



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İstanbul Hava Partikül Madde (PM_{2.5} ve PM₁₀) Örneklerinde Be-7,
Po-210 ve Pb-210 Radyonüklid Aktivitelerinin ve Akciğer
Biyoveriştirirliklerinin Belirlenmesi**

Esin ÖZTÜRK

Biyoloji Anabilim Dalı

Genel Biyoloji Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Murat BELİVERMİŞ**

Ağustos, 2019

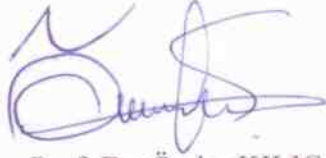
İSTANBUL

Bu çalışma, 19.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı, Genel Biyoloji Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. Murat BELİVERMİŞ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Önder KILIÇ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi Narin ABDULLAH
İstanbul Aydın Üniversitesi
Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 29072 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 29072 numaralı İstanbul Üniversitesi BAP birimi projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Gerek ders aşaması gerekse de tez süresince bilgisini, deneyimini esirgemeyen, çalışmamda tüm destek ve imkanı sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Murat Belivermiş'e saygı ve sevgilerimle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince bilgi ve önerileri ile beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Önder Kılıç'a teşekkür ederim.

Üniversite hayatım ve ardından Yüksek lisans öğrenimim boyunca hep yanımda olan ve yardımlarını her konuda hiç bir zaman eksik etmeyen değerli arkadaşım Uzm. Biyolog Ercan Sıkdokur'a çok teşekkür ederim. Yine Yüksek lisans öğrenimim boyunca hep yanımda olan ve yardımlarını ve sabrını esirgemeyen değerli arkadaşım Uzm. Biyolog Narin Sezer'e çok teşekkür ederim.

Çalışmamın temelini oluşturan hava filtre örneklerini tedarik etmemi sağlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı Çevre Koruma Müdürlüğü çalışanları; Bahar Tuncel ve Arzu Kaya 'ya destekleri ve yardımları için teşekkür ederim.

İki yıldan fazla zamandır hayatımın tüm detaylarında yanımda olan varlığı ve desteği hep yanımda olan Haluk Ayan'a ve hayatım boyunca her zaman yanımda olan desteklerini esirgemeyen canım aileme annem Emel Öztürk ve babam Erol Öztürk 'e sonsuz teşekkürler.

Ağustos 2019

Esin ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. POLONYUM VE KURŞUN RADYONÜKLİDLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	3
2.2. POLONYUMUN VE KURŞUNUN KAYNAKLARI.....	4
2.3. POLONYUM TOKSİSİTESİ	6
2.4. ⁷ BE ÖZELLİKLERİ	7
2.5. PARTİKÜL MADDE – HAVA KİRLİLİĞİ VE RADYASYON İLİŞKİSİ	8
2.6. AKCİĞER BİYOERİŞEBİLİRLİK TESTİ PARTİKÜL MADDE VE RADYASYON İLİŞKİSİ.....	10
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	12
3.1. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE ÖRNEKLERİN ELDE EDİLMESİ.....	12
3.2. ÖRNEKLERİN RADYOMETRİK ÖLÇÜMLERE HAZIRLANMASI.....	16
3.3. ⁷ BE ÖLÇÜMÜ	17
3.4. ²¹⁰ PO ÖLÇÜMÜ	19
3.4.1. ²¹⁰ Po Depozisyonu	22
3.4.2. ²⁰⁹ Po Ara Stok Hazırlanması	23
3.4.3. Alfa Spektrometresi.....	23
3.4.4. ²¹⁰ Po Aktivitesinin Hesaplanması.....	25
3.4.5. ²¹⁰ Pb ÖLÇÜMÜ.....	26
3.5. AKCİĞER BİYOERİŞEBİLİRLİK TESTİ.....	27
3.5.1. Gamble Solüsyonu Hazırlanışı	28
4. BULGULAR.....	30

4.1. İstatistik Testler	31
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	44
5.1. PM Miktarları Açısından Değerlendirme:.....	44
5.2. ⁷ Be Radyonüklid Değerlendirmesi.....	45
5.3. ²¹⁰ Po ve ²¹⁰ Pb Radyonüklid Değerlendirmesi	46
5.4. ²¹⁰ Pb Akciğerbiyoerişebilirlik Değerlendirmesi.....	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ	57



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: U - 238 Serisi.	4
Şekil 3.1: Hava filtre ölçümünde kullanılan SEQ47/50 cihazı	14
Şekil 3.2: Hava kalitesi ölçüm istasyonu	14
Şekil 3.3: Aksaray istasyonu.	15
Şekil 3.4: Üzerinde partikül madde birikmiş filtreler.....	15
Şekil 3.5: Şartlandırma odasında filtrelerin ölçüm öncesi ve sonrasında tartımları için kullanılan hassas terazi.....	16
Şekil 3.6: Üzerinde partikül madde birikmiş EPM ve quartz filtre örnekleri	17
Şekil 3.7: Yüksek Çözünürlüklü Germanyum Dedektörlü Gama Spektrometresi	19
Şekil 3.8: Mikrodalga sistemi (Milestone Start D Microwave Digestion System)	20
Şekil 3.9: Isıtma tablasında asitlerin buharlaştırılması işlemi.....	21
Şekil 3.10: Süzme işlemi.	21
Şekil 3.11: Depozisyon işleminde kullanılan gümüş disk ve teflondan yapılmış taşıyıcı aparat	22
Şekil 3.12: Alfa spektrometresi ölçümü öncesinde depozisyon işlemi	23
Şekil 3.13: Alfa Spektrometresi	24
Şekil 3.14: Alfa spektrometresinde ^{210}Po ve ^{209}Po pikleri	25
Şekil 4.1:Kadıköy istasyonundan elde edilen PM ₁₀ Miktarı Miktarı($\mu\text{g m}^3$).....	33
Şekil 4.2: Kadıköy İstasyonu mevsimlere göre PM ₁₀ miktarı dağılım grafiği.....	34
Şekil 4.3: Kadıköy İstasyonu ^7Be aktivite dağılım grafiği (mBq/m^3).....	36
Şekil 4.4: Kadıköy İstasyonu mevsimlere göre ^7Be aktivite konsantrasyon dağılım grafiği (mBq/m^3).....	36
Şekil 4.5: Kadıköy İstasyonu mevsimlere göre ^{210}Po aktivite konsantrasyon dağılım grafiği.....	38
Şekil 4.6: Kadıköy istasyonu mevsimlere göre ^{210}Pb aktivite konsantrasyon dağılım grafiği.....	39
Şekil 4.7: Kadıköy istasyonundan gelen örneklerdeki ^{210}Pb aktivite dağılım grafiği.....	40
Şekil 4.8: Aksaray istasyonundan elde edilen örneklerdeki ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları dağılım grafiği (mBq/m^3).	41
Şekil 4.9: Akciğer Biyoerişebilirlik Testi Gamble solüsyonunda ölçülen ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları dağılım grafiği (mBq/m^3).	42

Şekil 4.10: Akciğer Biyoerişebilirlik Testi Normal Filtrede ölçülen ^{210}Pb aktivite konsantrasyon dağılım grafiği (mBq/m^3).....	43
Şekil 4.11: Kadıköy PM_{10} Örneklerinde $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ Oranı.....	43



TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: ^{210}Po , ^{210}Pb ve ^7Be ölçümü için kullanılan filtrelerin elde edildiği istasyon ve örnekleme tarihleri	13
Tablo 4.1: Kadıköy istasyonundan elde edilen PM_{10} filtre örneklerinin birim hava hacmindeki miktarları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve örnekleme gün sayısı	32
Tablo 4.2: Aksaray İstasyonundan elde edilen filtre örneklerinin $\text{PM}_{2.5}$ miktarı (μg) ve örnekleme gün sayısı	33
Tablo 4.3: Kadıköy istasyonundan elde edilen PM_{10} örneklerindeki ^7Be aktivite konsantrasyonları (mBq/m^3)	35
Tablo 4.4: Aksaray istasyonundan elde edilen $\text{PM}_{2.5}$ örneklerindeki ^7Be aktivite konsantrasyonları (mBq/m^3)	37
Tablo 4.5: Kadıköy istasyonunda elde edilen PM_{10} örneklerindeki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları	37
Tablo 4.6: Aksaray istasyonundan elde edilen $\text{PM}_{2.5}$ örneklerindeki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları	38
Tablo 4. 7: Kadıköy istasyonundan elde edilen PM_{10} örneklerindeki ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları	39
Tablo 4.8: Aksaray istasyonundan elde edilen $\text{PM}_{2.5}$ örneklerindeki ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları	40
Tablo 4.9: Akciğer Biyoveriştirlik Testi Gamble solüsyonunda ölçülen ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları (mBq/m^3)	41
Tablo 4.10: Akciğer Biyoveriştirlik Testi Normal Filtrede ölçülen ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları (mBq/m^3)	42
Tablo 5.1: Hava patikül madde örneklerinde yapılan çalışmalarda ölçülen ^7Be aktivite konsantrasyonları	46

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
ml	: Mililitre
L	: Litre
µg	: Mikrogram
g	: Gram
kg	: Kilogram
µm	: Mikrometre
cm	: Santimetre
mm ³	: Milimetreküp
m ³	: Metreküp
M	: Molar
°C	: Santigrat derece

Kisaltmalar	Açıklama
Po	: Polonyum
Pb	: Kurşun
Be	: Berilyum
Bq	: Becquerel
mBq	: MiliBecquerel
PM	: Partikül Madde
PM2.5:	: 2.5 µm ve altındaki partikül madde
PM10:	: 10 µm ve altındaki partikül madde
MeV	: Megaelektron volt
keV	: Kiloelektron volt
LD50	: %50 Letal doz

ÖZET

İstanbul Hava Partikül Madde (PM_{2.5} ve PM₁₀) Örneklerinde Be-7, Po-210 ve Pb-210 Radyonüklid Aktivitelerinin ve Akciğer Biyoerişebilirliklerinin Belirlenmesi

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esin ÖZTÜRK

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Anabilim Dalı Adı

Danışman : Prof. Dr. Murat BELİVERMİŞ

Artan fosil yakıt kullanımı ve şehirleşmeyle birlikte yüksek miktarlarda partikül madde atmosfere karışmaktadır. Hava partikül maddeleri; havada asılı halde bulunan ve boyutları 0.002µm-500µm aralığında değişen çeşitli fraksiyonlardaki katı veya sıvı taneciklerdir. Partikül madde içeriğinde pek çok farklı kirletici yer alabilir ve bu kirleticiler sağlık açısından büyük tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada şehir havasındaki partiküllerde içeriğinde radyonüklid aktiviteleri değerlendirilmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı Çevre Koruma Müdürlüğü'nün belirlenen istasyonlarından (Aksaray ve Kadıköy) atmosferik partikül madde toplama cihazları kullanılarak elde edilen hava filtrelerinde PM_{2.5} ve PM₁₀ fraksiyonlarındaki ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb ve ⁷Be radyonüklidlerinin aktiviteleri belirlenmiştir. Farklı zaman dilimleri ve mevsim koşullarında yapılan örneklemelerle yağış, rüzgar, sıcaklık gibi iklim koşullarının radyonüklidlerin aerosollere tutunma düzeyleri ve birikimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. ⁷Be aktivitesi, PM₁₀ 'da 1,34 - 10 mBq/m³ aralığında ölçülmüştür. ²¹⁰Po aktivitesi; PM₁₀ 'da 0,06 - 0,64 mBq/m³ aralığında değişirken; PM_{2.5} 'ta 0,61 – 0,07 mBq/m³ arasında belirlenmiştir. ²¹⁰Pb 'un aktivitesi Kadıköy İstasyonunda ortalama 0,96 mBq/m³ Aksaray istasyonunda ise 0,62mBq/m³ olarak ölçülmüştür. Akciğer biyoerişebilirlik testi (in vitro solunum testi) yöntemi ile ²¹⁰Pb 'un solunum yoluyla insan akciğerlerine ulaşabilecek miktarları tespit edilmiş ve akciğerlere ulaşabilen değerleri ortalama %23 olarak ölçülmüştür.

Ağustos 2019, 71 sayfa.

Anahtar kelimeler: PM, aerosol, ^{210}Po , ^{210}Pb , ^7Be , hava kirliliği, Akciğer biyoerişebilirlik testi.



SUMMARY

Determination Of Be-7, Po-210 And Pb-210 Radionuclide Activities In İstanbul Air Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀) Samples And Their Lung Bioaccessibilities

M.Sc. THESIS

Esin ÖZTÜRK

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Biology

Supervisor : Prof. Dr. Murat BELİVERMİŞ

Large quantities of particulate matter have released into the atmosphere due to increasing fossil fuel use and urbanization. Air particulate matter (PM) is solid or liquid particles suspended in air and various fractions ranging in size from 0,002 µm to 500 µm. Many different contaminants may be present in particulate matter and they are major health hazard. In this study, radionuclide activity in the particulate matter of urban air were evaluated. ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb and ⁷Be activities in PM_{2.5} and PM₁₀ were measured from Kadıköy and Aksaray stations in Istanbul. The air filters were obtained by using atmospheric particulate matter collection devices of Environmental Protection and Control Department of Istanbul Metropolitan Municipality. The effects of meteorological dynamics such as precipitation, wind and temperature on the radionuclide retention and accumulation in aerosols were investigated by sampling in different season changes. Be-7 activity was found in the range of 1.34-10 mBq/m³. Po-210 activity was 0.06-0.64 mBq/m³ in PM₁₀ while it was determined in the range of 0.07-0.61 mBq/m³ in PM_{2.5}. The activity of ²¹⁰Pb is average 0,96 mBq/m³ in Kadıköy station while it is 0,62 mBq/m³ in Aksaray station. The lung bioaccessibility test (in vitro respiration test) method was used to determine the concentration of ²¹⁰Pb that could reach the human lungs was measured as 0,32 mBq/m³.

August 2019, 71 pages.

Keywords: PM, aerosol, ^{210}Po , ^{210}Pb , ^7Be , air pollution, lung bioaccessibility test



1. GİRİŞ

Artan nüfus ve endüstriyel gelişimin getirilerinden biri de kirletici maddelerin oluşumunda ve çevreye dağılımında meydana gelen artıştır. Artan fosil yakıt kullanımı ve endüstriyelleşme ile birlikte atmosfere karışan kirletici miktarı da her geçen gün artmaktadır. Artan bu kirliliğe karşı alınması gereken tedbirlerin önemi de artmaktadır. Hava kirliliği insan sağlığı açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Sanayileşmeyle birlikte havanın kalitesi her geçen gün azalmakta ve hem havadaki partikül madde miktarları hem de bu partiküllere tutunan kirleticilerin miktarları artmaktadır (Gao ve diğ.2017). Bunun sonucu olarak hava kalitesi azaltmakta ve bu durum halk sağlığı açısından büyük risklere yol açmaktadır. Hava partikül maddeleri, havada asılı halde bulunan tanecik boyutu $0.002\mu\text{m}$ - $500\mu\text{m}$ arasında değişkenlik gösteren çeşitli yoğunluklardaki katı veya sıvı taneciklerdir. Partikül madde içeriğinde zararlı veya kanserojen pek çok kimyasal maddeyi barındırabilir (Özbeyaz ve ark. 2016). Partikül madde özellikle yüksek konsantrasyonlarda cıva, kurşun, kadmiyum gibi ağır metaller veya kanserojen etkili radyoaktif element içerebilmektedir. Başta solunum olmak üzere çeşitli maruziyet yolları ile insana kadar ulaşmakta ve sağlık açısından risk oluşturmaktadır. PM (özellikle aerosol çapı $2.5\mu\text{m}$ 'den küçük tanecikler $\text{PM}_{2.5}$) konsantrasyonu ve maruz kalınan süreye bağlı olarak özellikle solunumla ilgili ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Jandacka ve diğ.2017). Bu sağlık sorunlarına kronik bronşit, akciğer fonksiyonlarında düşüş, kalp atışlarında düzensizlik ve akciğer hastalıkları gösterilebilir. Söz konusu riskler göz önüne alındığında atmosfere dağılan partikül maddelere tutunan kirleticileri nitel ve nicel olarak belirlemek oldukça büyük önem teşkil etmektedir. İstanbul nüfus yoğunluğu fazla olan, iki kıta arasında yer alan ve kentleşmenin her geçen gün arttığı, hava kirliliği açısından büyük tehditler barındıran bir şehirdir. İstanbul kent havasında çevresel kirlilik her geçen gün artmakta, bu da iyileştirme çalışmaları yapılmasını ve risklerin analiz edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu tez çalışmasında İstanbul kent havasında PM örnekleri radyonüklid kirliliği bakımından değerlendirilmiştir. İstanbul'un trafik ve insan yoğunluğu fazla olan iki ilçesinde; Aksaray ve Kadıköy; bulunan hava izleme istasyonlarından alınan hava filtre örneklerinde PM_{10} ve $\text{PM}_{2.5}$ 'da ^{210}Po , ^{210}Pb ve ^7Be radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Po-210 partikül reaktif özellikte ve yüksek enerjili alfa (5.3 MeV) radyasyonu yayan bir radyonükliddir. ^7Be canlı metabolizması için gerekli olmayan aynı zamanda

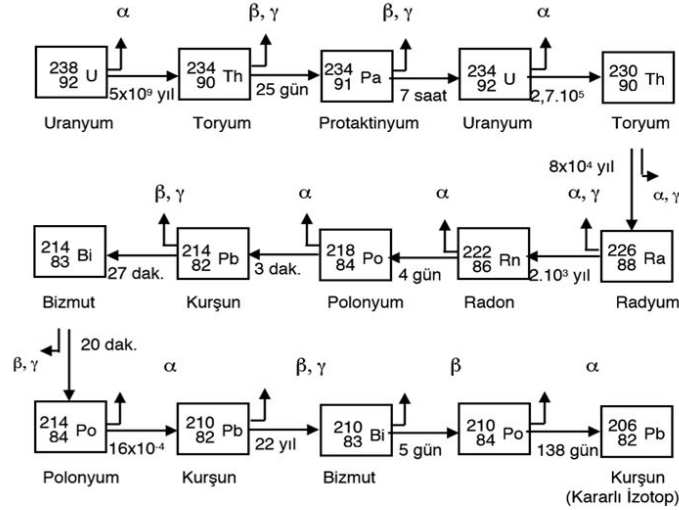
canlılarda toksik etki gösterebilen bir radyonükliddir (Kılıç ve diğ.2014). Kurşun da benzer şekilde insan metabolizması için gerekli olmayan toksik bir elementtir (Sathyapriya ve diğ.2017). Pb-210 radyonüklidi nispeten uzun yarı-ömrüdür (20 yıl) beta ve gama ışınları yaymaktadır. Bu üç radyonüklidin belirli miktarları havadaki partikül maddeye tutunarak insan akciğer-kan bariyerine kadar ulaşabilmekte ve dolaşıma katılmaktadır. In-vitro solunum testleri ile çeşitli solüsyonlar kullanılarak insan solunum sisteminde (ağızdan akciğer-kan bariyerine kadar) partikül maddeleri tutan ve tutamayan miktarlar belirlenebilmektedir (Güney ve diğ.2016). Bu çalışmada in-vitro solunum testinde akciğer bronşiyollerine kadar solunum sisteminde bulunan partikül tutucu sıvıların benzeri yapay bir madde olan “Gamble solüsyonu” kullanılmıştır. Bu solüsyonun kullanılması ile partikül maddede bulunan ^{210}Pb radyonüklidinin akciğer-kan bariyerindeki biyoerişebilirliği değerlendirilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. POLONYUM VE KURŞUN RADYONÜKLİDLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Po-210 ve ^{210}Pb , sırasıyla 138 gün ve 22.3 yıllık yarı ömürleri ile doğal olarak meydana gelen radyonüklidlerdir. Atmosferdeki ^{210}Po ve ^{210}Pb 'nin ana kaynağı topraktan yayılan ^{222}Rn 'dir. ^{210}Po ve ^{210}Pb toprağa kuru ve/veya nemli depozisyonla geri döner (Uğur ve diğ., 2011). Polonyum radyonüklidi; Pierre Curie ve eşi Marie Curie tarafından 1898 yılında uranyumdan meydana gelen radyoaktif bir element olarak keşfedilmiştir. Adı Marie Curie'nin ülkesi olan Polonya'dan gelmektedir (Curie ve Slodowska-Curie, 1898). Polonyumun kütle numaraları 192-218 arasında değişen ve yarı ömürleri 1 günden daha uzun olan üç radyoizotopu (^{208}Po , ^{209}Po ve ^{210}Po) dahil olmak üzere toplamda 25 adet radyoaktif izotopu bulunmaktadır. Bu izotopların büyük çoğunluğu alfa yayıcı olup kısa ömürlüdürler. Polonyum izotopları içerisinde en önemlisi, ^{210}Po 'dur ve uranyum serisinde yer alan radyumun bozunmasıyla meydana gelmektedir (Şekil 2.1). Po-210 yüksek enerjili alfa partikülü yayarak (5.304 MeV) stabil formdaki ^{206}Pb 'ya dönüşür (Cherry ve Shannon, 1974). Polonyumun uzun yarı ömürlü bir radyoizotop olmamasıyla birlikte doğadaki oluşumuna bağlı olarak atmosferde uzun süre kalmasının ve yer kabuğunda yüksek miktarlarda bulunmasının nedeni uranyum serisinde yer alan ^{210}Pb ve ^{226}Ra gibi uzun yarı ömürlü radyonüklidlerin bozunmasıyla devamlı olarak oluşmasıdır. Uranyum serisinde yer alan yarı ömrü nispeten daha uzun olan ^{210}Pb (22 yıl) önce yarı ömrü 5 gün olan ^{210}Bi 'e bozunmakta ardından bu radyonüklid de ^{210}Po 'a bozunmaktadır. Bu bağlamda doğadaki ^{210}Po 'un oluşumu ve miktarı ^{210}Pb 'un oluşumu ve miktarına bağlı olmaktadır. Po-210 radyotoksitesi yüksek olan bir radyoizotoptur ve oluşumu dikkate alındığında canlılar üzerindeki biyolojik etkileri ^{210}Pb 'a göre daha fazladır. Çalışmada ele alınan radyonüklidlerin radyotoksitesitesi en yüksek olanı ^{210}Po dur. Bunun nedeni ^{210}Po 'un spesifik aktivitesinin yüksek olması ($1,67 \times 10^{14}$ Bq/g) diğer radyonüklidlere kıyasla canlılarda birikme potansiyelinin yüksek olması ve alfa radyasyonunun biyolojik etkilerinin çok daha fazla olmasıdır (Uğur, 1998).

Uranyum 238 serisi



Şekil 2.1: U - 238 Serisi.

2.2. POLONYUMUN VE KURŞUNUN KAYNAKLARI

U-238 dünyanın oluşumundan beri var olan (primordial) bir radyonüklid olmasından dolayı bozunmasından meydana gelen ^{210}Po yer kabuğunda sürekli olarak oluşmaktadır (Masque ve diğ., 2002). U-238 bozunma zincirinde yer alan ^{210}Po 'un çevredeki dağılımı; bu bozunma serisindeki ^{226}Ra ve ^{210}Pb gibi diğer radyonüklidlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Uranyum serisindeki radyonüklidlerin kaynağı yer kabuğunu meydana getiren toprak ve ana kayalardır. Bu radyoaktif zincirde; gaz halindeki tek radyonüklid olan radonun (^{222}Rn) bir kısmı atmosfere dağılır, dağılan radon ve radonun bozunma ürünleri ^{210}Po ve ^{210}Pb dahil olmak üzere kuru ve yağ çökeltme şeklinde atmosferik serpinti (fallout) halinde yeryüzüne çeşitli miktarlarda dağılmaktadır (Başkaran, 2011).

Kömür ve akaryakıt gibi fosil yakıtların yakılması da, doğada meydana ^{210}Po 'un kaynaklarından biridir. Kömürün yanmasıyla birlikte atmosfere büyük miktarlarda ^{210}Po ve ^{210}Pb bırakılmaktadır. Dolayısıyla, kömür ile çalışan termik santrallere yakın bölgelerde doğal radyoaktivite seviyelerinin artış gösterdiği görülmektedir. Madencilik faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerdeki oluşan radyoaktivitenin nedeni; maden suyunun drenajı ile yüzeye

getirilen ve daha sonra yakındaki su rezervlerine deşarj edilen ^{238}U ve ^{232}Th 'un bozunmasıdır. Madenlere yakın bölgelerde biriken atıklar meteorolojik dinamiklere bağlı olarak radyoaktif kirlenme meydana getirir (Alam ve Mohammed, 2011). Teknolojinin gelişmesiyle fosil yakıt kullanımı, fosfat, yağ ve gaz endüstrisinin sonucunda çevreye ^{210}Po , ^{210}Pb ve ^{222}Rn gibi radyoaktif atıklar yayılmaktadır (Carvalho ve diğ., 2010; Shakkashiro ve diğ., 2011; Villa ve diğ., 2009). Bu doğrultuda, yapılan geçmiş çalışmalara bakıldığında petrol kuyularına yakın alanlardaki su kaynaklarında dengedeki ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{210}Bi ve ^{226}Ra konsantrasyonlarının yüksek olduğu da tespit edilmiştir (Parfenov, 1974). ^{210}Po 'un doğal kaynaklarından biri de uranyum madenleridir. Bu madenlerde açığa çıkan uranyum meydana gelen çevresel radyoaktiviteyi arttırmaktadır. Atmosfere bakıldığında tungsten, molibden, demir ve fosfatlı kayaların bulunduğu alanlarda ^{210}Po düzeylerinin yüksek olduğu bilinmektedir (Uğur, 1998). Radyoaktif maddeler tüm atmosferde dağılım göstermesine rağmen büyük çoğunlukla litosfer tabakasında yer almaktadır. Bu noktada önemli olan; uranyum, toryum cevherleri ile potasyum tuzlarıdır. Bununla birlikte jeotermal enerji, fosil yakıtların kullanımı gibi enerji üretim yolları da çevresel radyoaktivitenin artmasında etkili olmaktadır (Alam ve Mohammed, 2011). Motorlu araçların eksozlarından salınan yanma ürünleri de çeşitli miktarlarda ^{210}Po ihtiva etmektedir. Peirson ve diğ. (1966) yaptıkları çalışmayla yapay yollarla açığa çıkan ^{210}Po miktarının atmosfere doğal olarak giren miktarların %10-20 arasından değişen değerlerden fazla olmadığını göstermişlerdir.

Po-210 insan faaliyetleri sonucunda da çevreye yayılmaktadır. Yapılan çalışmalar; nükleer silah denemeleri sonucunda açığa çıkan ^{208}Pb ($2n\gamma$) - ^{210}Pb reaksiyonu ile atmosfere ^{210}Pb 'un girişinin meydana geldiğini buna bağlı olarak da ^{210}Po seviyelerinin artış gösterdiğini ortaya koymuştur (Peirson ve diğ., 1966). Ayrıca ^{210}Po aynı zamanda nükleer reaktörlerde nötron aktivasyonu sonucu soğutucu suyunda da bulunmaktadır ve oluşan ^{210}Po , reaktörde kontrol altında tutularak (diğer radyonüklidlerde olduğu gibi) çevreye dağılımı engellenmektedir. Fakat 1967 Windscale örneğinde görüldüğü gibi çeşitli kazalarla atmosfere dağılması söz konusu olabilir (Parfenov, 1974).

Pb-210 atomları çapı mikron seviyesinde ve daha küçük aerosollere hızlı bir şekilde adsorbe olmaktadır. Bu nedenle; ^{210}Po ve nispeten uzun ömürlü öncüsü ^{210}Pb , troposfer ve düşük stratosfer ve modellemede partiküllerin havada kalma sürelerini tahmin etmek için izleyici olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Tateda ve Iwao, 2008). Son yıllarda, atmosferik

serpinti içerdigi ^{210}Po / ^{210}Pb aktivite oranı ve ^{210}Po ile ^{210}Pb taşıyan atmosferik partiküllerin kuru birikme hızını tahmin etmek için kullanılmıştır (Al-Masri ve diğ., 2006). Bu çalışma da İstanbul kent havasında aerosollere tutunan Pb ve Po miktarlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Geçmişte yapılan çalışmalarda yeryüzü ortalama ^{210}Pb aktivitesi $200\text{--}300\text{ mBq/m}^2$ olarak tespit edilmiştir (Beks ve diğ., 1998).

Yapılan çalışmalarda; $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ aktivite konsantrasyon oranı atmosferde $0.02 - 0.23$, yağmur suyunda 0.1 ve deniz suyunda $0.1 - 1$ arasında değişmektedir (Sarin ve diğ., 1994; Yang ve diğ., 2006; Kim ve diğ., 2008; Uğur ve diğ., 2011; Meli ve diğ., 2012). Bu değerler havada ve sucul ortamlarda ^{210}Pb aktivitesinin ^{210}Po aktivitesine kıyasla yüksek olduğunu gösterse de polonyumun canlılarda daha etkili bir şekilde birikmesi, yüksek enerjili alfa radyasyonu ve yüksek spesifik aktivitesi gibi nedenlerle ekotoksikoloji çalışmalarında önem kazanmaktadır. Bununla beraber $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ aktivite konsantrasyon oranları deniz sedimenti üst tabakalarında 1 veya daha yüksektir.

2.3. POLONYUM TOKSİSİTESİ

Po-210, 138 gün gibi kısa fiziksel yarı ömre sahip olması, yumuşak dokularda birikim göstermesi, 5.30 MeV gibi yüksek bir enerjiye sahip olması ve alfa partikülü yayması nedeniyle en radyotoksik izotoplardan birisidir (Stewart ve diğ., 2008). Hidrojen siyanürden (HCN) 250.000 kez daha toksik olduğu bildirilmiştir (John, 2001). Polonyumun toksisitesi diğer radyonüklidlerden yaklaşık olarak $10\text{--}10000$ kat daha yüksektir (IAEA, 2003). ABD Sağlık ve İnsani Hizmetler Bakanlığı'nın 2011'de yayınladığı en tehlikeli maddeler listesinde $122.$ sırada yer almaktadır (ATSDR, 2011). Po-210'un LD50 (%50lethal doz) değeri 80 kiloluk bir insan için ortalama 1 mikrogram kadarken, hidrojen siyanür (HCN) için bu değer 250 miligramdır. Vücut dışında epidermisi geçemeyecek durumda iken, vücut içinde iç (internal) ışıma yoluyla dokulara şiddetli zarar verir.

Po-210'un 1 gramındaki aktivite miktarı 166 TBq (4486.5 Ci , 1 gramında saniyede 166×10^{12} parçalanmaya karşılık gelmektedir) dir. Bu doğrultuda 1 gram ^{210}Po teoride 20 milyon insanın ölümüne sebep olabilecek etki göstermektedir, fakat gerçek toksisitesi bundan çok daha düşük miktarlardadır. Bunun nedeni ise ^{210}Po 'un insanda 30 ile 50 gün arasında kısa bir biyolojik yarı ömrünün olmasıdır.

2.4. ⁷BE ÖZELLİKLERİ

Berilyum-7 (⁷Be) kozmik ışınların atmosferde etkileşiminden kaynaklanan (kozmojenik) doğal bir radyonükliddir. Yeryüzüne ulaşan ⁷Be miktarı, enlem, yükseklik ve güneş aktivitesinin bir fonksiyonu olan üretim hızına bağlıdır (Masarik ve Beer, 1999). Üretim hızı, güneş aktivitesindeki dalgalanmalar nedeniyle ortalamanın %20'si kadar değişmektedir (Koch ve diğ., 1996; Koch ve Rind, 1998). Monte Carlo simülasyonunun sonuçları stratosferde 20-30 km'de maksimum ⁷Be oluşumunun gerçekleştiğini ve deniz seviyesindeki minimum üretiminden 2-3 kat daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır (Usoskin ve Kovaltsov, 2008). Be-7, ağırlıklı olarak 1 mikrondan küçük aerosol parçacıklarına yapışır (Ioannidou ve diğ., 2005). Absorbe olduğu taneciklerin boyut aralığı ortalama olarak 0.5-0.7 mikrometre çaptadır ve atmosferden yeryüzüne kuru - ıslak çökelti ile ulaşmaktadır (Lange ve diğ., 1994).

Son çalışmalar, ⁷Be'nin en önemli çevresel radyonüklidlerden biri olduğunu ve hava olaylarıyla dağılma, çökme gibi çevresel işlemlerin bir izleyicisi olarak kullanılabileceğini veya atmosferdeki aerosollerin taşınması ve kalış süresi için bir izleyici teşkil edebileceğini göstermektedir (Koch ve diğ., 1996; Liu ve diğ., 2001; Ioannidou ve diğ., 2005; Kaste ve diğ., 2002).

Yapılan çalışmalar ²¹⁰Pb ve ⁷Be'nin havadaki aktivitelerinin zamana ve lokasyona göre değiştiğini göstermektedir (J. Kusmierczyk-Michulec ve diğ., 2015). Çoğu örnekleme bölgesi için veriler, havadaki ⁷Be konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişkenlik gösterdiğini sunmaktadır. Stratosfer ile troposfer arasındaki hava değişim hızındaki dalgalanmalar bu duruma neden olmaktadır (Saleh ve Abdel-Halim, 2018). Havadaki ⁷Be konsantrasyonlarındaki değişimlerden sorumlu olan diğer faktörler ise troposfer içindeki dikey karışım oranı, hava kütlelerinin orta enlemlerden yüksek enlemlere direk taşıma hızı ve yağış oranlarıdır (Dutkiewicz ve Husain, 1985; Sanak ve diğ.1985; Dibb ve diğ., 1994; Rehfeld ve Heimann, 1995).

2.5.PARTİKÜL MADDE – HAVA KİRLİLİĞİ VE RADYASYON İLİŞKİSİ

Hava partikül maddeleri; havada asılı bulunan boyutları 0.002 μ m-500 μ m aralığında değişkenlik gösteren çeşitli fraksiyonlardaki katı veya sıvı taneciklerdir. Katı partiküllere; toz, duman, kül, kurşun ve asbest karbon gibi partiküller örnek verilebilir. Sıvı partiküllere ise; sis, duman, yağ ve asitler örnek olarak gösterilebilir. Çapları; 2.5 ila 10 μ m arasındaki partikül maddeler “kaba partiküller” olarak adlandırılmaktadır. Çapları 2.5 μ m’den küçük partiküller ise “ince partiküller” olarak adlandırılmaktadır. Toz, duman gibi bazı partiküller gözle görülebilecek kadar büyük olmalarına rağmen yalnızca mikroskop altında görülebilen büyüklükte partiküller de bulunmaktadır. Kaba partiküller çoğunlukla kırma ve öğütme işlemleri ve yol tozlarından kaynaklanmaktadır. Partikül madde tehlikeli pek çok kimyasal maddeden oluşabilir (Özbeyaz ve diğ., 2016). Özellikle yüksek konsantrasyonlarda kurşun, kadmiyum ve cıva, gibi ağır metaller veya kanserojen etkili radyoaktif element ve kimyasallar içerdiğinden çeşitli maruziyetlerle insana ulaşarak sağlık için tehdit oluşturmaktadır. PM (özellikle ince partiküller <PM_{2.5} μ m) konsantrasyonu ve maruz kalma süresine bağlı olarak solunumla birlikte ciddi sağlık problemlerine yol açmaktadır (Jandacka ve diğ., 2017). Bu sağlık problemlerinden bazıları; kronik bronşit, akciğer fonksiyonlarında bozulma, kalp atışlarında düzensizlik, akciğer hastalarında erken ölümlerin meydana gelmesidir.

Hava, kabaca gruplanabilen ve aerodinamik çapı (d) 100 μ m veya daha az olan toplam askıda parçacıklar (TSP) olarak ölçülebilen çeşitli boyutlarda parçacıklar içerir (Neff ve diğ. 2013; US EPA 1999). PM direkt atmosfere yayılabilir (primer) veya atmosferde fiziko-kimyasal dönüşümlere uğrayarak (sekonder) oluşabilir. Partikül çapı 10 μ m’den büyük partiküller yerçekimi etkisiyle yere çökelirken daha küçük partiküller havada asılı kalırlar. İnce fraksiyonlu PM, akciğerlerde daha derinlere nüfuz edebilir ve bunların uzaklaştırılması daha zordur. Bu nedenle ince PM’lerin toksisitesi daha yüksektir (Schlesinger ve diğ., 2006). Artan endüstrileşmeyle birlikte havanın kalitesi her geçen gün azalmakta ve havadaki partikül maddelere tutunan kirleticilerin düzeyleri de bu doğrultuda artmaktadır (Gao ve diğ.2017).

Dünya Sağlık Örgütü’nün raporunda bildirdiği gibi, hava kirliliği en büyük çevresel sağlık riskidir. Hava kalitesi hem doğrudan hem de iklim krizi ile ilgili süreçler yoluyla insan yaşamını ve ekosistemlerin durumunu önemli ölçüde etkilemektedir (WHO, 2014). Dünyadaki çevre kirliliğinin direkt sonucu olarak 100.000 kişi başına düşen ölüm sayısı 2012’de 53 olarak belirtilmiştir. Hava kalitesi, farklı gaz ve PM’den meydana gelen kirleticiler

ile birlikte küresel bir endişe kaynağı oluşturmaktadır. Özellikle PM, insan ve ekosistem sağlığını, atmosfer görünürlüğünü ve iklimi etkileyebilmektedir (IPCC, 2013). Yüksek PM seviyelerine maruz kalma yaşam ömrünü ciddi şekilde negatif etkilemektedir. Birçok epidemiyolojik çalışma, yüksek PM konsantrasyonu ile artmış mortalite ve kardiyopulmoner hastalıkların morbiditesi arasındaki ilişkileri göstermektedir (Pope ve diğ., 2002; Perez ve diğ., 2008). Bu doğrultuda atmosferik kirlilik, günümüzde insan sağlığı için en önemli risk faktörlerinden birini oluşturmaktadır. Örneğin, partiküler madde (PM_{2.5}-yarıçapı 2.5 µM olan) maruziyeti nedeni ile 2015 yılında dünya genelinde 4.2 milyon kişinin öldüğü (tüm ölümlerin %7.6'sı) bilinmektedir. Dünya sağlık örgütü verilerine göre ise dünya genelinde insanların %92'si, sağlıklı hava solumak zorunda kalmaktadır. En riskli grup olan 1. grup karsinojen sınıfında yer alan atmosferik kirliliğe maruz kalan popülasyonlarda, kardiyovasküler, solunum yolları hastalıkları ve kanser gibi hastalıklar başlıca görülmektedirler. IARC (Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı) hava kirliliğini en riskli grup olan 1. grup karsinojen sınıfı olarak belirlemiştir. Atmosferik kirliliğin, oksidatif stres, immun sistemi etkileme ile mitokondriyal DNA'da bazı değişimler (kopya sayısı gibi) meydana getirerek hastalıklara neden olduğu bilinmektedir.

Aerosol partikül atıklarının; madencilik, öğütme işlemleri ve yükleme faaliyetlerinden kaynaklanan radyolojik önemi, sadece serbest bırakılan karışım radyonüklidlerine değil, partikül büyüklüğü dağılımına ve kimyasal özelliklerine de bağlıdır. Bunlar aynı zamanda, yıl boyunca değişken olan salınımları sırasındaki iklim koşullarına da bağlıdır (M.S. Al-Masri, 2006). Radyoizotoplar, çelik tesislerinde cevherlerin sinterlenmesi kömür yakıtlı elektrik santrallerinde kömürün yanması veya tarımsal gübrelerin üretimi ve kullanımı gibi endüstriyel işlemlerden de salınır. ⁷Be'ye benzer şekilde, kurşun ve polonyumun katı çekirdekleri kendilerini atmosferik aerosollere bağlar ve biriktirilebilir (Daish ve Dale, 2003). Radon radyoaktif bozunma ürünlerinin çoğu, meydana gelmelerinden hemen sonra bir radyoaktif aerosol oluşturan aerosol parçacıklarına (çoğunlukla mikron altı boyutunda) bağlanırlar (Porstendorfer ve diğ., 2000). Kentsel alanlarda, yer seviyesindeki atmosferik partiküllerin sayısı 10³ ile 10⁵- 10⁶ partikül / cm³ gibi yüksek değerlere ulaştığından radyonüklidlerin ve diğer atmosferik kirlleticilerin serbest fraksiyonun neredeyse ihmal edilebilir olduğu düşünülebilmektedir. Bu doğrultuda havadaki radyonüklidlerin davranışları sadece radyoaktif özelliklerinden değil, aynı zamanda bağlı oldukları aerosol parçacıklarının fiziko-kimyasal özelliklerinden ve atmosferin termodinamik özelliklerinin etkisinden de kaynaklanmaktadır.

Radon ve bozunma ürünlerinin (Pb, Po) atmosferdeki konsantrasyonu ve zamansal değişimi, meteorolojik dinamikler hakkında; taşınma, dispersiyon, ayrılma hızı ve havada asılı kalma süresi gibi aerosollerini içeren atmosferik işlemler hakkında bilgi sağlayabilir. ^{210}Pb 'nin radon'un diğer bozunma ürünlerine konsantrasyon oranı, aerosollerin havada asılı kalma süresi hakkında bilgi edinmek için kullanılabilir.

2.6. AKCİĞER BİYOERİŞEBİLİRLİK TESTİ PARTİKÜL MADDE VE RADYASYON İLİŞKİSİ

Normal insan bronş epitel hücreleri (NHBE) üzerinde yapılan in vitro toksikolojik analizler, çeşitli sağlık etkilerini değerlendirmek veya ince partiküller ($\text{PM}_{2.5}$) gibi kirleticiler tarafından başlatılan spesifik biyolojik yanıt mekanizmalarını incelemek için güçlü araçlardır. Ulaşım, sanayi ve yakıt yanmasından kaynaklanan kentsel çevrenin kirlenmesi, atmosferdeki partikül madde (PM) içeriğinin artmasıyla ilişkili ciddi sağlık riskleri meydana getirmektedir (Sun ve diğ., 2001; Wiseman ve Zereini, 2014). Dünya Sağlık Örgütü (WHO), $\text{PM}_{2.5}$ 'e maruz kalmanın yıllık kardiyopulmonerlerin % 3'üne ve akciğer kanseri ölümlerinin % 5'ine katkıda bulunduğunu ifade etmiştir. Bu dünya genelinde 13. ölüm nedenidir (WHO, 2014).

PM'ye maruz kaldığında partikül bileşenleri, solunum sistemini örten fizyolojik sıvılar ve pulmoner epitel hücrelerinin savunma mekanizmaları arasındaki karmaşık kimyasal ve biyolojik etkileşimlere bağlı olarak hem solunum hem de kardiyovasküler hastalıklara yol açabilir (Goixet ve diğ., 2016; Guney ve diğ., 2016; Wiseman, 2015). Özellikle, $\text{PM}_{2.5}$ ve $\text{PM}_{0.1}$ başta olmak üzere havadan PM'in ince ve ultra ince fraksiyonlarına maruz kalma, iskemik kalp hastalığı, iskemik inme, vasküler hastalıklar ve hipertansiyon gibi bir dizi negatif kardiyovasküler problemler ile ilişkilendirilmiştir (Brook ve diğ., 2010).

Akciğer fizyolojik sıvılarında havadaki parçacıklar üzerinde bulunan kimyasal bileşiklerin çözünürlüğü, genellikle sentetik sıvılarla gerçekleştirilen in vitro biyolojik erişebilirlik deneyleri ile değerlendirilir. Biyolojik olarak kullanılabilir hale gelip kan dolaşımıyla diğer hedef organlara taşınan konsantrasyonunun tespitine dönük bu deneyler, havadaki atmosferik partiküller ile alınan kirleticilerin sebep olduğu toksisitenin değerlendirmesinde önemlidir (Güney ve diğ., 2016). Partiküllerin akciğerde birikimi ile ilişkili kirleticilerin biyoerişebilirliği, son yirmi yıldır akciğer ortamına benzer çeşitli çözeltilerle test edilmektedir

(Dean ve diğ., 2016; Mukhtar ve diğ., 2015; Wiseman, 2015). Metallerin çözeltilerdeki çözünürlüğü bu kirleticilerin insan sağlığı risklerini saptamak için kullanılır (Stopford ve diğ., 2003; Herting ve diğ., 2006, 2007; Shi ve diğ., 2006; Midander ve diğ., 2007).

Mikron altı parçacıklar (aerodinamik çapı $<1\mu\text{m}$ olan parçacıklar; PM_1) alveollere kolaylıkla girerler (Mukhtar ve Limbeck, 2013); ultra ince parçacıklar ($<0.01\mu\text{m}$ aerodinamik çapa sahip parçacıklar) pulmoner epitel üzerine adsorbe olabilir (Brunekreef ve Holgate, 2002). Alveollerin epitel hücreleri akciğer fonksiyonlarında önemli rol üstlenen akciğer yüzey aktif maddesi ile kaplıdır (Barrett ve diğ., 2010; Goerke, 1998; Perez-Gil ve Keough, 1998; Rooney ve diğ., 1994). PM'nin alveollerde akciğer yüzey aktif maddesi ile etkileşmesi, fagositoz ve membran yapılarının destabilizasyonu dahil olmak üzere bir dizi hücresel cevaba yol açmaktadır (Brunekreef ve Holgate, 2002; Sun ve diğ., 2001). İnce fraksiyonlu PM, akciğerlerde daha derinlere nüfuz etmekte ve bunların vücuttan uzaklaştırılması daha zor olmaktadır. Çok ince PM'ler, toksik etkilerle daha yakından ilişkilendirilmektedir (Schlesinger ve ark. 2006). Çözündüğünde, ilişkili kirleticiler doğrudan akciğerleri etkilemekte, absorbe edilmekte (sistemik dolaşıma girmekte) ya da diğer hedef organları etkilemektedir (Mert Güney 2016).

Bu tez çalışmasında şehirleşmenin ve nüfus yoğunluğunun her geçen gün arttığı trafik yoğunluğu ve inşaat sahalarının çokluğuyla birlikte fosil yakıt tüketimi ile atmosfere kirletici girdisinin çok olduğu İstanbul kent havasında iki hava izleme istasyonundan (Kadıköy ve Aksaray) alınan hava filtre örneklerinde farklı boyutlarda partiküllere ($\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10}) tutunarak havaya karışan radyoaktif madde miktarları (^7Be , ^{210}Po , ^{210}Pb) belirlenmiştir. Örnekleme yapılan günlerde hava partikül maddelerin miktarları da verilmiştir. Yapılan örneklemlerle hava filtre örneklerinde ^{210}Pb radyonüklidinin akciğerlere ulaşan miktarları, akciğerlerdeki alveolar sıvı ile benzeşen yapay bir solüsyon olan Gamble Solüsyonu ile akciğer biyoerişebilirlik testi uygulanmıştır. Havada varlığı belirlenen, üzerine çalışmalar yapılan kirleticiler içerisinde radyoaktif kirlilik bakımından mevcut durum belirlenmiş, hava kalitesi ve kirlilik üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE ÖRNEKLERİN ELDE EDİLMESİ

Hava filtresi örnekleri 2017 Nisan – 2018 Ekim dönemleri arasında belli aralıklarla yapılan örneklemler ile İstanbul ili Aksaray ve Kadıköy hava izleme istasyonlarından elde edilmiştir. Örneklemler; İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı Çevre Koruma Müdürlüğü'ne ait olan hava ölçüm istasyonlarından temin edilmiştir. İstasyonlarda ölçümler; Sven Leckel marka - Sequential Sampler SEQ47/50 model hava ölçüm cihazıyla yapılmaktadır. PM_{10} ve $PM_{2,5}$ kütleli ölçümleri adı geçen kurumda yapılmıştır ve bu çalışmada $\mu g/m^3$ biriminden verilmiştir. SEQ47/50 hava ölçüm cihazı yer seviyesinden (yerden 1 ila 2 metre yüksekte) 24 saatte $55,2 m^3$ hava filtrelemektedir. Filtreler istasyonlara götürülmeden önce laboratuvarında 24 saat şartlandırma odası adı verilen alanda $20^\circ C$ ve %51,6 nem oranında tutulmakta ve her bir filtre tartılmaktadır. 24 saatlik sürelerle ölçümleri tamamlanan filtreler tekrar laboratuvara getirilerek aynı koşullarda tutulmakta ardından ilgili analizler için kullanılmaktadırlar (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: ^{210}Po , ^{210}Pb ve ^7Be ölçümü için kullanılan filtrelerin elde edildiği istasyon ve örnekleme tarihleri

Örnekleme Tarihi	Örnekleme İstasyonu
11-16 Nisan 2017	Kadıköy
17-22 Nisan 2017	Kadıköy
25-29 Nisan 2017	Kadıköy
30 Nisan-3 Mayıs 2017	Kadıköy
5-9 Mayıs 2017	Kadıköy
10-14 Mayıs 2017	Kadıköy
11-13 Mayıs 2017	Aksaray
13-15 Mayıs 2017	Aksaray
17-19 Mayıs 2017	Kadıköy
20-22 Mayıs 2017	Kadıköy
23-26 Mayıs 2017	Kadıköy
27-29 Mayıs 2017	Aksaray
29-31 Mayıs 2017	Aksaray
1-3-5-6-7 Haziran 2017	Kadıköy
8-11 Haziran 2017	Kadıköy
12-15 Haziran 2017	Kadıköy
14-18 Haziran 2017	Aksaray
14-16 Ağustos 2017	Kadıköy
18-20-22-26 Ağustos 2017	Kadıköy
16-18 Eylül 2017	Kadıköy
21-23 Eylül 2017	Aksaray
5-8 Ekim 2017	Kadıköy
21-23 Ekim 2017	Kadıköy
13-17-20 Ocak 2018	Aksaray
23-25-29 Ocak 2018	Kadıköy
2-4-6 Şubat 2018	Kadıköy
10-13-16 Şubat 2018	Kadıköy
17-20-23 Şubat 2018	Kadıköy
24-26 Şubat, 1 Mart 2018	Kadıköy
3-6-9 Mart 2018	Kadıköy



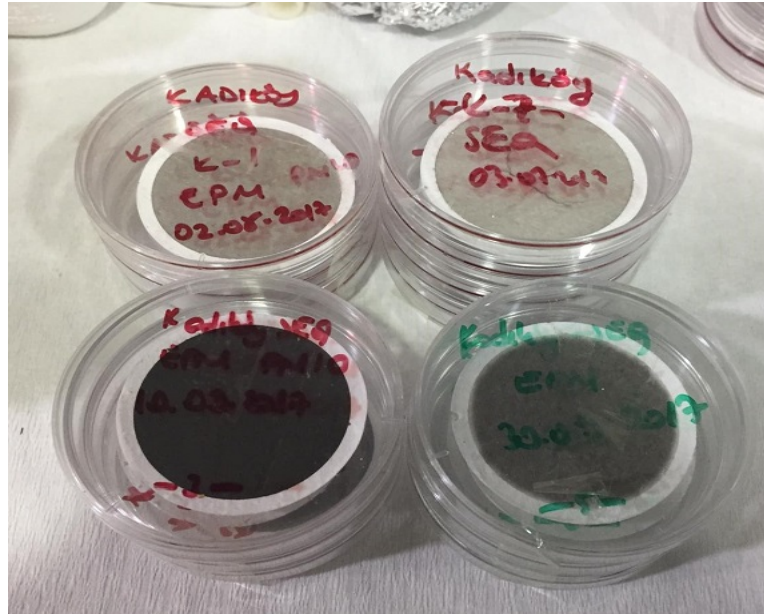
Şekil 3.1: Hava partikül madde (PM) ölçümünde kullanılan SEQ47/50 cihazı



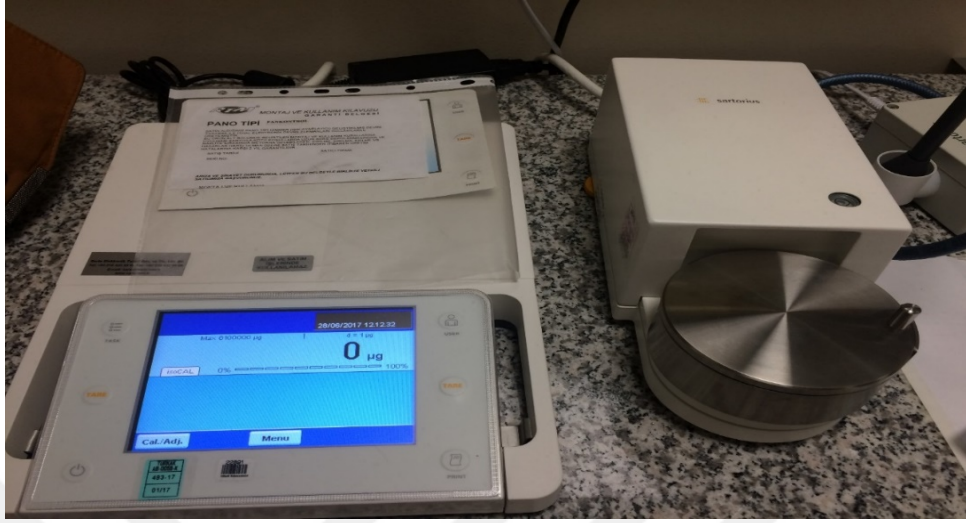
Şekil 3.2: Hava kalitesi ölçüm istasyonu



Şekil 3.3: Aksaray istasyonu.



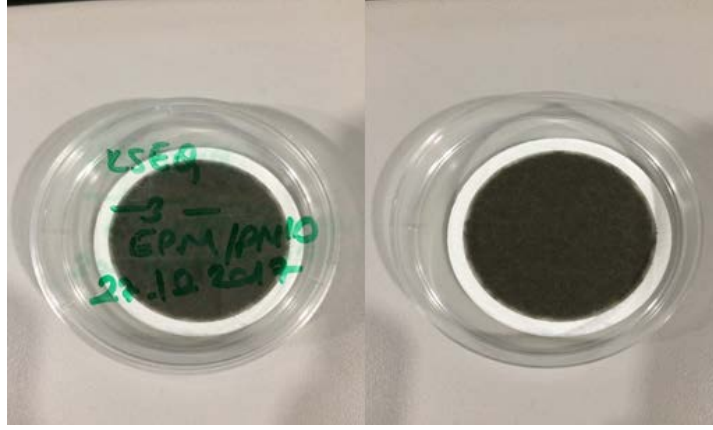
Şekil 3.4: Üzerinde partikül madde birikmiş filtreler.



Şekil 3.5: Şartlandırma odasında filtrelerin ölçüm öncesi ve sonrasında tartımları için kullanılan hassas terazi

3.2. ÖRNEKLERİN RADYOMETRİK ÖLÇÜMLERE HAZIRLANMASI

Çevre Koruma Müdürlüğü'ne ait hava ölçüm istasyonlarından alınan filtreler hızlıca laboratuvara getirilmiş ve öncelikle ^{7}Be ölçümü için gama spektrometrik ölçüme daha sonra ^{210}Po ölçümü için alfa spektrometrik ölçüme hazırlanmış hazırlanmıştır. Çalışmada iki farklı filtre türü kullanılmıştır (Quartz – EPM). Quartz filtreler, kimyasal tespitler için sıcaklığa karşı güçlü bir dirence ve düşük arka plan değerlerine sahiptir (Liu ve diğ., 2001). EPM filtreler ise özellikle atmosferik partiküllerin ve aerosollerin toplanmasında kullanılan yüksek hacimli hava örnekleme ekipmanlarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. İz kirleticilerin ayrıntılı kimyasal analizini minimum girişim veya arka planla gerçekleştirilmesini sağlayan % 100 saf borosilikat camdan üretilmiştir.



Şekil 3.6: Üzerinde partikül madde birikmiş EPM ve quartz filtre örnekleri

3.3. ⁷Be ÖLÇÜMÜ

Laboratuvara getirilen filtre örnekleri ⁷Be ölçümü için öncelikli olarak gruplara ayrılmış ve herhangi bir kimyasal ön hazırlık gerekmeksizin, yalnızca belirli bir geometride olacak şekilde dedektöre yerleştirilerek gama spektrometresinde sayımları gerçekleştirilmiştir. Her bir sayım ortalama 2 gün sürmüştür. Ölçümlerde ORTEC marka yarı iletken yüksek çözünürlüklü germanyum dedektörlü (HPGe) gama spektrometresi kullanılmıştır. Ölçümlerde elde edilen gama spektrumları ORTEC Maestro 32 isimli veri işleme ve analiz sistemi aracılığıyla analiz edilmiştir. Dedektör, çevresel radyasyonu düşürmek için 10 cm kalınlığında kurşun zırhla kaplıdır. Dedektör ortak eksenli (koaksiyal) 7 cm çapında, alüminyum kaplı ve dik tipte, çalışma voltajı 3000V'tur. Ayırma gücü (FWHM) ⁵⁷Co'nin 122keV enerji pikinde 1.0 keV ve ⁶⁰Co'nin 1,33 MeV enerji pikinde 1,8keV'dir Nisbi verimliliği 1,33MeV' deki ⁶⁰Co' ta %22,1'dir. Gama spektrometresinde doğru sayım yapabilmek için, örnek yoğunluğu, miktarı ve kap geometrisi dedektör verim kalibrasyonu için kullanılan kaynakla eş zamanlı olmalıdır (Kılıç ve diğ., 2017). Enerji kalibrasyonu, aktiviteleri bilinen raydonüklid (²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ⁵⁷Co, ¹³⁷Cs, ¹¹³Sn, ⁸⁸Y, ⁶⁰Co) karışımlarının bulunduğu standart kaynaklar (Eckert & Ziegler Isotope Products Laboratories) kullanılarak yapılmıştır. Be-7 'nin aktivite konsantrasyonu 478 keV enerjideki pik alanından yararlanılarak hesaplanmıştır. Aktivite hesabında partikül maddenin biriktiği gün ve ölçüm günü arasında geçen zaman üzerinden fiziksel bozunma düzeltilmesi yapılmıştır. Gama spektrometresinde ölçümlerin doğruluğunu test etmek için MAPEP'ten (Mixed Analyte Performance Evaluation Program) alınan; içerdiği

radonüklid aktivite konsantrasyon değerleri bilinen standart referans kaynaklar kullanılmıştır.

Her bir örnekte aktivite değerlerinin hesaplanmasında; pik alanı, sayım süresi, ağırlık ve dedektör verimi dikkate alınmıştır. Be-7 radonüklidinin aktivite konsantrasyon değeri (mBq/m^3) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır;

$$A = \frac{P.A.}{\varepsilon \times f\gamma \times t}$$

Burada;

A: Aktivite konsantrasyonu

P.A.: Radonüklidin enerji değerinde oluřturduęu gama pikinin net alanı

$f\gamma$: Radonüklidin gama ışını yayınlama olasılığı

ε : Radonüklid için dedektör verimi

t: sayım süresi (s)



Şekil 3.7: Yüksek Çözünürlüklü Germanyum Dedektörlü Gama Spektrometresi

Örneklerin toplanma tarihindeki ^7Be aktivite konsantrasyonu, bulunan aktivite konsantrasyon değerleri, sayım yapılana kadar geçen süre ve ^7Be nin fiziksel yarı ömrü (53 gün) değişkenleri ile aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır;

$$A = A_0 \times e^{-\lambda t}$$

A: Ölçümün yapıldığı tarihteki aktivite

A_0 : Toplanma tarihindeki aktivite

t: Geçen süre

λ : Radyonüklidin bozunma sabiti

3.4. ^{210}Po ÖLÇÜMÜ

Polonyum ölçümü; örneklerin kimyasal sindirimi, ısıtma tablasında buharlaştırma ve gümüş diske depozisyon aşamalarının ardından alfa spektrometresinde sayıma alınarak gerçekleştirilmektedir. Filtre örnekleri öncelikle; gruplara ayrılarak seriler oluşturulmuştur.

Hazırlanan bu seriler mikrodalgada kimyasal sindirim işlemi için bir makas yardımıyla küçük parçalara kesilerek teflon kaplara alınmıştır. Teflon kaplara alınan örneklerin her birine filtrelerin tam olarak sindirilebilmesi için son hacim 10 ml olacak şekilde; 6 ml %65'lik HNO_3 ve 4 ml %37 HF eklenmiştir. Örneklerde verim hesaplaması yapabilmek için izleyici olarak, aktivitesi 0.1 Bq olan 50 μl ^{209}Po eklenmiştir. Ardından mikrodalga sindirme sisteminde (Milestone Start D Microwave Digestion System) yüksek sıcaklık ve basınç ile herhangi bir organik katı partikül kalmayacak şekilde sıvı faza geçmeleri sağlanmıştır (Şekil 3.8). Mikrodalgada sindirim işlemi iki fazlı olarak gerçekleşmiştir. İlk olarak örnekler 180°C 'de 30 bar basınçta 20 dakika boyunca sindirilmiştir. Bu fazda basınç ve sıcaklık; istenilen değerlere cihaz tarafından kademeli olarak artış göstererek ulaşmaktadır. İkinci aşamada ise; örnekler 180°C ' sabit sıcaklık ve 30 bar sabit basınçta 15 dakika boyunca tutularak, sindirilme işlemi filtreler ve üzerinde bulunan organik maddeler tamamen sıvı faza geçecek şekilde tamamlanmaktadır.

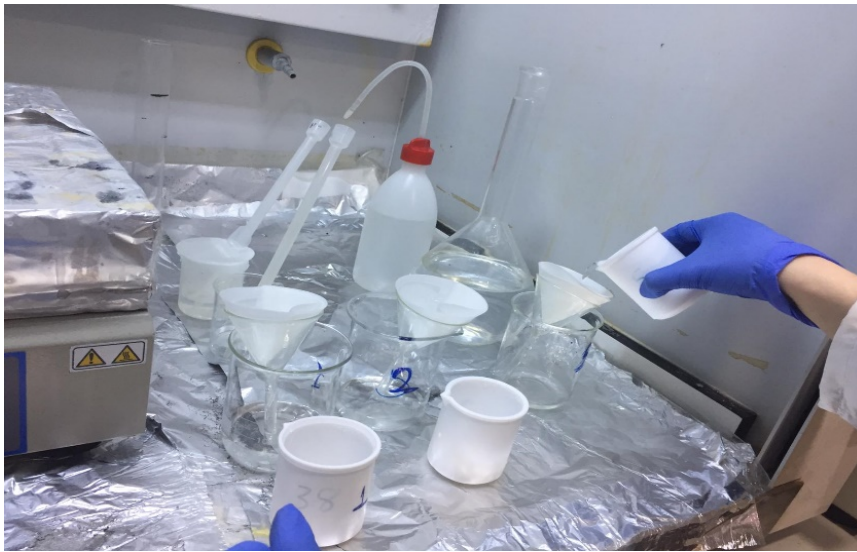


Şekil 3.8: Mikrodalga sistemi (Milestone Start D Microwave Digestion System)

Mikrodalgada sindirim işlemi tamamlanan örnekler teflon beherlere aktarılarak, çeker ocak altında, ısıtma tablası üzerinde 200 °C’de eklenen asitlerin buharlaştırılması sağlanmıştır. (Şekil 3.9) Buharlaştırma işlemi sırasında örneklerin üzerlerine belirli aralıklarla 3’er kez 5 ml 0.5 M HCl eklenmiştir. Tamamen buharlaştırılan örneklerde kalan tortu üzerine 200 ml 0.5 M HCl ilave edilmiş ve 125 mm por açıklığına sahip filtre kağıdı kullanılarak süzölmüştür. Süzme işlemini takiben depozisyon aşamasına geçilmiştir (Şekil 3.10).



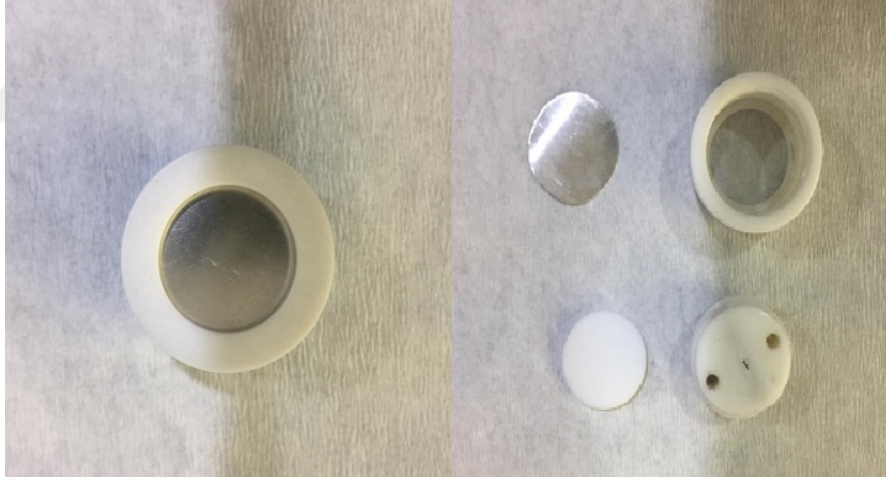
Şekil 3.9: Isıtma tablasında asitlerin buharlaştırılması işlemi.



Şekil 3.10: Süzme işlemi.

3.4.1. ^{210}Po Depozisyonu

Kimyasal ön hazırlığı tamamlanan örneklerdeki polonyum (^{209}Po ve ^{210}Po) aktivitesinin ölçümü için, 2 cm çapında 22 μm kalınlığındaki gümüş diskler manyetik taşıyıcıya yerleştirilmiştir (Şekil 3.11). Depozisyon öncesi disklerin yüzeyi %70'lik alkol ile temizlenmiştir. Örnek içerisindeki demir iyonlarının gümüş üzerine toplanmasını engellemek için her bir örneğin üzerine 0.4 g askorbik asit eklenmiştir. Depozisyon işlemi bir gece boyunca sürmüştür ve örnekteki polonyumun gümüş disk üzerinde 680 devir/dakika dönüş hızıyla birikimi sağlanmıştır (Şekil 3.12). Alfa spektrometresi ile gümüş diskler üzerinde biriktirilen ^{210}Po aktivitesi, ^{209}Po üzerinden elde edilen verim değeri (kimyasal verim + dedektör verimi) temel alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.11: Depozisyon işleminde kullanılan gümüş disk ve teflondan yapılmış taşıyıcı aparat



Şekil 3.12: Alfa spektrometresi ölçümü öncesinde depozisyon işlemi

3.4.2. ^{209}Po Ara Stok Hazırlanması

Toplam verim ^{209}Po (0.1 Bq ml/1) kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan ^{209}Po standardı Eckert & Ziegler Isotope Products firmasından temin edilmiştir (referans numarası: 1781-21). Aktivitesi 104 Bq ve ağırlığı 5.15 g olan stok standart çözelti 10.32 ml' solüsyonda seyreltmeyle 7488 mBq ^{209}Po aktivitesine sahip olacak şekilde ara stok hazırlanmıştır. Standart ^{209}Po radyokimyasal verim tayininde kullanılmıştır.

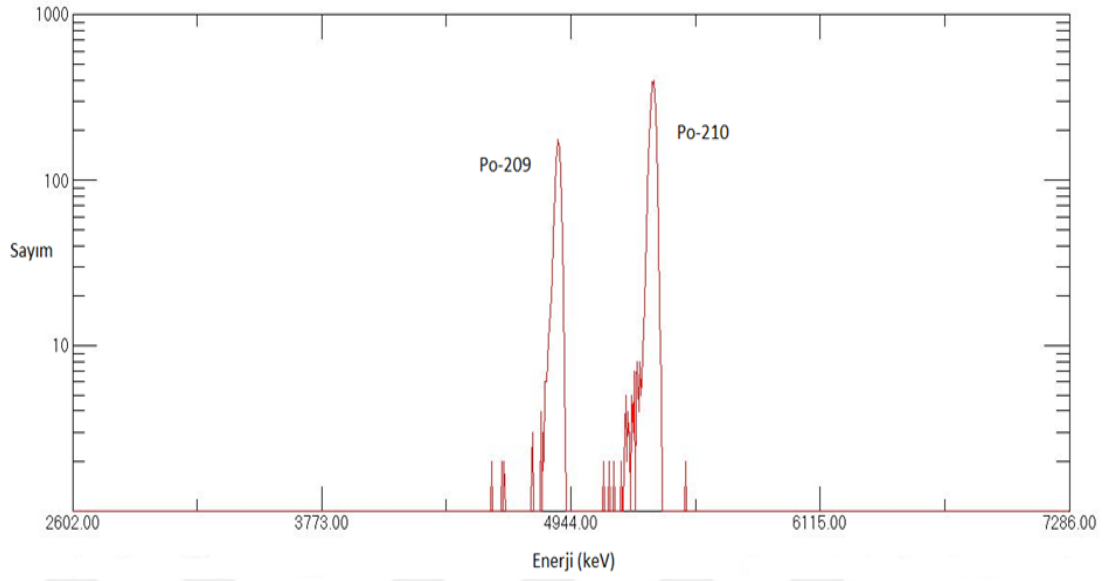
3.4.3. Alfa Spektrometresi

Po-210 aktivitesinin ölçülebilmesi için, "Ortec" marka "Alpha Ensemble" model spektrometre sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.13) Sistemde çapı 300 mm² olan 8 adet dedektör bulunmaktadır ve iyon implante silisyum parçacık tipte vakum sistemi bağlantısıyla iç vakumun düşürüldüğü sisteme sahiptir. Spektrometre Maestro adlı bir yazılım ile bağlantılıdır. Ölçüm sırasında oluşan veriler bu yazılım aracılığıyla pikler şeklinde (Şekil 3.14) bilgisayara aktarılmaktadır. Gerekli aktivite hesaplamaları bu pikler üzerinden aşağıda belirtilen formül ile yapılmaktadır.

- 10 – 30 m Torr arası vakum gücü
- Dedektörler, 16 - 19 keV aralığında rezolüsyona sahip ve 0-10 MeV enerji değerlerindeki radyonüklidlerin piklerinin ölçümünü yapabilmektedir.
- Ölçüm kabinlerinde disk çapının 1-51 cm aralığında olduğu örneklerin ölçümünü yapılabilmektedir.



Şekil 3.13: Alfa Spektrometresi



Şekil 3.14: Alfa spektrometresinde ^{210}Po ve ^{209}Po pikleri

3.4.4. ^{210}Po Aktivitesinin Hesaplanması

^{210}Po 'un aktivite hesaplaması aşağıdaki formül ile yapılmıştır;

$$\text{Aktivite} \left(\frac{\text{mBq}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Pikalanı} \times 1000}{\text{Toplam verim} \times \text{Sayım süresi (s)} \times \text{Filtre edilen hava miktarı (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Toplam belirsizlik} = \text{Aktivite} \times \sqrt{\left(\frac{\text{Sayım hatası}}{\text{Sayım}} \right)^2 + \left(\frac{\text{Verim hatası}}{\text{Verim}} \right)^2}$$

$$Toplam\ verim = \frac{Pik\ alanı\ (Po-209)}{Po-209\ aktivitesi\ (Bq) \times sayım\ süresi}$$

$$Verim\ hata = \frac{Sayımhata\ (Po-209)}{Sayımsüresi\ (s)}$$

3.4.5. ²¹⁰Pb ÖLÇÜMÜ

Po-210 ölçümü yapılan örnekler ve akciğer biyoerişebilirlik testi için kullanılacak örnekler ²¹⁰Pb aktivite hesaplaması yapılabilmesi için en az 6 ay süreyle hava almayacak şekilde laboratuvarında bekletilmiştir. Burada amaç, ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb arasındaki radyoaktif dengenin sağlanması ve ²¹⁰Pb'un bozunarak ²¹⁰Po radyonüklidini meydana getirmesidir. Bu sürenin sonunda 3.4.1. no'lu bölümde anlatılan depozisyon tekrar uygulanmıştır. Pb-210 radyonüklidinin bozunmasıyla meydana gelen ²¹⁰Po aktivitesi üzerinden ²¹⁰Pb radyonüklidinin aktivitesi hesaplanmıştır. Pb-210_{toplam} hesabı serideki (parent) radyonüklidler ile dengede olan ²¹⁰Po üzerinden yapılmıştır. Pb-210_{toplam} aktivite konsantrasyon hesabı aşağıdaki formül ve Batemen denklemleri kullanılarak yapılmıştır (Batemen,1910; Cetnar, 2006).

$$APb - 210 = \frac{A2 - A02 \cdot \exp(-\lambda_2 t)}{\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot (\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t))}$$

Formül;

A_{Pb-210} : İlk depozisyon tarihindeki $^{210}Pb_{toplam}$ radyoaktivite konsantrasyonu

A_{02} : İlk depozisyon tarihindeki ^{210}Po aktivite

A_2 : İkinci depozisyonundaki ^{210}Po aktivite

λ_2 : ^{210}Po 'un bozunma sabiti

λ_1 : ^{210}Pb 'un bozunma sabiti

t: Depozisyonlar arasındaki zaman (Szarlowicz ve diğ.,2013).

3.5. AKCİĞER BİYOERİŞEBİLİRLİK TESTİ

Partikül madde aracılığıyla ^{210}Pb 'un akciğerlere ulaşabilen miktarını belirlemek için hava filtrelerine akciğer biyoerişebilirlik testi uygulanmıştır. Bu testte akciğerlerdeki alveolar sıvıyı taklit eden yapay bir solüsyon olan “Gamble Solüsyonu” kullanılmıştır. Hava Filtre örneklerinde kurşun oluşumu için gerekli süre (en az 6 ay) beklendikten sonra filtre örnekleri ortadan ikiye kesilmiştir Kesilen yarım filtrelerden biri, normal polonyum ölçümünde olduğu gibi hazırlanmak için ayrılmış, diğer yarım filtreler ise 250 ml'lik Polipropilen kaplar içerisinde 50 ml değerinde Gamble solüsyonu (pH:7.4) ile 24 saat muamele edilmiştir (Coufalik ve diğ., 2016). Gamble solüsyonu içerisinde bekletilen filtre bu süre zarfında 37 °C etüvde tutulmuş ve belli aralıklarla sallanarak karıştırılmıştır. 24 saatin ardından solüsyondaki filtre alınarak diğer yarım filtre ile birlikte alfa spektrometresinde ölçüm için gerekli standart kimyasal prosedür uygulanmış ve ^{210}Pb ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Gamble solüsyonu içerisine geçen partikül madde içerisindeki ^{210}Pb aktivitesini ölçmek için, öncelikle solüsyon 50ml'lik Falcon tüplere aktarılmış ve parçalanmış filtre dilimlerinin çöktürülmesi için 5000 rpm de 10 dakika boyunca santrifüjlenmiştir (Luo ve diğ., 2019). Santrifüj işleminin ardından sıvı kısım ile çöken katı kısım ayrı ayrı kaplara alınmış çeker ocak altında ısıtma tablası üzerinde 200 °C ' de buharlaştırma işlemi uygulanmıştır.

Buharlaştırmanın ardından kimyasal sindirim standardını korumak ve herhangi bir katı partikül kalmamasını sağlamak adına, örneklerin üzerlerine; mikrodalga işleminde uygulanan prosedürde olduğu gibi nihai hacim 10 ml olacak şekilde; 6 ml % 65'lik HNO_3 ve 4 ml % 37 HF eklenmiştir. Buharlaştırma işlemi tekrarlanmış ve buharlaştırma sırasında üçer kez 0.5 M HCl örneklerle ilave edilmiştir. Tamamen buharlaştırılan örneklerin üzerine 200 ml 0.5 M HCl eklenmiş ve 125 mm por açıklığı olan filtre kağıdı kullanılarak süzölmüştür. Süzme işleminin ardından depozisyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde solüsyonda bekletilen yarım filtre, normal ölçüm için ayrılan yarım filtre, solüsyon ve solüsyon içerisinde çöktürülen filtre parçaları ayrı ayrı analiz edilip ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

3.5.1. Gamble Solüsyonu Hazırlanışı

Herhangi bir tuz oluşumuyla çökelme olmaması için Gamble solüsyonunun bileşenleri Tablo 3.3' te verilen sıraya göre eklenmiştir. Solüsyon hazırlanırken pH'da olası artışı dengelemek için 1-2 ml 1 M HCl eklenmiştir (Dean JR ve diğ., 2017). Çökelme meydana getirebilme olasılığına karşı pH'ı düşürmede NaOH kullanılmamıştır (Wiseman ve Zereini, 2014). Hazırlanan solüsyon kullanılmadan önce 24 saat bekletilmiş ardından pH ölçümü yapılmış, herhangi bir değişiklik yok ise akciğer biyoerişebilirlik testi için kullanılmıştır (Shi ve diğ., 2006).

Gamble Solüsyonu Tablo 3.3 'te gösterilen kimyasallar belirtilen miktarlarda eklenerek 1 L balonjojede hazırlanmıştır. Herhangi bir çökelme olmaması için Gamble çözeltisinin bileşenleri Tablo 3.3 'te belirtilen sıraya göre eklenmiştir (Colombo ve diğ., 2008). Solüsyon manyetik karıştırıcıda 500 rpm hızda sürekli karıştırılmış ve ışık almayacak şekilde alüminyum folyo ile sarılmıştır (Şekil 3.15). Solüsyon hazırlanırken pH'da değişim olmamasına özen gösterilmiştir. Solüsyon kullanılmadan önce 24 saat boyunca bekletilmiş, bu süre sonunda pH ölçümü yapılarak herhangi bir değişiklik yok ise akciğer biyoerişebilirlik testi için kullanılmıştır.

Tablo 3.3: Gamble Solüsyonu (g/L)

Kimyasallar (g/L)	Gamble Solüsyonu pH=7.4
Magnezyum klorür, MgCl_2	0.095
Sodyum klorür, NaCl	6,019
Potasyum klorür, KCl	0.298
Disodyum hidrojen fosfat, $\text{Na}_2 \text{HPO}_4$	0.126
Sodyum sülfat, Na_2SO_4	0.063
Kalsiyum klorür dihidrat $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.368
Sodyum asetat, $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2\text{Na}$	0.574
Sodyum hidrojen karbonat, NaHCO_3	2,604
Sodyum sitrat dihidrat, $\text{C}_6\text{H}_5, \text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.097

4. BULGULAR

Bu çalışmada, belli zaman dilimlerinde 24 kez Kadıköy ve 4 kez Aksaray istasyonlarından 24 saatlik hava filtreleme işleminden geçirilmiş filtrelerdeki PM örneklerinde; ^7Be , ^{210}Po ve ^{210}Pb ölçümleri yapılmıştır. Yine yapılan örneklemelerden ayrılan 15 havafiltresinde akciğerlerde ^{210}Pb radyonüklidinin düzeyini saptamak amacıyla akciğer biyoveriştirlik testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde Aksaray istasyonuna ait filtrelerin tamamında $\text{PM}_{2.5}$ fraksiyonunda, Kadıköy istasyonuna ait örneklerde ise PM_{10} fraksiyonunda ölçüm yapılmıştır. Bütün örneklemeler boyunca hava filtrelerinde Kadıköy istasyonunda bulunan partikül madde miktarları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tablo 4.1’de Aksaray istasyonunda bulunan partikül madde miktarları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Örneklemeler boyunca Kadıköy istasyonundan ölçülen partikül maddenin; mevsimsel olarak dağılımı ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Her örneklem periyodunda 24 saatlik sürede filtre edilen hava miktarı, $55,2 \text{ m}^3$ ’dir. Yapılan örneklemelerde; Aksaray istasyonunda ^7Be aktivite konsantrasyonu ortalama $3,81 \text{ mBq}/\text{m}^3$, Kadıköy istasyonunda ise $5,17 \text{ mBq}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. ^{210}Po aktivitesi ise Aksaray istasyonunda $0,29 \text{ mBq}/\text{m}^3$, Kadıköy istasyonunda $0,25 \text{ mBq}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. ^{210}Pb aktivitesi Aksaray istasyonunda ortalama $0,62 \text{ mBq}/\text{m}^3$, Kadıköy istasyonunda $0,96 \text{ mBq}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Sonuçlar doğrultusunda; Po/Pb oranı $0,26$ olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmalarda $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ oranının $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} örneklerinde yaklaşık 0.1 olduğu belirtilmektedir (Dlugosz ve diğ.2010, Baskaran ve Shar, 2001).

Filtrelere uygulanan akciğer biyoveriştirlik testinde solüsyonda ölçülen ortalama ^{210}Pb aktivitesi $0,15 \text{ mBq}/\text{m}^3$ olarak, aynı örneklemelerdeki toplam ^{210}Pb ölçümünün ortalama aktivitesi $0,67 \text{ mBq}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür.

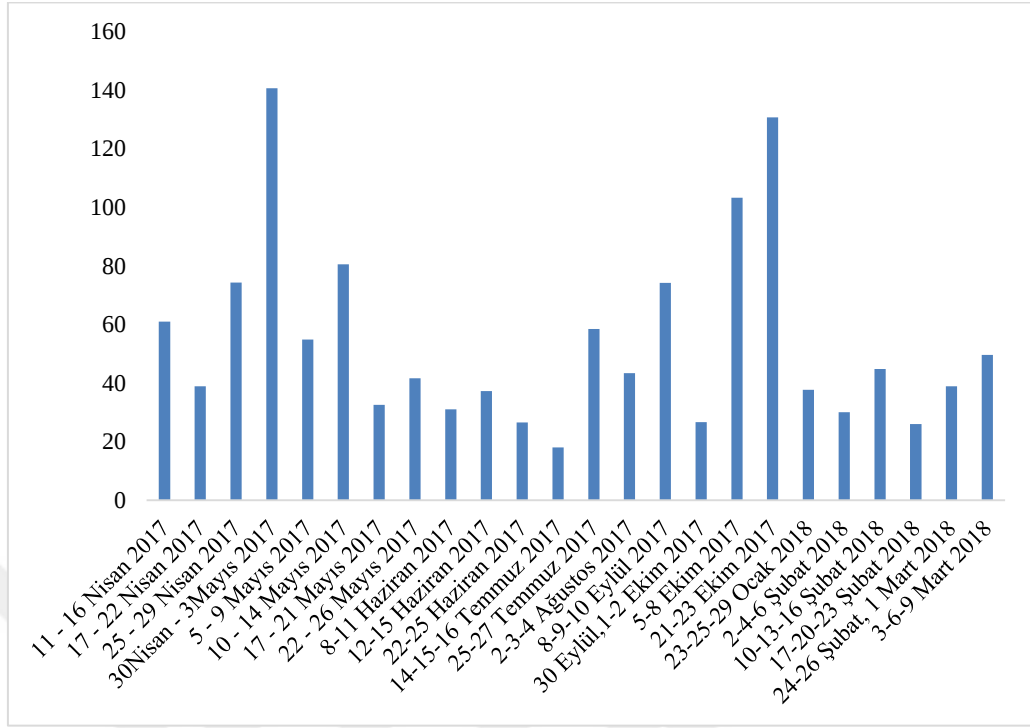
4.1. İSTATİSTİK TESTLER

Kadıköy istasyonundan elde edilen örneklemelerdeki ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarına, Kadıköy istasyonundan elde edilen örneklemelerdeki ^{210}Pb aktivite konsantrasyonlarına, bu konsantrasyonların mevsimsel dağılımına aynı zamanda Kadıköy istasyonundan elde edilen örneklemelerdeki PM miktarlarına, Kolmogorov-simironov testi uygulanarak verilerin normal dağılıma uyup uymadığı ölçüldü. Sonuçlar normal dağılım göstermediği için non-parametrik test olan Kruskal-Wallis testi ve post hoc Dunn testi uygulandı.



Tablo 4.1: Kadıköy istasyonundan elde edilen PM₁₀ filtre örneklerinin birim hava hacmindeki miktarları (µg/m³) ve örnekleme gün sayısı

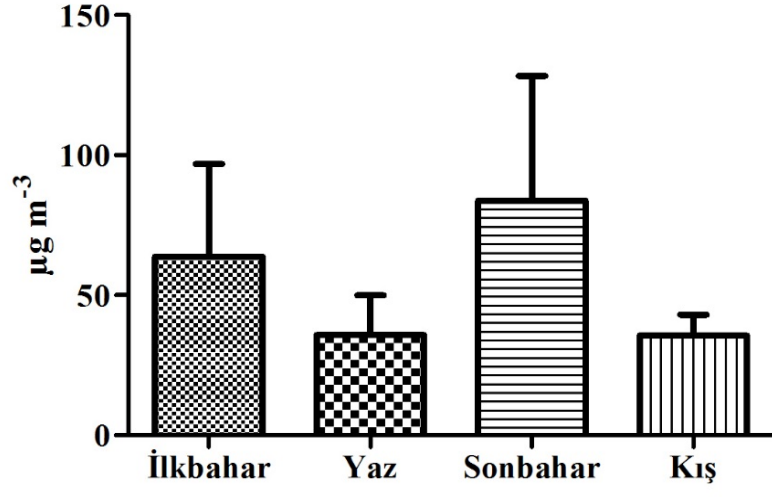
ÖRNEKLEME İSTASYONU	ÖRNEKLEME TARİHİ	PM ₁₀ (µg/m ³)	ÖRNEKLEME GÜN SAYISI
KADIKÖY	11 - 16 Nisan 2017	61,0	6
	17 - 22 Nisan 2017	39,0	6
	25 - 29 Nisan 2017	74,4	5
	30Nisan - 3Mayıs 2017	140,7	4
	5 - 9 Mayıs 2017	54,9	5
	10 - 14 Mayıs 2017	80,6	5
	17 - 21 Mayıs 2017	32,6	5
	22 - 26 Mayıs 2017	41,7	5
	8-11 Haziran 2017	31,1	4
	12-15 Haziran 2017	37,3	4
	22-25 Haziran 2017	26,6	4
	14-15-16 Temmuz 2017	18,1	3
	25-27 Temmuz 2017	58,5	3
	2-3-4 Ağustos 2017	43,4	3
	8-9-10 Eylül 2017	74,3	3
	30 Eylül,1-2 Ekim 2017	26,7	3
	5-8 Ekim 2017	103,3	4
	21-23 Ekim 2017	130,8	3
	23-25-29 Ocak 2018	37,8	3
	2-4-6 Şubat 2018	30,1	3
	10-13-16 Şubat 2018	44,8	3
	17-20-23 Şubat 2018	26,1	3
	24-26 Şubat, 1 Mart 2018	39,0	3
	3-6-9 Mart 2018	49,7	3



Şekil 4.1: Kadıköy istasyonundan elde edilen PM₁₀ Miktarı (µg/m³)

Tablo 4.2: Aksaray İstasyonundan elde edilen filtre örneklerinin PM_{2.5} miktarı (µg/m³) ve örnekleme gün sayısı

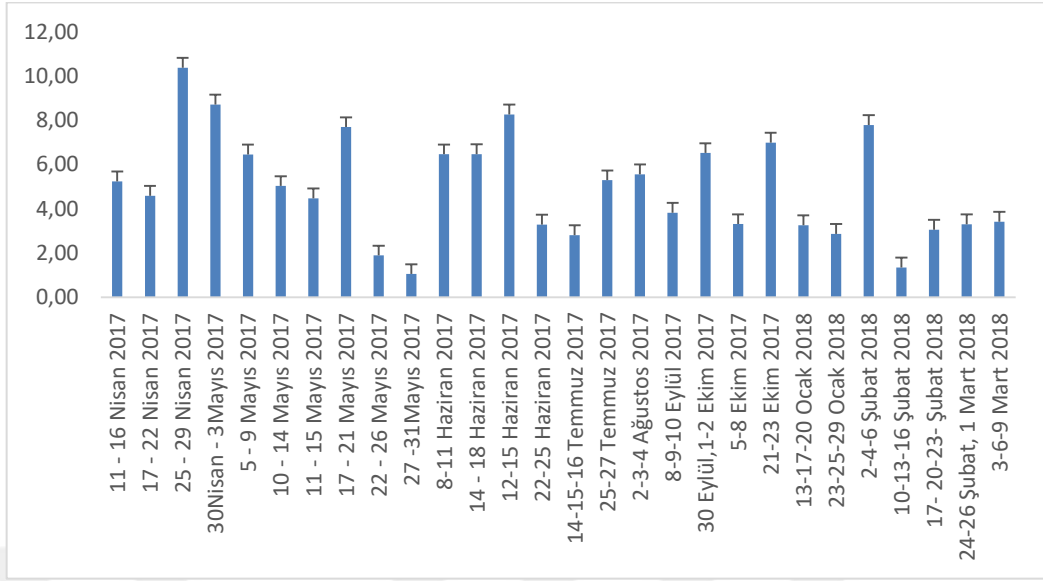
ÖRNEKLEME İSTASYONU	ÖRNEKLEME TARİHİ	PM TÜRÜ	PM MİKTARI (µg/m³)	ÖRNEKLEME GÜN SAYISI
AKSARAY	11 - 15 Mayıs 2017	PM2.5	34,2	5
	27 -31 Mayıs 2017		23,4	5
	14 - 18 Haziran 2017		19,9	5
	13-17-20 Ocak 2018		15,2	3



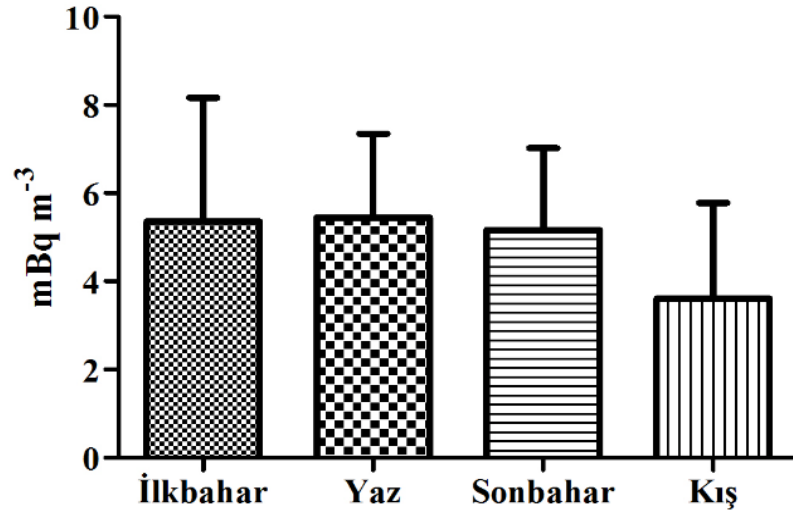
Şekil 4.2: Kadıköy İstasyonu mevsimlere göre PM₁₀ miktarı dağılım grafiği.

Tablo 4.3: Kadıköy istasyonundan elde edilen PM₁₀ örneklerindeki ⁷Be aktivite konsantrasyonları (mBq/m³).

ÖRNEKLEME TARİHİ	Aktivite (mBq/m ³)
11 - 16 Nisan 2017	5,24
17 - 22 Nisan 2017	4,59
25 - 29 Nisan 2017	10,38
30Nisan - 3Mayıs 2017	8,71
5 - 9 Mayıs 2017	6,45
10 - 14 Mayıs 2017	5,03
11 - 15 Mayıs 2017	7,69
17 - 21 Mayıs 2017	1,89
22 - 26 Mayıs 2017	6,46
27 -31Mayıs 2017	8,26
8-11 Haziran 2017	3,28
14 - 18 Haziran 2017	2,81
12-15 Haziran 2017	5,29
22-25 Haziran 2017	5,55
14-15-16 Temmuz 2017	3,82
25-27 Temmuz 2017	6,52
2-3-4 Ağustos 2017	3,31
8-9-10 Eylül 2017	6,99
30 Eylül,1-2 Ekim 2017	2,87
5-8 Ekim 2017	7,79
21-23 Ekim 2017	1,35
13-17-20 Ocak 2018	3,06
23-25-29 Ocak 2018	3,3
2-4-6 Şubat 2018	3,41
10-13-16 Şubat 2018	5,24
17-20-23Şubat 2018	4,59
24-26 Şubat, 1 Mart 2018	10,38
3-6-9 Mart 2018	8,71



Şekil 4.3: Kadıköy İstasyonu ^7Be aktivite dağılım grafiği (mBq/m^3).



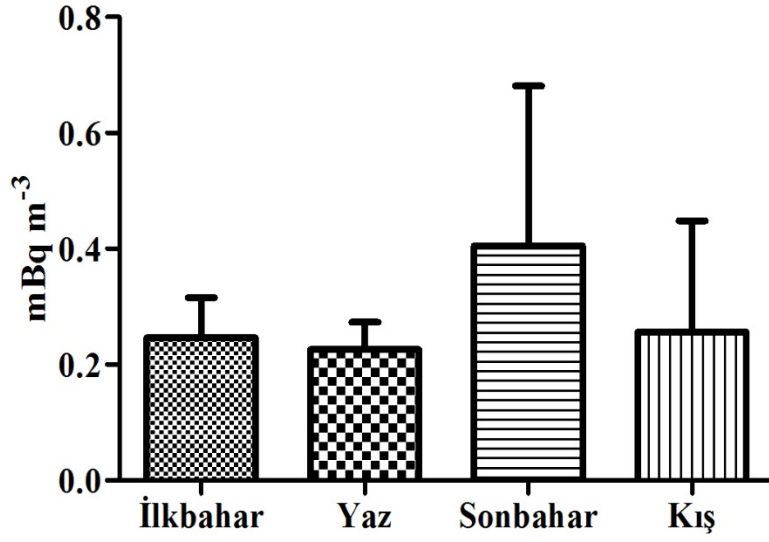
Şekil 4.4: Kadıköy İstasyonu mevsimlere göre ^7Be aktivite konsantrasyon dağılım grafiği (mBq/m^3).

Tablo 4.4: Aksaray istasyonundan elde edilen PM_{2,5} örneklerindeki ⁷Be aktivite konsantrasyonları (mBq/m³).

Örnekleme Tarihi	Aktivite (mBq/m ³)
11 - 15 Mayıs 2017	4,47
27 -31 Mayıs 2017	1,05
14 - 18 Haziran 2017	6,47
13-17-20 Ocak 2018	3,26

Tablo 4.5: Kadıköy istasyonunda elde edilen PM₁₀ örneklerindeki ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonları

Örnekleme Tarihi	Aktivite (mBq/m ³)
11 - 16 Nisan 2017	0,25
17 - 22 Nisan 2017	0,18
25 - 29 Nisan 2017	0,27
30 Nisan - 3 Mayıs 2017	0,2
5 - 9 Mayıs 2017	0,35
10 - 14 Mayıs 2017	0,22
17 - 19 Mayıs 2017	0,2
20 - 22 Mayıs 2017	0,15
23 - 26 Mayıs 2017	0,28
1-3-5-6-7 Haziran 2017	0,26
8-11 Haziran 2017	0,2
12-15 Haziran 2017	0,18
14-16 Ağustos 2017	0,20
18-20-22-26 Ağustos 2017	0,29
5 - 8 Ekim 2017	0,21
21-23 Ekim 2017	0,60
23-25-29 Ocak 2018	0,07
2-4-6 Şubat 2018	0,06
24-26 Şubat 1 Mart 2018	0,64
3-6-9 Mart 2018	0,36
10-13-16 şubat 2018	0,13



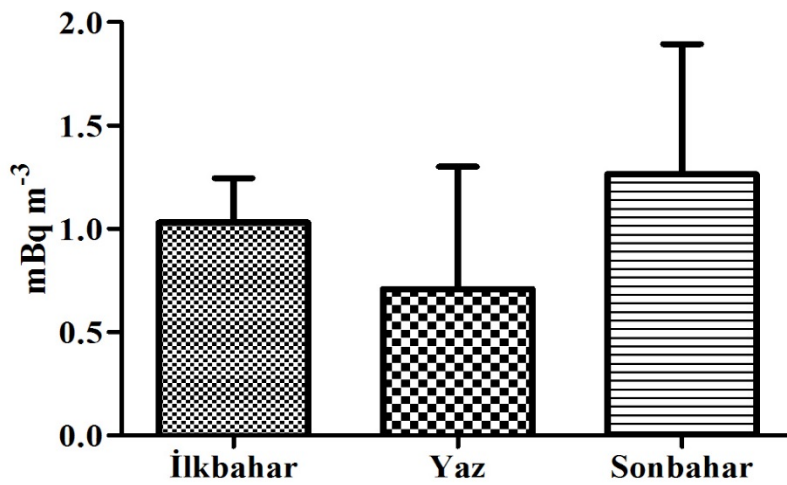
Şekil 4.5: Kadıköy İstasyonu mevsimlere göre ²¹⁰Po aktivite konsantrasyon dağılım grafiği.

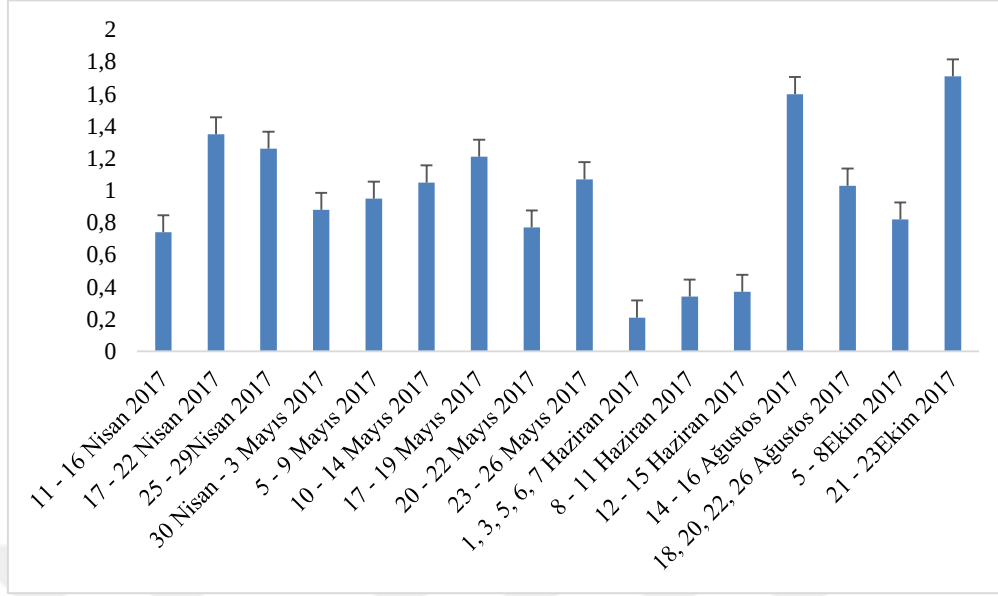
Tablo 4.6: Aksaray istasyonundan elde edilen PM_{2.5} örneklerindeki ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonları

Örnekleme Tarihi	Aktivite (mBq/m ³)
11 - 13 Mayıs 2017	0,17
13 - 15 Mayıs 2017	0,32
27 - 29 Mayıs 2017	0,13
29 - 31 Mayıs 2017	0,11
14 - 18 Haziran 2017	0,10
16-18 Eylül 2017	0,90
21-23 Eylül 2017	0,35
13-17-20 Ocak 2018	0,27

Tablo 4. 7: Kadıköy istasyonundan elde edilen PM₁₀ örneklerindeki ²¹⁰Pb aktivite konsantrasyonları.

Örnekleme Tarihi	Aktivite (mBq/m ³)
11 - 16 Nisan 2017	0,74
17-22 Nisan 2017	1,35
25-29 Nisan 2017	1,26
30 Nisan-3 Mayıs 2017	0,88
5-9 Mayıs 2017	0,95
10-14 Mayıs 2017	1,05
17-19 Mayıs 2017	1,21
20-22 Mayıs 2017	0,77
23-26 Mayıs 2017	1,07
1-3-5-6-7 Haziran 2017	0,21
8-11 Haziran 2017	0,34
12-15 Haziran 2017	0,37
14-16 Ağustos 2017	1,60
18-20-22-26 Ağustos 2017	1,03
5-8 Ekim 2017	0,82
21-23 Ekim 2017	1,71

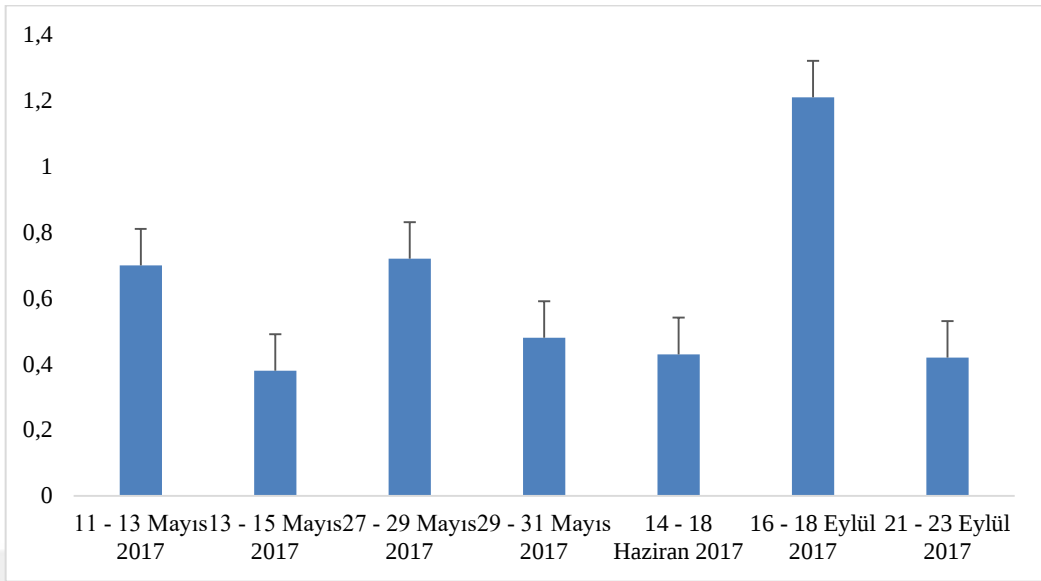
**Şekil 4. 6:** Kadıköy istasyonu mevsimlere göre ²¹⁰Pb aktivite konsantrasyon dağılım grafiği.



Şekil 4.7: Kadıköy istasyonundan gelen örneklerdeki ^{210}Pb aktivite dağılım grafiği.

Tablo 4.8: Aksaray istasyonundan elde edilen $\text{PM}_{2,5}$ örneklerindeki ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları.

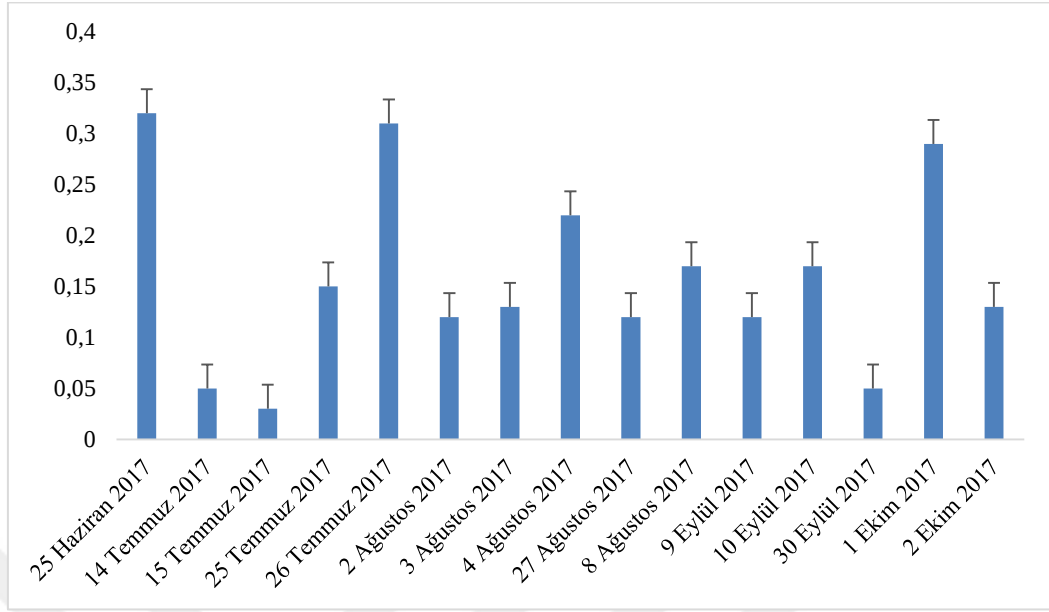
Örnekleme Tarihi	Aktivite (mBq/m ³)
11-13 Mayıs 2017	0,7
13-15 Mayıs 2017	0,38
27-29 Mayıs 2017	0,72
29-31 Mayıs 2017	0,48
14-18 Haziran 2017	0,43
16-18 Eylül 2017	1,21
21-23 Eylül 2017	0,42



Şekil 4. 8: Aksaray istasyonundan elde edilen örneklerdeki ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları dağılım grafiği (mBq/m³).

Tablo 4.9: Akciğer Biyoreişebilirlik Testi Gamble solüsyonunda ölçülen ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları (mBq/m³).

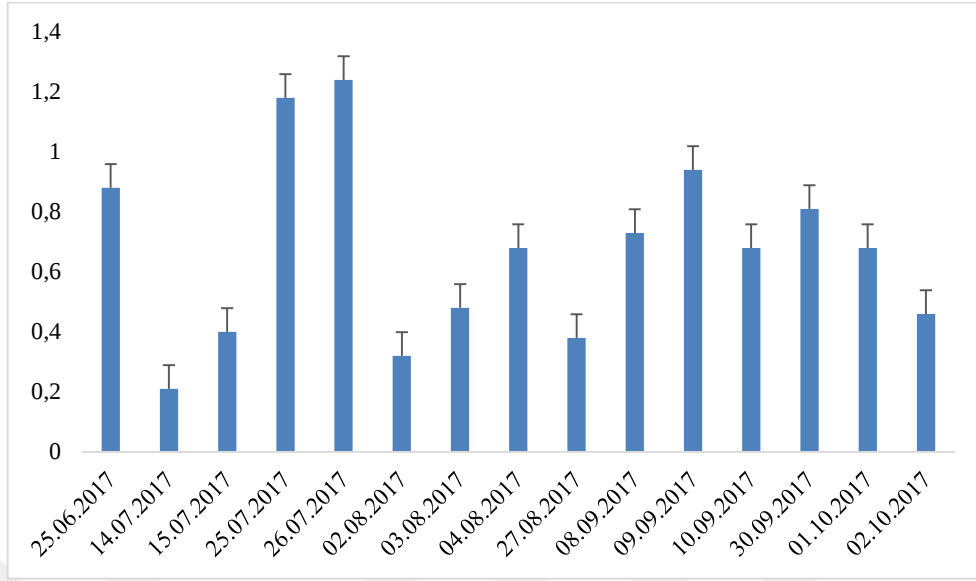
Örnekleme Tarihi	Aktivite (mBq/m3)
25.06.2017	0,32
14.07.2017	0,05
15.07.2017	0,03
25.07.2017	0,15
26.07.2017	0,31
02.08.2017	0,12
03.08.2017	0,13
04.08.2017	0,22
27.08.2017	0,12
08.09.2017	0,17
09.09.2017	0,12
10.09.2017	0,17
30.09.2017	0,05
01.10.2017	0,29
02.10.2017	0,13



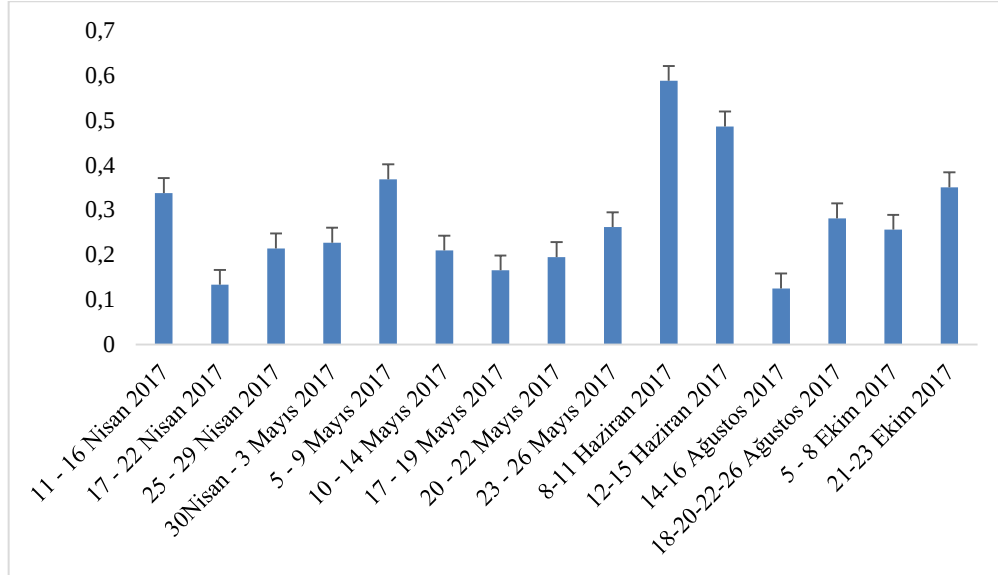
Şekil 4.9: Akciğer Biyoreişebilirlik Testi Gamble solüsyonunda ölçülen ²¹⁰Pb aktivite konsantrasyonları dağılım grafiği (mBq/m³).

Tablo 4.10: Akciğer Biyoreişebilirlik Testi Filtrede ölçülen toplam ²¹⁰Pb aktivite konsantrasyonları (mBq/m³).

Örnekleme Tarihi	²¹⁰ Pb Aktivitesi (mBq/m³)
25.06.2017	0,88
14.07.2017	0,21
15.07.2017	0,40
25.07.2017	1,18
26.07.2017	1,24
02.08.2017	0,32
03.08.2017	0,48
04.08.2017	0,68
27.08.2017	0,38
08.09.2017	0,73
09.09.2017	0,94
10.09.2017	0,68
30.09.2017	0,81
01.10.2017	0,68
02.10.2017	0,46



Şekil 4.10: Akciğer Biyoerişebilirlik Testi toplam Filtrede ölçülen ^{210}Pb aktivite konsantrasyon dağılım grafiği (mBq/m³)



Şekil 4.11: Kadıköy PM₁₀ Örneklerinde $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ Oranı

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1.PM Miktarları Açısından Değerlendirme:

Bu çalışmada İstanbul kent havasında trafik ve insan yoğunluğu fazla olan iki ilçesinde (Aksaray – Kadıköy) hava filtre örneklerinde ^7Be , ^{210}Po ve ^{210}Pb radyonüklidlerinin aktiviteleri belirlenmiş ve ^{210}Pb 'un solunum yoluyla akciğerlere ulaşabilen miktarları akciğer biyoerişebilirlik testi ile ölçülmüştür. Aksaray istasyonundan $\text{PM}_{2.5}$, Kadıköy istasyonundan PM_{10} örnekleme yapılmıştır. Bu durum aynı istasyonda farklı fraksiyonlarda aktivite ve aktivite kaynaklarını değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Milano'da $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} üzerinde yapılan bir çalışmada PM_{10} konsantrasyonunun günlük hedef alınan kalite değeri olan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerinin üzerinde değerlere ulaştığı belirtilmiştir (Marcazzan ve diğ., 2001). Bu tez çalışmasında da PM_{10} miktarı $\text{PM}_{2.5}$ 'a göre daha fazladır ve yapılan örneklemlerdeki PM_{10} miktarı ortalama $45,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dır. Aynı çalışmada eşzamanlı $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} örnekleme ile $\text{PM}_{2.5}$ 'un PM_{10} 'un büyük bir parçası olduğunu ve partikül maddenin bu fraksiyonları arasında iyi bir korelasyon olduğunu vurgulamaktadır. Bu, $\text{PM}_{2.5}$ 'un PM_{10} ölçümlerinden kaba bir şekilde değerlendirilmesine izin vermesi bakımından değerlendirilebilir. Küreselleşmeyle birlikte atmosphere giren kirletici miktarının ve çeşidinin her geçen gün artması PM miktarlarının artışı ve fiziko-kimyasal özelliklerinin değişmesi bu alanda yapılan çalışmalarda pek çok kriterin dikkate alınması gibi bir sonuç meydana getirmektedir. Çalışması yapılan kirletici beraberinde yalnızca PM boyutunun etkisi değil PM içeriğinde önem kazanmaktadır. İçeriğin sürekli zenginleşmesi oluşabilecek kimyasal reaksiyonlar ve karsinojen maddeler insan sağlığı açısından büyük tehdit oluşturmaktadır. Bu durum çalışmalarda PM içeriği ve/veya çalışılan kirleticiyi bir vektör gibi kullanmak oluşan sağlık riskleri değerlendirmesinde ilgi çekici sonuçlar verebilir.

5.2. ⁷Be Radyonüklid Değerlendirmesi

Yapılan örneklemelerde; Aksaray istasyonunda ⁷Be aktivite konsantrasyonu ortalama 3,81 mBq/m³, Kadıköy istasyonunda ise 5,17 mBq/m³ olarak ölçülmüştür. Mevsimsel olarak her iki istasyonda büyük farklılıklar olmamasına rağmen kış mevsiminde PM miktarında ve aktivitelerde düşüş yaşanmaktadır. Bu durum yağışlarla beraber havadaki PM'lerin çökmesiyle açıklanabilir.

Be-7 kozmik radyonüklid oluşuyla atmosferdeki dağılımı enlem etkisi ve hava hareketleriyle doğrudan ilişkilendirilmektedir. Yapılan bir çalışmada Tropopozun (Dünya atmosferinin katmanları arasında bulunan Troposfer ile Stratosfer'i birbirinden ayıran tabaka) orta enlemlerde katlanmasının stratosferik ⁷Be'nin troposfer içine transferini arttırdığı Nisan ve Mayıs aylarında genellikle Be seviyelerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Daish ve diğ., 2005). Tropopozun mevsimsel incelenmesi, orta enlemlerde gerçekleştiği ilkbahar hariç troposfer, stratosfer ve troposfer arasında hava değişimine neden olur. Bu durum stratosferde oluşan ⁷Be 'un troposfere geçmesini zorlaştırır. Bu tez çalışmasında da en yüksek ⁷Be değerleri nisan ve mayıs aylarında ölçülmüştür ve Tropopozda meydana gelen hava hareketlerini desteklemektedir.

Be-7 kozmojenik kökenli olduğundan, dünya yüzeyine olan akışı enlemesine bir bağımlılığa sahiptir (Lal ve Peters, 1967). Havadaki konsantrasyonu, yeryüzünün yüzeyinden yükselen rakım arttıkça artar ve yeryüzü yüzeyine olan atmosferik akışı, bu durumda miktarı belirli bir enlemdaki yerel kara kütlelerinden bağımsız olmalıdır (Baskaran, Coleman ve Santschi, 1993). Çalışmanın gerçekleştiği iki istasyon oluşu aynı enlem üzerinde oluşu bu durum açısından değerlendirme yapılmasını sınırlandırmıştır.

Be-7' nin aktivitesi, büyük ölçüde biriktirme durumunda submikron (0.4-2.0 μ m) aerosol parçacıkları ile ilişkilidir (Saleh ve Abdel-Halim, 2018) bu doğrultuda PM_{2,5} 'un atmosferde bulunması ve birikmesi hakkında bilgi sağlayabilir. Be-7 'nin aerosollerde görünür kalma süresi, başlangıçtaki aktivite konsantrasyonuna ve çökme miktarına bağlıdır ve 10 ila 25 gün arasında değişkenlik gösterebilir (Kusmierczyk ve diğ., 2015). Bu doğrultuda çeşitli faktörler ve zaman ile orantılı olarak farklı sonuçlar elde edilebilir bu durum da uzun süreli örneklemeler yapmayı gerekli kılmaktadır.

Tablo 5.1: Hava patikül madde örneklerinde yapılan çalışmalarda ölçülen ^7Be aktivite konsantrasyonları

^7Be Aktivite mBq/m^3	Çalışma bölgesi	Literatür
2.5 - 14.9	Malága, İspanya	Dueñas ve diğ.,2009
0.47 - 12.7	Thessaloniki, Yunanistan	Ioannidou ve diğ., 2005
0.5 - 9	Uppsala, İsveç	Aldahan ve diğ., 2001
0.6 - 18.3	Belgrad, Sırbistan	Todorovic ve diğ.,1999, 2005
0.63 - 6.54	Edinburgh, UK	Likuku, 2006
2.4 - 4.7	Barselona, İspanya	Vallés ve diğ., 2009
04.07- 20.27	Avusturalya	Wallbrink veMurray, 1994
0.2 - 14.9	Kuveyt	Al-Azmi ve diğ., 2001

5.3. ^{210}Po ve ^{210}Pb Radyonüklid Değerlendirmesi

Yapılan örneklemelerde ^{210}Po aktivitesi ortalama olarak; Aksaray istasyonunda $0,2 \text{ mBq}/\text{m}^3$, Kadıköy istasyonunda $0,25 \text{ mBq}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Kış ve yaz mevsiminde aktivitelere düşüş gözlenmiştir. Bu durum kışın yağışlarla çökme yazın ise rüzgar olmayışıyla yer tozunun resüspanse olmayışıyla açıklanabilir. Pb-210 aktivitesi Aksaray İstasyonunda ortalama $0,62 \text{ mBq}/\text{m}^3$, Kadıköy istasyonunda $0,96 \text{ mBq}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. (Porstendorfer ve diğ.,1990) çalışmalarında bulunan değerlere benzer şekilde ^{210}Po 'un aktivitesini $0.03 - 0.3 \text{ mBq}/\text{m}^3$ ve ^{210}Pb aktivitesini $0.2 - 1.5 \text{ mBq}/\text{m}^3$ arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Bu veriler doğrultusunda ^{210}Pb 'un PM_{10} fraksiyonunda daha fazla tutulduğunu söyleyebiliriz. Mevsimsel olarak değerlendirildiğine mevsiminde ^{210}Po miktarında mevsimlere bağlı ciddi bir düşüş gözlemlenmemiştir. Yapılan bir çalışmada kentsel sokak tozunda yüksek ^{210}Pb içeriğinin varlığının, çoğunlukla iklim koşullarına bağlı olarak istemsiz toz alımı yoluyla önemli bir maruz kalma yolu oluşturabildiği belirtilmiştir (Laidlaw ve diğ., 2005). Bu durum kış mevsiminde yağışlara paralel olarak çöken PM 'lerin zeminde çamur vb. şekillerde tutulmasıyla yeniden havaya karışmanın engellenmesiyle açıklanabilir. Çalışmada mevsimsel değerlendirmelere genel anlamda yapılsa da sıcaklık, nem, güneş ışığı yoğunluğu, rüzgar gibi meteorolojik faktörler dikkate alınmamıştır. Yapılan bir çalışma bu meteorolojik

faktörlerin, farklı mevsimlerde farklı olması gerektiğini, ve PM' lerde ağır metaller gibi kirleticilerin tür dağılımını ve biyolojik olarak erişilebilirliğini dolaylı olarak etkileyebildiğini belirtmiştir (Jiao-Jiao ve diğ., 2019). Genel olarak, çalışmamızdaki hem ilk araştırma olması hem de sınırlamalar, türlerin mevsimsel değişimini ve mevsim değişiminin neden olduğu doğrudan etki faktörlerini takip etmemizi ve araştırmamızı teşvik etmektedir.

U-238 bozunma zincirinde yer alan ^{210}Po ve ^{210}Pb 'un çevredeki dağılımı birbiriyle ilişkili olarak meydana gelmektedir. Çalışmada $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ oranı $0,25 \text{ mBq/m}^3$ olarak ölçülmüştür. Dünya genelinde $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ oranının $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} örneklerinde yaklaşık 0.1 olduğu bilinmektedir (Dlugosz ve diğ.2010, Baskaran ve Shar, 2001). Bu oran, ^{210}Pb 'un havada kalış süresinin ve havadaki cansız partiküllere tutunma kapasitesinin ^{210}Pb 'dan 10 kat fazla olduğunu göstermektedir. Kömür yakılması, medencilik faaliyetleri, orman yangınları, çöl tozu ve fabrika atıkları bu oranı polonyum lehine değiştirebilmektedir. Normal şartlarda aerosollerde 0.1 olan $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ oranının orman yangını uçucu küllerinde 12 (Carvalho vd. 2014), fosfat madeni çevresinde 16 olarak bulunması (Al-Masri vd. 2006) antropojenik etkilerin çevrede polonyum konsantrasyonunu ne kadar arttırdığını göstermiştir. Suriye'deki Tarto Limanı'nda aerosollerde 0,44 ile $1,1 \text{ mBq/m}^3$ arasında yüksek ^{210}Po içeriği Al-Masri ve ark. (2006) tarafından tespit edilmiştir. Aynı çalışmada aerosollerde $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ aktivite oranı, 3.85 ile 16.67 arasında değişen diğer karasal numunelerden çok daha yüksekti. Maden alanındaki bu ^{210}Po seviyelerinin yüksek olması, kurutma işleminde ısının kullanıldığı fosfat cevheri işlemlerinden kaynaklanmaktadır (Al-Masri ve ark., 2005, 2006). Bu doğrultuda $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ oranlarının çalışmada elde edilen $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ değerlerinin yüksek oluşu çevresel faktörler, insan faaliyetleri gibi etkilerle değişkenlik gösterebileceği şeklinde açıklanabilir. Biyolojik örneklerde polonyum kurşuna göre daha iyi biriktiğinden $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ oranı bitkilerde ve deniz ürünlerinde 1'den çok daha fazla olmaktadır. Bu nedenle ^{210}Po ve ^{210}Pb karşılaştırıldığında; insanlar beslenme ile ^{210}Po , solunum ile ^{210}Pb 'a daha fazla maruz kalmaktadır. Beslenme ile maruz kalınan toplam radyasyon dozunun %7'sinin ^{210}Po 'dan kaynaklandığı bildirilmiştir. İnsanların aldığı toplam radyasyon dozunun ise %5'inin ^{210}Po 'dan kaynaklandığı bildirilmiştir (UNSCEAR,2000).

5.4. ^{210}Pb Akciğerbiyoerişebilirlik Değerlendirmesi

Filtrelere uygulanan akciğer biyoerişebilirlik testinde solüsyonda ölçülen ortalama ^{210}Pb aktivitesi $0,15 \text{ mBq/m}^3$ olarak ölçülmüştür aynı örneklemelerdeki normal ölçümün ortalama aktivitesi $0,67 \text{ mBq/m}^3$ 'dir. Bu doğrultuda yapılan hesaplamalarla solunum yoluyla alınan ^{210}Pb 'un %23' ü akciğerler tarafından tutulduğunu göstermiştir. Wiseman ve Zereini (2014) PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_1 ile yaptıkları çalışmada 24 saatlik maruziyetle ^{210}Pb 'un akciğer biyoerişebilirliğini %2 – %26 aralığında ölçerek, in vitro biyoerişilebilirlik testlerinin kullanımıyla (akciğer biyoyararlanımını tahmin etmek için) kirletici mobilizasyonunun değerlendirilmesi gerekliliğini vurgulamışlardır. Akciğerlere ulaşan PM'lerin miktarının yanı sıra dokulara nüfus etme hızı, dolaşıma katılarak vücut içerisinde taşınması gibi uzun vadeli etkenler göz önüne alındığında in vitro çalışmaları destekleyen in vivo çalışmaların gerekliliği dikkat çekmektedir.

Yayımlanan in vitro akciğer biyo-erişilebilirlik protokolleri, test parametreleri arasında yüksek bir değişkenlik göstermekte ve bazı parametrelerin fizyolojik uygunluğu PM kaynağı ve özellikleri doğrultusunda sorgulanmalıdır. Ölçümlerde filtrelerin 24 saatlik süreyle solüsyonla muamele edilmesi uzun süreli tutulmanın etkilerini ve aktivite miktarlarının belirlenmesini engellemiştir. Yine testin uygulama periyodunun yalnızca yaz döneminde olması farklı mevsimlerin solunum yoluyla maruziyete etkisinin değerlendirilememesine neden olmuştur.

Toz ve toprak parçacıkları rüzgar ve insan faaliyetleri ile havada askıya alınabilir, havadan PM'ye katkıda bulunabilir ve bu doğrultuda insana maruziyetine katkıda bulunma potansiyeline sahiptir. Jeolojik temelli PM'nin (yani, toprak ve toprağa benzer malzemeden üretilen PM) solunması yoluyla insanların maruz kalması, akciğer sıvılarında çözünürlüğü nedeniyle önemli sağlık riskleri oluşturabilir.

Daha önce yayımlanan in-vitro akciğer biyo-erişilebilirlik protokolleri, test parametreleri arasında yüksek bir değişkenlik görülmekte ve bu durum bazı parametrelerin fizyolojik uygunluğunu düşündürmektedir. Yapılan bir çalışma solunum yoluyla maruz kalmayı temsil eden test yöntemlerinin daha katı ve geniş kabul edilebilirliğine önemli bir ihtiyaç olduğunu; bu nedenle, in vivo validasyon çalışmaları dahil olmak üzere in vitro akciğer biyolojik

erişebilirlik yöntemlerinin geliştirilmesi konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu belirtmiştir (Güney ve diğ., 2016).

SONUÇ

Bir çalışmada, sadece maruz kalma ile havadaki PM'in insan sağlığı üzerindeki etkileri, potansiyel olarak toksik kirleticiler ve bunların simüle edilmiş akciğer sıvılarında gösterilen çözünürlüğü ile birlikte göz önüne alındığında, tek bir bileşen temelinde değerlendirilemez sonucuna varılmıştır (Wiseman ve Zereini, 2014). Bu doğrultuda havadaki PM'nin kimyasal karmaşıklığı zamanın ve boşluğun bir fonksiyonu olarak değişkenliği paralelinde değerlendirildiğinde elde edilen ölçüm verilerinde farklılıklar görülebilir. Sonuç olarak; farklı lokasyonlarda farklı mevsimlerde ve farklı radyonüklidlerde elde edilen sonuçların değişkenlik gösterebileceği kanısına varılmıştır. Bu durum, örnekleme sürelerinin uzun olması ve çeşitli parametrelerle ölçümlerin doğruluğunun desteklenmesi gibi durumların gerekliliğini göstermiştir. Ölçülen üç radyonüklid türünde literatürde yer alan değerlerle benzerlik göstermektedir. Akciğer biyoerişebilirlik testleri önemli sonuçlar vermekle birlikte uzun süreli etkilerin gözlenmesi ve farklı parametrelerin beraberinde sonuçların nasıl değişkenlik göstereceği mutlaka araştırılmalıdır. İstanbul gibi önemli ve yoğun nüfusa sahip bir şehirde, hava partikül madde örneklerinde ^7Be , ^{210}Po ve ^{210}Pb gibi önemli radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonlarının ölçümüyle elde edilen veriler hava kirliliği ve radyoaktif kirlilik bakımından büyük öneme sahiptir.

KAYNAKLAR

- Alam, L., & Mohamed, C. A. R., 2011, A mini review on bioaccumulation of ^{210}Po by marine organisms. *International Food Research Journal*, 18(1).
- Al-Masri, M. S., Al-Karfan, K., Khalili, H., & Hassan, M., 2006, Speciation of ^{210}Po and ^{210}Pb in air particulates determined by sequential extraction. *Journal of environmental radioactivity*, 91(1-2), 103-112.
- Andreae, M. O., Jones, C. D., & Cox, P. M., 2005, Strong present-day aerosol cooling implies a hot future. *Nature*, 435(7046), 1187.
- ATSDR, 2011, Priority List of Hazardous Substance, Division of Toxicology and Environmental Medicine.
- Baskaran, M., & Shaw, G. E., 2001, Residence time of arctic haze aerosols using the concentrations and activity ratios of ^{210}Po , ^{210}Pb and ^7Be . *Journal of Aerosol Science*, 32(4), 443-452.
- Baskaran, M., 2011, Po-210 and Pb-210 as atmospheric tracers and global atmospheric Pb-210 fallout: a review. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(5), 500-513.
- Beks, J. P., Eisma, D., & Van Der Plicht, J., 1998, A record of atmospheric ^{210}Pb deposition in the Netherlands. *Science of the total environment*, 222(1-2), 35-44.
- Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Cayır, A., Coşkun, M., & Coşkun, M., 2016, Assessment of ^{210}Po and ^{210}Pb in lichen, moss and soil around Can coal-fired power plant, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 307(1), 523-531.
- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope III, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Siscovick, D., Sidney, C.S.Jr. Whitsel, L., Peters, A. & Kaufman J.D., 2010, Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331-2378.
- Brunekreef, B., & Holgate, S. T., 2002, Air pollution and health *Lancet* 360 (9341): 1233–1242.
- Carvalho, F. P., Oliveira, J. M., Alberto, G., & i Batlle, J. V., 2010, Allometric relationships of ^{210}Po and ^{210}Pb in mussels and their application to environmental monitoring. *Marine pollution bulletin*, 60(10), 1734-1742.
- Charlson, R. J., Schwartz, S. E., Hales, J. M., Cess, R. D., Coakley, J. J., Hansen, J. E., & Hofmann, D. J., 1992, Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*, 255(5043), 423-430.
- Cherry, R. D., & Shannon, L. V., 1974, The alpha radioactivity of marine organisms. *Atomic energy review*, 12(1), 3-45.

- Colombo, C., Monhemius, A. J., & Plant, J. A., 2008, Platinum, palladium and rhodium release from vehicle exhaust catalysts and road dust exposed to simulated lung fluids. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 71(3), 722-730.
- Connan, O., Germain, P., Solier, L., & Gouret, G., 2007, Variations of ^{210}Po and ^{210}Pb in various marine organisms from Western English Channel: contribution of ^{210}Po to the radiation dose. *Journal of Environmental Radioactivity*, 97(2-3), 168-188.
- Coufalík, P., Mikuška, P., Matoušek, T., & Večeřa, Z., 2016, Determination of the bioaccessible fraction of metals in urban aerosol using simulated lung fluids. *Atmospheric environment*, 140, 469-475.
- Curie, P., 1898, Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende. *Compt. rend.*, 127, 1215-1217.
- Daish, S. R., Dale, A. A., Dale, C. J., 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(3), 457-467.
- Dean, J. R., Elom, N. I., & Entwistle, J. A., 2017, Use of simulated epithelial lung fluid in assessing the human health risk of Pb in urban street dust. *Science of the Total Environment*, 579, 387-395.
- Długosz, M., Grabowski, P., & Bem, H., 2009, ^{210}Pb and ^{210}Po radionuclides in the urban air of Lodz, Poland. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 283(3), 719-725.
- Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Benjamin, G. F. Jr., & Speizer, F. E., 1993, An association between air pollution and mortality in six US cities. *New England journal of medicine*, 329(24), 1753-1759.
- Dutkiewicz, V. A., & Husain, L., 1985, Stratospheric and tropospheric components of ^7Be in surface air. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 90(D3), 5783-5788.
- Fang, D., Wang, Q. G., Li, H., Yu, Y., Lu, Y., & Qian, X., 2016, Mortality effects assessment of ambient PM_{2.5} pollution in the 74 leading cities of China. *Science of The Total Environment*, 569, 1545-1552.
- Filizok, I., Uğur, A., & Özden, B., 2014, Local Enhancement of ^{210}Po Atmospheric Flux at a Site in İzmir, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(1), 1823.
- Gao, P., Lei, T., Jia, L., Song, Y., Lin, N., Du, Y., Feng, Y., Zhang, Z., & Cui, F. (2017). Exposure and health risk assessment of PM_{2.5}-bound trace metals during winter in university campus in Northeast China. *Science of the Total Environment*, 576, 628-636.
- Goix, S., Uzu, G., Oliva, P., Barraza, F., Calas, A., Castet, S., Point, D., Masbou, J., Duprey, J.L., Huayta, C., Chincheros, J., & Gardon, J., 2016, Metal concentration and bioaccessibility in different particle sizes of dust and aerosols to refine metal exposure assessment. *Journal of hazardous materials*, 317, 552-562.

- Grew, E. S. (Ed.), 2018, *Beryllium: Mineralogy, petrology, and geochemistry* (Vol. 50). Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Guney, M., Bourges, C. M. J., Chapuis, R. P., & Zagury, G. J., 2017, Lung bioaccessibility of As, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn in fine fraction (< 20 μm) from contaminated soils and mine tailings. *Science of the Total Environment*, 579, 378-386.
- Guney, M., Chapuis, R. P., & Zagury, G. J., 2016, Lung bioaccessibility of contaminants in particulate matter of geological origin. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(24), 24422-24434.
- Herting, G., Wallinder, I. O., & Leygraf, C., 2006, Factors that influence the release of metals from stainless steels exposed to physiological media. *Corrosion Science*, 48(8), 2120-2132.
- Herting, G., Wallinder, I. O., & Leygraf, C., 2007, Metal release from various grades of stainless steel exposed to synthetic body fluids. *Corrosion Science*, 49(1), 103-111.
- IAEA Annual Report for 2003 <https://www.iaea.org/publications/reports/annual-report-2003>
- 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(2), 277-284.
- Jandacka, D., Durcanska, D., & Bujdos, M. (2017). The contribution of road traffic to particulate matter and metals in air pollution in the vicinity of an urban road. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 397-408.
- Julien, C., Esperanza, P., Bruno, M., & Alleman, L. Y., 2011, Development of an in vitro method to estimate lung bioaccessibility of metals from atmospheric particles. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(3), 621-630.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Gözel, F., & Carvalho, F. P., 2014, Radioactivity levels in mussels and sediments of the Golden Horn by the Bosphorus Strait, Marmara Sea. *Marine pollution bulletin*, 86(1-2), 555-561.
- Kim, C. K., Martin, P., & Fajgelj, A., 2008, Quantification of measurement uncertainty in the sequential determination of ^{210}Pb and ^{210}Po by liquid scintillation counting and alpha-particle spectrometry. *Accreditation and quality assurance*, 13(12), 691-702.
- Koch, D. M., Jacob, D. J., & Graustein, W. C., 1996, Vertical transport of tropospheric aerosols as indicated by ^7Be and ^{210}Pb in a chemical tracer model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 101(D13), 18651-18666.
- Koch, D., & Rind, D., 1998, Beryllium 10/beryllium 7 as a tracer of stratospheric transport. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D4), 3907-3917.
- Lange, C., 1994, Size distribution of atmospheric particles containing beryllium-7. *Journal of Aerosol Science*, 25(Suppl. 1), S55-S56.

- Li, S. W., Li, H. B., Luo, J., Li, H. M., Qian, X., Liu, M. M., Bi, J., Cui, X.Y. & Ma, L. Q., 2016, Influence of pollution control on lead inhalation bioaccessibility in PM_{2.5}: A case study of 2014 Youth Olympic Games in Nanjing. *Environment international*, 94, 69-75.
- Likuku, A. S., 2006, Factors influencing ambient concentrations of ²¹⁰Pb and ⁷Be over the city of Edinburgh (55.9 N, 03.2 W). *Journal of Environmental Radioactivity*, 87(3), 289-304.
- Łowicki, D., 2019, Landscape pattern as an indicator of urban air pollution of particulate matter in Poland. *Ecological indicators*, 97, 17-24.
- Lundensia, A. S., & Persson, B. R. R., 2015, Global distribution of ⁷Be, ²¹⁰Pb and, ²¹⁰Po in the surface air. *Acta Scientiarum Lundensia*, 2015, 008.
- Luo, X., Zhao, Z., Xie, J., Luo, J., Chen, Y., Li, H., & Jin, L., 2019, Pulmonary bioaccessibility of trace metals in PM_{2.5} from different megacities simulated by lung fluid extraction and DGT method. *Chemosphere*, 218, 915-921.
- Masarik, J., & Beer, J., 1999, Simulation of particle fluxes and cosmogenic nuclide production in the Earth's atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D10), 12099-12111.
- Masqué, P., Sanchez-Cabeza, J. A., Bruach, J. M., Palacios, E., & Canals, M., 2002, Balance and residence times of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in surface waters of the northwestern Mediterranean Sea. *Continental Shelf Research*, 22(15), 2127-2146.
- Mbengue, S., Alleman, L. Y., & Flament, P., 2015, Bioaccessibility of trace elements in fine and ultrafine atmospheric particles in an industrial environment. *Environmental geochemistry and health*, 37(5), 875-889.
- McNeary, D., & Baskaran, M., 2003, Depositional characteristics of ⁷Be and ²¹⁰Pb in southeastern Michigan. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D7).
- Meli, M. A., Desideri, D., Penna, A., Ricci, F., Penna, N., & Roselli, C., 2013, ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb concentration in environmental samples of the Adriatic Sea. *International Journal of Environmental Research*, 7(1), 51-60.
- Midander, K., Wallinder, I. O., & Leygraf, C., 2007, In vitro studies of copper release from powder particles in synthetic biological media. *Environmental Pollution*, 145(1), 51-59.
- Mukhtar, A., & Limbeck, A., 2013, Recent developments in assessment of bio-accessible trace metal fractions in airborne particulate matter: A review. *Analytica Chimica Acta*, 774, 11-25.
- Mukhtar, A., Mohr, V., & Limbeck, A., 2015, The suitability of extraction solutions to assess bioaccessible trace metal fractions in airborne particulate matter: a comparison of common leaching agents. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(21), 16620-16630.

- Neff, J. C., Reynolds, R. L., Munson, S. M., Fernandez, D., & Belnap, J., 2013, The role of dust storms in total atmospheric particle concentrations at two sites in the western US. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(19), 11-201.
- Özbeyaz, A., Tufaner, F., & Demirci, Y., 2016, Partikül madde ile ilişkili görüntüleri kullanarak hava kirliliği tahminine ait bir model tasarımı. In *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress*. Çukurova University, October (pp. 26-28).
- Paatero, J., Ioannidou, A., Ikonen, J., & Lehto, J., 2017, Aerosol particle size distribution of atmospheric lead-210 in northern Finland. *Journal of environmental radioactivity*, 172, 10-14.
- Parfenov, Y. D., 1974, Polonium-210 in the environment and in the human organism. *Atomic Energy Review*, 12(1), 75-143.
- Peirson, D. H., Cambray, R. S., & Spicer, G. S., 1966, Lead-210 and polonium-210 in the atmosphere. *Tellus*, 18(2-3), 427-433.
- Pérez-Gil, J., & Keough, K. M., 1998, Interfacial properties of surfactant proteins. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1408(2-3), 203-217.
- Perez, L., Tobias, A., Querol, X., Künzli, N., Pey, J., Alastuey, A., & Sunyer, J., 2008, Coarse particles from Saharan dust and daily mortality. *Epidemiology*, 19(6), 800-807.
- Pham, M. K., Betti, M., Nies, H., & Povinec, P. P., 2011, Temporal changes of ⁷Be, ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb activity concentrations in surface air at Monaco and their correlation with meteorological parameters. *Journal of environmental radioactivity*, 102(11), 1045-1054.
- Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D., 2002, Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama*, 287(9), 1132-1141.
- Pope III, C. A., & Dockery, D. W., 2006, Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the air & waste management association*, 56(6), 709-742.
- Porstendörfer, J., Zock, C., & Reineking, A., 2000, Aerosol size distribution of the radon progeny in outdoor air. *Journal of environmental radioactivity*, 51(1), 37-48.
- Rooney, S. A., Young, S. L., & Mendelson, C. R., 1994, Molecular and cellular processing of lung surfactant. *The FASEB Journal*, 8(12), 957-967.
- Rosenfeld, D., Lohmann, U., Raga, G. B., O'Dowd, C. D., Kulmala, M., Fuzzi, S., Reissel, A., & Andreae, M. O., 2008, Flood or drought: how do aerosols affect precipitation. *science*, 321(5894), 1309-1313.
- Sabuti, A. A., & Mohamed, C. A. R., 2016, Impact of northern and southern air mass transport on the temporal distribution of atmospheric ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb in the east coast of Johor, Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(18), 18451-18465.

- Sarin, M. M., Krishnaswami, S., Ramesh, R., & Somayajulu, B. L. K., 1994, ^{238}U decay series nuclides in the northeastern Arabian Sea: scavenging rates and cycling processes. *Continental Shelf Research*, 14(2-3), 251-265.
- Sathyapriya, R. S., Prabhath, R. K., Acharya, R., & Rao, D. D., 2017, Assessment of annual intake of thorium from animal origin food consumed by population residing in monazite rich area of southern India. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 312(2), 405-412.
- Schlesinger, R. B., Kunzli, N., Hidy, G. M., Gotschi, T., & Jerrett, M., 2006, The health relevance of ambient particulate matter characteristics: coherence of toxicological and epidemiological inferences. *Inhalation toxicology*, 18(2), 95-125.
- Shakhashiro, A., Sansone, U., Wershofen, H., Bollhöfer, A., Kim, C. K., Kim, C. S., Kis-Benedek, G., Korun, M., Moune, M., Lee, S.H., Tarjan, S. & Al-Masri, M.S., 2011, The new IAEA reference material: IAEA-434 technologically enhanced naturally occurring radioactive materials (TENORM) in phosphogypsum. *Applied Radiation and isotopes*, 69(1), 231-236.
- Shi, R., Ding, T., Liu, Q., Han, Y., Zhang, L., Chen, D., & Tian, W., 2006, In vitro degradation and swelling behaviour of rubbery thermoplastic starch in simulated body and simulated saliva fluid and effects of the degradation products on cells. *Polymer Degradation and Stability*, 91(12), 3289-3300.
- Stewart, G., Cochran, J. K., Xue, J., Lee, C., Wakeham, S. G., Armstrong, R. A., Masque, P., & Miquel, J. C., 2007, Exploring the connection between ^{210}Po and organic matter in the northwestern Mediterranean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 54(3), 415-427.
- Stewart, G. M., Fowler, S. W., & Fisher, N. S., 2008, The bioaccumulation of U-and Th-series radionuclides in marine organisms. *Radioactivity in the Environment*, 13, 269-305.
- Stopford, W., Turner, J., Cappellini, D., & Brock, T., 2003, Bioaccessibility testing of cobalt compounds. *Journal of Environmental Monitoring*, 5(4), 675-680.
- Sun, G., Crissman, K., Norwood, J., Richards, J., Slade, R., & Hatch, G. E., 2001, Oxidative interactions of synthetic lung epithelial lining fluid with metal-containing particulate matter. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, 281(4), L807-L815.
- Tang, Z. J., Hu, X., Chen, Y. J., Qiao, J. Q., & Lian, H. Z., 2019, Assessment of in vitro inhalation bioaccessibility of airborne particle-bound potentially toxic elements collected using quartz and PTFE filter. *Atmospheric environment*, 196, 118-124.
- Tateda, Y., & Iwao, K., 2008, High ^{210}Po atmospheric deposition flux in the subtropical coastal area of Japan. *Journal of environmental radioactivity*, 99(1), 98-108.
- Ugur, A., 1998, Gökova Körfezi Deniz Sediment Korlarında Radyoaktif Pb, Po, Ra, Cs, Am ve Pu İzotoplarının Dağılımının İncelenmesi, *Sediment Hizi ve Tarihleme Çalışmalarında*

Kullanılması, EÜ Fen Bil. Nükleer Bil. ABD (Doctoral dissertation, Doktora Tezi.-1 210 210).

- Uğur, A., Özden, B., & Filizok, I., 2011, Determination of ^{210}Po and ^{210}Pb concentrations in atmospheric deposition in Izmir (Aegean Sea-Turkey). *Atmospheric environment*, 45(27), 4809-4813.
- Uğur, A., Yener, G., & Başsarı, A., 2002, Trace metals and ^{210}Po (^{210}Pb) concentrations in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) consumed at western Anatolia. *Applied Radiation and Isotopes*, 57(4), 565-571.
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency), 1999, Compendium of methods for the determination of inorganic compounds in ambient air.
- Usoskin, I. G., & Kovaltsov, G. A., 2008, Production of cosmogenic ^7Be isotope in the atmosphere: Full 3-D modeling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D12).
- Vaasma, T., Loosaar, J., Gyakwaa, F., Kiisk, M., Özden, B., & Tkaczyk, A. H., 2017, Pb-210 and Po-210 atmospheric releases via fly ash from oil shale-fired power plants. *Environmental pollution*, 222, 210-218.
- Vecchi, R., Marcazzan, G., & Valli, G., 2005, Seasonal variation of ^{210}Pb activity concentration in outdoor air of Milan (Italy). *Journal of environmental radioactivity*, 82(2), 251-266.
- Villa, M., Mosqueda, F., Hurtado, S., Mantero, J., Manjón, G., Periañez, R., Vaca, F., & García-Tenorio, R., 2009, Contamination and restoration of an estuary affected by phosphogypsum releases. *Science of the total environment*, 408(1), 69-77.
- Werner, M., Kryza, M., Skjøth, C. A., WAŁASZEK, K. I. N. G. A., Dore, A. J., Ojzyńska, H., & Kapło, J., 2018, Aerosol-radiation feedback and PM 10 air concentrations over Poland. In *Geoinformatics and Atmospheric Science* (pp. 93-110). Birkhäuser, Cham.
- Wiseman, C. L., & Zereini, F., 2014, Characterizing metal (loid) solubility in airborne PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ in Frankfurt, Germany using simulated lung fluids. *Atmospheric Environment*, 89, 282-289.
- Wiseman, C. L., 2015, Analytical methods for assessing metal bioaccessibility in airborne particulate matter: a scoping review. *Analytica chimica acta*, 877, 9-18.
- Yang, W., Huang, Y., Chen, M., Zhang, L., Li, H., Liu, G., & Qiu, Y., 2006, Disequilibria between ^{210}Po and ^{210}Pb in surface waters of the southern South China Sea and their implications. *Science in China Series D*, 49(1), 103-112.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Esin Öztürk
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	04.08.1992
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	0531 508 47 21
E-Posta Adresi	ozturkesinn@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Biyoloji Bölümü
Mezuniyet Yılı	17.06.2014

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Genel Biyoloji Anabilim Dalı
Programı	Genel Biyoloji Programı

Makale ve Bildiriler	