

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında göstermiş olduğu yardım ve özveriden dolayı değerli hocam Prof. Dr. A. Yavuz Çotuk’a içtenlikle teşekkür ederim. Aynı şekilde bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen ve manevi desteğiyle güç bulduğum Doç. Dr. Mahmut Coşkun ve Uzm. Biyolog Münevver Coşkun’a çok çok teşekkür ederim.

Bütün okul hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili dayım H. HhhsfsdsSSNNNİsmail Kalkan’a ve her türlü yardımını esirgemeyen Biyolog Dr. Mustafa Kılıç’a minnet borçluyum.

Tezimin uygulama aşamasında göstermiş oldukları yardım ve desteklerinden dolayı yüksek lisans öğrencisi Önder Kılıç ve doktora öğrencisi Murat Belivermiş’e, güzel dostlarım O. Erdem Gülegen ve Çetin Burç’a teşekkürü borç bilirim.

Çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi’ne teşekkürü borç bilirim.

Haziran, 2005

Akın Çayır

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ	III
TABLO LİSTESİ	IV
ÖZET	V
SUMMARY	VI
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1. Biyolojik İzleme	4
2.2. Biyoindikatör Organizma Olarak Karayosunları	8
2.3. Biyoindikatör Organizma Olarak Likenler	11
2.4. Karayosunu ve Liken Karşılaştırılması	14
2.5. Trakya Bölgesindeki Yağış ve Rüzgar Koşulları	16
3. MALZEME VE YÖNTEM	19
3.1. Örnekleme ve Örnek İstasyonları	19
3.2. Materyalin Analize Hazırlanması	24
3.2.1. Gerekli Malzemeler ve Analiz İşlemleri	24
3.3. Analiz	25
4. BULGULAR	27
4.1. Cd, Cu, Pb ve Zn Elementlerinin Bölgedeki Dağılımı	37
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	38
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	54

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	:Trakya Bölgesi'nin yağış haritası	17
Şekil 2.2	:Rübinstein formülüne göre Trakya'da Ocak ayında hakim rüzgar yönleri ve % olarak frekansları	18
Şekil 2.3	:Rübinstein formülüne göre Trakya'da Temmuz ayında hakim rüzgar yönleri ve % olarak frekansları	18
Şekil 3.1	:Çalışma bölgesi	23
Şekil 3.2	:Karayosunu örnek istasyonları ve bölgedeki dağılımı	23
Şekil 3.3	:Liken örnek istasyonları ve bölgedeki dağılımı	24
Şekil 4.1	:Karayosunu Cu sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı	33
Şekil 4.2	:Karayosunu Cd sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı	33
Şekil 4.3	:Karayosunu Zn sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı	34
Şekil 4.4	:Karayosunu Pb sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı	34
Şekil 4.5	:Liken Cu sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı	35
Şekil 4.6	:Liken Cd sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı	35
Şekil 4.7	:Liken Zn sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı	36
Şekil 4.8	:Liken Pb sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı	36

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	:Karayosunu örnekleme istasyonları ve koordinatları	20
Tablo 3.2	:Karayosunu örnekleme istasyonları ve koordinatları(devamı)	21
Tablo 3.3	:Liken örnekleme istasyonları ve koordinatları	22
Tablo 4.1	:Karayosunu örneklerinde Cd, Cu, Zn ve Pb konsantrasyonları (mg/kg)..	28
Tablo 4.2	:Karayosunu örneklerinde Cd, Cu, Zn ve Pb konsantrasyonları (devamı) (mg/kg)	29
Tablo 4.3	:Liken örneklerinde Cd, Pb, Cu ve Zn konsantrasyonları (mg/kg)	30
Tablo 4.4	:Karayosunu örneklerinde ortalama Cd, Cu, Pb ve Zn değerleri ile $\pm$ % 95 Güven aralıkları	31
Tablo 4.5	:Liken örneklerinde ortalama Cd, Cu, Pb ve Zn değerleri ile $\pm$ % 95 Güven aralıkları	31
Tablo 4.6	:Karayosunlarında Cd, Cu, Pb, ve Zn elementleri arasında bulunan korelasyon katsayıları	32
Tablo 4.7	:Karayosunu ve Likenlerden elde edilen Cd, Cu, Pb, ve Zn elementlerine ait istatistiksel veriler	32
Tablo 5.1	:İspanya, Macaristan ve Norveç ve bu biyolojik izleme çalışmaları sonucunda elde edilen ortalama değerler (mg/kg)	42
Tablo 5.2	:Çeşitli Avrupa ülkelerinde yapılan biyolojik izleme çalışmaları sonucu elde edilen ortalama değerler (mg/kg)	42

ÖZET

HAVADAN GELEN AĞIR METALLERİN TRAKYA'DAKİ DAĞILIMI

Bu çalışmada, insanın çeşitli aktiviteleri ile çevreye yayılan ve atmosfer yoluyla taşınan Cd, Cu, Pb ve Zn'in Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı belirlenmiştir. Bu dört elementin konsantrasyonlarının saptanması için 2001 yılında toplanan biyoindikatör niteliğindeki karayosunu (*Hypnum cupressiforme*) ve liken (*Cladonia rangiformis*) örnekleri kullanılmıştır. Karayosunu ve likenlerdeki Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonları Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (AAS) ile belirlenmiştir.

Bu dört elementin bölgedeki dağılımı üzerine atmosferik olayların, bölgenin topoğrafik yapısının, insan faaliyetlerinin etkileri ve elementlerin olası kaynakları araştırılmıştır. En yüksek konsantrasyonlar, bölgede endüstrileşme, nüfus ve trafiğin yoğun olduğu yerlerde bulunmuştur. Ayrıca, bölgede yağışın en fazla olduğu kuzey kesimi ile tarımsal aktivitenin yüksek olduğu iç bölgelerde de bu elementlerin konsantrasyonları yüksek bulunmuştur.

SUMMARY

THE DISTRIBUTION OF AIRBORNE HEAVY METALS IN THRACE REGION

In this study, the distribution patterns of Cd, Cu, Pb and Zn transported by means of atmosphere and human activities were determined in the Thrace region. Moss (*Hypnum cupressiforme*) and lichen (*Cladonia rangiformis*) samples that were collected in 2001 as bioindicator were used to determine the concentrations of these four elements.

The concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn in moss and lichen samples were determined by means of flame Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).

Possible sources of these elements and the effects of topographic structure, atmospheric condition and human activities on the distribution of these elements were investigated. The highest concentrations of elements were found at the highly industrialized, populated and with the dens traffic areas. The highest concentrations of these elements were also found in the north Thrace that has dens precipitation annually, and at the inner part of Thrace is mostly agricultural area.

1. GİRİŞ

Ağır metallerin çevrede birikmesinde ve çevreyi oluşturan alt birimlerdeki dağılımı bölgenin yağış miktarı, hakim rüzgarların yönü ve hızları gibi iklim koşulları ile yükseklik ve bitki örtüsü (fizyonomisi) önemli rol oynamaktadır. Atmosferdeki çeşitli partiküllere bağlı olarak bulunabilen ağır metaller, partikülün büyüklüğüne ve fiziksel durumuna göre bölgesel olarak birikebilirler. Bunun yanında çeşitli meteorolojik olaylara bağlı olarak uzak mesafelerde taşınabilirler.

Trakya Bölgesi'nde bulunan İstanbul ve Tekirdağ gibi iller endüstrileşme, trafik ve nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu yerler olması dolayısıyla bölgedeki ağır metal dağılımı üzerinde önemli etkiye sahip kirletici kaynağı durumundadırlar. Ayrıca bölgenin topoğrafik yapısı, yağış rejimi, rüzgar yön ve şiddetleri de metal birikimini önemli derecede etkilemektedirler.

Bu çalışmada havayla taşınan toksik metallere Pb, Cd, Zn ve Cu'nun bölgedeki dağılımının ne şekilde olduğu, dağılım üzerine etkili olan faktörlerin neler olduğu ve olası kaynaklarının neler olabileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 26°22'20"-29°05'67" boylamları ile 40°41'37"-41°98'67" enlem dereceleri arasında kalan Trakya Bölgesi'nde karayosunu ve liken örnekleri toplanmış ve metallerin bu organizmalardaki konsantrasyonları saptanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

Atmosfere karışarak atmosferik kirliliğin bir bölümünü oluşturan metaller atmosfere, enerji elde etmek amacıyla fosil yakıtların ve organik maddelerin yakılmasıyla, çeşitli endüstriyel etkinlikler sonunda ve bu etkinlikler sonucu oluşan atıkların yakıt ünitelerinde yakılmasıyla salınırlar. Volkanik hareketler, rüzgar erozyonu, okyanuslar ve orman yangınları da toksik metallerin doğal kaynakları arasında yer alırlar [1]. Son yıllarda ağır metallere, sahip oldukları kendilerine has özelliklerden dolayı büyük bir ilgi duyulmaya başlanmıştır. Bu özellikler;

- Radyonüklidler gibi bozunmazlar. Bunun yanı sıra birçok organik madde gibi zaman içinde parçalanmazlar,
- Bazı ağır metaller canlılar için gerekli ve yararlıdırlar. Fakat spesifik eşik değerlerini aştıkları zaman toksik etki meydana getirirler,
- Bir takım mekanizmalarla kirlenmemiş bölgelerde doğal seviyede bulunurlar. Çevrede, bu doğal seviyelerin artması çeşitli insan aktiviteleri ile meydana gelmektedir,
- Çoğunlukla katyon durumundadırlar. Kimyasal formuna, tutunduğu partikülün büyüklüğüne ve atmosferik koşullara bağlı olarak biyosferde ve biyosferi oluşturan alt birimlerde birikebilirler [2].

Birçok element hayatın devamı, büyüme ve üreme gibi faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için gereklidir. Canlı organizmalar tarafından çok az miktarlarına ihtiyaç duyulan bazı elementler mikroelement, eser element veya mikrobesein olarak tanımlanmaktadır. Organizma metabolizması için zorunlu olmakla birlikte organizmalar tarafından az miktarlarda kullanılan elementler eser element olarak kabul edilmektedir. Zn, Mn, Cu, B, Mo, Fe gibi elementler bitkiler ve hayvanlar için temel fonksiyonların devamının sağlanması bakımından çok küçük miktarlarda ve belli sınırlar içinde gereklidirler [3]. Organizmalar, elementleri hava, su ve besin yoluyla almaktadırlar. Fazla miktarlarda alındıklarında canlı üzerinde toksik etki gösterebilmektedirler.

Ağır metaller havadaki partiküllerin hemen hemen tümünde bulunabilirler. Bu partiküller, havada asılı duran ve herhangi bir yere tutunmuş olan partiküller olmak üzere ikiye ayrılabilirler. Havada bulunan partiküllerin % 0.01-3 'ünü insan sağlığı yönünden çok yüksek konsantrasyonları toksik olan eser elementler oluşturmaktadır [4]. Konsantrasyonları ve dağılışı atmosfere salınan doğal emisyonlarla ve meteorolojik olaylarla kontrol edilir [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Doğal çevre ve özellikle atmosferik kirlenmeye neden olan ve insan faaliyetleri sonucu yayılan kirleticiler, dünyanın birçok bölgesinde iyi bir şekilde analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar yayınlanmıştır. Kirleticiler birçok kimyasal formda ve toksik seviyelerde bulunabilirler. Bunlar arasında her elemente özgü olmak şartıyla belli bir seviyeden sonra toksik olan Pb, Zn, Cd ve Cu gibi elementler üzerinde çok çalışılmış olduklarından atmosferik birikim ve dağılım mekanizmaları iyi bilinen metallerdirler. Bu kirleticiler birçok insan aktivitesiyle birlikte endüstriyel faaliyetlerin arttığı ve nüfusun yoğun olduğu bölgelerde devamlı olarak atmosfere salınmaktadırlar. Kirleticilerin atmosferdeki miktarları, atmosferden kuru (yerçekimine ve rüzgara bağlı olarak) ve yağ (yağışa bağlı olarak) birikme ile azalmaktadır. Kirleticilerin kimyasal şekilleri ve partikül boyutu ile bölgedeki yağışın dağılışı ve yoğunluğu gibi atmosferik koşullar birikme şeklini ve miktarını belirler [11]. Ancak partikülün bir yüzeye yapışma kuvveti partikülün boyutuna ve rüzgarın şiddetine bağlıdır. Partikül büyüklüğünün dağılımı metallerin toksisiteleri üzerine büyük bir etkiye sahiptir. Solunum sırasında, solunum sistemine girme ve tutunma derecesi partikülün büyüklüğüne bağlıdır [12, 13]. Endüstri ve güç santralleri gibi kaynaklardan atmosfere yayılan ağır metallerin bazıları bırakıldıkları kaynakların etrafında yayılırlar. Etkilediği alan; baca yüksekliği ve rüzgarın yönüne bağlı olarak 10-50 km. olabilmektedir. Diğer metaller yanma esnasında gaz fazına geçmelerinden dolayı uzak mesafelere taşınabilirler. Çapı 20 μm . ve daha fazla olan partiküller yerçekimine bağlı olarak yeryüzüne inerler. Ancak 0.1- 1.0 μm . arasında yarıçapa sahip olan partiküllerin yeryüzüne çökelmeleri oldukça yavaştır [1]. Bundan dolayı bu büyüklükteki toksik metaller atmosferik olaylarla uzun mesafelere taşınabilir ve yine atmosferik olaylara bağlı olarak da başka yerlerde birikebilirler. Toksik metallerin çevresel birikme oranları, yolları, insan sağlığı ve çevre üzerine olan etkileri hakkında bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır [14].

Pratikte atmosferik kirliliğin kontrolü çok kompleks bir olaydır. Atmosferik kirliliğe sebep olan kaynakların belirlenmesi, bu kirlletici unsurların miktarlarının saptanması, olası risklerinin belirlenmesi ve ekonomik boyutları başta gelen problemler arasındadır [15]. Atmosferik kirliliğinin önemli bir parçasını oluşturan toksik metallerin, atmosferik nitelik ve nicelikleri ile ilgili bilgilerin elde edilmesi için 1968'den beri karayosunu biyolojik izleme tekniği geliştirilmiştir [16, 17]. Bu teknikte, kuru ve yaş birikimdeki partiküllerden elementleri absorbe edebilen halı formundaki bryofitler kullanılmıştır. Ayrıca, likenler de yaşamları için gerekli olan mineralleri atmosferden karşıladıkları için, atmosferik kirliliğin nitel ve nicel karakterlerinin belirlenmesi için kullanılmaktadırlar [18].

Son yıllarda hızla ilerleyen kentleşme ve endüstrileşmeye bağlı olarak artan atmosferik kirlilik, özellikle çevre korumaya yeterli pay ayıramayan gelişmekte olan ülkelerde karasal ekosistemleri ciddi bir şekilde etkilemektedir. Bundan dolayı atmosferik kirlilik çalışmaları, dünyanın birçok ülkesinde kontrol programları oluşturmak ve gelecekle ilgili çevre planlamalarının hazırlanması için vazgeçilmez birer unsur haline gelmiştir.

2.1. BİYOLOJİK İZLEME

Tam veya yarı otomatik yağış toplayıcı cihazlarının kullanılmasıyla yürütülen geniş bölgelerdeki atmosferik kirlilik çalışmaları yüksek maliyete ve fazla iş yüküne neden olmakta ve bu durum bu metodun uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu metodun kullanımı dünya genelinde azalmaktadır. Bu durum karşısında, kullanılan bu metotlarla kıyaslandığında hem daha ucuz ve hem de uygulaması daha kolay bir yöntem olan biyolojik izleme tekniği geliştirilmiştir.

Birçok ülke, biyolojik izleme tekniğini geniş coğrafik alanların toksik metal birikiminin saptanmasında kullanmaktadır [19, 20]. Biyolojik izleme tekniği çalışmaları, endüstrinin yoğunlaştığı [21] ve hatta kirliliğin olmadığı düşünülen bölgelerde de yapılmaktadır [22]. Biyolojik izleme tekniği 1968'den beri çeşitle ülkelerde uygulanan, ağır metal ve geçiş elementlerinin atmosferik bilgilerinin ölçülmesi için Rühling ve Tyler tarafından geliştirilmiş bir uygulamadır [16, 17].

Biyolojik izleme, biyosfer hakkında bir takım bilgiler elde etmek veya çeşitli yollarla biyosfere dağılmış olan element konsantrasyonlarının ölçülmesi için organizmaların ve biyolojik materyallerin kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Biyolojik izleme çalışmalarında istenilen bilgiye, doğrudan organizmanın davranışlarındaki değişikliklerin saptanmasıyla ya da çalışılan organizmaların dokularındaki spesifik bir maddenin konsantrasyonunun saptanmasıyla ulaşılmaktadır. Biyolojik izlemede esas olan nokta, amaca uygun bir organizmanın seçimi ve seçilen organizmanın o bölgede yaygın olarak var olmasıdır. Çalışılan organizmanın istenilen elementleri biriktirmesi ve miktarsal olarak atmosferik birikmeyi iyi yansıtmaları gerekmektedir. Çok geniş bölgeler için örneklemenin kolay olması ve masraflı teknik malzemelerin gerekmemesi biyolojik izleme tekniğinin önemli avantajları arasındadır [23]. Bu amaç için kullanılan organizmalar çalışılan elementin birbirini izleyen yıllara ait ardışık birikimini sergilemelidir. Biyolojik izleme tekniğinde çok geniş coğrafi bölgelerde çok sayıda örnekleme istasyonu ile çalışmak mümkündür. Bunun yanında kimyasal analizi, biyoindeksörlerin metalleri yüksek konsantrasyonlarda biriktirme özelliklerinden dolayı kolay ve araştırma sırasında meydana gelen kontaminasyon problemlerinin az olmasından dolayı diğer analiz yöntemlerine göre tercih sebebidir [24]. Özellikle geniş coğrafi bölgelerde çalışıldığı zaman elde edilen sonuçlar binlerce veri noktasından oluşabilmektedir. Böyle durumlarda çalışılan elementlerin sonuçlarına çok parametrelili analizler ve matematiksel işlemler uygulanarak verilerin daha anlaşılabilir bir özetinin ortaya çıkması sağlanmaktadır [25]. Uygulanma biçimlerine göre iki çeşit biyolojik izleme vardır. Bunlar;

Pasif Monitöring: İncelenen organizmanın birtakım kimyasal işlemlere maruz bırakılması ve bunun sonucunda istenilen bilgiye ulaşılmasıdır. Pasif biyolojik izleme tekniğinin esas dezavantajı atmosferik koşullar, yükseklik, organizmanın yaşı, biyokütlesi gibi çeşitli parametrelerin ve kirlilik oluşturan kaynakların birikme üzerine aynı anda ve beraberce rol almasıdır. Dolayısıyla bunların etkilerini ayrı ayrı incelemek zordur [23].

Aktif Monitöring: Özellikleri bilinen organizmaların kontrollü şartlar altında incelemeye alınmasıdır. Çalışılan elementler bakımından temiz olduğuna inanılan bölgelerden alınan organizmaların çalışma bölgesine ekilmesiyle uygulanan bir

yöntemdir. Böylece ağır metal birikimi üzerine etkili olan atmosferik koşullar, yükseklik, organizmanın yaşı, biyokütlesi gibi çeşitli parametrelerin etki dereceleri ayrı ayrı değerlendirilebilir [23].

Biyoindikatör, metallerin çevrede anormal konsantrasyonlara ulaşması durumunda meydana gelen strese bağlı olarak morfolojik ve / veya fizyolojik değişiklikler gösteren türlerdir [26]. Karasal ekosistemlerde yapılan çalışmalarda liken, karayosunu, eğreltiotu, ağaç kabuğu, ağaçların yaş halkaları, çam yaprakları gibi organizma ve organizma örnekleri çeşitli biriktirme çalışmalarında kullanılan biyoindikatör organizmalardır. Kullanılan bütün organizmaların, elementleri yapılarında tutma ve alıkoyma mekanizmaları tam olarak bilinmemektedir [27].

Karayosunları ve likenler, yapıları dolayısıyla atmosferik biyolojik izleme çalışmaları için uygun organizmalardır. Bu organizmalar çevrelerinde meydana gelen değişikliklerin saptanması konusunda erken uyarı sistemleri olarak nitelendirilirler [28]. Ayrıca yüksek oranda kendi metabolizmaları için gerekli olan maddeleri atmosferden sağlamalarının yanında beraberinde çeşitli kirleticileri bünyelerine alma ve biriktirme yeteneğine sahiptirler. Bundan dolayı kirleticilerin zamansal ve bölgesel dağılımlarının belirlenmesinde çok yararlıdırlar [29]. Likenler ve karayosunları tarafından alınan elementler yakın çevrelerinde bulunan elementlerin bir örneğini temsil ettikleri varsayılmaktadır. Sonuç olarak, karayosunları ve likenler, çevrelerinde var olan elementler ile gereksinimleri arasında uygun bir dengeyi yansıtmalıdırlar [30, 31].

Karayosunları ve likenler uzun bir zaman aralığındaki elementleri biriktirdikleri için metal seviyeleri ve lokal değişimleri tek bir yöntemle kolaylıkla saptanabilmektedir [32]. Çok yıllık ve yavaş büyüyen organizmalar oldukları için çoğu liken ve karayosunu türü yıl boyunca çok az değişen bir morfolojiye sahiptirler. Bunun yanında yukarıda da ifade edildiği gibi yüksek yapılı bitkilerin tersine sahip oldukları bitki kısımlarını kolay kolay dökmezler. Böylece birikme, organizmanın yaşamı boyunca devam eder. Ayrıca bu organizmalar pasif iyon değişimi de yaparlar [33] ve kirleticileri yüksek bir oranda jelatin içeren hücre duvarında biriktirdikleri için yüksek yapılı bitkilere göre daha fazla element biriktirebilirler. Bryofitler, yüksek bir yüzey / hacim oranına sahiptirler. Bu özellik onlara metalleri absorbe etmede büyük avantaj sağlamaktadır. Biyoindikatör

organizmalar tarafından metallerin alınması ve yapıda tutulmalarının kation değişiminden kaynaklandığı sanılmaktadır [34]. Bryofitlerde kation değişim kapasitesini etkileyen ana faktörlerden bir tanesi hücre duvarının dış kısmında bulunan polygalactronic asitin varlığı, diğeri ise plasma membranlarında bulunan proteinler olduğu sanılmaktadır [26]. Likenlerde kationların hücre dışı ortama alınmaları esas olarak basit bir iyon değişimi işlemidir. Başlıca fungal bileşenlerden meydana gelmiş hücre duvarındaki bağlarla birlikte meydana getirilen kompleks bir oluşumdur. Metallerin hücre içi alımları ise metal iyonun durumuna, hücre membranının geçirgenlik özelliklerine ve hücre dışı bağların miktarına bağlıdır. Pb^{+2} gibi hücre dışı bağlara yüksek afinitesi olan kationlar, toprakta hemen hemen hücre dışında gözlenirken, K^{+} gibi hücre dışı bağlarla düşük afiniteye sahip olanlar ise hücre içinde bulunurlar. Çoğu ağır metal iyonunun bu organizmalarda bu iki uç bölge arasında bulundukları düşünülmektedir [35]. Karayosunu ve liken türleri biyoindikatör organizmaların taşınması gereken temel özelliklere sahiptirler. Bu özellikler şunlardır;

- Karşı karşıya kaldığı kirlilik seviyelerinde ölmeden kirleticileri biriktirmeleri,
- Coğrafik olarak geniş bir alana yayılmaları,
- Bol olmalı, yerleşik olmalı veya çok az hareketli olmalı ve o bölgeyi temsil etmeli,
- Yıl boyunca var olabilmeli ve analiz için yeterli dokuya sahip olmalı,
- Toplanması kolay olmalı ve laboratuvar şartlarına dirençli olmalı,
- Çalışma altındaki kirleticiler için yüksek bir konsantrasyon faktörüne sahip olmalı,
- Organizmanın metal içeriğiyle çevresinin metal konsantrasyonu arasında miktarsal olarak basit bir korelasyon olmalı. Kirleticisi organizma ile çevre arasında dengeye ulaşmalıdır [36].

Metallerin atmosferik birikiminin incelenmesi, karayosunu biyolojik izleme tekniği kullanılarak her beş yılda bir hemen hemen bütün Avrupa ülkelerinde gerçekleştirilmektedir. Karayosunlarındaki ağır metal konsantrasyonları her ne kadar atmosferik kirliliği yansıtsa da kirliliği meydana getiren kaynakların ve bir takım mekanizmaların saptanan ağır metal içeriği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu unutulmamalıdır. İklim koşullarının ağır metal birikimi üzerine etkisi tam olarak açıklanamamasına rağmen, birikme üzerine önemli bir role sahip olduğu

düşünülmektedir. Kirleticilerin taşınmalarında rüzgarın yönü ise ana kaynakların belirlenmesi için önemli bir kriterdir. Asidite, sıcaklık, nemlilik, ışık ve yükseklik gibi mikro ve makro atmosferik değişkenler ile atmosferin element durumu biyoindikatörlerin değişik davranışlar sergilemesine sebep olabilmektedir. Bir kısmı lokal olan bu değişkenlerin, biyoindikatörlerin biriktirme sürecinde etkili olmaları ağır metal birikimini ciddi bir şekilde etkileyebilir [23].

2.2. BİYOİNDİKATÖR ORGANİZMA OLARAK KARAYOSUNLARI

Atmosferik toksik metal birikiminin ölçülmesi için kullanılan karayosunları besinlerinin çoğunu doğrudan yağmur suyundan ve kuru birikmeden karşıladıkları için biyolojik izleme tekniği için uygun biyoindikatörlerdir. Karayosunları, kendi metabolik fonksiyonları için Zn ve Cu gibi ağır metallerin az miktarlarına ihtiyaç duyarlar [37, 38]. Aynı tür karayosunlarındaki element kompozisyonu, iklimsel değişikliklerin bir sonucu olarak farklı bölgelerde bir dereceye kadar değişiklik gösterebilmektedir [39]. Hava kirliliği, karayosunlarındaki element konsantrasyonu üzerine kayda değer bir etkiye sahiptir. Birikme ve iyon değişimine ek olarak karayosunlarındaki element konsantrasyonları, elementlerin doğal çevrim süreçleri, iklim koşulları, üzerinde yetiştikleri substratın mineral içeriği, yükseklik, tür farklılıkları ve karayosununun o andaki biyomasından etkilenebilirler [37, 38, 39, 40, 41, 42]. Bazı türler her yıl sonunda bir büyüme segmenti oluştururlar. Ağır metaller, karayosunları tarafından meydana getirilen yıllara ait büyüme segmentleri arasında hareket edebilirler [43]. Örnek sayısı, örnekleme zamanı ve analiz tekniği de karayosunlarında bulunan ağır metal konsantrasyonu üzerine etkili olabilmektedir. Bütün bunlar göz önüne alındığında atmosferik kirlilik çalışmalarında karayosunlarını kullanırken biriken element konsantrasyonlarını etkileyen birçok faktör dikkate alınmalıdır [42]. Ağır metal miktarlarının belirlenmeye çalışıldığı araştırmalarda biyoindikatör organizmanın seçiminde, türün bulunma sıklığı ve absorblama yeteneği gibi özellikleri dikkate alınmalıdır [44, 45].

Karayosunu biyolojik izleme tekniği Avrupa ülkelerinde [40, 46], Kuzey Amerika'da ve dünyanın birçok yerinde atmosferik kirliliğinin belirlenmesi için yaygın bir şekilde

kullanılmaktadır. Karayosunlarındaki ağır metal birikimi tür farklılıklarında etkilenmektedir. Bazen bir tür morfolojik yapısı ve metabolik aktivitesinin farklı olmasından dolayı diğerlerinden daha iyi bir biriktirici olabilmektedir. Polonya’da çevresel ağır metal dağılımının belirlenmesi için yapılan bir çalışmada *Pleurozioum schreberi* türünün çok iyi derecede ağır metal biriktirdiği bulunmuştur [47]. *Pleurozioum schreberi* ve *Hylocomium splendens* adlı karayosunu türleri dünya genelinde yapılan biyolojik izleme çalışmalarında en çok tercih edilen türlerdir [38, 48, 49, 50]. Bunların yanında *Hypnum cupressiforme* türü de biyolojik izleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir türdür [51, 52, 53]. Karayosunları kısa dönem ya da aylık metal miktarlarının belirlenmesi için uygun organizmalar olmadıkları gibi özel herhangi bir ay hakkında bize gerekli bilgiyi vermezler. Yapılan çalışmalar sonucunda karayosunları, sahip oldukları özelliklerinden dolayı uzun zaman aralıklarının metal biriktiricileri olarak kabul edilmektedirler [48]. Karayosunları biyoindikatör organizma olarak şu avantajlara sahiptirler;

- Bir çok tür coğrafik olarak çok geniş bir alana yayılmıştır, endüstrileşme ve kentleşmenin arttığı kirli bölgelerde bile yaşayabilirler,
- Epidermis ve kütiküladan yoksundurlar, böylece metaller kolaylıkla hücre duvarından geçebilirler,
- Gerçek anlamda bir kök sistemleri yoktur, böylelikle atmosferden başka herhangi bir yerden besinsel element alamazlar,
- Bazı türler tabakalı bir yapıya sahiptir ve yıl içerisinde ölü organik sediment oluştururlar,
- Vaskular doku olmadığı için segmentler arasında minerallerin taşınması sınırlıdır,
- Metalleri pasif bir şekilde biriktirirler ve iyon değiştiricileri gibi rol oynarlar [24, 49].

Karayosunları, atmosferik birikme çalışmaları için yapılan yağış örnekleme çalışmalarından farklı olarak iki ana avantaja sahiptir. Bunlar;

- Yağışla ilgili atmosferik kirlilik çalışmaları ile kıyaslandığında karayosunları metalleri daha iyi bir şekilde biriktirmekte ve basit örneklemeden ibaret olduğu için geniş coğrafik bölgelerin incelenmesine olanak sağlamaktadır,

- Yağışla ilgili çalışmalarda analitik belirleme limitleri genellikle yetersizdir. Bunun yanında analiz öncesi ve örnekleme sırasında meydana gelen kontaminasyon zorluklara sebep olmaktadır.

Karayosunlarında bulunan ağır metallerin kaynakları şunlar olabilir;

1- Primer Kaynaklar

- Lokal kaynaklar; organizmanın alındığı bölgedeki kaynakları kapsar,
- Uzun mesafede taşınabilen elementler; bazı elementler çevreye bırakıldıkları yerden bir başka yere atmosfer vasıtasıyla taşınabilirler,

2- Sekonder Kaynaklar

- Doğal çevrim süreçleri; başlıca atmosferde taşınan deniz tuzları (Li, B, Na, Mg, Cl, Ca, Se, Br, Sr, I)
- Ölü ve canlı bitki materyallerinin yağmur suyuyla yıkanması (Mg, Ca, Mn, Cu, Zn, Rb, Sr, Cs, Ba)
- Mineral taşıyan partiküller; çoğunlukla rüzgarla taşınan tozlara bağlı bulunan elementler; Li, Al, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, La, Ce, Pr, Nd, Sm [24, 42, 49].

Sekonder kaynaklar, Pb, Cd ve Cu gibi tipik antropojenik kökenli elementlerin karayosunları tarafından biriktirilmesi üzerine az oranda, Cr, Ni, V ve Fe gibi rüzgar tozları ile taşınan elementlerin biriktirilmesinde ise yüksek oranda etkili olabilmektedir. Ayrıca karayosunlarının, Pb, Cd, Cu ve V gibi (kısmen Zn) element konsantrasyonlarının tayini için mükemmel bir biriktirici olduğu rapor edilmiştir [48].

Özellikle karın erimesi sırasında ortamda çözünebilen bileşiklerin miktarının artmasıyla karayosunları tarafından biriktirilen metal miktarı artar. Bunun yanı sıra asit yağışlarındaki H^+ iyonu ve deniz tuz katyonları ile metallerin karşılıklı iyon değişimi gibi mekanizmalar karayosunlarındaki metal birikimi üzerine etkili olabilmektedir [23]. Elde edilen sonuçları % 20 etkileyen diğer önemli bir faktör ise, karayosunları tarafından tutulan partiküllerin yağmur suyu ile yıkanmasıdır [48]. Karayosunlarının kök kısımlarında, litofilik (toprak seven) elementlerin (Al, Fe, Cr, Ni, Ba) en yüksek konsantrasyonda olduğu bulunmuştur. Ayrıca Pb elementinin de yukarıdaki özelliği gösterdiği saptanmıştır. Litosferde çok nadir bulunabilen Cd ve atmosferik kökenli olan Hg muhtemelen atmosferden yıkanarak yeryüzüne inmektedir [54]. Karayosunlarındaki

Zn ve Mn konsantrasyonları muhtemelen yetiştikleri bitki örtüsü tarafından etkilenmektedir. Bu elementlerin yüksek konsantrasyonlarda bulundukları alanların, çoğunlukla iğne yapraklı ağaçlarla kaplı olduğu tespit edilmiştir. İğne yapraklı ağaçlara tutunan bu elementler muhtemelen yağmur ve kar sularıyla yıkanarak yeryüzüne inmektedirler. Kapalı alanlarda Mn için bulunan konsantrasyon değeri açık alanlardakine kıyasla 10 kat, Zn için ise % 35 daha fazla olduğu rapor edilmiştir [48]. Berg ve diğ. [38], biyolojik izleme tekniği kullanarak bulduğu sonuçlara göre; karayosunlarının çeşitli elementleri alma yeteneklerini $Pb > Cd = Mo = Cu = V = Sb > Bi = Zn > As$ şeklinde bulmuştur.

Yağış, metal alma sürecinde karayosunlarında çok etkilidir. Metallerin suyla organizmalardan uzaklaştırılması metal alımını önemli bir şekilde etkilemektedir. Deneysel olarak Pb, V, Ni ve Fe'nin bu işleminden çok etkilenmediği, buna karşılık Cd, Cu, Zn ve Mn gibi elementler için bu işlemin çok önemli olduğu gösterilmiştir [48]. Ne kadar çok yağmur yağarsa o kadar metal atmosferden yıkanır. Bunun sonucu olarak organizmalar daha çok metal biriktirirler. Bunun karşılık, yağmurun karayosunlarına çarpma hızı fazla olursa, örneğin sağanak yağış esnasında, organizmanın metal alması minimum seviyeye düşer. Deniz kıyısına yakın bölgelerde sağanak yağış daha çok görüldüğünden metallerin suyla organizmalardan uzaklaştırılması daha fazla olmaktadır.

2.3. BİYOİNDİKATÖR ORGANİZMA OLARAK LİKENLER

Yeryüzünde geniş bir yayılım alanına sahip olan likenler kimyasal hava kirliliğinin kalitatif ve kantitatif saptanmasında özel yeri olan biyolojik bir monitör organizmadır. Bazı liken türleri geniş bir dağılım gösterirken, kırsal alanda olduğu kadar kentsel ve endüstriyel alanlarda da yaşayabilirler [55].

Likenler hava kalitesinin biyoindikatörleri olarak üzerinde en çok çalışılan organizmalardandır. Nimis ve diğ. [56], likenleri hava kirliliğinin ölçülmesinde kalıcı kontrol sistemleri olarak tanımlamıştır. Likenler mantar ve alglerin simbiyotik bir birliğidir. Daha kesin bir tanımla, alg özelliği ya Cyanobacteriaceae ya da bir Chlorophyceae'ye aittir; mantar ise genellikle bir *Ascomycetes*'tir. Genelde bu biyolojik yapının % 90'ı fungal özelliktedir [33]. Dünyada yaklaşık olarak 20.000 liken

türü bulunmakta ve insana ulaşan besin zincirine ren geyikleri ile girmektedirler. Bu birliktelikte, klorofil içeren kısım olan alg fotosentezle besin oluşturan kısımdır, buna karşılık mantar ise alge mineral ve su sağlayan kısımdır. Büyüme hızları çok yavaş olan ve yüzlerce yıl yaşayan likenlerin yapısal olarak geniş yüzey alanı içermeleri, yüksek oranda metal biriktirmelerini sağlamaktadır [57]. Havadan yaş ya da kuru birikmeyle gelen partiküller veya çözünmüş formlardaki metaller likenler tarafından pasif transport, örneğin iyon değiştirme ve iyon difüzyonu [58] veya aktif iyon birikimi [59] yolu ile alınmaktadır.

Likenler büyüme sırasında kendilerine ait kısımları yüksek yapılı bitkilerde görüldüğü gibi dökmezler. Ayrıca, bunlarda kutikula ve stoma yoktur. Böylelikle farklı kirleticiler, organizmanın bütün yüzeyi boyunca absorbe edilir. Liken türleri ağır metal kontaminasyonunun belirlenmesinin yanı sıra radyoaktif kirlilik çalışmaları, organik kirleticilerin monitöringinde de biyoindikatör organizma olarak kullanılmaktadır [60]. Kirli ortamlarda likenlerin tür dağılımı bile tek başına bazı kirleticilerin bir bölgedeki dağılımını ortaya koyabilmektedir. Son olarak likenlerin oldukça toksik metallere dirençli olduğu bir gerçektir [61]. Bunun anlamı böyle metallere maruz kalmanın bir sonucu olarak zorunlu bir ölümün olmayacağıdır. Bundan dolayı likenler geniş zaman dilimleri için metal birikiminin monitörleri olarak kullanılmaktadırlar.

Kirleticiler, normal ve indirekt yağışlarla likenlerde birikirler. İndirekt yağış duman, sis, çığ, kuru çökelti ve gazların absorpsiyonunu kapsamakla birlikte büyük bir olasılıkla stabil atmosferik şartlarda meydana gelmekte ve normal yağışlarla karşılaştırıldığında yüksek ve farklı oranlarda kirletici ve besinsel element içermektedir [62]. Genelde, liken talluslarındaki yüksek ağır metal konsantrasyonlarına yaz mevsiminden sonra rastlanmıştır. Bu durum sonbahar mevsimindeki yağışların artmasına bağlı olarak meydana gelen fazla hidrasyonun sonucu olarak açıklanabilmektedir [63]. Likenler biyoindikatör organizma olarak farklı şekillerde kullanılabilirler;

- Spesifik bir bölgede var olan bütün türlerin haritalanmasıyla türlerin kirleticileri biriktirme yeteneklerinin belirlenmesinde,
- Tek bir liken türünün örneklenmesiyle talluslarda biriken kirleticilerin miktarlarının ölçülmesinde,

- Kirli olmadığına inanılan bir bölgeden alınan likenlerin çalışma bölgesine ekimi yapılarak liken talluslarında meydana gelen morfolojik değişikliklerin saptanması ve/veya fizyolojik parametrelerin değerlendirilmesi ve/veya kirleticilerin ne kadar biriktiğinin saptanması gibi çalışmalarda kullanılabilirler [36].

Son 30 yıl boyunca değişik çevresel faktörlere duyarlı olma görüşüne dayanarak hava kalitesi biyoin dikatörleri olarak likenlerin kullanıldığı bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çevresel faktörler, onların yapısındaki bazı bileşiklerde ve/veya spesifik parametrelerde değişikliğe sebep olurlar [64, 65, 66, 67]. Gerçekte, likenlerin birçok fizyolojik parametreleri, çevrenin likenler üzerinde meydana getirdiği zararın değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu parametreler; fotosentez [68, 69], klorofil içeriği ve miktarının azalması [70], ATP'nin azalması, solunum seviyelerindeki değişimler [70], endojen oksin seviyelerindeki değişimler ve etilen üretimi şeklinde sıralanabilir [71].

Farklı liken türleri kullanılarak ağır metal birikimi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [72, 73]. Biyolojik izleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan liken türleri *Parmelia sulcata* [74] ve *Parmelia caperata*'dır [52, 75]. Birçok ülkede bioindikatör organizma olarak likenlerin kullanılmasıyla temiz ve endüstriyel bölgelerde metal seviyelerinin belirlenmesi için araştırmalar yapılmaktadır [74, 75]. Demir işletmeleri ve gübre üretim fabrikaları [76], çelik işletmeleri ve demir işletmeleri [77], petrol işleme fabrikaları [78], çinko işletmelerinin bulunduğu bölgeler [79], yakıt olarak kömür kullanan güç santralleri [80] ve güç santrallerinin bulunduğu [81] alanlarda likenler çevresel kalitenin ölçülmesi için kullanılmışlardır. Genellikle likenlerde metallerin absorblanması için üç mekanizma önerilmektedir. Bunlar;

- Karşılıklı iyon değiştirme işlemiyle hücre içi absorpsiyon,
- Hücre içi birikme,
- Metal içeren partiküllerin yakalanması [82].

Yüksek Cd konsantrasyonlarının değişik liken türleri için toksik olduğu düşünülmektedir [83, 84]. *A. Ciliaris*'de 1.26 - 5.05 mg/kg, *L. Pulmonoria*'de 1.56 - 6.40 mg/kg Cd konsantrasyonları bulunmuştur. Bu değerler toksik semptomların ortaya çıkmasına sebep olan sonuçlara yakın değerlerdir. Üstelik Cd konsantrasyonu ile likenlerdeki protein ve indirgenmiş şeker içeriği arasında negatif bir korelasyon olduğu

bildirilmiştir [85]. Likenlerdeki metal absorbiyonu aşağıda belirtilen olaylardan etkilenmektedir;

- Asit yağışları,
- Yükseklik gibi coğrafik değişkenler,
- Mevsimsel farklılıklar,
- Toprak tozları,
- Lokal kirlilik kaynakları,
- Uzak mesafeler boyunca atmosfer vasıtasıyla taşınan element miktarı [36].

2.4. KARAYOSUNU VE LİKEN KARŞILAŞTIRILMASI

Karayosunu ve likenlerin yüksek bitkilerde olduğu gibi gerçek anlamda birer kök sistemleri yoktur ve bundan dolayı beslenme, yüzey besin absorpsiyonuna bağlıdır. Bu organizmalar kuru ve yaş birikmelerle, partikül ve çözünebilen kimyasal bileşikler biriktirirler [86]. Bunun yanında üzerinde yetiştikleri substrattan da bir miktar element bu organizmalara geçebilmektedir. Özellikle likenler sahip oldukları rizoidler vasıtasıyla topraktan metal alabilirler. Yetiştği substrataki farklılık, likenlerdeki metal içeriğine de yansımaktadır. Likenlerin, üzerinde yetiştikleri ağaç kabuklarından Cd, Mn ve Zn gibi elementleri rizoidleri vasıtasıyla aldıkları rapor edilmiştir. Hem karayosunu hem de likenler metalleri pasif olarak biriktirirler. Daha yaşlı liken ve karayosunu kısımları uzun sürede metal biriktirdikleri için metal konsantrasyonları daha yüksektir. Karayosunları 3-5 yılın sonunda halı formunu oluştururlar ve metal içeriklerinin genellikle bu periyottaki atmosferik birikmeyi yansıttığı düşünülmektedir [87].

Likenlerin tanımlanması ve analiz için toplanması karayosunlarına göre daha karmaşıktır [51]. Yıllık büyüme miktarı, karayosunlarında likenlere göre daha kolay ayırt edilebilmektedir. Bundan dolayı herhangi bir zaman dilimindeki ölçümlere gereksinim duyulduğunda bu özelliklerinden dolayı likenlerden daha üstün oldukları düşünülebilir [86]. Biyolojik izleme tekniğinde kullanılan karayosunları, özellikle metallerin zamana bağlı değişimleri ve bölgesel dağılımlarının belirlenmesi için uygun biyoindikatörlerdir.

Aynı bölgede toplanan karayosunu (*Hypnum cupressiforme* ve *Scleropodium touretti*) ve likenlerle (*P. sulcata*) yapılan biyolojik izleme çalışmasında elde edilen sonuçlara göre; her iki organizmanın Cr, Ni ve Pb gibi elementleri benzer oranlarda biriktirdikleri bildirilmiştir [74].

Diğer bir çalışmada elde edilen sonuçlar liken ve karayosunlarının, As, Cd, Cu, Mo ve S elementleri için ayırım yapmaksızın eşit oranda biriktirdikleri rapor edilmiştir. İstatistiksel olarak karayosunları ve likenler Al, B, Fe, Hg, Pb, As, Zn gibi elementleri farklı konsantrasyonlarda biriktirmektedirler. Bu elementlerden Hg ve Zn hariç diğer elementler için karayosunlarının likenlerden daha iyi bir biriktirici olduğu bildirilmiştir. Likenler genellikle Hg ve Zn gibi atmosferik elementleri karayosunlarına nazaran daha iyi biriktirirler [88, 89]. Diğer taraftan Bargagli ve diğ. [52] litofilik kökenli elementlerin (Al, Cr, Fe, Mn, Ni ve Ti) karayosunlarında, atmosferik kökenli elementlerin (Hg, Cd, Pb, Cu, V ve Zn) ise likenlerde daha fazla biriktiğini bildirmişlerdir.

Bir başka grup çalışmada Al, As, Fe, Hg, Pb, Sn, Zn, gibi elementlerin konsantrasyonlarının karşılaştırılmasıyla elde edilen sonuçlardan, bu elementlerin karayosunlarında ve likenlerde farklı oranlarda biriktiği ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada likenlerin bu elementleri daha fazla oranda biriktirdiği bildirilmiştir [51]. Bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre birçok elementin karayosunlarına nazaran likenlerde daha fazla biriktiği saptanmıştır [44, 90, 91]. Wolterbeek ve diğ. [92], liken ve karayosunlarını kullanarak elde ettiği sonuçlara göre, biyoindikatör organizma olarak likenlerin ağır metalleri daha iyi biriktirdiğini rapor etmiştir. Fakat çalışma alanının geniş ve çok sayıda istasyondan meydana geldiği durumlarda biyoindikatör organizma olarak karayosunlarının kullanılması gerektiğini bildirmiştir.

Bir başka çalışmaya göre likenler ve karayosunları B, Cd, Cu, ve Mn gibi elementleri ayırım yapmaksızın biriktirmektedirler [89]. Loppi ve diğ. 'ne [93] göre likenler Pb'yi merkezi talluslarında en yüksek oranda biriktirirler. Bu birikme, partiküllerin çevredeki bolluğuna ve maruziyet zamanına (örneğin likenlerin yaşı) göre değişmektedir. Bitkilerin Pb'yi havadan absorbladıkları iyi bilindiğinden [3], likenlerin bu element için

yapılan çalışmalarda karayosunlarına göre tercih edilmesi gerektiği rapor edilmiştir [93]. Epifitik (ağaç üzerinde yaşayan) likenler uçucu (Hg) veya devamlı havada asılı duran (Pb gibi) elementleri daha iyi biriktirirler. Bu durum daha çok Akdeniz iklimine sahip bölgeler için geçerli olan bir durumdur. Akdeniz iklimine sahip bölgelerde yaşayan karayosunları likenlere göre metabolik olarak daha inaktiftirler [94].

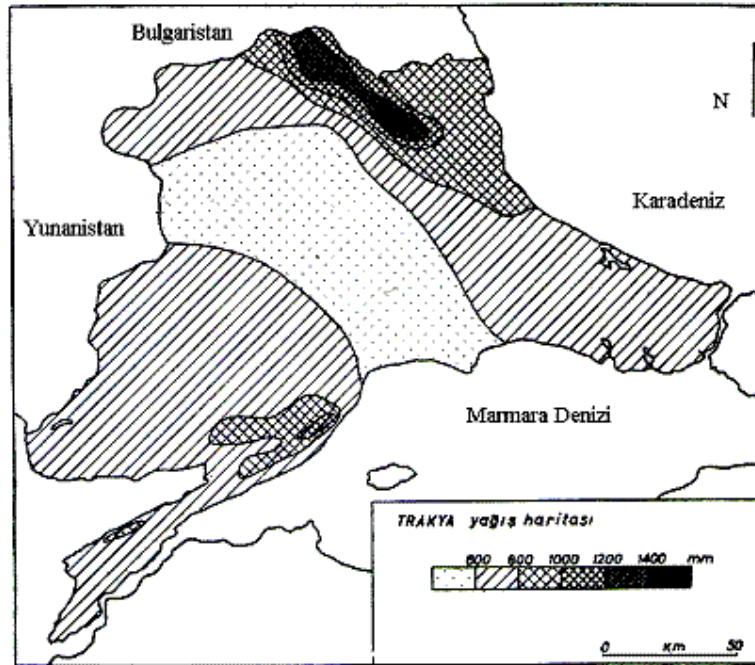
Üzerinde yetişikleri ortam, likenlerin tür kompozisyonunu belirlediği için çalışılan bir bölgede benzer kompozisyona sahip likenleri bulmak oldukça zordur. Böyle bir çalışmada birden çok tür kullanılacaksa, türler arası kalibrasyonun yapılması gerekmektedir. Bunun için en iyi çözüm çalışma bölgesinde aynı türün kullanılmasıdır. Biyoindikatör organizma olarak liken ve karayosunları kullanıldığı biyolojik izleme tekniği, bazı dezavantajlarına rağmen hava kirliliğinin ölçülmesi için en iyi yöntemdir.

2.5. TRAKYA BÖLGESİ'NDEKİ YAĞIŞ VE RÜZGAR KOŞULLARI

Trakya'da yıllık yağış miktarı, 550-1500 mm. arasındadır. Istrancalar üzerinde yer alan Mahya Dağı (1035 m.) 1400 mm. 'den fazla yağış almaktadır. Buna karşılık bu dağlık alandan eteklere doğru inildikçe yağış miktarı azalır. Bu azalma dağların güney yüzünde daha fazladır. Kuzeyde İğneada'da yıllık ortalama yağış miktarı 962 mm. olduğu halde Istrancaların güneyinde yer alan Kırklareli'nde 554 mm. dir. Kırklareli bilindiği gibi, nemli kuzey rüzgarlarına kapalıdır. Kuzey rüzgarlarının getirdiği yağışın büyük bir kısmı kuzey yüzde düştüğünden iç kısımlar nispeten az yağış almaktadır. Trakya'da yağış dağılımını gösteren haritanın incelenmesi şu sonuçları vermektedir (Şekil 2.1): Bölgenin en yağışlı kısımları, kuzeydeki Istranca masifi ile bölgenin güneyindeki Ganos ve Korudağlarıdır. Kuzeyde yer alan Istranca kütlesi, bölgenin güneyindeki dağlık kütleden daha yağışlıdır. Burada yıllık yağış miktarının 1500 mm. 'ye ulaştığı yerler bulunmaktadır. Kütlenin eteklerine inildikçe yağış miktarı azalır. Bu azalma, yukarıda belirtildiği gibi, güney yüzde hızlı, kuzey yüzde ise nispeten yavaştır. Bu yağış şartlarının elverişliliği sayesinde bölgenin güneyinde bulunan Ganos dağlık kütlesinde, Istrancalarda olduğu gibi, yağış fazladır. Bu kütlenin yüksek kesimlerinde yağış miktarı 1000 mm. 'yi aşmaktadır. Ganos dağının her iki yüzü ile Korudağı ve Gelibolu'nun güneybatısındaki dağlık sahalarda ise yağış miktarı 800-1000 mm. 'dir.

Trakya’da yağışın az olduğu alan, kuzey ve güneydeki dağlık kütleler arasında yer alan orta kısımdır. Bu kesimde yıllık ortalama yağışlar 550-600 mm. arasında değişmektedir. Edirne, Lüleburgaz, Çorlu, Alpullu ve Kırklareli’ni içine alan bu saha, aynı zamanda bölgenin alçak kısımlarını kapsamaktadır. Bu orta kısım kuzey ve güneydeki dağlık kütlelerle civar denizlerden kısmen ayrılmıştır. Buna rağmen bu iç kısımlarda yağış miktarı, hiçbir yerde, 500 mm. ‘nin altına düşmemektedir.

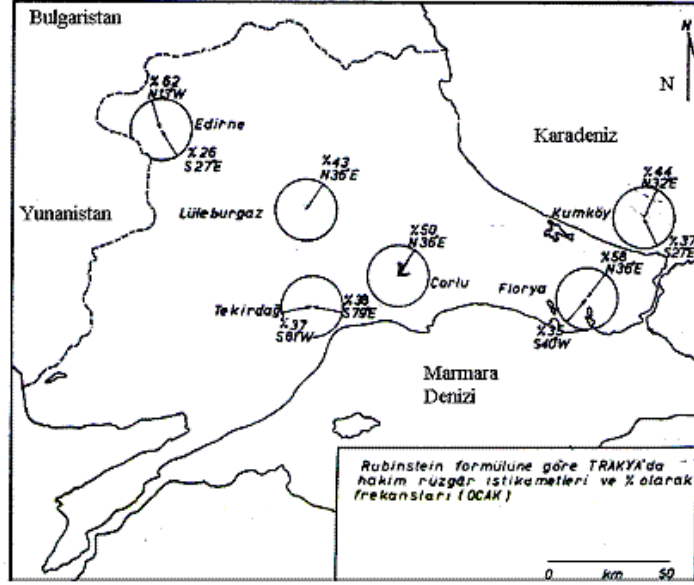
Trakya’da yağış miktarları bakımından diğerlerinden farklı olan üçüncü bölgeyi, kuzey ve güneydeki yağışlı sahalar ile yağışı nisbeten az orta kısımlar arasında yer alan, orta derecede yağışlı olan geçiş alanları oluşturur. Bu yerlerden biri Istranca kütlesini güneyden çeviren Çatalca yarımadası ile Edirne civarını içine alan plato ve az yüksek tepelerden oluşan alanlar; diğeri, güneyde Tekirdağ-Hayrabolu hattının güneyinde yer alan plato ve yine az yüksek tepelerden ibaret olan kısımdır. Yağış miktarları bakımından geçiş sahası olan bu yerlerde yıllık ortalama yağışlar 600-800 mm. arasında olduğu bildirilmiştir.



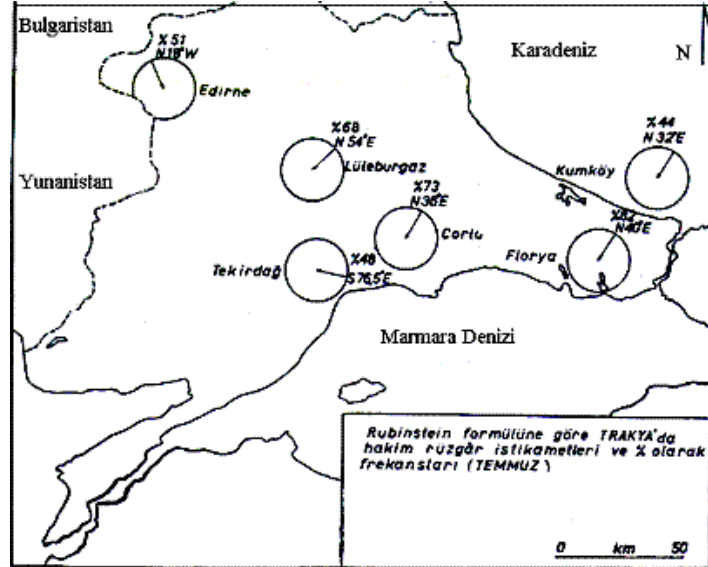
Şekil 2.1: Trakya Bölgesi'nin yağış haritası

Trakya’da Tekirdağ hariç, bölgedeki hemen hemen bütün alanlarda, hakim rüzgarlar kuzey yönlüdürler (Şekil 2.2, Şekil 2.3). Tekirdağ’da ise daha ziyade doğu yönlü esen

rüzgarlar hakimdir. Bu yönlerden esen rüzgarlar Karadeniz'i geçtiklerinden nemle yüklüdürler ve bu nemi dağların yüksek yamaçlarında yükselirken bırakırlar. Bu rüzgarlar Istrancaların güneyine inerlerken taşıdıkları nemin önemli bir kısmını bırakmış olarak geçerler [95].



Şekil 2.2: Rübinstein formülüne göre Trakya'da Ocak ayında hakim rüzgar yönleri ve % olarak frekansları



Şekil 2.3: Rübinstein formülüne göre Trakya'da Temmuz ayında hakim rüzgar yönleri ve % olarak frekansları

3.MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÖRNEKLEME VE ÖRNEK İSTASYONLARI

Trakya Bölgesi'nde Pb, Zn, Cu ve Cd elementlerinin dağılımını belirleyebilmek amacıyla 20x20 km².lik karelerden oluşan 74 örnekleme istasyonu belirlenmiştir. Trakya Bölgesi'nin geniş ölçüde tarım arazisi olması, karayosunu ve likenlerin yetişmesi için uygun fizyonomilerin bulunmaması nedeniyle; belirlenen istasyonların ancak 49 tanesinde karayosunu ve 27 tanesinde liken örnekleri bulunabilmiştir. Trakya Bölgesi'nde 26°22'20" - 29°05'67" boylamları ile 40°41'37" - 41°98'67" enlemleri arasında kalan karayosunu ve liken örnekleme istasyonlarının bölgedeki dağılımı Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 de gösterilmiştir. Ayrıca istasyonlara ait coğrafik koordinatlar ve yükseklikler ise Tablo 3.1 ve tablo 3.2 de gösterilmiştir. Bütün örnekleme 2001 yılı Ağustos ve Eylül aylarında yapılmıştır. Örnekleme yapılırken örneklerin alındığı noktaların coğrafik koordinatları ve yüksekliği GPS (Global Position System) cihazıyla belirlenmiştir. Örnekler belirlenen karelerin merkezlerinde alınmaya çalışılmış ve alınan yerlerin ana yollara 300 metre, tali yollara ve yerleşim birimlerine en az 100 metre uzakta olmasına dikkat edilmiştir. Ormanlık alanlardaki örnekleme ise atmosferden gelen ağır metal kirliliğini iyi yansıtmaması (ağaçların gölge etkisini ve damlama etkisini önlemek amacıyla) bakımından açık alanlar seçilmiş ve örnek noktalarının büyük ağaçlardan 5 metre uzakta olmasına dikkat edilmiştir. Biyolojik izleme çalışmalarında örnekleme yapılan organizmanın bütün istasyonlarda aynı tür olması sonuçların güvenilirliği ve değerlendirilmesi açısından kolaylık sağlamaktadır. Fakat çalışma bölgesi geniş olduğu (23 760 km²) zaman aynı türe ait organizmaları bütün istasyonlarda bulmak hemen hemen olanaksızdır. Bu çalışmada ağır metalleri en iyi şekilde biriktirdiğine inanılan karayosunu (*Hypnum cupressiforme*) ve liken türleri (*Cladonia rangiformis*) toplanmaya çalışılmıştır.

Örnekler, toplayan kişiden kaynaklanan ağır metal kontaminasyonunu önlemek amacıyla plastik eldivenlerle alınmış ve plastik torbalara konulmuştur. Arazide nemli

olarak toplanan karayosunu ve liken örnekleri, küflenme ve bozulmaya karşı + 4 °C ‘de çalışan buzdolabında saklanmıştır. Bütün örnekler + 40 °C ‘deki etüvlerde kurutularak plastik torbalarda saklanmıştır.

Tablo 3.1: Karayosunu örnekleme istasyonları ve koordinatları

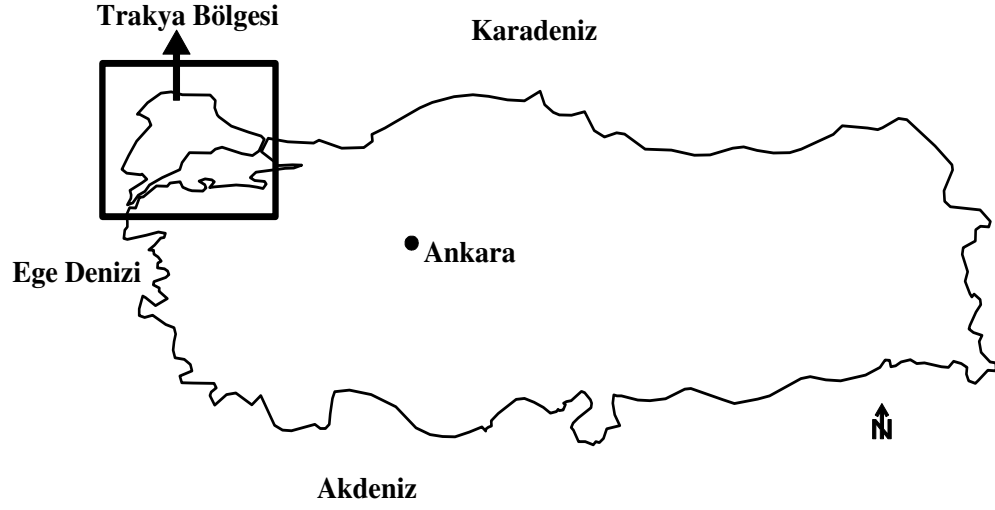
İstasyon Adı	İstasyon No	Boylam (°)	Enlem (°)	Yükseklik(m)
Demirciköy	1	29.0497	41.2454	49
Göktürk	2	28.8752	41.1931	52
Boyalık	3	28.6475	41.2363	48
Yeniköy	4	28.6817	41.3206	38
Karacaköy	5	28.4314	41.3967	13
Çatalca	6	28.4689	41.1505	31
Seymen	7	28.1578	41.1880	208
Sayalar	8	28.1759	41.3011	242
Güngörmez	9	27.9763	41.4929	215
Bahçeköy	10	28.0591	41.5527	139
Kıyıköy	11	28.0847	41.6404	25
Kömürköy	12	27.8713	41.6267	271
Büyükyoncalı	13	27.9421	41.3629	164
Deveci	14	26.8509	40.8222	189
Tayfur	15	26.4672	40.4137	154
Karahisar	16	26.4553	40.7546	22
Hisarlı	17	26.2221	40.7094	81
Abdülrahim	18	26.2540	40.6441	53
Erikli	19	26.4406	40.6411	132
Gökçetepe	20	26.6655	40.6792	280
Yeniköy	21	27.0108	40.6469	238
İsaklı	22	27.0800	40.7487	282
Eskiköy	23	26.6416	41.3312	69
Elmalı	24	26.9003	41.1885	211

Tablo 3.2: Karayosunu örnekleme istasyonları ve koordinatları(devamı)

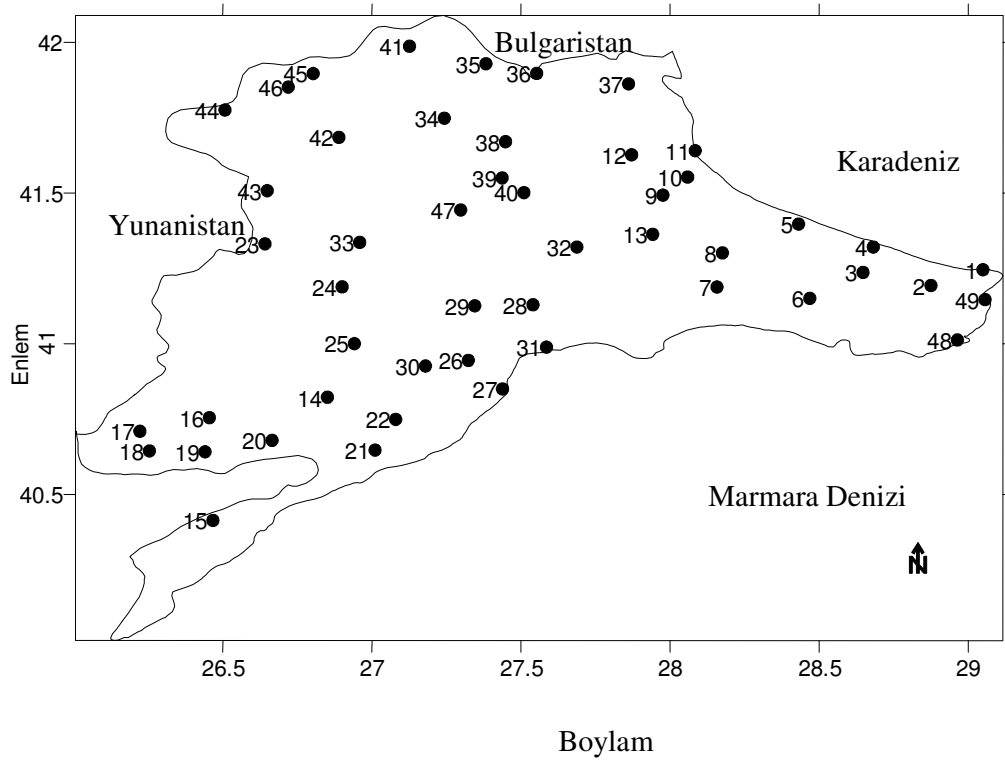
İstasyon Adı	İstasyon No	Boylam ($^{\circ}$)	Enlem ($^{\circ}$)	Yükseklik(m)
Kozyörük	25	26.9416	41.0000	118
İnecik	26	27.3239	40.9447	192
Kumbağ	27	27.4384	40.8498	167
Müsellim	28	27.5405	41.1290	204
Karacaklavuz	29	27.3454	41.1258	151
Otmanlı	30	27.1800	40.9261	146
Tekirdağ	31	27.5858	40.9885	42
Ahiahmet	32	27.6878	41.3207	131
Pehlivan köy	33	26.9592	41.3361	42
Kırklareli	34	27.2432	41.7480	248
Dereköy	35	27.3828	41.9289	437
Armutveren	36	27.5528	41.8968	330
Demirköy	37	27.8612	41.8620	320
Kaynarca	38	27.4484	41.6704	252
Ceylan	39	27.4371	41.5500	160
Sütlüce	40	27.5101	41.5012	170
Terzidere	41	27.1264	41.9868	404
Arpaç	42	26.6491	41.5077	54
Orhaniye	43	26.6491	41.5077	54
Sırpsındı	44	26.5074	41.7752	110
Hacıdanışment	45	26.8033	41.8962	328
Lalapaşa	46	26.7197	41.8515	144
Hamitabat	47	27.2982	41.4436	112
Bayazıt 1	48	28.9638	41.0121	52
Bayazıt 2	49	29.0567	41.1463	74

Tablo 3.3: Liken örnekleme istasyonları ve koordinatları

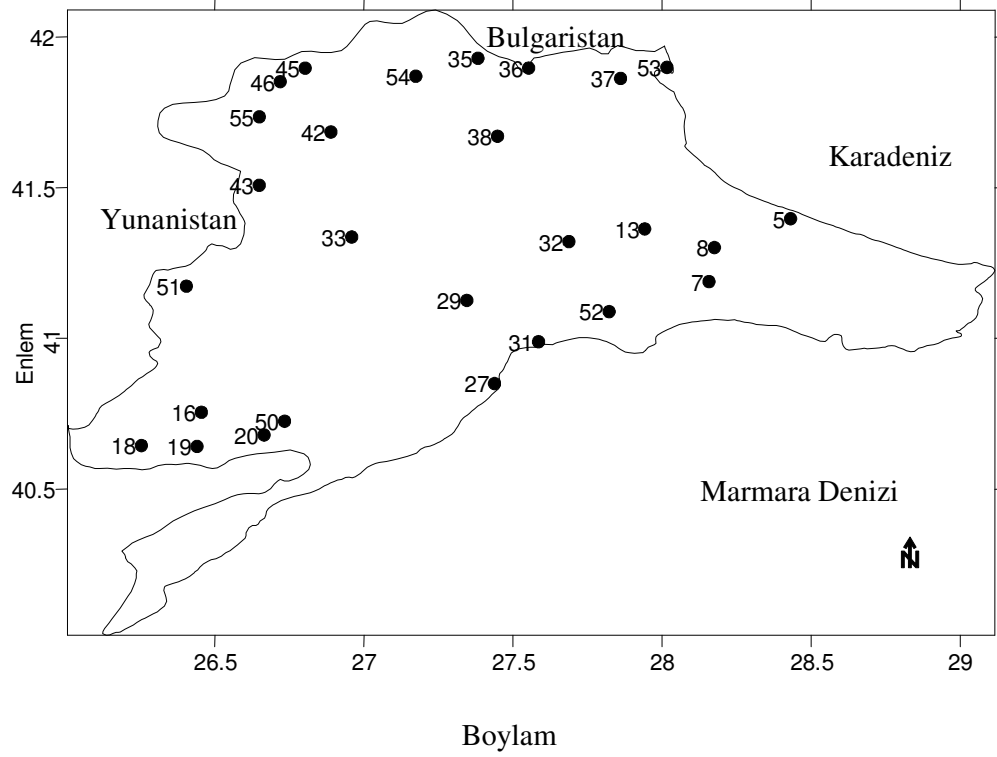
İstasyon Adı	İstasyon No	Boylam ($^{\circ}$)	Enlem ($^{\circ}$)	Yükseklik(m)
Karacaköy	5	28.4314	41.3967	13
Seymen	7	28.1578	41.1880	208
Sayalar	8	28.1759	41.3011	242
Büyükyoncalı	13	27.9421	41.3629	164
Karahisar	16	26.4553	40.7546	22
Abdülrahim	18	26.2540	40.6441	53
Erikli	19	26.4406	40.6411	132
Gökçetepe	20	26.6655	40.6792	280
Kumbağ	27	27.4384	40.8498	167
Karacaklavuz	29	27.3454	41.1258	151
Tekirdağ	31	27.5858	40.9885	42
Ahiahmet	32	27.6878	41.3207	131
Pehlivan köy	33	26.9592	41.3361	42
Dereköy	35	27.3828	41.9289	437
Armutveren	36	27.5528	41.8968	330
Demirköy	37	27.8612	41.8620	320
Kaynarca	38	27.4484	41.6704	252
Arpaç	42	26.8895	41.6844	92
Orhaniye	43	26.6491	41.5077	54
Hacıdanışment	45	26.8033	41.8962	328
Lalapaşa	46	26.7197	41.8515	144
Yerlisu	50	26.7343	40.7250	175
Meriç	51	26.4050	41.1729	89
Çorlu	52	27.8228	41.0884	62
Limanköy	53	28.0164	41.8990	90
Elmacık	54	27.1742	41.8694	314
Edirne	55	26.6496	41.7347	58



Şekil 3.1: Çalışma bölgesi



Şekil 3.2: Karayosunu örnek istasyonları ve bölgedeki dağılımı



Şekil 3.3: Liken örnek istasyonları ve bölgedeki dağılımı

3.2. MATERYALİN ANALİZE HAZIRLANMASI

3.2.1. Gerekli Malzemeler ve Analiz İşlemleri

Deneyde kullanılan beher, pipet ve diğer plastik malzemeler;

- Sabunlu suyla yıkanmış ve 60 °C 'de çalışan etüvde kurutulmuşlardır,
- Kurutulan cam malzemelerin organik maddelerden arındırılması için 6 M 'lık HNO_3 çözeltisinde iki gün bekletilmiştir,
- Bütün malzemeler, bundan sonra beş defa deiyonize sudan geçirilmiş ve yine 60 °C 'de çalışan etüvde kurutulmuşlardır,
- Bütün malzemeler kilitli poşetlerde saklanmış ve kimyasal işlemlerin hepsi çeker ocak altında yapılmıştır.

Atomik absorpsiyon spektrofotometresinde ölçümü yapılacak olan örneğin, organik madde içermemesi, tamamen inorganik yapıda olması, berrak görünümde ve sıvı halde olması gerekmektedir. Bu amaçla analiz için aşağıdaki yöntem kullanılmıştır. Gerekli

kimyasal maddeler ve malzemeler: Nitrik asit (HNO_3), sülfirik asit (H_2SO_4), hidrojenperoksit (H_2O_2), deiyonize su, 100 ml. 'lik cam beher, saat camı, falkon tüpü, huni, 100 ml. 'lik balonjoje, filtre kağıdı, çeker ocak ve ısıtma tablası,

- Önceden kurutulup diğer artık ve bitki parçalarından temizlenmiş karayosunu ve liken örneklerinden 1 'er gr tartılmış ve 100 ml 'lik cam beherlere konulmuştur,
- Her cam behere 5 ml. konsantre H_2SO_4 ilave edilmiş ve beherler üzerine saat camı konularak $70-80^\circ\text{C}$ 'de 3-4 saat kadar ısıtma tablası üzerine yerleştirilmiştir,
- Örnekler ısıtma tablası üzerinde ve sıcakken konsantre HNO_3 damla damla ilave edilmiştir,
- HNO_3 eklendiğinde, örnekler sıvı hale geçmeye başlar. Örnekler tamamen koyu kahve rengini alır. Bu esnada sıcaklık 120°C 'ye çıkarılıp belli aralıklarla HNO_3 eklenmeye devam edilmiştir,
- Örneğin rengi sarı beyaz olana kadar HNO_3 eklenmeye devam edilmiştir,
- Daha sonra hidrojenperoksit damla damla eklemeye başlanmış ve sıcaklık 150°C 'ye çıkartılmıştır. Hidrojenperoksit eklenmesi sonucu örneklerin rengi tamamen beyazlaşmaktadır,
- Örnekler kurumaya yakın ısıtma tablasından alınıp ve soğutulmaya bırakılmışlardır,
- Hazırlanan %2 'lik HNO_3 'den her behere 20 ml. eklenmiştir. Saat camı konularak $60-70^\circ\text{C}$ 'de kaynatmadan ısıtılmıştır. Örnekler berraklaşıp tuzlar çözülünceye kadar ısıtmaya devam edilmiştir,
- Kurumaya yakın, örnekler alınıp süzölmüş ve son hacim 10 ml. 'ye tamamlanmıştır [96].

3.3. ANALİZ

Hazırlanan karayosunu ve liken örneklerinin analizi Shimadzu 680 model atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS - 680) cihazıyla yapılmıştır. Cihaza uygun biçimde hazırlanan örneğin AAS'de yakılması sonucu elemente ait atomların optik okuyucu tarafından gönderilen (aynı elemente ait lambadan) ışınları absorblaması

sonucu o elemente ait atom yoğunluğunun, cihazın bilgi işlem hafızasında değerlendirilmesiyle örnek içindeki element konsantrasyonu (mg/kg) ölçülmüştür. Hazırlanan örnek içindeki metal miktarının belirlenmesi için, içinde metal miktarı bilinen çözeltilerden üç tanesi cihaza okutularak çalışma eğrisi elde edilmiştir. Hazırlanan örnek içinde bulunan metal miktarı, bu çalışma eğrisi temel alınarak cihaz tarafından hesaplanmıştır. Herbir örnek üç kez ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması, bir istasyona ait konsantrasyon değeri olarak alınmıştır. Karayosunu ve liken örneklerine ait değerler mg/kg (ppm) olarak hesaplanmıştır. Örneklerle aynı işlemlerin uygulandığı fakat içine örnek konulmayan blank çözeltisi hazırlanmıştır. Blank, örneklerin sıfır noktası olarak kabul edilmektedir. Elde edilen sonuçların istatistiksel değerlendirilmesinde SPSS (Statistical Package for the Social Science) programı kullanılmıştır [97]. Karayosunu ve liken örneklerinde elde edilen sonuçların haritalandırılmasında ve bölgedeki dağılımlarının belirlenmesinde Coğrafik Bilgi Sistemi tekniğinden yararlanılmıştır [97].

4. BULGULAR

Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Trakya Bölgesi, Marmara Denizi ve Karadeniz'de kıyısı olan, Yunanistan ve Bulgaristan ile sınırları olan bir bölgedir. İstanbul ve Tekirdağ, bölgede sanayi, trafik ve nüfusun yoğun olduğu yerleşim bölgeleridir. Bölgeden toplanan karayosunu ve liken örneklerinin analizi sonucu elde edilen Cd, Pb, Zn ve Cu elementlerine ait konsantrasyon değerleri Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3 de gösterilmiştir. Karayosunu ve liken örneklerinde ölçülen ortalama konsantrasyon değerleri, $\pm$ % 95 güven aralıkları ile birlikte Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 te gösterilmiştir. Bölgede yüksek konsantrasyonlar, genellikle endüstrileşme, trafik ve nüfusun yoğun olduğu alanlarda ve bu alanlara yakın olan bölgelerde bulunmuştur. Karayosunlarında ölçülen en yüksek değerler ve bulundukları istasyonlar şöyledir; bütün elementler için en yüksek değerler İstanbul ve çevresinde bulunmuştur. Bu değerler; Cd: 0.88 mg/kg, Cu: 57.56 mg/kg, Pb: 101.92 mg/kg, Zn: 199.24 mg/kg şeklinde bulunmuştur. Bölgede karayosunlarında elde edilen en düşük konsantrasyonlar; Demirköy istasyonu Cd: 0.03 mg/kg, Demirköy istasyonu Cu: 1.92 mg/kg, Terzidere istasyonun Zn: 11.94 mg/kg, Çatalca istasyonu Pb: 1.05 mg/kg olarak bulunmuştur. Likenlerden alınan en yüksek konsantrasyonlar; Meriç istasyonu Cd: 0.41 mg/kg, Tekirdağ istasyonu Pb: 6.63 mg/kg, Yerlisu istasyonu Cu: 10.7 mg/kg, Kumbağ istasyonu Zn: 141.8 mg/kg olarak bulunmuştur. Ayrıca likenlerden alınan en düşük konsantrasyonlar ise; Kumbağ istasyonu Cd: 0.03 mg/kg, Abdülrahim istasyonu Pb: 0.41 mg/kg, Pehlivan köyü Cu: 1.39 mg/kg, Lalapaşa istasyonu Zn: 7.16 mg/kg olarak bulunmuştur.

Tablo 4.1: Karayosunu örneklerinde Cd, Cu, Zn ve Pb konsantrasyonları (mg/kg)

İstasyon Adı	İstasyon No	Cd	Cu	Zn	Pb
Demirciköy	1	0.39	5.88	38.66	2.5
Göktürk	2	0.29	9.6	38.12	11.01
Boyalık	3	0.08	4.63	22.97	1.56
Yeniköy	4	0.67	3.79	32.56	6.52
Karacaköy	5	0.24	4.13	17.8	8.19
Çatalca	6	0.31	6.49	38.8	1.05
Seymen	7	0.61	7.06	48.59	12.66
Sayalar	8	0.5	2.85	51.71	11.01
Güngörmez	9	0.27	5.98	86.4	9.83
Bahçeköy	10	0.41	4.2	30.44	8.6
Kıyıköy	11	0.29	3.78	50.89	4.33
Kömürköy	12	0.29	7.28	41.17	10.07
Büyükoncalı	13	0.43	5.99	39.59	9.26
Deveci	14	0.14	6.25	33.06	3.33
Tayfur	15	0.13	4.56	30.65	8.33
Karahisar	16	0.11	3.49	27.74	3.81
Hisarlı	17	0.24	5.28	27.24	8.03
Abdülrahim	18	0.39	3.85	39.69	2.92
Erikli	19	0.23	3.01	39.69	5.47
Gökçetepe	20	0.11	7.84	38.1	5.51
Yeniköy	21	0.15	5.36	27.5	4.9
İsaklı	22	0.08	4.04	44.92	5.29
Eskiköy	23	0.35	7.81	42.94	3.06
Elmalı	24	0.28	7.18	36.67	3.02

Tablo 4.2: Karayosunu örneklerinde Cd, Cu, Zn ve Pb konsantrasyonları (devamı) (mg/kg)

İstasyon Adı	İstasyon No	Cd	Cu	Zn	Pb
Kozyörük	25	0.28	5.33	42.21	7.16
İnecik	26	0.29	4.53	54.97	4.96
Kumbağ	27	0.36	7.44	42.24	6.07
Müsellim	28	0.05	3.91	54.59	1.29
Karacaklavuz	29	0.05	5.13	39.76	7.28
Otmanlı	30	0.18	8.58	39.3	13.52
Tekirdağ	31	0.08	7.03	42.47	6.8
Ahiahmet	32	0.36	3.71	36.38	2.26
Pehlivanköy	33	0.25	3.64	38.28	6.45
Kırklareli	34	0.18	4.63	42.06	3.95
Dereköy	35	0.24	4.01	15.16	5.37
Armutveren	36	0.44	7.02	44.87	8.61
Demirköy	37	0.03	1.92	98.76	4.14
Kaynarca	38	0.57	7.29	31.89	7.73
Ceylan	39	0.37	7.33	25.99	6.17
Sütlüce	40	0.12	3.65	43.69	4.85
Terzidere	41	0.36	3.61	11.94	5.29
Arpaç	42	0.23	7.6	26.97	5.8
Orhaniye	43	0.47	4.9	28.8	4.76
Sırpsındı	44	0.27	9.66	27.78	4.88
Hacıdanışment	45	0.19	6.86	34.3	2.46
Lalapaşa	46	0.23	4.01	42.57	2.45
Hamitabat	47	0.12	2.8	142.14	7.28
Bayazıt 1	48	0.73	42.66	199.25	73.42
Bayazıt 2	49	0.88	57.56	183.26	101.92

Tablo 4.3: Liken örneklerinde Cd, Pb, Cu ve Zn konsantrasyonları (mg/kg)

İstasyon Adı	İstasyon No	Cd	Cu	Zn	Pb
Karacaköy	5	0.39	2.23	14.8	2.54
Seymen	7	0.11	1.79	12.32	3.04
Sayalar	8	0.05	2.06	19.17	2.05
Büyükyoncalı	13	0.28	2.02	15.5	1.28
Karahisar	16	0.14	1.71	7.88	3.11
Abdülrahim	18	0.24	2.13	12.81	0.41
Erikli	19	0.19	2.35	130.8	1.29
Gökçetepe	20	0.26	2.67	16.75	4.1
Kumbağ	27	0.03	2.01	141.8	2.5
Karacaklavuz	29	0.23	2.1	14.88	1.05
Tekirdağ	31	0.15	3.02	16.9	6.63
Ahiahmet	32	0.22	2.18	11.92	1.77
Pehlivan köy	33	0.11	1.39	10.78	1.32
Dereköy	35	0.37	4.12	11.44	3.7
Armutveren	36	0.2	6.53	17.7	3.68
Kaynarca	38	0.11	1.91	10.54	1.84
Demirköy	37	0.17	2.42	22.75	3.72
Arpaç	42	0.17	1.94	11.4	1.78
Orhaniye	43	0.12	1.99	87.92	3.49
Hacıdanışment	45	0.17	2.66	64.49	2.98
Lalapaşa	46	0.06	2.12	7.16	0.91
Yerlisu	50	0.18	10.7	17.25	4.75
Meriç	51	0.41	2.7	14.6	1.6
Çorlu	52	0.17	2.56	15.11	1.58
Limanköy	53	0.19	2.12	17.66	3.79
Elmacık	54	0.32	2.24	13.47	0.99
Edirne	55	0.12	2.38	31.93	3.07

Tablo 4.4: Karayosunu örneklerinde ortalama Cd, Cu, Pb ve Zn değerleri ile $\pm$ % 95 Güven aralıkları

Element	Ortalama Değerler (mg/kg)	Ortalama Değerler $\pm$ % 95 Güven aralıkları
Cd	0.29	0.29 ± 0.05
Cu	7.24	7.24 ± 2.65
Pb	9.29	9.29 ± 4.83
Zn	47.26	47.26 ± 10.48

Tablo 4.5: Liken örneklerinde ortalama Cd, Cu, Pb ve Zn değerleri ile $\pm$ % 95 Güven aralıkları

Element	Ortalama Değerler (mg/kg)	Ortalama Değerler $\pm$ % 95 Güven aralıkları
Cd	0.19	0.19 ± 0.039
Cu	2.55	2.55 ± 0.73
Pb	2.74	2.74 ± 0.55
Zn	28.51	28.51 ± 14.08

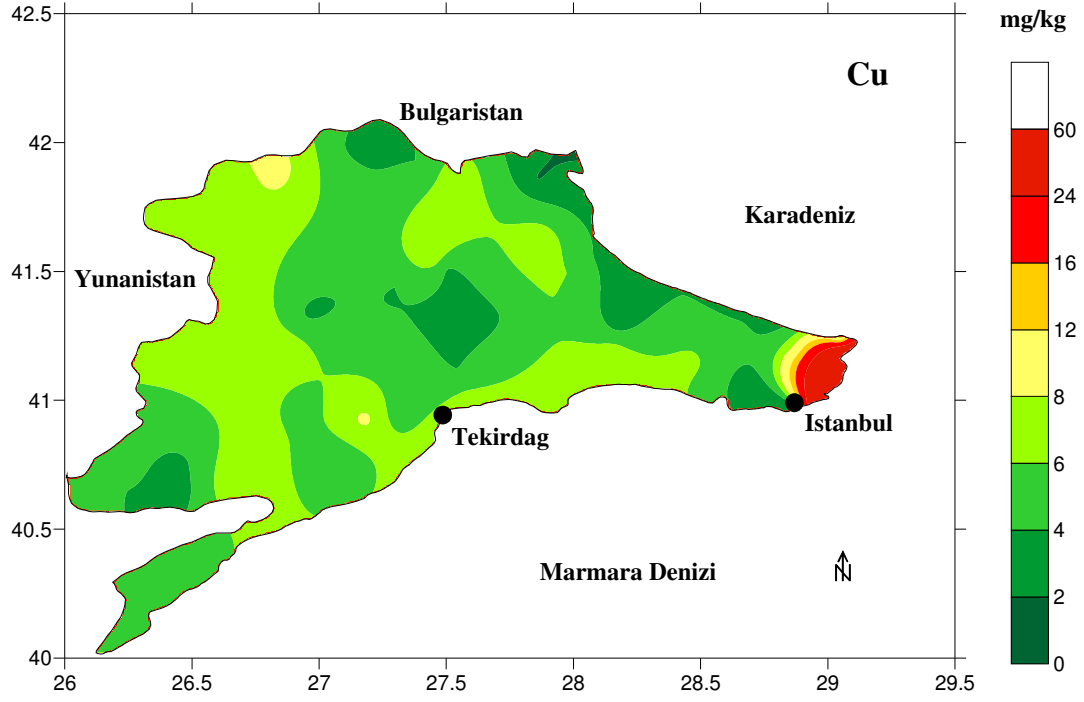
Ayrıca karayosunu örneklerinde bütün istasyonlarda alınan konsantrasyon değerleri Pearson korelasyon (iki yönlü) yöntemiyle kendi aralarında kıyaslanmış ve korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.6 da gösterilmişlerdir. Hem karayosunu hem de liken örneklerine ait istatistiksel bilgiler Tablo 4.7 de gösterilmiştir. Elementlere ait konsantrasyon değerlerinin bölgesel dağılımının belirlenmesi ve sonuçların daha iyi bir şekilde değerlendirilmesi için çizilen haritalar Şekil 4.1- 4.8 de gösterilmişlerdir. Haritalandırma işleminde uluslararası çalışmalarda kullanılan renklendirme biçimi dikkate alınmıştır. Koyu yeşil renk en düşük konsantrasyonları, koyu kırmızı renk ise en yüksek konsantrasyonları göstermektedir.

Tablo 4.6: Karayosunlarında Cd, Cu, Pb, ve Zn elementleri arasında bulunan korelasyon katsayıları

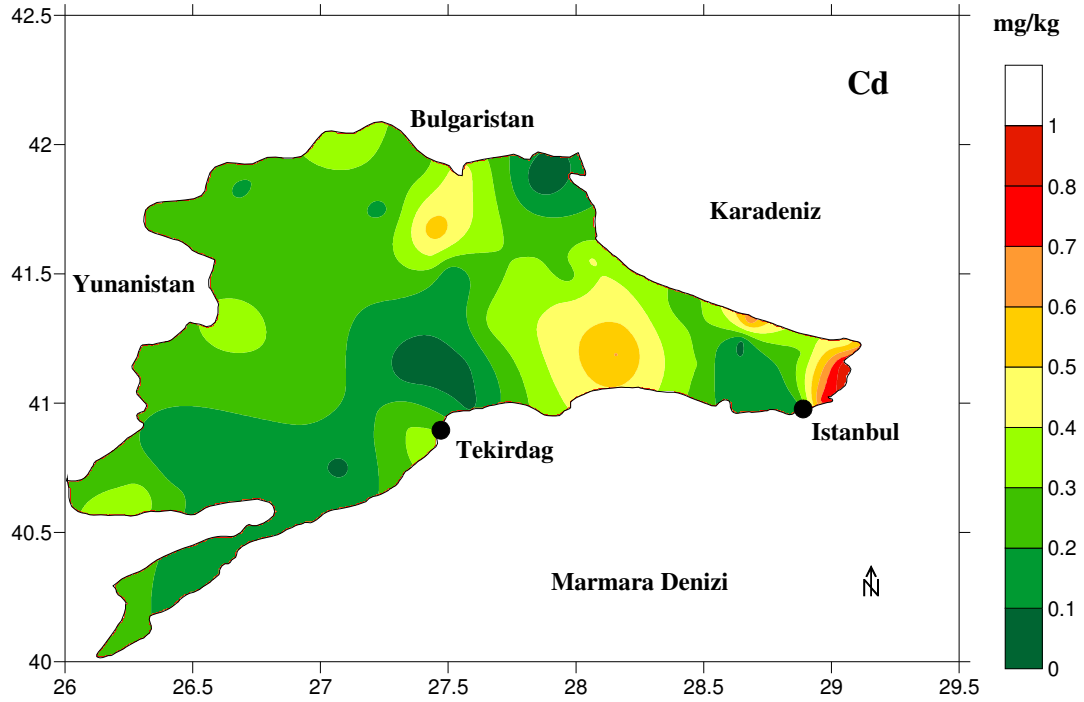
Element	Cd	Cu	Zn	Pb
Cd	1.00			
Cu	0.60	1.00		
Zn	0.39	0.76	1.00	
Pb	0.62	0.97	0.80	1.00

Tablo 4.7: Karayosunu ve likenlerden elde edilen Cd, Cu, Pb, ve Zn elementlerine ait istatistiksel veriler

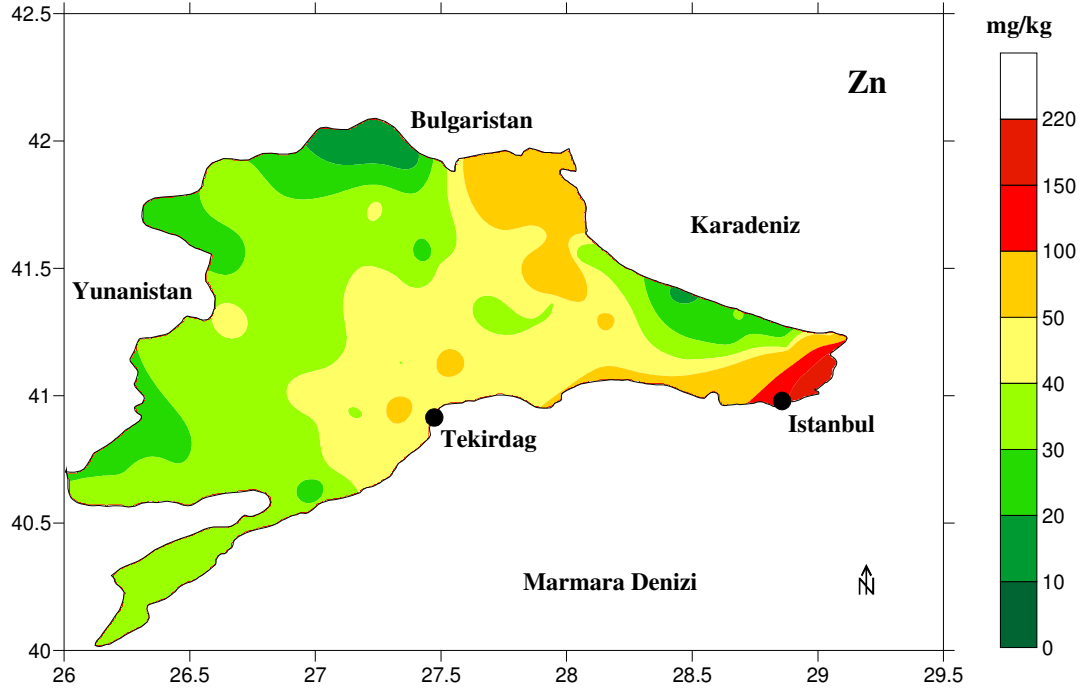
Materyal	Örnek sayısı	Ortalama (mg/kg)	Minimum (mg/kg)	Maksimum (mg/kg)	% 95 Güven Aralığı	Varsians σ^2	Medyan	Standart Sapma σ
K.yosunu Cd	49	0.29	0.03	0.88	0.05	0.03	0.27	0.18
K.yosunu Cu	49	7.24	1.92	57.56	2.65	85.5	5.27	9.24
K.yosunu Pb	49	9.28	1.05	101.9	4.83	283.78	5.51	16.84
K.yosunu Zn	49	47.25	11.94	199.24	10.48	1331.7	39.3	36.49
Liken Cd	27	0.19	0.03	0.41	0.039	0.01	0.17	0.09
Liken Cu	27	2.74	1.39	10.7	0.73	3.45	2.18	1.85
Liken Pb	27	2.55	0.41	6.63	0.55	1.99	2.5	1.41
Liken Zn	27	28.51	7.16	141.8	14.08	1266.1	15.11	35.58



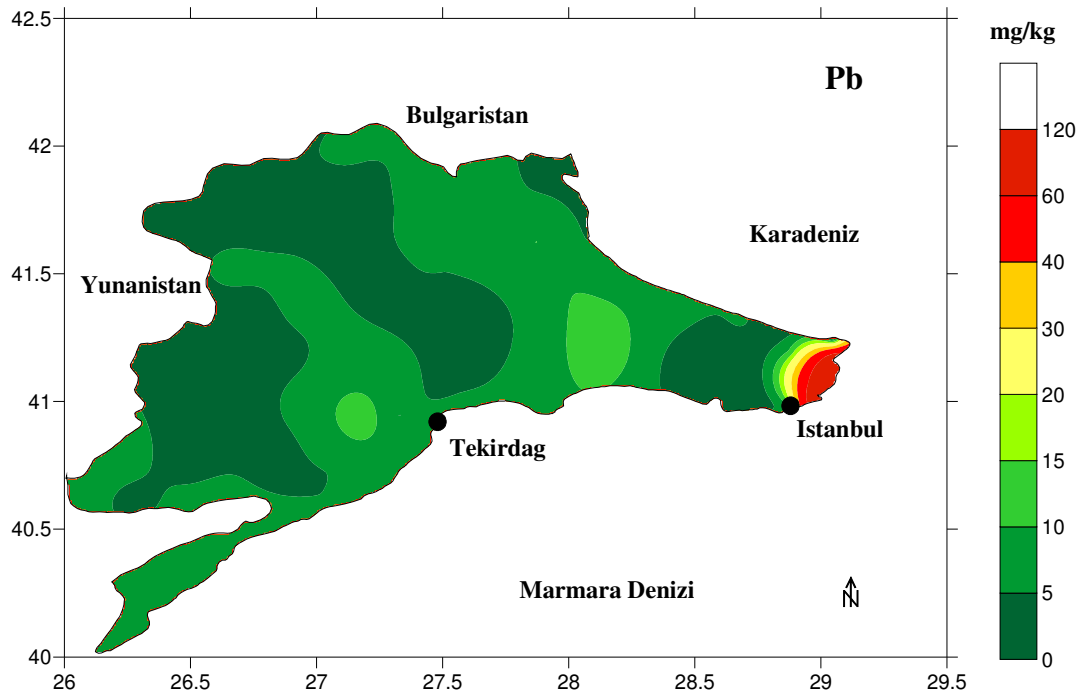
Şekil 4.1: Karayosunu Cu sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı



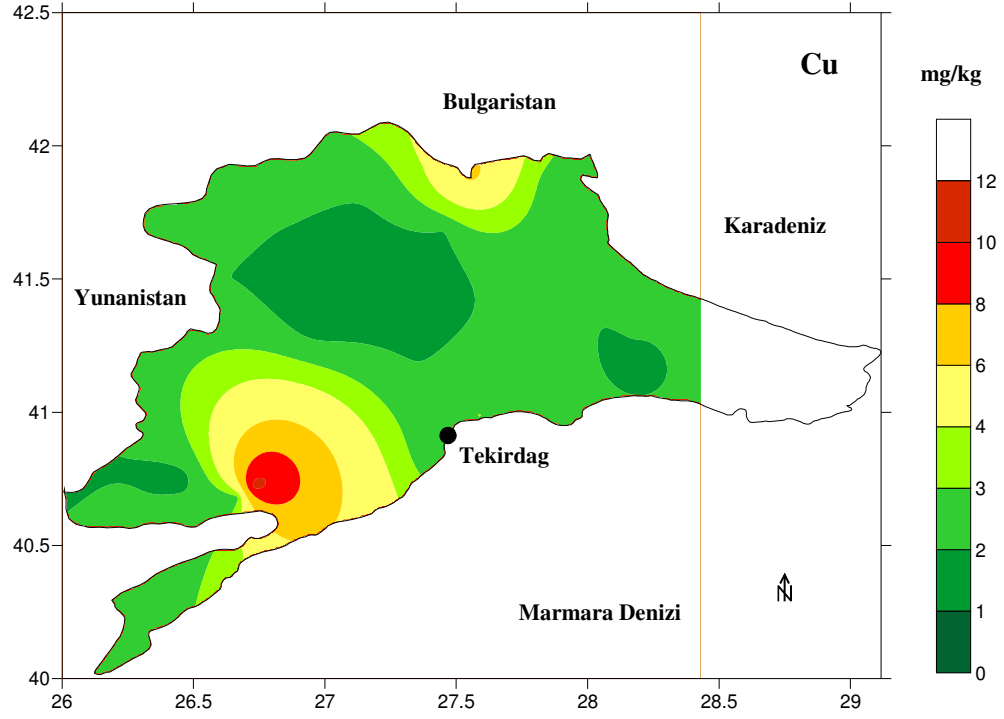
Şekil 4.2: Karayosunu Cd sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı



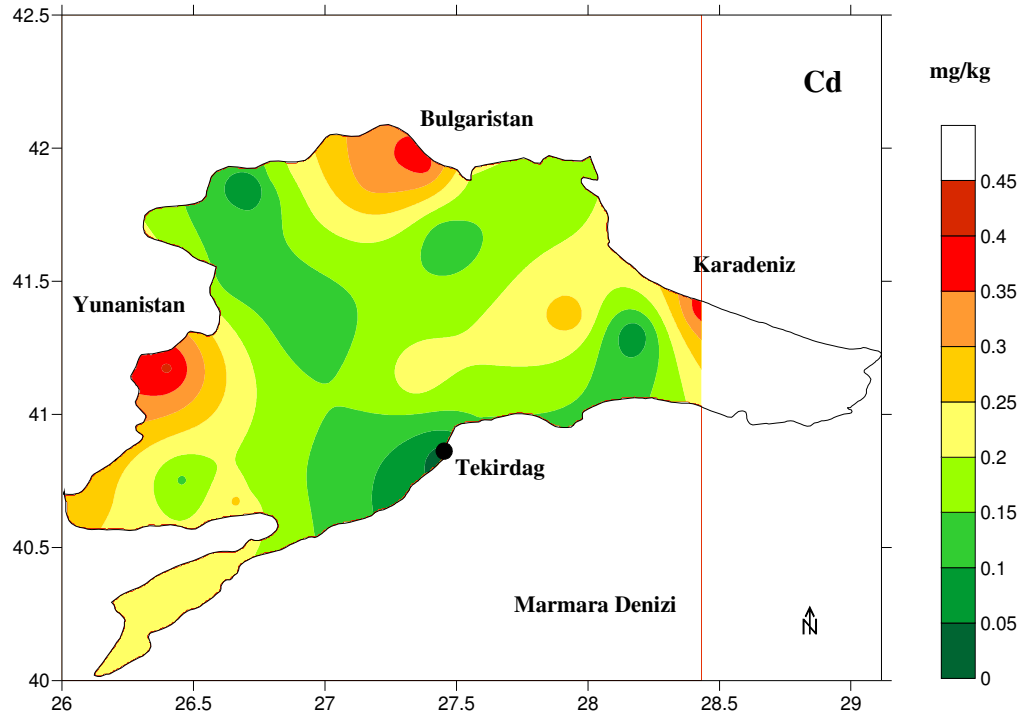
Şekil 4.3: Karayosunu Zn sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı



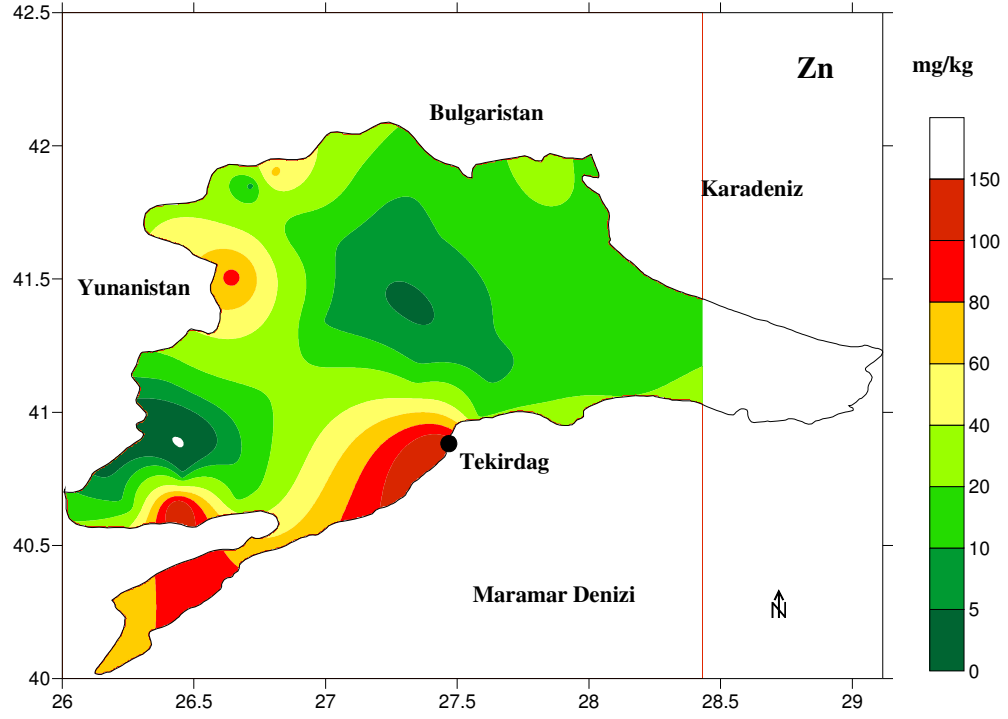
Şekil 4.4: Karayosunu Pb sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı



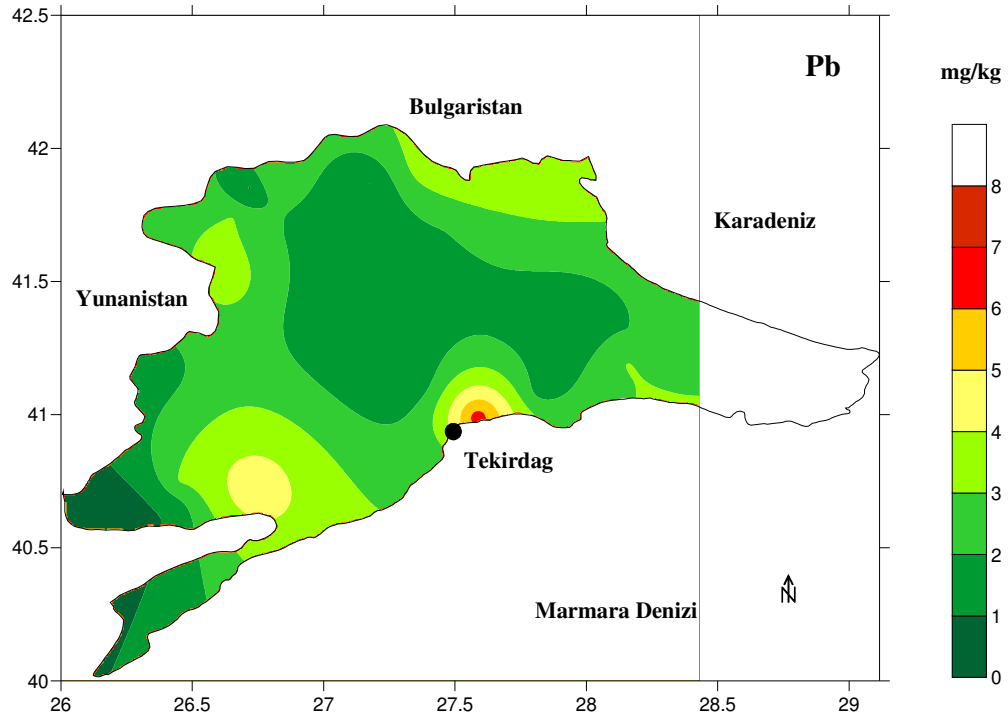
Şekil 4.5: Liken Cu sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı



Şekil 4.6: Liken Cd sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı



Şekil 4.7: Liken Zn sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı



Şekil 4.8: Liken Pb sonuçlarının Trakya Bölgesi'ndeki dağılımı

4.1. Cd, Cu, Pb ve Zn ELEMENTLERİNİN BÖLGEDEKİ DAĞILIMI

Cu ait dağılım haritaları incelendiğinde, en yüksek Cu konsantrasyonlarının İstanbul ve çevresinde olduğu bulunmuştur (57.56 mg/kg). Ayrıca Bulgaristan sınırına yakın olarak bulunan Armutveren istasyonu ve çevresi ile Yunanistan sınırına yakın olarak bulunan alanlarda, Cu konsantrasyonu bu alanların dışındaki alanlardan 4-5 kat ve bölgeye ait Cu ortalamasından ise 1.5-2 kat daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.1, 4.5).

Cd ait dağılım haritaları incelendiğinde, Cd'ye ait en yüksek konsantrasyonlar İstanbul ve çevresinde ölçülmüştür (0.88 mg/kg). Bu alandan sonra en yüksek konsantrasyon değerleri Seymen ve Sayalar istasyonlarında ölçülmüş (0.5 - 0.6 mg/kg), bölgenin kuzeyinde bulunan Dereköy ve Armutveren ile Yunanistan sınırında bulunan Meriç istasyonlarında ise Cd konsantrasyonu tüm çalışma bölgesinin ortalama Cd değerinden yaklaşık 2 kat daha fazla bulunmuştur (Şekil 4.2, 4.6).

Bölgedeki Zn dağılımına bakıldığında zaman İstanbul ve Tekirdağ illeri ve çevresi en yüksek değerlerin ölçüldüğü alanlar olduğu görülmektedir (199.24 mg/kg). Bölgenin kuzeyinde, Bulgaristan sınırına yakın olan Demirköy ve Armutveren istasyonları ile Yunanistan sınırına yakın olan Eskiköy istasyonlarında Zn değerleri diğer alanlardan ve tüm bölgesinin Zn ortalamasından 2-2.5 kat daha yüksek ölçülmüştür (Şekil 4.3, 4.7).

Pb haritalarının incelenmesiyle, Pb'ye ait en yüksek konsantrasyonlar yine İstanbul ve çevresinde bulunmuştur (101.9 mg/kg). İstanbul'da ölçülen Pb konsantrasyonları tüm bölge ve Avrupa ortalamasıyla kıyaslandığında yaklaşık 11 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Genellikle Pb konsantrasyonu, bölgenin kuzeyinde ve batısında ortalama Pb değerinden yaklaşık 3 kat daha az olduğu görülmüştür (Şekil 4.4, 4.8).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Karayosunu ve liken örneklerinde elementlerin dağılımını gösteren haritalar karşılaştırıldığında, karayosunu ve liken haritaları arasında en fazla benzerliğin Cd elementinde olduğu görülmüştür. Dağılım bakımından bu benzerlik $Cd > Pb > Cu > Zn$ şeklindedir. Likenlerden alınan Cd, Cu, Pb ve Zn ortalama değerleri ile bu elementlerin karayosunularındaki ortalama değerler karşılaştırıldığında bu dört elementin karayosunları tarafından daha fazla biriktirildiği saptanmıştır. Elementlerin birikme potansiyeli karayosunlarında; $Zn > Pb > Cu > Cd$, likenlerde $Zn > Pb > Cu > Cd$ şeklindedir. Bölgenin geneline bakıldığı zaman iç kısımların diğer alanlara göre bu dört element bakımından daha az kirlenmiş olduğu görülmektedir.

Karayosunu analizlerinden elde edilen sonuçlar Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonları arasında genellikle pozitif korelasyon olduğunu: bu korelasyonun Cu-Cd: arasında % 60, Zn-Cd: arasında % 39, Zn-Cu: arasında % 76, Pb-Cd: arasında % 62, Pb-Cu arasında: % 97 ve Pb-Zn arasında: % 80 düzeyinde olduğu görülmüştür (Tablo 4.6). Daha önce Trakya Bölgesi'nde Coşkun ve diğ. [97] tarafından yapılan karayosunu biyolojik izleme çalışması sonucunda elde edilen korelasyon katsayıları ile kıyaslandığında Cd-Zn dışındaki sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Berg ve diğ. [49] karayosunu biyolojik izleme tekniğini kullanarak Norveç'te yaptıkları çalışmalar sonunda elementleri kaynaklarına göre gruplandırarak Pb, Cd, Cu, Zn, Mo, W, Sb gibi elementleri uzun mesafeler boyunca atmosferde taşınan elementler olarak ayrı bir grup içinde toplamışlardır. Bu tez çalışmasında elde edilen karayosunu korelasyon sonuçlarına dayanılarak bu elementlerin muhtemel kaynak, taşınma mekanizmaları ve bölgedeki dağılımlarının benzer olduğuna işaret edilmektedir.

Likenlerde elde edilen Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyon değerlerinin kendi aralarındaki korelasyon katsayılarına bakılmış ve anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır. Trakya Bölgesi yaygın olarak tarımsal amaçla kullanılmaktadır. Bundan dolayı bölgede liken

örnekleri bütün istasyonlarda bulunamamıştır. Yukarıda bahsedilen nedenden dolayı var olan liken istasyonların bölgede homojen bir şekilde dağılmadığı görülmektedir (Şekil 3.3). Likenlerde bu dört element arasında anlamlı bir korelasyon elde edilememiş olması, bu düzensizliğe ve çalışma bölgesinde toplanan liken türlerinin farklı olmasına bağlanmaktadır.

Zechmeister [40], karayosunlarında bulduğu ağır metal konsantrasyonları (özellikle Pb ve Cd) ile örneklerin alındıkları yükseklikler (350-2260 m.) arasında anlamlı bir korelasyon olduğunu rapor etmiştir. Bu tez çalışmasında hem karayosunu hem de likenlerden elde edilen element konsantrasyonları ile örneklerin alındıkları noktalardaki yükseklikler arasında bir korelasyon olup olmadığına bakılmış ve anlamlı bir korelasyon olmadığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında örneklerin alındığı en yüksek noktanın 437 m. olması bu duruma açıklık getirmektedir. Bu sonuçlar Zechmeister'in [40] bulduğu sonuçlardan farklı olmasına rağmen aynı amaçla Herman [98] tarafından yapılan çalışmayla paralelik göstermektedir.

Atmosfere karışan kirleticilerin taşınmasında ve dağılımında rüzgarların önemli etkisi bulunmaktadır. Trakya'da Tekirdağ hariç, bölgedeki hemen hemen bütün alanlarda, hakim rüzgarların kuzey yönlü oldukları bilinmektedir. Dolayısıyla, kuzey yönlü esen nemli rüzgarlar Karadeniz'i geçerek bölgeye girdiklerinden, çok sayıda kirleticiyi de beraberinde getirmektedirler [95]. Istranca Dağları bölgenin kuzeyinde bulunan ve güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda uzanan başlıca yükseltilerdir. Neme doymuş sıcak hava, dağların yamaçlarında yükselirken yüksekliğe bağlı olarak azalan hava sıcaklığı karşısında yoğunlaşmakta ve yağış olarak havada bulunan kirleticilerle birlikte dağların kuzey yamaçlarına yağmaktadırlar. Dolayısıyla kuzey rüzgarları Istrancaların güneyine inerlerken taşıdıkları yükün önemli bir kısmını bırakmış olarak geçerler. Trakya Bölgesi'nin hakim rüzgarları hakkında verilen bilgiler, bu bilgilere dayanılarak çizilen haritalar ve yağış haritalarının (Şekil 2.1, 2.2, 2.3) incelenmesi sonucunda bu tez çalışmasında değerlendirilen Cd, Cu, Pb ve Zn gibi elementleri taşıyan kuzey rüzgarlarının Karadeniz'i geçtikten sonra Istranca Dağları'nda yükseklikle soğuyarak içeriğini büyük ölçüde dağlarda bıraktıkları düşünülmektedir. Bunun sonucu olarak atmosfer yoluyla çok uzak bölgelerden taşınabilen bu elementlerin önemli bir kısmının belirtilen bu alanda biriktiği düşünülmektedir. Karayosunu ve liken haritalarının

incelenmesi sonucu Cd, Cu, Pb ve Zn elementlerine ait konsantrasyonların bölgede kirliliğin en yoğun olduğu İstanbul ve Tekirdağ gibi illerden sonra Istranca Dağları ile kıyı şeridi arasındaki bölgede diğer alanlara göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir.

Trakya Bölgesi'nin yıllık yağış dağılımına bakıldığında zaman, bölgenin kuzeyinde yıllık yağış miktarı 1400-1500 mm. arasında değişmektedir. Bu bölgede yer alan Istranca Dağları ve yakın çevresi en fazla yağış alan yerlerdir. Ayrıca bu dağlık sahadan eteklere doğru inildikçe yağış miktarı azalmaktadır. Bu azalma güney yüzde daha fazladır. Kuzeyde İğneada'da yıllık ortalama yağış miktarı 962 mm. olduğu halde kütlenin güneyinde yer alan Kırklareli'nde 554 mm. 'dir. Kırklareli gibi kütlenin güneyinde yer alan sahalar nemli kuzey rüzgarlarına kapalıdır [95]. Dolayısıyla kuzey rüzgarlarıyla taşınan kirleticilerin az bir kısmı iç bölgelere geçebilmektedir. Atmosferin yağmur, kar gibi yağışlarla yıkanması sonucu partiküllere bağlı olarak bulunan toksik metaller yeryüzüne inmektedirler. Jeran ve diğ. [99], bir liken türü olan *Hypogymnia physodes* ile yaptığı biyolojik izleme çalışması sonucunda yüksekliğin, Pb ve Cd birikimi üzerinde önemli bir role sahip olduğunu rapor etmiştir. Özellikle yükseklik artarken, yüksekliğe bağlı olarak Pb konsantrasyonunun da lineer bir şekilde arttığını; Cd konsantrasyonunun ise 900-1000 m. yüksekliğe kadar lineer bir şekilde arttığını rapor etmişlerdir. Ancak bundan sonraki yükseklikler için Cd konsantrasyonunun azaldığını belirtmiştir. Aynı şekilde Ross [37] tarafından yapılan çalışmada, karayosunlarında bulunan Cd, Cu, Pb, Zn, Fe, ve V konsantrasyonları ile yağış miktarı arasında yüksek bir korelasyon olduğunu rapor edilmiştir. Her iki organizmada alınan konsantrasyon değerleri için çizilen dağılım haritalarında görüldüğü gibi (Şekil 4.1-4.8) bölgenin Karadeniz'e bakan kuzey kesimlerinde element miktarı normal olan alanlara göre yüksek olmasının sebeplerinden bir tanesi de bu alandaki yıllık yağışın diğer alanlara göre daha fazla olmasındandır. Dolayısıyla Istranca Dağları ile sahil şeridi arasında kalan bölgede bulunan bu element konsantrasyonlarının başlıca kaynakları; bölgenin doğal element düzeyleri, insan faaliyetleri sonucu oluşan konsantrasyon değerleri ile atmosferik yolla taşınan elementlere ait konsantrasyon değerleridir.

Bölgenin Bulgaristan sınırına yakın yerlerinde bulunan yüksek konsantrasyon değerlerine Bulgaristan üzerinden gelen atmosferin taşıdığı element miktarlarının etkili

olduğu düşünülmektedir. Karayosunu ve liken haritalarının incelenmesiyle dört elementin Bulgaristan sınırına yakın yerlerde diğer alanlara göre farklı bir dağılım gösterdiği söylenebilir. Bölgede karayosunu kullanılarak yapılan biyolojik izleme çalışmasında bu alanda Cu seviyelerinin yüksek olduğu bulunmuş ve bunun nedeninin Bulgaristan'daki kaynaklar olabileceği rapor edilmiştir [97]. Aynı şekilde Bulgaristan'a ait karayosunu biyolojik izleme çalışması sonucunda alınan maksimum değerler (Cd: 10.6 mg/kg, Cu: 1860 mg/kg, Pb: 887 mg/kg, Zn: 93.0 mg/kg) incelendiğinde [100], Trakya'da bulduğumuz değerlerin (Tablo 4.1, 4.2, 4.3) ve Avrupa'daki ortalama değerlerin üstünde oldukları görülmektedir (Tablo 5.2). Bu durum, bölgenin kuzeyinde bulunan yüksek konsantrasyonların kaynağının Bulgaristan'da yoğun bir şekilde çevreye yayılan ve kuzey rüzgarları ile taşınan elementler olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca bölgenin kuzeyinde bulunan Demirköy- Dereköy ve Demirköy-Türküpaşa aktif maden ocaklarından bu elementlerin çevreye yayılmış olabileceği de düşünülmektedir [101].

İspanya'da yapılan karayosunu biyolojik izleme çalışması sonucunda elde edilen sonuçlarla bu tez çalışmasında elde edilen dört elemente ait ortalama değerler kıyaslandığında (Tablo 5.1) iki ülkedeki sonuçların birbirlerine yakın oldukları görülmüştür [102]. Trakya'da elde edilen sonuçlar Macaristan'da yapılan çalışmada elde edilen ortalama konsantrasyonlarla kıyaslandığında [103]; Macaristan'daki ortalama Cd konsantrasyonunun Trakya'daki ortalama Cd konsantrasyonundan 3 kat, Pb'nun ise Trakya'daki ortalama konsantrasyondan 2 kat fazla olduğu görülmüştür (Tablo 5.1).

Tablo 5.1: İspanya [102], Macaristan [103], Norveç [49] ve bu çalışmada karayosunu kullanılarak yapılan biyolojik izleme çalışmaları sonucunda elde edilen ortalama değerler (mg/kg)

Element	İspanya ^a	Macaristan ^b	Norveç ^c	Trakya
Cd	-	0.9	0.18	0.29
Cu	6.86	11.8	7	7.24
Pb	9.35	19.5	8.6	9.29
Zn	48.8	52	45	47.26

^aFernandez et al., 2002

^bÖtvös et al., 2003

^cBerg and Steinnes, 1997a

Benzer şekilde bu tez çalışmasında elde edilen ortalama değerler Kuzey Avrupa ülkesi olan Norveç'te Berg ve diğ. [49] tarafından yapılan karayosunu biyolojik izleme çalışması sonucunda elde edilen ortalama değerlerle karşılaştırıldığında, sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Karayosunlarından alınan değerler diğer Avrupa ülkelerinde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında [104] kirli olan bölgeler dışındaki alanlarda toksik metal seviyelerinin benzer olduğu söylenebilir (Tablo 5.2).

Tablo 5.2: Çeşitli Avrupa ülkelerinde yapılan biyolojik izleme çalışmaları sonucu elde edilen ortalama değerler (mg/kg) [43].

Ülke	Yılı	Cd	Cu	Pb	Zn
Polonya	1995	0.44	7.6	13.6	43.0
Almanya	1995	0.29	9.4	7.8	53.9
Slovakya	1995	0.26	17.1	8.3	47.7
Litvanya	1995	0.19	5.8	11.4	39.2
Rusya	1995	0.29	5.3	4.4	38.5
Finlandiya	1995	0.17	4.4	5.7	37.5
İsviçre	1995	0.19	4.5	6.0	39.9
Norveç	1995	0.13	5.2	5.8	37.2
Bu ülkelerin ortalamaları	1995	0.24	7.41	7.87	42.11
Trakya	2005	0.29	7.24	9.29	47.26

Trakya Bölgesi'nin kuzeyinde bulunan Istranca Dağları ile güneyinde bulunan Kuru ve Ganos Dağları bölgenin en yüksek kesimlerdir. Bu dağlık kütleler arasında kalan bölge yaygın olarak tarımsal amaçla kullanılmaktadır. Tarımsal aktivitelerde verimliliği arttırmak için kullanılan gübreler ve çeşitli ürünlerde hastalık oluşturan bazı mantar ve bakteri türlerine karşı kullanılan ilaçlar Cd, Cu ve Zn gibi elementler içerebilmektedir. Ayrıca Cu, Zn gibi elementler çiftlik hayvanlarının besinlerinde katkı maddesi olarak da yer almaktadırlar. Yukarıda bahsedilen alanda bulunan elementlerin konsantrasyonlarının artmasına, atmosferde taşınan kirleticilere ek olarak tarımsal aktiviteler, hayvancılık ve fosil yakıtlarının kullanılmasının neden olduğu bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında;

- Karayosunu ve liken örnekleri kullanılarak yapılan bu çalışmada atmosfer aracılığıyla taşınan elementler olan Cd, Cu, Pb ve Zn gibi elementlerin karayosunları tarafından daha iyi bir şekilde biriktirildikleri,
- Cd, Cu, Pb ve Zn gibi elementlerin birikmesinde ve dağılımında bölgenin atmosferik koşulları ile topoğrafik yapısının önemli olduğu,
- Istranca Dağları ile kıyı şeridi arasında kalan alandaki element konsantrasyonlarına atmosferik taşınmanın önemli katkısı olduğu,
- Bölgede bu elementler bakımından en kirli alanların nüfus, endüstri ve trafik aktivitelerinin yoğun olduğu İstanbul ve Tekirdağ illeri ile yakın çevreleri olduğu,
- Bu dört elementin konsantrasyonlarının İstanbul ve çevresi dışındaki alanlarda toksik etki oluşturacak kadar yüksek seviyelerde bulunmadığı,
- Dağılım haritalarının incelenmesi sonucunda bu dört elementin dağılım, muhtemel kaynak ve taşınma mekanizmalarının benzer olduğu, sonuçlarına varılmıştır.

Bu tez çalışmasında biyoindikatör organizma olarak kullanılan karayosunu ve liken türlerinin sonraki yıllarda Trakya Bölgesi'nde örnekleme tekrar yapılarak, 2001 yılına ait bulunan değerlerin zaman içerisindeki değişim miktarı saptanabilir. Böyle bir çalışma rutin hale getirilip incelenen dört elementin konsantrasyonlarının belli zaman aralıklarındaki (örneğin 5 yıl) değişim miktarları gözlemlenebilir. Biyoindikatör

organizma olarak karayosunu ve liken türlerinin kullanılmasıyla Cd, Cu, Zn ve Pb'nin yanında diğer birçok elementin bölgedeki dağılımı da incelenebilir. Ayrıca bu organizmaların kullanılmasıyla Türkiye'deki diğer bölgelerin Cd, Cu, Zn ve Pb konsantrasyonları saptanabileceği gibi, bu dört element ve diğer elementler bakımından henüz kendisine ait verileri bulunmayan Türkiye için genel bir çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. ALLEN, A.G., NEMITZ, E., SHI, J. P., HARRISON, R. M., & GREENWOOD, J. C., 2001, Size distribution of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom, *Atmospheric Environment*, 35, 4581-4591.
2. FACCHINELLI, A., SACCHI, E., MALLIN, L., 2001, Multivariate statistical and GIS based approach to identify heavy metal sources in soils, *Environmental Pollution*, 114, 313-324.
3. ADRIANO, D. C., 1986, *Trace elements in the terrestrial environment*, Berlin Springer.
4. ILHAN IHSAN, A., DUNDAR, C., O, N., KILINÇ, H., 2003, Hava kirliliği ve asit yağmurlarının çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri [online] ,Türkiye, <http://www.meteor.gov.tr/2005/arastirma/havakirliligi/havakirliligi.htm> [2005].
5. GYSEL, K. ve VAN GRIEKEN, R., 1999, Field evaluation of a wind tunnel-imoactor system for sampling ambient aerosol, *Journal of Aerosol Science*, 34, 2501-2506.
6. HORVATH, H., KASAHARA, M., & PESAVA, P., 1996, The size distribution and composition of the atmospheric aerosol at a rural and nearby urban location, *Journal of Aerosol Science*, 27, 417-435.
7. MIGON, C., JOURNEL, B., & NICOLAS, E., 1997, Measurement of trace metal wet, dry and total atmospheric fluxes over the Ligurian Sea, *Atmospheric Environment*, 31, 889-896.
8. OTTEN, P., INJUK, J., VAN GRIEKEN, R., 1994, Elemental concentration in atmospheric particulate matter sampled on the North Sea and English Channel, *Science of Total Environment*, 155, 131-149.
9. OTTELY, C. J. ve HARRISON, R. M., 1993, Atmospheric dry deposition flux of metallic species to the North Sea, *Atmospheric Environment*, 27A, 685-695.
10. XHOFFER, C., BERNARD. P., VAN GRIEKEN, R., & VAN DER AUWERA, L., 1991, Chemical characterization and source apportionment of individual aerosol particles over the North Sea and English Channel using multivariate techniques, *Environmental Science and Technology*, 25, 1470-1478.

11. KAMAL, A., MOMANI, ANWAR, G. JIRIES., QASEM, M., JARADAT., 2000, Atmospheric deposition of Pb, Zn, Cu and Cd in Amman, Jordan, *Turk. J. Chem.*, 24, 231-237.
12. TRIJONIS, J., 1983, Development and application of methods for estimating inhalable and fine particle concentrations from routine hi-vol data, *Atmospheric Environment*, 17(5), 999-1008.
13. ESPINOSA, A. J. F., RODRIGUEZ, M. T., ROSA, F. J. B., & SANCHEZ, J. C. J., 2001, Size distribution of metals in urban aerosol in Seville (Spain), *Atmospheric Environment*, 35, 2595-2601.
14. BUSE, A., NORRIS, D., HARMENS, H., BUKER., P, ASHENDEN, T AND MILLS, G., 2003, European Atlas: Heavy metals in European mosses: 2000/2001 survey, *UNECE, ICP Vegetation*, Ashenden and G. Mills. Centre for Ecology and Hydrology, University of Wales Bangor, United Kingdom, 43.
15. WOLTERBEEK, B., 2001, Large-scaled biomonitoring of trace element air pollution: goals and approaches, *Radiation Physics and Chemistry*, 61, 323-327.
16. RUHLING, A. ve TYLER, G., 1968, An ecological approach to the lead problem, *Botaniska Notiser*, 121, 321-342.
17. RUHLING, A. ve TYLER, G., 1970, Sorbtion and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.), *Br. Et Sch.*, *Oikos*, 21, 92-97.
18. ZSCHAU, T., GETTY, S., GRIES, C., AMERON, Y., ZAMBRANO, A., NASH III, T.H., 2003, Historical and current atmospheric deposition to the epilithic lichen *Xanthoparmelia* in Maricopa Country, Arizona, *Environmental Pollution*, 125, 21-30.
19. SERGIO, C., SIM-SIM. M., FIGUERIA. R., 1993, Quantificação da deposição de metais pesados em Portugal, através da análise de briofitos, *Direcção geral da Qualidade do Ambiente*, 70.
20. AYRAS, M., PAVLOV, V., REINMAN, C., 1997, Comparison of sulphur and heavy metal contents and their regional distribution in humus and moss samples from the vicinity of Nikel and Zapoljarnij, Kola Penunsula, Russia, *Water Air Soil Pollution*, 98, 361-380.
21. CAPRI, A., WEINSTEIN, LH., DITZ, DW, 1994, Bioaccumulation of mercury by *Sphagnum* moss near a municipal solid waste incinerator, *Air Waste*, 98, 669-672.
22. GRODZINISKA, K., GODZIK, B., Heavy metals and sulphur in mosses from southern Spisbergen, *Polar Res.*, 1991, 9(2), 133-140.

23. SZCZEPANIAK, K. veBIZIUK, M., 2003, Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as bioindicators of metal pollution, *Environmental Research*, 93, 221-230.
24. BERG, T. ve STEINNES, E., 1997, Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values, *Environmental pollution*, 98, 61-71.
25. WOLTERBEEK, H. TH., BODE, P., VERBURG, T. G., 1996, Assesing the quality of biomonitoring via signal-to-noise ratio analysis, *The Science of Total Environment*, 180, 107-116.
26. ACETO, M., ABOLLINO, O., CONCA, R., MALANDRINO, M., MENTASTI, E., SARZANINI, C., 2003, The use of mosses as environmental metal pollutionindivators, *Chemospher*, 50, 333-342.
27. SLOOF, J., E., 1993, *Environmental lichenology: Biomonitoring trace element air pollution*, Doctora'thesis. Delft University of Technology, Interfaculty Reactor Institute, Delft, The Netherlands, 191.
28. MARKERT, B., HERPIN, U., SIEWERS, U., BERLEKAMP, J., LIETH, H., 1996, The German heavy metal survey by means of mosses, *The Science of Total Environment*, 182, 159-168.
29. NASH, T. H.ve WIRTH, V., 1988, Lichens, bryophytes and air quality, *Bibl. Lichenology*, 30, 1-298.
30. RAMUSEN, L. ve JOHNSEN, J., 1976, Uptake of minerals, particularly metals by epiphytic *Hypnum cupressiforme*, *Oikos*, 27, 483-487.
31. BROWN, D. H., AVALOS, A., MILLER, J. E., BARGAGLI, R., 1994, Interaction of lichens with their mineral environment, *Crypt. Bot.*, 4, 135-142.
32. REINMANN, C., HALLERAKER, J.H., KASHULUNA, G., BOGATYREV, I., 1999, Comparison of plant and precipitation chemistry in catchments with different levels of pollution on the Kola Peninsula, Russia, *The Science of Total Environment*, 243/244, 169-191.
33. TYLER, G., 1989, Uptake, retention and toxicity of heavy metals in lichens, *Water Air Soil pollution*, 47, 321-333.
34. BROWN, D. H., 1982, *Mineral Nutrition*, In: Smmith, A.J., (Ed), *Bryophyte Ecology*, Chapman and Hall, London, U.K., 445-471.
35. YENISOY-KARAKAŞ, S. ve TUNCEL, S. G., 2004, Geographic patterns of elemental deposition in the Aegean region of Turkey indicated by lichen, *Xantoria parietina* (L.) Th. Fr., *Science of Total Environment*, 329, 43-60.

36. ACETO, M., ABOLLINO, O., CONCA, R., MALANDRINO, M., MENTASTI, E., SARZANINI, C., 2003, The use of mosses as environmental metal pollution indicators, *Chemosphere*, 50, 333-342.
37. ROSS, H. B., 1990, On the use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for estimating atmospheric trace metal deposition, *Water Air Soil Pollution*, 50, 63-76.
38. BERG, T., ROYSET, O., STEINNES, E., 1995, Moss (*Hylocomium splendens*) used as biomonitor of atmospheric trace element deposition: estimation of uptake efficiencies, *Atmospheric Environment*, 29, 353-360.
39. OKLAND, T., OKLAND, R. H., STEINNES, E., 1999, Element concentrations in the boreal forest moss *Hylocomium splendens*: variation related to gradients in vegetation and local environmental factors, *Plant Soil*, 209, 71-83.
40. ZECHMEISTER, H. G., 1994, Correlation between altitude and heavy metal deposition in Alps., *Environmental Pollution*, 52, 441-451.
41. ZECHMEISTER, H. G., 1995, Annual growth of four pleurocarpous moss species and their applicability for biomonitoring heavy metals, *Environ. Monit. Assessment*, 52, 441-451.
42. STEINNES, E., 1995, A critical evaluation of the use of naturally growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals, *The Science of the Total Environment*, 160/161, 243-249.
43. BROWN, D. H. ve BRUMELIS, G. A., 1996, A biomonitoring method using the cellular distribution of metals in moss, *The Science of the Total Environment*, 187, 153-161.
44. LOPPI, S., 1995, Trace element content of the lichen *Permelia caperata* from a geothermal area of central Italy, *Micologi e Vegetazione Mediterranea*, 10, 67-72.
45. MARKERT, B., 1993, Plants as biomonitors for heavy metals of the terrestrial environment, Weinheim, New York, Tokyo: VHC Publisher, 664.
46. RUHLING, A. ve STEINNES, E., 1998, Atmospheric heavy metal deposition in Europe 1995-1996, *Nord*, 15, 1-67.
47. GRODZINISKA, K., SDZAREK-LUKASZEWSKA, G., GRODZIK, B., 1999, Survey of heavy metal deposition in Poland using mosses as indicators, *The Science of the Total Environment*, 229, 41-51.
48. CEBURNIS, D. ve VALIULIS, D., 1999, Investigation of absolute metal uptake efficiency from precipitation in moss, *The Science of the Total Environment*, 226, 247-253.

49. BERG, T. ve STEINNES, E., 1997a, Recent Trends in atmospheric deposition of trace elements in Norway as evident from the 1995 moss survey, *The Science of the Total Environment*, 208, 197-206.
50. REINMANN, C., NISKAVAARA, H., KASHULINA, G., FILZMOSER, P., BOYD, R., VOLDEN, T., TOMOLINA, O., BOGATYREV, I., 2001, Critical remarks on the use of terrestrial moss (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for monitoring of airborne pollution, *Environmental Pollution*, 113, 41-57.
51. LOPPI, S. ve BONINI, I., 2000, Lichens and mosses as biomonitors of trace elements in areas with thermal springs and fumoral activity (Mt. Amiata, central Italy), *Chemospher*, 41, 1333-1336.
52. BARGAGLI, R., MONACI, F., BORGHINI, F., BRAVI, F., AGNORELLI, C., 2002, Mosses and lichens as biomonitors of trace metals. A comparison study on *Hypnum cupressiforme* and *Parmelia caperata* in a former district in Italy, *Environmental Pollution*, 116, 279-287.
53. FIGUEIRA, R., SERGIO, C., SOUSA, A. J., 2002, Distribution of trace metals in moss biomonitors and assessment of contamination sources in Portugal, *Environmental Pollution*, 106, 153-163.
54. BARGAGLI, R., BROWN, D. H., NELLI, L., 1999, Metal biomonitoring with mosses: procedures for correcting for soil contamination, *Environmental pollution*, 89, 169-175.
55. SLOOF, J., E., 1993, *Environmental lichenology: Biomonitoring trace element air pollution*, Doctora'thesis. Delft University of Technology, Interfaculty Reactor Institute, Delft, The Netherlands, 1-14.
56. NIMIS, P. L., CICCARELLI, A., LAZZARIN, G., BARGAGLI, R., BENEDAT, A., CASTELLO, M., GASPARO, D., LAUSI, D., OLIVIERI, S., TRETIACH, M., 1989, I licheni come bioindicatori di inquinamento atmosferico nell'area di Schio-Thiene-Breganze (VI), In Bolletino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 16, CO. GE. V. s.r.l., Verona, *Ecotherma s.r.l.*, Trieste.
57. HALE, M. E., 1974, *Biology of lichens*, (E. J. W. Barrington and A. J. Willis, eds), Edward Arnold, London, U. K.
58. PUCKET, K. J., 1973, The uptake of metal ions by Lichens: A modified ion-exchange process, *New Phytol.*, 72, 329.
59. SMITH, J. N. ve ELLIS, K., 1987, Dynamic model for radionuclide uptake in lichen, *J. Environ. Radioact.*, 5, 185-208.
60. VILLENEUEVE, J. P., FOGELQVIST, E., CATTINI, C., 1988, Lichens as bioindicator for atmospheric pollution by Chlorinated hydrocarbons, 172, 399-403.

61. NASH III, T.H., 1989, *Metal tolerance in lichens*, In: Shaw, J., (Ed.), *Metal tolerance in plants: Evolutionary Aspects*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 119-131.
62. KNOPS, J. M. H., NASH III, T.H., BOUCHER, V. L., SCHLESINGER, W. L., 1991, Mineral Cycling and epiphytic lichens: implication at the ecosystem level, *Lichenologist*, 23, 309-321.
63. NIEBOER, E., RICHARDSON, D. H. S., TOMASSINI, F. D., 1978, Mineral uptake and release by lichens: an overview, *The Bryologist*, 82 (2), 226-246.
64. BRODO, I. M., 1961, Transplant experiments with caricolous lichens using a new technique, *Ecology*, 42, 838-841.
65. RAO, D. N. ve LEBLANC, F., 1966, Effect of sulphur dioxide on the lichen alga, with special referance to chlorophyll, *Bryologist*, 69, 69-75.
66. SCHONBEK, H., 1968, Influence of air pollution (SO₂) on translanted lichens, *Naturwissenschaften*, 55(9), 451-452.
67. HAWKSWORTH, D. L., 1971, Lichens as litmus for air pollution: a historical review, *Int. J. Environ. Stud.*, 1, 281-296.
68. RONEN, R., CANAANI, O., GARHY, J., CAHEN, D., MALKINS, S., GALUN, M., 1984, The effect of air pollution and bisulfite treatment in the lichen *Ramalina duriaei* studied by photoacoustics, 1983, *Advances in Photosynthesis Research, Proceedings of the 6th Congress on Photosynthesis*, 1-6 August, 1983, Brussels.
69. CALATAYUD, A., DELTORO, V. I., ABADIA, J., BARRENO, E., 1999, effects on ascorbate feeding on chlorophyll fluorescence and xantophll cycle components in the lichen *Parmelia quercina* (Willd.) Vainio exposed to atmospheric pollutants, *Physiologia Plantarum*, 105(4), 697-684.
70. KARDISH, N., RONEN, R., BUBRICK, P., GARTY, J., 1987, The influence of air pollution on the concentration of ATP and on chlorophyll degradation in the lichen *Ramalia duriaei* (De Not.) Bagl., *New Phytol.*, 106, 697-70.
71. EPSTEIN, E., SAGEE, O., J. D., GARTY, J., 1986, Endogenous auxin and ethylene in the lichen *Ramalina duriaei* , *Plant Physiology*, 82, 1122-1125.
72. SAWIDISH, T., HEINRICH, G., CHETTRI, M. K., 1997, Cesium-137 monitoring using lichens from Macedonia, Northern Greece, *Can. J. Bot.*, 75 (12), 2216-2223.
73. MONACI, F., BARGAGLI, R., GASPARO, D., 1997, Air pollution monitoring by lichens in a small medievel town of central Italy, *Acta Botanica Neerlandica*, 46(4), 403-412.
74. FREITAS, M. C., REIS, M. A., ALVES, L. C., WOLTERBEEK, H. T., 1999, Distribution in Portugal of some pollutants in lichen *Parmelia sulcata*, *Environmental Pollution*, 106 (2), 229-235.

75. LOPPI, S., CENNI, E., BUSSOTTI, F., FERRITTI, M., 1998a, Biomonitoring of geothermal air pollution by epiphytic lichens and forest trees, *Chemosphere*, 36(4-5), 1079-1082.
76. PALOMAKI, V., TYNNYRINEN, S., HOLOPAINEN, T., 1992, Lichen transplantation in monitoring fluoride and sulphur deposition in the surrounding of a fertilizer plant and strip mine at Siilinjärvi, *Ann. Bot. Fenn.*, 29(1), 25-34.
77. PILEGAARD, K., 1979, Heavy metals in bulk precipitation and transplanted *Hynogimnia physodes* and *Dicranoweisia cirrata* in the vicinity of a Danish steel works, *Water Air Soil Pollution*, 11, 77-91.
78. ADDISON, P. A. ve PUCKET, K. J., 1980, Deposition of atmospheric pollutants as measured by lichen element content in the Athabasca oil sands area, *Can. J. Bot.*, 58, 2323-2334.
79. de BRUIN, M. ve HACKENITZ, E., 1986, Trace elements concentrations in epiphytic lichens and bark substrate, *Environmental Pollution*, (Ser B), 11, 153-160.
80. OLMEZ, I., GULOVALI, M. C., GORDON, G. E., 1985, Trace element concentration in lichens near a coal-fired power plant, *Atmosp. Environment*, 19(10), 1663-1670.
81. GONZALEZ, C. M. ve PIGNATA, M. L., 1997, Chemical response of the lichen *Punctelia subrudecta* Krog transplanted close to a power station in an urban-industrial environment, *Environmental Pollution*, 97(3), 195-203.
82. RICHARDSON, D. H. S., 1995, *Metal uptake in lichens*, *Symbiosis*, 18, 119-127.
83. NIEBOER, E., RICHARDSON, D. H. S., LAVOIE, P., PADOVAN, D., 1979, The role of metal-ion binding in modifying the toxic effects of sulphur dioxide on the lichen *Umbilicaria muhlenbergii*, I. Potassium efflux studies, *N. Phytol.*, 82, 621-632.
84. BECKETT, R. P., BROWN, D. H., 1984, The control of cadmium uptake in the lichen genus *Peltigera*, *J. Exp. Bot.* 35, 1071, 1082.
85. RIGA- KARANDINOS, A. N. ve KARANDINOS, M. G., 1998, Assessment of air pollution from a lignite power plant in the plain of Megalopolis (Greece) using as biomonitors three species of lichens; impacts on some biochemical parameters of lichens, *The Science of Total Environment*, 215, 167-183.
86. STEINNES, E. 1995, a Critical evaluation of the use of naturally growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals, *The Science of the Total Environment*, 160, 243-249.
87. WOLTERBEK, H. TH. ve VERBURG, T. G., 2002, Judging survey quality: local variances, *Environ. Monit. Assessment*, 73, 7-16.

88. EVANS, C. A. ve HUTCHINSON, T. C., 1996, Mercury accumulation in transplanted moss and lichens at high elevation sites in Quebec., *Water Air Soil Pollution*, 90, 475-488.
89. LOPPI, S., GIOMARELLI, B., BARGAGLI, R., 1999a, Lichens and mosses as biomonitors of trace elements in a geothermal area (Mt. Amiata, central Italy), *Cryptogamie Mycologie*, 20, 119-126.
90. KUIK, P., ve WOLTERBEEK, H. T., 1995, Factory analysis of atmospheric trace-element deposition data in the Netherlands obtained by moss monitoring, *Water Air Soil Pollution*, 84, 323-346.
91. SAWIDISH, T., CHETTRI, M. K., ZACHARIADIS, G. A., STRATIS, J. A., & SEAWARD, M. R. D., 1995, Heavy metal bioaccumulation in lichen and mosses from Macedonia, in Northern Greece, *Toxicological and Environmental Chemistry*, 50, 157-166.
92. WOLTERBEEK, H. T., BODE, P., VERBURG, T. G., 1996, Assessing the quality of biomonitoring via signal-to-noise ratio analysis, *Science of Total Environment*, 180, 107-116.
93. LOPPI, S., NELLI, L., ANCORA, S., & BARGAGLI, R., 1997c, Accumulation of trace elements in the peripheral and central parts of foliose lichen thallus, *The Bryologist*, 100, 251-253.
94. LOPPI, S., CENNI, E., BUSSOTTI, F., & FERRETTI, M., 1997 a, Epiphytic lichens and tree leaves as biomonitors of trace elements released by geothermal power plant, *Chemistry and Ecology*, 14, 31-38.
95. DONMEZ, Y., 1990, *Trakyanın Bitki Coğrafyası*, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Basımevi, İstanbul, Türkiye, 24-27, 62-63.
96. CHAPMAN, D. (EDITOR), 1992, *Water Quality Assessment A Guide to the use of Biota, Sediment and Water in Environmental Monitoring*, Chapman and Hall, London (on behalf of Unesco, WHO and Unep).
97. COŞKUN, M., FRONTASYEVA, M.V., STEINNES, E., ÇOTUK, A.Y., PAVLOV, S.S., COŞKUN, M., SAZONOV, A.S., ÇAYIR, A., BELIVERMIS, M., 2005, Atmospheric deposition of heavy metals in Thrace Studied by Analysis of Moss (*Hypnum cupressiforme*), *Environmental Contamination and Toxicology*, 74/1, 201-209.
98. HERMAN, F., 1992, Nahr-und Schadstoffgehalte der Nadel-proben des Höhenprofiles Zillertal, *FBVA Wien Berichte*, 67, 79-85.
99. JERAN, Z., JACIMOV, R., BATIĆ, F., SMODIŠ, B., WOLTERBEEK, H. T., 1996, Atmospheric heavy metal pollution in Slovenia derived from results for epiphytic lichens, *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, 354 (5-6), 681-687.

100. BUSE, A., NORRIS, D., HARMENS, H., BUKER., P, ASHENDEN, T AND MILLS, G., 2003, European Atlas: Heavy metals in European mosses: 2000/2001 survey, *UNECE, ICP Vegetation*, Ashenden and G. Mills. Centre for Ecology and Hydrology, University of Wales Bangor, United Kingdom, 43.
101. Kırklareli ili maden ve enerji kaynakları [online], 2005, <http://www.mta.gov.tr/madenler/Kirklareli.DOC> (28 Mayıs 2005)
102. FERNADEZ, J.A., EDERA. A., NUNEZ.E., MARTINEZ-ABAIGAR, J., INFANTE, M., HERAS, P., ELIAS.M.J., MAZIMPAKA.V., CARBALLEIRA. A., 2002, Biomonitoring of metal deposition in northern Spain by moss analysis, *The Science of the Total Environment*, 300, 115-127.
103. OTVOS, E., PAZMANDI, T., TUBA, Z., 2003, First national survey of atmospheric heavy metal deposition in Hungary by the analysis of mosses, *The Science of the Total Environment*, 309, 151-160.
104. GRODZINISKA, K., SZAREK-LUKASZEWSKA, G., 2001, Response of mosses to the heavy metal deposition in Poland- an overview, *Environmental Pollution*, 114, 443-451.

ÖZGEÇMİŞ

25/05/1979 tarihinde K. Maraş'ta doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Adana'da, lise öğrenimi ise Gürün / Sivas'ta bitirdim. 1998 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünü kazandım. 2002 yılında mezun oldum. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Genel Biyoloji Programında yüksek lisans eğitimime başladım.