



Türk Coğrafya Dergisi

<http://www.tck.org.tr>

Sayı 57: 43-54, İstanbul

Basıllı ISSN 1302-5856

Elektronik ISSN 1308-9773



Hakemli Makale
Reviwed Article

Yatağan Termik Santrali Çevresinden Toplanan Likenlerde (*Xanthoria parietina*) Saptanan Ağır Metal Kirliliğinin Coğrafi Dağılışı*

Geographical Distribution of Heavy Metal Pollution in Lichens (*Xanthoria parietina*) in the Vicinity of Yatağan Coal Fired Power Plant

M. Kirami ÖLGEN** ve Filiz GÜR***

ÖZET

Ağır metaller, sahip oldukları toksisite ve ortamdaki kalıcılıkları nedeniyle antropojenik kökenli en tehlikeli çevresel kirleticiler arasında yer alırlar. Kömür yakan termik santraller ağır metal kontaminasyonu açısından önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Ağır metal kirliliğinin ölçülmesinde likenler biyoindekatör olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Yatağan Termik Santrali çevresinden toplanan *Xanthoria parietina* türü likenleri biyoindekatör olarak kullanıp, bünyelerinde ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının hava kirliliği ve çevreye etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla toplam altı elementin (Hg, Ni, Pb, Cu ve Fe) analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar haritalanarak önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Buna göre en kirli alanların santralin yakın çevresi (daha çok batı) ile hakim rüzgar yönü ve topografya özelliklerine göre, Yatağan depresyonunun güneydoğusunda yer alan yamaçlar olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yatağan Termik Santrali, Ağır Metal Kirliliği, Likenler

ABSTRACT

Heavy metals are classified among the most dangerous groups of anthropogenic environmental pollutants due to their toxicity and persistence in the environment. Coal-fired power productions are among the one of the main sources of heavy metal contaminations in the environment. Lichens have effectively been used as biomonitors of metal contamination in the atmosphere either by sampling of the organism in situ or by using the transplantation technique. In this study, epiphytic lichen *Xanthoria parietina* was applied as the biomonitor of air pollution to determine the environmental influence in the vicinity of Yatağan coal-fired power plant. Total six elements (Hg, Ni, Pb, Cu, Zn, Fe) have been taken into account and the results of analysis obtained in the current study were compared to the data reported in literature. The most polluted areas were found to be those in the vicinity of the coal-fired power plant (densely in the western part) and southeastern slopes of Yatağan depression, particularly along the direction of predominant wind and due to topographic conditions.

Key words: Yatağan Coal Fired Power Plant, Heavy Metal Pollution, Lichens.

** Ege Üniversitesi
Edebiyat Fakültesi
Coğrafya Bölümü,
35100 Bornova/İzmir

*** Ege Üniversitesi
Nükleer Bilimler Enstitüsü
3510 Bornova/İzmir

Geliş/Received : 15.11.2011
Kabul/Accepted: 19.03.2012

Sorumlu yazar/Corresponding author
(M.K.Ölgen) kirami.olgen@ege.edu.tr

* Bu çalışma Dr. Filiz GÜR tarafından Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Fon Saymanlığı tarafından 2003 NBE 007 nolu proje ile desteklenen "Bati Anadolu Termik Santralleri Çevresinde Radyoaktif ve Ağır Metal Kirliliğinin Biyomonitörlerle Saptanması" adlı doktora tezi için toplanan liken örneklerinin Kanada ACME laboratuvarında yapılan analiz sonuçlarını coğrafi yönden değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır.

GİRİŞ

Hava kirliliği ülkemizde önemli bir sorundur. Bu kirlilik gerek endüstriyel gerekse evsel yakıt kullanımından kay-

naklanmaktadır. Hava kirliliği ile ilgili en yaygın ölçütler, havadaki CO, SO₂, NO₂ gibi gazlar ile partikül maddelerin miktarıdır. Ancak yanan yakıtın içinde bulunan ağır metal-

ler ve radyoaktif elementler de önemli kirleticiler olarak kabul edilmektedir. Özellikle ağır metaller sahip oldukları toksisite ve ortamdaki dirençleri nedeniyle antropojenik kaynaklı en tehlikeli kirleticiler olarak sınıflandırılmaktadır. Linyit ve taş kömürü kullanan termik santraller tehlikeli çevresel kirletici olarak kabul edilen bu ağır metallerin çevreye yayılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Santral bacasından salınan toksik ağır metaller meteorolojik koşulların da etkisiyle geniş bir alana yayılarak hava, su ve toprakta birikmekte, bu birikim kabul edilen sınır değerleri aştığında ise insan ve çevre sağlığı açısından kalıcı etkiler göstermektedir. Partikül maddelere bağlı hava kirliliğinin insan sağlığı üzerinde yaptığı olumsuz etkiler uzun zamandan beridir bilinen bir olgudur. Bu olumsuz etkiler sonucu olarak başta akciğer kanseri olmak üzere, kronik astım krizleri, KOAH, göğüs daralması, üst solunum yolu hastalıkları, göz, burun, boğaz tahribatları ve ölüm oranlarında ciddi artışlar görülmektedir. Termik santrallerden salınan ağır metaller özellikle hakim rüzgar yönü ve topografyaya bağlı olarak toprakta, suda ve bitkilerde birikmekte, bu birikim sınır değeri aştığında ise söz konusu unsurlar kullanılmaz duruma gelmektedir (ÖZTÜRK, 2009).

Havadaki kirletici unsurları ölçmek için iki temel yaklaşım vardır. Bunlardan biri kirlilik olan yerlerde yapılan doğrudan ölçümler, diğeri ise kirleticilerin biriktiği toprak, su ve bitkilerde yapılan dolaylı ölçümlerdir. Dolaylı ölçümler içinde ise özellikle ağır metal kirliliğine karşı hassas oldukları bilinen ve biyoidikatör olarak adlandırılan likenler sıklıkla kullanılmaktadır.

Likenler yaprağı, gövdesi ve kökü olmayan ancak kendi besinini kendi üretebilen, içlerinde bir veya daha çok alg türünü ve mantarı barındıran birlikteliklerdir (TUFAN ÇETİN ve SÜMBÜL, 2010). Likenler havadaki kirleticileri bünyelerinde depolayarak, farklı seviyelerden kirleticilere farklı reaksiyon gösterirler. Bir kök sistemine sahip olmadıklarından su ve mineral madde alışverişini tüm yüzeyleri ile yaparlar ve kirleticileri bünyelerinde depolarlar (TUFAN ÇETİN ve SÜMBÜL, 2010). Bu nedenle, likenlerin bünyesinde biriken ağır metallerin analizi ile kirleticilerin havadaki miktarı ve kabul edilebilir sınır değerleri aşp aşmadığı belirlenebilir. Literatürde likenler yardımıyla kirliliğin belirlenmesine yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. NASH ve SOMMERFIELD (1981) New Mexico ABD'deki Four Corners termik santrali çevresinden topladıkları liken örnekleri üzerinde ağır metallerin birikimi ile ilgili yaptıkları çalışmada, gerek santrale yakın yerlerde, gerekse santralden uzak yerlerde bulunan likenlerde birçok ağır metalin toksik etki oluşturacak düzeyde biriktiğini belirlemişlerdir. DELFANTI vd. (1999) Orta İtalya'daki La Spezia termik santrali çevresinden topladıkları likenlerde ²¹⁶Pb ve ¹³⁷Cs birikiminden yola çıkarak termik santral kaynaklı radyoaktif kirliliği belirlemeye çalıştıkları araştırmalarında, ²¹⁶Pb dağılımının ¹³⁷Cs dağılımı ile çok yakın bir korelasyon değerine sahip olduğunu ve mekansal dağılımlarında genel meteorolojik parametrelerin etkili olduğunu belirtmişlerdir. SCERBO vd. (1999) İtalya'nın Toskana bölgesinde yap-

tıkları çalışmalarında topladıkları liken örneklerinde saptadıkları ağır metallerin yoğun olarak sanayi kaynaklı olduğunu belirtmişlerdir. VAN DOBBEN vd. (2001)'in Hollanda'daki likenlerde ölçülen iz elementlerden yola çıkarak atmosferdeki iz elementleri çok değişkenli istatistik analiz ile tahmin etmeye çalıştıkları çalışmalarında liken biyoçeşitliliğinde SO₂ ve NO₂'nin en önemli faktörler olduğunu savunmuşlardır. CARBALLEIRA ve FERNANDEZ (2002) İspanya'nın Galiçya bölgesindeki bir termik santral çevresinden 1995 ve 1997 tarihleri arasında topladıkları liken örnekleri üzerinde ağır metal birikimini zamansal ve mekansal yönden incelemişler, 1997 yılındaki birikimin bir önceki döneme göre daha fazla olduğunu, santrale yaklaştıkça birikim miktarının da arttığını belirtmişlerdir. YENİSOY KARAKAŞ ve TUNCEL (2004) Ege Bölgesi'nin farklı yerlerinden aldıkları liken örneklerinde toplam 35 farklı elementin analizini yapmışlar, bunlar içinde 8 tanesinin kirlilik açısından öneme sahip olduklarını belirlemişlerdir. DZUBAJ vd. (2008) Slovakya'nın Kosice kentinden topladıkları liken örneklerinde ölçtükleri ağır metal konsantrasyonları ile likenlerin bazı fizyolojik süreçlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında kirlilik kaynağından uzaklaştıkça kirletici birikim miktarlarında da azalma olduğunu saptamışlardır. Slovenya'daki Salek Vadisinde yer alan Sostanj Termik Santralinin bölgenin hava kirliliğine etkisini araştıran POLICNIC vd (2008) çalışmalarında ormanlık alanlardaki ve açık alanlardaki likenlerin biyokimyasal aktivitelerinin farklılık gösterdiğini, bu nedenle de ormanlık alanlarda bulunan likenlerin daha kötü olduklarını savunmuşlardır. Yine KAHRAMAN vd. (2009)'nin Gökçeada'dan topladıkları iki farklı liken türü (*Cladonia foliacea* ve *Ramalina pollinaria*) üzerinde yaptıkları çalışmada, C. foliacea'nın R. pollinaria'ya göre daha fazla Mn ve Sr biriktirdiğini saptamışlardır. MENDİL vd. (2009) ise Sivas – Tokat karayoluna yakın kesimlerden topladıkları likenlerdeki ağır metal birikimini belirlemeye çalıştıkları araştırmalarında en yoğun konsantrasyonu Fe, daha sonra sırasıyla Mn, Zn, Pb, Ni, Cr, Cu ve Cd'da bulmuşlardır. Ayrıca farklı liken türlerinde farklı konsantrasyon düzeyleri de saptamışlardır. BOAMPONSEN vd. (2010) Gana'daki Tarkwa altın madeninin çevreye olan etkilerini belirlemeye yönelik çalışmalarında likenlerde ölçülen Sb, Mn, Cu, V, Al, Co, Hg, Cd, ve As'ğin sınır değerlerin çok üstünde olduğunu saptamışlardır.

AMAÇ

Hava kirliliği sağlık açısından son yıllarda önemi artan ve üzerinde daha çok durulan bir olgudur. Bu nedenle kirletici unsurların düzenli bir şekilde izlenmesi, bu kirleticilere maruz kalan varlıkların, unsurların belirlenebilmesi açısından önemlidir. Likenler gibi biyoidikatörlerin hem kırsal alanlarda hem de kentsel alanlarda hava kalitesini izlemede kullanıldığını yukarıdaki satırlarda literatür örnekleri ile vermeye çalıştık. Hava kirliliğinin izlenmesinde biyoidikatörlerin kullanımı düşük maliyetli olmaları, kolayca örneklenebilmeleri ve bu örneklerin kirletici unsurları iyi gösterebilmeleri bakımından avantaj sağlamaktadır. Bu amaçla kullanılan biyoidikatörler hem in-situ hem de transplante

(başka yerden alınarak nakledilmiş) likenlerden oluşmaktadır.

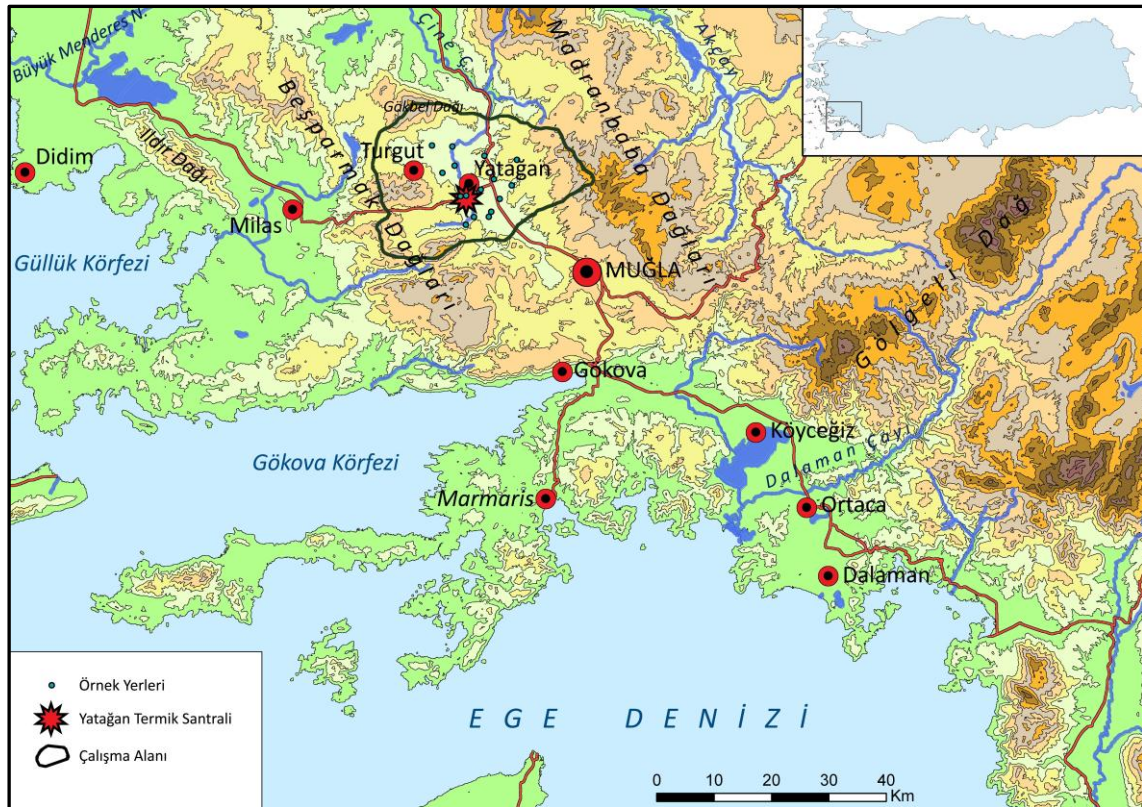
Ülkemizde likenlerin hava kirliliğini belirlemeye yönelik olarak kullanılması ile ilgili bazı çalışmalar olmasına rağmen, literatürde mekansal dağılımları ve bu dağılım üzerinde etkili coğrafi koşulların neler olduğu ile ilgili bir çalışmaya rastlamamış olmamız bizi bu çalışmaya yöneltmiştir.

Bu çalışmada Yatağan Termik Santrali çevresinden toplanan, özellikle ağır metal kirliliğine karşı hassas oldukları bilinen ve biyoindeksör olarak adlandırılan likenlerde ölçülen Hg, Ni, Pb, Cu, Zn ve Fe ağır metallerinin mekansal

dağılışı ve bu dağılışı üzerinde etkili olan coğrafi faktörler üzerinde durulmuştur.

ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanını Yatağan Termik Santrali'nin çevresi oluşturmaktadır (Şekil 1). Muğla ilinin Yatağan ilçesi yakınındaki termik santral, Yatağan havzasından çıkarılan düşük kaliteli linyitleri değerlendirmek amacıyla kurulmuştur. Termik santralin yapımına 1977 yılında başlanmış, her biri 210 MW gücünde olan ünitelerden ilki 1982'de, ikincisi 1983'te, üçüncüsü ise 1985'te işletmeye açılmıştır. Toplam kurulu gücü 630 MW olan santralin yıllık enerji üretim kapasitesi 3.780.000.000 kwh'tir (yatagants.gov.tr).



Şekil 1. Yatağan Termik Santrali'nin yeri ve çalışma alanı.

Figure 1. Location of the Yatağan coal fired power plant and research area.

Yatağan ilçe merkezi Muğla'nın 26 km kuzeyinde, kendi adıyla anılan KB-GD uzanımlı bir depresyon içinde yer alır (Şekil 1). Yatağan depresyonu, yükseltileri 1200 metrelere kadar çıkan doğuda Oyukludağ, kuzeyde Gökbel, batıda Kurukümes güneyde Bencik dağları ile çevrilidir (Şekil 4). KB da 300-350, GD da 350-400 m yükseltilerdeki depresyon tabanı, Yatağan (718 m) ve Aladağ (776m) tepeleri arasında daralarak iki bölüme ayrılmıştır. Kuzey kenarında Yatağan ilçesinin bulunduğu GD bölümde ova tabanı yaklaşık 10 km²'lik bir alana sahiptir. Böylece küçük bir ova düzlüğü ve bu düzlüğü çevreleyen tepe ve dağlardan oluşan Yatağan depresyonu Permien ve Mesozoik yaşlı şistlerden ve kalkerlerden oluşan bir temel üzerinde, Neojen yaşlı marn ve gösel kalkerlerin biriktiği yapısal bir çukur-Türk Coğrafya Dergisi

luktur (HAKTANIR vd., 2010). Çine çayı, Yatağan depresyonunun sularını toplayarak kuzeye, Büyük Menderes ırmağına ulaştırır (Şekil 1).

Yatağan ve çevresinde Akdeniz termik rejiminin karasal geçiş tipi görülmektedir. Yazları nispeten sıcak ve kurak geçen depresyon ve çevresinde kışın sıcaklıklar Muğla'nın kıyı kesimine göre daha düşük derecelerde seyrederek (ortalama 5.3 °C). Yatağan ve çevresinde hakim rüzgar yönü GD dur. Bunu KD ve GB yönleri izler. Hakim rüzgar yönleri üzerinde genel hava sirkülasyonunun özellikleri yanında topoğrafik uzanımların etkisi belirgindir (Şekil 3 ve 4). Rüzgarların yıllık ortalama esiş frekansı ise % 35.8 ile kuzey sektördür. Ancak rüzgar hızı açısından ortalama yıllık değer düşük olup 1.8 m/sn civarındadır (İKİEL, 2004). Ya-

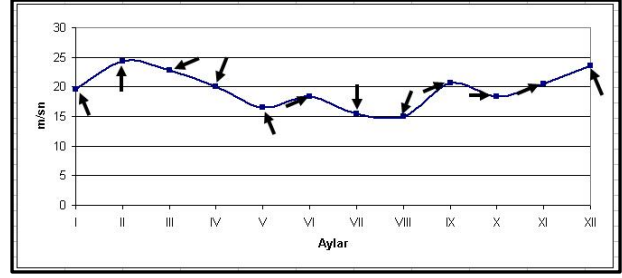
tağın yıllık ortalama yağış miktarı 671 mm'dir. İlkbahar mevsiminde görülen konvektif kararsızlıklara bağlı olarak sonbahara oranla % 1-6 kadar daha fazla yağış alır (İKİEL, 2004).

Yatağan termik santralının etkisi altında bulunan topraklar genel olarak kollüviyal özellikte olup, Kırmızı Kahverengi Akdeniz büyük toprak grubuna girmektedir. Eğimleri % 2-6 arasında değişmekte olan bu topraklar genelde killi tın bünyede ve orta ve derin profillere sahip bulunmaktadır. Topraklar hafif alkali özelliktedir. Ormanlık bölgelerde ise Kahverengi Orman ve Kireçsiz Kahverengi Orman toprakları yaygındır. Eğimi % 6-12 ile daha dik arasında değişen, sıg, kaba bünyeli ve orta derecede erozyona sahip topraklardır HAKTANIR vd., 2010).

MATERYAL VE METOD

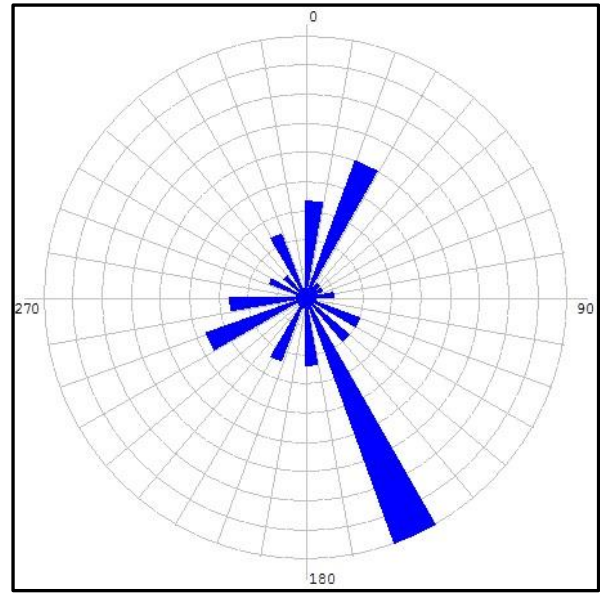
Yatağan Termik Santrali ve çevresinden Eylül – Kasım 2003 tarihleri arasında toplam 16 liken örneği toplanmıştır. Her bir örneğin toplandığı yerin coğrafi konumu el tipi GPS yardımıyla belirlenmiştir. Toplanan örnekler Kanada'da bulunan ACME laboratuvarlarına gönderilmiş, örnekler burada 6 farklı element için ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer) kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları çalışma kapsamında mekansal dağılışı belirlemek amacıyla ArcGIS 9.3© yazılımına aktarılmış, yazılım içindeki Geostatistical Analyst modülü kullanılarak enterpolasyonları yapılmıştır. Bu değerlendirmede veri seti ESDA (Explatory Spatial Data Analysis) araçlarıyla incelenmiş ve en uygun enterpolasyon tekniğinin deterministik bir yöntem olan Ters Ağırlıklı Mesafe (Inverse Distance Weighting - IDW) olduğuna karar verilmiştir.

Kullanılan topografik harita verileri (Şekil 1 ve 4) SRTM (Space Shuttle Radar Topography Mission) veri setinden elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca Yatağan meteoroloji istasyonuna ait rüzgar rasat verileri yardımıyla aylık hakim rüzgar yönleri hesaplanmıştır (Şekil 2 ve 3).



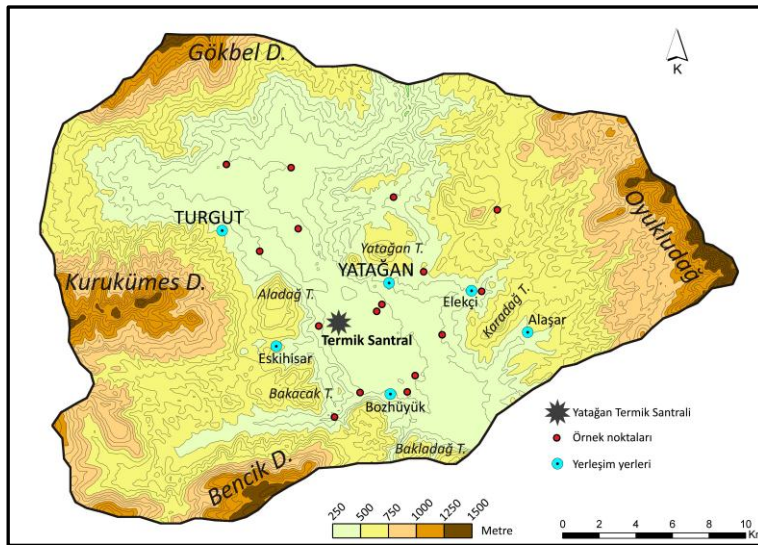
Şekil 2. Yatağan meteoroloji istasyonunda yıl içinde aylık hakim rüzgar yönü (oklar) ve aylık ortalama rüzgar hızı.

Figure 2. Monthly predominant wind direction (arrows) and average wind speed (m/sec) in the Yatağan Meteorological Station.



Şekil 3. Yatağan meteoroloji istasyonuna ait rüzgar frekans gülü.

Figure 3. Wind frequency rose diagram of the Yatağan Meteorological Station.



Şekil 4. Çalışma alanı ve çevresinin topografyası, örnek yerleri ve yer adları haritası.

Figure 4. Sample locations on the topographical map of research area.

Her bir farklı element için elde edilmiş dağılım haritaları çakıştırılarak toplam konsantrasyon yoğunluğu belirlenmiştir (Şekil 11). Ancak her bir elementin ölçülen konsantrasyon değerleri farklılık gösterdiği için böyle bir çakıştırma sonucunun anlamlı hale gelmesi için toplam konsantrasyon değerleri 0 ile 10 arasında değişen bir ölçeğe göre normalize edilmiştir. Normalizasyon sonucu 0 hiç yok 10 ise en fazla kirlilik düzeyine sahip anlamına gelmektedir.

BULGULAR

Araştırmadan elde ettiğimiz bulguları iki grup altında toplamak mümkündür. Birinci grupta analizi yapılan likenlerde biriken miktarların toksik etkileri ve ölçülen ağır

metallerin mekansal dağılımı, ikinci grupta ise bu mekansal dağılım üzerinde etkili olan coğrafi faktörlerin neler olduğudur.

Tablo 1’de likenlerde ölçülen altı farklı ağır metalin maksimum, minimum, ortalama ve standart sapma değerleri ile likenlerde toksisite oluşturma limit değerleri verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere Ni ve Fe tüm örneklerde, buna karşın cıva bazı örneklerde toksik etki oluşturacak düzeyde yüksek bulunmuştur. Pb, Cu ve Zn ise normal sınırların üstünde değerlere sahip olmasına rağmen toksik etki oluşturacak dozlarda değildir. Ancak zaman içinde birikimin artması ile bu elementlerin de konsantrasyonlarında bir artış beklenebilir.

Tablo 1. Yatağan ve çevresinden toplanan liken örneklerinde bulunan ağır metaller ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Table 1. Heavy metals in lichen samples collected around Yatağan ($\mu\text{g g}^{-1}$).

	Hg	Ni	Pb	Cu	Zn	Fe
Minimum	110	9,4	7,29	9,43	46,10	853
Maksimum	235	21,2	25,11	19,40	89,90	9100
Ortalama	141,2	13,9	12,98	13,24	65,86	5857
Standart sapma (σ)	32,66	3,29	4,53	2,68	13,72	2074
Normal Sınır*	20 - 200	0,1 - 5	0,1 - 10	4 - 15	8 - 400	2 - 250
Toksik değer*	Aynı	Aynı	30 - 300	20 - 100	100 - 400	Aynı

* Sınır değerler ÖZTÜRK (2009) ve AKGÜÇ (2007)’den alınmıştır.

Burada toksik etki ile kast edilen insan sağlığı açısından değil, likende oluşturduğu toksik düzeydir. Ancak söz konusu ağır metallerin insan sağlığı açısından etkisi kısmen sonuç bölümünde tartışılmıştır.

Toplanan Liken Örneklerinde Saptanan Ağır Metallerin Mekansal Dağılımı

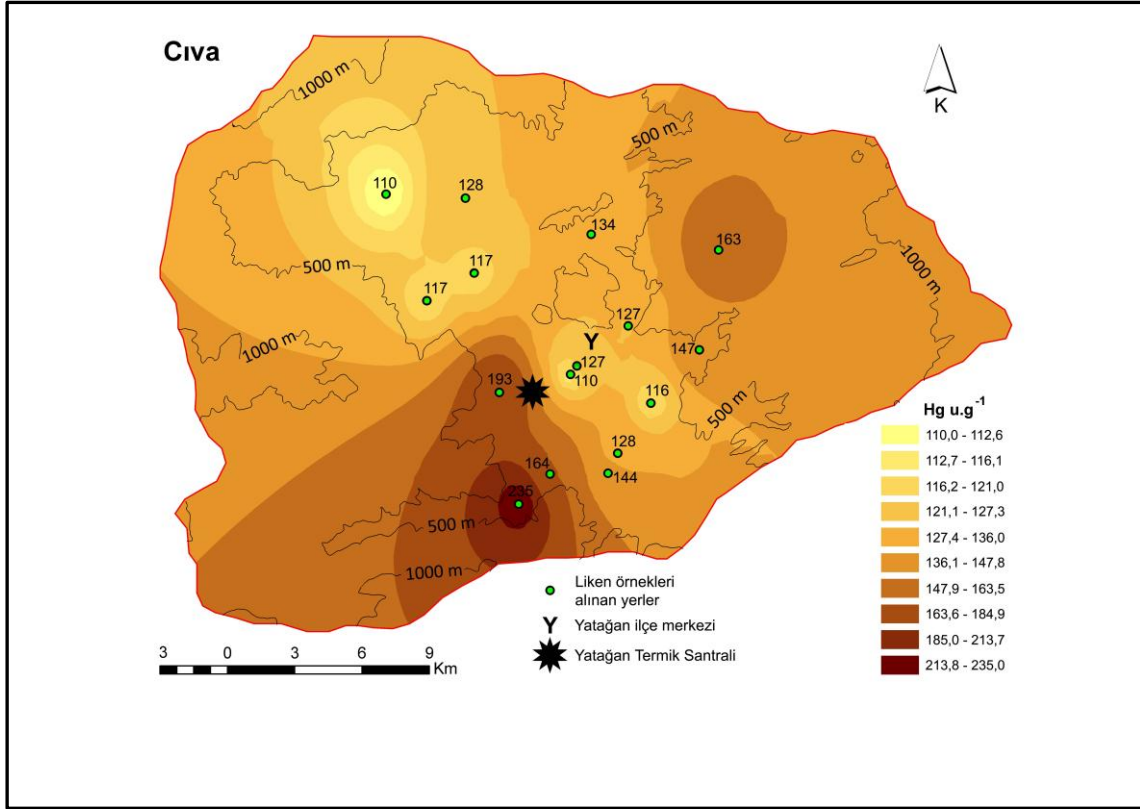
Şekil 5-10’da, toplanan liken örneklerinde analizi yapılan ağır metallerin mekansal dağılımı verilmiştir. Tüm haritalarda göze çarpan ilk unsur dağılım dokusunda gösterdikleri benzerliktir. Analizi yapılan altı elementin tümünde en yoğun konsantrasyon ova tabanının dışında, depresyonun kabaca batı ve doğu yamaçlarında gözlenmektedir. Ancak her bir element tek tek ele alındığında bu dağılım dokusunda özellikle lokalitede farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar aşağıda tanımlanmaya çalışılmıştır.

Şekil 5 Çalışma alanında likenlerde ölçülen cıva miktarlarının dağılımını göstermektedir. Haritaya bakıldığında en yüksek konsantrasyon değerinin ($235 \mu\text{g g}^{-1}$) çalışma alanının güneydoğusunda Kapıbağ ve Bozüyük yakınlarında olduğu görülmektedir. Burada ölçülen değer normal sınırların üstündedir. İkinci en yüksek değere santralin hemen doğusunda ($193 \mu\text{g g}^{-1}$) erişilmektedir. Depresyonun doğu yamaçlarında Alaşar yakınlarında sınır değerlerin altında olmakla birlikte nisbeten yüksek sayılabilecek bir konsantrasyon ($163 \mu\text{g g}^{-1}$) vardır. Yamaçlardan depresyon tabanına yaklaşıldıkça ölçülen değerler tümüyle normal sınırlar altında, kabul edilebilir düzeylerde.

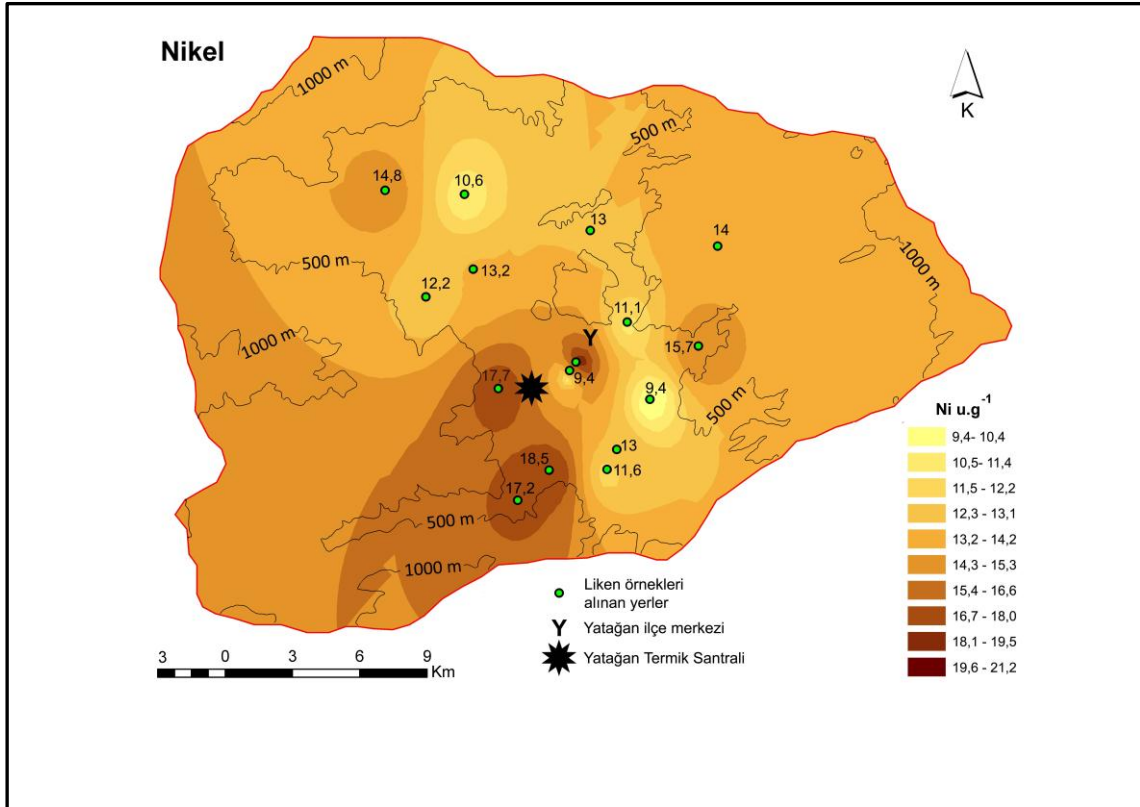
Yatağan ve çevresinde ölçülen nikel dağılımını gösteren haritaya (Şekil 6) bakıldığında cıva ile benzer bir dağılım dokusu dikkati çekmektedir. Alınan örneklerin tümünde nikel miktarları normal sınır değerlerinin çok üstündedir. Burada en yüksek dağılım ($18,5 \mu\text{g g}^{-1}$) yine güneydoğuda Kapıbağ ve Bozüyük yakınlarında ölçülmüştür. En yüksek değer ölçüldüğü bu noktanın çevresinde de sınır değerlerin 3-4 katı bir konsantrasyon vardır. Benzer bir yoğunluk ($15,7 \mu\text{g g}^{-1}$) depresyonun güneydoğusuna doğru Alaşar-Elekçi arasında Karadağ tepe’nin yamaçlarında yer almaktadır.

Şekil 7 çalışma alanında likenlerde ölçülen kurşun miktarlarının dağılımını göstermektedir. Ölçülen değerler birçok yerde sınır değerlerin üstünde olmasına rağmen, bu değerler toksisite oluşturmamaktadır. Kurşun dağılımında en dikkat çekici özellik, dağılımın santrale yakınlıkla ilgili olduğudur. Nitekim ölçülen en yüksek değerler ($25,11$ ve $21,15 \mu\text{g g}^{-1}$) santralin hemen çevresinde görülmektedir. Burada da yine depresyonun doğu yamaçlarında Alaşar yakınlarında, Karadağ tepenin yamaçlarında bir diğer yoğun alan bulunmaktadır.

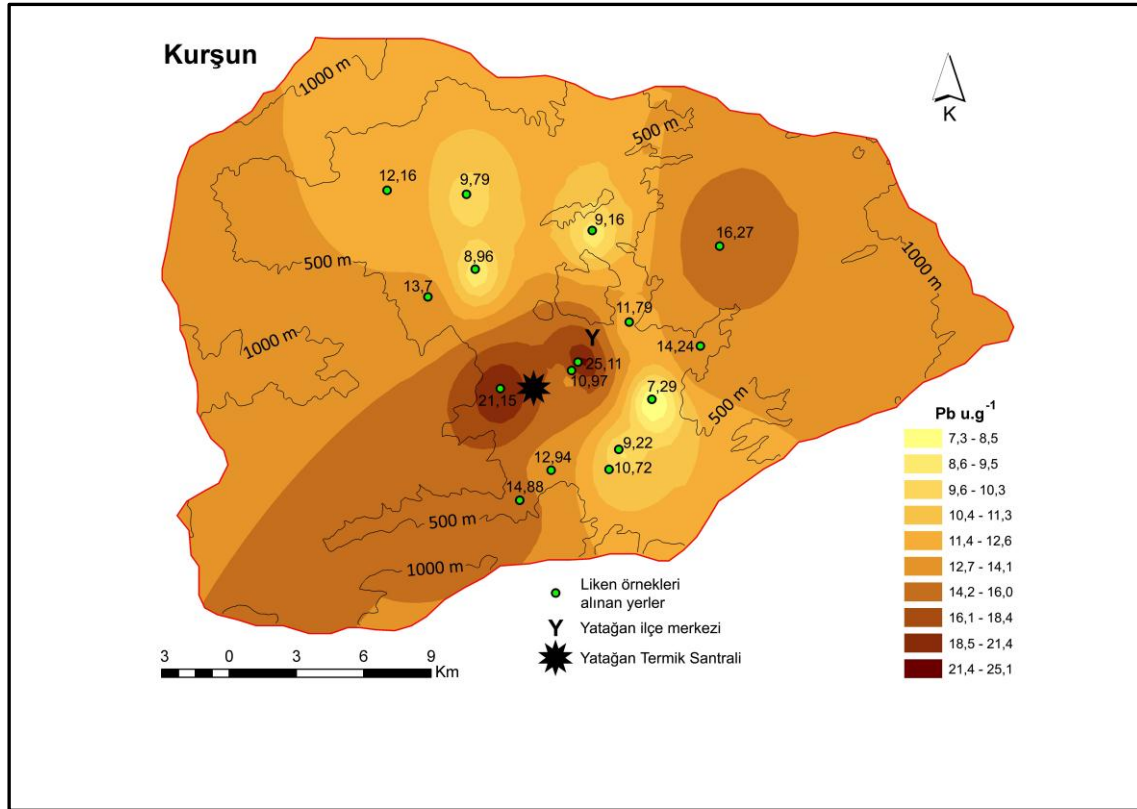
Likenlerde ölçülen bakır dağılımını gösteren Şekil 8 ilk bakışta diğer elementlerle aynı dağılım dokusunu göstermesine rağmen en yüksek konsantrasyon değeri santral çevresinde değil, diğer elementlerde ikinci en yoğun konsantrasyonun görüldüğü doğu yamaçlarda Elekçi-Alaşar mevkiindedir. Depresyon tabanında hemen hemen her yerde ölçülen bakır miktarları normal değerlerde olup, çalışma alanının hiçbir yerinde toksik değer oluşturacak bir değer ölçülmemiştir.



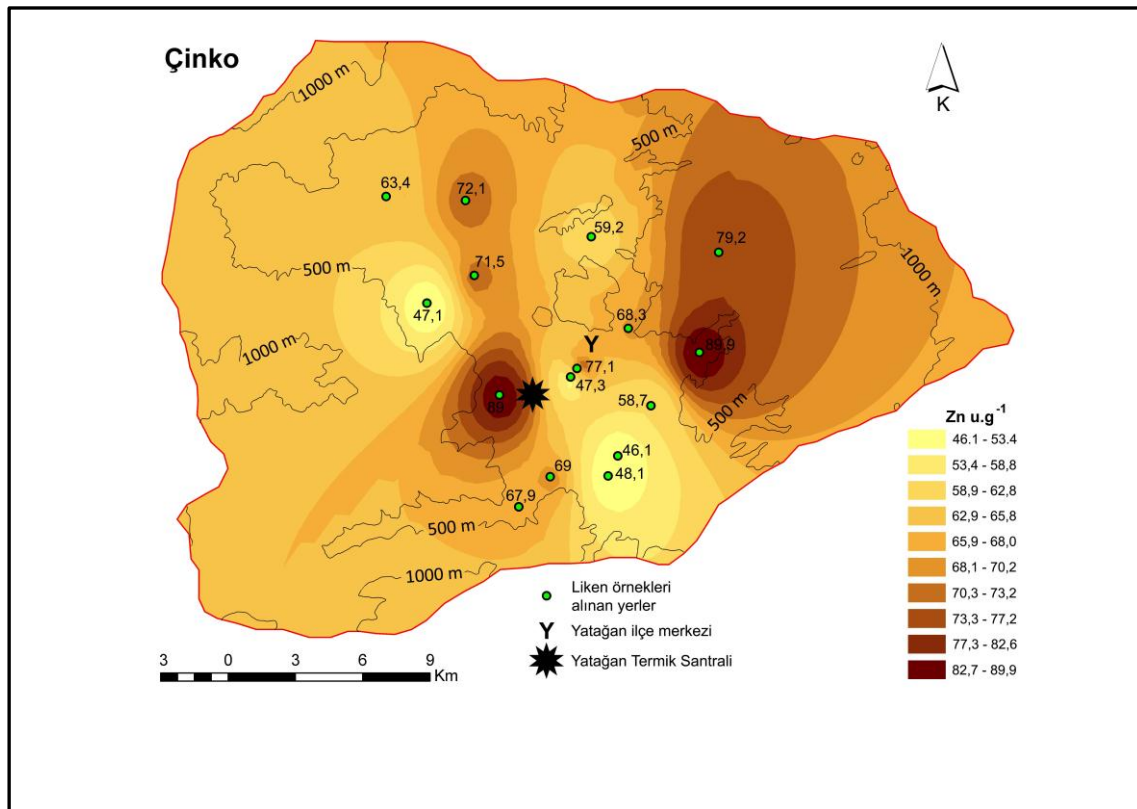
Şekil 5. Toplanan likenlerde ölçülen cıva'nın mekansal dağılımı.
Figure 5. Spatial distribution of measured mercury in collected lichens.



Şekil 6. Toplanan likenlerde ölçülen nikel'in mekansal dağılımı.
Figure 6. Spatial distribution of measured nickel in collected lichens.



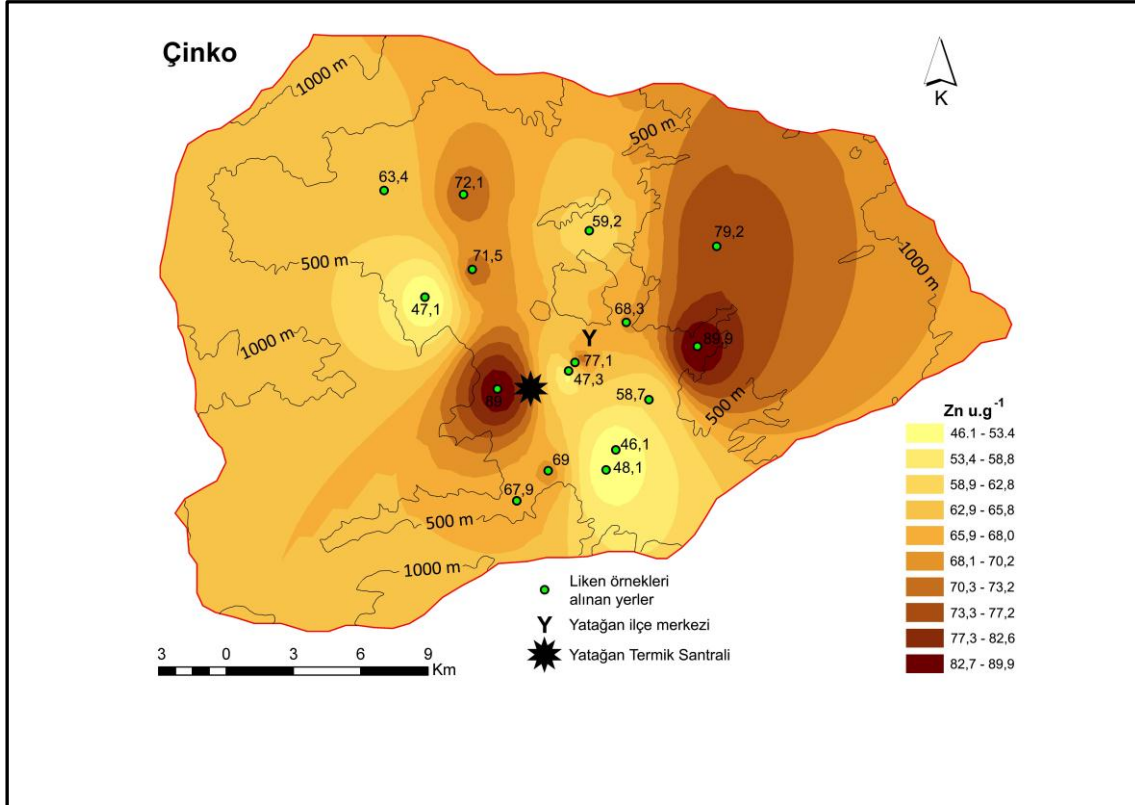
Şekil 7. Toplanan likenlerde ölçülen kurşun'un mekansal dağılımı.
Figure 7. Spatial distribution of measured lead in collected lichens.



Şekil 8. Toplanan likenlerde ölçülen bakır'ın mekansal dağılımı.
Figure 8. Spatial distribution of measured copper in collected lichens.

Şekil 9 Çalışma alanında ölçülen çinko miktarlarının dağılımını göstermektedir. Buradaki dağılım dokusu da diğer elementlerle benzer özelliktedir ve en yüksek konsantrasyon değeri depresyonun doğu yamaçlarında Elekçi-Alaşar mevkiinde görülmektedir. Yine santralin hemen batısındaki yamaçlarda bir konsantrasyon kümelenmesi dikkat çekmektedir. Çinko için ölçülen değerlerin hiçbiri normal sınır değerlerin üstünde toksik etki oluşturacak düzeyde değildir.

Bu çalışma kapsamında ele alınan son element olan demir, araştırma alanının her yerinde normal sınır değerlerin çok üstünde bir konsantrasyon değerine sahiptir. En yüksek değerler özellikle depresyonun batı yamaçları boyunca ölçülmüştür (Şekil 10). Yine güneydoğuda Karadağ tepe civarında Alaşar yakınlarında bir diğer yüksek konsantrasyon kümelenmesi dikkati çekmektedir.

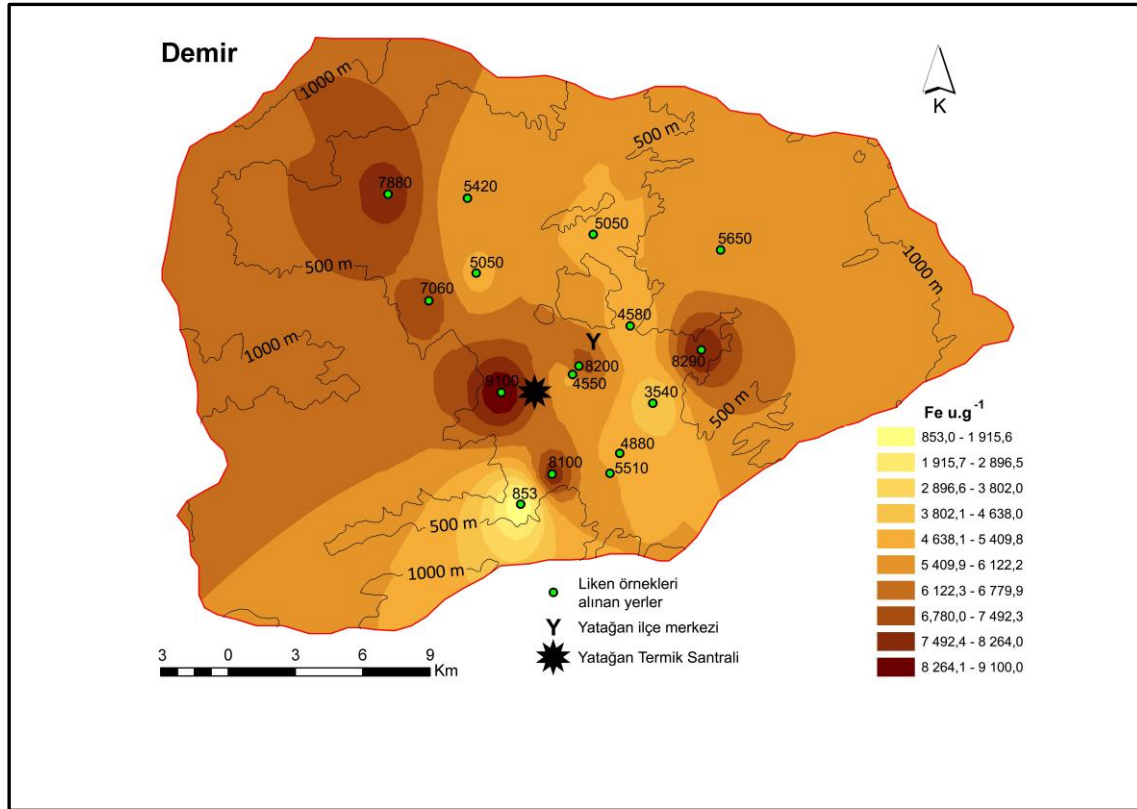


Şekil 9. Toplanan likenlerde ölçülen çinko'nun mekansal dağılımı.
Figure 9. Spatial distribution of measured zinc in collected lichens.

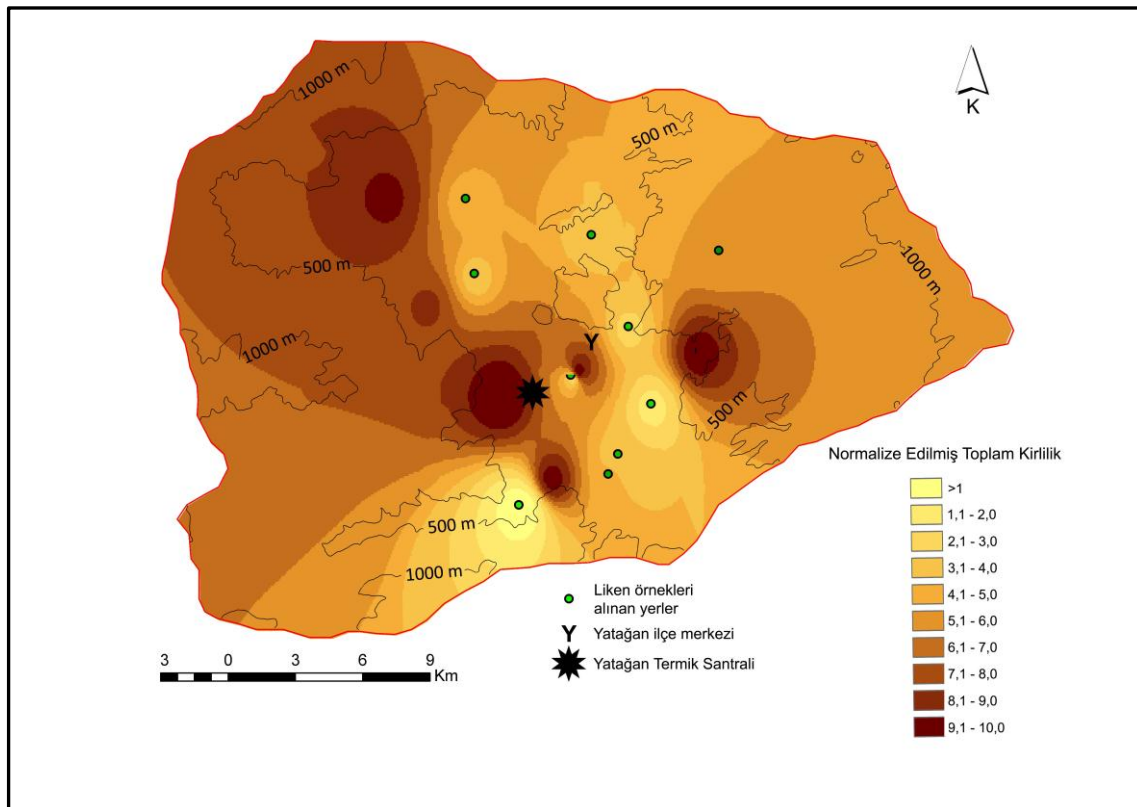
Şekil 11 ölçülen 6 farklı element sonuçlarının karşılaştırılması ile elde edilen toplam kirliliği göstermektedir. Temelde beş farklı konsantrasyon kümelenmesi ilk bakışta göze çarpmaktadır. Bu kümelenmelerin ilki santralin hemen batısında, diğeri Yatağan ilçe merkezi çevresinde, üçüncüsü Turgut ilçesi çevresinde, dördüncüsü santralin güneyinde Kapıbağ ve Bozhüyük arasında ve nihayet sonuncusu Elekçi çevresindedir. Harita üzerinde en yoğun kirliliğin depresyonun batı kesiminde kabaca KB-GD uzanımlı bir hat boyunca uzandığı görülmektedir. Özellikle santralin hemen batısında konsantrasyon 10 birime ulaşmaktadır. Bu durum analizi yapılan tüm elementlerin yoğun bir biçimde santral çevresinde birikime uğradığını göstermektedir. Depresyonun orta kesimi diğer tüm haritalarda da görüldüğü gibi en düşük konsantrasyon değerlerine sahip alanı oluşturmaktadır.

Dağılım Üzerinde Etkili Olan Faktörler

Yatağan çevresinde ağır metallerin mekansal dağılımında yukarıda açıklandığı gibi farklılıklar olsa bile dağılım dokusunda genel bir uyum ve benzerlik olduğu dikkati çekmektedir. Bu dağılım düzeninin şekillenmesinde gerek çalışma alanının topografik özellikleri gerekse hakim rüzgar yönü ve şiddetinin etkili olduğunu söylemek mümkündür. Nitekim Yatağan meteoroloji istasyonuna ait rüzgar frekans gücü (Şekil 3) incelendiğinde hakim rüzgar yönünün GGD sektörlü olduğu, ikinci hakim rüzgar yönünün ise KKD sektörlü olduğu dikkati çekmektedir. Özellikle birinci derecede hakim rüzgar yönünün depresyon uzanışıyla uyumluluk göstermesi, depresyon tabanında ölçülen ağır metal konsantrasyon değerlerinin çevrelere oranla daha düşük çıkmasını açıklar niteliktedir.



Şekil 10. Toplanan likenlerde ölçülen demir'in mekansal dağılımı.
 Figure 10. Spatial distribution of measured iron in collected lichens.



Şekil 11. Toplanan likenlerde ölçülen altı elementin sonuçlarının çakıştırılması ile oluşturulan toplam kirlilik konsantrasyon haritası.
 Figure 11. Total pollution concentration overlaid map based on measured results of six elements in collected lichens.

Rüzgâr yönü, frekansı ve hızının genel olarak büyük basınç merkezlerinin yıllık hareketlerine göre şekillendiği, yere yakın hava tabakalarında ise topografik uzanımların yönlendirici olduğu, ayrıca dağlık alanlarla ova tabanları arasındaki termik farklara bağlı yerel rüzgârların geliştiği bilinmektedir. Şekil 2'de değişik yönlerden esen rüzgârların hakim yön ve ortalama hızları gösterilmiştir. Buna göre Yatağan havzasında %40,33 ile güney ve %31,09 ile kuzey sektörlü rüzgârlar hakimdir. Rüzgâr yönlerinin yıl içindeki değişimleri, kuşkusuz bölgeyi etkileyen atmosfer dolaşımının denetimindedir. Şekil 2'den de anlaşılacağı üzere, yıl içinde rüzgâr yönü bakımından üç belirgin dönem ayırt edilebilir. Aralık, Ocak ve Şubat aylarında sıcak cephe geçişlerine bağlı olarak GD sektörlü rüzgârlar hakim olmaktadır. Bu dönemdeki belirgin GD yönlü sektör gezici alçak basınç sistemlerine bağlı hava tiplerinin hakimiyeti ve topografik özelliklerin etkisi ile açıklanabilir. Nitekim özellikle Orta ve Doğu Akdeniz üzerinde oluşan ve siklonik dönüşe uygun olarak kuzeydoğuya doğru yönelen gezici alçak basınç sistemleri, Gökova körfezi üzerinden Yatağan depresyonuna doğru, topografik koşullara bağlı olarak güney sektörlü hava akımlarının frekansını artırmaktadır.

Mayıs ayından itibaren subtropikal Azor antisiklonundan Muson alçak basıncına (Basra termik alçak basıncı) yönelen hava akımı, kuzey sektörlü "Etezyen" rüzgârların frekansının artmasına neden olmaktadır (ERLAT, 2003: 29). Sonbaharda ise başlayan depresyon geçişlerine bağlı olarak batı sektörlü rüzgârlar hakim olmaktadır.

İlk bakışta, genel hatlarıyla Yatağan depresyonunu etkileyen bu rüzgâr sisteminin, santral bacasından çıkan kirleticilerin depresyonun uzanışına uygun olarak depresyon dışına taşınmasını sağlayacağı düşünülebilir. Ancak ölçülen en yüksek konsantrasyon değerlerinin genellikle santrale yakın yerlerde, daha çok depresyonun güneybatı yamaçlarında bulunması, bacadan çıkan partiküllerin durgun havalarda hemen baca yakınlarında yere inerek birikmesi ile açıklanabilir. Ayrıca, genel olarak depresyonun batı ve doğu yamaçlarında yüksek konsantrasyon değerlerinin ölçülmesi, bu tip depresyon alanlarında etkili olan dağvadi rüzgârları ile de ilişkilendirilebilir.

SONUÇ

Likenlerin hava kirliliğinin belirlenmesinde biyoindikatör olarak kullanımı öteden beri yapılmaktadır. Bu çalışmada Yatağan Termik Santrali ve çevresinden toplanan liken örneklerinde biriken ağır metallerin konsantrasyon değerlerine bakılarak, Yatağan ve çevresine ait hava kirliliğinin mekansal değişimi ve bu değişim üzerinde rol oynayan coğrafi faktörlerin neler olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Termik santrallerde yüksek sıcaklıklarda yakılan linyit kömürünün bileşimindeki ağır metaller zenginleşmiş olarak küle geçer. Ağır küllerin bir bölümü tam yanmamış organik maddeler ile birlikte dip külü olarak ocak tabanına düşerken, hafif küller sıcak gazlarla birlikte bacaya taşınır ve uçucu külü oluşturur. Bu uçucu küller baca gazı desülfürizasyon sistemi ile önemli ölçüde tutulur. Ancak Yatağan Termik Santralinde baca gazı desülfürizasyon sistemi 2001 yılında devreye girmiş olmakla birlikte, söz konusu sistem zaman zaman devre dışı kalabilmektedir. Yılın belirli dönemlerinde santral, baca gazı desülfürizasyon sistemi devrede olmadan çalışmaktadır (BÜKE ve KÖNE, 2009). Gerek baca filtresinin çalışması durumunda filtreden kaçan, gerekse devre dışı kaldığında bacadan çıkan gaz ve partikül madde içindeki ağır metaller Yatağan depresyonunun farklı bölümlerinde topografya özelliklerine göre yönelen rüzgârın etkisi ile birikmektedir. Bu birikim her bir element için depresyon içinde farklı bir dağılım doku göstermekle birlikte, genel olarak santralin hemen çevresinde özellikle yoğunlaşmaktadır. Bulgular bölümünde açıklandığı üzere, depresyonun uzanışına uyan GGD yönlü hakim rüzgâr yönüne bağlı olarak depresyon tabanında birikim, çevre yamaçlara oranla daha az bulunmuştur. Bir başka deyişle, hakim rüzgâr havadaki kirleticileri daha kuzeye, depresyonun dışına taşıyor görünmektedir. Bu durum, ilk bakışta dağılım haritaları ile bir çelişki oluşturmaktadır. Çünkü hemen hemen tüm elementlerde depresyonun kuzeyindeki Gökbel dağının güney eteklerinde en düşük konsantrasyon değerleri bulunmuştur. Oysa depresyonun kuzey yamaçlarında daha yüksek konsantrasyon değerine rastlanması beklenirdi. Ancak çalışma kapsamında toplanan örnekler ova tabanından, santralin yakın çevresinden alındığı için (Şekil 4) jeostatistiksel olarak oluşturulan enterpolasyonda kuzeydeki en son örnek noktasında ölçülen değer sınır olarak alınmaktadır. Bu durum istatistiksel yöntemin doğası gereğidir. Nitekim Gökbel dağının güney yamaçlarından alınacak başka örneklerde daha yüksek konsantrasyon değeri çıkması mümkündür. Bu tezi doğrulamak için çalışmanın genişletilmesine ve örneklemenin daha geniş bir alanı kapsayacak şekilde yapılmasına ihtiyaç vardır.

Tablo 1'de verilen değerler bitki için toksik etki oluşturacak sınır değerlerdir. Ancak insan sağlığı açısından ele alındığında durum daha farklıdır. Analizi yapılan toplam altı elementin ikisi (çinko ve demir) insan beslenmesi açısından esansiyel (vücut işlevlerinin yerine getirilmesinde rol oynayan) elementlerdir. Bu iki element içinde en yüksek konsantrasyon değerine sahip olan demir insan sağlığı açısından her hangi bir risk oluşturmamaktadır. Nitekim demir hücrelere oksijen taşımada kullanılan önemli bir elementtir ve eksikliği durumunda anemiye yol açmaktadır. Demir fazlası vücutta birikmemekte ve dolayısıyla da toksik bir etki oluşturmamaktadır. Çinko fazlası da genellikle renal sistem aracılığıyla vücuttan atılmaktadır. Ancak çok yüksek dozlarda çinko maruziyeti durumunda hematolojik ve renal sistem bozuklukları ortaya çıkabilir (BAŞ ve DEMET, 1992).

Analizi yapılan ağır metaller içinde insan sağlığı açısından en tehlikeli olanlar cıva ve kurşundur. Nitekim her iki elementin de metabolik herhangi bir rolleri olmadığından, hangi dozda alınırsa alınsın sağlığı olumsuz etkilemesi beklenir. Amerikan İlaç ve Gıda Örgütü (FDA) ve Dünya

Sağlık Örgütü (WHO) tarafından günlük maksimum cıva alım limiti 0,3 mg/hafta veya 0,03 mg/gün olarak belirlenmiştir (BAŞ ve DEMET, 1992). Cıva her ne kadar vücuttan atılabilen bir element olsa da özellikle karaciğerde birikerek kronik toksisite oluşturabilir.

Kurşunun insan sağlığına etkileri ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma vardır. Kurşun halk sağlığını tehdit eden ve esansiyel olmayan bir elementtir (ŞANLI vd., 2005). Dünya Sağlık Örgütü'nün son yıllarda önerdiği normal kan kurşun düzeyi "0"dır (ŞANLI vd., 2005). Yani hiçbir şekilde vücutta birikmemesi gereken bir elementtir. Özellikle çocuklar kurşun zehirlenmesinden en çok etkilenen yaş grubunu oluşturmaktadır. Bu durum çocuklarda başta mental bozukluklar olmak üzere, hematolojik, endokrin ve renal sistem bozukluklarına yol açmaktadır. Ayrıca hamileler ile ilgili yapılan çalışmalarda kurşunun plasentadan fetusa

geçtiği belirtilmektedir (ŞANLI vd., 2005). Yatağan ve çevresinde 0,6 – 6 yaş arası 236 çocuğun kanlarındaki kurşun düzeyi ile ilgili yapılan bir çalışmada (YAPICI vd., 2004) ortalama 36,2 µg/dL değeri bulunmuştur. Bu değer ülkemizde kurşunla ilgili yapılmış çalışmalar ve sonuçları açısından en yüksek değeri oluşturmaktadır (ŞANLI vd., 2005).

Yatağan Termik Santralinden kaynaklanan ağır metal kirliliğine bağlı olarak, likenlerde biriken doz miktarının insan sağlığı bakımından ne anlama geldiğinin belirlenebilmesi için daha ayrıntılı çalışmalar gerekmektedir. Bunun için öncelikle örnek alınan noktaların daha geniş bir alanda, amacına uygun ve yeterli bir dağılım planında belirlenmesi, örnek alımının aynı yerlerden belli zaman aralıklarıyla tekrarlanarak yapılması önerilebilir.

KAYNAKÇA

- AKGÜÇ, N. (2007). *Muğla İlinde Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti İçin Pyracantha coccinea Roem. (Rosaceae)'nin Biyomonitör Olarak Kullanılması*. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi).
- BAŞ, A.L. ve DEMET, Ö. (1992). "Çevresel Toksikoloji Yönünden Bazı Ağır Metaller", *Ekoloji Dergisi* 5: 42-46.
- BÜKE, T. ve KÖNE, A.Ç. (2009). "Yatağan Termik Santrali Çevresindeki Radyasyon ve SO₂ Kaynaklı Risklerin Değerlendirilmesi", *Türkiye 11. Enerji Kongresi*, 21 – 23 Ekim 2009, İzmir.
- BOAMPONSEM, L.K., ADAM, J.I., DAMPARE, S.B., NYARKO, B.J.B. ve ESSUMANG, D.K. (2010). "Assessment of Atmospheric Heavy Metal Deposition in the Tarkwa Gold Mining Area of Ghana using Epiphytic Lichens", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 268: 1492-1501.
- CARBALLEIRA, A. ve FERNANDEZ, J.A. (2002). "Bioconcentration of Metals in the Moss *Scleropodium purum* in the Area Surrounding a Power Plant: A Geotopographical Predictive Model for Mercury", *Chemosphere* 47: 1041-1048.
- DELFANTI, R., PAPUCCI, C. ve BENCO, C. (1999). "Mosses as Indicators of Radioactivity Deposition around a Coal-Fired Power Station", *The Science of the Total Environment* 227: 49-56.
- DZUBAJ, A., BACKOR, M., TOMKO, J., PELI, E. ve TUBA, Z., (2008). "Tolerance of the Lichen *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. To Metal Stress", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70: 319-326.
- ERLAT, E. (2003). *İzmir'in Hava Tipleri Klimatolojisi*. İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayını.
- HAKTANIR, K., SÖZÜDOĞRU OK, S., KARACA, A., ARCAK, S., ÇİMEN, F., TOPÇUOĞLU, B., TÜRKMEN, C. ve YILDIZ, H. (2010). "Muğla – Yatağan Termik Santrali Emisyonlarının Etkisinde Kalan Tarım ve Orman Topraklarının Kirlilik Veri Tabanının Oluşturulması ve Emisyonların Vegetasyona Etkilerinin Araştırılması", *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 2 (1): 13-30.
- İKİEL, C. (2004). "Muğla'nın Coğrafi Özellikleri", *Muğla Kitabı (Arkeoloji, Tarih, Coğrafya)* (Hazırlayan: A. Abbas Çınar): 15-25, İzmir.
- KAHRAMAN, A., KAYNAK, G., GÜRLER, D., YALÇIN, S., ÖZTÜRK, S. ve GÜNDOĞDU, O. (2009). "Investigation of Environmental Contamination in Lichens of Gökçeada (Imroz) Island in Turkey", *Radiation Measurements* 44: 199-202.
- MENDİL, D., ÇELİK, F., TUZEN, M. ve SOYLAK, M. (2009). "Assessment of Trace Metal Levels in some Moss and Lichen Samples Collected from near the Motorway in Turkey", *Journal of Hazardous Materials* 166: 1344-1350.
- NASH, T.H. ve SOMMERFIELD, M.R. (1981). "Elemental Concentrations in Lichens in the Area of the Four Corners Power Plant, New Mexico", *Environmental and Experimental Botany* 21 (2): 153-162.
- ÖZTÜRK, M. (2009). *Kül Dağları ve Toksik Metal Kirliliği*. <http://www.mozturk.net/Upload/kuldaglariveagirme_tal.pdf> Son erişim 1 Eylül 2011.
- POLICNIC, H., SIMONCIC, P. ve BATIĆ, F. (2008). "Monitoring Air Quality with Lichens: A Comparison between Mapping in Forest Sites and in Open Areas", *Environmental Pollution* 151: 395-400.
- SCERBO, R., POSSENTI, L., LAMPUGNANI, L., RISTORI, T., BARALE, R. ve BARGHIGIANI, C. (1999). "Lichen (*Xanthoria parietina*) biomonitoring of trace element contamination and Air Quality Assessment in Livorno Province (Tuscany, Italy)", *The Science of the Total Environment* 241: 91-106.
- ŞANLI, C., HİZEL, S. ve ALBAYRAK, M. (2005). "Kurşun ve Çocuk Sağlığı", *Sted* 14 (4): 70-75.
- TUFAN ÇETİN, Ö. ve SÜMBÜL, H. (2010). "Hava Kirliliğinin Belirlenmesinde Likenlerin Kullanımı", *Mehmet Akif*

- Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2: 73-85.
- VAN DOBBEN, H.F., WOLTERBEEK, H.Th., WAMELINK, G.W.W. ve TER BRAAK, C.J..F. (2001). "Relationship between Epiphytic Lichens, Trace Elements and Gaseous Atmospheric Pollutants", *Environmental Pollution* 112: 163-169.
- YAPICI, G., CAN, G., KIZILER, A.R., DEMİRCAN, Ç. ve TİMUR, H. (2004). "Yatağan Merkezde Yaşayan 6 ay – altı Yaş Arası Çocuklarda Asemptomatik Kurşun Zehirlenmesi Prevelansı", *MN-Klinik Bilimler & Doktor* 10: 60-65.
- YENİSOY KARAKAŞ, S. ve 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.

Yazarlar hakkında

**Yrd. Doç. Dr.
M. Kirami ÖLGEN**

Ege Üniversitesi
Edebiyat Fakültesi
Coğrafya Bölümü
Bornova/İzmir

Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama, Mekansal İstatistik ve Coğrafi Epidemiyoloji konularında çalışmaktadır.

**Arş. Gör. Dr.
Filiz GÜR**

Ege Üniversitesi
Nükleer Bilimler Enstitüsü
Bornova/İzmir

Doğal ve yapay çevresel radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi konularında çalışmaktadır.