesinin farklılığının değişimini haritalamada kullanılabilir. Ayrıca, klasik izleme yöntemlerine göre oldukça ucuzdur. Biyoindikatör organizmalar geniş yayımlıdır ve edilmeleri de kolaydır.

Likenler, hava kalitesinin izlenmesinde ve atmosferik kirlenme çökeltiminin belirlenmesinde sıkça kullanılan biyoindikatör organizmalardır (Şekil 2). Atmosferik kirlenmelere duyarlı organizmalar olan likenler, SO<sub>2</sub> kirliliği, NO<sub>x</sub> kirliliği, ağır metaller radyoaktif elementler, PAH ve PCB gibi birçok kirlenme türünün izlenmesi çalışmalarında kullanılmışlardır[1]. Likenler Avrupa ve Amerika'da hava kirliliğinin izlenmesi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2. Ağaç gövdesi üzerinde gelişen efetik bir liken türü olan *Xanthoria parietina*.

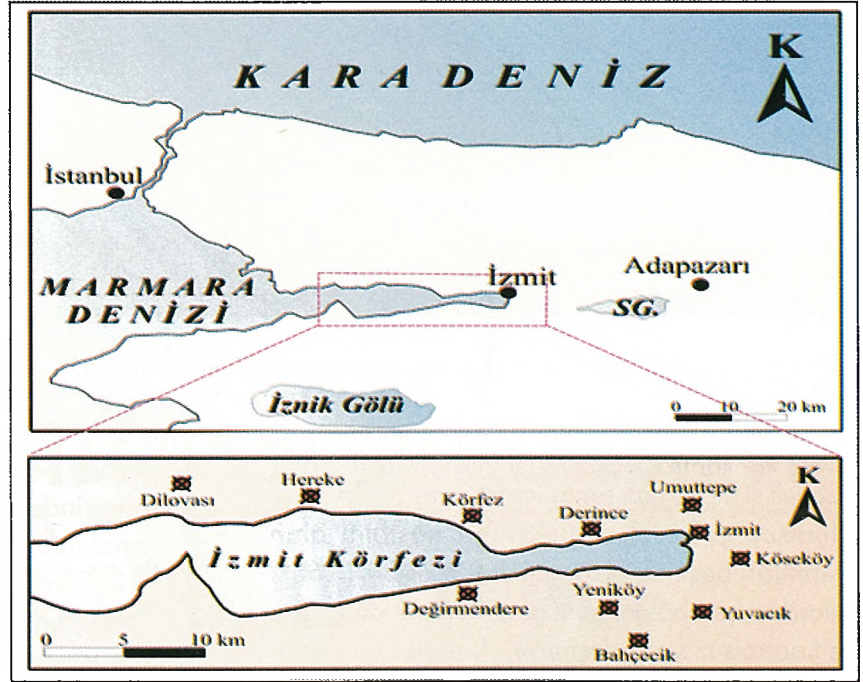
Son yıllarda ülkemizde bu yöndeki çalışmalarda bir artış görülmesine karşın çalışmalar halen oldukça sınırlıdır [2,3].

Yeryüzünde çok geniş bir yayılımı olan likenler, hava kirliliğini kalitatif ve kantitatif saptamada özel yeri olan canlılardır. Likenler, mantarlar ile alglerin ya da mantarlar ile siyanobakterilerin ortak yaşam ürünü olan canlılardır. Likenin mantar bileşeni birlikteliğe su ve mineralleri sağlarken, alg bileşeni de fotosentez yaparak besin üretir. Likenler, oldukça yavaş büyüyen (~mm/yıl) ve uzun yaşayan canlılardır (9000 yıl). Yeryüzünün hemen hemen her bölgesinde yaşayabilen likenler, özellikle kayaların ve toprak yüzeylerinin üzerinde, ağaç kabuklarının üzerinde gelişirler. Morfolojilerine göre kabuksu, yapraksı ve dalsı olarak üçe ayrılırlar. Hava kalitesi çalışmalarında en çok tercih edilen türler, epifitik ve yapraksı likenlerdir.

Likenler gerçek köklerinin olmayışı nedeniyle gerekli besinlerini yalnızca yağmur suyundan absorpsiyonla alırlar. Geniş yüzey alanlarına sahiptirler ve onları atmosferik etkilerden koruyucu tabakaları yoktur. Bu sebeplerden dolayı en küçük atmosferik değişimlere dahi duyarlıdırlar. Kuru ya da ıslak atmosferik çökelimle yüzeylerine ulaşan kirlenmeleri bünyelerinde biriktirdiklerinden dolayı biyoindikatör organizma olarak tercih edilmişlerdir [1].

Bu çalışmanın amacı biyoindikatör organizmalar olan likenleri kullanarak Kocaeli ili çevresinde meydana gelen atmosferik ağır metal çökelinin alansal dağılımını ve seviyeleri tespit etmek ve potansiyel kirlenici kaynakları belirlemektir [4].

Biyozelme çalışmaları Kocaeli ilinin sanayileşmiş (Dilovası, Körfez), kentsel ve kırsal (Yuvacık, Bahçecik ve Umuttepe) kesimlerinde bulunan 11 istasyonda yürütülmüştür (Şekil 3). Bu çalışmada ayrıca gelecekte yürütülecek hava kalitesi izleme çalışmaları için referans olacak bölgedeki ağır metal çökelinin taban seviyeleri belirlenmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve örnekleme istasyonları.

## Metot

Çalışma, araziden örneklerin toplanması, laboratuvarında numunelerin analize hazırlanması ve verilerin istatistiksel analizini içeren üç ana aşamada sürdürülmüştür. Örnekler istasyonlarda bir noktadan değil belirli bir alandan toplanmış ve genellikle, ana yollar ve yerleşim yerlerinden en az 300 metre, evler ve tali yollardan ise en az 100 metre uzaktan alınmıştır[5]. İnceleme alanındaki istasyonlardan 38 liken örneği alınmıştır. Toplanan liken örnekleri, ağaç kabuğu üzerinde gelişen *Xanthoria parietina*, *Evernia prunastri*, *Physcia adscendens*, *Parmelia sulcata*, *Ramalina fastigiata* ve toprak üzerinde gelişen *Cladonia convoluta* ve *Cladonia rangiformis* olmak üzere toplam 7 farklı türdür. Baskın tür *X. parietina*'dır.

Toplanan örnekler temizlenme ve yıkanma, kurutma, tane boyutunun küçültülmesi ve yakma olmak üzere 4 işlemden geçirilerek analiz edilmeye hazır hale getirilmiştir. Yakma işlemi, toz haline getirilen örneklerden birer gram alınarak 2 ml. HNO<sub>3</sub> içinde bir saat tutulup, ardından, 6 ml. 2-2-2 HCl-HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O karışımı içinde 95°C'da yakılarak 20 ml.'ye seyreltilmesidir. Örneklerdeki As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Ti, V, Zn elementlerinin konsantrasyonları ICP-MS (ACME Labs., Kanada) ile analiz edilmiştir. Toplanan liken örneklerinin yanı sıra, IAEA-336 liken referans materyali de aynı analitik aşamalara tabii tutulmuş; analiz sonuçlarının sertifika değerleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

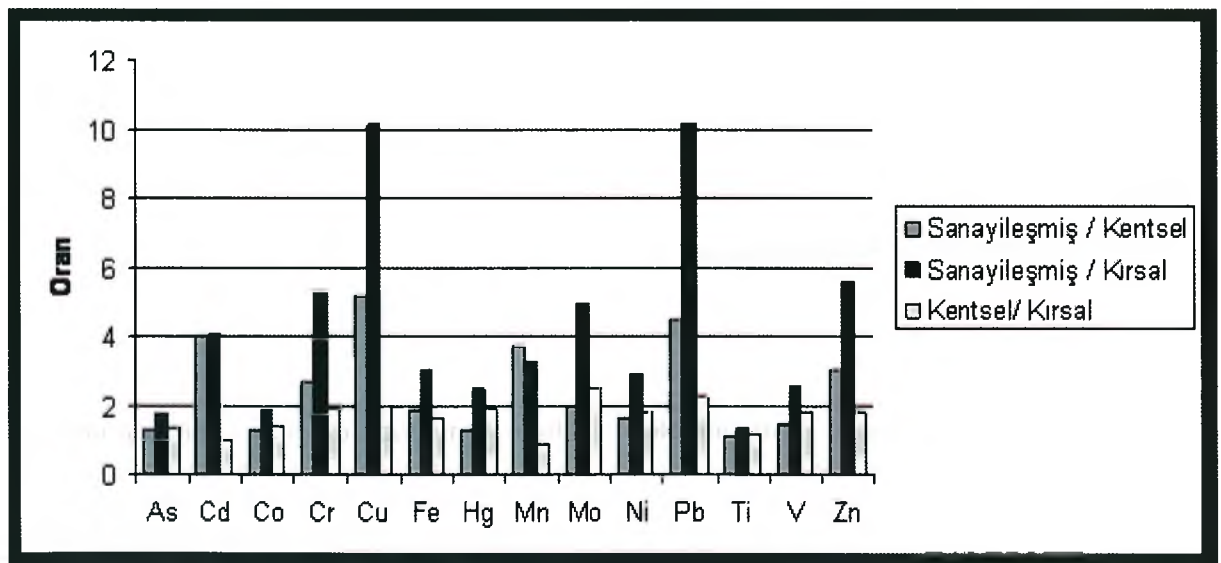
## Sonuç

Tablo 1'de sanayileşmiş, kentsel ve kırsal alanlardan toplanan liken örneklerinin ortalama metal konsantrasyonları verilmiştir. Kırsal alana dahil istasyonlardan toplanan örnekler genellikle birbirlerine oldukça yakın element konsantrasyonları sergilemektedir. Pek çok metale ait düşük standart sapma değerleri bunun bir göstergesidir. Dolayısıyla kırsal alan istasyonlarının benzer oranda metal çökeline maruz kaldığı söylenebilir. Kocaeli'nin kırsal alanının metal çökeline maruz kalıp kalmadığını incelemek

için, Portekiz'in temiz alanlarından toplanarak elde edilen IAEA-336 liken referans malzemesi ile bir kıyaslama yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçlarına göre, Kocaeli kırsal alanının, IAEA-336 liken referans materyaline göre, Hg hariç diğer metallerde, yaklaşık 1,4-4,4 kat daha fazla konsantrasyonlar sunduğu görülür. Diğer bir deyişle, Kocaeli ilindeki diğer alanlara göre daha az kirlenmeye maruz kalmışsa da gerçekte pek çok metale kirlenmiş olduğu görülmektedir.

Kentsel alana ait likenlerdeki metal konsantrasyonlarının ortalamaları kırsal alan ortalamalarına oranlanarak, kentsel alanın hangi metallerce kirlenmiş olduğu araştırılmıştır. Kentsel alanda en belirgin kirleticilerinin kurşun, molibden, bakır ve krom olduğu, fakat genelde kentsel ve kırsal alandaki metal çökelimlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür (Şekil 4). Kentsel alana dahil istasyonlar içinde en yoğun metal çökeline sahip istasyon Hereke'dir. Hereke'de en yoğun olarak görülen kirlenici kurşundur. Bunu takip eden başlıca kirlenmeciler ise çinko, kadmiyum ve civa'dır.

Benzer şekilde, sanayileşmiş alana ait likenlerdeki metal konsantrasyonlarının ortalamaları, kırsal alan ortalamalarına oranlanmış ve sanayileşmiş alanın kırsala göre, 10 kata kadar daha fazla metal çökeline maruz kaldığı görülmüştür (Şekil 4).



Şekil 4. Liken örneklerinde sanayileşmiş alan ve kentsel alan metal konsantrasyon ortalamalarının kırsal alan ortalamaları ile karşılaştırılması.

Kentsel alana göre ise yaklaşık 1-5 kat daha fazla çökeltim söz konusudur. Sanayileşmiş alanda özellikle bakır, kurşun, çinko, kadmiyum, molibden ve krom kirlilikleri kentsel ve kırsal alandan yüksek farklılaşma sergilemektedir. Sanayileşmiş istasyonların içinde en yoğun metal çökeltimi Dilovası'nda gözlenmektedir (Tablo 1). As hariç tüm elementlerde, maksimum konsantrasyonlara Dilovası örneklerinde rastlanmıştır. As, Cu, Hg konsantrasyonları Dilovası örneklerinde minimum iken, diğer metaller için minimum değerler Körfez örneklerinde görülmüştür (Tablo 1).

İstasyonlar bazında bir değerlendirme yapıldığında, Kocaeli'de çalışılan 11 istasyon içinde Dilovası'nın en yoğun atmosferik metal çökeltimine maruz kaldığı görülür. Bahçecik kırsalı ise analiz edilen 14 elementten 10'u için en düşük konsantrasyonları vererek en düşük metal çökeltimine maruz kalmış olan istasyon olarak belirlenmiştir.

Kentsel alandan toplanan liken örneklerinde Pearson korelasyon katsayıları incelendiğinde, sanayileşmiş alanda gözlenen yüksek korelasyonlar

gözlenmemekle birlikte, pek çok metal arasında 0,503 ile 0,977 arasında değişen korelasyon katsayılarına rastlanmıştır. 0,9 ve üzerinde ve 0,01 anlamlılık düzeyindeki korelasyonların çoğu yine özellikle metal sanayisinde yoğun olarak kullanılan Cr, Co ve Fe gibi kirleticiler arasında görülmektedir. Sanayileşmiş alanda liken örnekleri incelendiğinde, 0,01 anlamlılık düzeyinde pek çok metal arasında 0,690 ile 0,991 arasında değişen pozitif korelasyonlar gözlenmiştir. Özellikle boya ve metal(demir çelik) sanayisinden kaynaklanan Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Ti ve V gibi kirleticiler arasında yüksek pozitif korelasyonlar (0,909 ile 0,991 arasında) dikkat çekicidir. Tüm istasyonlar birlikte değerlendirildiğinde ise trafik kaynaklı Pb, Cd, Zn, Cu, Cr, Ni ve Co metalleri arasında da 0,01 anlamlılık düzeyinde 0,75 ile 0,95 arasında değişen pozitif korelasyonlar gözlenmiştir.

Sonuç olarak, Kocaeli'de özellikle sanayileşmiş bölgede, hava kirliliği ciddi boyutlara ulaşmıştır. Özellikle metal (demir-çelik) sanayii ve kimya sanayii, yoğun olarak görülen kirleticilerin ana kaynağı gibi gözükmektedir. Bu yoğun kirlenmede

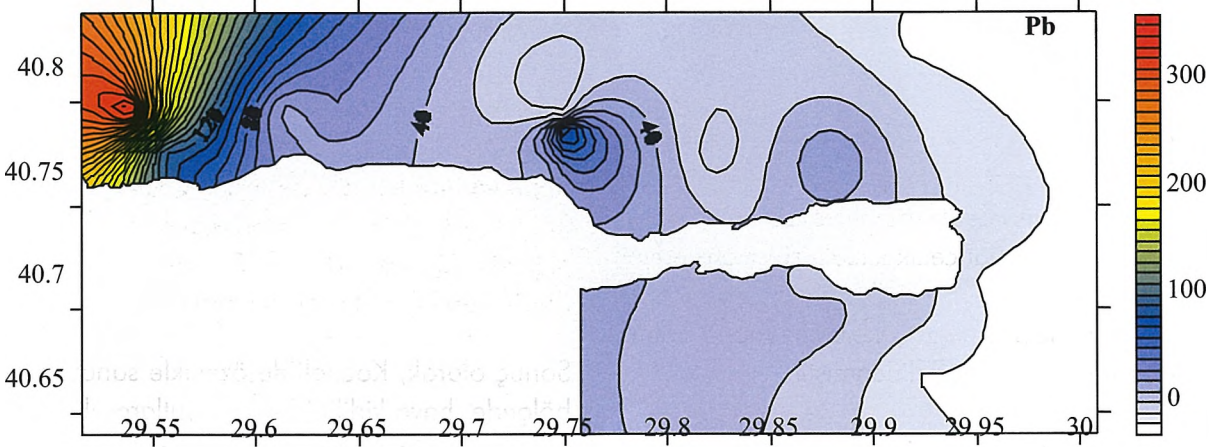
Tablo 1. Liken örneklerindeki metal konsantrasyonları (Aritmetik Ortalama  $\pm 1\sigma$ )

Element (ppm)	Sanayileşmiş		Kentsel (n= 19)	Kırsal (n = 6)
	Dilovası (n=6)	Körfez (n=7)		
As	1,97 $\pm$ 1,16	1,86 $\pm$ 1,02	1,46 $\pm$ 0,74	1,08 $\pm$ 0,49
Cd	3,22 $\pm$ 1,90	0,52 $\pm$ 0,22	0,44 $\pm$ 0,26	0,44 $\pm$ 0,13
Co	1,60 $\pm$ 1,11	0,91 $\pm$ 0,63	0,93 $\pm$ 0,54	0,66 $\pm$ 0,14
Cr	28,90 $\pm$ 21,39	9,66 $\pm$ 6,93	6,80 $\pm$ 3,55	3,52 $\pm$ 0,54
Cu	137,94 $\pm$ 272,84	14,46 $\pm$ 5,60	13,75 $\pm$ 5,80	7,04 $\pm$ 2,45
Fe	6540 $\pm$ 5028,84	2457,14 $\pm$ 1353,31	2361,05 $\pm$ 1451	1423,33 $\pm$ 444,78
Hg	0,17 $\pm$ 0,09	0,13 $\pm$ 0,03	0,11 $\pm$ 0,05	0,06 $\pm$ 0,02
Mn	466,67 $\pm$ 394,64	89,86 $\pm$ 55,41	71,05 $\pm$ 50,28	80,33 $\pm$ 46,21
Mo	0,88 $\pm$ 0,65	0,31 $\pm$ 0,19	0,29 $\pm$ 0,16	0,12 $\pm$ 0,01
Ni	11,40 $\pm$ 6,89	5,39 $\pm$ 3,47	5,00 $\pm$ 2,83	2,77 $\pm$ 0,69
Pb	225,85 $\pm$ 116,72	48,95 $\pm$ 38,74	28,91 $\pm$ 23,30	12,90 $\pm$ 6,26
Ti	58,83 $\pm$ 37,64	29,71 $\pm$ 13,52	38,79 $\pm$ 21,91	32,33 $\pm$ 14,12
V	20 $\pm$ 15,08	7,14 $\pm$ 3,67	7,42 $\pm$ 3,67	4,17 $\pm$ 0,98
Zn	1037, 56 $\pm$ 1001	174, 39 $\pm$ 71,12	139,93 $\pm$ 75,85	75,73 $\pm$ 33,06

sanayileşmenin yoğun olmasının yanı sıra fosil yakıtların ve yağyakıt yakışının etkisinin de olduğu düşünülmektedir. Özellikle, Kocaeli’de kırsal alanlar dahil tüm alanlarda yoğun biçimde görülen Pb kirlenmesinde fosil yakıtların önemli bir etkisinin olduğu düşünülmektedir (Şekil 5). Buna ek olarak trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin etkisi de bölgede kentsel ve sanayileşmiş alanlarda tespit edilmiştir.

Trafik kökenli kirlenme, kaliteli yakıt kullanımı ve trafiğe çıkan araç sayısında yapılacak iyileştirme ile azaltılabilir.

Sanayi kuruluşlarından kaynaklanan kirlenme, emisyonu uygun arıtım yöntemi kullanılması ile azaltılabilir. Yine, meskenlerde kullanılan yakıt kalitesinin artırılması, iyileştirici yöntemler arasında sayılabilir.



Şekil 5. Kocaeli bölgesinde kurşun konsantrasyonunun (ppm) alansal dağılımı. *Xanthoria parietina* liken türü Pb'nun bölgede alansal dağılımını belirlemede kullanılmıştır.

Çalışılan bütün istasyonlar göz önüne alındığında, Dilovası istasyonunun en yoğun metal çökeline maruz kalan istasyon olduğu görülür. Dilovası Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan 193 kuruluş içinde, ağırlıklı olarak kimya sanayi ve metal sektöründe faaliyet gösteren kuruluşlar göze çarpmaktadır. Bu sektörlerin baskın olması, Dilovası'nın topografik yapısı, Türkiye'nin en işlek yollarına yakınlığı sebebiyle, metal kirlenmesinin oldukça yoğun olduğu söylenebilir.

Çalışmamızın sonuçları ile, insanların soludukları havayı, içtikleri su gibi arıtmadan geçirme şansları olmadan vücutlarına aldıkları ve bu kirlenmelerin insan sağlığına olan olumsuz etkileri birlikte düşünülürse, Kocaeli için, özellikle de aşırı biçimde metal çökeline maruz kalan Dilovası için, acil önlemler alınmasının gerekliliği daha iyi anlaşılır.

Hava kirliliği ile mücadelede izlenecek yöntemler, kirlenme kaynağı ve kirlenme türüne göre değişir.

## Kaynaklar

- [1] Wolterbeek, H.T., Garty, J., Reis, M.A. & Freitas, M.C. 2003. Biomonitors in use: lichens and metal air pollution. In Market, B.A., Breure, A.M. & Zechmeister, H.G. (eds) Bioindicators and biomonitors. Elsevier, Oxford, p 377-419.
- [2] Doğrul, A., Kocaeli ili çevresinde atmosferik ağır metal çökeline maruz kalan bölgelerin liken ve karayosunu analizi yöntemiyle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007.
- [3] Uğur, A., Özden, B., Saç, M.M., Yener, G., Altınbaş, Ü., Kurucu, Y., Bolca, M. 2004. Lichens and mosses for correlation between trace elements and <sup>210</sup>Po in the areas near coal-fired power plant at Yatağan, Turkey. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 259, 87-92.
- [4] Yenisoay-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. Science of the Total Environment, 329, 43-60.
- [5] Rühling, A., Tyler, G., 2004. Changes in the atmospheric deposition of minor and rare elements between 1975 and 2000 in south Sweden, as measured by moss analysis, Environmental Pollution, 131, 417-423.