

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İZMİT KÖRFEZİ' NDE <sup>137</sup>Cs ve <sup>210</sup>Po RADYONÜKLİDLERİNİN  
SEVİYELERİNİ VE ÜRÜNLERE TOPRAKTAN TRANSFER  
FAKTÖRLERİNİ SAPTANMAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Berna ERDURMUŞ**

**Anabilim Dalı: Fizik**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nalan ÖZKAN GÜRAY**

**KOCAELİ, 2007**

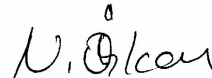
**İZMİT KÖRFEZİ' NDE  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{210}\text{Po}$  RADYONÜKLİDLERİNİN  
SEVİYELERİNİ VE ÜRÜNLERE TOPRAKTAN TRANSFER  
FAKTÖRLERİNİ SAPTAMAK**

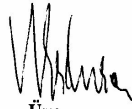
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


**Berna ERDURMUŞ**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:21 Mayıs 2007

Tezin Savunulduğu Tarih :30 Mayıs 2007

  
Tez Danışmanı  
Yrd.Doç.Dr. Nalan ÖZKAN  
GÜRAY

  
Üye  
Prof.Dr.M. Nizamettin  
ERDURAN

  
Üye  
Prof.Dr.Hüseyin DİRİM

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İzmit Körfezi'nde toprak, liken ve karayosunu gibi üç farklı numune üzerinde  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{210}\text{Po}$  radyonüklidlerinin analizleri gama ve alfa sayım sistemleriyle yapıldı. Daha sonra gama sayım sisteminden elde edilen sonuçlar ile  $^{137}\text{Cs}$  için transfer faktörleri hesaplandı.

İzmit Körfezi için yapılan bu çalışma, bölgedeki doğal ve yapay radyoaktivite hesabı açısından çok önemlidir. Daha önce bu bölge için bu tür bir çalışmaya ilişkin herhangi bir veri yoktu. Bu çalışma ile İzmit Körfez'i için bir ön çalışma yapılmış olmaktadır.

Böyle güncel ve halk sağlığı açısından çok önemli bir çalışmayı bana vererek, arazi ve laboratuvar ortamında çalışma imkanı sağlayan ve bu çalışma boyunca benden ilgisini ve yardımlarını esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Nalan ÖZKAN GÜRAY'a ve her konuda bana yardımcı olan değerli Hocam Yrd. Doç. Dr. R. Taygun GÜRAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde görev yapan ve tezimin her aşamasında benden desteğini, ilgisini, yardımlarını esirgemeyen, sorularıma her zaman yanıt bulduğum Sayın Dr. Nurdan GÜNGÖR'e, Sayın Dr. Sayhan TOPÇUOĞLUN'a ve Rutherford'un torunusun diyerek beni onurlandıran Sayın Dr. A. Fadıl AKGÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bana her zaman güvenen, inanan, moral veren, her zaman yanımda olan, maddi ve manevi her türlü desteği benden esirgemeyen Babam Necati ERDURMUŞ'a, Annem Pakize ERDURMUŞ'a, Kardeşim Okan ERDURMUŞ'a ve müstakbel eşim Murat TIRPANCI'ya gönülden teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİN.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER.....	vii
ÖZET.....	ix
İNGİLİZCE ÖZET.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Bu Çalışmanın Amacı.....	4
1.2. Uluslararası Nükleer Olay Ölçeği.....	6
2. RADYOAKTİVİTE.....	7
2.1. Doğal Radyoaktivite.....	7
2.1.1. Alfa radyasyonu.....	8
2.1.2. Beta radyasyonu.....	9
2.1.3. Gama ve X-ışınları radyasyonu.....	10
2.1.4. Nötron radyasyonu.....	12
2.2. Radyoaktivite Bozunum Kanunu.....	12
2.3. Radyasyon Birimleri.....	13
2.4. Radyoaktivite Birimi.....	14
2.5. Çevresel Radyasyon Kaynakları.....	14
2.5.1. Primordial radyonüklidler.....	15
2.5.2. Kozmojenik radyonüklidler.....	17
2.5.3. Antropojenik radyonüklidler.....	17
2.5.4. Topraktaki doğal radyoaktivite.....	17
2.5.5. Topraktaki Cs-137'nin kaynağı.....	19
2.5.6. Topraktaki Po-210'un kaynağı.....	19
3. ENERJİ ÖLÇÜM SİSTEMLERİ.....	21
3.1. Gamaların Madde İle Etkileşmeleri.....	21
3.2. Gama Spektrometresi.....	22
3.2.1. Germanyum dedektörleri.....	26
3.2.2. Enerji kalibrasyonu.....	28
3.2.3. Verim kalibrasyonu.....	29
3.2.4. Enerji ayırma gücü.....	29
3.3. Alfa Spektrometrisi.....	30
4. NUMUNELERİN TOPLANMASI VE HAZIRLANMASI.....	31
4.1. Genel Uygulamalar.....	31
4.1.1. Temizlik.....	32
4.2. Numunelerin Saklanması.....	32

4.2.1. Kurutma.....	33
4.2.2. Buharlaştırma.....	35
4.2.3. Külleştirme.....	35
4.3. Numune Alma ve Ön Hazırlık.....	40
4.3.1. Ot.....	40
4.3.2. Toprak.....	41
5. HATA HESAPLAMALARI.....	43
5.1. Mutlak Hata.....	43
5.2. Bağıl Hata.....	44
5.3. Aritmetik İşlemlerde Hata.....	44
5.3.1. Toplama ve çıkarmada hata.....	45
5.3.2. Çarpmada hata.....	45
5.3.3. Bölmede hata.....	46
5.3.4. Üssel fonksiyonlarda hata.....	46
5.3.5. Eksponansiyel fonksiyonlarda hata.....	47
6. DENEYİN YAPILIŞI.....	48
6.1. Numune Toplama.....	48
6.1.1. Toprak.....	49
6.1.2. Liken.....	49
6.1.3. Karayosunu.....	50
6.2. Numune Hazırlama.....	50
6.2.1. C-137 analizi için numune hazırlama yöntemi.....	50
6.2.2. Po-210 analiz için numune hazırlama yöntemi.....	52
6.3. Numunelerin Sayımı.....	52
6.3.1. Gama spektrometri sistemi.....	53
6.3.2. Alfa spektroskopi sistemi.....	54
6.4. Hesaplamalar.....	54
6.4.1. Enerji kalibrasyonu.....	54
6.4.2. Verim kalibrasyonu.....	56
6.4.3. Fon Sayımı.....	58
6.4.4. b11 spektrumu.....	59
6.4.5. Alan hesabı.....	60
6.4.6. Cs-137 için aktivite hesabı.....	60
6.4.7. Po-210 için aktivite hesabı.....	61
6.4.8. Transfer faktörü hesabı (TF).....	62
6.5. Deney Sonuçları.....	62
6.5.1. Cs-137 için.....	62
6.5.2. Po-210 için.....	63
6.5.3. Cs-137 Transfer faktörü.....	64
6.5.4. Po-210 Transfer faktörü.....	65
7. TARTIŞMA VE YORUM.....	66
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	71

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kontrolsüz olarak salınan radyonüklidlerin insana başlıca geçiş yolları.....	2
Şekil 2.1. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları (T.A.E.K).....	15
Şekil 2.2. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (T.A.E.K).....	15
Şekil 2.3. U-235 bozunum serisi.....	16
Şekil 2.4. Cs-137'nin bozunum şeması.....	19
Şekil 2.5. Po-210'un bozunum şeması.....	20
Şekil 3.1. Fotoelektrik olay.....	21
Şekil 3.2. Kompton saçılması.....	22
Şekil 3.3. Çift oluşum.....	22
Şekil 3.4. NaI dedektörünün şeması.....	25
Şekil 3.5. NaI' ya göre Ge(Li) dedektörünün ayırma güçlerinin karşılaştırılması.....	26
Şekil 3.6. Gama sayım sistemine örnek bir şema.....	27
Şekil 3.8. Alfa spektrometrisi dedektör sistemi.....	30
Şekil 3.9. Alfa spektrometresinin elektronik devresi.....	30
Şekil 6.1. İzmit Körfezi'nde seçilen 7 istasyon.....	48
Şekil 6.2. Toprak numunesi hazırlanışı.....	49
Şekil 6.3. Liken.....	50
Şekil 6.4. Jöle kabı.....	52
Şekil 6.5. Gama spektrometre sisteminin elektroniği düzeneği.....	53
Şekil 6.6. Ç.N.A.E.M gama sayım sistemi.....	53
Şekil 6.7. Ç.N.A.E.M alfa sayım sistemi.....	54
Şekil 6.8. Multinüklid standart gama kaynağı.....	55
Şekil 6.9. Enerji kalibrasyon grafiği.....	56
Şekil 6.10. Standart kaynak kullanılarak 20.000 saniye sayımla elde edilen spektrum.....	57
Şekil 6.11. Verim grafiği.....	58
Şekil 6.12. 250.000 saniye sayım sonucu elde edilen fon sayım spektrumu..	58
Şekil 6.13. b14(Umuttepe-toprak) spektrumu.....	59
Şekil 6.14. Spektrumda alan hesaplama yöntemi.....	60
Şekil 6.15. 210Po alfa spektrum örneği.....	61

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. İyonlaştırıcı radyasyon özellikleri.....	8
Tablo 2.2. Alfa parçacığı yayınlayan bazı izotoplar.....	9
Tablo 2.3. Beta parçacığı yayınlayan bazı izotoplar.....	10
Tablo 2.4. Gama parçacığı yayınlayan bazı izotoplar.....	11
Tablo 2.5. Farklı malzemelerin HVT ve TVT değerleri (cm).....	12
Tablo 2.6. İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri.....	14
Tablo 3.1. Tipik standart gama kaynakların yayınladıkları gama enerjileri...	29
Tablo 4.1. Kütleştirme işlemleri sırasında uygulanacak ilk sıcaklık dereceleri.....	33
Tablo 4.2. Gram kül elde etmek için gerekli besin maddesi miktarları.....	37
Tablo 6.1. Numunelerin kuru kütleleri.....	51
Tablo 6.2. Gama enerjilerine karşılık kanal numaraları.....	55
Tablo 6.3. Standart kaynağın gama enerjilerine karşılık gelen verim değerleri.....	57
Tablo 6.4. Fon sayım spektrumunda gözlenen ana piklerin yaklaşık enerji değerleri ve kaynaklar.....	59
Tablo 6.5. Gama sayım sonuçları.....	63
Tablo 6.6. Alfa sayım sonuçları.....	64

## SEMBOLLER

A	: Aktivite
Cs	: Sezyum
e-	: Elektron
E	: Enerji
EB	: Elektronun bağlanma enerjisi
h	: Plank sabiti
$\nu$	: Gelen fotonun frekansı
$\nu'$	: Saçılan fotonun frekansı
L	: Litre
m	: Kuru numunenin kütlesi
M	: Molarite
n	: Nötron
N	: Çekirdek sayısı
p	: Proton
TF	: Transfer faktörü
$t^{1/2}$	: Yarılanma ömrü
Z	: Atom numarası
$\epsilon$	: Verim
$\lambda$	: Bozunma sabiti
°C	: Santigrad derece
$\beta$	: Beta
X	: Ana çekirdek
Y	: Ürün çekirdek

## Alt İndisler:

B	: Bitki
BG	: Fon sayımı
e-	: Elektron
N	: Net
0	: Başlangıç
T	: Toprak
$\gamma$	: Foton



## Kısaltmalar

ADC	: Analog-to-Digital-Converter
A.E.T	: Avrupa Ekonomik topluluğu
Ç.N.A.E.M	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
FWHM	: Pikin maksimumdaki yarı genişliği
Ge	: Germanyum dedekötrü
Ge(Li)	: Lityum aktiviteli germanyum dedektörü
HPGe	: Hyperpure Germanyum dedektörü
HV	: Yüksek voltaj
HVL	: Yarı değer kalınlığı
HVT	: Yarı değer tabakası
I.A.E.A	: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
I.C.R.U	: Uluslararası Radyasyon Birimler Komisyonu
I.R.P.A	: Uluslararası radyasyon Koruma Birliği
I.N.E.S	: Uluslar arası Nükleer Olay Ölçeği
keV	: Kilo elektronvolt
MCA	: Çok kanallı analizör
MeV	: Milyon elektronvolt
NaI(Tl)	: Talyum aktiviteli sodyum iyodür dedektörü
O.E.C.D	: İktisadi Birliği ve Kalkınma Teşkilatı
PM	: Fotoçoğaltıcı
SI	: Uluslararası Birim Sistemi
T.A.E.K	: Türkiye Atom Enerjisi kurumu
TVT	: Onda bir değer kalınlığı

# İZMİT KÖRFEZİ' NDE $^{137}\text{Cs}$ ve $^{210}\text{Po}$ RADYONÜKLİDLERİNİN SEVİYELERİNİ VE ÜRÜNLERE TOPRAKTAN TRANSFER FAKTÖRLERİNİ SAPTANMAK

**Berna ERDURMUŞ**

**Anahtar Kelimeler:** Toprak, liken ve karayosununda  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Po}$  seviyesi, gamma spektrometrik ölçüm, alfa spektrometrik ölçüm, radyasyon kontaminasyonu (bulaşması), transfer faktörü, çevresel radyasyon.

**Özet:** Türkiye'de, endüstriyel faaliyet açısından ön sıralarda yer alan Kocaeli ili ve İzmit merkezi, yeterli önlemlerin alınmaması nedeniyle Türkiye ortalamasının çok üzerinde bir çevre kirliliği ile karşı karşıyadır ve radyoaktif kirliliğin payı hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu amaçla, İzmit Körfezi'nde dağlık, göl kenarı ve yerleşim yerleri gibi üç farklı bölgeden toprak (0-20 cm), karayosunu ve liken örnekleri alınmıştır. İzmit Körfezi'ndeki bu organizmalarda  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{210}\text{Po}$  radyonüklidlerine ilişkin bir data mevcut değildir.

Bu nedenle bu tezde, Aralık 2006 ve Mart 2007 tarihleri arasında İzmit Körfezi'nden toplanan 16 numunede,  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2} = 30.17$  yıl) ve  $^{210}\text{Po}$  ( $t_{1/2} = 138$  gün) radyonüklidlerinin topraktaki ve bazı biyoindikatörlerdeki (liken ve karayosunu türlerindeki) seviyeleri sırasıyla gama ve alfa sayım sistemleri kullanılarak ölçüldü. Ek olarak,  $^{137}\text{Cs}$  için transfer faktörleri hesaplandı.

Elde edilen sonuçlar bölgemizde radyolojik karşı tedbir alma oluşumu içeriğinde bir ön çalışma olacaktır.

**IN IZMIT BAY CONCENTRATION OF Cs-137, Po-210  
RADIONUCLIDS AND DETERMINATION OF FIELD RELATED SOIL TO  
PLANT**

**Berna ERDURMUŞ**

**Keywords:**  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Po}$  levels in soil, lichens and muscis, gamma spectrometric measurement, alpha spectrometric measurement, radioactive contamination, transfer factor, environmental radiation.

**Abstract:** Kocaeli Province that has a front place in Turkey for the industrial facilities has encountered high level of environment pollution caused by not taking precautions which is much higher than average value of Turkey, and there is not enough information about the portion of radioactive pollution. For this purpose, soil (0-20 cm), musci, and lichen samples have been taken from three different regions at mountainous, lakeside, and settling areas of Izmit Gulf. The data related to radionuclides of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Po}$  in these organisms in Izmit Gulf are not available.

Therefore, in this thesis the levels of radionuclides of  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2} = 30,17$  years) and  $^{210}\text{Po}$  ( $t_{1/2} = 138$  days) have been measured in soil and some bioindicators (lichen and musci species) by using gamma and alpha counting systems, respectively.

Additionally, transfer factors of  $^{137}\text{Cs}$  have been calculated. The results obtained will be a reference information for the sake of precaution against the radiation.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Günlük yaşantımızda radyasyonla iç içeyiz. Çevremizde doğal ve yapay kaynaklardan gelen radyasyonlar bulunmaktadır. Isı ve ışık insanların hissedebildikleri veya görebildikleri türden radyasyonlardır. Fakat insanların duyu organlarıyla algılayamadıkları türde radyasyonlar da vardır. Gerçekte biz, içtiğimiz sudan soluduğumuz havadan ve yediğimiz içtiğimiz gıda maddelerinden de radyasyon almaktayız. İyonlaştırıcı olan bu radyasyonlardan X ve gama ışınları tıp alanında teşhis ve tedavide, endüstride sterilizasyon vb. pek çok alanda, tarımda tohum ıslahında ve haberleşmede kullanılmaktadır.

İnsanlar, 1895 yılına kadar sadece doğal radyasyonlara maruz kalıyorlardı. 1895 yılında X-ışınlarının ve 1942’de de nükleer reaktörlerinin keşfi ile radyoizotopların bol ve ucuz temini sağlandı. Bundan dolayı bu radyoizotoplar günlük yaşantımızda çeşitli uygulama alanları bulmuştur.

Nükleer teknolojinin gelişmesine bağlı nükleer denemelerden, nükleer enerji üretiminden, nükleer kazalardan ve bazı tüketici ürünlerinden de insanlar radyasyona maruz kalmaktadır.

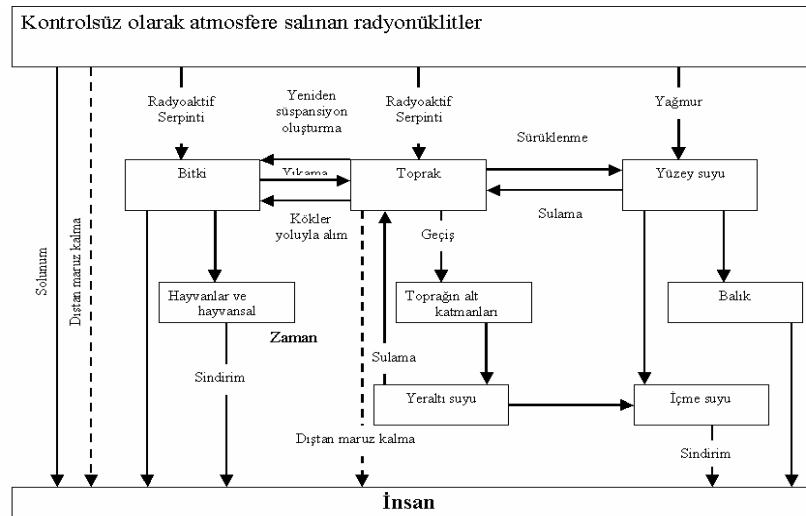
1960’lı yıllarda yapılan yeraltı ve yerüstü nükleer denemeler sonucu oluşan radyoizotoplar, radyoaktif yağışlar şeklinde ülkeleri etkilediği gibi 26 Nisan 1986 günü Çernobil Nükleer Elektrik Santralinde oluşan kazadan sonra Çernobil radyoaktivitesi kazayı takip eden birkaç yıl süresince birçok ülkenin önemli güncel konuları arasına girmiştir. Çernobil Santrali’nden birkaç günlük aralarla salınan radyoaktif maddelerle yüklü sıcak dumanlar önce atmosferin 2000 m yüksekliğine kadar erişmiş, sonra etkin rüzgarların yönlerine göre hava akımlarıyla önce İskandinavya’ya daha sonra Orta Avrupa’ya ve Güneydoğu Avrupa ile Türkiye’ye ulaşmış, özellikle Mayıs 1986’nın ilk günlerindeki yağışlarla bitki örtüsü ve toprağa bulaşmış ve radyoaktif kirlenmeye neden

olmuştur. Kaza öncesi Nükleer Kimya Bölümü'nde "Radyoaktif Yağış Analizleri" adı altında yürütülen projenin kapsamı genişletilerek hava, yağmur, kar, içme suyu ve süte ilave olarak toprak, sebze, meyve, et, balık vb. her çeşit çevre ve gıda örneklerinde toplam alfa/beta radyoaktivite tayinleri yapılmış ve bu konuda raporlar sunulmuştur.

Çevre ve gıda örneklerinde en çok ilgilenilen radyoizotoplar aşağıda listelenmiştir.

Hava	: $^{131}\text{I}$ , $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$
Su	: H-3, $^{89}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{137}\text{Cs}$
Toprak	: $^{90}\text{Sr}$ , $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{238}\text{Pu}$ , $^{239}\text{Pu}$ , $^{240}\text{Pu}$ , $^{241}\text{Am}$ , $^{242}\text{Cm}$
Süt	: $^{89}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$
Et	: $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$
Diğer besinler	: $^{90}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{95}\text{Zr}$ , $^{95}\text{Nb}$ , $^{105}\text{Ru}$ , $^{106}\text{Ru}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{141}\text{Ce}$ , $^{144}\text{Ce}$
Deniz ve tatlı su ürünleri	: $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$

Bu radyoizotopların insana geçiş mekanizması da Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1: Kontrolsüz olarak salınan radyonüklidlerin insana başlıca geçiş yolları

Suda çözüner radyonüklidlerin bitkilerin yaprak yüzeylerinden aktif translokasyon ve soğurulmayla alınması ile ilgili mekanizma Coughtrey ve Thorne (1983) tarafından anlatılmıştır. Diğer taraftan bitkiler radyonüklidleri topraktan kökleri vasıtasıyla da soğurmaktadırlar Frissel ve diğ. (2000). Bu iki mekanizmanın ayrımı oldukça zordur. Anlamlı olan, hem toprakta bulunan ve hem de bitkilerde soğurulmuş olan radyonüklid düzeylerini saptamak ve radyasyon güvenliği açısından gerekli modelleri ve senaryoları oluşturmaktır. Literatürde bu tür çok sayıda çalışmalar yapılmakta olup I.A.E.A tarafından da desteklenmektedir. Özellikle, Ülkemizde de Nükleer Santrallerin devreye girmesi durumunda operasyon öncesi çalışmalarda anlam kazanacaktır.

Yeryüzünde çok geniş bir yayılış alanına sahip olan likenler, hem radyoaktif ve hem de kimyasal hava kirliliğini kalitatif ve kantitatif saptamada özel yeri olan biyolojik bir monitör organizmadır. Bazı liken türleri dünyada geniş bir dağılım gösterirken, kırsal alanda olduğu kadar kentsel ve endüstriyel alanlarda da yaşamaktadırlar (Sloof, 1993). Liken, alg (mavi ve yeşil mikroalg) ile funginin (telsi yapıda bir mantar) oluşturduğu ortak bir yaşam örneğidir. Genelde bu biyolojik yapının % 90'nını fungal ortak oluşturur. Dünyada yaklaşık 20.000 liken türü bilinmektedir. Morfolojik yapılarına göre likenler yapraksı, dalsı ve kabuksu olarak üç sınıfa ayrılır. Üstünde yaşadıkları substratlara göre de adlandırılan likenlerin, Ülkemizde en çok bulunan formları ağaç gövde ve dalları üzerinde yaşayan epifitik likenler, kaya ve taşlar üzerinde yaşayan epilistik likenlerdir. Ayrıca döküntüler ve ölü yosun tabakaları üzerinde yaşayan epigeik ve çatılarda yaşayan epigeik ve epilistik formları da vardır. Büyüme hızları çok yavaş olan ve yüzlerce yıl yaşayan likenlerin yapısal olarak geniş yüzey alanı içermeleri de yüksek oranda radyonüklid veya metal biriktirmelerine neden olmaktadır.

$^{137}\text{Cs}$  ve  $^{210}\text{Po}$  radyonüklidleri topraktan bitkiler tarafından soğurulabilirler ve bu yolla besin zincirine girerler. Radyonüklidler tarafından besin zincirinin kontaminasyonu halk üzerinde sürekli etkisi olan bir radyasyon kaynağıdır. Bir örnek vermek gerekirse,  $^{137}\text{Cs}$ 'nin ürün-toprak konsantrasyon oranı (Transfer Faktörü olarak da adlandırılır) hububat tohumlarında, patates yumrusunda ve

sebzelerde 100-1000 kere değişmektedir Nisbet ve Woodman (2000). Bu farklılığın toprak çeşidi ile de ilişkisi olduğu bilinmektedir.  $^{137}\text{Cs}$ 'nin ürünlerdeki birikimi eğer toprak yüksek düzeyde organik madde içerirse veya topraktaki besleyiciler (özellikle potasyum) azalmışsa genelde yüksektir. Bir araştırmada potasyumun artmasıyla  $^{137}\text{Cs}$ 'nin kökten olan birikimin çok net olarak azaldığı gösterilmiştir Zhu ve diğ. (2000). Topraktaki kil içeriği de Transfer Faktör ile toprak özellikleri arasında keza önemli bir diğer girdidir.

Literatürde son yıllarda özellikle I.A.E.A destekli radyoaktif bulaşma konusunda yapılan çalışmalarda, karşı koyma stratejileri parametreleri içeriğinde radyonüklid transfer modelleri ile halk sağlığı için oluşturulan restorasyon stratejileri anlamlılık içermektedir Cox ve Crout (2003). Bu uygulamaların yanında, halkın alması olası olan doz düzeylerini saptamak ve senaryolar oluşturmak tezin devamındaki çalışmaların amaçları kapsamındadır.

Çernobil nükleer kazasını takiben özellikle  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidleri Türkiye'nin liken ve karayosunu örneklerinde de tayin edilmiştir Topcuoğlu ve diğ. (1992a, 1993b, 1995c). Aynı zamanda, liken ve karayosunu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$ 'nin doğal kayıp hızları da saptanmıştır. İzmit Körfezi'nden daha önce toplanmış ve sayıma alınmış liken ve karayosunu örneklerine ilişkin bulgular literatürde mevcut değildir. Bu tezin amaçları içeriğinde, bu biyoindikatör organizmalardaki  $^{137}\text{Cs}$  değerlerini kullanarak, Ülkemizin radyasyon haritasının çıkarılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, liken ve kara yosunu türü organizmalarında  $^{210}\text{Po}$  analiz bulgularını içeren bir çalışma da literatürde mevcut değildir.

## **1.1 Bu alışmanın Amacı**

Çernobil kazasını takip eden günlerde, birçok ülkede olduğu gibi Ülkemizin toprakları da farklı oranlarda yaş veya kuru ya da her iki yolla çökelen radyonüklidlerle kontamine olmuştur. Diğer taraftan, bitki yaprakları üzerine çökelen Çernobil radyonüklidleri daha sonradan, yaprakların dökülmesi ile

toprağa ulaşmaktadır. Radyonüklidlerinin toprakta bulunan değerlerini saptamada, (kuru kütlesi üzerinden) Bq/kg ve Bq/m<sup>2</sup> birimleri kullanılmaktadır. Bu değerlendirilmede örnek alınan toprağın açık alanda ve işlenmemiş olması gereklidir. Radyonüklidlerin topraktaki dikey dağılımı da tarım yapılmamış veya işlenmemiş topraklarda araştırılmaktadır. Tarım yapılan topraklarda, genellikle 0-20 cm toprak kesitinde yapılan ölçümler transfer faktörleri saptama amaçlıdır. Bu tezin kapsamında, seçilen istasyonlarda hem tarım yapılmamış arazide <sup>137</sup>Cs radyoaktivitesinin ölçülmesi ve hem de tarım yapılan arazilerde transfer faktörlerini saptamaya yönelik olarak toprak örneklerinin sayılması da kapsam içeriğindedir.

Körfez Bölgesinde seçtiğimiz 7 istasyondan topladığımız bitki örneklerinde (liken ve karayosunu) saptayacağımız transfer faktörleri de hesaplanacaktır. Liken ve karayosunu türleri radyoaktif ve kimyasal kirlilik araştırmalarının izlenmesinde uzun zamandır biyoindikatör olarak kullanılmaktadır. Tüm bulgular bilimsel yayınlar haline de getirileceği için, nükleer güvenlik konusunda çalışanların kullanımına da sunulmuş olacaktır.

Bu teze başlamadan önce İzmit Körfezi'nden aldığımız (0-20 cm derinliği temsilen) ziraat yapılan iki toprak ve karalahana örneğinde bulduğumuz <sup>137</sup>Cs değerleri (Toprak 1: 14.15±0,4 Bq/kg, Toprak 2: 18,47±0,5 Bq/kg ve karalahana: 2.92±0.17 Bq/kg, kuru kütle) dir. Bu bulgulardan saptadığımız transfer faktörü 6,32 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bu sonucumuz bize, bölgenin çeşitli bitki örneklerinde <sup>137</sup>Cs için transfer faktörlerini ölçebileceğimizi göstermektedir. Bu bağlamda, <sup>210</sup>Po radyonüklidi içinde benzer bulgular saptanarak radyasyon güvenliği açısından zincirin diğer halkası da tamamlanmış olacaktır.

Bölüm 1 giriş kısmıdır. Burada çevresel radyoaktivite çalışmalarının temeli olan nükleer kazalardan, olabilecek nükleer tehlikelerden ve bu çalışmanın amacından bahsedilmektedir. Çernobil Kazası ve kazadan sonra Türkiye ve Avrupa'da radyoaktivite dağılımını belirlemek için yapılan çalışmalar yer almaktadır. Bölüm 2 de radyoaktivite, doğal ve yapay radyoaktivite hakkında,



bölüm 3'te topraktaki aktiviteyi belirlemek için kullanılan dedektör tipleri ve teorik bilgiler verilmektedir. Bölüm 4'de ise, numune toplama ve hazırlanması ile ilgili genel işlemlerden bahsedilmektedir. Bölüm 5'de hata hesapları, yapılan deneysel çalışmaları ve toprak, liken, karayosunu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{210}\text{Po}$  için aktivite, transfer faktörü hesapları ise bölüm 6'da yer almaktadır. En son olarak "Tartışma ve Yorum" kısmına yer verilmektedir.

## **1.2 Uluslararası Nükleer Olay Ölçeği – INES (T.A.E.K.)**

Uluslararası Nükleer Olay Ölçeği (I.N.E.S) Sistemi, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı ve O.E.C.D Nükleer Enerji Ajansının işbirliği ile 1990 yılında başlatılmıştır. Nükleer tesislerde meydana gelen olayların, güvenlik açısından taşıdıkları önem konusunda nükleer enerji çalışanları, medya ve halk arasındaki iletişimi ve bilişimi kolaylaştırmak amaçlanmıştır. I.N.E.S iletişim ağı, I.A.E.A üyesi 60 ülkedeki Ulusal Sorumlular vasıtasıyla, ölçeklendirme de dahil olmak üzere, olaylar hakkındaki resmi bilgilerin verildiği Olay Ölçeklendirme Formları kullanılarak, ülkelerde meydana gelen olaylar hakkında bilgi almakta ve bu bilgileri yaymaktadır.

I.N.E.S ile ilgili faaliyetler ülkemizde, Kriz Merkezi bünyesinde sürdürülmektedir. Şimdiye kadar değişik ülkelerde meydana gelen ve I.N.E.S vasıtasıyla bildirilen olayları bir veri tabanı halinde derleme çalışmaları devam etmektedir.

## BÖLÜM 2. RADYOAKTİVİTE

### 2.1 Doğal Radyoaktivite

1895 yılında Wilhem Röntgen'in X-ışınlarını bulmasından sonra, 1896 yılında Henry Bequerel'in uranyumun gözle görülmeyen ışınlar yaydığını belirlemesiyle radyoaktiflik keşfedilmiştir. Bu buluşların devamında Marie ve Pierre Curie tarafından radyoaktif elementler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Radyoaktif maddeler tarafından yayılan ışınların özellikleri ise, Ernest Rutherford tarafından aydınlatılmıştır.

Doğada bulunan radyoizotop sayısı 340 civarındadır. Bunların 70 tanesi bilinen ağır radyoaktif elementler içinde yer alır. Atom numarası  $Z=82$  den büyük elementler radyoaktif özelliğe sahiptirler. Bir çekirdeğin kararlı olması, sahip olduğu nötron ve proton sayısına bağlıdır. Bu sayıların dışına çıkıldığı zaman, çekirdekler kararsız bir yapı kazanır. Kararlı hale gelebilmek için parçalanan bu çekirdekler, radyoaktif çekirdek olarak bilinirler. Ağır elementlerin çoğu radyoaktif özelliklere sahiptirler. Radyoaktif çekirdekler kararlı bir nötron/proton oranına ulaşıncaya kadar bozunmaya uğrarlar.

İnsanlar ve canlı varlıklar yaşamları süresince uzaydan gelen ve yeryüzünden yayılan radyasyonlardan oluşan bir iyonlaştırıcı radyasyon ortamı içinde yaşamaktadırlar. Madde içinden kolayca geçebilen ve gözle görülmeyen ışınlara radyasyon denir. Radyasyon madde içinden geçerken, maddeyi oluşturan atom ve moleküller ile çarpışır ve etkileşir. Tek bir çarpışma ya da etkileşimde radyasyon, genellikle enerjisinin çok küçük bir kısmını atom ya da moleküllere aktarır. Atom ya da molekül etkileşme sonunda bir iyon dönüşebilir. İyonlaştırıcı radyasyon, iyonlaştırılmış atom ya da molekül yığılından ayrılır ve farklı yönde hareket edebilir.

Bir başka değişle iyonlaştırıcı radyasyon madde ile etkileştiğinde elektrik yüklü parçacıklar veya iyonları oluşturarak iyonizasyon meydana getiren X-ışınları ile radyoaktif maddelerden yayılan alfa, beta, gama ışınları gibi radyasyonlar, iyonlaştırıcı radyasyon olarak tanımlanır.

İyonlaştırıcı Radyasyon Türleri:

- Alfa radyasyonu,
- Beta radyasyonu,
- Gama radyasyonu,
- X-ışınları,
- Nötron radyasyonu

Tablo 2.1: İyonlaştırıcı radyasyon özellikleri

RADYASYON TİPİ	YAPISI	KÜTLESİ (akb)	YÜKÜ	ORTALAMA MENZİL	
				HAVA	DOKU
Alfa	2 p ve 2 n	4	+2	3 cm	0,04 mm
Beta	e	1/1840	-1	3 m	5 mm
X ve Gama Işınları	Elektromanyetik Enerji dalgaları	0	0	$\infty$	Vücut içine
Nötronlar	Nötronlar	1	0	Çok geniş	Vücut içine

### 2.1.1 Alfa radyasyonu

$\alpha$  parçacıkları, iki proton (p) ve iki nötrondan (n) oluşmuş bir He çekirdeği olup pozitif yüklüdür. Alfa parçacığı çıkararak çekirdeğin parçalanması olayı, atom numarası büyük olan izotoplarda görülür. Doğal olarak bulunan alfa parçacıklarının enerjileri genellikle 9 MeV'den küçüktür. Bir alfa parçacığı seri çarpışmadan sonra yoğun bir iyon yığını yaratarak tüm enerjisini kaybeder ve durur. Bu olay havada birkaç cm'de, bir parça kağıt kalınlığında, kumaş veya deri tabakasında durur. Sonuç olarak alfa parçacığı yayan radyoizotoplar dış hasara neden olmaz.

Bir alfa bozunum denklemi,



ile verilir. X alfa bozunumuna uğrayan çekirdek, Y alfa bozunumunu sonucu oluşan ürün çekirdeği gösterir. Alfa parçacığı yayınlayan bazı izotoplar Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: Alfa parçacığı yayınlayan bazı izotoplar

<b>RADYOİZOTOP</b>	<b>ALFA ENERJİSİ (MeV)</b>	<b>YARI ÖMÜR</b>
Po-210	5,30 (% 100)	138 gün
Pu-239	5,15 (% 72)	24300 yıl
	5,13 (% 17)	
	5,10 (% 11)	
Am-241	5,48 (% 85)	458 yıl
	5,44 (% 13)	
	5,38 (% 1)	

### 2.1.2 Beta radyasyonu

Pozitif ve negatif yüklü elektronlardır. Bu parçacıkların salınması çekirdek içindeki n fazlalığından dolayı ise salınan parçacıklar negatif yüklüdür ve  $\beta^-$  ile gösterilir. Eğer beta yayınlanması çekirdekteki p fazlalığından dolayı oluyorsa salınan parçacıklar pozitif yüklüdür ve  $\beta^+$  ile gösterilir. Beta parçacıklarını maksimum enerjisi 0,5-5 MeV’dir. Beta parçacıkları gibi kolayca durdurulamazlar. Enerjilerine bağlı olarak, beta parçacıkları havada birkaç metre, madde içinde ise (örneğin doku ve plastik) birkaç santimetre yol kat edebilirler. Sonuç olarak, beta parçacıkları enerjilerini kaybettikleri zaman hemen yavaşlarlar ve ortam tarafından soğurulurlar. Beta yayıcı radyoizotoplar

iç hasara neden olurlar, ancak yüksek enerjili beta yayıcıları ise dış hasar verirler.

Bir  $\beta^-$  bozunum denklemi,



ile verilir. X beta bozunumuna uğrayan çekirdek, Y beta bozunumunu sonucu oluşan ürün çekirdeğidir. Beta parçacığı yayınlayan bazı izotoplar Tablo 2.3'de verilmiştir.

$\beta^+$  bozunum denklemi,



ile verilir. X pozitron bozunumuna uğrayan çekirdek, Y bozunum sonucu oluşan ürün çekirdeği gösterir.

Tablo 2.3: Beta parçacığı yayınlayan bazı izotoplar

RADYOİZOTOP	BETA ENERJİSİ (MeV)	YARI ÖMÜR
Sr-90	0,545 (% 100)	28 yıl
	2,26 (% 100)	
Tl-204	0,764 (% 98)	3,6 yıl

### 2.1.3 Gama ve X-ışınları radyasyonu

Her ikisi de elektron manyetik radyasyon olmakla beraber orijinleri farklıdır. X-ışınlar ya hızlandırılmış elektronların ani durdurulması şeklinde ya da bir atomun yörünge elektronları arasında seviye değişikliğinden meydana gelir.

Gama ışınları kaynağı atomun çekirdeğidir. Bu ışınlar atomun çekirdeğinin enerji seviyesindeki farklardan meydana gelir.

Gama ve X-ışınları çok giricidirler fakat; iyonlaşmaya neden oldukları gibi, ışın demetinden çıkarılabilir veya enerjilerini kaybederler. Böylelikle, maddeye giricilik özellikleri azalır ve ciddi bir dış hasara neden olmayacak şekilde sayıca azaltılırlar, yani zayıflatılırlar.

Kurşun gibi atom ağırlığı büyük olan elementler, her bir etkileşimde beta parçacıklarının enerjilerinin büyük bir kısmını soğururlar, fakat sonuçta atomlar "bremstrahlung" olarak isimlendirilen X-ışınlarını üretirler. Böylelikle zırhlama malzemesi bir X-ışını yayıcısına dönüşür ve ilave bir zırhlamayı gerektirirler. Bu nedenle küçük atom ağırlıklı (düşük yoğunluktaki) malzemeler daha kalın malzeme kalınlığı gerektirmelerine karşın en etkin beta radyasyonu zırhlayıcılarıdır.

Gama ve X-ışınlarının giricilik gücünü ya da kalitesini ifade etmek, aynı zamanda zırhlama malzemelerinin yaklaşık olarak kalınlıklarını tahmin etmede bazı kolaylıklar sağlar. Yarı-değer kalınlığı (HVT) ya da yarı-değer tabakası (HVL) olarak verilen kalınlıklar radyasyonun başlangıçtaki değerini yarısına indiren malzeme kalınlıklarıdır. Onda bir değer kalınlığı da (TVT) benzer olarak, radyasyonu ilk değerinin onda birine indiren malzeme kalınlığıdır. Çelik ve kurşun gibi ağır atomları ve molekülleri olan malzemeler, gama ve X-ışını radyasyonu için en etkin (en ince kalınlıkta) zırhlamayı sağlar.

Tablo 2.4 : Gama parçacığı yayınlayan bazı izotoplar

<b>RADYOİZOTOP</b>	<b>YAYINLANDIĞI GAMA ENERJİSİ (MeV)</b>	<b>YARI ÖMÜR</b>
Co-60	1,33 (% 100)	5,3yıl
	1,17 (% 100)	
Cs-137	0,662 (% 95)	30 yıl
Tm-170	0,084 (% 100)	0,35 yıl

Tablo 2.5: Farklı malzemelerin HVT ve TVT değerleri (cm)

Radyoizotop	Kurşun		Demir		Beton	
	HVT	TVT	HVT	TVT	HVT	TVT
Tk-99m	0.02	-	-	-	-	-
I-131	0.72	2.4	-	-	4.7	15.7
Cs-137	0.65	2.2	1.6	5.4	4.9	16.3
Ir-192	0.55	1.9	1.3	4.3	4.3	14.0
Co-60	1.1	4.0	2.0	6.7	6.3	20.3
100kVp X-ışını	0.026	0.087	-	-	1.65	5.42
200 kVp X-ışını	0.043	0.142	-	-	2.59	8.55

#### 2.1.4 Nötron radyasyonu

Nötronlar, kütleleri proton kütesine eşit, elektrik yükleri olmayan parçacılardır. Normal radyoaktif bozunma sonucunda meydana gelmezler. Atom çekirdeğinden n çıkışı fisyon olayı sonucunda olur. Fisyon olayı, ağır bir çekirdeğin n bombardımanı sonunda ikiye bölünmesi bu arada birden fazla n ile büyük bir enerji çıkması olayıdır.

#### 2.2 Radyoaktivite Bozunum Kanunu

Doğal ve yapay her radyoaktif çekirdeğin kendine özü bir bozunma şekli vardır. Radyoaktivliğin keşfedildiği 1896 yılı itibariyle, saf bir radyoaktif numunenin zamanla bozunma hızının üstel kanuna uyduğu gözlenmiştir. Bu bozunma şeklinin biri çekirdeğin yayınladığı radyasyonların cinsi ve enerjileri diğeri de bozunmanın hızı olma üzere iki özelliği vardır. Radyoaktif bir maddelerin bozunarak aktivitelerini kaybetmelerine radyoaktif bozunum denir. Radyoaktif bir maddenin birim zamanda parçalanma sayısı o andaki mevcut atom sayısı ile orantılıdır.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2.4)$$

Bu denklemin integrali alınırsa;

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

bağıntısı elde edilir. Burada  $N_0$  t=0 anında mevcut toplam çekirdek sayısını N, herhangi bir t anında mevcut radyoaktif atomların sayısını  $\lambda$  ise bozunma sabitini gösterir.

Bir radyoizotopun radyoaktivitesi;

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

denklemleri ile ifade edilir. Bu denklemlerde A, belirli bir tanındaki radyoaktiviteyi  $A_0$  ise t=0 anındaki radyoaktiviteyi belirtir.

Bir radyoizotopun radyoaktivitesini yarıya düşürmek için geçen zamana yarı ömür denir ve  $t_{1/2}$  ile gösterilir.

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.7)$$

### 2.3 Radyasyon Birimleri

İyonlaştırıcı tüm etkileri geçtiği ortamdaki etkileşmeye bağlıdır. İyonlaşma soğurulan ortamın enerjisine bağlıdır. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (I.C.R.U) yaptığı çalışmalar sonunda soğurulan doz için ad, ışınlama için röntgen, aktivite için curie, doz eşdeğeri için ise rem radyasyon birimleri olarak tanımlanmıştır. MKS sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi (International System of Unit, SI) kabul edilmesiyle I.C.R.U 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır. Bu kabule göre eski birimlerin yerine yenilerinin kullanılması gerekmektedir.



Tablo 2.6: İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri

BÜYÜKLÜK	SI BİRİMİ VE SEMBOLÜ	ESKİ BİRİMLER	DÖNÜŞÜM FAKTÖRLERİ
Işınlanma	Röntgen (C kg <sup>-1</sup> )	Röntgen (R)	1 Ckg <sup>-1</sup> = 3876 R
Soğurulan Doz	Gray (Gy)	rad (rad)	1Gy= 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	rem (rem)	1 Sv= 100 rem
Aktivite	Bequerel (Bq)	Curie (Ci)	1 Bq= 2,7x10 <sup>-11</sup> Ci

## 2.4 Radyoaktivite Birimi

Radyoaktivite, birim zamandaki radyoaktif madde miktarını göstermektedir. Radyoaktivite birimi becquerel olup saniyede bir parçalanma miktarını veren radyoaktif madde miktarı veya bu maddenin radyoaktivitesi olarak tanımlanır. Bq olarak gösterilir. Becquerel'in radyoaktivitesi eski birimi olan (Ci) ile bağıntısı şöyledir;

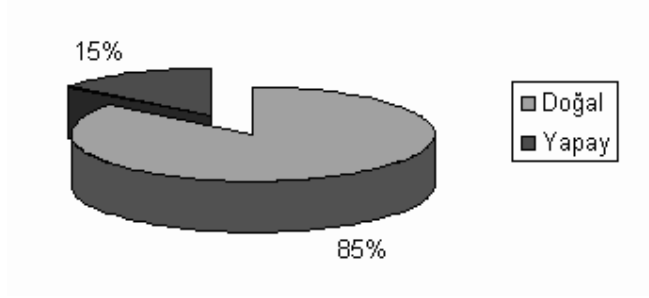
$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci} \quad (2.8)$$

$$3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci} \quad (2.9)$$

$$3,7 \times 10^7 \text{ Bq} = 1 \text{ mCi} \quad (2.10)$$

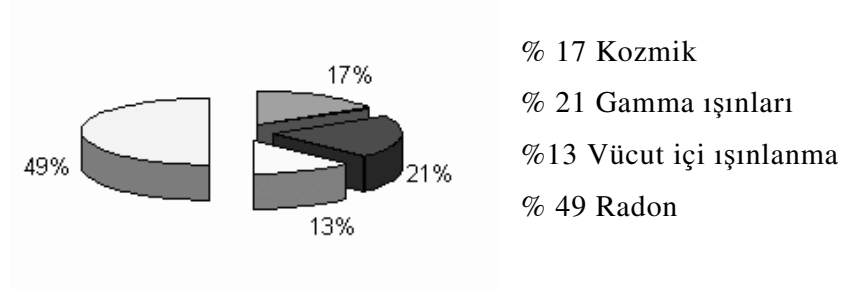
## 2.5 Çevresel Radyasyonun Kaynakları

Dünya üzerindeki radyoaktivite primordial, kozmojenik ve antropojenik radyasyon olmak üzere üç farklı başlık altında kategorize edilebilir. Doğal ve yapay radyasyonun dünya üzerindeki % dağılımları Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1: Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları (T.A.E.K)

İnsanların doğal radyasyona maruz kaldıkları radyasyon dozlarının % dağılımları ise Şekil 2.2 ile verilmiştir.



Şekil 2.2: Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (T.A.E.K )

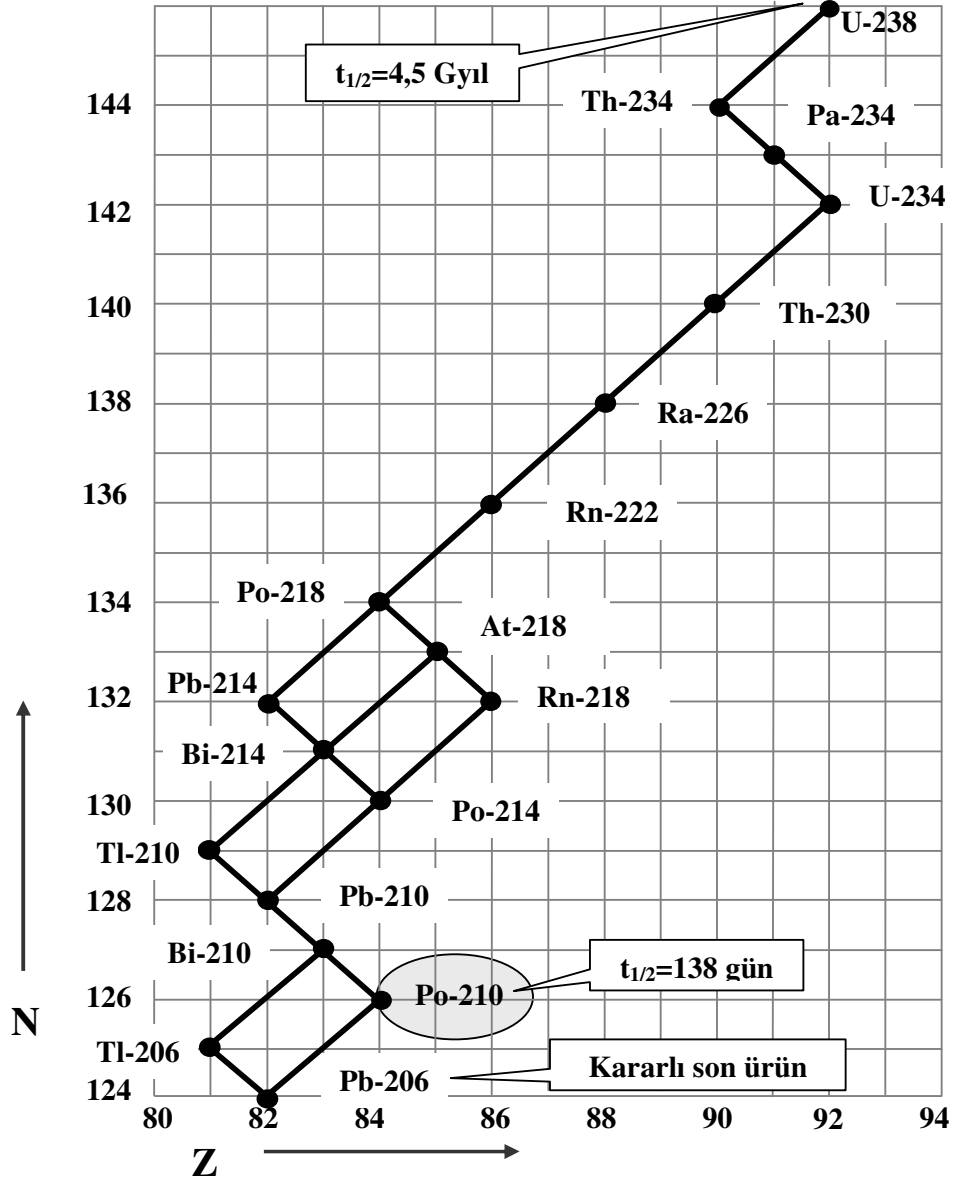
### 2.5.1 Primordial radyonüklid

Dünyanın var oluşundan itibaren varlığını sürdüren ve bu radyonüklidlerin birtakım bozunmalar gerçekleştirmeleri sonucu oluşan ikincil radyonüklid kaynaklı radyasyonlardır ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$ ).

Evrenin henüz yeni oluşmaya başladığı zamanlarda birçok izotopun radyoaktif olduğu tahmin ediliyor. Bu durumun birkaç milyon yıl sürdüğü ve kısa yarı ömre sahip olan radyoizotopların bu süre içinde ömürlerini tamamladıkları için kalmadıkları, geriye kalan ve halen mevcut olan radyoizotopların hepsinin yarı ömürlerinin de evrenin ömrüyle karşılaştırılabilecek kadar büyük olduğu (en az

$10^{10}$  yıllık yarı ömre sahip oldukları için bozunmalarının halen devam ettiği kabul ediliyor Alpher ve Herman (1953).

Ağır elementlerden oluşan doğal radyoaktif izotoplar üç seri altında toplanırlar. Bunlar, uranyum ( $^{238}\text{U}$  kaynaklı), toryum ( $^{232}\text{Th}$  kaynaklı), aktinyum serileridir ( $^{235}\text{U}$  kaynaklı).  $^{210}\text{Po}$  radyonüklitinin üretildiği  $^{238}\text{U}$  serisi Şekil 2.3 de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: U-238 bozunum serisi

Ayrıca, dördüncü bir aile olan Neptünyum serisinin  $^{241}\text{Pu}$  orijinli olduğu ve bir zamanlar mevcut olduğu zannedilmektedir (Rankama, 1954).  $^{241}\text{Pu}$ 'in yarı ömrü 14 yıldır. Bu seride bulunan diğer elementlerin yarı ömürlerinin çok kısa olduğu biliniyor. Neptünyum ailesinin halen bilinen tek elementi  $^{209}\text{Bi}$  olup yarı ömrü  $2,7 \times 10^{17}$  yıldır. Yine bir zamanlar tabiatta mevcut olan ve yarı ömürleri çok kısa olan transuranik elementler bugün reaktörlerde nötronların  $^{238}\text{U}$  ile reaksiyona girmeleri sonucu üretilebilmektedirler. Bu radyoaktif ağır element serilerinden farklı olarak tabiatta tek başına bulunan ve kendilerine has özelliklere sahip olan bazı doğal radyoizotoplar da vardır. Bunlar  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{138}\text{La}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{176}\text{Lu}$ ,  $^{209}\text{Bi}$  ve  $^{239}\text{Pu}$ 'dur Lowder ve Soboni, (1956).

### **2.5.2 Kozmojenik radyonüklidler**

Uzaydan gelen kozmik ışınların dünya atmosferinde bulunan gazlar ve yer kabuğu orijinli bazı radyoaktif çekirdeklerle reaksiyona girmeleri sonucu üretilen bazı radyoaktif izotoplar da vardır. Bunların en önemlileri  $^{14}\text{C}$ ,  $^7\text{Be}$  ve  $^{22}\text{Na}$ 'dır.

### **2.5.3 Antropojenik radyonüklidler**

Bu tür radyoizotoplar insan ürünüdür yani nükleer silahlar, nükleer reaktör kazaları (Çernobil gibi) ve radyoizotop endüstrisi sonucu çevreye salınır.

### **2.5.4 Topraktaki doğal radyoaktivite**

$^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  gibi doğal radyoizotoplar toprakta bulunurlar ve toprağın radyoaktif olmasına sebep olurlar. Doğal radyoizotoplar daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu kayalar doğa şartlarına bağlı olarak zamanla ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışırlar. Bunun sonucunda toprağın doğal radyoaktivitesi artar. Hatta tarımda topraktaki verimi artırmak

için kullanılan suni tohumlama ve gübreleme (suni gübreler radyoaktif <sup>32</sup>P içermektedir) gibi bazı insan aktiviteleri de yerel olarak toprağın yüzey radyoaktivitesini artırmaktadır (N.C.R.P, 1975).

Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülür. Bu kaya yataklarının da radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle, gama ışınlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı biliniyor. Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarlarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar göstermiştir ki, bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonları oldukça yüksektir.

Toprakta mevcut olan radyoaktivite biyokimyasal süreçlerle biraz değişir. Bitki kök sistemlerindeki gelişme bir taraftan topraktaki doğal dengeyi sağlarken diğer taraftan bitkinin ihtiyacı olan suyu topraktan almaktadır. Hümic asit (toprakta bulunan bir çeşit asit) kayaların parçalanmasında ve bu parçaların sular vasıtasıyla toprağa karışmasında önemli bir rol oynar (N.C.R.P, 1975). Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarında oksidasyonlarla başlar. Alt tabakalarda mevcut olan uranyum zamanla azalır. Topraktaki hareketlilik demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşmasıyla devam eder. Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtasıyla radyoizotopların tutulmasını engeller. Topraktaki bu gelişim evreleri kayalardaki radyoizotop konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır. Toprak içinde bulunan doğal radyoizotop toprak içindeki oranlarına göre ortam veya çevre doğal radyasyonunun temel seviyesini değiştirir ve o oranlarda da insanların doğal radyasyonlara maruz kalmalarına sebep olurlar (N.C.R.P, 1975).

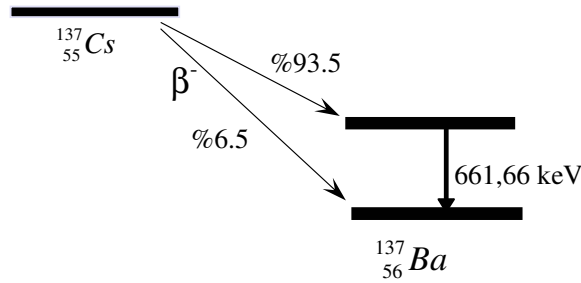
### 2.5.5 Topraktaki Cs-137'nin kaynağı

1950 ve 1970'li yıllar arasında atmosferde yapılan nükleer testlerde ve sonrasında meydana gelen nükleer santral kazaları sırasında  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopu ortaya çıkmıştır. Dünyanın atmosferine dağılan bu radyoizotop, serpintiyle yeryüzüne iner.  $^{137}\text{Cs}$  topraktaki radyasyon tespitinde önemli bir rol oynar, çünkü  $^{137}\text{Cs}$  çevrede doğal olarak bulunmaz, yapay bir radyoizotopdur. Serpintiyle ya da yağmurla toprak yüzeyine ulaşan  $^{137}\text{Cs}$  topraktaki mineraller tarafından çabuk ve güçlü bir şekilde tutulur. Birçok toprak cinsi için laboratuvar ve arazi koşullarında  $^{137}\text{Cs}$ 'nin toprakta derine inme oranının düşük olduğu fark edilmiştir. Bu da sezyumun toprakta güçlü tutulmasının sonucudur (Hacıyakupoğlu, 2002).

$^{137}\text{Cs}$  bir gama kaynağıdır ve  $\beta^-$  bozunumu yaparak 661,66 keV enerjili gamalar yayınlar ve



denklemini ile gösterilir.



Şekil 2.4: Cs-137'nin bozunum şeması

### 2.5.6 Topraktaki Po-210'un kaynağı

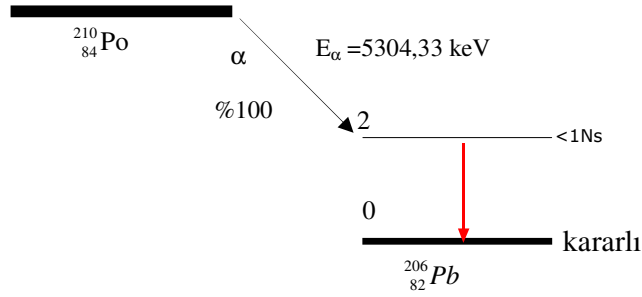
$^{210}\text{Po}$  radyoaktivitesi çok yüksek bir radyonüklididir. İnsan vücuduna alındığında birçok organa yerleşmekte ve bulunduğu yerlerde içsel ışıma

yapmaktadır.  $^{210}\text{Po}$  besin tüketimi başta olma üzere, atmosferde radon gazının solunması ile ve su tüketimi ile insan vücuduna alınmaktadır. Protein polonyumun besin zincirine geçmesini kolaylaştırdığı için yüksek proteinli besinler  $^{210}\text{Po}$  alımını arttırır.

Bilindiği gibi  $^{210}\text{Po}$  radyonüklidi alfa kaynağıdır.  $^{210}\text{Po}$ , alfa bozunumu yaparak  $^{206}\text{Pb}$ 'a dönüşür:



Alfa parçacığı, uranyum veya radyum gibi radyoaktif bir çekirdek tarafından alfa ışınımı olarak da bilinen bir işlem ile yayılır. Bu işlem çoğu zaman çekirdeği uyarılmış halde bırakır ve çekirdek fazla enerjiyi atmak için gama ışınması yapar. Beta ışınının tersine alfa ışınına, yüksek çekirdek çekim gücü etki eder. Aslında, alfa taneciklerinin çekirdeğin potansiyelinden kopmaya yetecek kadar enerjisi yoktur ancak, kuantum tünellemesi durumu, çekirdeğin potansiyelinden kaçmalarına izin verir.



Şekil 2.5: Po-210'un bozunum şeması

Radon, renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer almaktadır. Kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Bu bozunma zincirinin ana atomları bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Bu yüzden radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır.

## BÖLÜM 3. ENERJİ ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

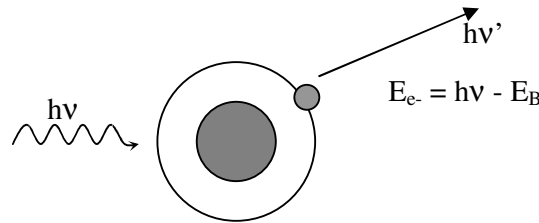
### 3.1 Gamaların Madde İle Etkileşmeleri

Gama ışınları yüksüz oldukları için madde içinden geçerken direk olarak uyarma iyonizasyon yapmazlar. Bunalar;

- Fotoelektrik Olay
- Kompton Saçılması
- Çift Oluşum

etkileşmeleridir. Bu olayların hepsinde gama ışınları enerjisini, etkileştiği ortamın elektronlarına aktarır. Böylece sadece gama ışınları etkileşmeleri ile beraber meydana gelen bu elektronlar, gelen gamalar hakkında bilgi verir

Fotoelektrik olayda, bir gama ışını veya fotonu enerjisinin tümünü atoma bağlı elektrona vererek kaybolur. Bunun sonucunda açığa  $E_{e-} = E_{\gamma} - E_B$  kinetik enerjili elektron çıkar. Burada  $E_B$ , elektronun bağlanma enerjisidir.

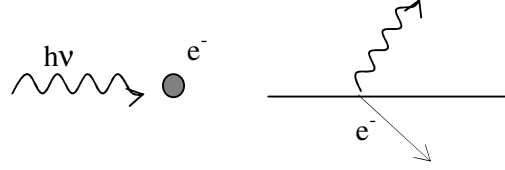


Şekil 3.1 Fotoelektrik Olay

Kompton saçılmasında, gelen foton bir serbest elektronla etkileşerek daha düşük bir enerji ile saçılmaya uğrar. Fotonun kaybettiği enerji ise, serbest elektron tarafından alınmıştır. Kompton etkileşmesinin sonucu olarak, bir

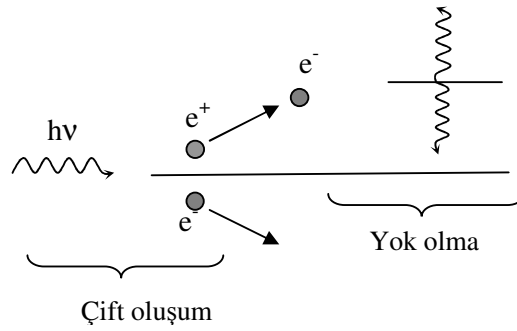


elektron ve bir foton saçılması oluşur. İkisi arasındaki enerji bölüşümü saçılma açısına bağlıdır.



Şekil3.2 Kompton Saçılması

Çift oluşum soğurucu atomun çekirdek alanı içinde oluşur. Enerji ve kütle korunumuna göre elektron–pozitron çiftinin oluşumu için istenen enerji  $2m_0c^2$ 'dir. Bu da gelen gama enerjisinin en az 1.022 MeV olmasını gerektirir. Eğer gelen gama enerjisi bu değeri aşarsa fazla enerji elektron–pozitron çiftinin kinetik enerjisi olarak gözükür. Çift oluşum etkileşmesi pozitronun ortamda uzun süre kalmaması nedeniyle oldukça komplekstir. Pozitron kısa bir süre sonra soğurucu ortamdaki bir elektronla birleşerek yok olur ve iki tane 0.511 MeV enerjili yok olma fotonu oluşur



Şekil 3.3 Çift Oluşum

### 3.2 Gama Spektrometresi

Gama spektrumları, sintilasyon sayaçları veya yarı iletkenli sayaçlarla birlikte kullanılan çok kanallı darbe boyu analizörleri yardımı ile incelenmektedir.

Gama fotonları madde içinde fotoelektrik olay, kompton olayı ve elektron çifti oluşumu ile soğurlar.

Sayacın, dedektörün yapıldığı madde içinde bu üç olay sonucu ortaya çıkan elektronların bıraktığı enerji ile meydana gelen ışık fotonları foto-çoğaltıcı ile elektrik darbeleri oluşturur.

Amplifikatörden geçerek çok kanallı analizöre gelen darbelerin boyları dedektörde soğurulmuş olan  $\gamma$  fotonu enerjisi ile orantılıdır. Çok kanallı analizör, darbeleri, boylarına göre ayırıp toplayan karmaşık elektronik devrelerden meydana gelmiş bir sistemdir. Genellikle, çok kanallı analizörde bulunan bir osiloskopta, yatay eksen darbe boylarını (foton enerjilerini) ve dikey eksen kanal başına sayma sayılarını gösterir. Yatay eksendeki kanal numaraları, önceden enerjisi belli gama kaynakları yardımı ile kalibre edilmiştir. Elde edilen spektrum, üç ayrı olayda çıkan elektronların verdiği darbelerden meydana gelmiş olduğu için, tek enerjili  $\gamma$  fotonlarının verdiği en sade bir spektrumun bile, yorumlanması gereken, karmaşık bir yapısı vardır. Foton enerjileri ile, kullanılan dedektörün yapıldığı maddeye ve boyutlarına göre, spektrumun gösterdiği şekiller birbirinden farklıdır. Spektrumun yorumlanabilmesi için, dedektörün yapıldığı maddenin fotoelektrik, kompton ve çift oluşumu soğurma katsayılarının foton enerjisi ile nasıl değiştiğinin bilinmesi gerekir.

Nükleer radyasyon dedektörlerinin pek çoğunun görevi detektöre gelen radyasyonun oluşturduğu iyonları veya elektronları bir elektrik alan kullanarak ayırmak ve saymaktır. Parıldama olayı radyasyonun sayılması ve spektroskopik ölçümlerin yapılmasına çok büyük faydası olan metodun geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Parıldama veya diğer adıyla sintilasyon sayaçları, bazı maddelerin radyasyon enerjisini görünen ışığa çevirmek özelliklerinden faydalanarak yapılmış sayaçlardır.

Sintilatör ve fotoçoğaltıcı (PM) tüplerin uygulamaya bağılı olarak pek çok değişik tipleri bulunmaktadır. Materyal seçimi yaparken řu özellikler göz önünde bulundurulmaktadır;

- Işık hızı çıkışı (ışık olarak görünecek gelen enerji kesri)
- Verim (radyasyon soğurulma olasılığı )
- Zamanlama
- Enerji ayırma gücü
- Materyal ile ilgili olarak çalışmayı kolaylaştıracak diğer unsurlar ise;

Bir çok plastik sintilatör, bir kesici yardımcı ile kesilerek istenilen şekil elde edilebilir.

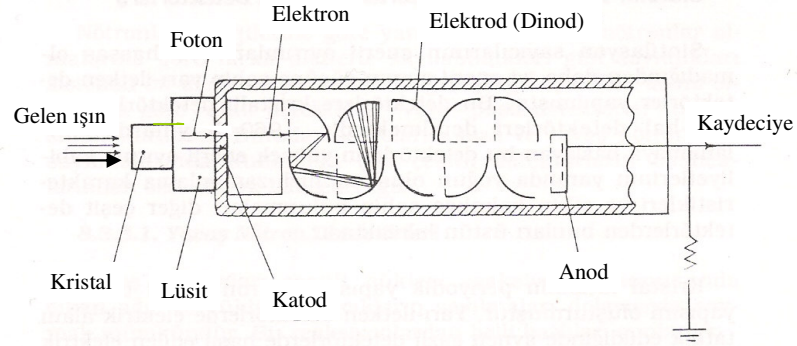
Kolay elde edilebilen NaI kristali nem çekicidir. Su buharına maruz kaldığında saydam kristal donuk toz haline geçer. Bu nedenle kapalı saklanması gerekir.

Bir sintilatörün çalışma prensibini anlamak için enerjinin soğurularak, elektronların uyarılmış durumlara çıkmasıyla ilgili sistemi (mekanizmayı) anlamamız gerekmektedir. Bir sintilasyon sayacı üç kısımdan oluşmaktadır:

1. kısımda; üzerine gelen radyasyon ışınını soğurarak görünür ışık haline dönüşmesine sebep olan kristaldir. Bu kristale pratik olarak sintilatör denmektedir.

2. kısımda; sintilatörde oluşan ışıkları toplayan “lüsit” adı verilen mekanizma vardır. Bu lüsit, ışığı geçiren saydam bir kısım veya ışık kanalları olabilirler. Bu ışık kanalları veya ışık boruları, sintilatörden aldıkları ışığı “fotoçoğaltıcı” denilen üçüncü bir kısma iletirler.

3. kısımda; fotoçoğaltıcı ise üzerine gönderilen ışığın elektron sökülmesine sebep olduğu ve bu elektronların sayısının elektrik darbesi verecek şekilde çoğaltılmasını sağlayan bir tüptür.



Şekil 3.4: NaI dedektörünün şeması

Sintilasyondan gelen ışınlar fotoçoğaltıcılara konulmuş yarı geçirgen foto-katottan elektron sökülmesine sebep olurlar. Bu elektronlar düşük enerjilidir. Fotoçoğaltıcı giderek artan elektron sökülmesine sebep olacak şekilde potansiyel uygulanmış belirli sayıda yüzeyler (dinod) içerir. Bu yüzeylere çarpan elektronların sayıları giderek artar ve anot tarafından toplanır. Daha sonra darbe kaydediciye (analizöre) iletilir.

Fotoçoğaltıcıdan çıkan darbeler gelen parçacığın enerjisi ile orantılı olarak farklı yüksekliktedirler. Darbelerin boyları analiz edilerek gelen radyasyonların enerjileri hakkında bilgi elde edilebilmektedir. 4096 kanallı analizörde radyasyonların hangi enerjilerde geldikleri ve gelişlerine göre şiddetleri ölçülebilmektedir.

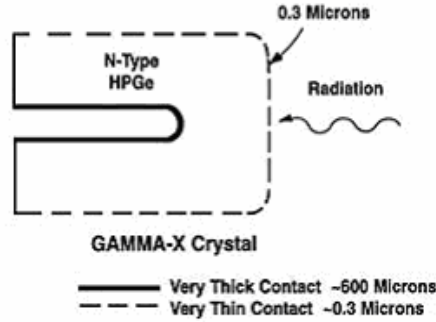
Sintilatör organik ve inorganik olmak üzere iki çeşittir. Bunların her birinin tek kristal halinde olanı olduğu gibi polikristal halinde olanı da vardır. Birkaç sintilatörü şöyle sıralayabiliriz; NaI(Tl), CsI(Tl), Cs(Ne), CsF<sub>2</sub>(U), Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, CF vb. Sintilasyon sayaçlarının diğerlerine oranla duyarlılıkları, enerji ayrımı bakımından üstünlükleri vardır.

### 3.2.1 Germanyum dedektörleri

Germanyum dedektörleri yarı iletken dedektörlerdir. Genellikle gama dedeksiyonu için kullanılırlar. Germanyum dedektörleri iki çeşittir.

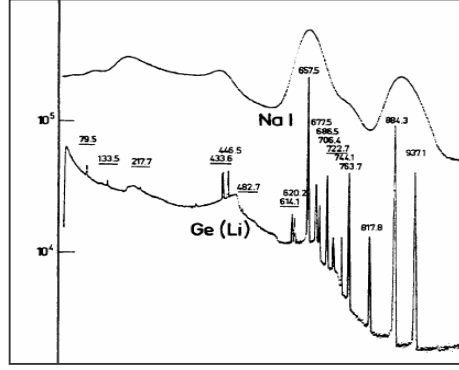
Ge(Li) dedektörü elektronik gürültüleri azaltmak için daima sıvı nitrojen sıcaklığında çalışır.

Deneyde kullanılan dedektörün tipi n-tipidir yani geri (ters) beslemelidir. Ters beslemede pozitif gerilim eklem n tarafına uygulanmaktadır ve düz beslemenin aksi olarak potansiyel engel artmaktadır. Bunun sonucun ise akım belli bir doyma noktasına kadar artar. p-n eklemi dedektörün verimi için çok önemlidir.



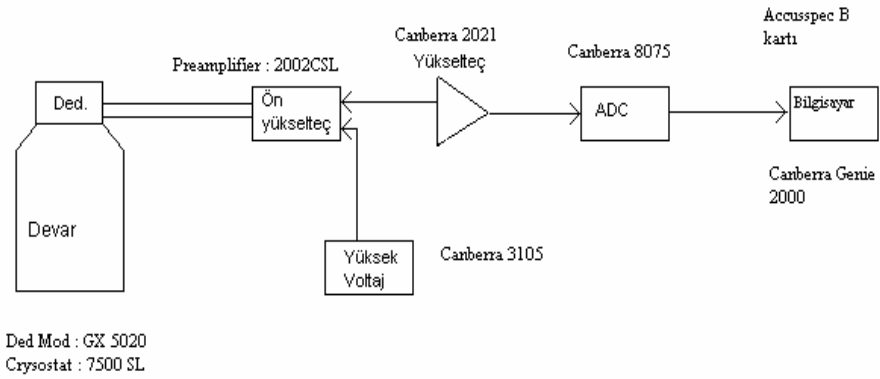
Şekil 3.5: HPGe dedektörünün şeması

HPGe dedektörlerinde saflık oranı çok ve direnç yüksek olduğundan ayırma gücü çok yüksektir. Çözme gücünün çok yüksek olması HPGe dedektörlerinin önemli bir avantajıdır. Diğer önemli bir avantaj da saf germanyum dedektörlerine besleme gerilimi uygulanmadığında oda sıcaklığında tutulabilir olmasıdır. Dezavantajları ise çalışırken sıvı azot sıcaklığında tutma gereği ve düşük verim göstermesidir. Bu tiplerde ortalama verim % 7, en iyilerinde % 150 olmaktadır. Verim arttıkça dedektörün maliyeti de artmaktadır.



Şekil 3.6: NaI'ya göre Ge(Li) dedektörünün ayırma güçlerinin karşılaştırılması

Yukarıdaki spektrumun büyütülmüş hali ve burada NaI ya göre Ge(Li) dedektörünün ayırma güçlerinin farkın görüyoruz.



Şekil 3.7: Gama sayım sistemine örnek bir örnek şema

Kaynaktan yayılan radyasyon enerjisi dedektörle etkileşerek soğurulur. Daha sonra bu enerji ile orantılı akım darbesine dönüştürülür. Bu darbe ön yükselteçler ve yükselteçler yardımıyla voltaj darbe haline çevrilir ve yükseltildikten sonra çok kanallı analizöre (MCA) gönderilir. Analizörde sayısal verilere çevrilen veriler bilgisayar ekranında spektrum olarak izlenir.

Sistemdeki her ünitenin işlevleri genel olarak tanımlanırsa;

Yüksek voltaj ünitesi (HV): HV güç kaynağının amacı dedektöre besleme gerilimini sağlamaktır. Çalışma sırasında güç kaynağı 2000-5000 V arasında kullanılır.

Ön yükselteç (Preamp): Dedektörden gelen darbeleri depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Elektronik katlar için atmaları şekillendirir ve büyültür.

Yükselteç (Amp): Ön yükselteçten gelen darbenin, darbe yüksekliği analizi yapılabilecek kadar iyi şekilde ayarlanmasını sağlar. Bunu gelen atmaları büyülterek, sinyallere ayırarak yapar. Gelen ve çıkan atmalar arasında doğrusal bir ilişki kullanarak sinyalleri büyültür.

Analog dijital çevirici (ADC): Spektroskopi yükseltecinden gelen sinyalleri genlikleri ile orantılı olarak sayısal sisteme dönüştürür.

Çok kanallı analizör (MCA): Çok kanallı analizörler darbe (puls) yüksekliğini ayarlayan cihazlardır. MCA'nın en önemli devre veya bileşeni analog/dijital dönüştürücüdür. Gelen her darbe dijital hale dönüştürülür ve genliği ile orantılı olarak bir hafıza kanalına yerleştirilir. Her kanal belirli enerjiye karşılık gelir ve sayım süresince gelen tüm darbelerin birikmesiyle belirli pikler oluşur.

### **3.2.2 Enerji kalibrasyonu**

Veri toplama işlemine başlamadan önce deney düzeneğinin enerji kalibrasyonunun yapılması gereklidir. Gama dedektörünün kalibrasyonu için, yayınladıkları gama enerjileri bilinen ve bu enerjilerin mümkün olduğunca kalibrasyon yapılmak istenen enerji aralığına düzgün dağılmış olan kaynaklar kullanılır. Tipik standart gama kaynakların yayınladıkları enerjiler aşağıda tablo halinde verilmiştir (Tablo 3. 1).

Tablo 3. 1: Tipik standart gama kaynakların yayınladıkları gama enerjileri

Kaynak	<sup>60</sup> Co	<sup>137</sup> Cs	<sup>241</sup> Am	<sup>109</sup> Cd	<sup>57</sup> Co	<sup>88</sup> Y
Enerji (keV)	1173,228	661,66	59,50	88,03	122,06	898,04
	1332,492					1836,06

Enerji kalibrasyonu sonucunda bulunacak denklem;

$$E = a (KN) + b \quad (3.1)$$

yani en genel haliyle  $y = a x + b$  şeklindeki doğru denklemidir. Burada, KN kanal numarası, a eğim, b ise doğrunun y eksenini kestiği değerdir.

### 3.2.3 Verim kalibrasyonu

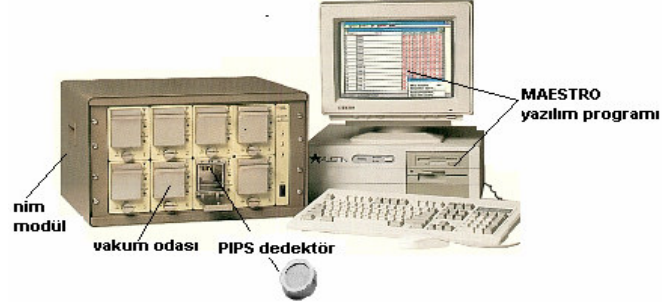
Verim kalibrasyonu da enerji kalibrasyonu gibi veri toplama işlemine başlamadan önce aynı multinüklid standart gama kaynağı kullanılarak yapılmıştır. Kalibrasyon yapıldıktan sonra enerjiye karşılık verim grafiği çizilerek verim denklemi elde edilmiştir.

### 3.2.4 Enerji ayırma gücü

Detektörün enerji ayırma gücü, spektrumdaki birbirine yakın enerjideki pikleri iyi bir şekilde ayırma yeteneğidir. Gama ışını enerjisinin bir fonksiyonu olan HPGe dedektör sisteminin enerji ayırma gücü, enerji kalibrasyonu sırasında hesaplanmaktadır. Detektörün enerji ayırma gücü pikin maksimumdaki yarı genişliği (FWHM) olarak tanımlanır. Bu yüzden boyutsuz olan enerji ayırma gücü yüzde olarak tanımlanır. Pikin küçük yüzdedeki ayırma gücü, ayırma gücünün iyi olduğu anlamına gelir.

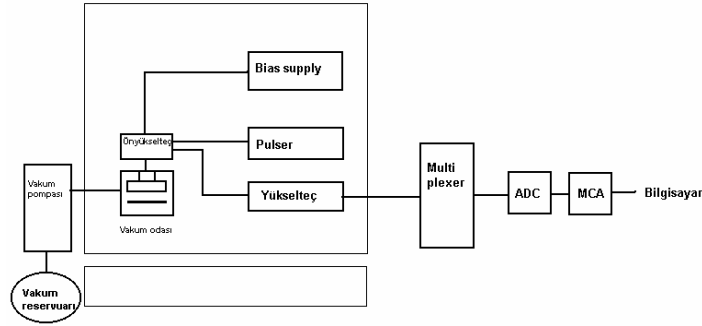


### 3.3 Alfa Spektrometrisi



Şekil 3.8: Alfa spektrometrisi dedektör sistemi

Alfa spektrometre sisteminde silikon yüzey engelli dedektörler kullanılır. Alfa parçacıklarının havadaki erişme uzaklıkları çok kısa olduğu için alfa spektrometri sistemi vakum altında çalışır. Sistem, bias voltajla beslenen dedektöre ön yükselteç ve yükselteç ile bağlanır. Yükselteç çıkışı elde edilen sinyaller bir multi plaxer (karıştırıcı) vasıtasıyla ADC ve çok kanallı analizöre iletilir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Alfa spektrometresinin elektronik devresi

## **BÖLÜM 4. NUMUNELERİN TOPLANMASI VE HAZIRLANMASI**

### **4.1 Genel Uygulamalar**

Numune toplamak için yapılması gereken ilk şey uygun yer seçimidir. Alınan her numune bölgeyi ve numune grubunu temsil etmelidir. Ayrıca alınan numuneler ortamda her zaman bulunabilmeli ve kolayca toplanabilir olmalıdır.

Numune toplama sıklığı da, bölge seçimi kadar önemlidir. Bu sıklık incelenen radyonüklide göre değişir. Örneğin hava ve serpinti numuneleri devamlı toplanır.

Rutin olarak izlemede büyümesi yavaş bitkilerden yılda bir defa olmak üzere hasat zamanı toplanır. Buna karşılık büyümesi hızlı olan bitkilerden ise örneğin çimen, yaz döneminde birkaç defa toplanır. Et numuneleri genellikle sonbahar dönemi sonunda toplanırken, av hayvanlarının etleri av mevsimi sonunda toplanır. Ayrıca böyle çalışmalarda; örnek toplama zamanının seçimi, mevsim ve çevre şartlarını sonuca olan etkileri göz önünde bulundurularak yapılır.

Numune büyüklüğü ve çokluğu, temelde içerdiği aktiviteye, ölçüm sistemini tayin sınırına, radyonüklidin fiziksel karakteristiğine ve ölçümlerin tekrarlanmasına duyulan ihtiyaca bağlıdır.

Kısa ömürlü radyonüklidlerin tayininde, radyonüklidlerin en kısa sürede ölçülmesine imkan veren hava ve yağış (yaş-kuru) örnekleri kullanılır. Uzun yarı ömürlü radyonüklidlerin izlenmesinde ise, birikim yapacakları toprak ve sediment numuneleriyle çalışılır.

Analiz edilecek numunenin çokluğu, numunenin uzun sürebilecek araştırmalara uygunluğu önemli bir özelliktir.

Numune toplama alanının büyüklüğü, numune tipine bağlı olarak değişebilir. Yağmur suyu, ilgilenilen bölgede sabit bir yerden toplanabilir. Bitki numuneleri ise, bölgenin daha iyi temsil edilebilmesi için çok geniş bir alana alınır.

Numune etiketi kaybolmayacak, silinmeyecek şekilde yazılmalıdır. Etiketlerde tarih, alınan yer ve numune alma alanı, alan büyüklüğü, yaş kütlesi, hava durumu, toplayıcı adı gibi gerekli bilgiler belirtilir.

#### **4.1.1 Temizlik**

Toplanan numuneler ilk olarak içerisindeki yabancı maddelerden arındırılır. Mesela bitki numuneyi temizlenmesinde bitki üzerinde veya yaprakları arasında bulunan canlı organizmalar, bunların değiştirdikleri derileri, diğer bitki parçacıkları, bozunmuş bitki artıkları, bitki kökleri veya yapraklar üzerinde bulunan toprak parçacıkları ayıklanır. Su içindeki parçacıkların aktiviteleri ölçülecekse, bu su örneği filtre edilir.

Numune toplama aletleri, saklama kapları ve örnek hazırlama bölgeleri bulaşmayı önlemek için sürekli temiz tutulur. Özellikle stronsiyum ve sezyum analizlerinde numune toplama aletleri her kullanımdan sonra temiz su ile yıkanır, yıkama suları ana numuneye eklenir. Eğer kaplar tekrar kullanılacaksa seyreltik hidroklorik asitle (HCl) veya seyreltik nitrik asitle (HNO<sub>3</sub>) ile yıkanır. Damıtık su ile son durulama yapılır.

#### **4.2 Numunelerin Saklanması**

Laboratuara getirilen numunelerin fiziksel şekilleri, analiz veya uzun süreli saklamaya elverişli olmayabilir. Bu nedenle toplanan numunelerin analize uygun hale ve miktarla dönüştürülmesi; dağılmasını, azalmasını, kimyasal ve biyolojik bozunmaya uğramasını ve herhangi bir şekilde ek bulaşmayı önlemek için uygun şekilde saklanması gerekir.

Uçucu radyonüklidlerin kaybını önlemek için gerekli önlemler alınır. Analiz öncesi biyolojik numunelerin kısa süreli saklanması işlemlerinde buzdolabı (+2 ile +4°C), derin dondurma, kuru dondurma veya sodyum bisülfid ( $\text{NaHSO}_3$ ), alkol ve formalin gibi koruyucular kullanılabilir. Süt numunelerinin saklanmasında ortama, ekşimeye engel olan sodyum asidi eklenir.

Numunenin uzun süre saklanması gerekiyorsa biyolojik numunelerin kurutma, külleştirme gibi işlemlerle daha uygun biçimlere çevrilmesi gerekir. Ancak bu işlemler sırasında radyonüklid kaybının önlenmesi için sıcaklık kontrol altında tutulur(Tablo4).

Tablo 4.1: Külleştirme işlemleri sırasında uygulanacak ilk sıcaklık dereceleri

NUMUNE TÜRÜ	SICAKLIK (°C)
Et	150-250
Balık	150-250
Meyve(taze/konserve)	175-325
Sebze(taze/konserve)	175-325
Süt	175-325
Meyve suyu	175-325
Un	175-250
Köklü Sebzeler	200-325
B akliyat	225-325
Makarna	225-325
Ekmek	225-325
Çayırotu	225-325
Kuru Fasulye	175-250

#### 4.2.1 Kurutma

Kurutma işlemiyle numunenin hacim ve kütlesi 10-100 misli azaltılır. Dolayısıyla katı miktarı artmış olduğundan uzun süre saklanmasına olanak verilir. İşlemi ısı yardımı (105 °C) yapılabildiği gibi uçucu izotop içeren numunelerde kayıp riski azaltmak için oda sıcak doğa kurutma tercih edilir.

Numunelerdeki uçucu radyonüklid kaybını önlemek için dondurularak kurutma işlemiyle de hacim küçültmesi yapılabilir. Ancak bu işlemin dezavantajı uzun zaman almasıdır. Bu nedenle önerilmez. Genellikle kullanılan kuruma işlemleri, fırında kurutma, oda sıcaklığında kurutma, dondurarak kurutma şeklindedir.

Fırında Kurutma işleminde elektrikli fırınlar kullanılır. Fırın temizliği önemlidir. Fırındaki tozların numuneleri kirletmemesine özellikle dikkat edilmelidir. En sık kullanılan sıcaklıklar 105-110 °C'dir.

Oda sıcaklığında kurutma işlemi, bir serada veya vakum hücresi, desikatör vb. kullanılarak yapılır. Kapalı hücrelerde kurutmanın üstünlüğü, bulaşmayı azaltmasıdır. Büyük numunelerde ise seralarda kurutmak daha uygundur.

Dondurarak kurutma işleminde, vakum altında kuru buz sıcaklığına kadar soğutulan numune, suyunu kaybederek kuru hale gelir. Normal büyüklük ve kütledeki numuneler (0.5 kg) parçalanarak kurutulur. Bu yöntemde numuneler herhangi bir bulaşmadan etkilenmez. Kurutma işlemi sabit tartım elde edilene kadar devam eder.

Kurutulmuş numuneler radyoaktivite ölçümlerinin daha sağlıklı yapılabilmesi için homojen hale getirilir. Homojenleştirme işlemi yapılmamış bir numune, hiçbir zaman ana numuneyi temsil etmez. Bunun nedeni, bazı radyonüklidlerin numunedeki küçük parçacıklara, kum ve toprakta olduğu gibi daha sıkıca ve farklı şekillerde tutunmasıdır. Numuneleri parçalamak ve homojenleştirmek için 'V' öğütücüleri, karıştırıcı-öğütücüler, bilyeli değirmenler ve istenilen gözenek büyüklüğünde ekler kullanılır. Öğütme parçalama işlemi numunedeki büyük parçacıkların ayıklanmasından sonra yapılır. Numuneler genellikle kurutma ve külleştirme işlemi sonrasında homojenleştirilir.

Radyoaktivite analizlerine geçmeden önce numunelerin kuru ve yaş kütlelerinin kesinlikle belirlenmesi gereklidir.

#### 4.2.2 Buharlaştırma

Sıvı numuneleri buharlaştırarak yoğunlaştırmak her zaman uygulanan bir yöntemdir. Ancak buharlaştırma işlemi sırasında taşma ve sağılmayla numune kaybının olmasına dikkat edilmelidir. Kızıl ötesi (IR) lambalarıyla yapılan buharlaştırmada saçılma sorunu ortadan kalkar, ancak bu işlem sırasında da rutenyum, trityum ve iyot gibi bazı radyonüklidler kaybedilebilir.

Hızlı bir buharlaştırma işlemi, basıncı düşürölmüş ve dönen bir cam balondan (30 L hacimde olanları vardır) oluşan döner buharlaştırma sistemi kullanılarak da yapılabilir.

Buharlaştırma kapları radyonüklidleri soğurmayan cinsten olmalıdır. Buharlaştırmanın yapıldığı oda duvarları yıkanabilir türden fayans, yağlıboya, plastik ile kaplanmalı ve duvarlar her işlemden sonra dikkatle yıkanmalıdır.

#### 4.2.3 Külleştirme

Analiz edilecek numunelerde büyük miktarlarda organik madde varsa, yapılacak ilk işlem, numunenin kül haline getirilmesidir. Numunenin yaş veya kuru külleştirme işleminin seçimi, analiz edilecek izotopun (elementin) buharlaşma ve organik maddeleri oksitleme sıcaklığı ile örneğin kütle, hacim ve fiziksel formları gibi özelliklerine bağlıdır.

Külleştirmenin genelde iki amacı vardır; birincisi, radyoaktivite seviyesi düşük olan numunelerin çok fazla yoğunlaşmasını sağlamak; ikincisi, kimyasal analiz edilecek  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  ve  $^{241}\text{Am}$  gibi radyonüklidleri tayin etmektir.

Külleştirme işlemine başlamadan önce yapılması gereken ön hazırlık işlemleri numunenin türüne bağlı olarak küçük farklılıklar gösterirler. Külleştirme öncesinde radyonüklid derişimi ve kazanç hesaplamasında kullanmak için taşıyıcı elementler ve radyoizotop izleyiciler bütün numunelere eklenir.

Radyoaktif olmayan element analizlerinde bir önlem olarak buharlaşan ve kaybolan element miktarını tespit etmek üzere yakılacak numuneye, analiz edilecek nüklidin kimyasal yapısında olan izleyiciler eklenir.

Gıda maddesi olarak tüketilen ürünlerde bir tek kimyasal analiz için küleştirilmesi gereken minimum hammadde miktarlar Tablo 4.2’de verilmiştir.

Kuru Küleştirme, kolay bir işlem olmasına rağmen, uygulanan sıcaklık derecesinde birçok element buharlaşarak numuneden ayrılmaktadır. Element kaybını önlemek için kuru küleştirme işleminde önerilen uygun sıcaklık minimum seviye sayılan 400-450 °C’dir.

Kuru küleştirme işlemi iki basamakta olur. İlk basamakta, numune 105 °C tamamen kurutulur; ikinci basamakta ise 8 saat+8 saat olmak üzere toplam 16 saate kadar yakma işlemi yapılır. Ancak bu süre zarfında numunede alevlenme meydana gelmemelidir. İlk 8 saatlik sürede sıcaklık doğru ve kararlı bir şekilde artırılmalıdır. Yakma işlemi numune beyaz kül haline gelene kadar devam ettirilir. Ancak balık, et gibi yağ oranı yüksek numunelerde sıcaklığın biraz daha artırılması gerekmektedir. İşlemin ikinci aşaması olan diğer 8 saatlik kısımda sıcaklık biraz daha hızlı artırılabilir.

Yakma işlemi esnasında örneğin kor haline gelmemesi önlenmelidir. Ancak, karbonlu madde içeren numunelerin, oksitlenmelerinden dolayı kor haline gelmelerini önlemek mümkün değildir. Eğer numune kor haline geçmişse, kimyasal elementlerin miktarında bir karışma ve azalma söz konusu değildir fakat, uçucu elementler kaybolabilir. Ayrıca, 450 °C’de 16 saat süreyle küleştirilen numunelerde siyah kömürleşme şeklinde karbon kalmış ise, numuneler daha küçük bir plaka içine aktarılarak 550 °C’de 24 saat süreyle küleştirilir.

Yüksek sıcaklıklardaki yakma işlemlerinde numunede fosfor ve kükürt elementlerinin oranı fazla ise ya tamamen kor haline geçer ya da kısmi korlaşmalar meydana gelir. Bu durumda numunede buluna bazı radyonüklitler

buharlaşır ve yakma kabının çeperine yapışarak istenmeyen ve erimeyen oluşumlar medyana getirir.

Örneğin radyoaktif Cs'un önemli miktarı 400 °C'de kaybedilir. Buna karşılık sadece bir başka radyoaktif element olan Sr'un analizinde külleştirme sıcaklığı 600 °C'ye kadar yükselir.

Tablo 4.2: Gram kül elde etmek için gerekli besin maddesi miktarları

NUMUNE TÜRÜ	KÜL (%)	İLK KÜTLE (kg)
Balık	1,3	0,8
Un	0,48	2,1
Taze Meyve	0,62	1,6
Patates	1,1	0,9
Et	0,92	1,1
Pirinç	0,65	1,5
Taze Sebze	0,75	1,3
Kök Sebzeler	0,76	1,3
Kuru Fasulye	3,8	0,3
Buğday	1,7	0,6

Düşük sıcaklıklardaki külleştirme işlemi tam olması halinde beyaz ve yumuşak küller meydana gelir. Her zaman beyaz ve yumuşak küller elde etmek gerekli değildir. Burada amaç külleştirilmiş numunenin analiz için orijinal halinden daha elverişli hale gelmesidir. Örneğin, ortamdan karbonun tamamen uzaklaştırılması gerekli ise yakma fırınına oksijen beslemesi yapmak, numuneyi külleştirme işlemine başlamadan önce katı okzalik asitle karıştırmak, külleştirme işleminde sonra numuneyi doymuş amonyum nitrat ile nemlendirmek ve yeniden külleştirme işlemine almak ve bir havan içinde katı kül parçacıklarını kırmak, ezmek ve tekrar külleştirme işlemine (bazen 550



°C'de 24 saat süreyle) almak gereklidir. Ancak, külleştirme orijinal numunedeki aktivitenin bulunmasında kullanılan bir işlem olduğundan, numunenin tamamen karbondan arındırılmasına gerek yoktur.

Külleştirme işlemi değişik hacimdeki fırınlarda yapılır. Büyük kapasiteli fırınlar, alev önleyici perdelemeli olmalıdır. Ayrıca külleştirme işleminin başında yanma noktası düşük olan uçucu bileşikler büyük miktarda açığa çıkacağından, fırın bacası bina dışındaki bir bacaya bağlı olmalıdır. Bu bileşikler fırına yakın baca içerisinde yoğunlaşmaya elverişli olduğundan yangın tehlikesi oluşturabildiklerinden fırınlara küllerin dağılmasına ve değişik numunelerin külleriyle karışmasını önlemek için yüksek kapasiteli hava emici vantilatörler takılır.

Numuneleri külleştirme işlem esnasında her işlemden sonra atılabilen alüminyum folyolar kullanılması önerilse de bunun kullanımının mümkün olmadığı hallerde karbonlu nikel plakalar, porselen kaplar, silika, paslanmaz çelik ve platin gibi krozeler de kullanılır.

Silisyumlu kaplar kullanışlı olmasına rağmen kırılđan ve pahalı kaplardır. Çok sayıda numunenin külleştirilmesinde elverişli değildirler. Numunenin, patates ve süt gibi tuzları yüksek besin maddelerinin yakılması sırasında silika kap özelliğini kaybedebilir. Bozulan kap yüzeyleri temizlenemediğinden daha sonraki külleştirme işlemlerinde kullanılamaz. Kaplar özellikle kemik külleştirmede kullanılır.

Porselen kaplar silikaya benzeseler de, pürüzsüz porselen yüzeylerde eser miktarda kirlilik oluşacağından silikaya göre daha kullanışlıdır. Bunlara ek olarak paslanmaz, parlak çelikler numune kurutmak için çok uygundur. Ayrıca temizlenmesi kolaydır.

Paslanmaz çelik veya nikel alaşımlı (monel) kaplar ucuz ve dayanıklı olması sebebiyle bütün külleştirme işlemleri için uygundur fakat, bu kaplarda da eser

miktarda dahi olsa numuneye demir, nikel veya kromun karışması söz konusudur. Eğer böyle bir karışma istenmiyorsa bu kaplar kullanılmamalıdır.

Numune külleştirilirken kullanılan alüminyum tablalar seyreltik (sulandırılmış) hidroklorik asit (HCl) ile veya deterjanla temizlenir.

Külleştirme işlemi genelde 105 °C'de başlar ve 450 °C'ye kadar sıcaklık artırılarak yapılır. Ancak külleştirmenin başlangıç noktası olan 105 °C numuneye ve ilgilenilen radyonüklide göre değişir. Külleştirme süresi numunenin büyüklüğüne ve çeşidine bağlı olarak 16-24 saat civarındadır. Külleştirme işlemi bittikten sonra kül olan örnekler, bir spatula yardımıyla külleştirme kabından dikkatlice alınır. Kaptaki kalan küçük kül parçaları ise resim fırçasına benzer ince bir fırça yardımıyla toplanır. Toplanan kül, tartılarak başlangıç maddesini birim kütledeki kül miktarı hesaplanır. Eğer külleştirme porselen kaplarda yapıldıysa, kap çeperlerinde kalan kül miktarları, çok küçük numuneler için önemli değildir ve ihmal edilebilir.

Yaş külleştirme işlemi, kuru külleştirme yapılamayan ya da buharlaşma ile element kaybına neden olucaksa uygulanır. Çok fazla silikat içeren numuneler için uygun bir yöntemdir. Fakat iyot ve bakır gibi çabuk buharlaşan element içeren numunelerde kullanılmaz. Bu yöntem çok özel bir durum söz konusu olmadıkça sadece küçük miktardaki numunelerdeki kararlı elementlerin analizlerinde ya da radyoaktif elementlerin sayım disketleri üzerine yoğunlaştırılması amacıyla kullanılır.

Yaş külleştirmede amaç oksitleyiciler nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ve hidroflorik asit (HF)'dir.

### 4.3 Numune Alma ve Ön Hazırlık

#### 4.3.1 Ot

Mera otu veya diğer ot çeşitlerinin toplanmasında, toplanan otun tüm çevreyi temsil etmesi gerekmektedir. Ot numuneleri toplanan yerlerin arazi özellikleri önemlidir. Numunenin arazi yapısı meyilli olan ve üzerine normalden fazla oranda yağmur suyunun aktığı otlar numune olarak alınmamalıdır.

Ot numuneleri toplanırken toprakla karışmamasına dikkat edilmelidir. Bu nedenle numuneler tırmıkla alınmamalıdır. Ayrıca otlar kesilir ya da çim biçme makinesiyle, makine haznesine toplanır. Toplandıktan sonra poşetler konur. Ot numuneleri alınırken sığırlar için 5 cm, koyun-keçi için 20 cm olan ot koparma yüksekliği göz önüne alınır. Ayrıca ot numuneleri, iklimin kuru olduğu ve otun seyrek olduğu mevsimlerde toprak yüzeyine yakın bölgelerden alınır.

Numunelerin alınması, toprak ile ot arasındaki ilişkinin bilinmesi gerektiği hallerde üç ayrı kısımdan meydana gelir. Bunlar;

- a) toprağın 1 cm üzerinden başlayan yeşil kısım,
- b) toprağın 1 cm üzeri ile 2 cm altında kalan mat kısım ve
- c) kök kısmıdır.

Eğer numuneler büyük hacimde toplandıysa, sahada standart parçalara ayırma tekniğine göre kullanışa daha uygun büyüklüklere ayrılarak (en fazla 5 kg) ağzı kapalı poşetler konduktan sonra etiketlenir.

Ot numune incelenen radyonüklide göre, otlar taze iken de yapılıp ya da radyoaktif iyot kaybı ve yarılanma ömrü kısa olan radyoizotoplarla ilgilenilmiyorsa kurutulmuş da analiz edilir.

Ot numuneleri, genellikle 105 °C'de 24 saat süre ile kurutulur. Yaş ve kuru kütleleri kaydedildikten sonra 2 mm gözeneğe sahip elekten geçirilir. Gözeneklerden geçmeyen iri parçalar öğütülerek elekten geçmesi sağlanır.

Bu işlemlerden sonra hazır hale gelen numune sayım kabına konur ve sayılır. Sayım sonuçları hatalarıyla birlikte, yaş ve kuru kütledeki (tercihen kuru kütlede) veya belli bir alanda bulunan radyoaktivite miktarı olarak yani Bq/m<sup>2</sup> verilir.

#### **4.3.2 Toprak**

Toprak numuneleri toplanırken toprağın mümkün olduğu kadar karıştırılmamış olmasına, arazinin açık ve düz olmasına, su geçirgenliğini iyi olmasına, yüzeyinin otlarla kaplı veya yüksek bitkilerin nedeniyle gölgelenmemiş olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca, toprak yüzeyinin sel veya fazla yağmur suyundan hiçbir zaman olumsuz şekilde etkilenmeyecek özellikte, hatta vadi eteklerinden uzakta olması gerekmektedir.

Toprak katmanlarının karışmasına sebep olan kemirgen hayvanların ve solucanların toprakta çok olmamasına dikkat edilmelidir.

Bu özellikteki toprak yüzeyinden 25-50 cm derinliğine kadar inebilen 10 cm çapında toprak alma aletiyle numune alınmalıdır. Ayrıca numunenin alındığı derinlik yapılacak çalışmanın amacına ve toprağın özelliğine bağlıdır.

Yüzey toprağı, toprağın üst tabakasından 0-5 cm derinlikten alınır. Farklı derinliklerde alınan numuneler varsa birbirine karıştırılmaz.

1 m<sup>2</sup>'lik alandan en az üç numune alınıp karıştırılır ve tek bir numune haline getirilir. Ayrıca alınan numune sayısının artırılması söz konusu olduğunda, numunelerin alındığı yerlerin arasında mesafe bırakılabilir.

Toplanan toprak numuneleri arasında, aktivitesi yüksek olanlar olabilir. Numunelerin, karıştığı takdirde birbirinden etkilenmemeleri için (cross-contamination) ayrı hazırlanmaları gerekmektedir.

Yapılan incelemeler esnasında toprak numunesi alma sıklığı yılda bir ila beş kez arasında değişim göstermektedir. Eğer yapılacak ölçümler periyodik olacaksa alınan numunelerin yerlerinin koordinatlarının belirlenmesi gerekmektedir. Toprak numunesi geniş bir bölgeden alınırsa, alınan bölgeyi iyi temsil etmiş olur.

Toplanan numunelerin içinde bulunan organik maddeler (taş, bitki artıkları vs) analiz amacına göre temizlenmesi gerekiyorsa temizlenir, aksi halde toprak içinde bulunan organik maddelerde öğütülerek toprak içine homojen olarak karıştırılır. Daha sonra toplanan numuneyle laboratuvar ortamında serilir ve oda sıcaklığında birkaç gün kurutulur. Bu işlemin ardından toprak örnekleri sıcaklığı 50 °C olan kurutma kabinlerinde havalandırılarak radyonüklid kaybına neden olunmadan kurutulur. Kuru kütlesi ölçülür.

Ayrıca dikkat edilmesi gerek bir konuda, toprakta bulunan taş parçacıkları ayıklanarak tartılır ve atılır. Toprakta bulunan yabancı maddeler kütleleri bakımından hesaba katılırken toprağın özgül aktivitesi hesaplanırken hesaba katılmaz. Ancak, ortamı etkileyen radyo aktivite hesabı yapılıyorsa atılan taş parçaları suya bekletilir, yıkanır ve bu yıkama suyunda sayımı yapılır.

Kurutulan ve homojen hale getirilen numuneler 2 mm genişlikte gözeneklere sahip elekten geçirilir ve sayım kaplarına alınır.

Son olarak da ölçüm sonucu toprak aktivitesi alan üzerinden  $Bq/m^2$  ve/veya kuru kütle üzerinden  $Bq/kg$  olarak verilir.

## BÖLÜM 5. HATA HESAPLAMALARI

İstatistik, verilerin analizi için bu verileri ifade etmek ve düzeltmek için kullanılan bilimsel metotlardır. Tüm laboratuvar ölçümleri belirsizlik veya hata kaynakları içerir. Bunlardan bazıları ölçme sisteminden kaynaklanır. Diğerleri radyoaktif bozunumun kendisinden kaynaklanır. Bunun sebebi radyoaktif bozunumun kendisi istatistiksel değişim işlemi olması ve oluşumun tamamen rasgele olmasıdır.

Hata (belirsizlik) bir büyüklüğün ölçülen değeri ile doğru (gerçek) değeri arasındaki farka denir. Hata sözcüğü yanlış anlamında değil belirsizlik anlamındadır. Hataları deney sonuçlarına göre iki grupta inceleyebiliriz:

Sistematik (sabit) hatalar; ayarlanmamış ölçü araçlarından, yöntemin yanlışlığından, gözlemcinin olumsuz alışkanlığından, çevre ve deney koşullarının olumsuzluğundan kaynaklanabilir. Denetlenmesi ve düzeltilmesi olanaklıdır. Örneğin ayarsız bir saat ya da sıfırı kaymış bir termometre ile yapılan ölçmeler sistematik hatalara neden olurlar.

Rastlantısal (istatistik) hatalarda; kullanılan ölçü aracının duyarlılığının sınırlı oluşundan, gözleyicinin yetersizliğinden kaynaklanan denetlemesi olanaksız olan hatalardır. Bu tür hataları düzeltmek olanaksız olmakla birlikte sonuca olan etkisini azaltmak mümkündür. Ölçme işlemi birkaç kez tekrarlayıp aritmetik ortalamasını almak gerekir.

### 5.1 Mutlak Hata

Bir büyüklüğün doğru değeri ile onu temsil eden ölçülen değer arasındaki farkıdır. Yani  $\bar{X}$  gerçek değer ile  $X$  de yaklaşık değer (ölçülen değer) ise mutlak hata denklem (5.1)'deki gibidir;

$$e_x = \Delta X = \bar{X} - X \quad . \quad (5.1)$$

## 5.2 Bağlı Hata

Mutlak hatanın gerçek değere bölünmesi ile elde edilen hatadır. Ancak her problem için gerçek değeri saptama olanağı yoktur. Bu nedenle bağlı hata genel olarak mutlak hatanın yaklaşık değere bölünmesiyle elde edilir ve  $\Gamma_x$  ile ya da  $\delta_x$  ile gösterilir. Dolayısıyla bağlı hata;

$$\delta_x = \Gamma_x = \frac{e_x}{X} \quad (5.2)$$

ya da

$$\Gamma_x = \frac{\Delta X}{X} \quad (5.3)$$

formülleri ile hesaplanır.

## 5.3 Aritmetik İşlemlerde Hata

Çoğu kez ilgili miktar doğrudan ölçülemez, fakat ölçülebilen miktardan faydalanarak ilgili miktarın ölçümünü ve belirsizliği bulunabilir.

$f=(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ölçümünün belirsizliği;

$$\sigma = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \cdot \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \cdot \sigma_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2} \quad (5.4)$$

olarak tanımlanır.

### 5.3.1 Toplama ve çıkarmada hata

Toplama ve çıkarma işlemlerinde, verilen bir  $f$  fonksiyonundaki hata denklem (5.7) ile hesaplanır.

$$f(x_1, x_2) = a_1 x_1 \pm a_2 x_2 \quad (5.5)$$

$a_1$  ve  $a_2$  sabittir.

$$\bar{f} = a_1 \bar{x}_1 \pm a_2 \bar{x}_2 \quad (5.6)$$

$$\sigma_{\bar{f}} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \bar{x}_1}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \bar{x}_2}\right)^2 \sigma_2^2} = \sqrt{a_1^2 \sigma_1^2 + a_2^2 \sigma_2^2} \quad (5.7)$$

Eğer  $a_1 = a_2 = 1$  ise bu örnek en genel sonucunu ya da iki değişken arasındaki farkı açıklar.

### 5.3.2 Çarpmada hata

Çarpa işleminde, verilen bir  $f$  fonksiyonundaki hata denklem (5.10) ile hesaplanır.

$$f(x_1, x_2) = a x_1 x_2 \quad (5.8)$$

$$\bar{f} = a \bar{x}_1 \bar{x}_2 \quad (5.9)$$

$$\sigma_{\bar{f}} = a \sqrt{\bar{x}_2^2 \sigma_1^2 + \bar{x}_1^2 \sigma_2^2} \quad (5.10)$$

$a$  sabit bir değerdir.



### 5.3.3 Bölmede hata

Bölme işleminde, verilen bir f fonksiyonundaki hata denklem (5.13) ile hesaplanır.

$$f(x_1, x_2) = a \frac{x_1}{x_2} \quad (5.11)$$

$$\bar{f} = a \frac{\bar{x}_1}{x_2} \quad (5.12)$$

$$\sigma_{\bar{f}} = a \sqrt{\frac{1}{x_2^2} \sigma_1^2 + \frac{\bar{x}_1^2}{x_2^4} \sigma_2^2} \quad (5.13)$$

Çarpma ve bölme için standart hata eğer rölatif hata olarak belirtilmişse bölüm ve çarpım için kolayca ve hatırdaki kalıcı olduğu kabul edilir.

$$\frac{a_{\bar{f}}}{\bar{f}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\bar{x}_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{x_2}\right)^2} \quad (5.14)$$

Bu nedenle,  $ax_1/x_2$  sonucunun ya da  $ax_1/x_2$  bölümün rölatif hatası ile  $x_1$  ve  $x_2$  değişkenlerinin rölatif hatasının karelerinin toplamının kareköklerine eşittir

Genel olarak bilinen fonksiyonların hata hesaplarına örnekler:

### 5.3.4 Üssel fonksiyonlarda hata

Üssel fonksiyonlarda, verilen bir f fonksiyonundaki hata denklem (5.16)ya da (5.17) ile hesaplanır.

$$\bar{f} = (\bar{x})^m \quad (5.15)$$

$$\sigma_{\bar{f}} = \left( \frac{\partial f}{\partial \bar{x}} \right) \sigma_{\bar{x}} = m (\bar{x})^{m-1} \sigma_{\bar{x}} \quad (5.16)$$

ya da

$$\frac{a_{\bar{f}}}{\bar{f}} = m \quad ; \quad \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}} \quad (5.17)$$

### 5.3.5 Ekspansiyel fonksiyonlarda hata

Ekspansiyel fonksiyonlarda, verilen bir f fonksiyonundaki hata denklem (5.20) ya da (5.21) ile hesaplanır.

$$f(x) = e^{ax} \quad (5.18)$$

$$\bar{f} = e^{a\bar{x}} \quad (5.19)$$

$$\sigma_{\bar{f}} = \left( \frac{\partial f}{\partial \bar{x}} \right) \sigma_{\bar{x}} = ae^{a\bar{x}} \sigma_{\bar{x}} \quad (5.20)$$

ya da

$$\frac{a_{\bar{f}}}{\bar{f}} = a_{\bar{x}} \quad (5.21)$$

## BÖLÜM 6. DENEYİN YAPILIŞI

### 6.1 Numune Toplama

Bu çalışmada, İzmit Körfezi'ni tarayacak şekilde 7 istasyondan toplam 16 numune vardır. Numuneler b04'den b16'ya kadar numaralandırılmıştır. Teze başlamadan önce üç farklı numuneyle ön çalışma yapıldığından numune sayıları b04'den başlamaktadır.



Şekil 6.1: İzmit Körfezi'nde seçilen 7 istasyon

### 6.1.1 Toprak

Haritada gösterilen 7 istasyondan (Kartepe, Bahçecik, Karamürsel, Eşme, Umuttepe, Hereke, Derince) toprak numuneleri toplanmıştır. Toprak numuneleri, toprak yüzeyinden itibaren 0-20 cm derinlikten alınmıştır. Numune alma işlemi 8 cm çapında 20 cm uzunluğunda plastik boru yardımı ile yapılmıştır. Numune hazırlama işlemleri, Ç.N.A.E.M laboratuvarlarında yapılmıştır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: Toprak numunesi hazırlanışı

### 6.1.2 Liken

Liken, Kartepe, Bahçecik, Hereke istasyonlarından elle köklerinden itibaren toplanmıştır. Toplanan numuneler temiz poşetlere konup üzerleri etiketlenmiştir.



Şekil 6.3: Liken

### **6.1.3 Karayosunu**

Hereke, Kartepe, Bahçecik, Umuttepe istasyonlardan temiz spatula yardımı ile bulunduğu yerden kazınarak alınmıştır. Toplanan numuneler temiz poşetlere konup üzerleri etiketlenmiştir.

### **6.2 Numune Hazırlama**

Bölüm 4’de anlatılan numune hazırlama yöntemi kullanılmıştır.

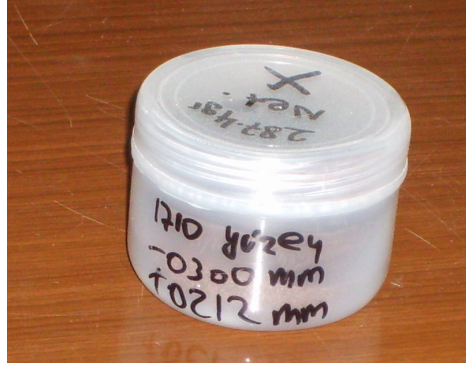
#### **6.2.1 Cs-137 analizi için numune hazırlama yöntemi**

Toplanan numuneler, darası alınmış beherlere konularak yaş kütleleri tartıldı. Tartılan numuneler kurutulmak üzere etüve konulup etüv sıcaklığı 80 °C’ye ayarlandı. Sabit tartım elde edilene kadar kurutma işlemine devam edildi. Soğuyan numuneler agat havanda dövülerek homojen hale getirildi. Tamamen homojen hale getirilen numuneler, jöle kabı denilen plastik sayım kaplarına kondu. Liken de ve karayosununda da aynı numune hazırlama yöntemi uygulandı. Hazırlanan numunelerin kuru kütleleri Tablo 6.1’de gösterilmektedir.

Tablo 6.1: Numunelerin kuru kütleleri

NUMUNE ALINMA YERİ	NUMUNE CİNSİ	NUMUNE KODU	NUMUNE KURUKÜTLESİ (g)
KARTEPE	TOPRAK	b04	122,20
EŞME	TOPRAK	b05	114,70
HEREKE (YUKARI)	KARAYOSUNU	b06	7,70
KARTEPE	KARAYOSUNU	b07	16,10
KARTEPE	LİKEN	b08	12,70
BAHÇECİK	LİKEN	b09	9,50
BAHÇECİK	TORRAK	b10	75,80
BAHÇECİK	KARAYOSUNU	b11	6,80
HEREKE (YUKARI)	TOPRAK	b12	83,80
DERİNCE (ÇENEDAĞI)	TOPRAK	b13	96,30
UMUTTEPE	TOPRAK	b14	60,20
UMUTTEPE	KARAYOSUNU	b15	32,40
KARAMÜRSEL	TOPRAK	b16	98,80

<sup>137</sup>Cs analizinde hazırlanan numuneler jöle kabına konduktan sonra dedektöre konularak sayım yapıldı (Şekil 6.4).



Şekil 6.4: Jöle kabı

### 6.2.2 Po-210 analiz için numune hazırlama yöntemi

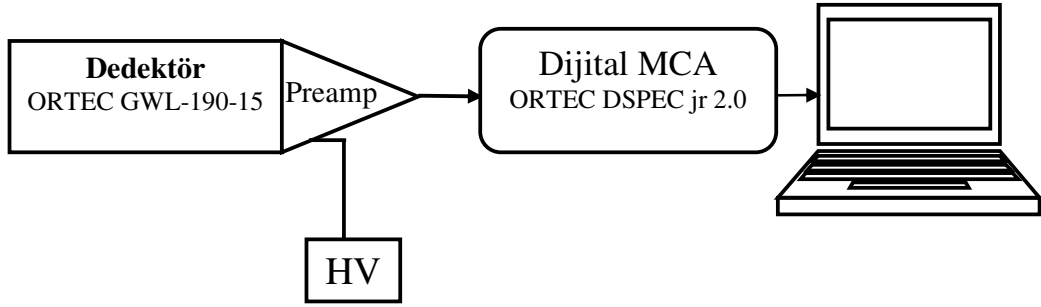
$^{210}\text{Po}$  analizinde daha farklı yöntem uygulandı. Daha önce kurutulmuş ve homojen hale getirilmiş numuneler tartılarak (yaklaşık 0.3 g) teflon kaplara konuldu. Teflon kabın içindeki numunenin üzerine yaklaşık 2 dpm/ml  $^{209}\text{Po}$  izleyici kondu. Daha sonra numunenin içine konsantre  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HF}$  ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  kimyasalları eklenip, beherin ağzı saat camı ile kapanır ve ısıtıcının (çeker ocağın) üstünde çözülmeye bırakıldı. Çözme işlemi tamamlanan numuneler kuruma noktasına gelinceye kadar buharlaştırıldı ve konsantre  $\text{HCl}$  ile yıkandı. 0.5 M  $\text{HCl}$  ve askorbik asit (50 mg/ml olacak şekilde) ilave edilerek gümüş diskler üzerine manyetik karıştırıcı yardımı ile yaklaşık 80 °C'de en az 8 saat boyunca tüm polonyumların kaplama (plating) işlemi yapıldı. Depolama işlemi tamamlandıktan sonra, numuneler saf su ile yıkanarak yine daha önce etiketlenmiş zarflara yerleştirilir ve analizler yapıldı.

### 6.3 Numunelerin Sayımı

Bütün numunelerdeki  $^{137}\text{Cs}$ 'nin gama sayımları için gama spektrometre sistemi,  $^{210}\text{Po}$ 'un alfa sayımları için alfa spektrometre sistemi kullanıldı:

### 6.3.1 Gama spektrometresi

Gama spektrometresinde % 150 rölatif verimli ORTEC GWL-190-15 marka yüksek saflıkta germanyum detektörü (HPGe), ORTEC DSPEC jr. 2.0 dijital MCA ve pik analizleri için Maestro 32 MCA yazılımı kullanıldı. Gama spektrometre sisteminin elektronik düzeneği Şekil 6.5’de gösterilmiştir. Şekil 6.6 ise, Ç.N.A.E.M laboratuvarındaki gama sayım sisteminin genel görüntüsüdür.



Şekil 6.5: Gama spektrometre sisteminin elektronik düzeneği



Şekil 6.6: Ç.N.A.E.M gama sayım sistemi



### 6.3.2 Alfa spektrometresi

Alfa spektrometresinde ise ORTEC model alfa spektrometresi ve buna bağlı BU-019-300-AS marka yzey engelli silikon dedektörler kullanılarak analizler yapıldı.

Ç.N.A.E.M laboratuvarındaki alfa sayım sistemi Şekil 6.6'da görölmektedir. Sistem sekiz adet bölme ve her bir bölmede bir dedektörden oluşmaktadır. Bu özellik aynı anda sekiz adet numune sayımının yapılmasını sağlamaktadır.



Şekil 6.7: Ç.N.A.E.M alfa sayım sistemi

### 6.4 Hesaplamalar

Numunelerin tümünün sayımları (b04'den, b16'ya kadar) % 150 rölatif verimli dedektör ile yapılmıştır.

#### 6.4.1 Enerji kalibrasyonu

Bu çalışmada enerji ve verim kalibrasyonları için An Eckert & Zeigler Company Isotope Product Laboratuvar firmasına ait 1120-47-1 numaralı, 15-Haziran-2005 referans tarihli, 1.039  $\mu\text{Ci}$  aktiviteli multinüklid standart kaynak seçilmiştir (Şekil 6.8). Bu standart kaynak,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{88}\text{Y}$  ve  $^{60}\text{Co}$  radyonüklidlerini içermektedir.



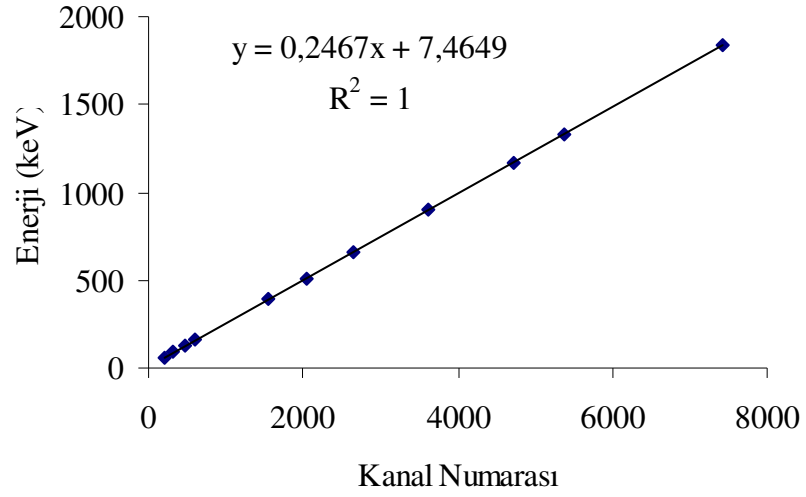
Şekil 6.8: Multinüklid standart gama kaynağı

Tablo 6.2 gama enerjilerine karşılık elde edilen kanal numaralarını göstermektedir.

Tablo 6.2: Gama enerjilerine karşılık kanal numaraları

<b>Kaynak</b>	<b>Enerji (keV)</b>	<b>Kanal Numarası</b>
Am-241	59,50	211,96
Cd-109	88,03	326,95
Co-57	122,06	464,54
Sn-113	391,70	1557,10
Cs-137	661,6	2651,78
Y-88	898,04	3610,46
Co-60	1173,2	4726,43
Co-60	1332,5	5372,21
Y-88	1836,06	7413,58

Tablolardaki değerler kullanılarak enerji kalibrasyon grafiği çizildi (Şekil 6.9).



Şekil 6.9: Enerji kalibrasyon grafiği

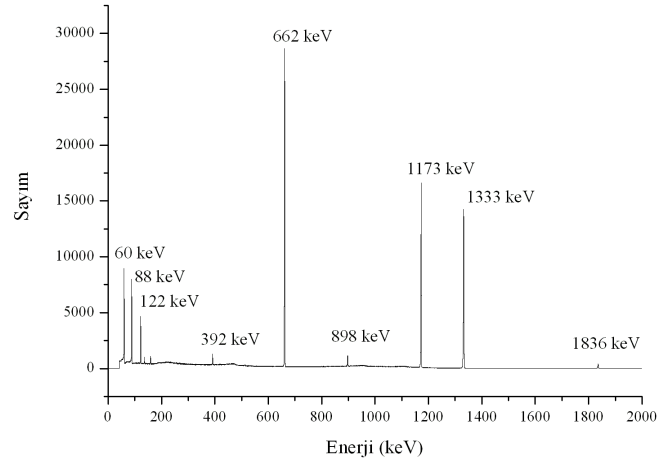
Grafikten doğru denklemi elde edilerek, enerji kalibrasyon denklemi,

$$E = 0,2467 * KN + 7,4649, \text{ keV} \quad (6.1)$$

olarak bulundu.

#### 6.4.2 Verim kalibrasyonu

Gama sayım sisteminin verim kalibrasyonu için enerji kalibrasyonunda kullanılan aynı multinüklid standart gama kaynağı kullanıldı. Şekil 6.10, standart kaynak kullanılarak elde edilen spektrumu göstermektedir.



Şekil 6.10: Standart kaynak kullanılarak 20.000 saniye sayımla elde edilen spektrum (Spektrumda Tablo 6.3 deki temel enerji piklerinin yaklaşık değerleri belirtilmiştir).

Tablo 6.3: Standart kaynağın gama enerjilerine karşılık gelen verim değerleri

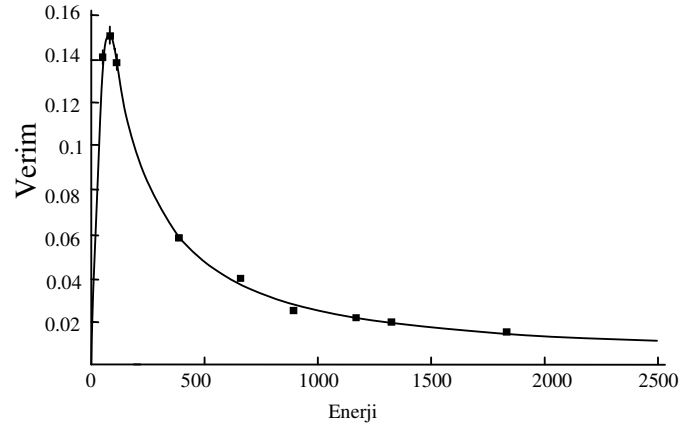
Kaynak	Enerji (keV)	Verim	Verim Hatası
Am-241	59,5	0,140	0,00420
Cd-109	88,03	0,150	0,00464
Co-57	122,06	0,138	0,00431
Sn-113	391,70	0,0584	0,000405
Cs-137	661,6	0,0396	0,00119
Y-88	898,04	0,0251	0,00148
Co-60	1173,2	0,0218	0,000655
Co-60	1332,5	0,0196	0,000589
Y-88	1836,06	0,0157	0,000467

Gama enerjilerine karşılık hesaplanan verim değerleri kullanılarak verim kalibrasyon grafiği çizildi (Şekil 6.11).

Bu grafiklerdeki değerler fit edilerek verim kalibrasyon denklemleri elde edildi:

$$\ln \epsilon = -13,333 + 5,161 * (\ln E) - 0,5824 * (\ln E)^2 \quad (6.2)$$

Burada, E, keV cinsinden gama enerji değerini,  $\epsilon$  ise bu enerjiye karşılık gelen verim değerini verir.

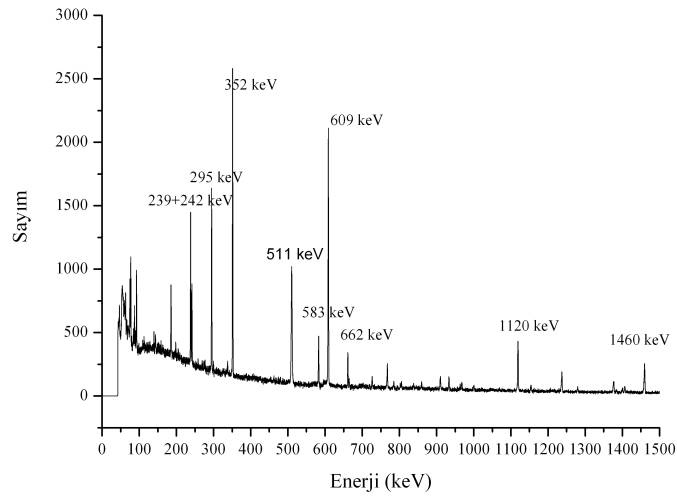


Şekil 6.11: Verim grafiği

Hesaplamalarda, bize gerekli olan  $^{137}\text{Cs}$ 'den kaynaklanan 661,66 keV gama enerjisi için Tablo 6.2'deki verim değerleri kullanıldı ( $\epsilon_{662} = 0,0396 \pm 0,00119$ ).

### 6.4.3 Fon Sayımı

Boş (herhangi bir numune olmaksızın) gama sayım düzeneği ile 250.000 saniye sayım sonucunda elde edilen fon sayımı Şekil 6.12'da gösterilmiştir. Fon sayım spektrumunda gözlenen enerji piklerini ve kaynakları ise Tablo 6.3'de verilmiştir.



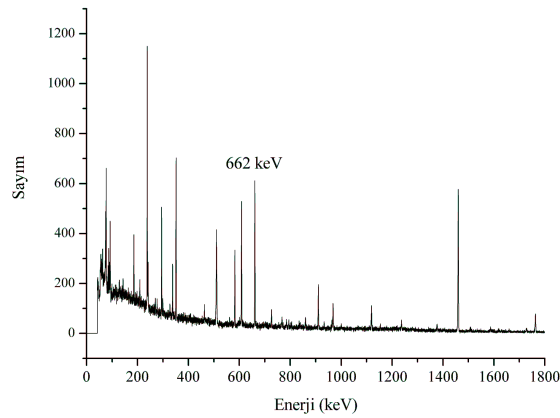
Şekil 6.12: 250.000 saniye sayım sonucu elde edilen fon sayım spektrumu

Tablo 6.4: Fon sayım spektrumunda gözlenen ana piklerin enerji değerleri ve kaynakları

ENERJİ (keV)	KAYNAK
238,6	Pb-212(Th)
241,9	Pb-214(Ra)
295,2	Pb-214 (Ra)
351,9	Pb-214 (Ra)
511	Kozmik
583,1	Tl-208 (Th)
609,3	Bi-214 (Ra)
661,7	Cs-137
1120,3	Bi-214 (Ra)
1460,8	K-40
1764,5	Bi-214 (Ra)

#### 6.4.4 b14 spektrumu;

b14 numunesinin spektrumu Şekil 6. 12’de verilmiştir. Burada incelenen  $^{137}\text{Cs}$  piki yaklaşık 662 keV’de görülmektedir.



Şekil 6.13: b14 (Umuttepe-toprak) spektrumu

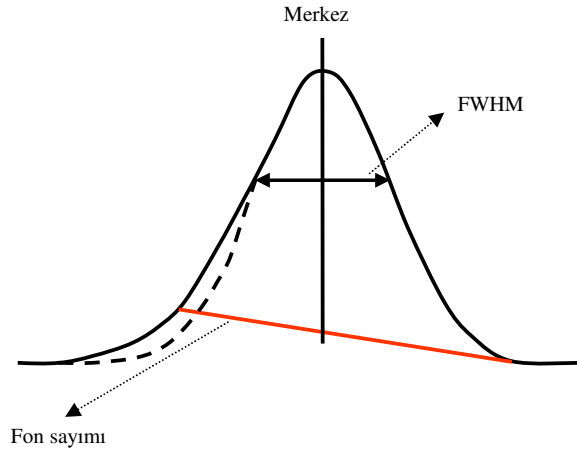
#### 6.4.5 Alan hesabı

Gama spektroskopisinde, aktiviteyi hesaplayabilmek için ilgili pikin altındaki net alanının hesaplanması gerekir.

Her bir numune için elde edilen spektrumlardan  $^{137}\text{Cs}$  pikinin altında kalan net alan aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi fon sayım düzeltmeleri yapılarak hesaplandı:

$$C_N = C_{N+BG} - C_{BG} \quad (6.3)$$

burada  $C_N$ ,  $C_{N+BG}$  ve  $C_{BG}$  parametreleri sırasıyla ilgili pikin altındaki net sayımı, pikin altındaki sayımı ve fon sayımını göstermektedir (Şekil 6.14).



Şekil 6.14: Spektrumda alan hesaplama yöntemi

#### 6.4.6 Cs-137 için aktivite hesabı

$^{137}\text{Cs}$  için aktivite hesabı denklem (6.6) ile yapılır:

$$A(\text{Bq/kg}) = \frac{C'_{N_i}}{r_{B_i} \cdot m \cdot L_i \cdot \epsilon_E} \quad (6.6)$$

Burada;

A=Aktivite(Bq/kg)

$C_{Ni}$ =Net sayım

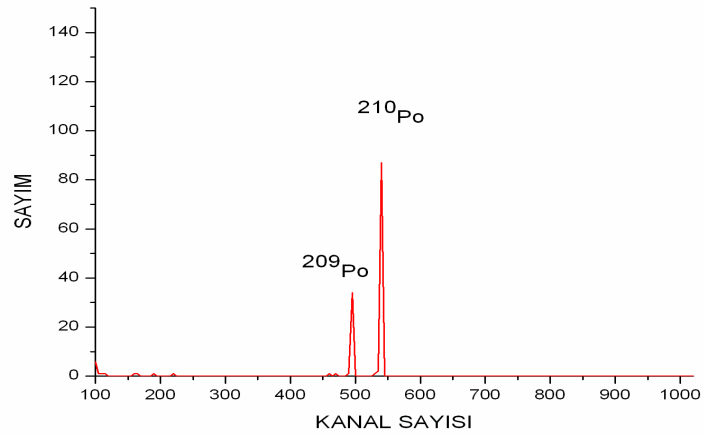
$r_{Bi}$ =Dallanma oranı

m = Numunenin kuru kütlesi (kg)

$\epsilon_E$  =Verim

#### 6.4.7 Po-210 için aktivite hesabı

Her bir numune için elde edilen spektrumlardan  $^{210}\text{Po}$ 'un numunedeki aktivitesi (6.7) denklemi kullanılarak hesaplandı.



Şekil 6.15:  $^{210}\text{Po}$  alfa spektrum örneği

$$A = \frac{(C_{210} - C_{BG}) \times A(^{209}\text{Po})}{(C_{209} - C_{BG}) \times m} \quad (6.7)$$

Burada;

A = aktivite(Bq/kg)

$C_{BG}$  = pik altındaki fon sayımı

m = numunenin kütlesi (kg)

A ( $^{209}\text{Po}$ ) = izleyici aktivitesi (Bq)



$C_{209} = {}^{209}\text{Po}$  alanı

$C_{210} = {}^{210}\text{Po}$  alanı

#### 6.4.8 Transfer faktörü hesabı (TF)

Transfer faktörü (TF), topraktaki aktivitenin bitkideki aktiviteye oranıdır. Dolayısıyla ile, TF aktivitenin topraktan bitkiye geçişini gösterir.

$$\text{TF} = \frac{A_B \text{ (Bq / kg)}}{A_T \text{ (Bq / kg)}} \quad (6.8)$$

Burada,  $A_B$ , kg başına bitkideki aktivite,  $A_T$  ise kg başına topraktaki aktivitedir.

#### 6.5 Deney Sonuçları

Toplanan numunelerin, alfa ve gama olmak üzere iki farklı sayım sistemlerinde analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablolar halinde aşağıda verilmiştir.

##### 6.5.1 Cs-137 için;

Gama sayım sisteminde, toplam 16 numunenin sayım sonuçları Tablo 6.5'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, ilgili piklerin altındaki alanlar kullanılarak numunelerin aktiviteleri ve hataları hesaplandı. Daha sonra ise aktiviteler oranlanarak transfer faktörü ve hata hesabı yapıldı.

Tablo 6.5: Gama sayım sonuçları

NUMUNE ALINMA YERİ	NUMUNE CİNSİ	NUMUNE KODU	FOTOPİK ALANI	SAYIM SÜRESİ (s)	AKTİVİTE (Bq/kg)	HATA
KARTEPE	TOPRAK	b04	459	80000	1,41	0,17
EŞME	TOPRAK	b05	3022	80000	10,07	0,30
HEREKE (YUKARI)	KARAYOSUNU	b06	126	85000	3,18	1,43
KARTEPE	KARAYOSUNU	b07	8590	80000	209,6	4,4
KARTEPE	LİKEN	b08	502	250000	3,99	0,46
BAHÇECİK	LİKEN	b09	3664	85000	3,31	1,06
BAHÇECİK	TORRAK	b10	4221	160000	27,56	1,42
BAHÇECİK	KARAYOSUNU	b11	823	160000	<mda	-
HEREKE (YUKARI)	TOPRAK	b12	2616	80000	12,23	0,43
DERİNCE (ÇENEDAĞI)	TOPRAK	b13	1475	160000	17,3	0,30
UMUTTEPE	TOPRAK	b14	4689	88000	21,61	1,68
UMUTTEPE	KARAYOSUNU	b15	4544	150000	21,30	0,74
KARAMÜRSEL	TOPRAK	b16	897	88000	1,71	0,16

\* mda :minimum dedekte edilebilir aktivite

### 6.5.2 Po-210 için:

Alfa sayım sisteminde, toplam 3 numune için hesaplamalar yapılabildiği görülmüştür. Sayım sonuçları Tablo 6.5’de görülmektedir.

Tablo 6.5: Alfa sayım sonuçları

NUMUNE ALINMA YERİ	NUMUNE CİNSİ	LAB. KODU	FOTOPİK ALANI	SAYIM SÜRESİ (sn)	AKTİVİTE (Bq/kg)
KARTEPE	TOPRAK	b04	13±%27,74	13552	7±3
EŞME	TOPRAK	b05	295±%5,82	38084	68±6
HEREKE (YUKARI)	KARAYOSUNU	b06	719±%3,73	13564	271±16
KARTEPE	KARAYOSUNU	b08	654±%3,91	48102	103±6
KARTEPE	LİKEN	b09	164±%7,81	13544	91±8
BAHÇECİK	LİKEN	b10	383±%5,11	36601	93±7
BAHÇECİK	TORRAK	b11	1338±%2,73	13516	506±27
BAHÇECİK	KARAYOSUNU	b12	67±%12,22	13544	43±6
HEREKE (YUKARI)	TOPRAK	b13	80±%11,18	13550	51±7
DERİNCE (ÇENEDAĞI)	TOPRAK	b14	88±%10,66	13567	57±7
UMUTTEPE	TOPRAK	b16	56±%13,36	13561	36±5

### 6.5.3 Cs-137 Transfer faktörü

Hereke, Umuttepe, Kartepe, Bahçecik istasyonları için hesaplanan transfer faktörleri aşağıdaki verilmiştir (Hereke ve Umuttepe’de liken örnekleri toplanamamıştır):

$$TF(\text{toprak-karayosunu}) = 0,26 \pm 0,12 \quad , \quad \text{HEREKE} \quad (6.9)$$

$$TF(\text{toprak-likeni}) = 0,12 \pm 0,07 \quad , \quad \text{BAHÇECİK} \quad (6.10)$$

$$TF(\text{toprak-karayosunu}) = 148,3 \pm 26,7 \quad , \quad \text{KARTEPE} \quad (6.11)$$

$$TF(\text{toprak-likeni}) = 2,83 \pm 0,46 \quad , \quad \text{KARTEPE} \quad (6.12)$$

$$TF(\text{toprak-karayosunu}) = 9,86 \pm 7,68 \quad , \quad \text{UMUTTEPE} \quad (6.13)$$

Bahçecik numunesi için topraktan karayosununa transfer faktörü, karayosun aktivitesinin ölçülebilir minimum değerinin (mda) altında olmasından dolayı hesaplanamamıştır.

#### **6.5.4 Po-210 Transfer faktörü**

Hereke, Umuttepe, Kartepe, Bahçecik istasyonları için hesaplanan transfer faktörleri aşağıdaki verilmiştir (Hereke ve Umuttepe’de liken örnekleri toplanamamıştır):

$$TF(\text{toprak-karayosunu}) = 5,31 \pm 1 \quad , \quad \text{HEREKE} \quad (6.14)$$

$$TF(\text{toprak-likeni}) = 0,18 \pm 1 \quad , \quad \text{BAHÇECİK} \quad (6.15)$$

$$TF(\text{toprak-karayosunu}) = 14,71 \pm 2 \quad , \quad \text{KARTEPE} \quad (6.16)$$

$$TF(\text{toprak-likeni}) = 11,40 \pm 3 \quad , \quad \text{KARTEPE} \quad (6.17)$$

Umuttepe’ den alınan liken numunesinin içinde çok fazla toprak olduğundan <sup>210</sup>Po analizi yapılamamıştır.

## BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE YORUM

Bu çalışmada, İzmit Körfezi çevresinde 7 istasyondan toplanan 16 farklı numune incelenmiştir. Ayrıca araştırmalar, numune toplama aylarında yapılmıştır. Eğer numune toplama işlemi 4 mevsim üzerinden yapılırsa, incelenen parametrelerin tespitinden daha ayrıntılı sonuçların alınacağından hiç şüphe yoktur. İlerideki çalışmalar bu yönde olacaktır.

Bu çalışmada Aralık 2006 ile Mart 2007 tarihleri arasında İzmit Körfezi'nde 7 istasyondan toplanan 16 farklı numune incelenmiştir. Yüzey toprak numunelerinde (0–20 cm)  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarının (kuru toprak kütlesi) en büyük değeri  $27,6 \pm 1,4$  Bq/kg (Bahçecik) iken en düşük değeri  $1,41 \pm 0,17$  Bq/kg (Kartepe) bulunmuştur. Topraktan karayosununa transfer faktörü  $0,26 \pm 0,12$  ile  $148,3 \pm 26,7$  arasında iken topraktan liken transfer faktörü  $0,12 \pm 0,07$  ve  $2,83 \pm 0,46$  değerleri bulunmuştur.

Toprak örneklerindeki  $^{210}\text{Po}$  aktivitesi bulguları bize, en yüksek konsantrasyonun Bahçecik istasyonunda olduğunu  $506 \pm 27$  Bq/Kg değeriyle ortaya koymuştur. Buna karşılık, en az  $^{210}\text{Po}$  kontaminasyonu ise Kartepe' de  $7 \pm 3$  Bq/Kg değeriyle saptanmıştır. Toprak örneklerindeki  $^{210}\text{Po}$  aktivitesi, mevcut istasyonlarımıza göre; Bahçecik < Eşme < Umuttepe ...< Kartepe düzeni şeklinde bir azalma göstermiştir. Bu durumun anlamlı nedenlerinden biri, istasyonlarımızda tarımsal faaliyetler amacı için kullanılan fosfat içerikli yapay gübrelerin kullanım oranlarıdır.

Bu yukardaki bulgumuzu, karayosunu örneklerinde elde ettiğimiz Po-210 değerleri de doğrulamaktadır. Bahçecik toprak örneğindeki değer Yukarı Hereke örneğindeki değerden yaklaşık iki kere daha fazladır. Aynı istasyonların karayosunu örneklerindeki  $^{210}\text{Po}$  düzeyleri arasındaki fark da benzer olarak bulunmuştur. Bilindiği gibi, karayosunu örneklerindeki radyoaktivite konsantrasyonu yakın çevre ile sıkı ilişkidir. Buna karşılık, likenler çok daha uzak mesafelerin

etkilerine göre radyoaktivite biriktirmektedirler. Bunun da en güzel örneği, Kartepe ve Bahçecik liken örneklerinde görölmektedir. Bu bulgular bize, radyoaktivite ölçümleri için yapılan yöresel çalışmalarda toprak örnekleri kadar, karayosunu örneklerinin de çok anlamlı bir indikatör organizma olduğunu göstermiştir.

Daha önce İzmit Körfezi için böyle bir çalışma yapılmadığından, ortamdaki radyasyon miktarında artma ya da azalma hakkında bilgi vermek söz konusu değildir.

Bu çalışmalar ile günümüzdeki değerler bulunmuştur ve bu veriler ileride olası bir kontaminasyon olayında tedbirlerin alınmasında yardımcı olacaktır. Ayrıca olası bir radyoaktif kontaminasyonun belirlenmesi için rutin takiplerin düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Bir sonraki proje, bu çalışmanın devamı olarak bölgemizde topraktan çeşitli bitkilere özellikle sezyum, stronsyum ve polonyum radyonuklidlerinin transferlerinin daha detaylı çalışılmasına ve bölge radyasyon haritasının çıkarılmasına yönelik olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Country, P., J., and Thorne, M., C., “Radionuclide distribution and transport in terrestrial and aquatic ecosystems”, Vol.61, *A critical review of data*, A. A. Balkema – Verlag, Rotterdam, The Netherlands, (1983).
- [2] Frissel, M., J., Deb, D., L., Fathon, M., Lin, Y., M., Mollah, A., S., Ngo, N., T., Othman, I., Robinson, W., L., Skarlou-Alexiou, V., Topcuoğlu, S., Twining, J., R., Uchida, S., Wasserman, M., A., *J. Environmental Radioactivity*, (2000).
- [3] Sloof, J., E., “Biomonitoring trace-element air pollution”, PhD Thesis, *Delft University of Technology Interfaculty Reactor Institute*, The Netherlands, 1-14 (1993).
- [4] Nisbet, A., F. and Woodman, E., F., M., *Health Physics*, 78, 279-288, (2000).
- [5] Zhu, Y., G., Smolders, E., Nisbet, A., F., “Plant uptake of radiocesium: a review of mechanisms regulation and application”, *J. Exp. Bot.*, 51, 1635-1645, (2000).
- [6] Cox, G., M., Crout, M., J., A., “Methodology for the selection and optimisation of countermeasure strategies”, *J. Environmental Radioactivity* (2003).
- [7] Topcuoğlu, S., Zeybek, U., Küçükcezzar, R., Güngör, R., Bayülgen, N., Cevher, E., Güvener, B., John, V., Güven, K., C., “The influence of Chernobyl on the radiocesium contamination in lichens in Turkey”, *Toxicol Environ. Chem.*, 35, 161-165, (1992).
- [8] Topcuoğlu, S., Güven, K., C., Bulut, A., M., Saurer, E., “Chernobyl-derived radiocesium in mosses in the Black Sea area”, *J. Radioanal Nucl. Chem.*, 175, 9-15, (1993).
- [9] Topcuoğlu, S., Van Dauen, A., M., Güngör, N., “Cesium 137 concentration and ecological half-life in the epiphytic lichen species from southern Greece”, *J. Environ Rad* 29, 157-162, (1995).
- [10] Alpher, P., A., Herman, R., C. 2,1, “Origin and Abundance Distribution of Elements”, *Am. Rev. Nuclear Sci.*, (1953).
- [12] Rankama, K., *Isotope Geology*, New York, (1954).

- [11] Lowder, W., M. and Sobon, L., R., “Background Radiation”, *Rep.NO:-4712. USAEC, D.C. Washington*, (1956).
- [12] *NCRP*, “National Council on Radiation Protection and Measurement”, *Soil Radioactivity, Report 45., Natural Background Radiation in the U.S.*, 45, 54, (1975).
- [13] Hacıyakupoğlu, S., “Various aspects of using Cs-137 investigations and their potential application in Turkey”, *Final Report for Grant to Support Long Term Research Activities of Istanbul Technical University for the training in Exeter University (UK)*, İstanbul, (2002).
- [14] Krane, K., S., *Nükleer Fizik 1.Cilt*, 190, 230, (2001).
- [15] Knoll, G., F., “Radiation Detection and Measurement”, *2nd ed. John Wiley and Sons, inc., Canada*, (1989).
- [16] I.A.E.A, *Technical Reports Series No.295* (s29)
- [17] I.A.E.A, *Technical Reports Series No.295* (s.30)
- [18] T.A.E.K,1.[http://www.taek.gov.tr/bilgi/kaza\\_tehlike\\_durumu/ines/ines.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/kaza_tehlike_durumu/ines/ines.html) (Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2007)
- [19] T.A.E.K,2.[http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi\\_maddeler/hazirlik.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/hazirlik.html) (Ziyaret tarihi: 10 Şubat: 2007)
- [20] T.A.E.K,3.[http://www.taek.gov.tr/bilgi/nukleer\\_guvenlik/cernobil/cernobil.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/nukleer_guvenlik/cernobil/cernobil.html) (Ziyaret tarihi: 22 Mart 2007)
- [21] T.A.E.K,4. [http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi\\_maddeler/radbiryasam.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radbiryasam.html) (Ziyaret tarihi: 2007)
- [22] T.A.E.K,5. [http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi\\_maddeler/dogalrad.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html) (Ziyaret tarihi: 17 Nisan 2007)
- [23] T.A.E.K,6. <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf5.html> (Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2007)
- [24] Çukurova Üniversitesi [http://www.cukurova.edu.tr/Gamaşınırları/gamaspektroskopisistemi/gama\\_spektrometre\\_sistemi.htm](http://www.cukurova.edu.tr/Gamaşınırları/gamaspektroskopisistemi/gama_spektrometre_sistemi.htm) (Ziyaret tarihi: 7 Mayıs Şubat 2007)



## **ÖZGEÇMİŞ**

1980 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2000 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nden 2004 yılında Fizikçi ünvanı ile mezun oldu. 2005-2006 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Öğretmenliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2004-2007 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2007 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı’nda Radyoterapi Fizikçisi olarak görev yapmaktadır.