

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**ORHANELİ TERMİK SANTRALİ ÇEVRESİNDE
RADYOAKTİF DEPOZİSYONUN ^7Be , ^{137}Cs ve ^{210}Pb
RADYONÜKLİTLERİ İLE İZLENMESİ**

Melek ÖZDAŞ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Günseli YAPRAK

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 622.01.01

Sunuş Tarihi: 04.02.2011

Bornova-İZMİR

2011

Melek ÖZDAŞ tarafından YÜKSEK LİSANS tezi olarak sunulan “Orhaneli Termik Santrali Çevresinde Radyoaktif Depozisyonun ^7Be , ^{137}Cs ve ^{210}Pb Radyonüklitleri İle İzlenmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 04.02.2011 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Günseli YAPRAK	
Raportör Üye	:Yrd. Doç. Dr. Özlem KARADENİZ	
Üye	: Prof. Dr. Şule AYTAŞ	

ÖZET**ORHANELİ TERMİK SANTRALİ ÇEVRESİNDE RADYOAKTİF
DEPOZİSYONUN ^7Be , ^{137}Cs ve ^{210}Pb RADYONÜKLİTLERİ İLE
İZLENMESİ**

ÖZDAŞ, Melek

Yüksek Lisans Tezi, Nükleer Bilimler A.B.D

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Günseli YAPRAK

Şubat 2011, 86 sayfa

Bu çalışmada, Batı Anadolu’da yer alan linyit yakıtlı *Orhanel Termik Santrali* (OCCP) çevresinde termik santral emisyonuna dayalı radyoaktif ve ağır metal depozisyonu, epifitik liken, “*Xanthoria parietina*” ile izlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 2009-2010 dönemi boyunca, termik santral çevresinde, kirletici kaynaktan itibaren baca yüksekliğinin 50 katı büyüklüğünde yarıçaplı bir alan çalışma bölgesi olarak alınmış ve 3x3 km olarak karelajlanarak 34 liken örnekleme yapılmıştır. Bu kapsamda yaklaşık 34 liken örneğinde, ^7Be , ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_d$ and ^{40}K radyonüklit aktivite konsantrasyonları gama spektrometrik, doğrudan kömür yakıtlı termik santral emisyonunu yansıtan Hg ve Se gibi gaz kirleticilerin yanı sıra, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, S, V, ve Zn gibi potansiyel hava kirleticiler, Al, gibi kabuk elementleri ve U ve Th gibi radyoelementler ICP-MS tekniği ile analiz edilerek haritalanmıştır.

Orhanel Termik Santrali çevresinde radyonüklit ve ağır metal dağılımlarının analizi, kömür yakıtlı termik santral emisyonuna dayalı kirleticilerin kaderinin izlenmesinde, ^7Be ve Se’un faydalı atmosferik izleyiciler olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar sözcükler: ^7Be , ^{137}Cs , Se, Atmosferik İzleyici, Liken, *Xanthoria parietina*, Kömür Yakan Termik Santral, Batı Anadolu.

ABSTRACT**MONITORING OF ^7Be , ^{137}Cs AND ^{210}Pb RADIONUCLIDES FOR
RADIOACTIVE DEPOSITION IN THE VICINITY OF ORHANELI
POWER PLANT**

ÖZDAŞ, Melek

MSc in Institute of Nuclear Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Günseli YAPRAK

February 2011, 86 pages

In the present study, epiphytic lichen *Xanthoria parietina* were used as biomonitors for fallout deposition of natural radionuclides as well as heavy metals by the operation of the Orhaneli lignite-fired power plant (OCP) located in Bursa, West Anatolia. During 2009-2010, about 34 lichen samples were collected within a rectangle of 15 km wide and 20 km long a grid 3 km x 3 km, centered in the power plant. In the lichen samples, the activity concentrations of ^7Be , ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_d$ and ^{40}K radionuclides were analyzed by HPGe gamma spectrometry while the gaseous contaminants such as Hg and Se directly indicating the emission of coal power plant (CPP), air contaminants such as As, Cd, Cu, Pb and V and crust elements such as Al, and also U and Th were analyzed by ICP-MS and their concentrations were mapped.

As a consequence, the analysis of the distribution pattern of natural and artificial radionuclides as well as heavy metals surrounding the OCP shows that the ^7Be and Se are both of used as atmospheric tracers for studying the fate of pollutants from the emission of a coal –fired power plant.

Keywords: ^7Be , ^{137}Cs , Se, atmospheric tracer, lichen, *Xanthoria parietina*, Coal-Fired Power Plant, Western Anatolia.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince öncelikle bana kılavuzluk eden, bütün olanaklarıyla yanımda olan, bilgileriyle önüme ışık tutan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Günseli YAPRAK'a, tüm çalışma koşullarında, tüm zorluklara rağmen her zaman yanımda olup bana destek veren arkadaşlarım Fadıl İNCEOĞLU ve Şenay ŞAHİN'e, çalışma ortamı olarak sunduğu imkânlarla bana yardımcı olan Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Perihan ÜNAK'a ve tüm enstitü çalışanlarına, bilimsel olarak yardımlarından dolayı Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Ar. Gör. Buket CANBAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Akademik olarak ilerlemem konusunda beni yüreklendiren ve yanımda olan nişanlım Osman Bütün'e, son olarak sabırla beni okutup bugüne getiren ve bana hep güç veren Biricik AİLEM'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
RESİMLER DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Radyonüklitlerin Tanımlanması.....	3
2.1.1. Kozmojenik kökenli ^7Be üretim mekanizması ve genel özellikleri.....	3
2.1.2. Antropojenik kökenli ^{137}Cs üretim mekanizması ve genel özellikleri.....	5
2.1.3 Karasal orijinli ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K oluşumu ve genel özellikleri.....	6
2.1.4 Karasal orjinli ^{210}Pb 'un genel özellikleri ve atmosferik kaynakları... ..	6
2.2 Atmosferik Taşınım Mekanizması... ..	8
2.2.1 Atmosferin özellikleri.....	8
2.2.2 Atmosferik karışım ve türbülans... ..	9

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.2.3. Depozisyon ve resüspanسیون	10
2.3. Atmosferik Depozisyonu Belirlemek İçin Kullanılan Yöntemler	11
2.3.1. Hava örnekleyiciler	11
2.3.2. Kolektörler	12
2.3.3. Biyomonitörler	12
2.4. Atmosferik Depozisyonun Likenlerle İzlenmesi.	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Orhaneli Termik Santrali.....	21
3.1.1. Orhaneli termik santralinin genel özellikleri	22
3.1.2. Orhaneli termik santrali doğal radyonüklit emisyon karakteristikleri ..	24
3.1.3. Orhaneli termik santrali eser element emisyon karakteristikleri	27
3.1.4. Genel jeolojik yapının değerlendirilmesi.....	29
3.1.5. Orhaneli termik santrali çevresinde yüzey topraklarının radyoaktivite içeriği.....	31
3.2. Tesis Çevresinde Meteorolojik Değişkenlerin ve Topografyanın İncelenmesi.....	33

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.3. Sistematik Liken Örnekleme.....	35
3.3.1. Çalışma alanındaki epifitik liken türleri ve Xanthoria Parietina liken türünün morfolojik özellikleri.....	35
3.3.2. Çalışma alanı ve liken örnekleme	39
3.4. Liken Örneklerinde Radyonüklit ve İz Element Analizleri	41
3.4.1. Örnek hazırlama.....	41
3.4.2. ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb ve ^{40}K radyonüklit analizleri	41
3.4.2.1. ^7Be analizi	44
3.4.3. Liken örneklerinde iz element analizi.....	46
3.5. Dağılımların Haritalanması ve Veri Analizi.....	47
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. Santral Çevresindeki Likenlerde ^7Be , ^{137}Cs , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{238}U ve ^{232}Th Radyonüklit İçerikleri.....	49
4.2. Santral Çevresindeki Likenlerde İz Element İçerikleri	54
4.3. Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları ve İz Elementler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi.....	60
4.4. Radyonüklit ve İz Element Konsantrasyonlarının Orhaneli Termik Santrali Çevresinde Hakim Rüzgar Yönü Doğrultusunda İncelenmesi... ..	62

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5. SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR DİZİNİ	73
ÖZGEÇMİŞ	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Orhaneli termik santrali yakın çevresinin jeoloji haritası (MTA Enstitüsü 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası-İzmir paftası)	30
3.2. OCPP çevresinde ^{238}U , ^{232}Th ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları Dağılımı	33
3.3 Orhaneli termik santrali çalışma alanının topografya haritası ve rüzgâr gülü	34
3.4 Orhaneli termik santrali çevresindeki örnekleme istasyonları.....	39
3.5 L-18 numaralı örneğin 40000s süre ile alınan gama spektrumu ve aktivite hesaplarında kullanılan gama enerjileri	42
3.6 Kullanılan gama spektrometre sisteminin 400-1500 keV enerji aralığı için verim eğrisi.	44
4.1a ^7Be , ^{137}Cs , ^{40}K ve ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları frekans dağılımlar	50
4.1b ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları frekans dağılımları	51
4.2 ^7Be , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklit frekans dağılımlarına ilişkin q-q plot testi	51
4.3 ^{238}U , ^{232}Th ve ^{210}Pb radyonüklit frekans dağılımlarına ilişkin q-q plot testi .	52
4.4 ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonu dağılım haritaları	53
4.5 Ağır metal konsantrasyonlarının frekans dağılımları	55
4.6 Pb, Zn, Ni (a), As, V, Cu (b), Cd, Hg, Se (c) frekans dağılımlarına ilişkin q-q plot testi	56
4.7 İz element konsantrasyon dağılım haritaları.....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.8 ^7Be -Se (a), ^{232}Th - ^{137}Cs (b) ve ^{232}Th - ^{40}K (c) saçılma diyagramları	63
4.9 $^7\text{Be}/\text{Al}$ - Se/Al saçılma diyagramı	65
4.10 $^{137}\text{Cs}/\text{Al}$ - Se/Al (a) ile $^{40}\text{K}/\text{Al}$ - Se/Al (b) saçılma diyagramları	65
5.1 Hiyerarşik kümeleme analizi dendogramı	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Atmosferik depozisyonun radyonüklitlerle izlendiği çalışmalar.....	15
3.1 Orhaneli termik santralinin genel özellikleri	24
3.2 Orhaneli termik santrali doğal radyonüklit emisyon karakteristikleri... ..	27
3.3 Orhaneli termik santralinde yanan ve açığa çıkan uçucu küllerdeki iz element konsantrasyonları.....	29
3.4 Temel kaya türlerinin eU, eTh ve %K konsantrasyonları ve ²²⁶ Ra, ²³² Th ve ⁴⁰ K aktivite konsantrasyonları.....	31
3.5 Orhaneli termik santrali çevresindeki yüzey topraklarında gözlenen doğal ve yapay radyonüklit aktivite konsantrasyonları.....	32
3.6 Epifitik liken türlerinin familyaları, büyüme formları ve ekolojik özellikleri.	36
4.1 Liken dokusunda gözlenen ⁷ Be, ¹³⁷ Cs, ²¹⁰ Pb, ⁴⁰ K, ²³⁸ U ve ²³² Th aktivite konsantrasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik	50
4.2 Liken dokusunda gözlenen iz element konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistiği	54
4.3 Orhaneli termik santrali çevresinde liken dokusunda gözlenen iz elementler arasındaki korelasyon	60
4.4 Liken dokusunda gözlenen ⁷ Be, ¹³⁷ Cs, ²³⁸ U, ²³² Th ve ⁴⁰ K radyonüklitleri ile termik santral kaynaklı Se ve Pb ilişkileri.....	61
4.5 GB doğrultusunda ağır metal konsantrasyon dağılımları arasındaki ilişki... ..	62

ÇİZELGELER DİZİNİ(Devam)ÇizelgeSayfa

- 4.6 GB doğrultusunda ^7Be , ^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ile termik santral emisyonuna dayalı Se ve Pb element konsantrasyonları arasındaki ilişki 62
- 4.7 KD doğrultusunda ağır metal konsantrasyon dağılımları arasındaki ilişki... 66
- 4.8 KD doğrultusunda ^7Be , ^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ile termik santral emisyonuna dayalı Se ve Pb element konsantrasyonları arasındaki ilişki 67

RESİMLER DİZİNİ

<u>Resim</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Orhaneli termik santrali (OCP)	23
3.2 Xanthoria parietina (Orhaneli, Nisan 2010)	38

1. GİRİŞ

Kozmojenik kökenli ^7Be , antropojenik kökenli ^{137}Cs ve karasal orijinli ^{210}Pb radyonüklitleri karasal, sucul ve atmosferik sistemlerdeki taşınım süreçlerinin incelenmesinde yaygın şekilde radyoizleyici olarak kullanılmaktadır. Sözü edilen radyonüklitlerin kendi aralarındaki birlikteliğinin yanı sıra diğer radyoaktif çekirdeklerle ve ağır metallerle olan birliktelikleri çevresel süreçlerin araştırılmasında birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır.

Yunanistan'da yapılan bir çalışmada, ^7Be ve ^{137}Cs 'un benzer depozisyonel davranış sergilediği ve mevsimsel akıları arasında yüksek korelasyon ($r= 0.72$, $p< 0.001$) olduğu gözlenmiştir. İtalya'da kömür yakıtlı termik santral çevresinde, atmosferik depozisyonun biyomonitor organizma olarak yosunlarla izlendiği bir araştırmada, karasal kaynaklı olmayan denge üstü ^{210}Pb (atmosferik) ile Çernobil kaynaklı olmayan küresel serpintiden kaynaklanan ^{137}Cs 'un, bölgedeki hakim rüzgar yönü boyunca lineer ilişki gösterdiği ($r=0,9$) ve bu iki radyonüklit dağılımlarını kontrol eden mekanizmanın aynı olduğu sonucuna varılmıştır (Delfanti et al., 1999). Gözlenen ilişkide lineerlikten sapma olmaması santralin çalışmasının çevreye anlamlı bir ^{210}Pb artışı vermediğini kanıtlamıştır.

Atmosferik depozisyonda, ^{210}Pb kıtasal düşük seviyedeki hava kütlelerini doğrudan yansıtırken, ^7Be orta enlem bölgesindeki üst katman hava kütlelerinin izleyicisi olarak davranmaktadır. Atmosferdeki ^7Be ve ^{210}Pb aktiviteleri ile havada benzer davranış sunan ^{137}Cs 'un ^{228}Ac ve ^{40}K ile arasında lineer bir korelasyon gözlenmiştir. Kozmojenik ürün olan ^7Be ve radon bozunum ürünü olan ^{210}Pb atmosfer kaynaklı iken, ^{137}Cs , ^{228}Ac ve ^{40}K topraktan tekrar havaya karışan havada asılı parçacıklarla taşınmaktadır (Valles et al., 2009). Bu gözleme dayalı olarak, ^7Be ve ^{210}Pb 'un mevsimsel değişimlerinde bazı ortak özellikler (yazın maksimum ve kışın minimum değerler) gözlenmesi, literatürlerle uygunluk içindedir. Ancak, ^{40}K ve ^{137}Cs 'un ortalama aylık aktivite konsantrasyon dağılımlarının mevsimsel faktörlerle ilişkili olmadığı gözlenmesi, ^{137}Cs ve ^{40}K 'un, ^7Be ve ^{210}Pb 'den farklı davrandığını gösteren önceki bulguları desteklemektedir. Benzer şekilde, Japonya'da yapılan bir çalışmada ^7Be ve ^{210}Pb 'nin yaş depozisyona uğrayan küçük parçacıklarla taşındığı, aksine ^{40}K ve ^{137}Cs 'un büyük parçacıklarla taşındığı gösterilmiştir (Ueno et al., 2003).

Özetle, kozmojenik orijinli ^7Be ve karasal orijinli ^{210}Pb radyonüklitlerinin, antropojenik kökenli ^{137}Cs ile birlikte kullanılmasının atmosferik depozisyonun incelenmesinde kullanışlı araçlar olduğu ve bu çalışmalarda elde edilen bilgilerin, atmosferik sirkülasyonun yanı sıra, olası bir nükleer kaza durumunda veya herhangi bir endüstriyel emisyon kaynağından atmosfere salınan çeşitli kirleticilerin (ağır metal ve radyoaktif kirlilik) etki alanlarının belirlenmesinde ve risk tahminlerinin yapılmasında yararlı olduğu rapor edilmektedir.

Atmosferik kirliliği kontrol etmek ve kirletici karakterindeki değişiklikleri izlemek amacıyla, günümüzde yaygın şekilde biyolojik gözlem teknikleri kullanılmaktadır. Biyolojik organizmaların çevresel kirliliğe verdiği tepkiler, biyomonitoring tekniklerinin temelini oluşturmaktadır. Atmosferik kirlilikle ilgili biyomonitoring çalışmalarında, kirleticilere aşırı duyarlı biyoindikatör organizma olarak uygulanan likenler, aynı zamanda atmosferdeki elementleri doğrudan absorplama ve bünyelerinde toplama özelliği ile de yaygın şekilde biyomonitör organizma olarak kullanılmaktadır (Yaprak vd., 2007). Likenlerin çevrelerinde var olan elementleri yansıttığı ve sağlıklı durumda bulunan likenlerin çevresinde var olan element miktarı ile gereksinimi arasında iyi bir denge kurduğu ve liken tallusundaki kirletici element konsantrasyonlarının doğrudan bu elementlerin atmosferdeki konsantrasyonu ile ilişkili olduğu öne sürülmektedir (Sloof, 1995; Loppi et al., 2003).

Atmosferik depozisyonu ve kirliliği yansıtacak olan bu temel özellik, likenleri hem ağır metal hem de radyonüklit biyomonitörü olarak kullanılabilen mükemmel bir biyoakümülatör organizma yapmaktadır (Yaprak vd., 2007). Bu doğrultuda sunulan çalışmada, Batı Anadolu'da yer alan linyit yakıtlı **Orhaneli Termik Santrali (OCCP)** çevresinde atmosferik depozisyon liken dokusundaki doğal, yapay radyonüklitler ve termik santral emisyonunu yansıtan ağır metallerle izlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Kozmojenik kökenli ^7Be , antropojenik kökenli ^{137}Cs ve karasal orjinli ^{210}Pb radyonüklitleri karasal, sucul ve atmosferik sistemlerdeki taşınım süreçlerinin incelenmesinde yaygın şekilde radyoizleyici olarak kullanılmaktadırlar. Farklı orijinlere sahip bu üç radyonüklitin birlikte kullanılmasının atmosferik depozisyonun incelenmesinde kullanışlı araçlar olduğu rapor edilmektedir (Todorovic et al., 2005; Kim et al., 2000; Caillet et al., 2001; Ioannidou et al., 2005; Yi et al., 2007; Kirchner and Daillant, 2002; Kramar et al., 2007, 2009). Atmosferik süreçlerin anlaşılabilmesi için, bu radyonüklitlerin oluşum, taşınım ve depozisyonları üzerinde bilgi sahibi olmak gereklidir. Bu doğrultuda söz konusu bilgiler aşağıda detaylandırılmıştır.

2.1 Radyonüklitlerin Tanımlanması

2.1.1 Kozmojenik Kökenli ^7Be Üretim Mekanizması ve Genel Özellikleri

Kozmojenik radyonüklitler, kozmik ışınların stratosfer ve üst troposferde, havadaki azot, oksijen, karbon ve argon ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. Bu kozmojenik radyonüklitlerden biri olan ^7Be ; ^{14}N , ^{16}O ve ^{12}C ile kozmik ışınların reaksiyonu sonucu üretilir (Yoshimori et al., 2003). Bu önemli üretiminin, yer yüzeyinden yaklaşık 15 km yukarıda geliştiği öne sürülmektedir (Arnold and Al-Salih, 1955). Bu bilgiden anlaşılacağı üzere ^7Be 'nin üretim bölgesi, troposferin üst kısımları ile stratosferin alt kısımlarıdır. Daha önce yapılan araştırmalara göre, bu radyonüklitin ortalama üretim yüzdeleri stratosferde %70 ve troposferde %30 olarak verilmektedir. Ancak bir grup araştırmacı toplam ^7Be 'un %67'sinin stratosferde geri kalan %33'ünün ise troposferin üst katmanlarında oluştuğunu (Kramar et al., 2007) öne sürerken, diğer bir grup %75'inin stratosferde %25'inin ise troposferin üst kısımlarında oluştuğunu bildirmektedir (Arkian et al., 2008).

Atmosferdeki ^7Be üretimini ve konsantrasyonunu etkileyen en önemli faktör yerin manyetik alanıdır ve buna dayalı olarak yeryüzündeki ^7Be konsantrasyonu artan enlemle hafif şekilde azalmaktadır. Bir diğer faktör ise kozmik ışın akılarındaki değişimlerdir.

Güneş'in manyetik alanının dünyayı galaktik kozmik ışınlardan koruduğu, ancak 11 yılda bir gerçekleşen güneş fırtınalarının atmosferin üst katmanlarına ulaşan kozmik ışın akısını kuvvetli şekilde değiştirdiği ve arttırdığı bilinmektedir (Kulan et al., 2006; Cannizzaro et al., 2004; Gerasopoulos et al., 2003; Kramar et al., 2007). Bunlara ek olarak, ^7Be konsantrasyonlarında mevsimsel değişimler de gözlenmiştir. Bu değişimlerin stratosfer ve troposfer arasında daha etkin olduğu ve tropopozun dönemsel olarak incelmesinden kaynaklandığı ileri sürülmektedir (Kramar et al., 2009). Troposferin üst kısmında üretilen ^7Be 'nin yeryüzündeki konsantrasyonu atmosferik derinlikle azalırken, yer seviyesinden yüksekliğe bağlı olarak artış göstermektedir (Ioannidou et al., 2005).

Kozmojenik ^7Be oluşur oluşmaz, hızlı bir şekilde yarı mikron boyutundaki aerosol parçacıklarıyla birleşmekte ve atmosferdeki kirliliğin temel rezervuarı olan akümülyasyon modundaki aerosollerin (0.07- 2 μm çapında) oluşumuna ve büyümesine katılmaktadır (Ioannidou et al., 2005). Kısaca ifade edersek, ^7Be , tutunduğu taşınabilen aerosollerin kaderini paylaşmakta ve atmosferik mikro-parçacıkların yaş ve kuru depozisyonu yoluyla denizsel ve karasal çevreye girmektedir. Bu mekanizma, ^7Be radyonüklitini atmosferik taşınım mekanizmalarının incelenmesinde faydalı bir izleyici kılmaktadır.

Stratosferde ve troposferin üst kısımlarında üretilen berilyum; BeO veya muhtemelen $\text{Be}(\text{OH})_2$ formunda olabilmekte ve elektron yakalama (EC) ile bozunarak ($^7\text{Be} + e^- \rightarrow ^7\text{Li} + \gamma$), 477,6 keV enerjili gama yayımlamaktadır (Arnold and Al-Salih, 1955). Yayımlanan bu γ ışınından yararlanılarak gama spektroskopik analizle ^7Be konsantrasyonu tayin edilmektedir. Ancak, yarı ömrü 53.3 gün olan ^7Be 'nin, bu kısa yarı ömrü nedeni ile incelenen materyalde hemen analiz edilmesi gerekmektedir. Materyalin taşınım ve analiz süresin uzaması, yani ^7Be 'un yarı ömründen daha uzun sürmesi, yeryüzü seviyesindeki aktivite konsantrasyonunun belirlenmesi zorlaştırmaktadır (Yoshimori et al., 2003).

2.1.2. Antropojenik kökenli ^{137}Cs üretim mekanizması ve genel özellikleri

Antropojenik orjinli ^{137}Cs 'un atmosferik, karasal ve denizsel çevrelerdeki temel kaynağı atmosferik nükleer silah testleri ve Çernobil nükleer reaktör kazasıdır. 1945'te başlayan nükleer denemeler, 1960'larda hız kazanıp 1980'li yıllara kadar aralıklarla devam etmiştir.

Soğuk savaş döneminin ardından, 1986 yılında meydana gelen Çernobil nükleer reaktör kazası, çevrede azalan radyosezyum aktivitesini ve kıtasal kontaminasyonu arttırmıştır. Bu dramatik nükleer kaza, ^{137}Cs ile birlikte yaklaşık 3,000,000 TBq fisyon ürününün küresel dağılımı ve salınımıyla sonuçlanmıştır (Sawidis et al., 2010).

Reaktörlerde ^{235}U fisyonundan açığa çıkan baskın fisyon ürünleri sezyum, stronsiyum, ksenon ve baryumdur. Bu ürünler içinde, 28,8 yıl yarı ömrüyle ^{90}Sr ve 30,1 yıl yarı ömrüyle ^{137}Cs 'un en çok tartışılanları olması şüphesiz uzun yarı ömürleriyle uzun yıllar atmosferde kalabilmelerinden kaynaklanmaktadır. Söz konusu radyonüklitlerin ve Pu izotoplarının depozisyonunda uzun süreli verilerin analizi, stratosfer- troposfer arasındaki değişim ve atmosferdeki aerosollerin taşınım süreçlerini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca bu analiz, ilgili radyonüklitlerin erozyon ve çölleşme gibi devam eden çevresel değişikliklerle bağlantılı olduğunu göstermiştir (Hirose et al., 2003, 2008; Ueno et al., 2003).

1988 yılından sonra, antropojenik radyonüklitlerin depozisyonundaki azalma yavaşlamış ve neredeyse durmuştur (Hirose et al., 2003). Bu durum, karada biriken radyonüklitlerin resüpsansiyon yoluyla yukarıya doğru itileceği düşüncesine yol açmıştır. Bu düşünceden hareketle, antropojenik radyonüklit depozisyonunda son zamanlarda meydana gelen geçici değişimlerin, yerel/bölgesel ölçekli karasal çevrelerde olası değişiklikleri yansıtacağı öne sürülmüştür (Igarashi et al., 2001; Hirose et al., 2003, 2008).

Yapay ^{137}Cs radyonükliti, %94.6 olasılıkla 512 keV enerjili beta emisyonu ile $^{137\text{m}}\text{Ba}$ uyarılmış düzeyine ve % 5.4 olasılıkla 1174 keV beta yayımlayarak ^{137}Ba atomunun taban düzeyine bozunmaktadır.

Uyarılmış meta-stabil düzeyde 2.55 dakika kalan ^{137m}Ba atomu, 661.66 keV gama ışını yayımlayarak taban düzeye inmektedir. Çevresel örneklerin gama spektroskopik analizinde ^{137}Cs 'inin söz konusu karakteristik gaması kullanılmaktadır.

2.1.3. Karasal orijinli ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K oluşumu ve genel özellikleri

Karasal orijinli ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K dünyanın oluşumundan veri var olan primordial radyonüklitler olarak bilinmektedir. Karasal kökenli olan bu radyonüklitlerin yarı ömürleri sırasıyla ^{238}U için 4.47×10^9 yıl, ^{232}Th için 14.1×10^9 yıl ve ^{40}K için 1.28×10^9 yıldır. Uranyum ve Toryum kendi isimleriyle anılan bozunum zincirlerinin ana çekirdekleridir. Bu doğal radyoaktif bozunum zincirleri çok sayıda alfa, beta ve gama bozunumu yaparak kararlı Pb izotopu ile sonlanmaktadır. Bir diğer önemli primordial radyonüklit olan ^{40}K , insan vücudunda doğal olarak bulunabilen tek radyonüklittir.

Gama spektroskopik analiz için, ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklitlerinin doğrudan ölçülecek kendilerine ait karakteristik gamaları yoktur ve bu nedenle bozunum zincirlerinde yer alan gama verici ürün nüklitlerinden yararlanılmaktadır. Gama spektroskopik analizlerde kullanılan yüksek intensiteli bu ürün nüklitler; ^{238}U serisinde; ^{214}Pb (242, 295 ve 352 keV) ve ^{214}Bi (609, 1120 ve 1764 keV) iken, ^{232}Th serinde; ^{212}Pb (238 keV), ^{228}Ac (911 keV) ve ^{208}Tl (583 ve 2615 keV)'dur.

2.1.4. Karasal orijinli ^{210}Pb 'un genel özellikleri ve atmosferik kaynakları

Atmosferdeki radyoaktif kurşunun en önemli kaynağı radyoaktif asal bir gaz olan ^{222}Rn 'dir. Doğal uranyum serisinde, ^{226}Ra ' un bozunumu sonucu oluşan ^{222}Rn , dünya yüzeyindeki bütün karasal kayalarda iz miktarda bulunan ^{238}U 'un ara bozunum ürünü olarak kaya katmanları arasında devamlı üretilmektedir.

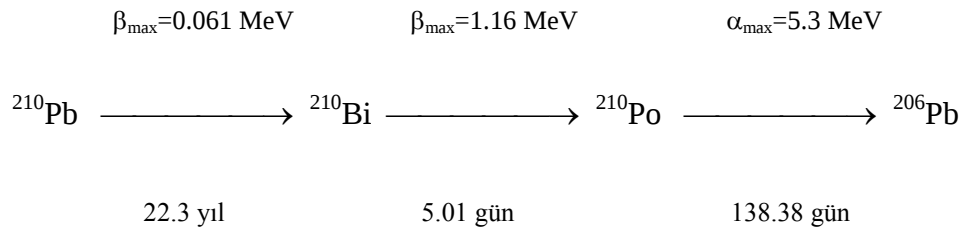
Yarı ömrü 3.85 gün olan radon, ardı sıra üç alfa ve iki beta bozunumuna uğradıktan sonra, uzun ömürlü ^{210}Pb oluşur. Havadaki radon konsantrasyonu, yerin jeolojik yapısına, atmosfer basıncına, toprak gözenekliliğine, toprağın tanecik boyutuna, sıcaklığa, toprak nemine, yağış ve yağış tipi gibi sıralanabilen çeşitli parametrelere bağlıdır.

Gaz formunda olan ^{222}Rn nükliti, kimyasal olarak aktiftir ve hemen aerosol parçacıklarına bağlanarak onlarla birlikte troposferdeki hava kütleleri içine taşınıp, yeryüzüne çöker. Literatürlerde troposferik havada kalma süresi için farklı görüşler belirtilmiştir. Bu önerilerden biri ^{210}Pb için havada kalma süresini 10 gün (Heinrich et al., 2007), biri 5 gün (Beks et al., 1998), bir diğeri ise 25- 30 gün arasında olduğudur (Hirose et al., 2004).

Doğal kaynakların yanı sıra ^{210}Pb , fosfat gübrelerinin kullanımı, termik santrallerde kömürün yanması v.b gibi endüstriyel uygulamalarla da açığa çıkmaktadır (Kramar et al., 2009).

Atmosferdeki ^{222}Rn akısı, karasal topraklardan ($15 \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ve okyanus sularından ($0, 2 \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) kaynaklanmaktadır. Dünya yüzeyinin yaklaşık üçte biri kıtalarla kaplı olduğundan, küresel ortalama ^{210}Pb depozisyonu $200\text{-}300 \text{ mBq m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak tahmin edilmektedir (Beks et al., 1998).

Radon gazına dayalı ^{210}Pb , gaz- parçacık çevrimine girer ve çoğunlukla $1 \mu\text{m}$ 'den küçük parçacıklarla taşınır (Graustein and Turekian, 1989). Atmosferde $1 \mu\text{m}$ 'den küçük ince parçacıklar, yaş depozisyonla atmosferden uzaklaşmaktadır. Ancak endüstriyel uçucu kül ve toprak tozunu içeren $1 \mu\text{m}$ 'den iri parçacıklar etkin olarak hem yaş hem kuru depozisyonla atmosferden uzaklaşmaktadır (Kim et al., 2000).



^{210}Pb ' un radyoaktif bozunumunda düşük enerjili β (16.5 keV, %81), (63 keV, %19) ve γ (46.5 keV, %4.05) yayımlanmaktadır.

Çevresel örneklerde ^{210}Pb aktivitesi doğrudan ^{210}Pb 'un 46,5 keV enerjili karakteristik gaması veya bozunma ürünleri arasında radyoaktif denge olduğu varsayılırsa (iki yılda ^{210}Pb ile ^{210}Po arasında denge kurulur) bozunma zincirindeki herhangi bir ürün aktivitesi örneğin ^{210}Bi ' un 1,16 MeV enerjili betaları veya ^{210}Po ' un 5,3 MeV enerjili alfaları kullanılarak tayin edilebilmektedir.

2.2. Atmosferik Taşınım Mekanizması

2.2.1. Atmosferin özellikleri

Hava % 78,1 nitrojen, %20,9 oksijen, %0,094 argon, %0,033 karbondioksit ve eser miktarda diğer gazlardan oluşmaktadır.

Toplam kütlesi $5,1 \times 10^{18}$ kg olan atmosfer, dünya üzerinde $5,1 \times 10^{14}$ m² alan kaplamakta ve deniz seviyesinde 760 mm civa (10^4 kg veya 0,1 MPa) basıncı oluşturmaktadır. Basınç yükseklikle keskin şekilde azalır, örneğin 50 km yükseklikte, deniz seviyesinin sadece 0,001'i kadardır ve her 100 km yükseklikte 10^{-6} faktörü ile değişir. Dünya yüzeyinde havanın yoğunluğu yaklaşık 0,001293 g/cm³'tür.

Tipik olarak atmosfer $1,5 \times 10^{17}$ kg su buharı içerir. Atmosfer ağırlığının yaklaşık %3'ünü oluşturan su buharı miktarı sıcaklığa bağlı olarak hızla değişmektedir (hava sıcaklığı tutulan su buharı miktarını etkilemektedir). Su buharı, havanın termodinamik özelliklerini etkileyerek, yer kabuğundan radonun difüzyonunu ve havadaki radyoaktivitenin çökerek yeryüzüne inmesini sağlamaktadır.

Çok iyi tanımlanmış birkaç bölgeden oluşan atmosferin alt seviyedeki iki bölgesi çevresel radyoaktivitenin taşınması açısından oldukça önemlidir.

Troposfer: Atmosferin alt seviyesi olan bu bölgenin, yeryüzünden yüksekliği ılıman bölgelerde 11 km, kutuplarda 8 km ve ekvatorda 20 km'yi bulmaktadır (bu yükseklikler bir dereceye kadar mevsimlerden etkilenmektedir). Troposfer ağırlık olarak, atmosferin $\frac{3}{4}$ 'üne karşılık gelir ve genel olarak bütün hava değişimleri, kirlilik ve nem bu bölgede oluşmaktadır. Tipik olarak bu bölgede, sıcaklık yüksekliğe bağlı olarak, $-6,5$ °C / km hızla azalmaktadır. Sıcaklıktan sapma hızı olarak adlandırılan bu olay, atmosferin karışımında ve difüzyonunda oldukça etkilidir.

Stratosfer: Troposferin üzerindeki izotermal bölge, stratosfer olarak adlandırılır ve 11- 32 km arasında uzanmaktadır. Bu iki bölge arasında, *tropopause* olarak adlandırılan hayali bir bant olduğu varsayılmaktadır. Atmosferik sıcaklık 11 km'ye kadar düşmekte ve sonrasında izotermal bölge başlamaktadır.

Bu iki bölge arasında sıcaklık düşme oranında ani ve keskin bir değişim olur ve stratosferin sıcaklığı -55°C 'dir.

Troposferde hava değişimleri (fırtına, yağmur, kar, rüzgâr vb.) yer almasına rağmen, stratosfer kuru ve bulutsuzdur (kuzey yarım kürede, kışın batılı, yazın doğulu rüzgârlar bulunmaktadır). Stratosfer meteor kaynamaktadır ve ozon bu bölgede oluşmaktadır.

Atmosferik nükleer testler stratosferde yapıldığından, bu bölge büyük önem taşımaktadır. Bu anlamda, atmosfere giren uzun yarı ömürlü radyonüklitler stratosferik sirkülasyon ile taşınmakta ve yeryüzüne dönmektedir.

Mezosfer veya Ozonosfer: Stratosferin üzerinde, yeryüzünden yüksekliği 30-80 km arasında uzanan bölgede bulunmaktadır. Bu bölgede sıcaklık birkaç km içinde yükselmekte ve tekrar düşmektedir.

İyonosfer: Atmosferin dış bölgesi olan Mesopause'nin üzerinde iyonosfer bölgesi uzanmaktadır. Yoğun iyon bölgesi olan iyonosfer, 4000 km'ye kadar uzanmaktadır (radyo dalgalarının yansıdığı bölgedir).

Atmosferin inceliği 100 km de 2,5 cm ve yaklaşık 300 km'de moleküller arası ortalama serbest yolun uzunluğu ile gösterilmektedir. Yaklaşık 600 km yükseklikte moleküllerin dünya etrafında serbest eliptik yörüngelerde uydular gibi davrandığı düşünülmektedir (Eisenbud, 1987).

2.2.2 Atmosferik karışım ve türbülans

Atmosfer birçok kaynaktan (gök taşları, volkanik aktiviteler, toz fırtınaları, orman yangınları, okyanus kaynaklı gazlar) ileri gelen doğal ve insan yapımı aerosollerini içermektedir. Atmosfere giren gaz buharı veya aerosol moleküller türbülans difüzyon ile seyreilmektedir. Türbülans meteoroloji lügatinde, bir akışkanın akış durumunda ani hızların sergilediği düzensizlikler olarak tanımlanır ve istatistiksel karakterdeki bu rastgele dalgalanmalar atmosferik karışımında oldukça etkili olmaktadır. Bu tanım doğrultusunda, türbülans (hava burgacı) hız veya hava akış hızı, ortalama hareketin üzerinde gözlenen rastgele değişimler olarak ifade edilebilir.

Klasik teoriye göre, bir gaz içindeki moleküller rastgele hareket ederler ve bu hareketi gazın sıcaklığı sağlamaktadır. Eğer bir kap içinde iki gaz birlikte ise, normal moleküler hareket sonucu bu iki gaz karışır ve sıcaklık arttıkça bu karışma hızlanarak artar. Difüzyon olarak tanımlanan bu doğal karışım, atmosferde de gerçekleşir.

Türbülans difüzyona meteorolojik olayların katkısı oldukça büyüktür ve difüzyon hızı $0,2 \text{ cm}^2/\text{s}$ - $10^{11} \text{ cm}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir. Yeryüzünün engebeli oluşu ve meteorolojik koşullar nedeni ile atmosferdeki türbülans (burgaç) difüzyon için kesin bir matematiksel ifade yoktur. Bunun için kullanılan yaygın bir model, Gaussian dağılım üzerine kurulan eşitliklerdir (Yaprak, 1999,2010).

2.2.3. Depozisyon ve resüspansiyon

Atmosferik depozisyon hava kirliliğinin önemli kaynaklarından biridir ve atmosferik kirlleticiler politik ve doğal sınır tanımaksızın, topografya ve meteorolojik koşullara bağlı olarak çok uzak mesafelere taşınabilmektedir. Atmosferik depozisyon kısaca, havada asılı olan parçacıkların yer yüzeyine taşınımıdır. Bu taşınım yağ veya kuru depozisyonla gerçekleşmektedir.

Kuru depozisyon, çalkantılı atmosferik akışa maruz kalan yüzeylerde yerçekimsel çökme ve sıkışmadan kaynaklanırken, yağ depozisyon; yağış miktarı ve tipinin fonksiyonu olarak, yağışla havadaki kirlleticilerin yere çökmesiyle oluşmaktadır.

Atmosfer boyunca parçacıkların yere inmesi, viskoz ortamda iyi bilinen temel fizik kuralları ile açıklanabilmektedir. Yaklaşık $2,5 \text{ g cm}^{-3}$ 'lük bir yoğunluğuna sahip $10 \text{ }\mu\text{m}$ 'lik bir parçacığın deniz seviyesinde yaklaşık $0,5 \text{ cm s}^{-1}$ 'lik bir hızla düşeceği tahmin edilmektedir.

Yeryüzüne depozit edilen parçacıklar veya kirlleticiler, rüzgârla veya diğer mekanik yayılımlarla tekrar yukarıya çıkıp havada asılı kalabilmektedir. Bu olay resüspansiyon olarak isimlendirilir. Sehmel (1980), toprak karakteristikleri, yüzey özellikleri, topografya ve meteorolojik koşulları içeren birkaç düzine faktörün resüspansiyona etkisini listelemiştir.

Genellikle resüspansiyon faktörü (**RF**) havadaki konsantrasyonun yerdeki konsantrasyona oranı olarak ifade edilir ve birimi ($\text{Bqm}^{-3}/\text{Bqm}^{-2}$): m^{-1} 'dir. Resüspansiyon oranı oldukça değişkendir ve depozisyonun yeni olup olmaması (tazeliği), partikül boyutu ve hava ve atmosferik değişkenler (yağış, nemlilik, rüzgar hızı, türbülans, sıcaklık ve topografya) gibi parametrelere bağlıdır.

2.3. Atmosferik Depozisyonu Belirlemek İçin Kullanılan Yöntemler

Dünyanın başlangıcından beri var olan, ayrıca teknolojik gelişmeler ve nükleer kazalarla hız kazanan atmosferik kirleticiler doğal ekolojik çevrenin devamlılığını tehdit etmektedir. Ancak bu kirleticiler, stratosfer- troposfer hava değişiklikleri, hava kütlelerinin yatay ve dikey taşınım mekanizmaları, kirleticileri bünyesinde tutan aerosollerin havada kalma süreleri, belirli bir kaynaktan çevreye giren emisyonların değerlendirilmesi ve atmosfere olası bir emisyon durumundan risk tahmini yapmak için atmosferik depozisyonun izlenmesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Atmosferik depozisyonun radyonüklitler ve metallerle izlendiği çalışmalarda hava örnekleyiciler, kolektörler ve biyomonitörler olmak üzere 3 farklı yöntem kullanılmaktadır.

2.3.1. Hava örnekleyiciler

Hava örnekleyicilerin temel prensibi kirleticiyi kimyasal veya fiziksel bir ortamdan geçirerek absorpsiyon yöntemi ile toplamaktır. Aktif ve pasif olmak üzere iki tip örnekleyici mevcuttur. Pasif teknikte yalnızca gaz formundaki kirleticiler toplanmaktadır. Aktif teknikle hem gaz hem de aerosoller toplanabilmekte ve pasif tekniğe göre daha hassas ölçüm yapılmaktadır. Aktif yöntemin hassasiyeti, bir pompa yardımıyla büyük hacimde hava örnekleyebilmesindendir.

Hava örnekleme izleğinde büyük hacimde hava, filtre kâğıdı üzerinden süzülerek toplanmaktadır. Yeni örnekleme periyodu, hava örnekleyicideki yeni filtrelerde başlar (Kramar et al., 2009) ve düzenli olarak alınan filtreler kurutulup veya kül edilip gama spektrometrik sayım sistemleri ile ölçülür.

Yüzey havasındaki konsantrasyon değerleri bu yöntemle “ Bq m^{-3} ” biriminde elde edilir. Alınan tek bir örneğin konsantrasyonu genelde düşük olduğundan birkaç örnek birleştirilmektedir.

Aktif hava örnekleyiciler, alınan örneklerle günlük analizlere imkân sağlarken; pompa sistemi için elektriğe gereksinim duyarlar. Bu bağımlılıkla birlikte, sistemin pahalı olması ve arazi koşullarında gerekli verilerin sağlanması için yeterli sayıda istasyon oluşturulamaması bu örnekleyicilerin dezavantajları arasındadır.

2.3.2. Kolektörler

Kolektörler temelde atmosferik depozisyonu belirlemek için kullanılan paslanmaz çelik veya polietilen açık yüzey alanlı toplama kaplardır. Bu yöntemle hem kuru hem yağ depozisyon ölçülebilmektedir. Kuru depozisyonu ölçmek için yağışın olmadığı günler seçilir ve kullanılan kapların içine bir miktar saf su koyularak kap içinde toplanan tozların resüspansiyonu önlenmektedir.

Yağ depozisyon ise tahmin edileceği üzere yağışlı günlerde ölçülmekte ve yağmur suyu kapların içinde biriktirilmektedir. Her iki ölçümde de, toplanan örnekler kimyasal işlem uygulanmakta ve buharlaştırılarak konsantre edilen örnekler gama spektroskopik olarak analiz edilmektedir. Yağmur suyundaki radyonüklitlerin toplam aktivitesi (Bq), toplanan yağmur suyunun hacmine, süpürülen aerosol parçacıklarının kütlesine ve yağış oranına bağlıdır. Bu yöntemle ölçülen aktivite konsantrasyonları “Bq L⁻¹” birimindedir.

2.3.3. Biyomonitörler

Hava kirleticileri üzerine gerekli bilgi, bilinen kaynaktan atmosfere verilen kirleticilere dağılım modeli uygulanarak veya yukarıda anlatıldığı şekilde arazide ölçümler yapılarak elde edilmektedir. Çok büyük alanlarda sürdürülen uzun süreli arazi ölçümlerinde, teknik ekipman yetersiz, pahalı ve bazen topografya gereği kullanılamaz olduğundan, son otuz yıldır pahalı teknikler yerine biyolojik gözlem yapılan çalışmalar tercih edilmektedir (Wolterbeek, 2002).

Biyolojik gözlem (*biyomonitoring*), bir ekosistemde meydana gelen değişiklikleri saptayan faydalı bir erken uyarı sistemidir. Bu yaklaşım, çevrede yer alan herhangi bir değişimin biyotop üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu doğrultuda, kozmopolit organizmaların (kara yosunu, liken, ağaç kabuğu vb.) atmosferik depozisyon ve buna dayalı kirlilik tayininde kullanılması son otuz yılda kayda değer şekilde artmıştır (Yaprak vd., 2007).

Biyolojik organizmaların çevresel kirliliğe verdiği tepkiler, biyomonitoring tekniklerinin temelini oluşturur ve genel anlamda biyomonitoring “biyolojik bir organizma veya materyal ile biyosferdeki değişikliklerin izlenmesi” olarak tanımlanmaktadır (Wolterbeek, 2002; Nimis et al., 2000; 2001; Yaprak vd., 2007).

Biyomonitoring ile atmosferdeki, hidrosferdeki veya litosferdeki kirlilik seviyesi, sentinel organizmanın yaşam döngüsündeki değişikliklerden veya sentinel organizmanın dokusundaki kirletici konsantrasyonunun ölçülmesi ile elde edilmektedir (Wolterbeek, 2002, Loppi and Pirintos, 2003; Yaprak vd., 2007). Biyomonitoring çalışmasının amacına göre sentinel organizmalar biyomonitör veya biyoindikatör olarak kullanılmaktadır.

Biyoundikatörler; bir ekosistemde azalmaları veya çoğalmaları değerlendirilerek çevresel kirleticilerin kimliklendirilmesinde ve kalitatif analizinde kullanılan duyarlı organizmalardır.

Biyomonitörler; çevresel kirleticileri dokularında toplayan ve kantitatif analizine olanak sağlayan biyoakümülatör organizmalar olarak tanımlanmaktadır.

Bir biyomonitör organizmanın anahtar özelliği, element alımı ve boşaltımı arasında denge kurması ve bu yolla dokusundaki kirletici seviyesinin çevreyi yansıtmasıdır. Bu anlamda, ekosistem kalitesinin değerlendirilmesine olanak sağlayan biyomonitör organizmaların seçiminde (Beeby, 2001; Yaprak vd., 2007);

i)İyi tanımlanan bir kaynaktan element alımı yapabilmeleri,

ii)Kirletici kaynak ile hızlı dengeye gelmeleri,

iii)Kaynağın çevredeki konsantrasyonu ile doğrusal ilişkili olması,

iv)Doku ve kaynak arasındaki bu ilişkinin çalışılan tüm alanlarda benzer olması,

v)Türün fizyolojisi hakkında bilgi sahibi olunması (yaş, boyut, beslenme özellikleri, vb.)

vi)Kolayca tanınabilmesi ve örneklenebilmesi,

vii)Ortamda bireyce zengin olması,

viii) Önemli bir toksik etki olmaksızın uzun süre kirletici sinyal toplayabilmesi,

gibi temel özelliklerin yanı sıra, her zaman bulunabilir olmaları ve analiz için yeterince büyük miktarlar sağlamaları istenmektedir.

Atmosferik depozisyonun radyonüklitlerle 3 farklı yöntem kullanılarak izlendiği çalışmalar Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Atmosferik depozisyonun radyonüklitlerle izlendiği çalışmalar

Örnekleme Prosedürü	Araştırılan Radyonüklitler ve Parametreler	Ülke	Kaynak
Hava Örnekleyiciler	^7Be	İran	Arkian et al., 2008
	^7Be , ^{210}Pb ve ^{210}Po	İngiltere	Daish et al., 2005
	^7Be ve ^{137}Cs	Sırbistan	Todorovic et al., 1998
	^7Be ve ^{210}Pb	Yunanistan	Ioannidou et al., 2005
	^7Be , ^{210}Pb , ^{210}Bi ve ^{210}Po	USA	Papastefanou, 2006
	^7Be , ^{210}Pb ve $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$	İspanya	Dueñas et al., 2009
	^7Be , ^{137}Cs , ^{40}K ve ^{210}Pb , ^{228}Ac	Barselona	Vallés et al., 2009
	^7Be ve ^{210}Pb	İspanya	Azahra et al., 2004
	^7Be , ^{210}Pb , kararlı Pb ve $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$	USA	Kim et al., 2000
	^7Be , ^{137}Cs , ^{40}K ve ^{210}Pb	İspanya	Hernández et al., 2005
Kolektörler	^{210}Pb	Hollanda	Beks et al., 1998
	^{137}Cs	Japonya	Fukuyama and Fujiwara, 2008
	^{137}Cs , $^{137}\text{Cs}/\text{Al}$, Fe/Al	Japonya	Akata et al., 2007
	^7Be ve ^{210}Pb	İsviçre	Caillet et al., 2001
	^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$	Japonya	Hirose et al., 2008
	^7Be ve ^{210}Pb	Cin	Du et al., 2008
	^7Be ve ^{137}Cs	Yunanistan	Ioannidou and Papastefanou, 2006
	^{137}Cs	Küba	Hernández et al., 2006
	^7Be , ^{137}Cs , ^{40}K ve ^{210}Pb	Japonya	Ueno et al., 2003
	^7Be , ^{210}Pb ve $^{210}\text{Pb}/^7\text{Be}$	Japonya	Yamamoto et al., 2006
	^7Be , ^{210}Pb , ^{210}Po ve $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$	Cin	Yong Yi et al., 2007
	^7Be , ^{210}Pb , ^{232}Th ve $^{239,240}\text{Pu}$	Japonya	Hirose et al., 2004
Biyomonitörler	^7Be , ^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th , 226 , ^{228}Ra	Fransa	Kirchner et al., 2002
	^{137}Cs ve ^{40}K	Türkiye	Cevik ve Celik, 2009
	^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs	Türkiye	Celik, 2009
	^7Be , ^{137}Cs ve ^{210}Pb	Sırbistan	Kramar et al., 2009
	^{137}Cs , ^{40}K , $^{226,228}\text{Ra}$, ^{210}Pb ve $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$	Brezilva	Godov et al., 1997
	^{137}Cs , ^{40}K ve ^{210}Pb	Slovenya	Wolterbeek and Verburg, 2004
	^{134}Cs , ^{137}Cs ve ^{210}Pb	İtalva	Delfanti et al., 1999
	^{137}Cs	Yunanistan	Sawidis et al., 2010
	^7Be , ^{214}Bi , ^{137}Cs , ^{40}K , ^{210}Pb	Sırbistan	Kramar et al., 2007
	Ağır Metaller	Polonya	Szczepaniak and Biziuk, 2003
	^7Be , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K	Türkiye	Karadeniz ve Yaprak, 2007

2.4. Atmosferik Depozisyonun Likenlerle İzlenmesi

Likenler, mantarlarla alglerin simbiyoz yaşam formudur. Bu ortak yaşamda alg fotosentez yaparak mantara besin sağlamakta, mantar ise alge su ve mineral sağlamaktadır (Conti ve Cecchetti, 2001; Şenkardeşler, 1999). Bu organizmalar sürekli birlikte ve her zaman üniform bir morfoloji içinde yaşamlarını sürdürürler.

Gelişmeleri atmosferik kuru ve yağ taşınımından aldıkları minerallere bağlı olan likenler, stomalarının ve yapışkan üst derilerinin olmaması nedeni ile bütün tallus yüzeyi boyunca atmosferik kirleticileri absorbe edebilmektedir (Loppi and Pirintos, 2003). Likenlerin bu absorbent ve gözenekli yapısı mikro partiküllerin talli içine girmesine ve bu organizmayı oluşturan mantar hiflerindeki proteinlerde tuzaklanmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak likenler çevrelerindeki ağır metalleri, radyonüklidleri ve çeşitli kimyasal formlarda bulunan flor ve klor bileşiklerini bünyelerinde toplayabilmektedir.

Likenlerdeki metal absorpsyonu ile ilişkili olarak 3 mekanizma öne sürülmektedir (Conti ve Cecchetti, 2001; Sloof, 1995).

*Metal içeren partiküllerin tuzaklanması,

*İyon değiştirme gibi fizikokimyasal işlemlerle metallerin talliye aktif ve pasif taşınması,

*Hücredeki vakuollerde ağır metallerin akümüasyonu.

Likenler, fizyolojik gereksinimleri üzerinde iz element konsantrasyonu toplayabilmekte ve bu yüksek konsantrasyonlar oksalit kristallerine ve liken asidi kompleksleri şeklinde ayırarak tolere etmektedir (Loppi and Pirintos, 2003). Liken asitleri sadece likenlere özgü olup başka hiç bir canlı aleminde üretilmemektedir (Şenkardeşler, 1999).

Likenlerdeki element konsantrasyonunun atmosferik konsantrasyon ile dengeye varacağı hipotezi, likenlerin çevredeki element konsantrasyonundan daha düşük element konsantrasyonuna sahip olduğunda element alımı yaptığını, tersi durumda ise elementleri dışarıya attığını ifade etmektedir (Sloof, 1995).

Çernobil kazası sonrası likenlerde ölçülen ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları biyomonitörlerin element alımları ve salıvermeleri ile ilgili olarak yukarda sözü edilen hipotezi destekleyen önemli bilgiler sağlamıştır (Sloof and Wolterbeek, 1992; Wolterbeek, 2002).

Kısaca özetlersek, likenlerin çevrelerinde var olan elementleri yansıttığı ve sağlıklı durumda bulunan likenlerin çevresinde var olan element miktarı ile gereksinimi arasında iyi bir denge kurduğu varsayılmaktadır (Loppi and Pirintos, 2003). Liken tallusundaki iz element konsantrasyonunun doğrudan bu elementlerin çevredeki konsantrasyonu ile ilişkili olduğu Sloof (1995) tarafından rapor edilmiştir.

Atmosferik depozisyonu ve kirliliği yansıtacak olan bu temel özellik likenlerin yüksek bitkilerin aksine köklerinin olmayışı ve substrattan gerekli besin maddelerini alamamalarına dayanmaktadır (Substrattan doğrudan madde alımı yapabilen likenler kabuksu yapıda olup, yapraksı ve dalsı likenlerin çok azı kılcal sistemle madde alabilmektedir).

Kabuksu (crustose), yapraksı (foliose) ve dalsı (fructiose) şekillerde olabilen likenler substrata ya kaynaşarak (kabuksu likenler) ya da sadece tutucu organlarıyla (yapraksı ve dalsı) tutunabilmektedir. Rizin, fibril ve papil şeklinde olabilen bu tutucu organlardan madde taşınımı çok azdır. Bu nedenle, yapraksı ve dalsı likenlerin besinlerini atmosferik yağ ve kuru taşınımından aldığı düşünülmektedir (Yaprak vd., 2007).

Atmosferik kirliliğin çevreye etkisi, bir asırdan fazladır çalışılmaktadır ve bilimsel temele dayalı olarak ilk kez Nylander'ın 1866 yılında Paris'te yaptığı gezi ile ilgili notlarında, epifitik likenlerin altı çizilerek rapor edilmiştir (Jurgin, 1975). Likenlerin biyoindikatör olarak kullanımı, bu tarihi gözlemden sonra başlamış ve daha sonraki yıllarda büyük önem kazanmıştır. Günümüzde yapılan hava kirliliği çalışmalarının % 80'inden fazlası likenlerle gerçekleştirilmektedir. Likenlerin yavaş büyüebilme özellikleri ve bütün yıl boyunca morfolojilerinde farklılık göstermemeleri, hava kirleticilerine karşı duyarlılıklarıyla birleştirildiğinde, mükemmel bir biyoindikatör olarak ortaya çıktıkları görülmektedir.

Likenleri hava kalitesinde biyoindikatör olarak kullanan yöntemler, liken topluluklarındaki kompozisyonel değişimlerin atmosferik kirleticiler seviyesindeki değişimlerle korelasyonlu olduğu görüşüne dayanmaktadır. İnceleme altındaki alanda var olan likenlerin morfolojik, fizyolojik, genetik ve ekolojik performanslarının gözlemlendiği bu çalışmalarda, likenlerin sayısı, frekansı ve toleransı dikkate alınarak atmosferik kirlilik haritalanmaktadır. Liken türleri, farklı tipteki kirleticilere karşı değişik tepkiler göstermektedir ve bu konuda yapılan sınıflandırma çalışmalarında SO₂ duyarlılığı temel alınmaktadır (Conti and Cecchetti, 2001; Yaprak vd., 2007).

Atmosferik kirlilikle ilgili biyomonitöring çalışmalarında, kirleticilere aşırı duyarlı biyoindikatör organizma olarak uygulanan likenler (Jeran et al., 2002; Loppi et al., 2002; Murphy et al., 1999; Loppi and Nascimbene, 1998), aynı zamanda atmosferdeki elementleri doğrudan absorplama ve bünyelerinde toplama özelliği ile de yaygın şekilde biyomonitör organizma olarak kullanılmaktadır. Biyoakümülatör organizma özelliği ile uzun süreli atmosferik depozisyona dirençli olan likenler, toplanmalarının kolay ve ucuz olması, bünyelerinde farklı kirleticilerin beraberliğine izin vermesi ve dokularında topladığı elementlerin analizinin yapılabileceği çoklu element yöntemlerinin (INAA, FNAA, XRF, EDXRF, PIXE, ICP-MS, ICP-AES, ICP-OES) gelişmiş olması nedeniyle, hava kirliliği tayininde atmosferik iz element biyomonitörü olarak yaygın şekilde çalışılmıştır (Nimis et al., 2000, 2001; Scerbo et al., 1999, 2002; Loppi et al., 1997, 1999; Wolterbeek et al., 1996; Freitas et al., 2000; Reis et al., 1996). Bütün bunlara ilave olarak, likenlerin uygun substrat olmadığı için gelişemediği ya da aşırı kirlilikten dolayı yaşayamadığı alanlarda transplante edilebilme özelliği, farklı coğrafik alanların yanı sıra likenleri, madenler, fosil yakıtlı termik santraller (kömür, fuel oil), jeotermal santraller, gübre yapan fabrikalar, gübrelenen tarımsal alanlar ve yüksek sanayi yoğunluğu olan değişik endüstri bölgelerinde biyomonitör ve / veya biyoindikatör olarak biyomonitöring çalışmalarında vazgeçilmez yapmıştır (Olmez et al., 1985; Garty, 1987; Sloof, 1995; Bennet and Wetmore, 1999; Freitas et al., 1999; Bari et al., 2001). Bugün kaba bir tahminle, Avrupa Birliği ülkelerinde atmosferdeki ağır metal ve iz element kirliliği için her yıl 5000'den fazla likenin analiz edildiği ve son birkaç yılda bu konuda 2000'den fazla çalışmanın yayınlandığı belirtilmektedir (Quevauviller et al., 1996).

Atomik testler sonucunda radyonüklitlerin atmosferde depozisyonu için likenlerin uygunluğu gösterilmiş olmasına rağmen, ağır metallerle karşılaştırıldığında, likenlerin radyonüklit biyomonitörü olarak kullanıldığı çalışmalar oldukça sınırlıdır (Kirchner ve Dailland, 2002; Yaprak vd., 2007). Ancak, Çernobil nükleer kazasının ardından likenler, radyonüklit depozisyonu ve atmosferik seviyenin belirlenmesinde yoğun şekilde kullanılmıştır (Wolterbeek, 2002; Sloof and Wolterbeek, 1992; Papastefanou et al., 1988).

Likenlerdeki ^{137}Cs depozisyonu ile ilgili çalışmalar, likenlerin atmosferik element konsantrasyonu ile dengeye varmak için element alımı veya element atımı yaptığını ortaya koymuştur (Sloof and Wolterbeek, 1992). Kozmojenik doğal bir radyonüklid olan ^7Be atmosferik akısı sabit olduğundan, liken dokusundaki ^7Be konsantrasyonu farklı liken türlerinin tuzaklama verimlerinin ve farklı bölgelerdeki yağış şiddetlerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır (Kirchner ve Dailland, 2002). Norveç'te Çernobil kazasının ardından ^{134}Cs ve ^{137}Cs seviyesinin likenlerde, iletim demetli bitkilerden 2 kat daha fazla olduğu rapor edilmiştir (Conti ve Cecchetti, 2001). Buna ilişkin olarak, temel besin kaynağı likenler olan ren geyiklerinde ortalama radyosezyum konsantrasyonunun önemli derecede arttığı rapor edilmiştir (Thomas and Thomas, 1999).

Metallerle yapılan benzer çalışmalarda gözlemlendiği gibi likenlerde, U ve Pb konsantrasyonunun emisyon kaynağından uzaklığa bağlı olarak azaldığı Beckett ve arkadaşları (1982) tarafından rapor edilmiştir. Atmosferik radyonüklit depozisyonunun, emisyon kaynağından uzaklaştıkça azaldığını ifade eden bu çalışmanın dışında, likenlerde (*Umbilicaria*) çalışılan ^{228}Ra , ^{226}Ra ve ^{137}Cs gibi radyonüklidlerin aktivite seviyesinin deniz seviyesinden yükseklikle korelasyonlu olduğu gözlenmiştir (Conti ve Cecchetti, 2001).

Likenlerin radyonüklit alımı ile ilgili dinamik bir model geliştiren Ellis ve Smith'in çalışmasındaki (1987) deneysel sonuçlara göre bazı radyonüklitlerin likenlerde biyolojik olarak kalma süreleri verilmiştir. Bu süreler Pu ve ^{210}Pb için 1-2 yıl, Cs için 5-8 yıl bulunmuştur. Pu ve ^{210}Po için 1-2 yıl bulunan bu sürenin ^{137}Cs için 5-8 yıl olması, ^{137}Cs 'nin K'un konjuge karşılığı olmasına bağlanmıştır. Topçuoğlu ve arkadaşlarının (1995) çalışmasında, ^{137}Cs 'nin *Xanthoria parietina* türünde biyolojik alıkonma süresinin 58,6 ay, karayosunlarında ise 10,6 ay olduğu ve bu nedenle likenlerin biyomonitör olarak karayosunlarına karşı üstünlük sağladığı ifade edilmiştir.

Likenler, hem iz element hem de radyonüklit biyomonitörü olarak kullanılabilecek mükemmel biyoakümülatör organizmalardır. Bu doğrultuda sunulan çalışmada, Batı Anadolu’da yer alan linyit yakıtlı **Orhaneli Termik Santrali (OCCP)** çevresinde atmosferik depozisyon liken dokusundaki doğal, yapay radyonüklitler ve termik santral emisyonunu yansıtan ağır metallerle izlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, Batı Anadolu’da yer alan linyit yakıtlı **Orhaneli Termik Santrali (OCCP)** çevresinde atmosferik depozisyon liken dokusundaki doğal, yapay radyonüklitler (^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th) ve termik santral emisyonunu yansıtan eser (iz) elementlerle (Se, Pb, Cd, V, Cu ve As) ile izlenmiştir. Bu doğrultuda planlanan ve yürütülen gözlem programı, aşağıdaki adımlardan oluşmuştur.

❖ *Kirletici kaynak ve çevresinin tanımlanması*

➤ *Tesisin genel yakıt özellikleri*

➤ *Tesisin radyoaktif element ve eser element emisyon karakteristikleri*

➤ *Tesis çevresinde genel jeolojik yapının değerlendirilmesi*

➤ *Tesis çevresinde doğal ve yapay radyoaktivite düzeyi*

❖ *Tesis çevresinde meteorolojik değişkenlerin ve topografyanın incelenmesi*

❖ *Sistematik liken örnekleme*

❖ *Radyonüklit ve eser element analizi*

❖ *Dağılımların haritalanması ve veri analizi*

3.1. Orhaneli Termik Santrali

Orhaneli Termik Santralinin genel özellikleri (tesisin işletim süresi, beslendiği linyit yatakları, yakıt özellikleri v.b.), radyoaktif element - eser element emisyon karakteristikleri ve çevresindeki radyoaktivite düzeyinin verildiği bu bölüm, örnekleme alanının ve kirletici kaynağın tanımlanmasına yönelik bir girişimdir.

3.1.1. Orhaneli Termik Santralinin Genel Özellikleri

Orhaneli Termik Santrali, karayolu ile Bursa'ya 47 km, Orhaneli'ye 17 km mesafedeki Karıncalı Beldesi yakınındaki Çatlı Düzü mevkiinde bulunmaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 360 m ve yüzölçümü 1.230.000 m² olan Orhaneli termik santrali, Çal Dağı, Maslak Tepesi ve Kurt Dağı ile çevrili olup, küçük bir çanak görünümündedir (Resim 3.1). Tesisin soğutma suyu Kocası deresinden sağlanmaktadır. Yörede çam, meşe, kayın, kızılçam, karaçam ve ardıç ormanları mevcut olup, en önemli yeraltı zenginliği krom ve linyittir. Orhaneli termik santrali, *Gümüşpınar, Çivili, Sağırlar, Keles, Harman alanı ve Davutlar* havzalarındaki düşük kalorili linyitin değerlendirilmesi ve enerji ihtiyacının karşılanması amacı ile yatırım programına alınarak 23.03.1992 tarihinde işletmeye açılmıştır.

MTA tarafından yapılan sondajlara göre, Gümüşpınar, Çivili, Sağırlar bölgelerinde toplam 54.464.000 ton görünür ve 44.012.877 ton işlenebilir vasıfta düşük kaliteli linyit rezervi mevcuttur. Ayrıca, Keles ve Harman havzasında 50.290.000 ton görünür, Davutlar çevresinde 16.550.000 ton muhtemel olmak üzere, toplam 66.840.000 ton linyit rezervi bulunduğu MTA araştırmaları sonucu bilinmektedir.

Gümüşpınar, Çivili, Sağırlar havzasından tesisi besleyen linyitin alt ısı değeri, 1780-2560 kcal/kg olup, kül oranı yüksektir. Santralin yıllık yakıt tüketimi, yakıtın kalorifik değerine bağlı olarak ortalama 1.500.000 ton civarındadır ve yılda 1,4 milyar kWh elektrik enerjisi üretilebilmektedir (Yaprak vd., 2007) .



Resim 3.1. Orhaneli termik santrali (OCPP).

Orhaneli termik santralinin baca yüksekliği 270 m, elektro-statik filtre verimi % 99,82 ve kükürt oksitleri arıtmak mevcut FGD sisteminin verimi % 95’ dir. Baca gazındaki toz ve azot oksitlerin emisyonu dünya standartlarına uygundur. İşletmede oluşan, dip külü ve uçucu küller kapalı devre sistemle kül barajına sevk edilerek çökeltilmektedir. Kül barajı, ekonomik ömrünü doldurmasının ardından toprakla örtülüp yeşillendirilmektedir. Santralin soğutma suyu da kapalı çevrim olup çevre ile hiçbir etkileşimi söz konusu değildir. Orhaneli Termik santralinin yakıt özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Orhaneli termik santralinin genel özellikleri (Yaprak vd., 2007)

Temel Karakteristikler	Linyit termik santrali
	1. ünite
Çalışma kapasitesi (MW)	210
İlk çalışma tarihi	1992
Toplam kömür tüketimi	170
Kömürün kalori değeri (kcal/kg)*	1965
Kül oranı (%)*	36,9
Nem içeriği (%)*	26,5
Kömürdeki CaO (%)*	2,2
Uçucu külde C (%)*	0,58
Dip külünde C (%)*	4,5
Elektrofiltre verimi (%)	99,8
Baca yüksekliği (m)	270

* Tek baca mevcuttur.

3.1.2. Orhaneli Termik Santrali Doğal Radyonüklit Emisyon Karakteristikleri

Kömür, doğada bulunan bir çok materyal gibi iz miktarda ^{238}U , ^{232}Th ve bozunum ürünleri ile birlikte ^{40}K içermektedir (Beck et al., 1980).

Kömürdeki ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları ^{238}U , ^{232}Th ve bozunum ürünleri için 20 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için 50 Bqkg^{-1} olarak verilmektedir (UNSCEAR, 1982 ve 1988). Genelde kömürdeki doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları yer kabuğundaki konsantrasyonlarından daha küçüktür. Bununla birlikte, linyit gibi düşük kaliteli kömürlerin (özellikle genç linyitlerin) uranyum içeriğinin yüksek olduğu gözlenmiştir (UNSCEAR, 1982; Papastefanou and Charalambous, 1978).

Yılda 1GW elektrik enerjisi üretmek için yaklaşık 3×10^9 kg kömür yakılması gerekmektedir (UNSCEAR, 1982; 1988).

Termik santrallerde, toz haline getirilen kömür, oksitleme ortamında %10 stokquemetric oksijen fazlasıyla 1500-1800°C' de yakılmaktadır (Jaworowski, 1990).

Yanma işleminde kömürde bulunan birçok mineral eriyerek kül içinde camlaşır ve bu ağır külün bir kısmı tamamen yanmayan organik madde ile birlikte dip külü veya cüruf olarak fırının dibine düşer. Ancak hafif olan uçucu kül, sıcak gazlarla ve herhangi bir uçucu mineral bileşiği ile birlikte bacadan çıkarak atmosfere yayılır. Bacadan çıkan uçucu külün miktarı elektrostatik filtrelerin tutucu verimine bağlı olarak değişmektedir. Kömürde gazlar ve uçucu mineraller hariç yanmayan mineral maddenin içerdiği radyonüklit miktarı dip külü (%20) ve uçucu kül (%80) arasında paylaşılmaktadır. Kömürün yanmasında, organik bileşenlerin eliminasyonu esas olduğundan kömürden küle aktivite konsantrasyonları bir kat veya daha fazla zenginleşmektedir.

Kısaca özetlersek; bir termik santraldeki uçucu kül ve dip külündeki doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları, yeryüzünde bulunan konsantrasyonlardan çok daha yüksek olmaktadır. Uçucu külde rapor edilen (UNSCEAR, 1982) ortalama aktivite konsantrasyonları ^{40}K için 265 Bq kg⁻¹; ^{238}U için 200 Bq kg⁻¹; ^{226}Ra için 240 Bq kg⁻¹; ^{210}Pb için 930 Bq kg⁻¹; ^{210}Po için 1700 Bq kg⁻¹; ^{232}Th için 70 Bq kg⁻¹; ^{228}Th için 110 Bq kg⁻¹; ^{228}Ra için 130 Bq kg⁻¹ dır. *Sonuç olarak, elektrik enerjisi sağlamak için fosil bir yakıt olan kömürün kullanılması insanların ve yaşadıkları çevrenin teknolojik olarak zenginleşmiş doğal radyoaktiviteye maruz kalmasına neden olmaktadır.*

Kömürden küle radyonüklit zenginleşme oranlarına bakıldığında, en çok zenginleşmenin ^{210}Po ve ^{210}Pb konsantrasyonlarında ve bunları takiben ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{232}Th olduğu görülmektedir.

^{210}Po ve ^{210}Pb zenginleşme oranlarının yüksek olmasının olası nedeni bu radyonüklitlerin yanma sırasında buharlaşması ve büyük yüzey hacim oranına sahip ince uçucu kül partikülleri üzerinde yoğunlaşmasıdır. Genel bir kural olarak zenginleşme faktörü kömürün yanma sıcaklığı ile artmakta ve partikül boyutu (>1 µm için) ile azalmaktadır (UNSCEAR, 1982). Potasyum-40 ve ^{232}Th izotopları alüminyum silikat mineralleri ile birlikte erir ve dip külü olarak çökerken, uranyum izotopları kömürdeki kimyasal veya minerolojik formlarına göre davranmaktadır.

Uranyum kül ile birlikte veya coffinite olarak mineralize olmuşsa dip külünde kalır, ancak kömür içinde uranit olarak dağılmışsa UO_3 formunda uçucu olabilir ve uçucu kül partikülleri üzerine yoğunlaşarak birlikte hareket eder. Benzer olarak ^{238}U in bozunum ürünü olan radyum da benzer şekilde davranacaktır. Ancak ^{232}Th in bozunum ürünü olan ^{228}Ra , uçucu kül partiküllerinin matrisi içinde kalmaktadır (UNSCEAR, 1982).

Uçucu külde ^{226}Ra zenginleşmesinin ^{228}Ra den daha yüksek olması her iki izotopun, ana elementlerinin kömür matrisi içinde farklı formda bulunmalarından kaynaklanmaktadır.

Özetle; bir güç santralinde, birim elektrik üretimi başına atmosfere bırakılan doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları;

* *Kömürdeki doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonuna*

* *Kömürün kül oranına*

* *Yanma sıcaklığına*

* *Uçucu kül ve dip külünde paylaşım oranına*

* *Filtre sisteminin verimine*

bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayı farklı santrallerde birim enerji başına açığa çıkan doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları arasında fark beklenmelidir. *Bu doğrultuda, “tesisin girişinin (linyit) ve çıkışının (kül) radyolojik açıdan incelenmesi”* çevreye olan radyoaktif salınımın tahmin edilmesi için gereklidir.

Orhaneli termik santralinin doğal radyonüklit emisyon karakteristikleri, tesiste yanan kömür ve açığa çıkan küllerdeki; ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{210}Pb ve ^{238}U radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri ve tipik aralıklarını kapsayacak şekilde Çizelge 3.2’de verilmiştir (Yaprak vd., 2007).

Çizelge 3.2. Orhaneli termik santrali doğal radyonüklit emisyon karakteristikleri (Yaprak vd., 2007).

Ünite	Radyonüklit	Aktivite Konsantrasyonu (Bq kg ⁻¹)		
		Kömür	Uçucu Kül	Dip Külü
1	²²⁶ Ra	155 ± 5 (103-251)	410 ± 6 (273-530)	356 ± 8 (228-510)
	²³² Th	39 ± 2 (34-47)	86 ± 2 (79-96)	80 ± 3 (73-85)
	⁴⁰ K	235 ± 6 (179-300)	493 ± 8 (400-596)	450 ± 10 (371-508)
	²¹⁰ Pb	165± 76 (105-210)	433±104 (380-481)	285±103 (260-320)
	²³⁸ U	165±20(145-185)	363± 35 (316-430)	364± 35(310-404)

3.1.3. Orhaneli Termik Santrali Eser Element Emisyon Karakteristikleri

Yanabilen sedimenter bir kayaç olarak tanımlanan kömür organik (% 50) ve inorganik bileşiklerden (farklı mineral ve iz elementler) oluşmaktadır (Popovic et al., 2001; Huang et al., 2004; Xu et al., 2003). Kayaç ve kömürlerin % 0.1'in altındaki konsantrasyonlarda içerdikleri maddeler iz element olarak adlandırılır (Kural, 1998) ve bu tanım genel anlamda ağır metal ve toksik elementleri de kapsamaktadır. Kömürde yaklaşık olarak saptanan 84 iz elementten Hg, Zn, Cd, As, Pb, Mn, Mo, Co, Ni, Cr, Se ve Cu gibi elementler kömürün inorganik kısmında; Ge, Be, ve B organik kısmında bulunurken, P, Ga, Ti, Sb ve V hem organik hem de inorganik kısmında bulunmaktadır (Kural, 1998).

Kömürde bulunan iz element derişimleri, yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonlardan çok farklı değildir. Ancak kömürün yanması sırasında, karbon ve nemin uzaklaşmasıyla bu elementler külde konsantre olmaktadır. Kömürde bulunan iz elementler, baca gazı ile atmosfere salınmakta veya külün depo edildiği alanlardan çözünerek suya karışmaktadır. Yapılan araştırmalar, iz elementlerin dip külünden çok uçucu kül de zenginleştiğini göstermektedir.

Küldeki iz elementlerin hareketliliği, bu elementlerin uçuculuk özelliğine, kimyasal eğilimlerine, kömürdeki konsantrasyonlarına, fiziksel değişimlerine, mineral özelliğine, yanma parametrelerine (sıcaklık, aşırı hava katsayısı) ve kazan çıkışına bağlıdır.

Kömürün organik kısmında bulunan iz elementlerin kolayca buharlaştığı, inorganik kısmında yer alanların ise yakma sistemine bağlı olarak külde konsantre olduğu ileri sürülmektedir (Karayığit et al., 2000).

Termik santralleri besleyen kömürlerde ve oluşan küllerde, ekosistem ve insan sağlığı üzerinde etkili olan radyoelementler, ağır metaller ve toksik elementler son zamanlarda oldukça fazla araştırılmaktadır. Kömürde çevrenin hassas olduğu 25 elementin varlığı (Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Cl, Cr, Co, Cu, F, Pb, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Se, Ag, Tl, Th, Sn, V, U ve Zn) Finkelman (1999) tarafından tartışılmıştır. Bu elementlerden; Sb, As, Ba, Be, Cd, , Cr, Co, Pb, Hg, Mn, Ni, Se ve radyonüklitler (U, Th) U.S. Clean Air Act Amendments (1990) tarafından potansiyel tehlikeli hava kirleticileri (HAPs) olarak tanımlanmaktadır.

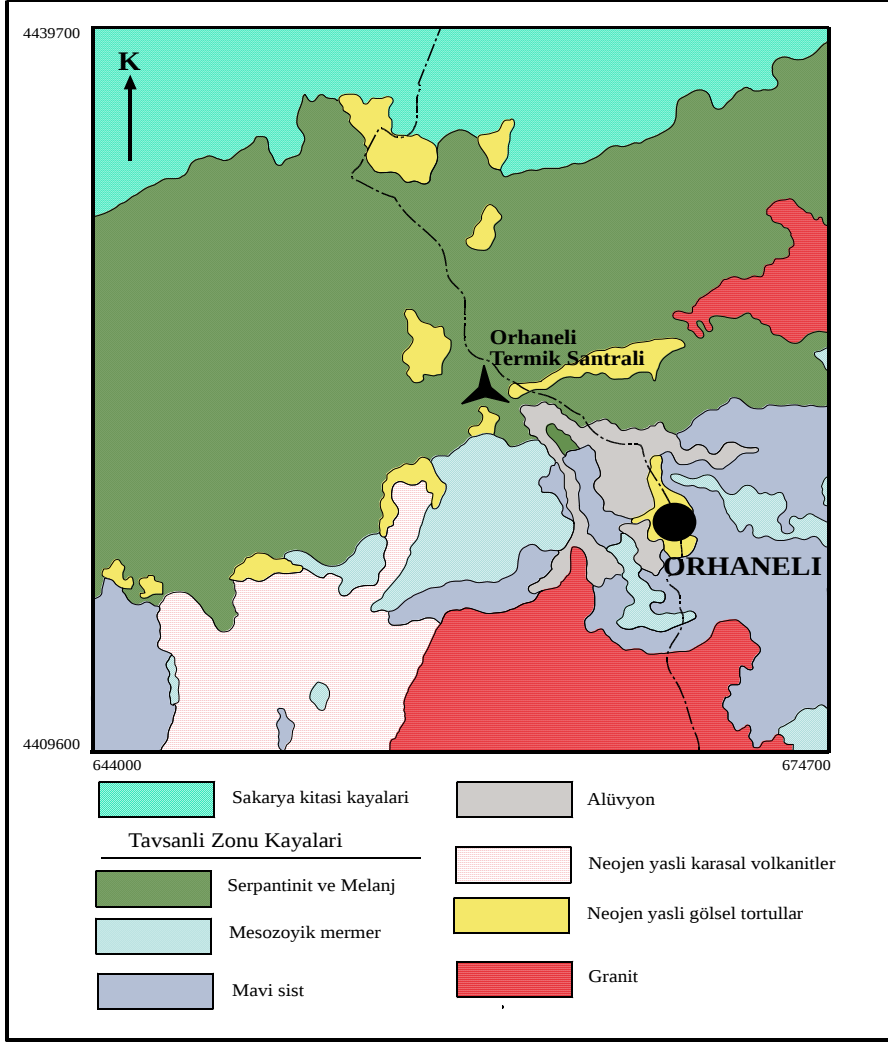
Türkiye’deki kömür yakıtlı termik santralleri besleyen kömürlerin nemi, kül oranı, sülfür içeriği, mineral yapısı ve iz element konsantrasyonları Karayığit ve arkadaşları tarafından (2000) incelenmiştir. Yüksek nem (% 14- 47) ve kül içeriğine (% 23-64) sahip olan kömürlerin sülfür içeriğinin geniş bir aralıkta değiştiği (% 0.4-4.8) ve kaloriferik değerlerinin 1370 ve 4980 kcal/kg olduğu rapor edilmektedir. Kömürlerin mineral maddesinin, kil mineralleri (smetit, illit, kaolinit), quartz, feldspar, kalsit, dolomit, pirit ve gipsiyum yapıları olduğu öne sürülmektedir. Termik santralleri besleyen bu kömürlerdeki element konsantrasyonları (major ve iz element) dünyadaki kömürlerle karşılaştırıldığında bazı HAP elementlerin; Cr (45-410 µg/g), Ni (13-678 µg/g) ve U (5.9-82 µg/g), verilen sınırları aştığı gözlenmektedir. Ayrıca bu kömürlerde As (6.8-93 µg/g), Mn, V ve Th ’un bir miktar zenginleştiği dikkat çekmektedir. Orhaneli termik santralini besleyen kömürlerde ve açığa çıkan küllerde gözlenen iz element konsantrasyonları Çizelge 3.3’de verilmiştir (Yaprak vd., 2007).

Çizelge 3.3. Orhaneli termik santralinde yanan ve açığa çıkan uçucu küllerdeki iz element konsantrasyonları (Yaprak vd., 2007).

İz Element Konsantrasyonu (µg/g)			
Element	Yanan Kömür	Dip Külü	Uçucu kül
Al	9100	54700	48400
As	26.20	15.2	52.30
Cd	0.26	0.07	0.27
Cr	40.10	64.7	70.40
Cu	25.62	34	35.10
Fe	17340	35080	36980
Hg	0.542	0.055	0.417
K	1000	3700	5000
Ni	113.50	208.5	181.60
Pb	22.88	10.84	19.14
S	17100	3600	5900
Sc	3.30	6.80	7.90
Se	1.30	0.3	1.90
Th	10.34	10.32	11.48
U	14.96	29.41	29.40
V	29	68	88
Zn	45.40	42.2	61.60

3.1.4. Genel Jeolojik Yapının Değerlendirilmesi

Genel jeolojik yapının değerlendirilmesi, toprağın orijinalindeki doğal radyonüklit background konsantrasyonunun elde edilmesi için gereklidir. Batı Anadolu’ da yer alan birçok santral gibi, Orhaneli termik santrali Neojen havza üzerinde kurulmuş olup, Neojen yaşlı (~10 My) karasal / gölsel sedimentler içerisindeki düşük kaliteli linyit kömürünü kullanmaktadır. Bu havzaya temel teşkil eden kayalar beş grup altında toplanabilir (Şekil 3.1). Bunlar; 1-Tavşanlı Zonu’na ait yüksek basınç metamorfizması kayaları, 2-Üst Kretase yaşlı tektonik melaj, 3-Peridotit dilimi, 4-Granit ve 5-Miyosen yaşlı tortul ve volkanik kayalardır (Okay, 2002; Okay and Kelley, 1994).



Şekil 3.1. Orhaneli termik santrali yakın çevresinin jeoloji haritası (MTA Enstitüsü 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası-İzmir paftası).

Tavaslı Zonu kayaları mavişist fasiyesi koşullarında başkalaşıma uğramış meta kırıntılılar ve bunları üzerleyen platform türü mermerlerden yapıldır. Üst kretase yaşlı (65 My) tektonik melanj derin deniz sedimanları, ofiyolitik kayalar ve neritik karbonatlar dilimlerinden yapıldır olup Neotetis okyanusunun kapanımıyla ilişkilidir. Peridotit dilimi baskın olarak serpantinitler ve onları kesen ince gabro damarlarından oluşmaktadır. Temeli oluşturan bu birimler Eosen yaşlı granitler tarafından kesilmektedir (Okay and Kelley, 1994).

Bölgede kömür yataklarını içeren birimler Alt-Orta Miyosen (23-11 My) yaşlı tortul kayalar içerisinde bulunmaktadır. Bu karasal/gölsel kayalar yukarıda tanımlanan temel kayalarını uyumsuz olarak üzerlemektedir. Bölgedeki karasal volkanitler Miyosen tortullarla eş yaşlı olup yanal giriklik göstermektedir.

Batı Anadolu’da yer alan linyit yakıtlı Orhaneli termik santrali çevresindeki çalışma alanının genel jeolojik yapısını oluşturan kaya türlerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite düzeyleri Çizelge 3.4’ de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Temel kaya türlerinin eU, eTh ve %K konsantrasyonları ve ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

	Örnek Adı	Konsantrasyon (ppm)			Aktivite Konsantrasyonu (Bqkg ⁻¹)		
		eU	eTh	%K	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Orhaneli	Mesozoyik mermer	< ND	0.5	0.1	< ND	2 ± 0.5	31 ± 2
	Neojen riyoitik tüf	9.2	20.1	3.3	114 ± 5	82 ± 2	1033 ± 11
	Neojen silt taşı	1.7	8.8	1.8	21 ± 2	36 ± 2	562 ± 8
	Serpantinit	< ND	< ND	< ND	< ND	< ND	< ND
	Granit	1.9	6.6	1.6	23 ± 1	27 ± 1	503 ± 6
	Mavi şist	1.9	10.3	2.3	23 ± 2	42 ± 1	713 ± 8

*< ND=Gama spektrometre sisteminin dedeksiyon limiti altında kalan aktiviteleri göstermektedir.

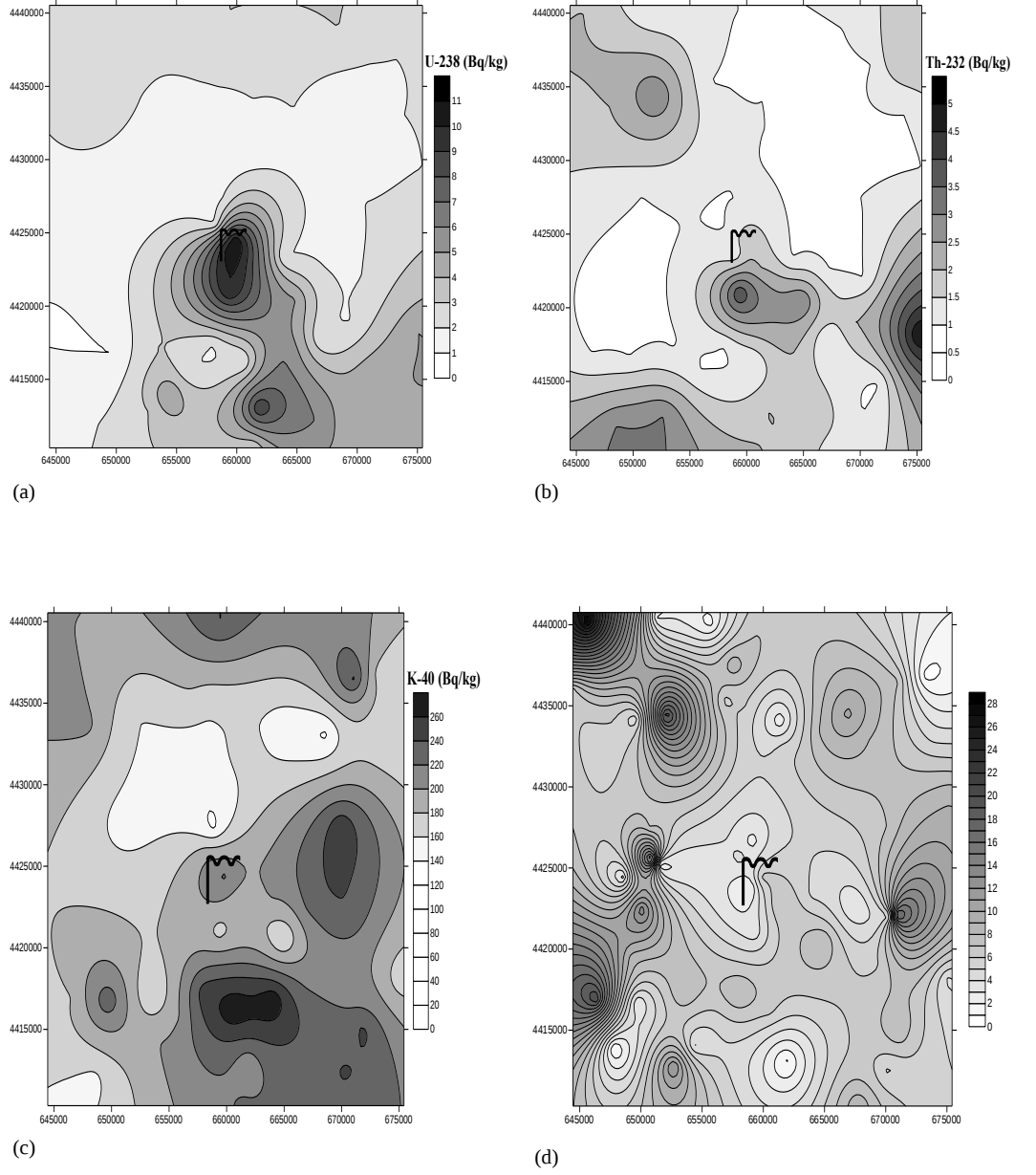
3.1.5. Orhaneli Termik Santrali Çevresinde Yüzey Topraklarının Radyoaktivite İçeriği

Teknolojik olarak zenginleşmiş doğal radyoaktivitenin en önemli kaynağı olarak işaret edilen kömüre dayalı termik santraller, kullandıkları kömürün doğal radyonüklit içeriğine bağlı olarak çevrelerini kirletmekte ve radyolojik risk oluşturmaktadır (UNSCEAR, 1982; 1988; Yaprak vd., 2007). Topraklarda, termik santral kaynaklı olmayan radyosezyum depozisyonu, radyoaktif yağış sonucu oluşmuş olup, atmosferik kaynaklıdır.

Bu doğrultuda, çalışma altındaki termik santral çevresinde yüzey topraklarında gözlenen doğal radyonüklit “ ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ” ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının, aritmetik ortalaması, medyanı, geometrik ortalaması, minimum ve maksimum değerleri ve standart sapmaları Çizelge 3.5’de, radyonüklit dağılım haritaları ise Şekil 3.2’de verilmiştir (Yaprak vd., 2007). Termik santral çevresindeki topraklarda doğal radyonüklit ve radyosezyumun dağılım haritaları, meteorolojik koşullardan ve mevcut topografyadan etkilenen atmosferik depozisyonun izlenmesinde yararlı olacağı düşüncesi ile verilmiştir.

Çizelge 3.5. Orhaneli termik santrali çevresindeki yüzey topraklarında gözlenen doğal ve yapay radyonüklit aktivite konsantrasyonları (Yaprak vd., 2007)

Radyonüklit	N	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg^{-1})				
		Aritmetik Ortalama	Medyan	Geometrik Ortalama	Min.-Maks.	Standart Sapma
^{226}Ra	64	24	23	19	2-88	17
^{232}Th	64	32	30	26	3-83	18
^{40}K	64	441	426	349	34-1011	245
^{137}Cs	64	6.93	6.14	5.48	0.60-27.90	4.97



Şekil 3.2. OCPP çevresinde; (a) ^{238}U , (b) ^{232}Th , (c) ^{40}K ve (d) ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları dağılımı.

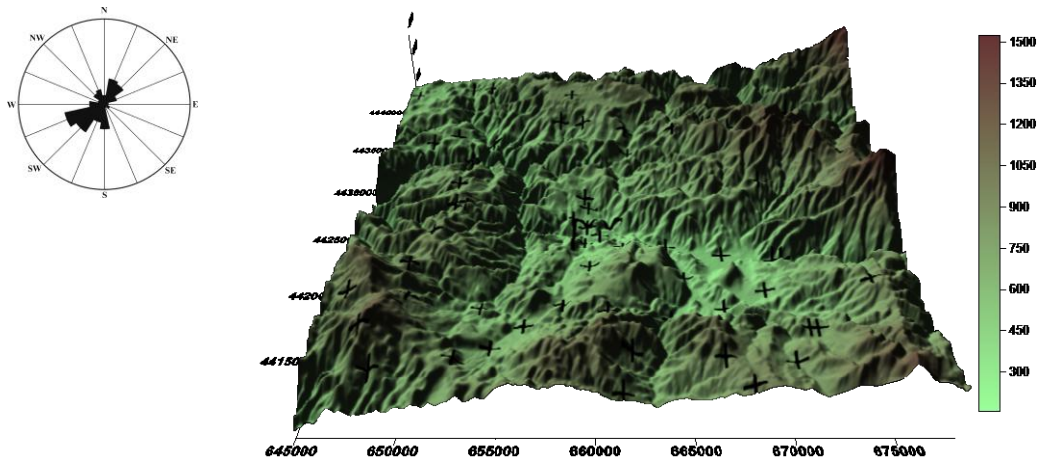
3.2. Tesis Çevresinde Meteorolojik Değişkenlerin ve Topografyanın İncelenmesi

Termik santrallerden atmosfere verilen kirleticiler çok uzun mesafelere taşınabilmektedir. Bu taşınımında, baca yüksekliği, baca gazı sıcaklığı, baca gazı debisi, kirletici kütsel debisi gibi santral baca özelliklerinin yanı sıra meteorolojik koşullar ve topografya da etkili olmaktadır. Bu özelliklere bağlı olarak, santrallerin dış havada oluşturdıkları kirletici konsantrasyonları ve dolayısıyla etkiledikleri alanlar değişmektedir.

Çalışma alanlarının belirlenmesinde, santral özelliklerinin yanı sıra bölge topografyasının ve meteorolojik özelliklerinin dikkate alınması termik santral çevresinde uçucu kül depozisyonundan kaynaklanan kirletici dağılımları ile etki alanlarının değerlendirilmesinde oldukça önemlidir.

Rüzgar Gülleri: OCCP çevresinde meteorolojik değişkenlere ait en az 10 yıllık meteorolojik bülten verileri (rüzgar yönü ve hızı, sıcaklık, yağış, nem vb.) Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden sağlanmıştır. Santrale en yakın meteoroloji istasyonundan elde edilen bu veriler yardımıyla, çalışma alanı için rüzgar gülü oluşturulmuştur.

Topografya Haritaları: Kirletici kaynakların dağılımında en önemli parametrelerden biri, arazinin yüksekliği ve eğimidir. Bunun yanı sıra, arazi değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken diğer kriterler, kirletici emisyonunu bloke eden topografyanın doğrultusu, vadiler ve dağ sıralarının yerleşimidir (Say, 2006). İnceleme altındaki linyit yakıtlı termik santralin bulunduğu alanın topografya haritaları (1/100.000), GIS (Global Information System) sistemi kullanılarak Global Mapper ve Surfer 8.0 yazılımından yararlanılarak oluşturulmuştur. Şekil 3.3' de çalışma alanının topografya haritası rüzgar gülü ile birlikte verilmiştir. Ayrıca harita üzerinde santral konumu detaylandırılmıştır.



Şekil 3.3. Orhaneli termik santrali çalışma alanının topografya haritası ve rüzgar gülü.

İlgili şekil incelendiğinde, Orhaneli için hâkim rüzgar yönlerinin, güney-batılı, kuzey-doğulu ve kuzeyli olduğu gözlenmektedir (Şekil 3.3). Kirletici

kaynak dağılımında etken olan en önemli parametrelerden biri, hâkim rüzgar doğrultusunda sarp tepelerin bulunmasıdır.

Çalışma alanının topografya haritasında Orhaneli termik santrali çevresinde düz alanların olmadığı, bölgenin küçük yükseklikler ve tepelerden oluştuğu ve 1000 m'nin üzerinde oldukça sarp tepelerin mevcut olduğu gözlenmektedir.

3.3. Sistematik Liken Örnekleme

3.3.1. Çalışma Alanındaki Epifitik Liken Türleri ve *Xanthoria parietina* liken türünün morfolojik özellikleri

Batı Anadolu' da yer alan Orhaneli Termik Santrali çevresinde yapılan floristik incelemede, *Xanthoria parietina*, *Evernia prunastri*, *Parmelia sulcata*, *Pseudevernia furfuracea*, *Usnea filipendula*, *Hypogymnia physodes*, *Pleurosticta acetabulum*, *Ramalina fastigiata*, *Ramalina farinacea*, *Anaptychia ciliaris*, gibi birçok yapraksı ve dalsı liken türü bir arada ve yoğun şekilde gözlenmiştir. Bir biyomonitör organizmanın mevcut kirlilikten nasıl etkilendiğinin bilinmesi, kirlетici kaynağın yanı sıra, likenlerin biyolojik veya ekolojik özelliklerinin iyi tanımlanmasını gerektirmektedir. Bu doğrultuda inceleme alanında dağılım sunan epifitik liken türlerinin familyaları, büyüme formları ve ekolojik özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Epifitik liken türlerinin familyaları, büyüme formları ve ekolojik özellikleri (Yaprak vd., 2007).

Genus	Familiya	Büyüme formu	pH isteği	Işık	Su	Ötrofikasyon	İklim
<i>Parmelia sulcata</i>	Parmeliaceae	Yapraksı	Asidofil-nötr	Dolaylı-doğrudan	Nispeten higrofitik-mezofitik	Nitrofob	Mediterranean
<i>Hypogymnia physodes</i>	Parmeliaceae	Yapraksı	Asidofil	Dolaylı	Nispeten higrofitik-mezofitik	Nitrofob	Submediterranean
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	Parmeliaceae	Yapraksı	Asidofil-nötr	Dolaylı-doğrudan	Mezofitik-kserofitik	Nitrofob-nötr	Mediterranean
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Parmeliaceae	Dalsı	Asidofil	Dolaylı-doğrudan	Mezofitik-kserofitik	Nitrofob	Submediterranean
<i>Evernia prunastri</i>	Parmeliaceae	Dalsı	Asidofil-nötr	Dolaylı-doğrudan	Nispeten higrofitik-mezofitik	Nitrofob-nötr	Mediterranean
<i>Ramalina farinacea</i> ve <i>R. fastigiata</i>	Ramalinaceae	Dalsı	Asidofil-nötr	Dolaylı-doğrudan	Nispeten higrofitik	Nitrofob	Mediterranean
<i>Xanthoria parietina</i>	Teloschistaceae	Yapraksı	Asidofil-bazik	Dolaylı-doğrudan	Mezofitik-kserofitik	Nitrofil	Mediterranean
<i>Anaptychia ciliaris</i>	Physciaceae	Dalsı	Asidofil-nötr	Dolaylı-doğrudan	Mezofitik	Nitrofob-nötr	Mediterranean
<i>Usnea filipendula</i>	Usneaceae	Dalsı	Asidofil	Dolaylı-doğrudan	Nispeten higrofitik-mezofitik	Nitrofob	Boreal-Submediterranean

Kozmopolit olan bu 10 tür epifitik likenden, kirleticilere karşı yüksek toleranslı olduğu bilinen, “*Xanthoria parietina*”nın inceleme altındaki alanda her bir örnekleme noktasında geniş dağılım sunması ve arazide kolayca tanımlanabilmesi, çalışmanın bu biyomonitör organizma üzerine yoğunlaşmasına neden olmuştur. Ayrıca, mevcut literatürlerde önerildiği şekilde (Benneth and Benson, 2005), bu çalışmanın sadece tek bir tür “*Xanthoria parietina*” ile sürdürülmesi, biyomonitör organizmaların biyoakümülyasyon kapasitelerine bağlı olarak element alımından doğacak farklılıklardan kaçınılmasını sağlamıştır. Bu doğrultuda sunulan çalışmada, Orhaneli termik santrali çevresinde atmosferik depozisyon, *Xanthoria parietina* dokusunda radyonüklit ve iz element kirletici seviyeleri belirlenerek izlenmiştir.

Xanthoria parietina liken türünün morfolojik özellikleri aşağıda detaylandırılmış ve arazide çekilen fotoğrafı Resim 3.2’ de verilmiştir.

***Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.**

in N. Acta Reg. Soc. Sc. Upsal. 3: 67 (1860)

Bas.: Lichen parietinus L. in Species Plantarum 2: 1143 (1753)

Tallus yapraksı formdadır, 10 cm çapındadır, ağaç kabuğuna bağlı olarak sıkı veya gevşek tutunur, sadece lop uçları serbesttir. Loplar yuvarlağımsıdır veya lop ucuna doğru genişler, 7 mm genişliğindedir ve üst üste dizilir. Ağırlıklı olarak sarımsı veya portakalımsı renklerde olan bu liken, ekolojik ortama göre grimsi veya yeşilimsi tona geçmektedir, lopların alt yüzeyi beyazdır, kalın, ve dallanmayan beyaz rizinleri vardır. Tallus K reaktif ile kırmızı renk verir.

Apotesyum lekanorindir, özellikle merkezde çok sayıdadır, 4 mm çapındadır, disk içbükeydir, koyu portakal renklidir, zamanla yassılaşıp, eksipulum daha yüksektir, düz yüzeylidir. Yapraksı büyüme formu, büyük, yatık, soresiz, sarımsı-portakalımsı yapısı ve sık apotesyumu ile ayırt edilmektedir.

Kozmopolit olan bu tür, bölgemizde en sık rastlanılan likenlerin başında gelmektedir. Hemen hemen her türlü ağacın üzerinde yaşamakta olup, ekolojik özelliği nedeniyle geniş örtü oluşturmaktadır. Kirliliğe, özellikle tarımsal kirliliğe dirençli türlerin başında gelen kalsifil likenlerdendir.

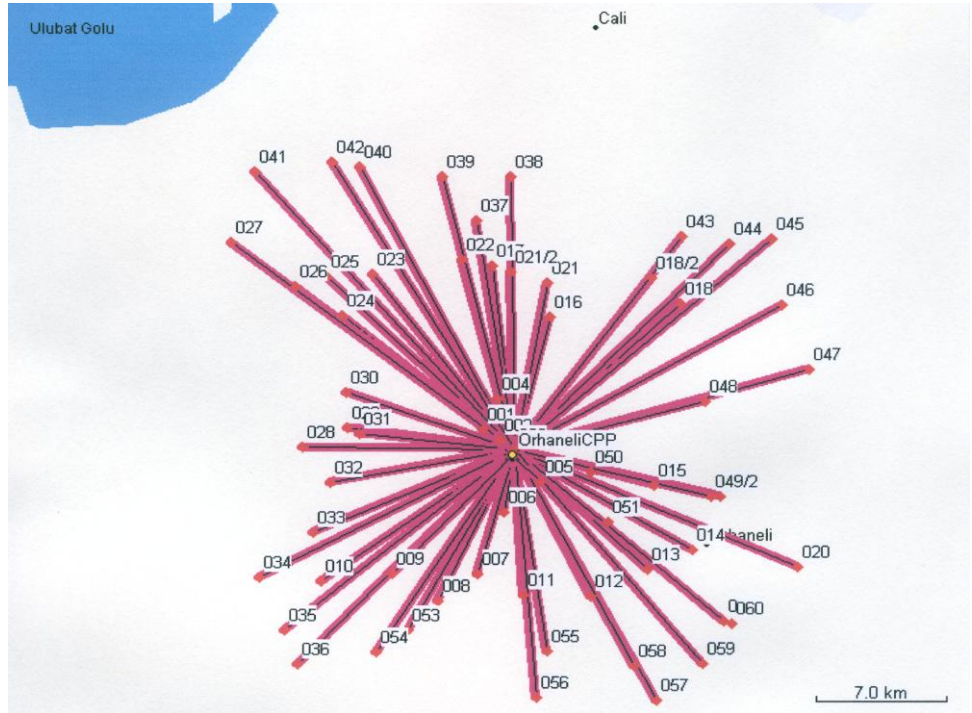


Resim 3.2. *Xanthoria parietina* (Orhaneli, Nisan 2010).

3.3.2. Çalışma Alanı ve Liken Örnekleme

Liken tallusundaki element konsantrasyonları, doğrudan bu elementlerin çevredeki konsantrasyonlarını yansıtmaktadır. Bu doğrultuda, 2009- 2010 boyunca, *Xanthoria parietina* ile OCPP çevresinde sürdürülen bu biyolojik gözlem kapsamında uygulanan örnekleme protokolü aşağıda verilmiştir.

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde, kirletici kaynakların özellikle termik santraller gibi uzun süre ve düşük kaliteli yakıtla çalışan işletmelerin, çevre hava kalitesine etkilerinin belirlenmesinde; inceleme bölgesinin tesisin baca yüksekliğinin 50 katı mesafesinde yarıçaplı bir alan olması gerektiği belirtilmiştir (HKKY, 1986). Bu doğrultuda, Orhaneli termik santrali baca yüksekliğinin ($\approx 300\text{m}$) 50 katı büyüklüğünde 15 km yarıçaplı bir alan çalışma bölgesi olarak alınmış ve 3x3 km olarak karelajlanmıştır. Tesis baca yüksekliği baz alınarak yapılan karelajla belirlenen örnekleme istasyonları Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Orhaneli termik santrali çevresindeki örnekleme istasyonları

Kozmopolit bir tür olan *Xanthoria parietina*'nın, çalışılan istasyonlarda, hemen hemen her türlü ağacın üzerinde yaşadığı, ancak kavak, zeytin, ahlat ve söğüt gibi ağaçların üzerinde aşırı yayılım gösterdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, yukarıda detaylandırıldığı şekilde oluşturulan liken örnekleme noktalarının % 30'undan liken örneği toplanamamıştır.

Bunun olası nedeni, topografyanın dışında, *Xanthoria parietina*'nın pH'ı 5.5-6 arasında olan substratlarda gelişmesi ve çok asidik ağaç kabuklarında ise <5 (çam ağacı) yayılım göstermemesidir. Bu nedenle, uygun substratın bulunmadığı ve ağaç bulunmayan kömür havzalarından liken örnekleme yapılamamıştır. Ayrıca, örnekleme yapılacak liken miktarı yaklaşık 500 gram olduğundan, bölgede söz konusu ağaçların yeterli miktarda ve homojen dağılmış olmaması da istasyon sayısının azalmasında etkili olmuştur.

Biyolojik gözlem çalışmalarında, örnekleme yapılacak ağacın seçimi de önemlidir ve sunulan çalışmada;

- *Toprak kontaminasyonundan kaçınmak için, ağacın taç kısmının yerden > 1 m yüksek olmasına,*
- *Örnekleme yapılacak ağacın dik olmasına, eğiminin % 5'i geçmemesine,*
- *Baskın rüzgar yönlerinin etkisini azaltmak ve yeterli miktarda örnek sağlayabilmek için 200-1000 m²'lik alanda yer alan 3-10 ağaç üzerinden örnek toplanmasına,*

dikkat edilerek, liken örnekleme yapılmıştır.

Biyolojik organizma dokusundaki kirleticilerin ölçüldüğü çalışmalarda, kirletici konsantrasyonu tallus yüzeyi ile orantılı olduğundan tallus boyutunun sınırlandırılması önerilmektedir (Nimis et al., 2001). Bu doğrultuda, element alımlarının mümkün olduğunca yakın geçmişi yansıtması istendiğinden *Xanthoria parietina* tallusunun çapı 5 cm ile sınırlandırılmıştır.

Mevcut literatürlerde, epifitik likenlerdeki element içeriğine substratın katkı yaptığı konusunda fikir birliği yoktur (Wolterbeek and Bode, 1995; Clair et al., 2002). Genelde yaygın kanı, substrattaki Ca, Mn, Zn, Cd ve Ba gibi elementlerin likenlerdeki element içeriğini etkilediği, yönündedir. Bu nedenle, liken örnekleri toplanması kolay olduğu ve substrattan kaynaklanacak farklılık için genelde kavak ağaçları üzerinden toplanmıştır. Ancak, bu ağaçların bulunmadığı örnekleme noktalarda, zeytin, meşe ve ahlat gibi ağaçların üzerinden toplanmıştır.

Liken örnekleme yapılan istasyonların, koşullar elverdiğince ana yollardan, sanayiden ve yaşam alanlarından uzak olmasına gayret edilmiştir. Liken örnekleri tanımlandıktan (koordinat, yükselti, yön, ağaç türü, tarih vb.) sonra, metabolizma kayıplarını engellemek ve olası kontaminasyondan kaçınmak için kese kâğıtlarına yerleştirilip karton kutularda saklanmıştır.

3.4. Liken Örneklerinde Radyonüklit ve İz Element Analizleri

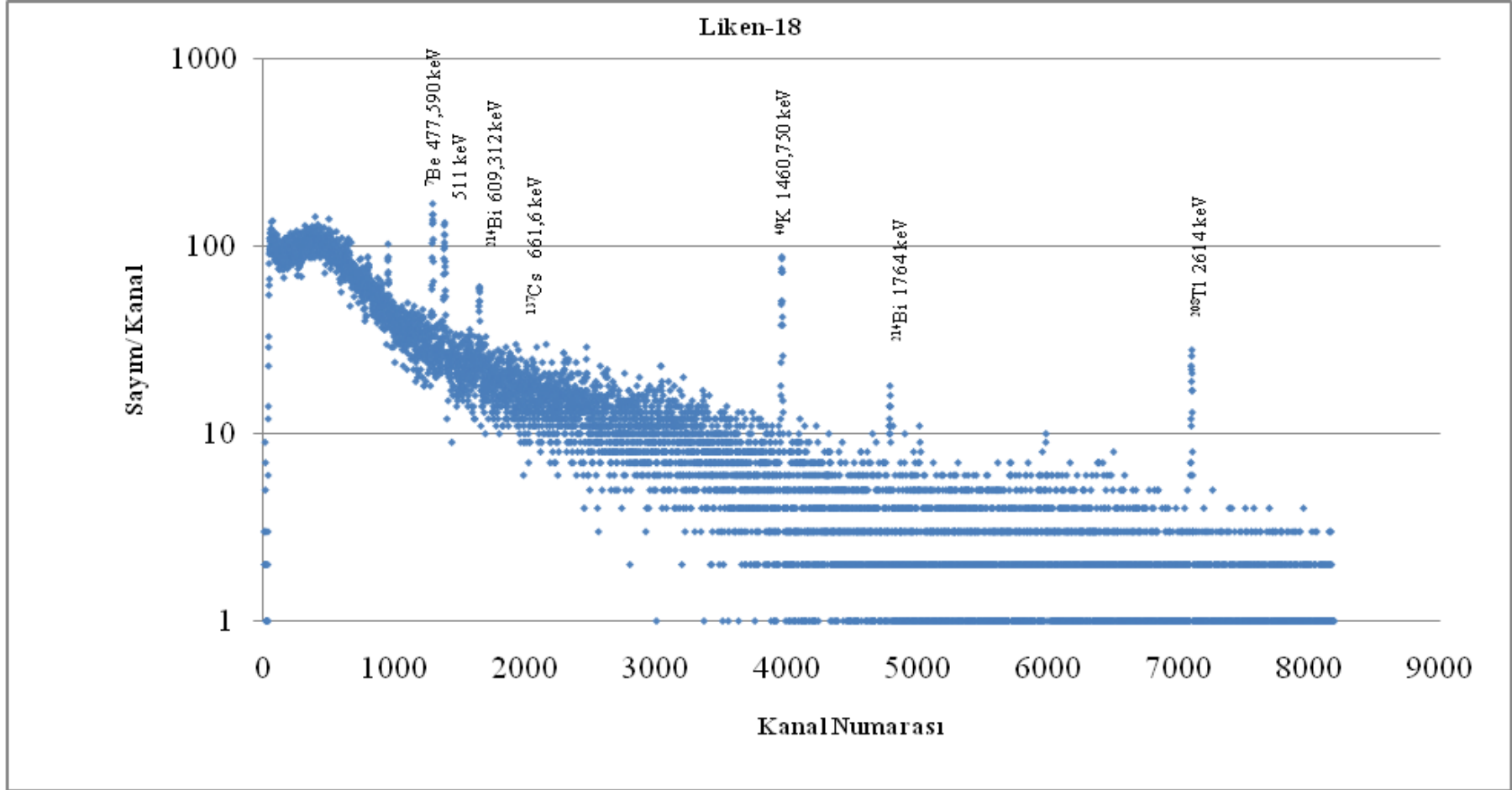
3.4.1. Örnek hazırlama

Liken örneklerinin üzerindeki yabancı maddeler (ağaç kabuğu, diğer tür likenler, vb.) paslanmaz çelik pens ile ayıklanmıştır. Çözünabilir iz elementlerin kaybı nedeniyle, liken örnekleri yıkanmamıştır. Kabuklarından ayrılan likenler etüvde 60 °C' de kurutulup öğütülmeye hazır hale getirilmiştir. Öğütme işlemi Retsch (RS 100) marka tungsten halkalı zaman ayarlı öğütücü ile yapılmıştır. Öğütülen örnekler, gama spektrometrik analiz için, 100 ml'lik silindirik polietilen kaplara yerleştirilip, kapatılmıştır. İncelenen örneklerde kısa yarı ömrü nedeni ile ^7Be ($t_{1/2}= 53.3$ g), arazi dönüşü örnek hazırlama işleminin hemen ardından 5- 20 gün gibi kısa bir süre içinde ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Ra-Rn arasında radyoaktif dengenin oluşması için ölçümlerden önce 4 hafta süre ile bekletilen liken örneklerinde radyuma dayalı dengede $^{210}\text{Pb}_d$ tayini ve yanı sıra, ^{137}Cs , ^{40}K ve $^{210}\text{Pb}_a$ (denge üstü) radyonüklit analizleri yapılmıştır.

3.4.2. ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb ve ^{40}K Radyonüklit Analizleri

Liken dokusunda ^7Be ; 477,6 keV, ^{137}Cs ; 661,6 keV, ^{40}K ; 1460,75 keV, ^{226}Ra ($^{210}\text{Pb}_d$); 1764,49 keV, $^{210}\text{Pb}_a$; 46,5 keV aktivite konsantrasyonları HPGe gama spektrometre sisteminde ölçülmüştür. Liken örneklerinde ilgili radyonüklit içeriklerinin saptanmasında kullanılan gama spektrometre sistemi, 184 cc HPGe coaksial dedektör (dedektör verimi: %25, ^{60}Co 'ın 1.33 MeV gama enerjisi için FWHM: 1.83 keV ve pik/compton oranı: 57:1), Ortec Model-671 spektroskopi amplifikatörü ve Canberra PC bazlı MCA (8 K) Wilkinson ADC'den oluşmuş ve 100 mm kurşun ile zırhlanmıştır. Çalışılan liken örneklerinden L-18 numaralı örneğin 40000s süre ile alınan gama spektrumu ve aktivite hesaplarında kullanılan gama enerjileri, Şekil 3.5'de gösterilmiştir.

Çalışmada kullanılan gama spektrometre sisteminin ölçebileceği en düşük aktiviteler *CURRIE(1968)* kriterlerine dayalı olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.5 L-18 numaralı örneğin 40000s süre ile alınan gama spektrumu ve aktivite hesaplarında kullanılan gama enerjileri.

Çalışılan laboratuvar koşullarında (iyi bilinen art-ortam) sistem tarafından algılanabilecek minimum dedekte edilebilen aktiviteler aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$MDA = \frac{2.71 + 3.29\sqrt{\mu_B}}{K}$$

Bu eşitlikte; μ_B : Background sayım hızı ve K: Kullanılan gama spektrometre sisteminde, sayımlardan Bqkg⁻¹ olarak aktiviteye geçmeyi sağlayan kalibrasyon faktörleridir.

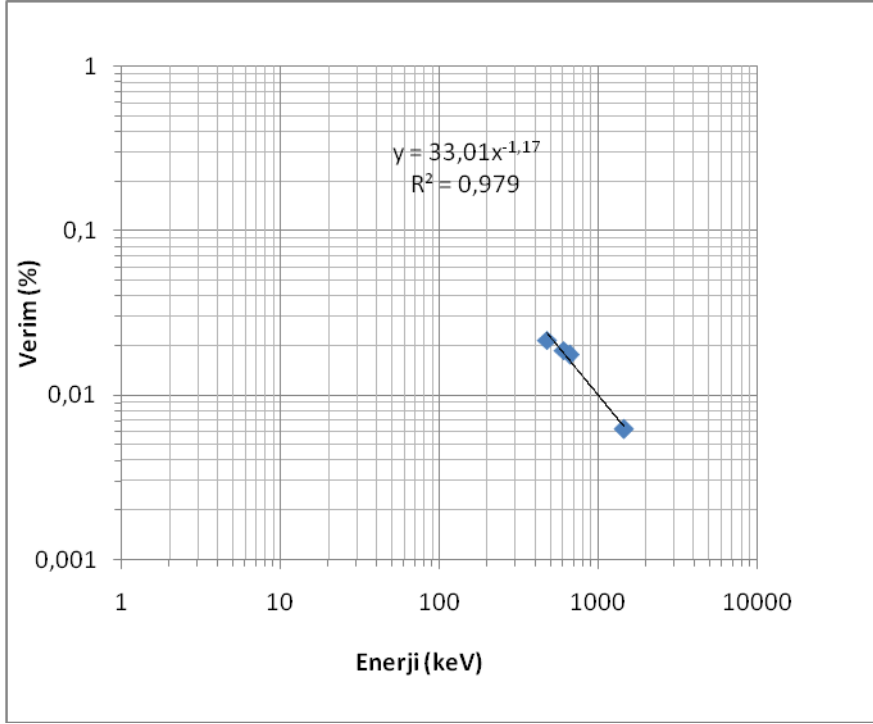
Currie (1968) kriterlerine dayalı olarak, gama spektrometre sisteminin 100 ml örnek geometrisi için 86 400 s’de ölçebileceği minimum dedekte edilebilen aktiviteler (MDA); ²²⁶Ra (²¹⁰Pb_d) için ≤5 Bq kg⁻¹, ⁴⁰K için 16 Bq kg⁻¹ ve ¹³⁷Cs için 0.06 Bq kg⁻¹’dır. Söz konusu geometri için gama spektrometre sisteminin 25000 s’de ölçebileceği minimum dedekte edilebilen ⁷Be aktivitesi 20 Bq kg⁻¹’dır. Genelde, radyometrik sayım hatasının liken örneklerinde % 20-50 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Çevresel örneklerin gama spektroskopik ²¹⁰Pb tayininde karşılaşılan en önemli problem, ²¹⁰Pb’ un 46,5 keV enerjili gamasının zayıf intensitesi (% 4,6)’ ve düşük gama enerjilerinde (<200 keV) örnek kalınlığı ve matrisinden kaynaklanan self-absorpsiyon problemidir. Bu doğrultuda, incelenen materyallerin birçoğunda ²²⁶Ra denge eşdeğeri ²¹⁰Pb_d üzerinde termik santral radon emisyonuna dayalı denge üstü (aşırı) ²¹⁰Pb_a aktivitesi ölçülememiştir.

Çalışmada, ⁷Be dışında doğal ve yapay radyonüklitlerin ölçülmesinde örneklerle benzer matris ve geometride sertifikalı materyallerden hazırlanan radyometrik standartlar kullanılmıştır [²²⁶Ra (²¹⁰Pb_d) = 1458 Bqkg⁻¹ (IAEA sertifikalı S-12), K (%52. 4; ⁴⁰K=16210 Bqkg⁻¹ (Merck markalı KC1) ve ¹³⁷Cs=150 Bqkg⁻¹ (IAEA-156)]. Bu doğrultuda, ⁷Be analizi aşağıda detaylandırılmıştır.

3.4.2.1. ⁷Be analizi

Uygun radyometrik standart olmadığı durumda, seçilen enerjide gama aktivitesi, spektrumda ilgili tam enerji piki altındaki sayım hızı ile birlikte sözü edilen enerji ve kaynak pozisyonu için spektrometre sisteminin ölçülen veriminden yararlanılarak saptanır. Genelde istenen her enerjide verimi doğrudan standartların emisyonu hızı ile ölçmek mümkün olmadığından mevcut kalibrasyon noktaları arasında interpolasyona izin veren fonksiyonlar veya eğriler oluşturulmaktadır. Bu doğrultuda, çalışmada liken örneklerindeki ⁷Be aktivitesi, 400-1500 keV enerji aralığında mevcut radyometrik standartlar kullanılarak elde edilen verim eğrisinden (Şekil 3.6) aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. Kullanılan gama spektrometre sisteminin 400-1500 keV enerji aralığı için verim eğrisi.

$$A = \frac{N}{\varepsilon \cdot \gamma \cdot t_s \cdot m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5}$$

Bu eşitlikte, A → ilgili radyonüklitin aktivitesi olmak üzere;

N: İlgilenilen tam enerji pikinin düzeltilmiş net alanıdır ve aşağıdaki formül ile verilir:

$$N = N_s - \frac{t_s}{t_b} \cdot N_b$$

Ns: Örnek spektrumundaki ilgilenilen tam enerji pikinin net alanıdır.

Nb: Doğal fon spektrumundaki ilgilenilen tam enerji pikinin net alanıdır.

ε : İlgilenilen tam enerji pikinin E_γ enerjisindeki verimidir.

ts: Örnek spektrumunun elde edilmesi için geçen, saniye cinsinden sayım süresidir.

tb: Doğal fon spektrumunun elde edilmesi için geçen, saniye cinsinden sayım süresidir.

m: Spesifik aktivite için ölçülen örneğin kilogram cinsinden kuru ağırlığıdır.

γ : İlgilenilen tam enerji pikinin E_γ enerjisine karşılık gelen gama yayımlama olasılığıdır.

K_1 : Örneğin toplanması ile ölçme işlemine başlama zamanı arasında geçen süre için bozunum düzeltme faktörüdür;

$$K_1 = \exp\left(-\frac{\ln(2) \Delta t}{T_{1/2}}\right)$$

$t_{1/2}$: İlgili radyonüklitin yarı ömrüdür.

Δt : Analiz edilen örneğin toplanma zamanı ile ölçme işlemine başlama zamanı arasında geçen saniye cinsinden süredir.

K_2 : Analiz edilen örneğin ölçme işlemi esnasında geçen süre için bozunum düzeltme faktörüdür;

$$K_2 = \frac{T_{1/2}}{\ln 2 \cdot t_r} \left(1 - \exp\left(-\frac{\ln(2) t_r}{T_{1/2}}\right) \right)$$

t_r : Ölçme işlemi esnasında geçen saniye cinsinden gerçek süredir.

K_3 : Atenüasyon düzeltme faktörüdür. Bu çalışmada, kalibrasyon standardı ile örnek geometrisi ve matrisi benzer olduğundan, $K_3=1$ alınmıştır.

K_4 : Rasgele çakışma nedeniyle kaybedilen sayımlar için düzeltme faktörüdür.

$$K_4 = \exp(-2 \cdot R \cdot \tau)$$

τ : Ölçüm sisteminin çözme süresidir.

R : Ortalama sayım hızıdır.

Sayım süresi ile artan bu düzeltme faktörü, bizim durumumuzda olduğu gibi, düşük sayım hızlarında $K_4=1$ olarak alınabilir.

K_5 : Ardışık foton yayınlayarak bozunum yapan radyonüklitler için gerçek çakışma düzeltme faktörüdür. Eğer radyonüklitin ardışık gama ışınları yoksa $K_5=1$ alınır. ^{7}Be 'nin tek karakteristik gaması olduğu için bu çalışmada $K_5=1$ alınmıştır. Yukarıda öngörülen düzeltmeler yapıldığında;

$$A = \frac{N}{\epsilon \cdot \gamma \cdot t_s \cdot K_1 \cdot K_2}$$

İlgili radyonüklitin (E_γ enerjisine karşı gelen tam enerji piki altındaki net alandan yararlanarak) aktivitesi veya gama spektrometre sisteminin E_γ enerjisindeki verimi yukarıda verilen eşitlik ile tayin edilmektedir.

3.4.3. Liken Örneklerinde İz Element Analizi

Bu çalışmada, liken dokusundaki; ^{238}U , ^{232}Th , Al, As, Cd, Cu, Se, Pb ve V gibi iz elementlerin analizi Kanada'da bulunan ACME Analitik Laboratuvarında ICM-MS yöntemi ile yapılmıştır.

Örneklerin analitik kalite kontrolü; Uluslararası Atom Enerjisi Kurumundan sağlanan IAEA-336 referans liken materyali ile yapılmıştır. Söz konusu materyalin analizinde, ölçülen element konsantrasyonlarının, büyük bir kısmının sertifikada verilen güvenlik sınırı içinde kaldığı ve analitik hatanın $< \% 10$ olduğu gözlenmiştir.

3.5. Dağılımların Haritalanması ve Veri Analizi

Orhaneli Termik Santrali çevresinde, örnekleme yapılan alanların koordinatları GPS (Global Position System) ile alınmıştır. Topografya haritaları, GIS (Global Information System) sisteminden yararlanılarak, Global Mapper, Surfer 8.0 ve Map Info Professional 5 yazılımları kullanılarak oluşturulmuştur. Global Mapper’da, sayısal yükseklik modeli kullanılarak (Dijital Elevation Model), çalışılan alanların köşe koordinatları (UTM sistemi) girilir ve ilgili alanların topografyasını veren eş yükselti eğrileri Surfer 8.0 yazılımı ile harita haline dönüştürülmektedir. Bu yazılımın içindeki hücrelere bölme işlemi (gridding) “Kriging” adı verilen yöntem aracılığı ile yapılmakta ve elde edilen grid dosyası kullanılarak, o alandaki verilerle tematik haritalar (Surfer 8.0 yazılımı) üretilmektedir. Bu doğrultuda, Orhaneli Termik Santrali çevresinde, radyoaktif ve iz element dağılımları Surfer 8.0 programı kullanılarak hazırlanmıştır. Ayrıca FreeHand 8 ve Map Source 3.02 programları kullanılarak jeoloji haritası ve örnekleme haritası oluşturulmuştur.

Deneyisel verilere ilişkin istatistik analizler SPSS 17.0 programı ile yapılmıştır.

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Batı Anadolu'da yer alan linyit yakıtlı Orhaneli termik santrali çevresinde, santral emisyonuna dayalı atmosferik depozisyonu, epifitik liken *Xanthoria parietina* dokusundaki ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklitleri ve termik santral emisyonunu yansıtan; Pb, Ni, Hg, Zn, Cd, Se, As, V, Cu gibi ağır metallerle izlendiği bu çalışmada elde edilen bulgular ve gözlenen ilişkiler aşağıdaki başlıklar altında detaylandırılmıştır.

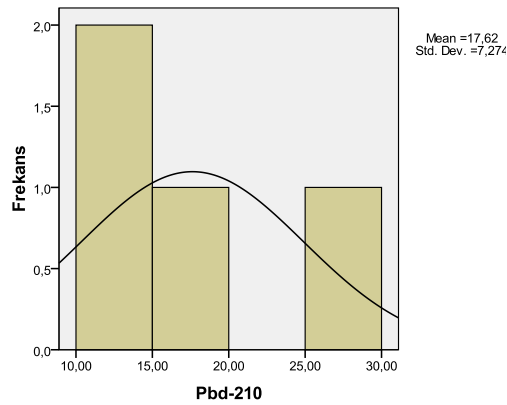
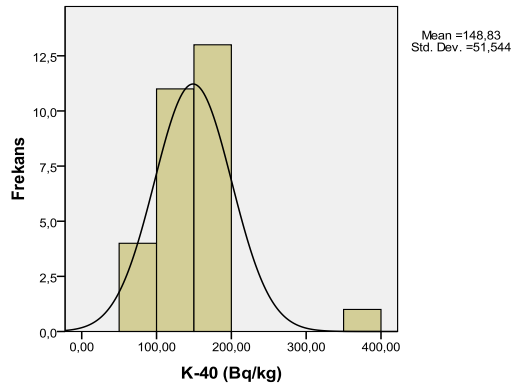
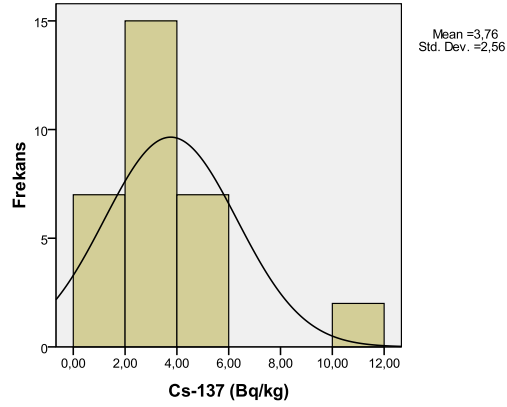
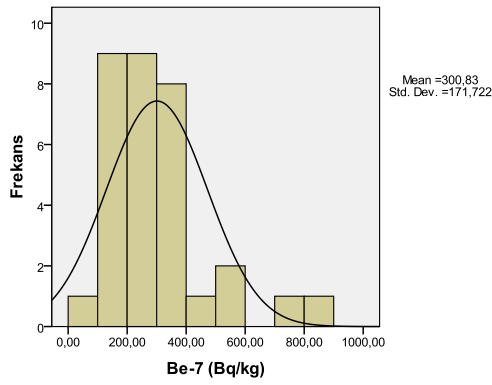
4.1. Santral Çevresindeki Likenlerde ^7Be , ^{137}Cs , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{238}U ve ^{232}Th Radyonüklit İçerikleri

Orhaneli termik santrali çevresinde Nisan - Haziran 2010 dönemi boyunca 32 istasyondan toplanan liken örneklerinde ^7Be , ^{137}Cs , ^{40}K ve ^{210}Pb radyonüklitleri gama spektroskopik olarak saptanırken, ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklitleri, ICM-MS yöntemi ile tayin edilmiştir. Liken dokusunda gözlenen doğal ve yapay radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması, medyanı, geometrik ortalaması, minimum ve maksimum değerleri ve standart sapmaları SPSS 11.0 istatistik programı kullanılarak derlenmiş ve Çizelge 4.1'de verilmiştir. Ayrıca, bu radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları Şekil 4.1 (a ve b)'de grafik edilmiştir.

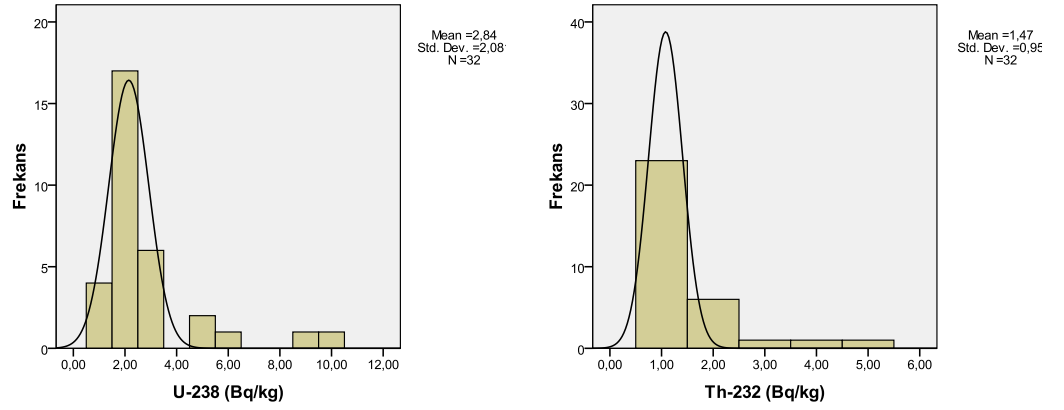
Elde edilen radyonüklit frekans dağılımlarının log-normal- normal dağılıma uygunluğu Q-Q Plot grafikleri (Minitab 16.0) ile test edilmiş ve yapılan üçlü analiz sonucunda; ^7Be , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklit frekans dağılımlarının yüksek korelasyon katsayıları ile (sırasıyla $r^2 = 0,993$, $0,956$, $0,966$) log- normal dağılıma uygunluğu gösterilmiştir (Şekil 4.2). Benzer şekilde ^{238}U ($r^2 = 0,917$), ^{232}Th ($r^2 = 0,787$) ve ^{210}Pb ($r^2 = 0,988$) frekans dağılımlarına uygulanan Q-Q plot testi, bu radyonüklitlerin yüksek korelasyon katsayıları ile log-normal dağıldığı göstermiştir (Şekil 4.3).

Çizelge 4.1 Liken dokusunda gözlenen ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik.

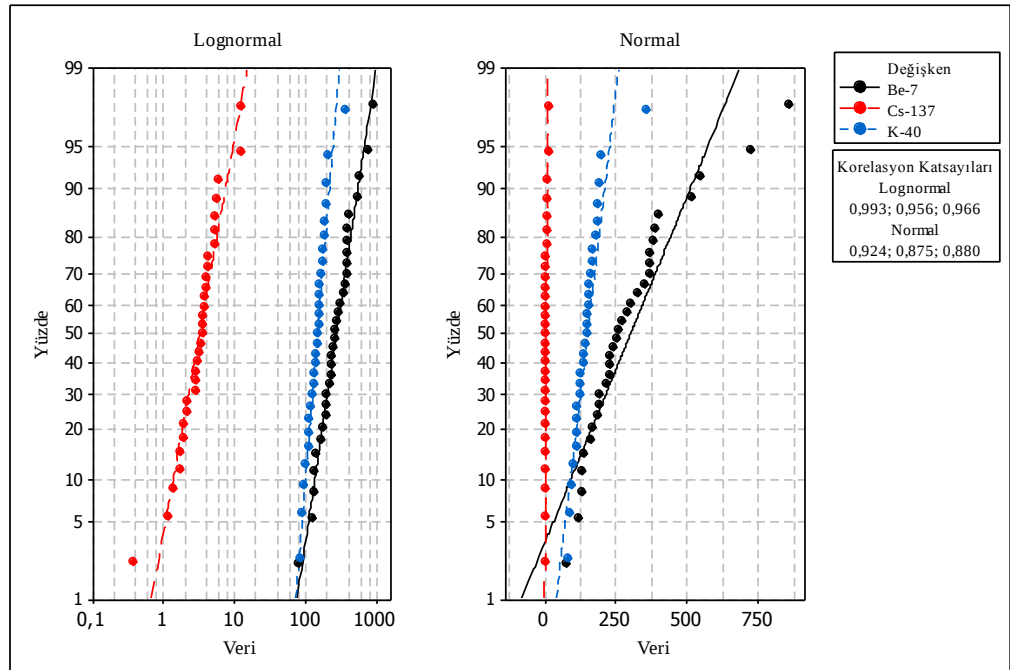
Radyonüklit	N	Aktivite Konsantrasyonu (Bq kg^{-1})						
		Aritmetik Ortalama	Medyan	Geometrik Ortalama	Std. Sapma	Min.	Maks.	Varyasyon Katsayısı (%)
^7Be	32	300,83	254,81	262,14	171,72	78,31	860,00	57,08
^{137}Cs	31	3,76	3,46	3,09	2,56	0,36	11,96	68,08
^{40}K	30	148,83	147,72	142,08	51,54	82,72	357,85	34,63
^{238}U	32	2,84	2,00	2,39	2,08	1,00	10,00	73,24
^{232}Th	32	1,47	1,00	1,29	0,95	1,00	5,00	64,63
$^{210}\text{Pb}_d$	32	17,62	15,09	16,65	7,27	12,27	28,04	41,26



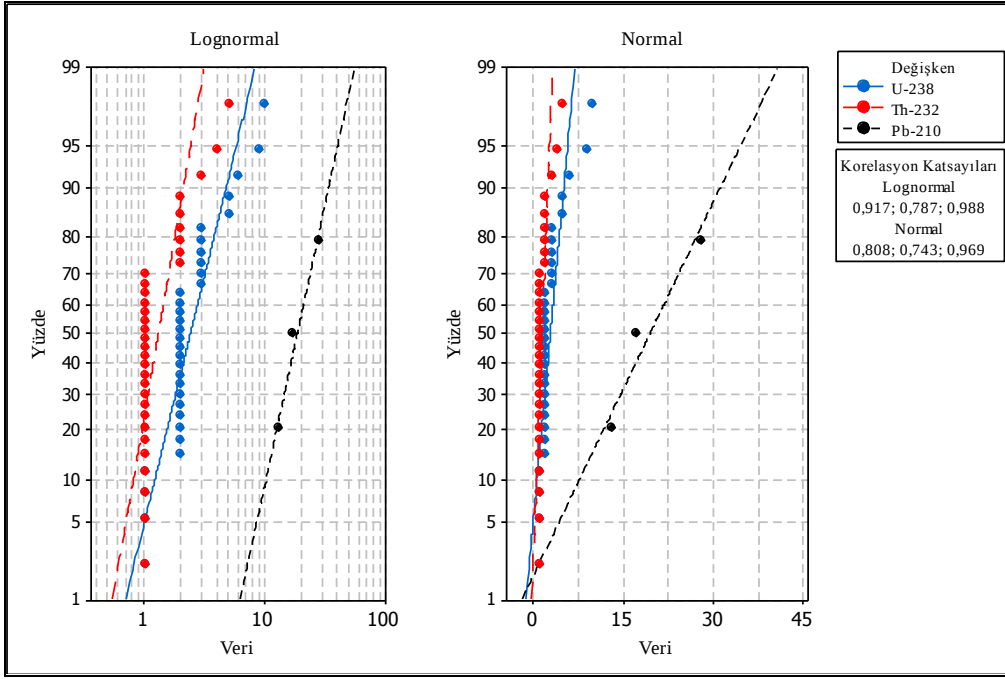
Şekil 4.1a ^7Be , ^{137}Cs , ^{40}K ve ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları frekans dağılımları.



Şekil 4.1b ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları frekans dağılımları



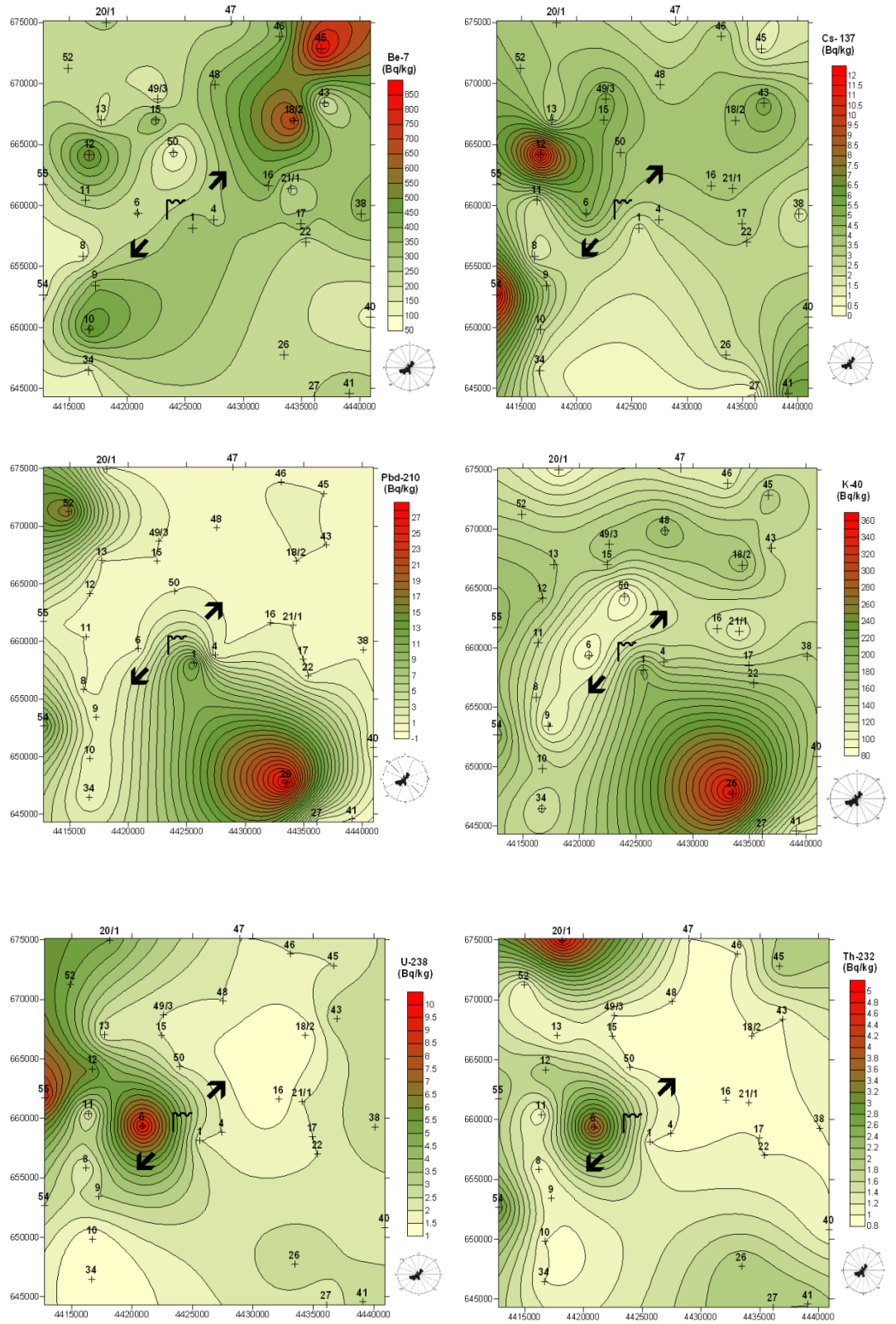
Şekil 4.2 ^7Be , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklit frekans dağılımlarına ilişkin q-q plot testi.



Şekil 4.3 ^{238}U , ^{232}Th ve ^{210}Pb radyonüklit frekans dağılımlarına ilişkin q-q plot testi.

Çalışılan bölgede, doğal ve yapay radyonüklit dağılımlarını yansıtacak haritalar Surfer 8 programı kullanılarak Kriging gridding metodu ile oluşturulmuştur (Şekil 4.4). Çalışma alanındaki hakim rüzgar doğrultuları ve santral yerleşimi de bu haritalar üzerinde gösterilmiştir.

İlgili dağılım haritaları incelendiğinde; ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklitlerinin tesis çevresinde yoğunlaştığı ve nispeten benzer dağılım gösterdiği gözlenmektedir. Anomali gösteren bu alanlarda, liken dokusunda saptanan en yüksek ^{238}U ve ^{232}Th aktiviteleri sırası ile; 11 Bqkg^{-1} ve 5 Bqkg^{-1} dir. Bu dağılımlarda bölge topografyası ve hakim rüzgar yönlerinin etkisi gözlenmezken, ^7Be ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin güneybatı ve kuzeydoğu yönlerinde yoğunlaştığı ve söz konusu dağılımların örnekleme bölgesindeki baskın rüzgar yönüyle örtüştüğünü görülmektedir. Çalışma alanının topografik haritası (Bölüm 3.2) incelendiğinde, ^7Be depozisyonunun, tesisin güney-doğusunda, ^{137}Cs depozisyonunun ise tesisin kuzey-doğusunda yer alan alçak düzlükler boyunca yayılım gösterdiği gözlenmektedir. ^{210}Pb ve ^{40}K radyonüklitleri ise benzer şekilde, tesisin güney-doğu yönünde yoğunlaşmaktadır. Anomali gösteren bu alanlarda, liken dokusunda saptanan en yüksek ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırası ile; 860,12, 356 ve 28 Bqkg^{-1} dir.



Şekil 4.4 ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonu dağılım haritaları.

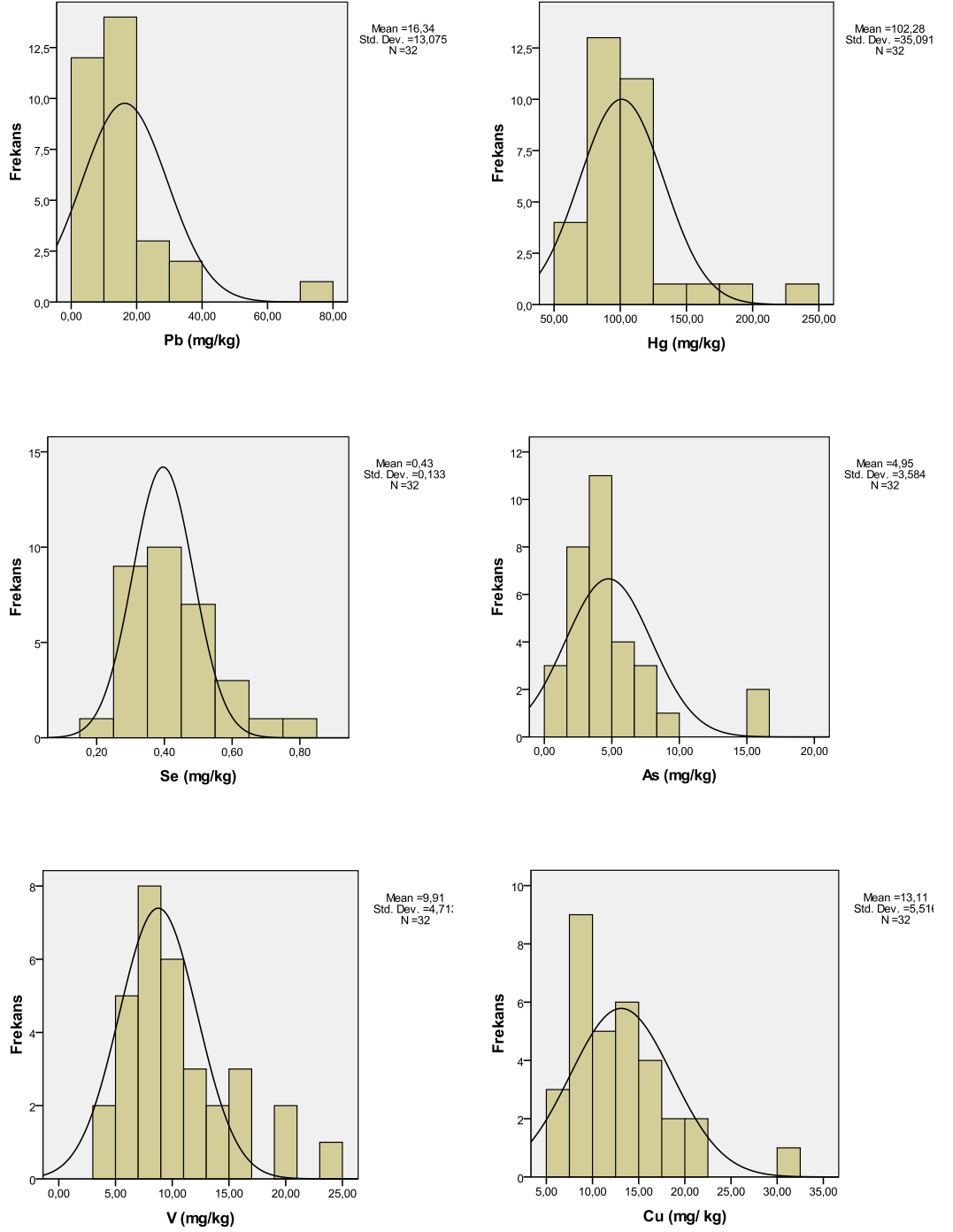
4.2. Santral Çevresindeki Likenlerde İz Element İçerikleri

Örnekleme bölgesinden alınan likenlerdeki iz element veya ağır metal konsantrasyon dağılımlarına SPSS 17.0 programı yardımıyla parametrik olmayan “One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test” istatistiği uygulanmıştır. Tanımlayıcı istatistik metot ile aritmetik ortalama, standart sapma, medyan, geometrik ortalama, varyasyon katsayısı ile maksimum ve minimum değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.2). Bu değerler kullanılarak iz element konsantrasyonlarının frekans histogramları grafik edilmiştir (Şekil 4.5).

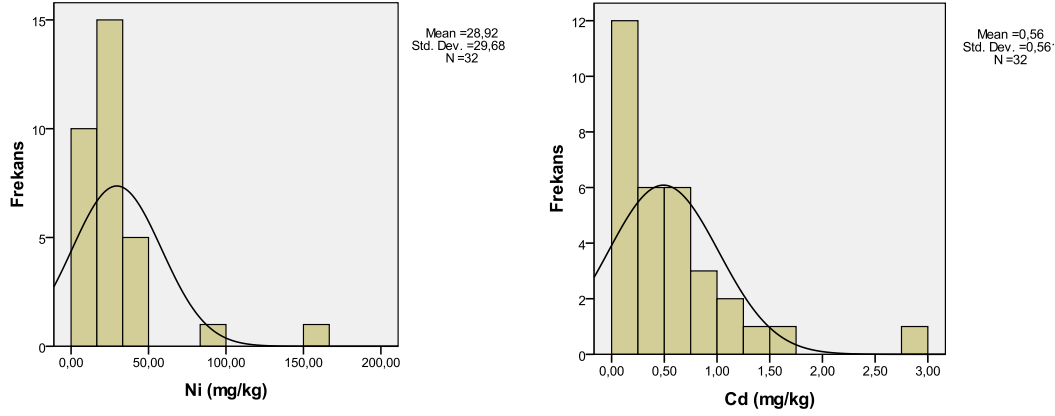
Çizelge 4.2 Liken dokusunda gözlenen iz element konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistiği.

İz Element	Konsantrasyon (µg/g)						
	N	Aritmetik Ortalama	Medyan	Geometrik Ortalama	Std. Sapma	Min.- Maks.	Varyasyon Katsayısı (%)
Pb	32	16,34	11,08	13,53	13,07	5,66- 75,74	79,99
Hg	32	102,28	94,00	97,73	35,09	58- 234	34,31
Se	32	0,43	0,40	0,41	0,13	0,20-0,80	30,23
As	32	4,95	4,10	4,09	3,58	1,40- 16,60	72,32
V	32	9,91	9	8,95	4,71	4,00- 23,00	47,53
Cu	32	13,11	12,03	12,18	5,52	6,26- 32,47	42,10
Zn	32	138,26	120,30	112,40	94,10	37- 449	68,06
Ni	32	28,92	20,55	22,36	29,68	7,90- 164	102,63
Cd	32	0,55	0,36	0,36	0,56	0,08- 2,76	101,82

Çizelge 4.2 incelendiğinde, termik santralden kaynaklanan iz element konsantrasyonlarının; **Se < Cd < As < V < Cu < Pb < Ni < Hg < Zn** sırasını izlediği gözlenmektedir.

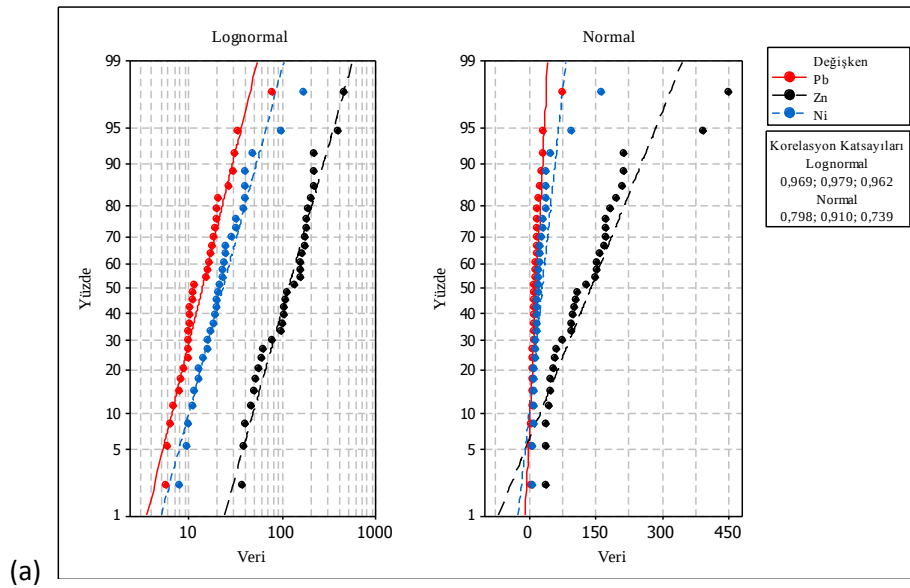


Şekil 4.5 Ağır metal konsantrasyonlarının frekans dağılımları.

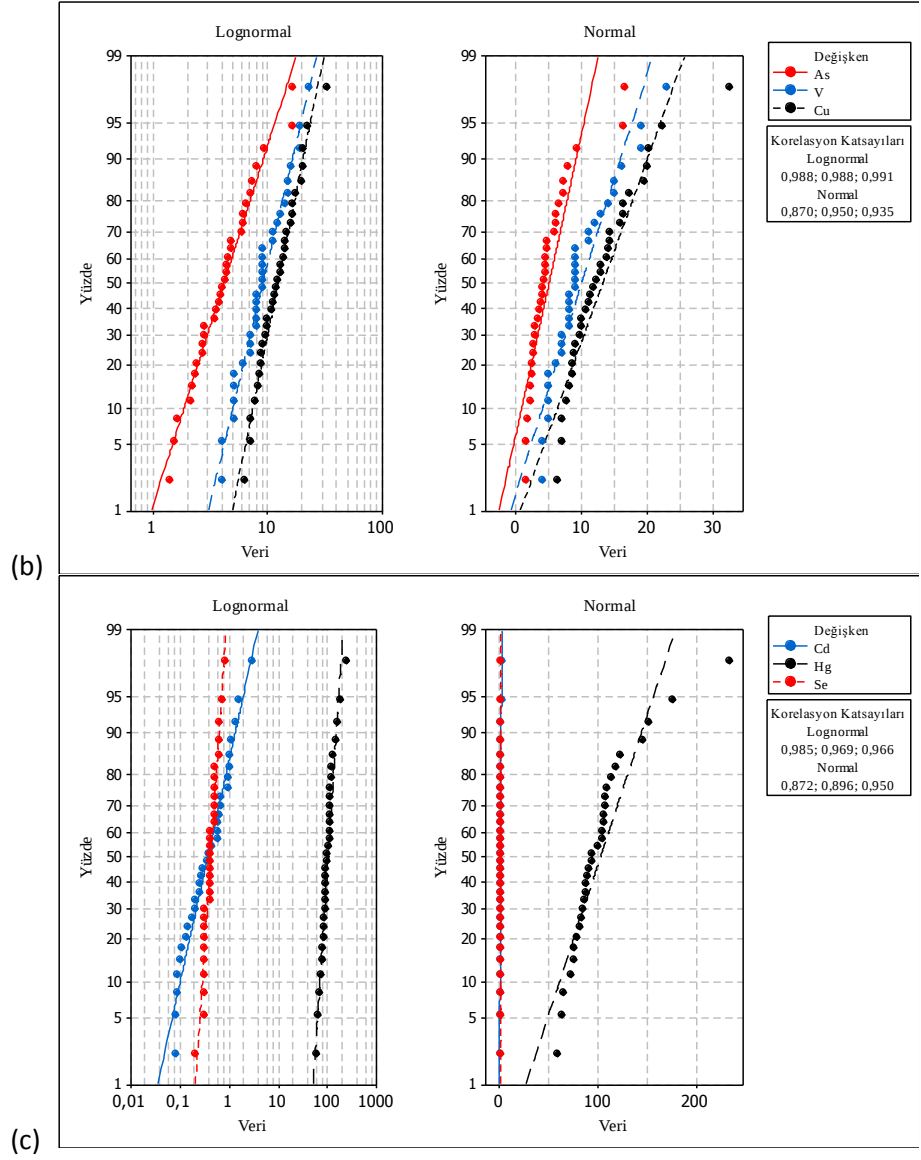


Şekil 4.5 Devam ediyor.

Ağır element konsantrasyon dağılımlarının kendi içerisinde lognormal – normal dağılıma uygunluğu Q-Q plot grafikleri (Minitab 16.0) ile test edilmiştir (Şekil 4.6). Yapılan analiz; Pb, Zn, Ni, As, V, Cu, Cd, Hg ve Se frekans dağılımlarının yüksek korelasyon katsayıları ile lognormal dağılıma uyduğunu göstermiştir (Şekil 4.6).

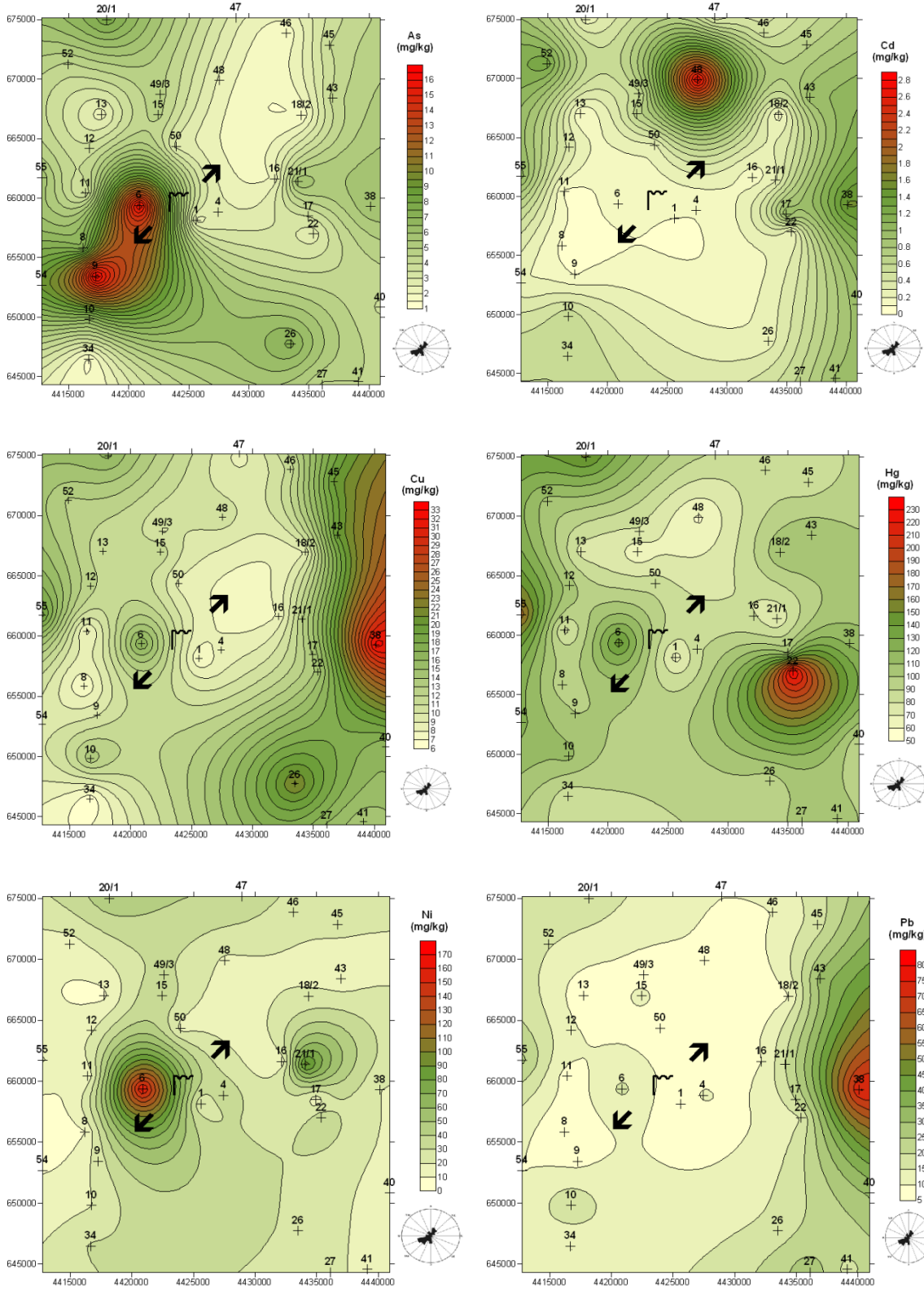


Şekil 4.6 Pb, Zn, Ni (a), As, V, Cu (b), Cd, Hg, Se (c) frekans dağılımlarına ilişkin q-q plot testi.

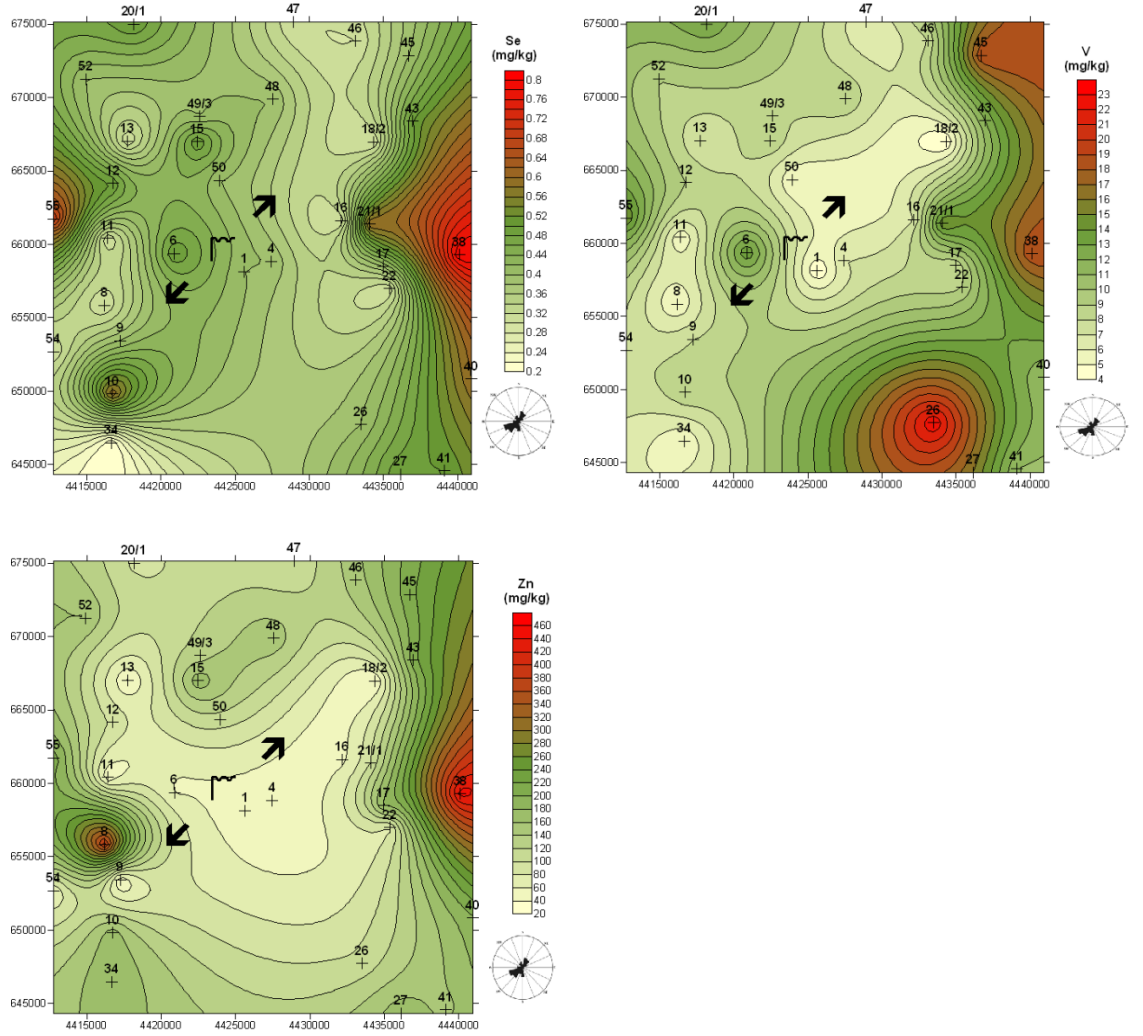


Şekil 4.6 Devam ediyor.

Çalışma alanındaki iz element konsantrasyon dağılımı, Surfer 8 programı kullanılarak Kriging gridding metodu ile hakim rüzgar yönü ve santral bacası detaylandırılarak haritalanmış ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 İz element konsantrasyon dağılım haritaları.



Şekil 4.7 Devam ediyor.

İlgili haritalardan görüleceği üzere, Orhanlı termik santrali çevresinde iz element kirlilik dağılımlarının, tesisin batısında, güneyinde, güney-doğu ve güney-batısında ve kuzeyinde yoğunlaştığı gözlenmektedir. Ni ve As' in genellikle tesisin batısında, Pb, Zn, Se, Cu, Cd, V ve Hg' nin genellikle tesisin doğusunda yoğunlaştığı gözlenmektedir. Bu elementlerden; Zn, Se ve Cu kirlilik dağılımlarının topografyadan ve hâkim rüzgâr yönünden etkilendiği düşünülmektedir.

4.3. Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları ve İz Elementler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Kömürün organik kısmında bulunan iz elementlerin kolayca buharlaştığı, inorganik kısmında yer alanların ise yakma sistemine bağlı olarak külde konsantre olduğu ileri sürülmektedir. Yanan kömürde iz element davranışının araştırıldığı

çalışmalarda iz elementler; uçucu olup gazlı fazda kalanlar: Hg, Se (Grup 1), kısmen buharlaşan ve baca gazı soğurken uçucu külde kalanlar: As, Cd, Pb, Sb, Sn, Zn, Cr, Co, Cs, Cu, (Grup 2) ve buharlaşmayarak dip külü ve uçucu kül arasında eşit olarak dağılabilenler: Mn, Sc, Th, Rb, Zr, V (Grup 3) olmak üzere gruplandırılmaktadır (Huang et al., 2004; Xu et al., 2003). Metal emisyonları ve uçucu kül parçacık boyutu arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalarda, Cu, Cd, Pb, As, Se, Sb ve V elementlerin konsantrasyonlarının azalan parçacık boyutu ile önemli oranda arttığı ve mikron altı parçacıklarda zenginleştiği öne sürülmektedir (Huang et al., 2004, Yaprak vd., 2007). Bu doğrultuda, bu iz elementler arasından termik santral emisyonunu yansıtan Se ile küçük boyutlu parçacıklarda zenginleşen Pb, Cu, Cd, As ve V metal konsantrasyonlarına karşılık likende ölçülen ^7Be , ^{137}Cs , ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklit aktivite konsantrasyonları arasındaki ilişki incelenmiştir.

Tesis çevresindeki iz element ile radyonüklit dağılımlarını gösteren grafik ve haritalar ile birlikte; bunların emisyon, taşınım ve depozisyon karakteristiklerin net bir şekilde açıklanabilmesi için konsantrasyon değerlerinin istatistiksel analizi de gereklidir. Bu nedenle ölçülen aktivite ve iz element konsantrasyonlarının, Pearson korelasyon analizi kullanılarak korelasyon matrisi oluşturuldu. Santral emisyonuna dayalı ağır metal ve radyonüklitler arasındaki değişimini incelemek üzere oluşturulan korelasyon matrisleri Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Orhaneli termik santrali çevresinde liken dokusunda gözlenen iz elementler arasındaki korelasyon.

Korelasyon	Pb	Cd	Se	As	V	Cu
Pb	1	,436*	,759**	,095	,624**	,867**
Cd	,436*	1	,390*	-,180	,257	,380*
Se	,759**	,390*	1	,273	,603**	,724**
As	,095	-,180	,273	1	,316	,233
V	,624**	,257	,603**	,316	1	,867**
Cu	,867**	,380*	,724**	,233	,867**	1

* Korelasyon 0,05 seviyesinde anlamlı, ** Korelasyon 0,01 seviyesinde anlamlı.

İlgili Çizelge incelendiğinde, Pb, Cd, Se, V ve Cu arasında korelasyon gözlenirken, As elementi bunların dışında kalmıştır. Buharlaşarak baca gazından atmosfere yayılan ve termik santral emisyonunu yansıtan kirletici olarak referans alınan Se (Yaprak vd., 2007), söz konusu ağır metallerle ilişkilendirildiğinde en yüksek korelasyonu Pb ($r^2 = 0,759$) ile sağlamıştır. Bu doğrultuda, Se ve Pb

elementleri ile birlikte likende dokusunda gözlenen doğal ve yapay radyonüklitler arasındaki ilişkinin incelenmesi uygun görülmüştür.

Çizelge 4.4 Liken dokusunda gözlenen ^7Be , ^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitleri ile termik santral kaynaklı Se ve Pb ilişkileri

Korelasyonlar	Pb	Se	^7Be	^{137}Cs	^{40}K	^{238}U	^{232}Th
Pb	1	,759**	,008	-,146	,047	,159	,046
Se	,759**	1	,032	,051	,012	,414*	,174
^7Be	,008	,032	1	-,029	,082	-,163	-,054
^{137}Cs	-,146	,051	-,029	1	,046	,344	,293
^{40}K	,047	,012	,082	,046	1	-,047	-,050
^{238}U	,159	,414*	-,163	,344	-,047	1	,626**
^{232}Th	,046	,174	-,054	,293	-,050	,626**	1

* Korelasyon 0,05 seviyesinde anlamlı., ** Korelasyon 0,01 seviyesinde anlamlı.

Çizelge 4.4 santralde kömürün yanmasıyla zenginleşen ^{238}U ile baca gazından atmosfere yayılan Se arasında anlamlı bir ilişki ($r^2=0,414$, 0,05 anlamlılık seviyesinde) olduğunu göstermiş ve ^{238}U ile ^{232}Th arasında da pozitif korelasyonu ($r^2=0,626$, 0,01 anlamlılık seviyesinde) ortaya koymuştur. Araştırılan radyonüklitlerden ^7Be , ^{137}Cs ve ^{40}K , kendi aralarında ve diğer değişkenlerle ilişkilendirildiğinde sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı ($p > 0,05$) değildir. İlgili çizelgede incelenen korelasyonlar, çalışma alanındaki hakim rüzgar yönü ve topografyadan bağımsız sonuçlardır. Bu sonuçları daha anlamlı kılmak için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden sağlanan verilerle Orhaneli için oluşturulan rüzgar gülü (Yaprak vd., 2007), ve topografya haritası dikkate alınarak kirleticilerin kaderi değerlendirilmiştir.

4.4 Radyonüklit ve İz Element Konsantrasyonlarının Orhaneli Termik Santrali Çevresinde Hakim Rüzgar Yönü Doğrultusunda İncelenmesi

Orhaneli termik santrali çevresinde hakim rüzgar yönü Güneybatı-kuzeydoğu doğrultusundadır. Bu nedenle radyonüklit ve iz element konsantrasyonlarının bu doğrultularda pozitif ilişki göstermesi beklenmektedir. Bu beklenti doğrultusunda; baskın rüzgar yönündeki örnekleme noktaları kendi aralarında gruplandırılmıştır. Güney-batı yönünü temsil etmesi için; 8, 9, 10, 34 ve 54 numaralı istasyonlar ve kuzey-doğu yönünü temsil etmesi için; 18, 43, 45, 47 ve 48 numaralı istasyonlar inceleme altına alınmıştır. İzlenecek istasyonlar belirlendikten sonra, doğal, yapay radyoelement ve iz element dağılımlarının GB ve KD doğrultusundaki ilişkileri korelasyon matrisleri oluşturularak Çizelge 4.5 - 4.8 altında değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.5 GB doğrultusunda ağır metal konsantrasyon dağılımları arasındaki ilişki.

Korelasyon	Pb	Cd	Se	As	V	Cu
Pb	1	,729	,793	-,196	,676	,839
Cd	,729	1	,216	-,712	,067	,245
Se	,793	,216	1	,305	,793	,951*
As	-,196	-,712	,305	1	,528	,329
V	,676	,067	,793	,528	1	,928*
Cu	,839	,245	,951*	,329	,928*	1

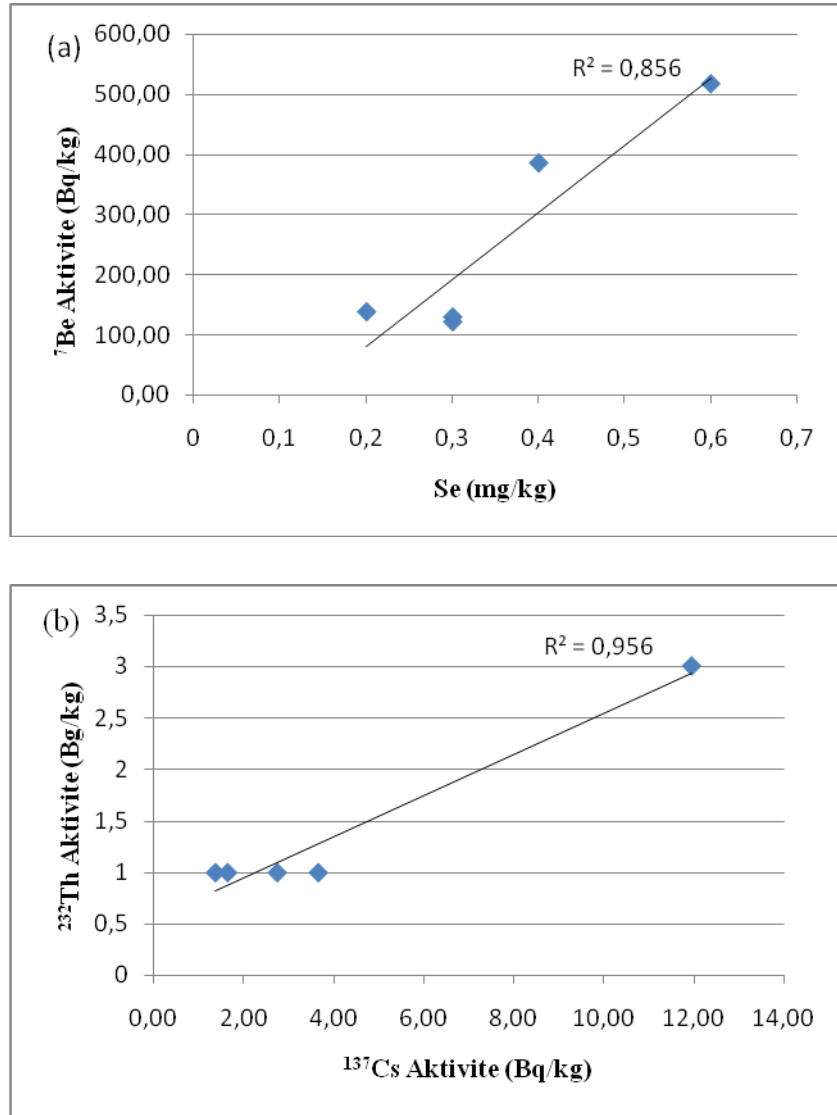
* Korelasyon 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Çizelge 4.6 GB doğrultusunda ^7Be , ^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ile termik santral emisyonuna dayalı Se ve Pb element konsantrasyonları arasındaki ilişki.

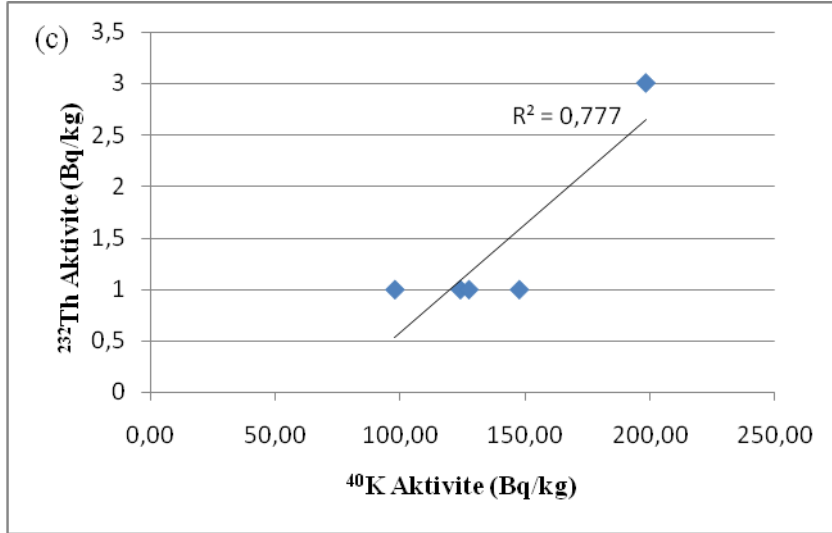
Korelasyon	Pb	Se	^7Be	^{137}Cs	^{40}K	^{238}U	^{232}Th
Pb	1	,793	,762	-,029	,257	-,524	-,087
Se	,793	1	,926*	-,086	-,017	-,165	-,221
^7Be	,762	,926*	1	-,235	-,263	-,192	-,395
^{137}Cs	-,029	-,086	-,235	1	,819	,655	,978**
^{40}K	,257	-,017	-,263	,819	1	,139	,882*
^{238}U	-,524	-,165	-,192	,655	,139	1	,559
^{232}Th	-,087	-,221	-,395	,978**	,882*	,559	1

* Korelasyon 0,05 seviyesinde anlamlıdır.,** Korelasyon 0,01 seviyesinde anlamlıdır.

Güneybatı doğrultusunda elde edilen korelasyon verileri incelendiğinde ^7Be ile termik santral kaynaklı Se arasında pozitif anlamlı bir korelasyon ($r^2 = 0,926$, 0,05 anlamlılık seviyesinde) bulunmuştur. Benzer şekilde, ^{232}Th ile ^{40}K ve ^{137}Cs arasında pozitif bir korelasyon gözlenmiştir. ^{232}Th - ^{137}Cs arasındaki korelasyon katsayısı 0,978, ^{232}Th - ^{40}K arasındaki korelasyon katsayısı ise 0,882'dir. Tesisin GB yönünde, hakim rüzgar doğrultusu ve bölgeye göre nispeten düşük yükseltide yer alan bu istasyonlarda, liken dokusunda gözlenen ^7Be - Se, ^{232}Th - ^{137}Cs ve ^{232}Th - ^{40}K arasındaki ilişkiler, lineer regresyon analizi yapılarak saçılma diyagramları üzerinde Şekil 4.8' gösterilmiştir.



Şekil 4.8 ^7Be -Se (a), ^{232}Th - ^{137}Cs (b) ve ^{232}Th - ^{40}K (c) saçılma diyagramları.

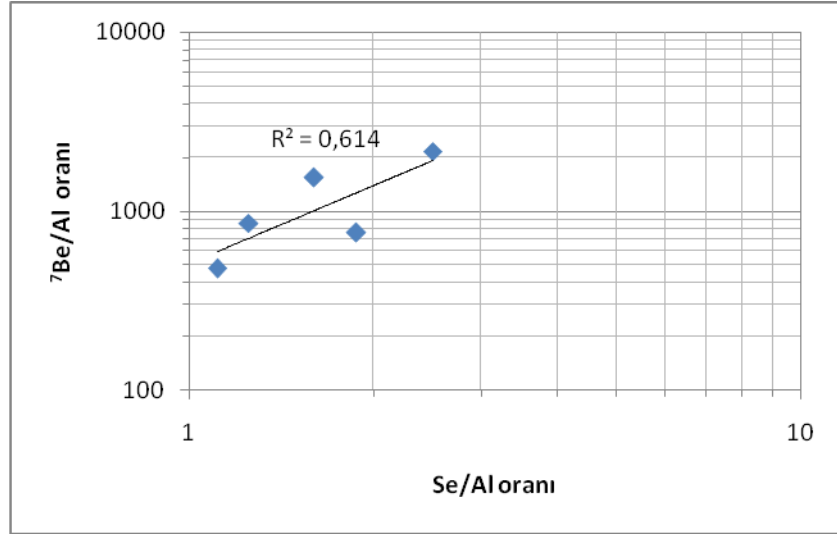


Şekil 4.8 Devam ediyor.

Güney-batılı hakim rüzgar doğrultusunda, ⁷Be ve Se arasındaki benzerlik bu iki değişkenin likene atmosferik depozisyonla ulaştığını göstermektedir. Önceki bölümlerde açıklandığı üzere, ⁷Be ve Se <1µm parçacıklara tutunuyor ve bu parçacıklarla birlikte taşınıyordu (Ioannidou and Papastefanou, 2006; Huang et al., 2004). Ancak, küçük parçacıkların atmosferden süpürülmesinden yaş depozisyonun sorumlu olduğu bilinmektedir (Kim et al., 2000). Bu doğrultuda; örnekleme periyodunun bölgenin yoğun yağış aldığı dönemde gerçekleştirilmesi, ⁷Be ve Se'un aynı kaderi paylaşarak likene yaş depozisyonla ulaştığını göstermektedir.

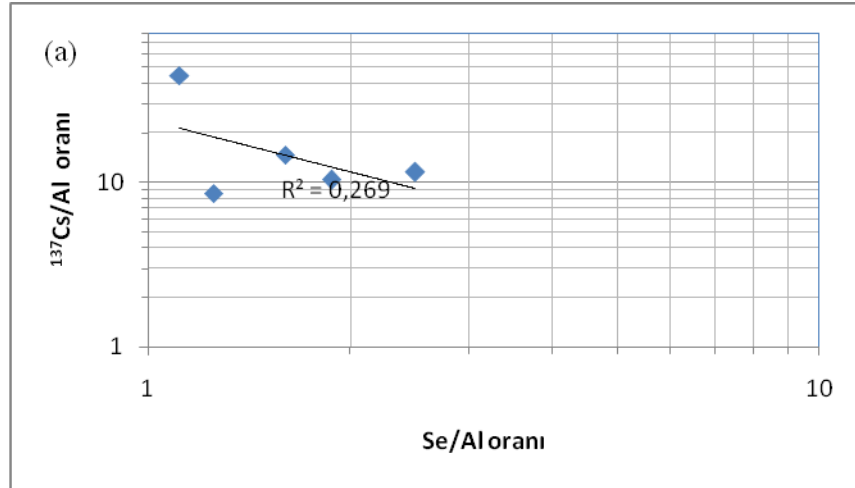
Lineer regresyon ve korelasyon analizi sonucunda, ²³²Th- ¹³⁷Cs ve ²³²Th-⁴⁰K'un GB doğrultusunda benzer dağıldığı gözlenmiştir. Yapılan araştırmalar ¹³⁷Cs ile ⁴⁰K'un toprağın resüspansiyonundan ileri gelen büyük parçacıklarla taşındığını göstermiştir (Ueno et al., 2003; Valles et al., 2009; Hirose et al., 2003). Bu doğrultuda, ²³²Th, ¹³⁷Cs ve ⁴⁰K radyonüklitleri arasında bulunan ilişki bu savı desteklemektedir.

Bu çalışmada, toprak kontaminasyonunu atmosferik depozisyonla ayırt etmek için, daha önce Yaprak vd. (2007) tarafından önerildiği şekilde ⁷Be/Al-Se/Al için log-log saçılma diyagramı oluşturulmuştur. Şekil 4.9' da verilen ⁷Be/Al- Se/Al saçılma diyagramı, kozmojenik ⁷Be radyonüklitinin ve termik santral emisyonu için referans alınan Se elementinin büyük oranda ($R^2 = 0,614$) atmosferik kaynaklı olduğunu göstermiştir.

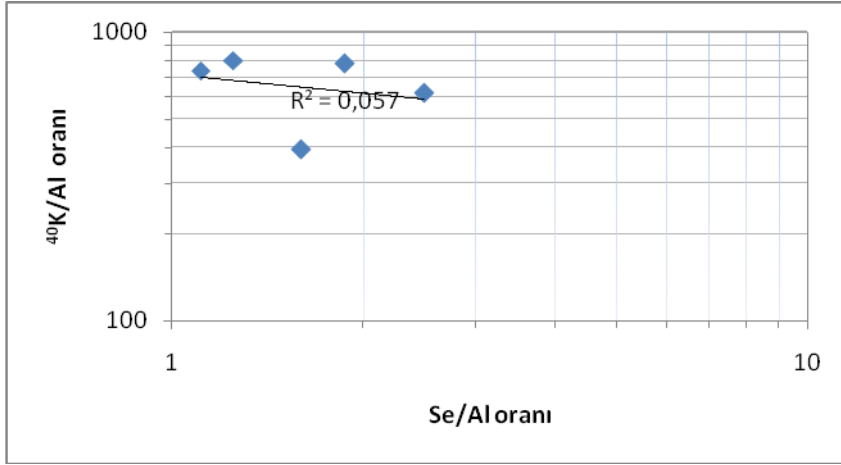


Şekil 4.9 ⁷Be/Al- Se/Al saçılma diyagramı.

Benzer yöntemle, ¹³⁷Cs/Al- Se/Al ve ⁴⁰K/Al- Se/Al log-log saçılma diyagramları oluşturulmuş ve liken dokusundaki ¹³⁷Cs ($r^2=0,269$) ve ⁴⁰K'un ($r^2=0,057$) toprağın resüspansiyonundan kaynaklandığı gösterilmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 ¹³⁷Cs/Al- Se/Al (a) ile ⁴⁰K/Al- Se/Al (b) saçılma diyagramları.



Şekil 4.10 Devam ediyor.

KD doğrultusunda yer alan 18, 43, 45, 47 ve 48 numaralı istasyonlardan toplanan liken örneklerinde gözlenen doğal, yapay radyoelement ve iz element dağılımlarının korelasyon matrisleri (Çizelge 4.7 ve 4.8), bu yönde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiyi işaret etmemektedir. Bu sonuç, termik santral emisyonuna dayalı atmosferik depozisyonun KD yönünde yoğunlaştığını göstermektedir. Özetle, tesis emisyonuna dayalı Se ve kozmojenik ^7Be 'nin bölgedeki hakim rüzgar yönü boyunca lineer ilişki göstermesi santralin çalışmasının bu çevreye önemli bir kirletici artışı sağlamadığını göstermektedir.

Çizelge 4.7 KD doğrultusunda ağır metal konsantrasyon dağılımları arasındaki ilişki.

Korelasyonlar	Pb	Cd	Se	As	V	Cu
Pb	1	,003	,874*	,817*	,519	,838*
Cd	,003	1	,467	,125	,158	,034
Se	,874*	,467	1	,820*	,614	,806
As	,817*	,125	,820*	1	,797	,873*
V	,519	,158	,614	,797	1	,888*
Cu	,838*	,034	,806	,873*	,888*	1

* Korelasyon 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Çizelge 4.8 KD doğrultusunda ^7Be , ^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ile termik santral emisyonuna dayalı Se ve Pb element konsantrasyonları arasındaki ilişki.

Korelasyonlar	Pb	Se	⁷Be	¹³⁷Cs	⁴⁰K	²³⁸U	²³²Th
Pb	1	,874*	-,284	,472	-,117	,793	,145
Se	,874*	1	-,236	,366	,218	,775	,200
⁷Be	-,284	-,236	1	-,449	,505	-,644	,717
¹³⁷Cs	,472	,366	-,449	1	,113	,261	-,654
⁴⁰K	-,117	,218	,505	,113	1	-,410	,137
²³⁸U	,793	,775	-,644	,261	-,410	1	,000
²³²Th	,145	,200	,717	-,654	,137	,000	1

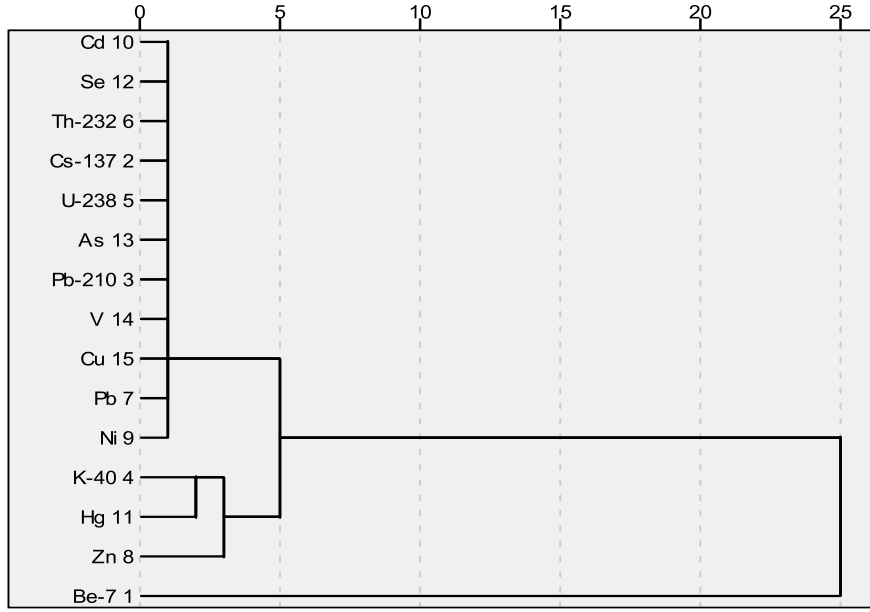
* Korelasyon 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

5. SONUÇLAR

Batı Anadolu’da yer alan linyit yakıtlı Orhaneli termik santrali çevresinde, santral emisyonuna dayalı atmosferik depozisyonu, epifitik liken *Xanthoria parietina* dokusundaki ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklitleri ve termik santral emisyonunu yansıtan; Pb, Ni, Hg, Zn, Cd, Se, As, V, Cu gibi ağır metallerle izlendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar, aşağıda özetlenmiştir.

- Liken dokusunda; ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları saptanmış,
- Liken dokusundaki radyonüklit ve iz element içeriklerinin tanımlayıcı istatistiği yapılmış,
- İz element ve radyonüklit içerikleri için frekans dağılım grafikleri oluşturulmuş ve dağılımlar Q-Q plot istatistiksel grafiği ile test edilmiş,
- Araştırılan radyonüklitler ile Pb, Cd, Cu, As, V ve santral emisyonundan kaynaklanan Se için uzaysal dağılım haritaları çizilmiş,
- Santral çevresinde tüm örnekleme alanı ve hakim rüzgar yönleri üzerindeki istasyonlarda ölçülen konsantrasyonların ilişkisi araştırılmış,
- Elde edilen korelasyonlar doğrultusunda; atmosferik depozisyonu tanımlayabilmek için $^7\text{Be}/\text{Al}$ - Se/Al, $^{137}\text{Cs}/\text{Al}$ - Se/Al ve $^{40}\text{K}/\text{Al}$ - Se/Al log-log saçılma diyagramları elde edilmiş,
- İncelenen radyonüklitlerin ve elementlerin dağılım analizleri tesis emisyonuna dayalı atmosferik kirleticilerin tesisin KD yönünde yoğunlaştığını göstermiştir.
- Sonuç olarak, ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb radyonüklitleri ile birlikte Se’un kömür yakıtlı termik santral kaynaklı atmosferik depozisyon için iyi bir izleyici olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmanın son adımında, incelen radyonüklitler ile ağır metaller arasındaki farklılıklar veya beraberlikler hiyerarşik kümeleme analizi yapılarak incelenmiştir. SPSS 17.0 programı kullanılarak yapılan kümeleme analizi dendogramı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 Hiyerarşik kümeleme analizi dendogramı.

Yapılan kümeleme analizine göre; Pb, Cd, Se, As, Cu, V ve Ni ile ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklitleri bir grup içinde, ^{40}K - Hg bir grup, Zn ve ^7Be ayrı gruplarda yer almaktadır. Bu farklılıkların temel nedeni iz elementlerin ve radyonüklitlerin farklı oluşum ve taşınım mekanizmalarıyla likene ulaşmalarından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte grupların birleşebilme özelliği radyonüklitler ve iz elementlerin atmosferik taşınım süreçlerinin incelenmesinde birlikte kullanılabileceklerine işaret etmektedir.

Orhanel Termik Santrali çevresinde radyonüklit ve ağır metal dağılımlarının analizi, kömür yakıtlı termik santral emisyonuna dayalı kirleticilerin kaderinin izlenmesinde, ^7Be ve Se’un faydalı atmosferik izleyiciler olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca elde edilen sonuçlar, termik santral emisyonu için referans kirletici olan Se’un V ($r^2 = 0,603$) ve Cu ($r^2 = 0,724$) ile yüksek korelasyonu, bu tip çalışmalarda ^7Be ve ^{137}Cs radyonüklitleri ile birlikte V ve Cu’nun da kullanılmasının önerilebileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akata, N., Hasegawa, H., Kawabata, H., Chikuchi, Y., Sato, T., Ohtsuka, Y., Kondo, K., Hisamatsu, S.,** 2007, Deposition of ^{137}Cs in Rokkasho, Japan and its relation to Asian dust, *Journal of Environmental Radioactivity*, 95: 1-9pp.
- Arkian, F., Salahinejad, M., Bidokhti, A. A., Meshkatee, A.,** 2008, Analysis of gross alpha, gross beta activities and beryllium-7 concentrations in surface air: their variations and statistical prediction model, *Environmental Monitoring Assessment*, 140: 325–330pp.
- Arnold, J. R. and Al-Salih, H. A.,** 1955, Beryllium-7 produced cosmic by rays, *Institute for Nuclear Studies*, 121: 451-453pp.
- Azahra, M., Gonzalez-Gomez, C., Lopez-Penalver, J. J., El Bardouni, T., Camacho Garcia, A., Boukhal, H., El Moussaoui, F., Chakir, E., Erradi, L., Kamili, A., Sekaki, A.,** 2004, The seasonal variations of ^7Be and ^{210}Pb concentrations in air, *Radiation Physics and Chemistry*, 71: 789–790pp.
- Bari, A., Rosso, A., Minciardi, M.R., Troiani, F., Piervittori, R.,** 2001, Analysis of heavy metals in atmospheric particulates in relation to their bioaccumulation in explanted pseudovernia furfuracea thalli, *Environmental Monitoring and Assessment*, 69: 205-220pp.
- Beeby, A.,** 2001, What do sentinels stand for?, *Environmental Pollution*, 112: 285-298pp.
- Beck, H. L., Gogolak, C. V., Miller, K. M., Lowder, W. M.,** 1980, Perturbations on the natural radiation environment due to the utilization of coal as an energy source, *In Proceeding of a Symposium on Natural Radiation Environment*, 68p.
- Beckett, P.J., Boileau, L.J.R., Padovan, D., Richardson D.H.S., Nieboder, E.,** 1982, Lichens and mosses as monitorins of industrial activity associated with uranium minig in northern Ontario, Part 2, Distance dependent uranium and lead accumulation patterns, *Environmental Pollution*, 4(2): 91-107pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Beks, J. P., Eisma, D., van der Plicht, J.,** 1998, A record of atmospheric ^{210}Pb deposition in the Netherlands, *The Science of the Total Environment*, 222: 35- 44pp.
- Bennet, J.P., Benson, S.,** 2005, elemental content of lichens of the Point Reyes Peninsula, northern California, *Science of the Total Environment*, 343: 199-206pp.
- Bennet, J.P. and Wetmore C.M.,** 1999, Changes in element contents of selected lichens over 11 years in northern Minnesota USA, *Environmental and Experimental Botany*, 41: 75-82pp.
- Caillet, S., Arpagaus, P., Monna, F., Dominik, J.,** 2001, Factors controlling ^7Be and ^{210}Pb atmospheric deposition as revealed by sampling individual rain events in the region of Geneva, Switzerland, *Journal of Environmental Radioactivity*, 53: 241–256pp.
- Cannizzaro, F., Greco, G., Raneli, M., Spitale, M.C., Tomarchio, E.,** 2004, Concentration measurements of ^7Be at ground level air at Palermo, Italy—comparison with solar activity over a period of 21 years, *Journal of Environmental Radioactivity*, 72: 259–271pp.
- Celik, N., Cevik, U., Celik, A., Koz, B.,** 2009, Natural and artificial radioactivity measurements in Eastern Black Sea region of Turkey, *Journal of Hazardous Materials*, 162: 146–153pp.
- Cevik, U., Celik, N.,** 2009, Ecological half-life of ^{137}Cs in mosses and lichens in the Ordu province, Turkey by Cevik and Celik, *Journal of Environmental Radioactivity*, 100: 23–28pp.
- Clair, Samuel B. ST., Clair, Larry L. ST., Weber, Darrell J., Mangelson, Nolan F., Eggett, Dennis L.,** 2002, Element Accumulation Patterns in Foliose and Fruticose Lichens from Rock and Bark Substrates in Arizona, *The Bryologist*, 105(3): 5415-421pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Conti, M.E., Cecchetti, G.,** 2001, Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment- a review, *Environmental Pollution*, 114:471-492pp.
- Currie, Lloyd A.,** 1968, Limits for Qualitative Detection and Quantative Determination, *Nalytical Chemistry*, 40(3): 586-593pp.
- Daish, S. R., Dale, A. A., Dale, J. C., May, R., Rowe, J. E.,** 2005, The temporal variations of ^7Be , ^{210}Pb and ^{210}Po in air in England, *Journal of Environmental Radioactivity*, 84:457-467pp.
- Delfanti, R., Papucci, C., Benco, C.,** 1999, Mosses as indicators of radioactivity deposition around a coal-fired power station, *The Science of the Total Environment*, 227:49-56pp.
- Dibb, J. E.,** 2007, Vertical mixing above Summit, Greenland: Insights into seasonal and high frequency variability from the radionuclide tracers ^7Be and ^{210}Pb , *Atmospheric Environment*, 41 :5020–5030pp.
- Du, J., Zhang, J., Zhang, J., Wu, Y.,** 2008, Deposition patterns of atmospheric ^7Be and ^{210}Pb in coast of East China Sea, Shanghai, China, *Atmospheric Environment*, 42: 5101–5109pp.
- Duenas, C., Fernandez, M. C., Carretero, J., Liger, E., Canete, S.,** 2005, Deposition velocities and washout ratios on a coastal site (southeastern Spain) calculated from ^7Be and ^{210}Pb measurements, *Atmospheric Environment*, 39:6897–6908pp.
- Dueñas, C., Fernández, M. C., Cañete, S., Pérez, M.,** 2009, ^7Be to ^{210}Pb concentration ratio in ground level air in Málaga (36.7°N, 4.5°W), *Atmospheric Research*, 92: 49–57pp.
- Eisenbud, M.,** 1987, *Environmental Radioactivity*, Academic Press, Orlando, 475p.
- Ellis, K.M. and Smith, J.N.,** 1987, Dynamic model for radionuclide uptake in lichen, *Journal of Environmental Radioactivity*, 5(3): 185-208pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- EPA**, 1990, U.S. Clean Air Act Amendments, Environmental Protection Agency, U.S., 465p.
- Freitas, M.C., Reis, M.A., Marques, A.P., Wolterbeek, T.H.**, 2000, Dispersion of chemical elements in an industrial environment studied by biomonitoring using *Parmelia Sulcata*, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 244(1): 109-113pp.
- Freitas, M.C., Reis, M.A., Alves, L.C., Wolterbeek, Th.H.**, 1999, Distribution in Portugal of some pollutants in the lichen *Parmelia Sulcata*, *Environmental Pollution*, 106: 229-235pp.
- Finkelman, R.B. and Gross, P.M.K.**, 1999, The types of data needed for assessing the environmental and human health impacts of coal, *International Journal of Coal Geology*, 40: 91-101pp.
- Fukuyama, T., Fujiwara, H.**, 2008, Contribution of Asian dust to atmospheric deposition of radioactive cesium (^{137}Cs), *Science of The Total Environment*, 37: 1-7pp.
- Garty, J.**, 1987, Metal amounts in the lichen *Ramalina duriaei* transplanted at biomonitoring sites around a new coal-fired power station after 1 year of operation, *Environmental Research*, 43: 104-116pp.
- Gerasopoulos, E., Zerefos, C.S., Papastefanou, C., Zanis, P., O'Brien, K.**, 2003, Low-frequency variability of beryllium-7 surface concentrations over the Eastern Mediterranean, *Atmospheric Environment*, 37: 1745–1756pp.
- Godoy, J. M., Schuch, L. A., Nordemann, D. J. R., Reis, V. R. G., Ramalho, M., Recio, J. C., Brito, R. R. A., Olech, M. A.**, 1998, ^{137}Cs , $^{226, 228}\text{Ra}$, ^{210}Pb and ^{40}K concentrations in Antarctic soil, sediment and selected moss and lichen samples, *Journal of Environmental Radioactivity*, 41(1): 33-45pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Graustein, W. C. and Turekian K. K.** , 1989, The effects of forests and topography on the deposition of sub-micrometer aerosols measured by lead-210 and cesium-137 in soils, *Agricultural and Forest Meteorology*, 47(2-4): 199-220pp.
- Heinrich, G., Oswald, K., Müller, H.J.,** 1999, Lichens as monitors of radiocesium and radiostrontium in Austria, *Journal of Environmental Radioactivity*, 45:13-27pp.
- Heinrich, P., Coindreau, O., Grillon, Y., Blanchard, X., Gross, P.,** 2007, Simulation of the atmospheric concentrations of ^{210}Pb and ^7Be and comparison with daily observations at three surface sites, *Atmospheric Environment*, 41: 6610–6621pp.
- Hernandez, F., Hernandez-Armas, J., Catalan, A., Fernandez-Aldecoa, J. C., Karlsson, L.,** 2005, Gross alpha, gross beta activities and gamma emitting radionuclides composition of airborne particulate samples in an oceanic island, *Atmospheric Environment*, 39: 4057–4066pp.
- Hirose, K., Aoyama, M., Povinec, P. P.,** 2003, Concentration of particulate plutonium in surface and deep-water samples collected during the IAEA'97 expedition, *Deep-Sea Research II*, 50: 2639–2647pp.
- Hirose, K., Honda, T., Yagishita, S., Igarashi, Y., Aoyama, M.,** 2004, Deposition behaviors of ^{210}Pb , ^7Be and thorium isotopes observed in Tsukuba and Nagasaki, Japan, *Atmospheric Environment*, 38:6601–6608pp.
- Hirose, K., Igarashi, Y., Aoyama, M.,** 2008, Analysis of the 50-year records of the atmospheric deposition of long-lived radionuclides in Japan, *Applied Radiation and Isotopes*, 66: 1675– 1678pp.
- HKKY,** “Hava kalitesinin korunması yönetmeliği”, 1986, Resmi Gazete, Ankara.
- Huang, Y., Jin, B., Zhong, Z., Xiao, R., Tang, Z., Ren, H.,** 2004, Trace elements (Mn, Cr, Pb, Se, Zn, Cd and Hg) in emissions from a pulverized coal boiler, *Fuel Processing Technology*, 86: 23-32pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Igarashi, K., Pavelyev, A., Hocke, K., Pavelyev, D., Wickert, J.,** 2001, Observation of wave structures in the upper atmosphere by means of radio holographic analysis of the radio occultation data, *Advances in Space Research*, 27(6-7): 1321-1326pp.
- Ioannidou, A. and Papastefanou, C.,** 2006, Precipitation scavenging of ^7Be and ^{137}Cs radionuclides in air, *Journal of Environmental Radioactivity*, 85:121-136pp.
- Ioannidou, A., Manolopoulou, M., Papastefanou, C.,** 2005, Temporal changes of ^7Be and ^{210}Pb concentrations in surface air at temperate latitudes (40°N), *Applied Radiation and Isotopes*, 63:277–284pp.
- Jaworowski, Z.,** 1990, Radium and the coal fuel cycle, IAEA Technical Reports Serie, 310: 16p.
- Jeran, Z., Jacirnovic, R., Batic, F., Mavsar, R.,** 2002, Lichens as integrating air pollution monitors, *Environmental Pollution*, 120: 107-113pp.
- Jurging, P.,** 1975, Epiphytische flechten als bioindikatoren der luftverschmutzung, J.Crammer, Vaduz, 164p.
- Karadeniz and Yaprak,** 2007, Distribution of radiocesium and natural gamma emitters in pine needles in coniferious forest sites of Izmir, *Applied Radiation and Isotopes*, 65: 1363–1367pp.
- Karayigit, A.I., Gayer, R.A., Querol, X., Onacak, T.,** 2000, Contents of major and trace elements in feed coals from Turkish coal-fired power plants, *International Journal of Coal Geology*, 44: 169-184pp.
- Karunakara, N., Somashekarappa, H. M., Narayana, Y., Avadhani, D. N., Mahesh, H. M., Siddappa, K.,** 2003, ^{226}Ra , ^{40}K and ^7Be activity concentrations in plants in the environment of Kaiga, India, *Journal of Environmental Radioactivity*, 65:255–266pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Kim, G., Hussain, N., Scudlark, J.R. and Church, T.M.,** 2000, Factors influencing the atmospheric depositional fluxes of stable Pb, ^{210}Pb , and ^7Be into Chesapeake Bay, *Journal of Atmospheric Chemistry*, 36:65–79pp.
- Kirchner, G., Daillant, O.,** 2002, The potential of lichens as long-term biomonitors of natural and artificial radionuclides, *Environmental Pollution*, 120:145-150pp.
- Kramar, M., Radnovic, D., Rakic, S., Matavuly, M.,** 2007, Possible use of terrestrial mosses in detection of atmospheric deposition of ^7Be over large areas, *Journal of Environmental Radioactivity*, 95:53-61pp.
- Kramar, M., Radnovic, D., Mihailovic, D., Lalic, B., Slivka, J., Bikit, I.,** 2009, Temporal variations of ^7Be , ^{210}Pb and ^{137}Cs in moss samples over 14 month period, *Applied Radiation and Isotopes*, 67:1139–1147pp.
- Kulan, A.,** 2006, Seasonal ^7Be and ^{137}Cs activities in surface air before and after the Chernobyl event, *Journal of Environmental Radioactivity*, 90:140-150pp.
- Kural, O.,** 1998, Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri, 779 sayfa.
- Lal D.,. Malhotra P.K, Peters B.,** 1958, On the production of radioisotopes in the atmosphere by cosmic radiation and their application to meteorology, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 12: 306- 328pp.
- Likuku, A. S.,** 2006, Factors influencing ambient concentrations of ^{210}Pb and ^7Be over the city of Edinburgh (55.9 °N, 03.2 °W), *Journal of Environmental Radioactivity*, 87:289-304pp.
- Loppi, S. and Pirintsos, S.A.,** 2003, Epiphytic lichens as sentinels for heavy metal pollution at forest ecosystems (central Italy), *Environmental Pollution*, 121: 327-332pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Loppi, S., Riccobono, F., Zhang, Z. H., Savic, S., Ivanov, D., Pirintsos, S. A.,** 2003, Lichens as biomonitors of uranium in the Balkan area, *Environmental Pollution*, 125(2): 277-280pp.
- Loppi, S., Ivanov, D., Boccardi, R.,** 2002, Biodiversity epiphytic lichens and air pollution in the town of Siena (Central Italy), *Environmental Pollution*, 116: 123-128pp.
- Loppi, S., Pirintsos, S.Arg., De Dominicis, V.,** 1999, Soil contribution to the elemental composition of epiphytic lichens (Tuscany, central Italy), *Environmental Monitoring and Assessment*, 58: 121-131pp.
- Loppi, S. and Nascimbene, J.,** 1998, Lichen bioindication of air quality in the Mt. Amiata Geothermal Area (Tuscany, Italy), *Geothermics*, 27(3): 295-304pp.
- Loppi, S., Malfatti, A., Sani, M. and Whitehead, N. E.,** 1997, Lichens as biomonitors of geothermal radionuclide pollution, *Geothermics*, 26(4): 535-540pp.
- Loppi, S., Nelli, L., Ancora, S. And Bargagli, R.,** 1997, Passive monitoring of trace elements by means of tree leaves, epiphytic lichens and bark substrate, *Environmental Monitoring and Assessment*, 45: 81-88pp.
- Murphy, K.J., Alpert, P., Cosentino, D.,** 1999, Local impacts of a rural coal-burning generating station on lichen abundance in a New England forest, *Environmental Pollution*, 105: 349-354pp.
- Nimis, P.L., Andreussi, S., Pittao, E.,** 2001, The performance of two lichen species as bioaccumulators of trace metals, *The Science of the Total Environment*, 275: 43-51pp.
- Nimis, P.L., Lazzarin, G., Lazzarin, A., Skert, N.,** 2000, Biomonitoring of trace elements with lichens in Veneto (NE Italy), *The Science of the Total Environment*, 255: 97-111pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Okay, A.I.**, 2002, Jadeite-chloritoid-glaucophane-lawsonite blueschists in north-west Turkey:unusually high P/T ratios in continental crust. *Journal of Metamorphic Geology*, 20: 757-768pp.
- Okay, A.I and Kelley, S.**, 1994, Jadeite and chloritoid schists from northwest Turkey: tectonic setting, petrology and geochronology, *Journal of Metamorphic Geology*, 12: 455-466pp.
- Olmez, I., Gulovali, M.C., Gordon, G.E.**, 1985, Trace element concentrations in lichens near a coal-fired power plant, *Atmospheric Environment*, 19(10): 1663-1669pp.
- Papastefanou, C.**, 2006, Residence time of troposferic aerosols in association with radioactive nuclides, *Applied Radiation and Isotopes*, 64: 93- 100pp.
- Papastefanou, C., Manolopoulou, M., Charalambous, S.**, 1988, Radiation measurements and radioecological aspects of fallout from the Chernobyl reactor accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 7(1): 49-64pp.
- Papastefanou, C. and Charalambous, S.**, 1984, On the escaping radioactivity from coal power plants (CCP), *Health Physics*, 46: 293-302pp.
- Papastefanou, C. and Charalambous, S.**, 1978, ²²⁶Ra leaching from fossil bones, *Nuclear Instruments and Methods*, 151(3): 599-601pp.
- Popovic, A., Djordjevic, D., Polic, P.**, 2001, Trace and major element pollution originating from coal ash suspension and transport processes, *Environment International*, 26(4): 251-255pp.
- Quevauviller, Ph., Herzig, R., Muntau, H.**, 1996, Certified reference material of lichen (CRM 482) for the quality control of trace element biomonitoring, *The Science of the Total Environment*, 187: 143-152pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Reis, M.A., Alves, L.C., Wolterbeek, H.Th., Verburg, T., Freitas, M.C., Gouveia, A.,** 1996, Main atmospheric heavy metal sources in Portugal by biomonitor analysis, *Nuclear Instruments and Methods in physics Research B*, 109/110: 493-497pp.
- Sawidis, T., Tsigaridas, K., Tsikritzis, L.,** 2010, Cesium-137 monitoring using lichens from W. Macedonia, N. Greece, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73: 1789–1796pp.
- Say, N. P.,** 2006, Lignite-fired thermal power plantss and SO₂ pollution in Turkey, *Energy Policy*.
- Scerbo, R., Ristori, T., Possenti, L., Lampugnani, L., Barale, R., Barghigiani, C.,** 2002, Lichen (*Xanthoria parietina*) biomonitoring of trace element contamination and air quality assessment in Pisa Province (Tuscany, Italy), *The Science of the Total Environment*, 286: 7-40pp.
- Scerbo, R., Possenti, L., Lampugnani, L., Ristori, T., Barale, R., Barghigiani, C.,** 1999, Lichen (*Xanthoria parietina*) biomonitoring of trace element contamination and air quality assessment in Livorno Province (Tuscany, Italy), *The Science of the Total Environment*, 241: 91-106pp.
- Sehmel G.A.,** 1980, Particle resuspension: a review, *Environment International*, 4(2): 107-127pp.
- Sloof, J.E.,** 1995, Lichens as quantitative biomonitors for atmospheric trace-element deposition using transplants, *Atmospheric Environment*, 29(1), 11-20pp.
- Sloof, J.E. and Wolterbeek, B.Th.,** 1992, Lichens as biomonitors for radiocaesium following the Chernobyl accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 16(3), 229-242pp.
- Senkardesler, A.,** 1999, İzmir ili hava kirliliginin epifitik biyoindikatör likenleri, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 95p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Thomas, P.A., Thomas E.G.,** 1999, Radionuclides in the lichen-caribauhuman food chain near uranium mining operations in Nouthern Saskatchewan, Canada, *Environmental Health Perspectives*, 107(7): 527-537pp.
- Todorovic, D., Popovic, D., Djuric, G.,** 1998, Concentration Measurements of ^7Be and ^{137}Cs in ground level air in the Belgrade City area, *Environmmt International*, 25(1): 59-66pp.
- Todorovic, D., Popovic, D., Djuric, G., Radenkovic, M.,** 2005, ^7Be to ^{210}Pb concentration ratio in ground level air in Belgrade area, *Journal of Environmental Radioactivity*, 79(3):297-307pp.
- Topçuoglu, S., Van Dawen, A. M. and Güngör, N.,** 1995, The natural depuration rate of ^{137}Cs radionuclides in a lichen and moss species, *Journal of Environmental Radioactivity*, 29(2): 157-162pp.
- Ueno, T., Nagao, S., Yamazawa, H.,** 2003, Atmospheric deposition of ^7Be , ^{40}K , ^{137}Cs and ^{210}Pb during 1993-2001 at Tokai-mura, Japan, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 255(2): 335–339pp.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation,** 1982, Ionizing radiation: Sources and biological effects, United Nations, New York.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation,** 1988, Sources, effects and risks of ionizing radiation, United Nations, New York.
- Uğur, A., Özden, B., Saç, M.M., Yener,G.,** 2003, Biomonitoring of ^{210}Po and ^{210}Pb using lichens and mosses around a uraniferous coal-fired power plant in western Turkey, *Atmospheric Environment*, 37(16):2237-2245pp.
- Valles, I., Camacho, A., Ortega, X., Serrano, I., Blazquez, S., Perez, S.,** 2009, Natural and anthropogenic radionuclides in airborne particulate samples collected in Barcelona (Spain), *Journal of Environmental Radioactivity*, 100: 102–107pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Wolterbeek, H. Th. and Verburg T.G.**, 2004, Atmospheric metal deposition in a moss data correlation study with mortality and disease in the Netherlands, *The Science of the Total Environment*, 319: 53- 64pp.
- Wolterbeek, B.**, 2002, Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives, *Environmental Pollution*, 120(1): 11-21pp.
- Wolterbeek, H. Th., Bode, P and Verburg, T. G.**, 1996, Assessing the quality of biomonitoring via signal-to-noise ratio analysis, *Science of The Total Environment*, 180(2): 107-116pp.
- Wolterbeek, H. Th., Bode, P.**, 1995, Strategies in sampling and sample handling in context of large-scale plant biomonitoring surveys of trace element air pollution, *The Sience of the Total Environment*, 176: 33-43pp.
- Xu, M., Yan, R., Zheng, C., Qiao, Y., Han, J. Sheng, C.**, 2003, Status of trace element emission in a coal combustion process: a review, *Fuel Processing Technology*, 85: 215-237pp.
- Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Sasaki, K., Hirose, K., Igarashi, Y., Kim, C.K.**, 2006, Seasonal and spatial variation of atmospheric ^{210}Pb and ^7Be deposition: Features of the Japan sea side of Japan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 86:110- 131pp.
- Yaprak, G., Erduran, M.N., Gür, F.**, 2007, Batı anadolu termik santralleri çevresinde radyoaktif ve ağır metal kirliliğinin biyomonitörlerle izlenmesi, Ege Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu, Proje No. 007/ 2003, 131s.
- Yaprak, G.**, 1999- 2010, Çevresel Radyoaktivite I-II, Ders Notları.
- Yi, Y., Zhou, P., Liu, G.**, 2007, Atmospheric deposition fluxes of ^7Be , ^{210}Pb and ^{210}Po at Xiamen, China, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 273(1): 157–162pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Yoshimori, M., Hirayama, H., Mori, S., Sasaki, K., Sakurai, H., 2003, Be-7 nuclei produced by galactic cosmic rays and solar energetic particles in the earth's atmosphere, *Advanced Space Research*, 32(12): 2691-2696pp.

ÖZGEÇMİŞ

Melek ÖZDAŞ, 1984 yılında Balıkesir’de doğdu. İlkokul öğrenimini Balıkesir Kayabey İlk Okulu’nda, orta öğrenimini Balıkesir Atatürk Ortaokulu’nda ve lise öğrenimini Balıkesir Lisesi’nde tamamladı. 2003 yılında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümüne kayıtlandı ve 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Nükleer Bilimler Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans’a başladı.