

EGE BÖLGESİ'NDE KİRLİLİK KAYNAKLI METALLERİN COĞRAFİK DAĞILIMI

Semra G. TUNCEL*, Serpil YENİSOY-KARAKAŞ

ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Ankara

ÖZET

Ege Bölgesi'nde 51 800 km²'lik bir alandan 234 Xantoria parietina liken örneği toplanmış ve 35 elementin konsantrasyonları INAA ve ICP-AES ile tayin edilmiştir. Elde edilen veriler literatür değerleri ile karşılaştırılarak Ege Bölgesi'nin kirlilik düzeyi tespit edilmiştir. As, Al, Ce, Fe, La, Sc, Cr, Cu ve Ti elementlerinin ortalama konsantrasyonları, farklı ülkelerdeki kırsal değerlerden genellikle daha yüksekken, Mn konsantrasyonu daha düşüktür. Ege Bölgesi'ndeki Al, As, Cl, Cs, Th ve U konsantrasyonları bölgesel ya da ulusal çalışmalarla karşılaştırıldığında daha yüksek, Mn ve Pb değerleri daha düşüktür.

Önemli yerel kaynaklarının ve etki alanlarının tespiti için kirlilik kaynaklı elementlerin konsantrasyon dağılım haritaları çıkarılmıştır. Nüfusun ve endüstrileşmenin fazla olduğu bölgelerde As ve Se konsantrasyonları yüksektir. Civa konsantrasyonları, en önemli kaynağın Yatağan Termik Santrali ve Aydın ili olduğunu göstermiştir. Kalabalık şehirlerde, ana yollara yakın bölgelerde, deniz kıyısındaki tatil bölgelerinde ve Aliğa bölgesinde yüksek kurşun konsantrasyonları gözlenmiştir.

Elementlerin coğrafik konsantrasyon dağılımlarına göre bölgedeki en önemli kirlilik kaynakları, demir-çelik fabrikaları, kentlerde kömür kullanımı, endüstri aktiviteleri ve bölgedeki iki önemli termik santraldir.

Anahtar Sözcükler: Liken; Metaller; Kirlilik Haritası, Ege Bölgesi; Hava Kirliliği

ABSTRACT

Two hundred thirty four samples of lichen Xanthoria parietina collected from 51800 km² area of Aegean Region of Turkey were analyzed by INAA and ICP-AES for 35 elements. The pollution levels in Aegean Region were determined by comparing the produced data with literature values. The mean concentrations of elements As, Al, Ce, Fe, La, Sc, Cr, Cu and Ti were generally higher than the baseline concentrations in the rural areas of different countries. However the mean concentration of Mn was lower than the baseline concentrations.

The concentration distribution plots of 19 (As, Se, Hg, Cu, Pb, Sb, Cd, Zn, Al, Fe, Ni, Cr, Mn, La, V, Ca, Na, K and Mn) elements were prepared to see the important local pollution sources and their impact areas in the region. The concentrations of As and Se were high in places with high population and/or industrialization. Mercury concentrations values signaled the most important source areas as Yatagan coal-fired power plant and Aydın. Lead is related with vehicle emissions at coastal sites like Cd.

* semratun@metu.edu.tr

According to the geographical concentration distribution maps of elements, the important pollution sources were iron-steel plants, coal burning in the cities, industrial activities and two important coal-fired power plants.

Keywords: Lichens; Metals; Distribution Maps; Aegean Region; Air Pollution

GİRİŞ

Have kirliliği çalışmalarında, yarı ya da tam otomatik ölçüm cihazları yüksek maaliyetleri sebebi ile yaygın olarak kullanılamamakta, bu cihazlarla kirleticilerin nicel ya da nitel olarak izlenmesi ancak seçilen birkaç noktada gerçekleştirilebilmektedir. Diğer metodlarla karşılaştırıldığında, geniş alanlar için kirlilik tespiti için biyo-izleme metodunun kullanılması kolay, ucuz ve dolaylı bir yoldur. Biyo-izleme, genel olarak, seçilen bir organizmanın bulunduğu çevrenin kalitesi hakkında bilgi vermek üzere kullanılmasıdır. Çevresel değişikliklerin tespitinde, erken uyarı sistemi olarak etkili olan bitkiler, biyo-izleme için en uygun organizmalar olarak bilinmektedir (Markert ve arkadaşları, 1996). Belirlenmiş zaman aralığı içinde kirleticileri tutan ve biriktiren bitkiler, kısa dönem değişikliklerden de etkilenmez. Uygun ve seçilen alanda yaygın olarak bulunan bitkiler kolayca örneklenip toplam element katkısının lokal dağılımın tespiti için kullanılabilir (Reimann ve arkadaşları, 1999).

Kökleri ile besinlerinin bir kısmını topraktan alan büyük bitkilerle karşılaştırıldığında, köksüz yapıdaki bitkiler, biyo-izleme için daha uygundur. Elementler, köksüz bitkilerde, bu organizmaların büyük yüzey alanları ve kabuksuz yapıları sayesinde direk olarak ve sadece atmosfer yolu ile birikir. Bunun yanında, bu tip bitkilerde diğer bitkilerdeki gibi mevsimsel yapı değişiklikleri de olmamaktadır. Köksüz yapıdaki likenler ve yosunlar, uzun dönem hava kirliliği ve çevresel değişikliklerin araştırılmasında sıkça kullanılmaktadır. Bu bitkiler en çok nokta ve alansal emisyon kaynaklarının bulunduğu bölgelerde lokal çökeltmenin izlenmesi ve dünyanın pek çok bölgesinde, bölgesel atmosferik çökeltmenin tespitinde kullanılmıştır (Carreras ve Pignata, 2002; Figueira ve arkadaşları, 2002; Caritat ve arkadaşları, 2001).

Bu çalışmada, endüstrinin ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu Ege Bölgesi'ndeki hava kirliliğinin tespiti için likenler kullanılmıştır. Bölgede en fazla görülen liken tipi olduğu için *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. seçilmiştir. Çalışmanın amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Ege Bölgesi'nde ilk defa bir biyo-izleme ağının kurulması
2. Belli elementler için, üretilen verilerin benzer çalışmalarla karşılaştırılmasının yapılarak bölgesel kirliliğin tespiti
3. Yerel dağılımların tespiti
4. Sonuçların lokal emisyon kaynaklarının ve etki alanlarının tanımlandığı haritalarla sunulması
5. Gelecekte yapılacak benzer çalışmalar için veri seti oluşturulması.

MATERYAL VE METOD

Örnekleme

Ege Bölgesi'nde 51800 km²'lik bir alandan *Xanthoria parietina* liken örnekleri toplanmıştır. Örnekleme stratejisi bölgenin topografik yapısı, bölgedeki şehirleşme ve endüstrileşme göz

önüne alınarak yapılmıştır. Şehirleşmenin yoğun olduğu kıyı bölgeleri 10 × 10 km, iç bölgelerde 40 × 40 km'lik gritlere ayrılmıştır. Örnekleme noktaları Şekil 1'de verilmiştir. Likenler, üzerinde yaşadıkları ağaç kabukları ile birlikte, yerden 1-2 m yükseklikten toplanmıştır. Farklı yönlerden esen rüzgarların ve farklı kaynakların etkisini azaltmak için, her grit içinde birbirine yakın 3-7 ağaçtan, birden fazla örnek alınmıştır. Bir gritten toplanan tüm örnekler, o grit için tek bir tipik örnek oluşturmak üzere birleştirilmiştir. Örnekler ana yollardan, tarlalardan, yerleşim yerlerinden ve endüstriyel faaliyetlerden en az 300-500 m uzaktan alınmıştır. Örnekleme Kasım 1998-Ocak 1999 periyodu içinde yapılmış ve 234 örnek toplanmıştır. Örnekleme sırasında polietilen eldivenler ve poşetler kullanılmıştır.

Toplanan örnekler deiyonize su içinde 30 saniye bekletilip çalkalandıktan sonra liken yapısı ağaç kabuğundan naylon cımbız yardımı ile ayrılmıştır. Katlanmış filtre kağıtlarında, temiz cam kutu içinde yaklaşık bir gün oda sıcaklığında kurutulan liken örnekleri, polietilen poşetlerde saklanmıştır.

Analiz

Enstrümental Nötron Aktivasyon (INAA) analizleri, ABD'deki MIT Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Örnekler pnematik tüp sistemi ve 8×10^{12} n.cm⁻¹.s⁻¹ nötron akısı ile, 4.9 MW MITR-II araştırma reaktöründe ışınlanmıştır. Ölçümlerin doğruluğu, standard referans maddeler (NBS SRM 1633: Coal fly ash, NBS SRM 1571: Orchard leaves, IAEA 336: Trace elements in lichen ve NIST 8408 Mercury in sediment) ile rutin olarak kontrol edilmiştir. INAA analizlerinin detaylı prosedürü Karakaş ve arkadaşları (2002) tarafından başka bir çalışmada sunulmuştur.

ICP-AES analizleri için örnekler, 200 mg liken için 8 mL, %65 HNO₃ (Merck, Ekstra saf), 2 mL %35 H₂O₂ (Merck, Ekstra saf) ve 0,5 mL % 38-40 HF (Merck, Ekstra saf) asit karışımı kullanılarak, mikrodalga özütleme fırını ile özütlenmiştir. ICP-AES ile yapılan analizlerin doğruluğu IAEA 336 ve NIST 1571 standart referans maddeleri ile rutin olarak kontrol edilmiştir. Bu analizlerin detaylı prosedürü Tuncel ve arkadaşları (2003) tarafından başka bir çalışmada sunulmuştur.

Elementlerin Dağılım Haritaları

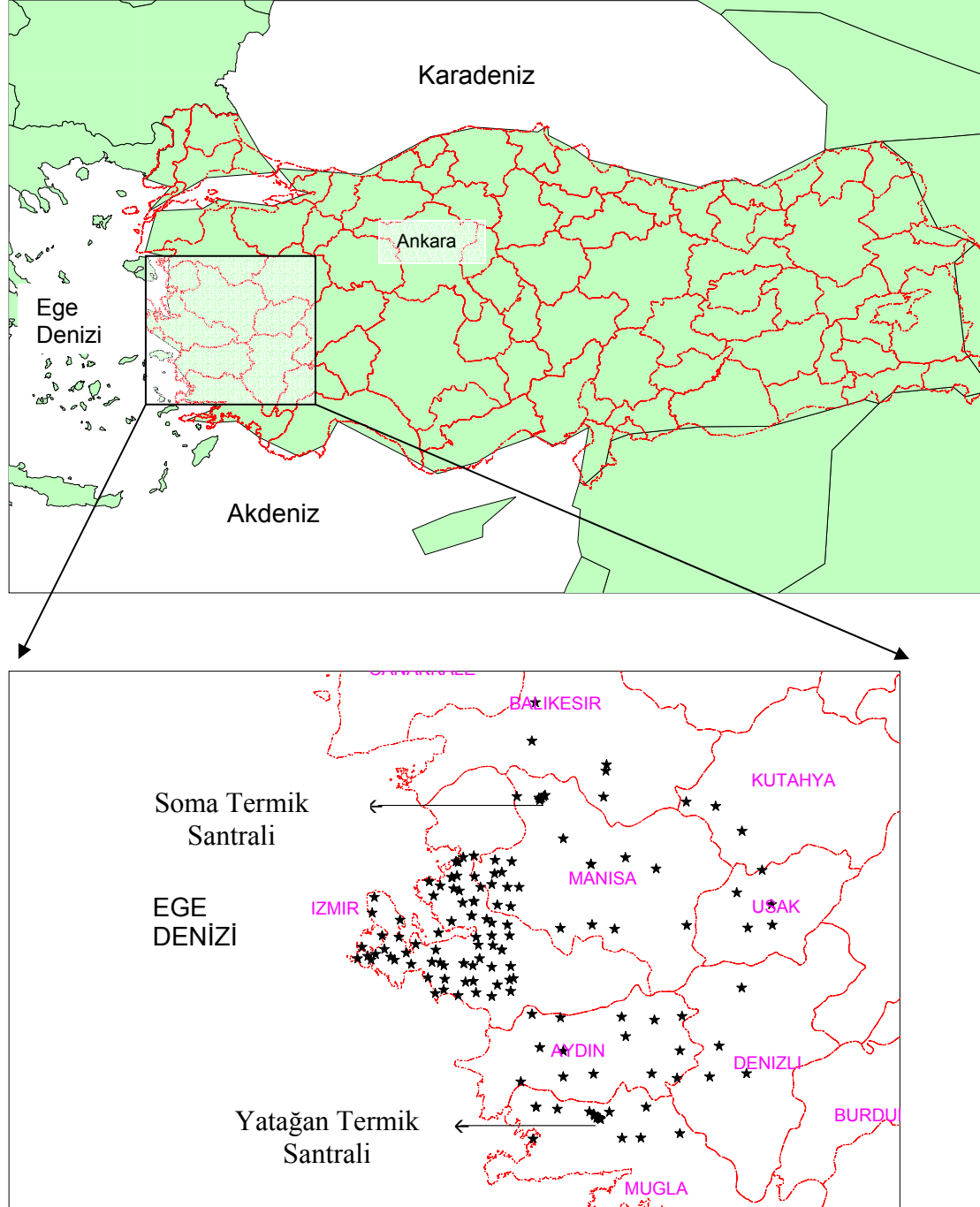
Örnekleme noktalarının koordinatları ve her noktada ölçülen konsantrasyonlar kullanılarak tüm ölçülen elementlerin dağılım haritaları çizilmiştir. Bu çizimler için MapInfo 4.1 programı kullanılmıştır.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Literatür Karşılaştırması

Elde edilen konsantrasyonlar, bölgedeki kirlilik seviyesinin yaklaşık tespiti için, kırsal bölgelerde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır ve bu karşılaştırma Tablo 1'de sunulmuştur. Bu çalışmada Ege Bölgesi'nde ölçülen Al, As, Ce, Fe, La, Sc ve Ti konsantrasyonları, diğer bölgelerde ölçülen değerlerden daha yüksektir. Bu elementler, As dışında, toprak kaynaklıdır. Yüksek As konsantrasyonları, bölgedeki yoğun kömür tüketimi ile açıklanabilir. Cu ve Cr konsantrasyonlarının literatür değerlerinin bir katı kadar fazla olduğu gözlenmiştir. İnsan kaynaklı elementler olan Cd, Hg, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları literatür değerlerine yakinken, ölçülen Mn konsantrasyonlarının daha düşük olduğu

görülmüştür. Vanadyum ve Ni elementlerinin analitik ortalamaları, Gough ve arkadaşlarının (1988) Kaliforniya'daki çalışması dışında, diğer çalışmalardan daha yüksektir. Genel olarak bölgenin insan kaynaklı elementler açısından kirli olmadığı görülmektedir.



Şekil 1. Örnekleme noktaları

Bölgesel ya da ulusal çalışmalarla karşılaştırıldığında (Tablo 2) Ege Bölgesi'ndeki ortalama Al, As, Cl, Cs, Th ve U konsantrasyonları daha yüksek, Mn ve Pb değerleri daha düşüktür. Yüksek As Th ve U değerleri, Türkiye'de evsel ısınma için yaygın olarak kullanılan linyitten kaynaklanmaktadır.

Table 1. Liken verilerinin literatürde verilen kırsal bölge verileri ile karşılaştırılması ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Element	Geometrik Ortalama ¹ (STD)	Geometrik Ortalama ^{1*}	Aritmetik Ortalama ²	Aritmetik Ortalama ^{2*}	Aritmetik Ortalama ³	Aritmetik Ortalama ⁴	Aralık ⁵	Bu Çalışma Aritmetik Ortalama (STD)	Bu Çalışma Geometrik Ortalama (STD)
Al	1100 (1.18)	260 (1.49)	143	267	480		150-2200	2650 (3150)	1950 (1.06)
As			0.49	0.69			0.20-3.55	4.1 (2.2)	3.6 (1.05)
Ba	24 (1.67)	16 (1.61)					7.9-59.7	37 (57)	25 (1.09)
Ca	3800 (1.65)	3300 (1.38)	1585	3730	3340	4600		1940 (1960)	1450 (1.06)
Cd			0.23	0.36	0.70	0.7	0.05-0.70	0.30 (0.38)	0.19 (1.08)
Ce	0.55 (1.42)	0.22 (1.43)						2.2 (2.2)	1.6 (1.09)
Cr	4.9 (1.50)	1.0 (1.72)	0.59		2.1		1.25-6.26	5.1 (5.9)	3.4 (1.08)
Cu	3.7 (1.59)	2.6 (1.75)	2.09	1.74	7.3	4.5	3.75-12.3	5.9 (4.3)	5.4 (1.05)
Fe	850 (1.42)	170 (1.52)	168	230	540		492-1037	1650 (1810)	1250 (1.06)
Hg			0.14	0.11			0.05-0.55	0.12 (0.23)	0.069 (1.08)
K	1800 (1.39)		3180	2860	2750	9500		3490 (2320)	2620 (1.07)
La	0.37 (1.50)	0.11 (1.78)						1.71 (1.80)	1.27 (1.06)
Mg	1300 (1.44)	1600 (1.21)	440	690	400	1400		1610 (710)	1490 (1.03)
Mn	89 (1.63)	97 (1.72)	51	93	131		10.9-87.4	36 (37)	28 (1.06)
Mo							0.21-0.89	0.36 (0.44)	0.25 (1.10)
Na	320 (1.40)	300 (1.29)	36	31				285 (435)	200 (1.07)

Tablo 1.Devamı

Element	Geometrik Ortalama ¹ (STD)	Geometrik Ortalama ^{1*}	Aritmetik Ortalama ²	Aritmetik Ortalama ^{2*}	Aritmetik Ortalama ³	Aritmetik Ortalama ⁴	Aralık ⁵	Bu Çalışma Aritmetik Ortalama (STD)	Bu Çalışma Geometrik Ortalama (STD)
Ni	11 (1.51)	6.0 (1.40)	0.94	1.00	2.6			3.9 (4.6)	2.8 (1.08)
Pb		7.5 (1.25)	2.7	3.1	18	0.25	2.1-52.6	8.8 (20)	4.3 (1.10)
Sb							0.05-0.70	0.30 (0.39)	0.21 (1.07)
Sc		0.26 (1.37)						0.54 (0.74)	0.39 (1.08)
Sr	28 (1.50)	18 (1.53)					12.3-57.4	25 (26)	19 (1.1)
Ti	16 (1.20)	51 (1.47)	12	16.5	25.9		29.7-117.8	183 (260)	130 (1.09)
V	4.4 (1.48)	2.5 (1.45)	0.29	0.44			0.74-5.76	4.4 (6.3)	3.0 (1.07)
Zn	95 (1.58)	25 (1.43)	24	27	86	50	22.2-55.4	37 (43)	26 (1.06)

¹ Gough et al., 1988 (Redwood National Park, California (Hypogymnia enteromorpha))

^{1*} Gough et al., 1988 (Redwood National Park, California (Usnea spp.))

² Bennett and Wetmore, 1999 (Yellowstone National Park, Wyoming (Bryoria fremontii))

^{2*} Bennett and Wetmore, 1999 (Yellowstone National Park, Wyoming (Letharia vulpina))

³ Kubin 1990 (Rural areas of Finland (Hypogymnia physodes))

⁴ Wiersma et al., 1992 (Torres del Paine National Park, Southern Chile (Nephroma antarcticum))

⁵ Bargagli et al., 1987; Nimis et al., 1993; Loppi et al., 1994; Loppi and Bargagli, 1996 (unpolluted areas in Italy (Parmelia caperata))

Tablo 2. Liken verilerinin literature değerleri ile karşılaştırılması ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Element	Aritmetik Ortalama ¹ (STD)	Aritmetik Ortalama ²	Aritmetik Ortalama ³	Aritmetik Ortalama ⁴ (STD)	Bu çalışma Aritmetik Ortalama (STD)
Al				945 (802)	2650 (3150)
As	1.24 (0.50)	2.19	5.7	0.52 (0.55)	4.1 (2.2)
Ba	28.3 (26.7)				37 (57)
Br	14.5 (5.52)		56	6.5 (4.6)	6.5 (4.9)
Cd	1.05 (0.65)		2.8	0.30 (0.29)	0.30 (0.38)
Ce	2.57 (1.28)				2.6 (2.7)
Cl				188 (118)	300 (260)
Cr	5.78 (3.84)	5.77	26	2.8 (6.5)	5.1 (5.9)
Cs			0.8	0.19 (0.21)	1.1 (2.0)
Cu				7.5 (7.9)	5.9 (4.3)
Fe	1253 (665)		5800	687 (649)	1650 (1810)
Hf	0.17 (0.10)				0.24 (0.34)
Hg	0.11 (0.15)	0.32	0.5		0.12 (0.23)
K	4094 (1208)				3490 (2320)
La	1.16 (0.57)		6.2	0.72 (1.15)	1.71 (1.80)
Mn				310 (321)	36 (37)
Mo	0.72 (1.01)				0.36 (0.44)
Na	181 (99.3)			346 (377)	285 (435)
Ni		3.92	16	2.6 (5.7)	3.9 (4.6)
Pb		18.4	147	26 (29)	8.8 (20)
Rb	14.4 (9.38)			11.3 (7.8)	11.7 (12.7)
Sb	0.35 (0.38)	0.36	3.3	0.30 (0.32)	0.30 (0.39)
Se	0.27 (0.12)	0.43	1.8	0.47 (0.36)	0.37 (0.29)
Sc	0.37 (0.21)			0.18 (0.17)	0.54 (0.39)
Sm	0.19 (0.09)			0.098 (0.111)	0.23 (0.28)
Sr	22.2 (14.5)				25 (29)
Tb	0.027 (0.014)				0.038 (0.042)
Th	0.29 (0.15)			0.12 (0.19)	1.20 (1.56)
U	0.12 (0.06)				0.22 (0.29)
V		14.5	32	3.61 (3.91)	4.4 (6.3)
Zn	90.2 (24.4)		210	41 (26)	37 (43)

¹ Jeran et al., 1996 (National monitoring survey, Slovenia (Hypogymnia physodes))

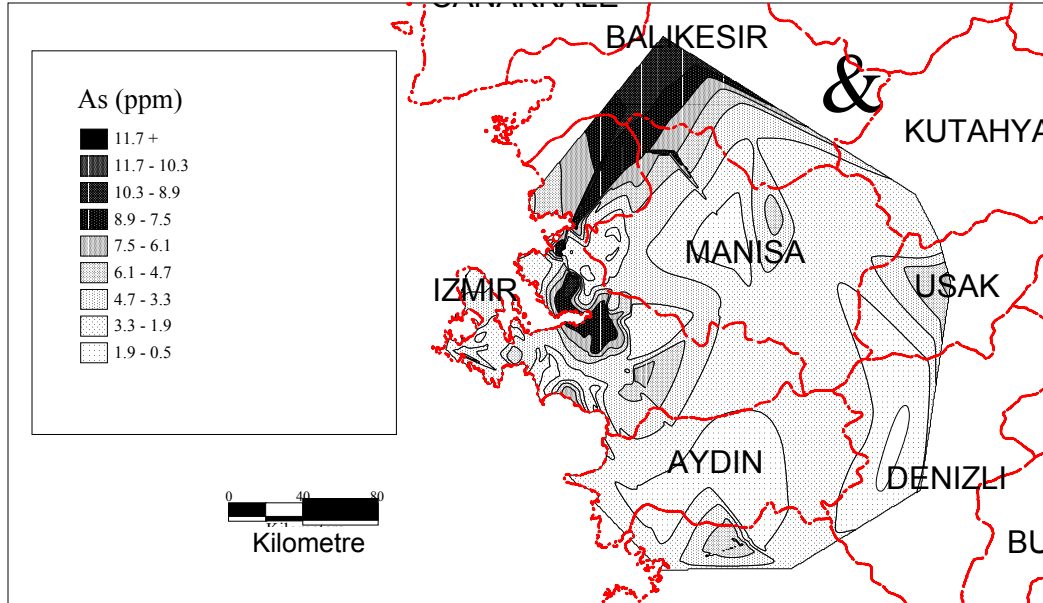
² Freitas et al., 1999 (National monitoring survey, Portugal (Parmelia sulcata))

³ Sloof and Wolterbeek, 1991 (National monitoring survey, the Netherlands (Parmelia sulcata))

⁴ Steinnes et al., 1992 (National monitoring survey, Norway (moss Hylocomium splendens))

Dağılım Haritaları

Yukarıda bahsedildiği gibi elementlerin konsantrasyonları ve örnekleme noktalarının koordinatları kullanılarak, elementlerin dağılımları MapInfo 4.1 programı ile haritalandırılmıştır. Arsenik için elde edilen dağılım haritası Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil . Arsenik elementinin Ege Bölgesindeki dağılım haritası

Atmosferdeki arseniğin en önemli kaynağının kömür kullanımı olduğu bilinmektedir. Boya ve elektronik parça endüstrisi de diğer As kaynaklarıdır. Bunun yanında, demir içermeyen alaşımların üretimi sırasında kurşun ve bakıra da eklenmektedir.

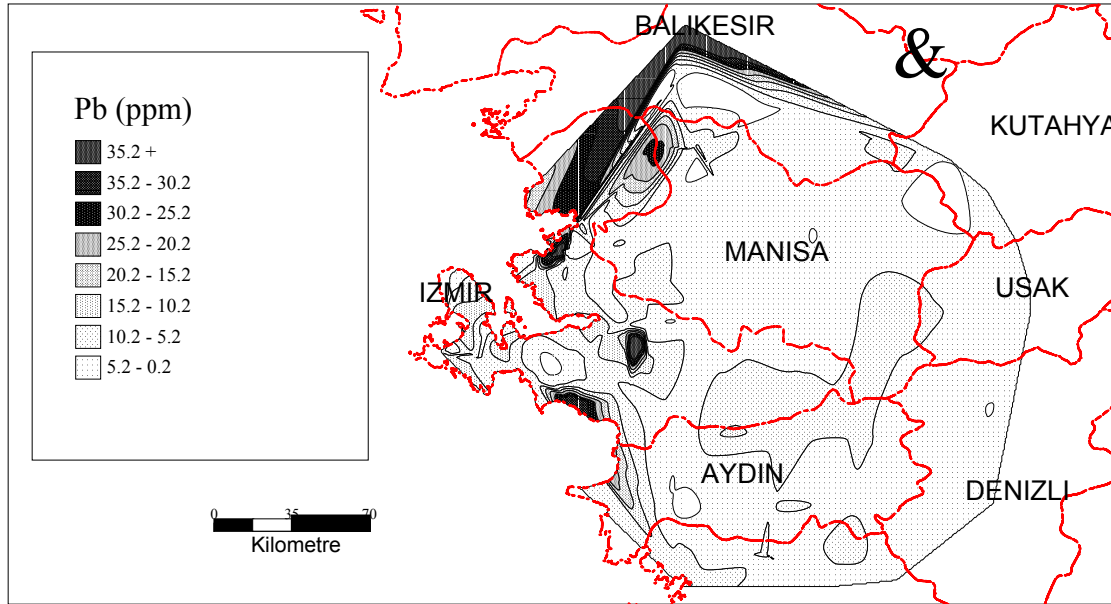
Nüfusun ve endüstrileşmenin fazla olduğu bölgelerde yüksek As konsantrasyonları gözlenmiştir. En yüksek As konsantrasyonları İzmir şehir merkezi, Kemalpaşa, Torbalı ve Aliağa'da, Balıkesir, Soma ve Yatağan termik santrali çevresinde ve Uşak'ta ölçülmüştür. İzmir şehir merkezi, Kemalpaşa ve Torbalı'da farklı endüstriler mevcuttur. Organize endüstri bölgeleri kuzeyde, Aliağa ve İzmir arasındadır. Demir-çelik fabrikaları, metal atölyeleri ve rafinerisi ile Aliağa çok iyi bilinen bir kirlilik kaynağıdır. Şehir merkezlerinde, yalnız evsel ısınma için tüketilen kömür miktarı şöyledir: Aydın: 6000 ton/yıl; Denizli: 50000 ton/yıl; İzmir: 480000 ton/yıl; Manisa: 60000 ton/yıl; Muğla: 20000 ton/yıl; Uşak: 45000 ton/yıl (Müezzinoğlu ve arkadaşları, 2000). Görüldüğü gibi, İzmir şehir merkezindeki kömür tüketimi, diğer illerdeki tüketimden 8 kat fazladır. Şehir merkezinin güneyinde, herhangi bir endüstrileşme olmamasına rağmen yüksek As konsantrasyonları gözlenmiştir. Manisa'da ise metal, gıda ve ev aletleri fabrikaları, Uşak'ta büyük bir tekstil endüstrisi, organize sanayii ve diğer bazı küçük çaplı fabrikalar mevcuttur. Muğla'daki örnekleme bölgesindeki tek kirlilik kaynağı yatağan santralidir. Denizli'de pek çok tekstil ve tekstil boya endüstrisi, Aydın'da maden ocakları, boyama fabrikası, yağ ve zeytin yağı fabrikaları, seramik ham madde üretim yerleri bulunmaktadır.

Örneklerdeki As miktarları $3,4 \mu\text{m g}^{-1}$ ortalama değeri ile $0,5 \mu\text{m g}^{-1}$ ile $10,4 \mu\text{m g}^{-1}$ arasında ölçülmüştür.

Uzun yıllar boyunca, atmosferdeki kurşunun en önemli kaynağı araç emisyonları olarak biliniyordu. Tüm dünyada kurşunsuz benzin kullanımı ile bu kaynağın etkisi azalmasına rağmen, bu zehirli element kömür yakımı ve petrol kullanımı ile atmosfere karışmaktadır. Ülkemizde ise eski araçlar hala trafikte olduğu için, dünyadaki bu eğilim gözlenmemektedir.

İzmir şehir merkezinde, bu bölgenin kuzey ve güneyindeki illerde, Aliğa bölgesinde ve nüfusun yoğun olduğu Balıkesir’de yüksek Pb konsantrasyonları ölçülmüştür. Aliğa dışındaki bu bölgelerdeki yüksek konsantrasyonlar çoğunlukla trafik emisyonlarından kaynaklanmaktadır. İzmir ve İzmir-Aydın arasında popüler tatil bölgeleri mevcuttur ve özellikle yazın nüfus 100 katına kadar çıkmaktadır.

Örneklerdeki Pb miktarları $4,2 \mu\text{m g}^{-1}$ orta değeri ile $0,28 \mu\text{m g}^{-1}$ ile $170 \mu\text{m g}^{-1}$ arasında ölçülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. Kurşun elementinin Ege Bölgesindeki dağılım haritası

TARTIŞMA

Likenler başarılı bir biçimde kullanılarak Ege Bölgesinin metaller açısından kirlilik haritası çıkarılmıştır. Elementlerin dağılımları kaynak bölgeleri ile uyumlu olarak davranış göstermiştir. Aliğa, Soma ve Yatağan termik santralleri bir çok element için önemli birer kaynak bölgesi oluşturmaktadır. Kentsel bölgeler endüstri ve trafik kaynaklı metallerin yoğun olduğu bölgeler olarak ortaya çıkmıştır. Örneğin yörede kömür tüketiminin ve trafik yoğunluğunun en yüksek olduğu il olan İzmirde As ve Pb elementleri yüksek

konsantrasyonlarda gözlenmiştir. Bu çalışma sonucunda likenlerin ölçüm ağlarına bir alternatif olarak kullanılabilceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- Bargagli R, Iosco FP, D'Amato ML. Zonation of trace metal accumulation in three species belonging to the genus *Parmelia*. *Cryptogamie, Bryol Lichenol* 1987;8:331-337.
- Bennett JP, Wetmore CM. Geothermal elements in lichens of Yellowstone National Park, USA. *Environ and Experim Botany* 1999;42:191-200.
- Caritat P de, Reimann C, Bogatyrev I, Chekushin V, Finne TE, Halleraker JH, Kashulina G, Niskavaara H, Pavlov V, Äyräs M. Regional distribution of Al, B, Ba, Ca, K, Mg, Mn, Na, P, Rb, Si, Sr, Th, U and Y in terrestrial moss within a 188,000 km² area of central Barents region: influence of geology, seaspray and human activity. *Applied Geochem* 2001;16:137-159.
- Carreras HA, Pignata ML. Biomonitoring of heavy metals and air quality in Cordoba City, Argentina, using transplanted lichens. *Environ Pollut* 2002, 117:77-87.
- Figueira R, Sérgio C, Sousa AJ. Distribution of trace metals in moss biomonitors and assessment of contamination sources in Portugal. *Environ Pollut* 2002;118:153-163.
- Freitas MC, Reis MA, Alves LC, Wolterbeek HTh. Distribution in Portugal of some pollutants in the lichen *Parmelia sulcata*. *Environ Pollut* 1999;106:229-235.
- Gough LP, Jackson LL, Sacklin JA. Determining baseline element composition of lichens. *Water, Air, and Soil Pollut* 1988; 38:168-180.
- Jeran Z, Jacimovic R, Batic F, Smodis B, Wolterbeek HTh. Atmospheric heavy metal pollution in Slovenia derived from results for epiphytic lichens. *Fresenius J Anal Chem* 1996;354:681-687.
- Kubin E. A survey of element concentrations in the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* in Finland in 1985-86. In: Kauppi P, Anttila P, Kenttamies K, editors. *Acidification in Finland*. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, 1990, pp. 421-446.
- Markert B, Herpin U, Siewers U, Berlekamp J, Lieth H. The German heavy metal survey by means of mosses. *Sci Total Environ* 1996;182:159-168.
- Müezzinoğlu A, Bayram A, Elbir T, Seyfioğlu R, Demircioğlu H, Dinçer F, Sönmez Y. Ege Bölgesi emisyon envanteri. TÜBİTAK-198Y094 2000. cupressiforme. *Oikos* 1976; 27: 483-487.
- Reimann C, Halleraker JH, Kashulina G, Bogatyrev I. Comparison of plant and precipitation chemistry in catchments with different levels of pollution on the Kola Peninsula, Russia. *Sci Total Environ* 1999;243/244:169-191.
- Sloof JE. Environmental lichenology biomonitoring trace element air pollution. Ph. D. Thesis. Delft University of Technology, The Netherlands 1993.
- Scerbo R, Possenti L, Lampugnani L, Ristori T, Barale R, Barghigiani C. Lichen (*Xanthoria parietina*) biomonitoring of trace element contamination and air quality assessment in Livorno Province (Tuscany, Italy). *Sci Total Environ* 1999; 241:91-106.
- Sloof JE, Wolterbeek HTh. National trace element air pollution monitoring survey using epiphytic lichens. *Lichenologist* 1991a;23:139-165.
- Sloof JE, Wolterbeek HTh. Patterns in trace elements in lichens. *Water Air Soil Pollut* 1991b;57/58:785-795.

-
- Steinnes E, Rambaek JP, Hanssen JE. Large scale multi-element survey of atmospheric deposition using naturally growing moss as biomonitors. *Chemosphere* 1992;25:735-752.
- Steinnes E, Hanssen JE, Ramaek JP, Vogt NB. Atmospheric deposition of trace elements in Norway: Temporal and spatial trends studied by moss analysis. *Water Air Soil Pollut* 1994;74:121-140.
- Tuncel SG, Yenisoy-Karakaş S, Doğangün A. Comparison of three digestion methods for elemental determinations in lichen samples by inductively coupled atomic emission spectroscopy technique. Submitted to *Talanta* 2003.
- Wiersma GB, Bruns DA, Finley K, McAnulty L, Whitworth C, Boelcke C. Elemental composition of lichens from a remote nothofagus forest site in southern Chile. *Chemosphere* 1992;24:155-167.
- Yenisoy-Karakaş S, Ölmez I, Tuncel SG. Lichens as biomonitor organisms for atmospheric element deposition: analyzing by instrumental neutron activation analysis. Submitted to *Environmental Pollution* 2003.