

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnci İSİNLİK

**YUMURTALIK SUGÖZÜ TERMİK SANTRALI VE
AFŞİN ELBİSTAN CİVARINDAKİ TOPRAK VE KÜL
NUMUNELERİNDEKİ RADYONÜKLİDLERİN
ARAŞTIRILMASI**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2012

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YUMURTALIK SUGÖZÜ VE AFŞİN ELBİSTAN TERMİK SANTRALİ
CİVARINDAKİ TOPRAK VE KÜL NUMUNELERİNDEKİ
RADYONÜKLİDLERİN ARAŞTIRILMASI**

İnci ISINLIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu Tez .../.../2012 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Yüksel UFUKTEPE Yrd. Doç. Dr. M.Zeki KURT Yrd. Doç. Dr. F.Aysun UĞUR
DANIŞMAN ÜYE ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Selahattin SERİN
Enstitü Müdürü**

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: FEF2011YL29

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUMURTALIK SUGÖZÜ VE AFŞİN ELBİSTAN TERMİK SANTRALİ CİVARINDAKİ TOPRAK VE KÜL NUMUNELERİNDEKİ RADYONÜKLİDLERİN ARAŞTIRILMASI

İnci İSİNLİK

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Yüksel UFUKTEPE
Yıl: 2012, Sayfa: 109
Jüri : Prof. Dr. Yüksel UFUKTEPE
: Yrd. Doç. Dr. M.Zeki KURT
: Yrd. Doç. Dr. F.Aysun UĞUR

Bu çalışmada, Su gözü termik santrali ve Afşin-Elbistan termik santrali civarındaki toprak, uçucu kül, dip külü, curuf ve kömür örneklerinin radyolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, termik santral kapıları referans olarak kabul edilerek 0-5000 metre arası uzaklıklarından toplanan toprak numunelerindeki doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları HPGe gama spektrometre sistemi ile ölçülmüştür. Afşin-Elbistan ve Su gözü termik santrali civarındaki toprak numuneleri için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları ölçülmüş ve Afşin-Elbistan termik santrali için ^{226}Ra değeri UNSCEAR (United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation) raporuna göre limit değerinin çok üzerinde olduğu bulunmuş, Su gözü termik santrali civarından alınan toprak örnekleri için ise limit değerini aşmadığı gözlenmiştir. Afşin-Elbistan termik santrali civarında uçucu kül, dip külü, curuf ve kömür örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K aktivite değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, radyum eş değer aktivite (Ra_{eq}), aktivite derişim indisi (I_γ), alfa indisi (I_α), gama doz hızı (D_R) ve etkin doz hızı (H_R) değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radyoaktivite, Toprak, Kül, Kömür, Gama spektrometresi.

ABSTRACT

Msc THESIS

INVESTIGATION OF RADIONUCLIDES IN SOIL, ASH AND COAL SAMPLES COLLECTED AROUND YUMURTALIK SUGÖZÜ AND AFŞİN ELBİSTAN POWER PLANT

İnci ISINLIK

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS**

Supervisor : Prof. Dr. Yüksel UFUKTEPE

Year: 2012, Pages: 109

Jury : Prof. Dr. Yüksel UFUKTEPE

: Asst. Prof. Dr. M.Zeki KURT

: Asst. Prof. Dr. F.Aysun UĞUR

In this study, the radiological characterization of soil, fly ash, bottom ash, slag and coal samples around Afşin-Elbistan thermal power plant and only soil samples near Su gözü thermal power plant were investigated. Natural radionuclide activity concentrations in soil samples which are collected between 0 and 5000 meters from the gates of thermal power plants. All the samples were measured by HPGe gamma spectrometry system. The average activity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K in soil samples around Afşin-Elbistan and Su gözü power plants were found to be much higher than limit value of UNSCEAR(United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation) report for ^{226}Ra , on the other hand for soil samples of Su gözü power plants does not exceed the limit value. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K activity values were determined for fly ash, bottom ash, slag and coal samples of Afşin-Elbistan power plants. In addition, the values of the radium equivalent activity (R_{eq}), activity concentration of the index (I_{γ}), alpha index (I_{α}), gamma dose rate (D_{R}) and the effective dose rate (H_{R}) were calculated.

Keywords: Radioactivity, Soil, Ash, Coal, Gama spectrometry

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamda her türlü ilgi ve desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yüksel UFUKTEPE' ye teşekkür ederim.

Ayrıca, tez döneminde bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Aysun UĞUR 'a çalışma arkadaşlarım Ferhat GEZER ve Elif GÖREN' e, yine deney aşamamda yardımcı olan Maden Mühendisi kardeşim Serkan ISINLIK 'a ve fizik bölümü Doktora öğrencisi Tunç CENGİZ' e ayrıca her türlü desteği veren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER.	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Çeşitleri ve Etkileri.....	3
1.1.1. Enerji çeşitleri	3
1.2. Elektrik Santral Çeşitleri	4
1.2.1. Hidroelektrik Santraller	6
1.2.2. Güneş(Enerjisi) Santrali.....	6
1.2.3. Gaz Türbini (Doğal Gaz Santrali).....	6
1.2.4. Kombine Çevrim Santrali	6
1.2.5. Jeotermal Santraller (Yer Altı Buharı)	7
1.2.6. Rüzgar (Enerjisi) Santrali	7
1.2.7. Nükleer Enerji Santrali	7
1.2.8. Termik Santraller	7
1.2.8.1.Termik Santral Nedir? Nasıl Çalışır?	7
1.2.8.1.(1) Kömür Yakıtlı Termik Santraller	8
1.3. Kömür.....	11
1.3.1. Kömürün Genel Özellikleri	12
1.3.1.1. Kömürün Fiziksel Özellikleri	12
1.3.1.2. Kömürün Kimyasal Özellikleri.....	12
1.3.1.3. Kömürün Petrografik Özellikleri	13
1.3.2. Kömür Çeşitleri	13
1.3.2.1. Linyit.....	13
1.3.2.2. Taşkömürü	14

1.3.2.3. Antrasit.....	14
1.3.2.4 Turba	14
1.4. Uçucu Kül.....	15
1.4.1. Uçucu Külün Genel Özellikleri	16
1.4.1.1. Morfoloji.....	16
1.4.1.2. Mineroloji	17
1.4.1.3. Tane İrilik Dağılımı	17
1.4.1.4. Yoğunluk.....	18
1.4.1.5. Özgül Yüzey Alanı	18
1.4.1.6. Kimyasal Bileşim.....	18
1.4.2. Uçucu Külün Kullanım Alanları.....	18
1.5. Termik Santrallerin Çevreye Etkileri	19
1.5.1. Hava Kirliliği	20
1.5.1.1. Hava Kirliliğine Neden Olan Kirleticiler.....	20
1.5.2. Su Kirliliği	20
1.5.3. Toprak Kirliliği	21
1.6. Radyoaktivite.....	23
1.6.1. Radyoaktif Bozunma Kanunu.....	23
1.6.2. Radyoaktif Yaş Tayini.....	25
1.6.3. Yarı Ömür	25
1.6.4. Doğal Radyoaktiflik.....	26
1.6.4.1. Alfa Bozunması	27
1.6.4.2 .Beta Bozunması	28
1.6.4.2.(1). β^- Bozunumu	29
1.6.4.2.(2).. β^+ bozunumu	29
1.6.4.3. Gama Bozunumu	29
1.6.5. Radyasyon Birimleri.....	30
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	33
3. MATERYAL VE METOD	41
3.1.Radyasyon Dedeksiyon ve Ölçüm Yöntemleri	41
3.1.1. İyonizasyon Dedektörleri.....	41

3.1.1.1. İyonizasyon İşlemler.....	41
3.1.1.2 İyon Odaları ile Radyasyon Doz Ölçümleri.....	41
3.1.1.3. İyon Odalarının Tasarımları.....	41
3.1.2. Orantılı Sayaçlar	42
3.1.2.1 Gaz Çoğalması.....	42
3.1.3. Geiger –Müeller Dedektörleri.....	42
3.1.3.1. Geiger Boşalımı	43
3.1.3.2. Ölü Zaman	43
3.1.4. Sintilasyon Dedektörleri	43
3.1.5. Yarı İletken Radyasyon Dedektörleri	43
3.2. Gama Spektrometre Sistemi.....	44
3.2.1. Yüksek Saflıkta Germanyum Yarı İletken Dedektörleri	46
3.2.2. Ön Yükselteç	46
3.2.3. Yükselteç	47
3.2.4. Çok Kanallı Analizör.....	48
3.2.5. Analog Sayısal Dönüştürücü	49
3.2.6. ADC Ayırma Gücü.....	50
3.2.7. ADC Dönüşüm Kazancı	50
3.3. Aktivite Ölçümü	51
3.3.1. Doğrudan Aktivite Ölçüm Yöntemi	52
3.3.2. Standartla Karşılaştırma Yöntemi.....	52
3.3.3. Pik Alanı Hesabı	56
3.3.4. HPGe Dedektörünün Enerji Kalibrasyonu	58
3.3.5. HPGe Dedektörünün Mutlak Verim Kalibrasyonu	58
3.4. Numune Alınan Termik Santraller	60
3.4.1. İsken Su gözü Termik Santrali	60
3.4.2. Afşin Elbistan-A Termik Santrali.....	61
3.5. Örneklerin Hazırlanması	62
3.6. Ölçme İşlemi	63
4.BULGULAR ve TARTIŞMALAR	67
4.1. Ölçülebilir En Düşük Aktivite Değerinin Hesaplanması	67

4.2. Radium Eşdeğer Aktivite	71
4.3. Harici ve Dahili Aktivite İndisleri.....	71
4.4. Soğurulmuş Gama Doz Hızı ve Yapı İçi Etkin Doz Hızı.....	76
4.5. Numunelerin X-Işını Floresans Spektrometresi ile Elementsel Analizi	77
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	89
5.1. Verilerin Değerlendirilmesi.....	89
5.1.2. Gama Spektrometresi İle Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	89
5.1.2.1. Çevresel faydaları	89
5.1.2.2. Geri Dönüşüm Sayesinde Uçucu Külün Geri Kazanımının Faydaları.....	92
5.1.3. X-Işını Floresans Spektrometresi ile Ölçümlerin Değerlendirilmesi	95
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	109

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge.1.1. Türkiye'nin mevcut linyit, taşkömürü, motorin ve doğalgaz yakıtlı termik santralleri	10
Çizelge.1.2. Türkiye'nin mevcut fuel-oil yakıtlı termik santralleri	11
Çizelge.1.3. SI Birim Sistemindeki Radyoaktivite Birimleri.....	31
Çizelge.3.1. HPGe dedektörlerinin özellikleri	44
Çizelge.3.2. IAEA/RGU-1 (Uranyum Standardı)	53
Çizelge.3.3. IAEA/RGTh-1 (Toryum Standardı)	54
Çizelge.3.4. IAEA/RGK-1 (Potasyum Standardı).....	54
Çizelge.3.5. Standartların Kütle ve Sayım Süreleri	54
Çizelge.3.6. Standart Kalibrasyon Kaynaklarının Özellikleri.....	58
Çizelge.3.7. Verim Kalibrasyonu Verileri	59
Çizelge.4.1. Kömüre ait aktivite derişim değerleri	67
Çizelge.4.2. Kül ve curuf aktivite derişim değerleri	68
Çizelge.4.3. AET Toprak aktivite derişimi	68
Çizelge.4.4. SG Toprak aktivite derişimi.....	70
Çizelge.4.5. Doz ölçütünün kontrolüne yönelik aktivite derişim değerleri	72
Çizelge.4.6. AEL toprak için doz hızı değerleri.....	73
Çizelge.4.7. SG toprak için I_γ , I_α doz hızı değerleri	75
Çizelge.4.8. AEL kül ve cüruf için I_γ , I_α doz hızı değerleri	75
Çizelge.4.9. AEL kömür I_γ , I_α doz hızı değerleri	76
Çizelge.4.10. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür ve curuf örneklerinin analizi...78	
Çizelge.4.11. SG ve AEL santrallerinden alınan toprak örneklerinin analizi	81
Çizelge.4.12. Uçucu kül, dip külü nemsiz kömür ve curuf örneklerinin analizi...83	
Çizelge.4.13. Toprak örneklerinin XRF analizi	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil.1.1. Türkiye'nin mevcut termik santrallerinde kullanılan yakıtların dağılımı	8
Şekil.1.2. Türkiye'deki mevcut kömür yakıtlı termik santraller	9
Şekil.1.3. Kül dağı.....	22
Şekil.1.4. Radyoaktif Bir Numune Miktarının Zamanla Değişimi	24
Şekil.3.1. Yüksek Saflıktaki Germanyum Dedektörlü Gama Spektrometresi	45
Şekil.3.2. Yüke Hassas Ön yükseltecin Şematik Görünümü	46
Şekil.3.3. Çok Kanallı Analizörde Kanal Numarası ve Puls Yüksekliği Arasındaki İlişki	48
Şekil.3.4. Analog Sayısal Dönüştürücünün Şematik Görünümü	49
Şekil.3.5. Pik Alanı Hesabı	55
Şekil.3.6. % 50 Bağıl Verimli HPGe Dedektörün Mutlak Verim Eğrisi	59
Şekil.3.7. İsken Sugözü Termik Santrali.....	60
Şekil.3.8. Afşin Elbistan-A Termik Santrali	62
Şekil.3.9. Kalibrasyon ve ölçümler için Kullanılan Plastik örnek Kabı	63
Şekil.3.10. Deneyleerde kullanılan gama spektroskopisi	65
Şekil.3.11. Ölçümler sonucunda elde edilen örnek pikler	65
Şekil.3.12. Deneyleerde kullanılan gama spektrometresi sistemi.....	66
Şekil.4.1. Uçucu kül XRF analizi	79
Şekil.4.2. dip kül XRF analizi.....	79
Şekil.4.3. nemsiz kömür XRF analizi	80
Şekil.4.4. curuf XRF analizi.....	80
Şekil.4.5. AEL ve SG toprak analizi	82
Şekil.4.6. uçucu kül AEL XRF analizi.....	84
Şekil.4.7. dip külü AEL XRF analizi	84
Şekil.4.8. nemsiz kömür AEL XRF analizi	85
Şekil.4.9. curuf AEL XRF analizi.....	85
Şekil.4.10. Toprak 100m AEL XRF analizi.....	87
Şekil.4.11. Toprak 5000m AEL XRF analizi.....	87

Şekil.4.12. Toprak SG 100m XRF analizi	88
Şekil.4.13. Toprak SG 5000m XRF analizi	88
Şekil.5.1. AEL toprak I_{γ} , I_{α} ve doz hızları.....	90
Şekil.5.2. Uçucu kül I_{γ} , I_{α} ve doz hızları	91
Şekil.5.3. SG toprak I_{γ} , I_{α} ve doz hızları	91
Şekil.5.4. Toprak ve uçucu kül numunelerindeki Ra değerinin ortalama ile kıyaslanması.....	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Aktivite
A_s	: Standardın aktivitesi
A_x	: Örneğin aktivitesi
B	: Doğal fon
Bq	: Becquerel
C	: İntegral sabiti
C_K	: K derişimi (Özgül aktivite)
C_{Th}	: Th derişimi (Özgül aktivite)
C_U	: U derişimi (Özgül aktivite)
D	: Radyasyon dozu
Dt	: Küçük zaman aralığı
E	: Elektrik alan
E_i	: İlk enerji
E_f	: Son enerji
E_γ	: Gama enerjisi
f_γ	: Gama yayınlanma olasılığı
G	: İlgilenilen bölgedeki pikin toplam alanı, sayım sayısı
h	: Planck sabiti, saat
K	: Potasyum
keV	: Kiloelektronvolt
m_s	: Standardın kütlesi
m_x	: Örneğin kütlesi
N	: Radyoaktif çekirdek sayısı, ilgilenilen pikin sağında ve solundaki kanal sayısı
n	: E enerjili fotopikin altındaki net alan, seçilen uç kanal sayısı
nGy	: Nanogrey
N_0	: Başlangıçtaki çekirdek sayısı, kaynağın aktivitesi
N_p	: Pik alanı
P	: Bozunma olasılığı

$P_{\gamma}(E)$: E enerjili gama fotopikinin yayınlanma olasılığı,
S	: Net pik alanı
t	: Zaman, sayım zamanı
$t_{1/2}$: Yarı ömür
t_d	: Bozunum süresi
t_s	: Standardın sayım süresi
t_x	: Örneğin sayım süresi
Th	: Toryum
X	: X-ışını
Z	: Atom numarası
α	: Alfa
β	: Beta
ΔE	: Enerji Farkı
μCi	: Mikrocurie
μSv	: Mikrosievert
τ	: Ortalama ömür
U	: Uranyum
ν	: Frekans
ADC	: Analog sayısal dönüştürücü
EPA	: Amerikan Çevre Örgütü
HPGe	: Yüksek saflıkta germanyum dedektörü
IAEA/RGK-1	: UAEA Potasyum standardı
IAEA/RGTh-1	: UAEA Toryum standardı
IAEA/RGU-1	: UAEA Uranyum standardı
MCA	: Çok kanallı Analizör
MDA	: Minimum dedeksiyon aktivitesi
NaI(Tl)	: Talyum aktive edilmiş sodyum iyodür dedektör
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
XRF	: X-Işını flüoresans
AEL	: Afşin-Elbistan Termik Santrali

SG : Sugözü Yumurtalık Termik Santrali
NIST : National Institute of Standards and Technology

1. GİRİŞ

Enerji tüketimi, ekonomik ve sosyal kalkınmanın en önemli göstergelerinden biridir. Nüfus artışı, sanayileşme, teknolojinin yaygınlaşması ve refah seviyesinin yükselmesi ile doğru orantılı olarak enerji tüketiminde artış kaçınılmazdır.

Dünyada kömür, petrol ve doğalgaz gibi birincil enerji kaynakları, enerji üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Konvansiyonel enerji kaynakları olarak da bilinen bu kaynaklar, kullanıldıklarında atık çıkararak çevreye zarar vermektedir. 2001 yılında dünya enerji üretiminin %35,1'i petrolden, %22,6'sı kömürden, %21,7'si doğalgazdan olmak üzere toplam %79,4'ü fosil yakıtlardan, %13,7'si yenilenebilir enerji kaynaklarından ve %6,9'u nükleer kaynaklardan elde edilmiştir (Goldemberg ve Johanson,2004).

Türkiye'nin enerji üretiminde, var olan su potansiyelinin bir kısmı kullanılmaktadır. Buna karşılık, hidroelektrik santrallerden elde edilen enerji, toplam enerji tüketiminin 1/3'ini oluşturmaktadır. Tüketilen elektriğin yaklaşık 2/3'si ise termik santrallerden karşılanmaktadır. Dünya genelinin aksine Türkiye'de elektrik üretiminde birincil enerji kaynağı olarak petrol değil kömür en büyük paya sahiptir. Kömür ve petrol dışında termik santrallerinin bazılarında doğalgaz, nafta, sıvılaştırılmış gaz (LPG) gibi enerji kaynakları da kullanılabilir (Avcı, 2005).

Elektrik üretiminde hangi kaynağın kullanıldığı, yatırımların planlanması ve üretimin gerçekleştirilebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu açıdan fosil kaynaklar ile yeni ve yenilenebilir kaynakların varlığı ve kullanılabilirliği ülkelerin enerji politikalarına da yön vermektedir. Türkiye'de termik santrallerin çevresel etkilerinin ortaya konulması çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Termik santrallerin yarattığı olumsuzlukların çevresel ve insan sağlığına etkileri, değerlendirilmiştir. Gelişen Türkiye'nin enerji ihtiyacının ve enerji devamlılığının sağlanmasında ulusal kaynak olan linyit yakıtlı termik santraller, enerji politikaları arasında her zaman önemini korumuştur. Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketine (TEÜAŞ) bağlı toplam 15 kömür yakıtlı termik santral bulunmaktadır. Bu termik santrallerden Çatalağzı ve Sugözü taşkömürü yakıtlı iken, Çan, Orhaneli, Seyitömer, Tunçbilek,

Çayırhan, Kangal, Soma, A-B, Afşin-Elbistan A-B, Yatağan, Yeniköy, Kemerköy termik santralleri linyit yakıtlıdır.

Sanayileşmek ve gelişmek isteyen Türkiye'nin enerji gereksinimi ve buna paralel olarak toplam enerji gereksinimi içerisinde kömüre dayalı termik santrallerin payı inkâr edilemez. Ancak termik santrallerde kömürün yanması sonucu, küresel ısınmaya ve asit yağmurlarına neden olan karbon oksitler (CO ve CO₂) ve sülfür oksitler (SO ve SO₂) (genel olarak NO_x olarak tanımlanan NO ve NO₂) gibi gazların yanında, katı kirleticiler (uçucu kül) de açığa çıkmaktadır. Bu uçucu küller, gerek taşınması gerekse depolama sırasında önemli sorunlar oluşturur fakat oluşturduğu sorunların yanında uçucu küller, geri dönüşüm ile yapı malzemelerine katılarak beton, gaz beton ve tuğla gibi malzemelerin üretiminde ayrıca yol yapımı için, alt yapı ve taban malzemesi, dolgu stabilizasyonunda ve alt drenaj tabakası olarak kullanılabilir.

Bütün dünyada bir yılda üretilen toplam uçucu külün ancak %25'den daha azı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte Almanya, Hollanda ve Belçika'da üretilen uçucu külün %95'den fazlası, İngiltere'de ise yaklaşık %50 'si kullanılmaktadır. Diğer taraftan büyük miktarlarda uçucu kül üretilen A.B.D ve Çin'de sırası ile yaklaşık %32 ve %40 oranında uçucu kül kullanıldığı görülmektedir. Türkiye'de uçucu kül kullanım oranı %1 den daha azdır. Dünyadaki uçucu kül üretimi yıllık yaklaşık 450 milyon tondur ancak bunun sadece % 6'sı çimento ve beton endüstrisinde kullanılmaktadır. Türkiye'deki uçucu kül üretimi ise yıllık yaklaşık 15 milyon tondur ancak endüstride kullanımı düşüktür.

Kömüre dayalı termik santraller, teknolojik olarak zenginleşmiş doğal radyoaktivitenin önemli kaynağı olarak işaret edildiğinden, termik santralleri besleyen kömürlerin ve oluşan küllerin radyolojik karakteristiklerinin incelenmesi oldukça önemlidir. Türkiye'de bugün halen bol miktarda endüstriyel bir atık madde olarak bulunduğu halde yeterli derecede faydalanılmayan hatta santrallerden atılması büyük bir problem olan ve bunun için de enerji harcanan uçucu küllerin değerlendirilmesi faydalı olacaktır. Bu çalışmada Sugözü ve Afşin-Elbistan termik santrallerinden çevreye yayılan uçucu kül ve bu santraller civarındaki toprak, uçucu

kül, kömür ve curuf örneklerinin gama ışın spektroskopisi yöntemi ile radyolojik tespiti amaçlanmıştır.

1.1. Enerji Çeşitleri ve Etkileri

Enerji: Yararlı iş yapabilme yeteneğine enerji denir.

1.1.1. Enerji çeşitleri:

- Mekanik enerji
- Isı enerjisi
- Işık enerjisi
- Kimyasal enerji
- Elektrik enerjisi

Mekanik Enerji: Faydalı iş yapabilen hareket enerjisidir. Hareket enerjisi (kinetik enerji) bir iş yaptığında mekanik enerji olarak ortaya çıkmaktadır. Elektrik santrallerinde türbine çarpan suyun mekanik enerjiye dönüştüğü gibi pense ile kablo keserken, tornavida ile vida sıkarken vb. durumlarda da mekanik enerji üretilmiş olmaktadır. Elde edilen mekanik enerji ile her hangi bir iş yapılabileceği gibi elektrik enerjisi de üretilebilmektedir.

Isı Enerjisi: Kömür, petrol, linyit, doğalgaz gibi yakıtların yakılmasıyla ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Elde edilen ısı enerjisi ilk önce türbinler yardımıyla mekanik enerjiye, daha sonra da jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir.

Kimyasal Enerji: Kimyasal tepkime sonucunda ortaya çıkan enerjiye kimyasal enerji adı vermekteyiz. Günlük hayatımızda sıkça kullandığımız pil ve aküler kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Pil ve akülerde elektrik enerjisinin depolanması kimyasal yöntemlerle yapılmaktadır. Kimyasal enerji; mekanik, ısı ve ışık enerjisine dönüştürülebilmektedir.

Nükleer Enerji: Uranyum, Plütonyum gibi ağır atomların bölünmesi veya helyum, hidrojen, lityum gibi hafif çekirdeklerin birleşmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Günümüzde birçok ülke, nükleer enerjiden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla faydalanmaktadır.

Elektrik Enerjisi: Cisimlerin atom yapısındaki serbest elektronların hareket etmesiyle oluşan kuvvete elektrik enerjisi adı verilmektedir. Elektrik enerjisi maddeye ait bir özelliktir.

Elektrik enerjisi diğer enerji çeşitlerinden elde edilebilir ve diğer enerji çeşitlerine kolayca dönüşebilir.

Elektrik enerjisinin etkileri:

- Isı etkisi
- Işık etkisi
- Manyetik etkisi
- Kimyasal etkisi
- Fizyolojik etkisi (canlı üzerinde)

1.2. Elektrik Santral Çeşitleri

Elektrik santralleri, başka enerji biçimlerini (termik, nükleer, hidrolik, jeotermal güneş, rüzgar, gel-git vb.) elektrik enerjisine dönüştürmek amacıyla bir araya getirilmiş donanımlardan oluşan işletmelerdir.

Çağımızda büyük ve güçlü sınai donanımların çoğu hidrolik ve termik (klasik ve nükleer) santrallerden meydana gelmektedir. Türü ne olursa olsun, her elektrik santrali temel olarak bir enerji kaynağı, hareketlendirici bir aygıt, alternatör ve bir dönüştürme istasyonundan meydana gelir. Ülkemizin enerji gereksiniminin önemli bir bölümünü karşılayan ve Türkiye Elektrik Üretim A.Ş (EÜAŞ) tarafından işletilen termik santraller fuel-oil taşkömürü, linyit, motorin, jeotermal ve doğal gaz türde enerji kaynağı kullanmakta olup sayıları 30'u aşmaktadır. Termik santraller içinde linyitli olanlar, diğerlerinden çok daha önemli ve güçlü olup, ülkemizin toplam elektrik üretimi içinde linyite dayalı termik santrallerin payı giderek artmaktadır.

Yerli enerji kaynaklarımız içinde günümüzde de önemini koruyan linyit yatakları, ülkemizin hemen her yerinde bulunmaktadır. En büyük linyit yatakları Afşin-Elbistan, Muğla, Soma, Tunçbilek, Seyitömer, Konya, Beypezarı, Adana, Tufanbeyli ve Sivas havzalarında bulunmakta olup, kurulu termik santraller de bu bölgelerde yer almaktadır. Ülkemizde 177 adet sahada görünür 7,3 milyar ton linyit rezervinin 3,4 milyarını 1100 kcal/kg civarında ısı değerine sahip olan Afşin-Elbistan linyitleri oluşturmaktadır. Linyit, konut sektöründe, termik santrallerde ve sanayi sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaliteli olanlar konut ve sanayi sektörlerinde, düşük ısı değerli olanlar ise termik santrallerde tüketilmektedir. Linyitlerin büyük kısmı düşük kaliteli olduğundan %77 'den fazlası termik santrallerde kullanılmaktadır. Ülkemizdeki enerjiye bağlı hava kirliliği, daha çok, bu düşük kalorili linyitlerin yakılması sonucu oluşan gazların atmosfere karışmasından kaynaklanmaktadır. Yanma gazları, karbondioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), uçucu organik bileşikler (VOC), kükürt dioksit (SO₂), metan (CH₄) vb. gazlar ile taneserel madde içermektedir. Yakılan kömür, bu kirliliklerin yanı sıra kül ve külün içerdiği kadmiyum, cıva, kurşun, arsenik vb. ağır metallerin çevreye yayılarak çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Linyitlerin düşük kaliteli olmaları nedeniyle termik santrallerin civarındaki hava kalitesine etkisinin azaltılması için oluşan kirleticilere karşı kontrol sistemlerinin uygulanması çok önemlidir. Ülkemizde elektrik üretiminin yaklaşık %60'ı termik santrallerden elde edildiğinden ve linyitlerimizin kükürt ve kül içeriklerinin de yüksek olması nedeniyle, büyük miktarda linyit kömürü kullanan termik santrallerin kirletici emisyonları da çok yüksek olmakta ve çevreye verdikleri zarar da buna orantılı olarak artmaktadır.

TEAŞ'ın verilerine göre ülkemizdeki linyit kullanan termik santrallerin teknik özellikleri ile kullanılan linyit özelliklerine göre, kurulu gücü 5700 MW'ı aşan bu santrallerde kullanılan linyitlerin ısı değerleri 1300-3900 kcal/kg; kül oranı %15.33-42.41; kükürt oranı ise %1.4-4.65 arasında değişmektedir. Bu değişimler, termik santrallerin buldukları yerlerin ve linyit yataklarının farklı oluşlarından kaynaklanmaktadır. Ülkemizdeki linyitli termik santrallerin hesaplanan partikül madde (toz), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), uçucu karbon bileşikleri (VOC) ve metan (CH₄) emisyonları ise sırasıyla, toz emisyonları

7,7 ton/sa, kükürt dioksit 213,8 ton/sa, azot oksitler 48,5 ton/sa, karbon monoksit 2,4 ton/sa, uçucu hidrokarbon bileşikleri 0,3 ton/sa ve metan emisyonları ise 0,12 ton/sa olarak hesaplanmıştır. Yönetmelikteki mevcut değerlerle karşılaştırdıkları zaman toz kontrolü açısından, mevcut sistemlerin birçoğunun yetersiz olduğu ve desülfürizasyon sistemlerinin gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır.

1.2.1. Hidroelektrik Santraller

Suyun yer çekimine bağlı potansiyel enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü elektrik santralidir. Yapımı ve çalışmasına göre:

Barajlı Santral: Türbinler için gerekli suyun baraj gölünden verilerek regüle edilebilen santral türüdür.

Akarsu Santrali: Regülasyon yapılan bir rezervuarı olmayan Hidroelektrik Santral türüdür.

1.2.2. Güneş (Enerjisi) Santrali

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren santral türüdür.

1.2.3. Gaz Türbini (Doğal Gaz Santrali)

Yüksek sıcaklık ve basınçtaki yanma gazlarının hareket sağladığı ve bu gazların yanmayı gerçekleştiren havayı sağlayan bir kompresörün de çalışmasına imkân verdiği türbin türüdür.

1.2.4. Kombine Çevrim Santrali

Jeneratör ve bir gaz türbini ile bu türbinin egzoz gazlarıyla çalışan (ek brülörü olan veya olmayan) bir kazanla ve bunun sağladığı buharla çalışarak elektrik enerjisi üreten santral türüdür.

1.2.5. Jeotermal Santraller (Yer Altı Buharı)

Jeotermal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren santral türüdür.

1.2.6. Rüzgar (Enerjisi) Santrali

Rüzgârın döndürme kuvvetinden yararlanılarak, hareket enerjisini elektrik enerjisine çeviren santral türüdür.

1.2.7. Nükleer (Enerji) Santrali

Nükleer yakıtlardan serbest kalan enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü santral türüdür.

1.2.8. Termik Santraller

Katı, sıvı ya da gaz halindeki fosil yakıtların kimyasal enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü elektrik santralidir.

1.2.8.1 Termik santral nedir? Nasıl çalışır?

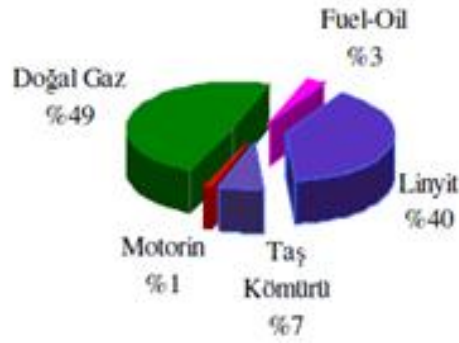
Termik santral bildiğimiz gibi kömür akaryakıtların (fuel-oil, mazot, gaz) yakılması yoluyla mekanik enerji elde edilen bir santraldir. Burada, kazan bölümünde dolaşan su çok sıcak buhar haline dönüşür ve bu buhar yüksek basınç altında (135 bar) ve yüksek sıcaklıkta (535 °C) türbinin yüksek basınç bölümüne daha sonra da tekrar kızdırılarak orta ve alçak basınç bölümüne gönderilir. Bu devam eden olaylar sonrasında ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur. Daha sonra elde ettiğimiz mekanik enerji, türbin miline bağlı elektrik jeneratörünü döndürür ve elektrik enerjisine dönüşür. Elektrik jeneratörünün çalışma prensibi, bakır gibi iletken bir telin manyetik bir alan içinde hareket ettirilmesi ile çalışır. Elektrik

jeneratörü, bir mıknatıs içinde dönen, (Rotor) sarılı iletken tellerin bulunduğu (Stator) ve bu tellerin mıknatıs içinde dönmesiyle elektrik akımı üreten bir makinedir.

Termik santrallerde kullanılan yakıtlar mazot, gaz ve kömürdür. Mazot için gerekli olan tesisler basit tesislerdir; mazot 30000- 40000 m³ hacimli, silindir biçiminde metalik depolarda saklanır depolardan alınıp ısıtılan mazot püskürtülerek brülörlere aktarılır. Gaz kullanımı için gerekli olan donanımlar çok az sayıdadır; gaz brülörlere gönderilmeden önce yalnızca genişletilir, filtreden geçirilir ve ısıtılır. Termik santrallerde kömür kullanımı için gerekli olan tesisler gaz ya da mazota oranla çok daha önemli ve büyüktür. Burada özellikle kömürün demiryolu, akarsu ya da deniz yoluyla santralle getirilmesi, boşaltılması, depolanması, santral alanı içinde dolaştırılması ve kazana verilmesi için gerekli tesisler yapılmalıdır. Kömür önce toz haline getirildikten sonra, önceden mazotla 5000 °C 'a kadar ısıtılmış olan yanma odalarının brülörlere kuvvetli bir hava akımıyla gönderilir. Bu odaların birkaç yüz m³'ü bulan bir hacmi birkaç bin m² büyüklüğünde bir ısıtma alanı vardır. Büyük bir termik santralin kömür tüketimi günde 5000 tonu aşar.

1.2.8.1.(1) Kömür Yakıtlı Termik Santraller

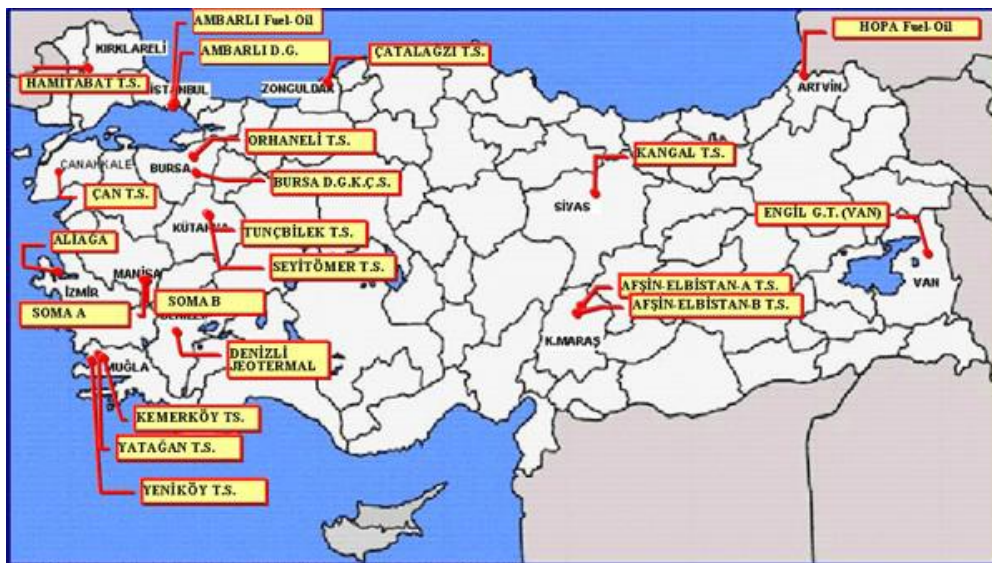
Türkiye'nin 2003 yılı sonunda toplam kurulu elektrik gücü kapasitesi, 35.587 MW ve net elektrik üretimi 135.425,1 GW' dır. (Türkiye İstatistik Yıllığı, 2004). Bu elektrik üretiminin yarısından fazlası fosil yakıtlı 37 termik santralden sağlanmaktadır (Çizelge 1.1 ve 1.2). Toplam kurulu gücü 20.433,8 MW olan termik kapasitesi içinde kömürün payı % 47, doğal gazın % 49, mazot ve fuel-oil'in % 4'dür (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Türkiye'nin mevcut termik santrallerinde kullanılan yakıtların dağılımı.

Türkiye'nin enerji ihtiyacının ve enerji devamlılığının sağlanması da geleneksel kaynak olan linyit yakıtlı termik santraller enerji politikaları arasında her zaman önemini korumuştur. Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi (TEÜAŞ) bağlı toplam 15 kömür yakıtlı termik santral bulunmaktadır. Bu santrallerden Çatalağzı ve Sugözü taş kömür yakıtlı iken Çan, Orhaneli, Seyitömer, Tunçbilek, Çayırhan, Kangal, Soma A-B, Afşin-Elbistan A-B, Yatağan, Yeniköy, Kemerköy termik santralleri linyit yakıtlıdır (Şekil 1.2). Linyitin Türkiye'deki rezerv bolluğunun yanında düşük maliyette elektrik enerjisi elde edilen en önemli yakıttır.

Dünya sıralamasında 7. Sıraya sahip olan Türkiye'nin linyit rezervi 8.3 milyar ton olarak tahmin edilmektedir.



Şekil 1.2. Türkiye'deki mevcut kömür yakıtlı termik santraller.

Çizelge 1.1. Türkiye'nin mevcut linyit, taşkömürü, motorin ve doğalgaz yakıtlı termik santralleri

Santralin adı	Kurulduğu il	Kullanılan yakıt	Santralin gücü(MW)
Afşin Elbistan A	Kahramanmaraş	Linyit	1355
Afşin Elbistan B	Kahramanmaraş	Linyit	1440
Aliağa GTKÇ	İzmir	Motorin	180
Engil Gaz Türbinleri	Van	Motorin	15
KÇ Santrali	İstanbul	Doğalgaz	1350.9
Bursa DGKÇ	Bursa	Doğalgaz	1432
Entek A.Ş.	Bursa	Doğalgaz	140
Entek A.Ş.	İzmit	Doğalgaz	140
İç Taş	Çanakkale	Linyit	130
Çan 18 Mart	Çanakkale	Linyit	320
Çatalağzı	Zonguldak	Taşkömürü	300
Jeotermal Santrali	Denizli	Doğal Buhar	15
Kangal	Sivas	Linyit	457
Orhaneli	Bursa	Linyit	210
Seyitömer	Kütahya	Linyit	600
Tunçbilek	Kütahya	Linyit	365
Hamitabat	Kırklareli	Doğalgaz	1120
Soma A	Manisa	Linyit	1034
Soma B	Manisa	Linyit	1034
Kemerköy (Gökova)	Muğla	Linyit	630
Yatağan	Muğla	Linyit	630
Yeniköy	Muğla	Linyit	420
Çayırhan	Ankara	Linyit	630
Yumurtalık Sugözü	Adana	İthal Kömür	1120

Çizelge 1.2. Türkiye'nin mevcut fuel-oil yakıtlı termik santralleri.

Santralin adı	Kurulduğu il	Santralin gücü (MW)
Van II	Van	24.2
Batman	Batman	117.9
PS3A İdil II	Şırnak	24.4
Hakkari	Hakkari	24.8
Isparta	Isparta	27.9
Siirt	Siirt	25.6
Mardin	Mardin	34.1
Kırıkkale	Kırıkkale	153.9
Esenboğa	Ankara	53.8
Samsun I	Samsun	131.3
Samsun II	Samsun	131.3
KÇ Santrali	İstanbul	630
Hopa	Artvin	50

Batı Anadolu'da yer alan linyit yakıtlı termik santrallerin “Yeniköy, Kemerköy, Yatağan, Soma, Çan, Seyitömer, Tunçbilek ve Orhaneli birçoku turizm merkezlerinin, ormanlık alanların ve yasal olarak korunmuş bölgelerin oldukça yakınına kurulmuştur. Bu anlamda, söz konusu tesislerin katı atıkları olan küllerin radyolojik karakteristiklerinin incelenmesi çevre kalitesi ve insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Buraya kadarki bilgiler ışığında, termik santrallerde kullanılan kömür ve atık ürünü olan uçucu küller ile ilgili bilgiler vermek yararlı olacaktır.

1.3. Kömür

Kömür, bitkilerin bataklık alanlarda birikmesi sonucu oluşan tabakaların, değişime uğramasıyla meydana gelmiştir. Bu tabakalar, üzerlerine çeşitli çökeltilerin birikmesi ve yer kabuğu hareketleri sonucu derinliklere gömülmüştür. Gömülmüş olan bu bitkiler artan ısı ve basınç etkisiyle fiziksel ve kimyasal değişime uğrayarak

kömüre dönüşür. Kömür yanabilen organik bir kayadır. Başlıca karbon, hidrojen, oksijen gibi elementlerin ve bazı inorganik maddelerin bileşiminden oluşmuş olup diğer kaya tabakalarının arasında damar halinde uzunca bir süre (Milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmiştir. Kömürler organik olgunlarına göre; linyit, alt bitümlü kömür ve antrasit tiplerine ayrılırlar.

Bu tip kömürler göreceli olarak yüksek nem içerirler ve karbon içerikleri düşüktür. Antrasit ve Bitümlü kömürler ise genellikle sert ve parlak görünüştedirler. Göreceli olarak nem içerikleri düşük olup, karbon oranları yüksektir. Jeolojik olarak kömürlerin yaşları 400 milyon yıl ile 15 milyon yıl arasında değişir. Genellikle yaşlı kömürler daha kalitelidir (Toprak, 2009).

1.3.1. Kömürün Genel Özellikleri

1.3.1.1. Kömürün Fiziksel Özellikleri

Kömürün kullanımını etkileyen özelliklerden biri olan yoğunluk; yığın yoğunluğu, görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk olmak üzere üç farklı şekilde ifade edilmektedir. Kömürün diğer fiziksel özellikleri; gözeneklilik ve yüzey alanı, sertlik, öğütülebilirlik, ısıl iletkenlik ve özgül ısıdır (Meriçboyu ve Ark., 1998) Ayrıca, gaz emme, plastiklik, özgül ağırlık, mikro sertlik (mikrodürte) ve refleksiyon yansıtmadır (Nakoman, 1971).

1.3.1.2. Kömürün Kimyasal Özellikleri

Kömürün bazı kimyasal özellikleri; oksidasyon, çözücülerde çözünme, hidrojenasyon ve koklaşmadır (Nakoman, 1971). Kimyasal analizleri ise; nem, uçucu madde, kül, kalorifik değer, mineral madde içeriği, erime özelliği ile karbon, hidrojen, oksijen, azot, ve kükürt içeriğidir (Meriçboyu ve Ark., 1998).

1.3.1.3. Kömürün Petrografik Özellikleri

Bir kömür örneği çıplak gözle incelendiğinde, farklı bantlardan ve mikroskopla incelendiğinde farklı kökene sahip organik maddelerden (maserallerden) oluştuğu görülebilmektedir. Her bir kömürün bileşimi ve karakteri, onu oluşturan organik ve inorganik bileşenlerin doğası ve geçirdiği diyajenez derecesiyle tanımlanmaktadır. Bir turba parçası incelendiğinde, turbayı oluşturan bitki parçaları kolayca görülebilmektedir. Ancak, kömürleşme derecesinin artmasıyla bitki parçalarını kömür içinde gözle tanımlamak olanaksızlaşmaktadır. Yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde, farklı organik maddeler, sıkışma ve diğer süreçlerle değişime uğradığından bunları mikroskopla bile tanımlamak zorlaşır (Karayığit, 1998).

1.3.2. Kömür Çeşitleri

1.3.2.1. Linyit

Bileşiminde %60 ile 73 oranında karbon bulunan kahverengi veya siyah fosil kömürdür. Tozu kahverengi renktedir. Linyitin oluşum süreci taşkömürününkine benzer; linyit, bataklıklardaki bitki kalıntılarının bozuluşması, sonra da yavaş yavaş alüvyon çökeltileriyle örtülmesi sonucu oluşur. Taşkömürü yataklarının büyük bir kısmı Birinci zamandan kalmadır; oysa linyit yatakları, genellikle, çok daha yenidir (İkinci ve Üçüncü zaman). Bitki kalıntılarını kömüre dönüştüren fizikokimyasal olayların gerekli etkime süresi, taşkömürü için uzun, linyit için daha kısadır. Linyitin birçok çeşidi olmakla birlikte hepsinin ortak özelliği, bileşimlerinde yüksek oranda su (ortalama %20 ile %60'ın üstünde) ve uçucu maddeler (%15'ten fazla, hatta %60'ın üstünde) bulunmasıdır. Isı değerleri, kilogram başına 7.000 kaloriye ulaşmaz. Genellikle bir ton linyitin 0,3 ton taşkömürüyle eşdeğerli olduğu kabul edilir.

Dünyadaki linyit rezervlerinin yaklaşık olarak 1700 milyar ton olduğu sanılmaktadır. Bununla birlikte, yatakların az derinde oluşu ve üzerindeki katmanların kolayca kaldırılabilmesi, linyit yataklarının açık ocak ile işletilmesine

imkân verir. Bu şartlar taşkömürüne oranla linyitin maliyetini düşürür ve iktisadi alanda linyit üretimini çekici hale getirir. Ayrıca termik santrallerde linyitten yararlanılması ucuza iletilebilen bir enerjinin üretilmesini sağlar. Uçucu madde bakımından zengin olması, linyitin kimyasal sanayinin başlıca hammaddesi haline gelmesini sağlamıştır (www.tki.gov.tr).

1.3.2.2. Taşkömürü

Kömürlerin arasında en değerlisidir. Linyitten yüksek oranda karbon, az su ve oksijen içerirken, önemli oranda gaz içerirler. Taş kömürü; bitkilerin jeolojik dönemler boyunca dönüşüme uğraması ile oluşmuş, yüksek ısı gücü olan bir enerji kaynağıdır. Kalori değerinin çok yüksek olması ve bol miktarda bulunması nedeniyle taş kömürünün enerji üretiminde vazgeçilmez bir yeri vardır. Bu maden elektrik santrallerinde, sanayide ve kok kömürü yapımında kullanılır.

1.3.2.3. Antrasit

%95'i karbondan oluşur. En sert kömür türü olup yandığında diğerlerinden daha fazla ısı verir. Güçlülükle tutuşan, koku ve duman çıkarmadan yanan bir çeşit taş kömürüdür. Antrasitin katılık ve yoğunluğu diğer kömürlerden çoktur. Kısa mavi renkli bir alevle yanar. Ülkemizde Kastamonu ilinde bulunan Antrasit, kömürleşme derecesi en yüksek, jeoloji bakımından en eski olan kömürdür. Jeolojik olarak 400 milyon yıl ile 15 milyon yıl arasında değişir. Genellikle yaşlı kömürler diğer kömürlere göre daha kalitelidir.

1.3.2.4. Turba

Çamurlu göl ve bataklıklarda, çeşitli bitki artıklarınının yığılması ile çok yakın bir geçmişte yani birkaç bin yıl önce oluşmuş bir kömür çeşididir. Yumuşak olan ve bitki kalıntıları bulunduran bu kömürlerin su ve uçucu madde içeriği yüksek, karbon miktarı ise düşüktür (www.tki.gov.tr).

1.4. Uçucu Kül

Modern yakma tekniklerinin ortaya çıkmasıyla birlikte büyük miktarlarda katı yanma ürünleri oluşmaktadır. Bu ürünlerin büyük çoğunluğu yanma sonucunda oluşan, baca tarafından çekilen gazlarla beraber yukarı doğru sürüklenen ve uçucu kül (fly ash) adı verilen çok ince boyutlu kül tanecikleridir. Bu ince kül parçacıkları çeşitli yöntemlerle tutulmakta (elektro filtre, siklon vs.) ve baca gazları ile atmosfere yayılmaları önlenmektedir. Uçucu küller 1 – 150 mm tane iriliğinde düzensiz şekilli parçacıklar halinde bulunmasına karşın, yakma kazanının içinden kısa geçişleri boyunca ergidiklerinden genellikle küresel şekildedirler ve toplam külün ağırlıkça %80'ini oluştururlar. Kömür külünün diğer iki bileşeni ise taban (kazan altı) külü ve cüruftur. Yakma sisteminin altında ya cüruf içinde erimiş olarak veya taban külünde tanecikler olarak toplanırlar ve külün yaklaşık % 20'sini oluştururlar (Watson, 1985).

Kömür tozunun inorganik bir bileşimi olan uçucu külün atık bir malzeme olarak en fazla kullanıldığı alanlardan biri briket, tuğla ve çimento üretimidir (Pollard ve ark., 1992). Ayrıca uçucu külün su ve atık su arıtımında koagülant (ALSO₄ alüminyum sülfat diye adlandırılan koagülant bir çeşit arıtma kimyasalıdır). ve adsorban (ilaç veya zehirli madde moleküllerinin yüzeyine bağlanarak onların emilmesini engelleyen madde olarak tanımlanabilir) kullanım potansiyeli mevcuttur. Çünkü uçucu kül yüksek karbon içeriği, birim hacimdeki geniş yüzey alanı ve içerdiği Al, Fe, Ca, Mg ve Si gibi elementlerden dolayı birçok organik ve inorganik kirleticiyi uzaklaştırma kabiliyetine sahiptir. Bunların yanı sıra doğal alkaliteli uçucu kül iyi bir nötralizedir (Ferraiola ve ark., 1990; Weng ve Huang, 1994). Son yıllarda ağır metallerin adsorbsiyonu ve uçucu kül üzerine birçok çalışmalar yapılmıştır. (Prabhu ve ark., 1981; Yadava ve ark., 1987; Weng ve Huang, 1990; Viraraghavan ve Rao., 1991; Viraraghavan ve Dranimraju, 1993; Weng ve Huang, 1994). Sonuç olarak bu çalışmalar uçucu külün atık sulardaki ağır metallerin adsorbsiyon yöntemi ile giderilmesinde etkili olduğunu vurgularken diğer taraftan da bu metal giderilmesinde kullanılan uçucu külün fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olduğunu göstermiştir.

1.4.1. Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri

1.4.1.1. Morfoloji

Aydınlatmalı ve elektron mikroskoplarla yapılan morfolojik çalışmalar, uçucu külün heterojen bir yapıya ve çok farklı tane çeşitlerine sahip olduğunu göstermektedir. Fischer ve Natusch (1979) uçucu kül içindeki tanelerin 11 temel morfolojik yapıda olduğunu tanımlamışlardır. Bunlar:

- 1-Şekilsiz, saydam taneler
- 2-Şekilsiz, opak taneler
- 3-Şekilsiz, opak ve saydam karışık taneler
- 4-Yuvarlak, kabarcıklı, saydam taneler
- 5-Yuvarlak, kabarcıklı, opak ve saydam karışık taneler
- 6-Köşeli, delikli, opak taneler
- 7-Cenospheres (içi gaz dolu küresel taneciklerle dolu küresel taneler)
- 8-Plerospheres (içi küresel taneciklerle dolu küresel taneler)
- 9-Saydam, katı küresel taneler
- 10-Opak, küresel taneler
- 11-Yüzeyinde veya içinde kristal oluşumlu küresel taneler

Opak (şekilsiz veya köşeli-delikli) taneler oksitlenmemiş karbonatlı malzemeler veya demir oksitler olarak sınıflandırılır. Opak küresel taneler ise manyetit (demiroksit) olabileceği düşünülmektedir. Şekilsiz (yuvarlak – kabarcıklı veya saydam) taneler, alümina silikatların (doğada en bol bulunan silisyum ve oksijenin birleşmesiyle SiO_2 oluşur.) kömürün yanması sırasında tanelerin yanmaya karşı maruz kaldığı süreye bağlı olarak yuvarlak veya kabarcıklı oluşum şeklinde ortaya çıkmadırlar. Küresel taneler ise (cenospheres, plerospheres veya katı küresel taneler) daha uzun süreli yakma sonucu oluşmaktadırlar. Şekilsiz opak taneler ise yanmamış karbondur.

1.4.1.2. Mineroloji

Uçucu kül minerolojik olarak üç ana gruba ayrılmaktadır: Cam, mullitkuvars ve ferrit spinel (Hullet ve ark., 1980). Uçucu küldeki başlıca kristal fazları şunlardır:

Kuvars (SiO₂): Uçucu kül içinde hemen her yerde bulunmaktadır. Orijinal kömürdeki yanmadan arta kalan kuvarstan gelmektedir.

Kireç (CaO): Bütün yüksek kalsiyum içerikli linyit ve yarı-bitümlü kömür uçucu küllerinde gözlenir.

Anhidrit (CaSO₄): Yüksek kalsiyumlu küllerde CaO ve SO₃' ten gelmektedir.

Mullit (Al₆Si₂O₁₃): Uçucu kül içerisinde yaygın olarak rastlanan bir fazdır.

Hematit (Fe₂O₃): Yanma sırası ve sonrasında piritin nihai oksidasyon ürünü olarak oluşur ve uçucu külde bulunur.

Ferrit Spinel [(MgFe) (FeAl)₂O₄]: Hemen hemen bütün uçucu küller manyetit ve magnezyoferrit (MgFe₂O₄)' e benzer bir X-ışını örneği ile spinel bir yapı çerir.

Trikalsiyum Aluminat ve Merwinit [Ca₃Mg(SiO₄)₃]: Yarı-bitümlü kömür ve linyitten elde edilen bazı uçucu küllerin X-ışını difraktogramlarında gözlenmektedir.

Periklas (MgO): Periklas, dolomitten veya daha düşük dereceli kömürdeki organik magnezyumun oksidasyonu sonucu oluşur.

Cam: Uçucu külde alümino-silikat camlar; Na₂O, K₂O, MgO, CaO ve FeO' nun inklüzyonuyla değiştirilir.

Kahverengi Millerit (C₄AF.C₄Al₂Fe₂O₁₀): Uçucu küllerde olması muhtemel fazdır. Diğer fazlardan, dikalsiyum silikatlar bir veya daha çok şekilde gözlenebilir.

1.4.1.3. Tane İrilik Dağılımı

Taban külü tanelerinin boyutları ağırlıklı olarak 0.1-10 mm arasında değişirken, mekanik tutucularda yakalanan uçucu kül taneleri taban külünden çok daha küçük boyutlara sahiptir. Uçucu kül tanelerinin büyük bir bölümü 5-100 mm çapındadır. Uçucu külün ağırlıkça %20-40'ı, 10 mm'den daha küçük tane boyutuna sahip olmasına rağmen %80 – 90'ının tane boyutu 200 mm'den küçüktür (Eye ve Basu, 1970).

1.4.1.4. Yoğunluk

Uçucu külün ortalama özgül ağırlığı 2,4 ile 2,8 g/cm³ arasında değişmektedir. Kaba yoğunluğu ise yaklaşık olarak 0,8 g/cm³'tür (Eye ve Basu, 1970).

1.4.1.5. Özgül Yüzey Alanı

Uçucu kül birim hacim başına büyük bir özgül yüzey alanına sahiptir. Ortalama özgül yüzey alanı 3500–10500 cm²/cm³ arasında değişir (Arslan ve ark, 1990).

1.4.1.6. Kimyasal Bileşimi

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürdeki minerallerin tipine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan kimyasal incelemelere göre uçucu külde bulunan temel elementler Si, Al ve Fe' dir. Bununla birlikte küçük miktarlarda Ca, P, Na, Ti ve S de içerirler (Cheremisinoff, 1988). Birçok uçucu külün %85'inden fazla bir kısmı SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, MgO ve SO₃'ün yer aldığı kimyasal bileşenlerden oluşmaktadır. Uçucu külün karbon içeriği yanma kaybına bağlı olarak %1–60 arasında değişmektedir (Eye ve Basu, 1970).

1.4.2. Uçucu Külün Kullanım Alanları

Çimento ve Beton: Uçucu küller beton içinde genellikle üç ayrı şekilde kullanılmaktadır.

1-Uçucu kül çimento kullerine katılarak birlikte öğütülür. Bu karışım uçucu küllü çimento adını alır.

2-Uçucu kül beton malzemesi olarak doğrudan beton için kullanılan malzemeye katılır.

3-Uçucu küller 1150-1200 °C de hafifçe eriyerek birbirine yapışmakta ve uygulanan sinterleşme yöntemine bağlı olarak yuvarlak ve silindirik taneli agregalar

oluşmaktadır. Doğal agregaya oranla daha hafif olan bu agregaların betonda kullanılması ile hafif beton bloklar ve yapıda hafif beton elde edilmektedir.

Karayolları: Yol yapımında uçucu kül iki şekilde kullanılmaktadır;

1-Dolgu malzemesi olarak,

2-Toprak stabilizasyonu sağlayacak alt temel ve temel malzemesi olarak.

Özellikle sıkıştırılabilme özelliği yüksek zeminlerle birlikte ve köprü ayaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gaz Beton: Gaz-beton, çimento veya kireç ile uçucu kül karışımından otoklavda hava ya da başka bir gaz geçirilmesiyle elde edilmektedir. Ateşe karşı son derece dayanıklı, hafif ve ısı yalıtımı sağlayabilen gaz betonlar uçucu kül karışımının kullanılması ile daha ucuza mal edilebilirler.

Tuğla: Uçucu kül çok ince taneli olması ve sinterleştiğinde yüksek dayanım vermesi nedeni ile tuğla üretiminde kullanılmaktadır (Toraman, 1995).

Koagülant ve Adsorban: Uçucu kül birim hacim başına büyük bir özgül yüzey alana ve çok geniş bir tane dağılımına sahiptir. Bu atık malzemenin karbon içeriği %1-60 arasında değişmektedir. Uçucu külün adsorban olarak etkinliği içeriğindeki karbon miktarı arttıkça artmaktadır. Ayrıca uçucu kül bileşiminde bulunan silika, demir, alüminyum, kalsiyum, magnezyum ve toprak alkali maddeleri herhangi bir derişik asit çözeltilinde veya çok az oranla olmak üzere su içerisinde serbest hale gelirler. Böylece ham uçucu kül ile elde edilen çözeltiler su ve atık su arıtma işlemlerinde, özellikle adsorbsiyon işlemleri ile ağır metallerin gideriminde ticari kullanımı yaygın olan aktif karbon gibi adsorban maddelerin yerine kullanılabilir (Viraraghavan ve Dranomraju, 1993; Mavros ve ark, 1993).

1.5. Termik Santrallerin Çevresel Etkileri

Türkiye'deki termik santrallerde elektrik üretimi için; maden kömürü, linyit, fuel oil, motorin, doğal gaz, sıvılaştırılmış gaz (LPG), nafta gibi fosil yakıtlar ve

türevleri ile jeotermal kaynaklar ve atıklar kullanılmaktadır. Katı yakıt yakan termik santrallerin çevresel etkileri aşağıda listelenmiştir.

1.5.1. Hava Kirliliği

Kömürün, enerji üretimi amacıyla çeşitli yakma sistemlerinde yakılması, önemli ölçüde çevre kirliliği yaratmaktadır. Kömürün yakılması sonucu oluşan; karbondioksit, kükürt oksitler, azot oksitler gibi çeşitli gazlar, kurum ve kül gibi katı tanecikler ve çeşitli hidrokarbon bileşikleri başlıca hava kirliliği kaynaklarıdır. Yanma gazları ile atmosfere atılan bu kirleticiler, güneş ışığının etkisi ile veya atmosferde bulunan diğer bileşiklerle tepkimeye girerek; ozon, aerosol, nitrat, nitrit ve çeşitli asitler gibi ikincil kirleticileri de oluşturmaktadırlar (Barbir ve Veziroğlu, 1992).

1.5.1.1. Hava Kirliliğine Neden Olan Kirleticiler

Kükürt Oksitler: Özel tedbirler alınmadığı takdirde, kömürün yakılması sonucu oluşan kükürt oksitlerin miktarı, kömürün yanar kükürt içeriği ile doğru orantılıdır. Kömürün içerdiği kükürt türleri; organik ve inorganik olmak üzere iki çeşittir. Kömürde hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan tüm kükürde organik kükürt denir. Kalsiyum, demir, bakır ve magnezyum tuzları halinde bulunabilen sülfat kükürdü gevşek kristaller halindedir. Kömürün içerdiği sülfat kükürdünün miktarı oldukça azdır, fakat hava ile temas ettikçe artar. Disülfür kükürdünü, büyük ölçüde demir sülfürün iki kristal şekli olan pirit ve markazit oluşturur (Meriçboyu ve Ark., 1998).

1.5.2. Su Kirliliği

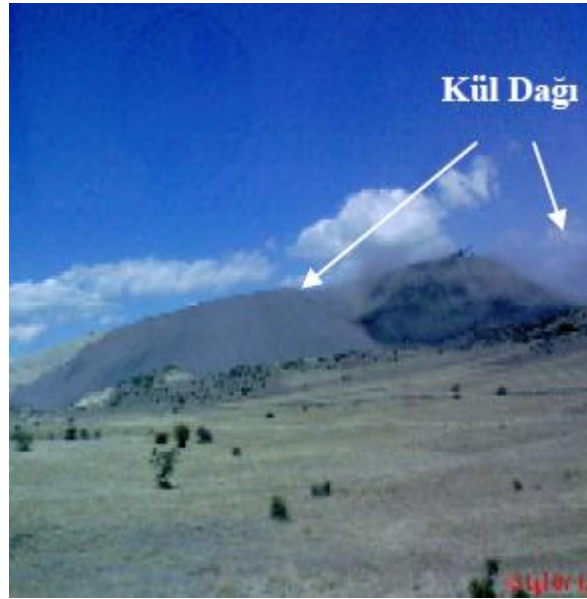
Termik santrallerde buhar üretme, soğutma ve temizleme işlemleri için önemli miktarlarda su kullanılmaktadır. Kullanılmış sular tekrar alındıkları kaynağa verilirken kirliliğin artmasına neden olmaktadır. Bunlardan başka, baca gazları ile

birlikte ortama verilen uçucu küllerden yağmur suları ile taşınan bileşenler yüzey ve yeraltı sularında çeşitli kirliliklere sebep olmaktadır.

1.5.3. Toprak Kirliliği

İnsanın sürekli radyasyona maruz kalmasının ana kaynağı topraktır. Toprak, radyonüklitlerin biyolojik sistemlere transferi için bir göç aracı olarak davranır ki bu durum, çevrenin radyolojik olarak kirlenmesinin temel göstergesidir. Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde toprak tabakasının hemen altında kaya tabakasını olduğu görülür. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi radyonüklitlerin toprakta bulunma miktarları toprağın kökenini oluşturan kaya çeşidine bağlıdır. Yüksek radyasyon seviyeleri granit, volkanik, fosfat gibi volkanik kökenli kayalarda ve tuz kayalarında, düşük radyasyon seviyeleri de tortu kayalarda görülür. Bu kayalar çevresel şartlara bağlı olarak ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur ve yeraltı sularıyla toprağa karışırlar. Bu şekilde topraktaki aktiviteye sebep olur. Yapılan tarımsal çalışmalar ve topraktaki verimi artırmak için kullanılan suni gübreler de topraktaki aktiviteye sebep olan unsurlardır. Yerküre ekosisteminin bir parçası olan ve ana kaya ile arazi yüzeyi arasındaki kısımda yer alan toprak, en önemli doğal üretim kaynaklarımızdan biridir. Doğal kaynakların korunması konusunda toprakların ekolojik ve insan faaliyetlerine bağlı önemli özellikleri vardır. Öncelikle toprak, doğal bir kaynaktır ve canlılar için besinkaynağı ortamıdır, transformatördür. Toprak, insan ve tüm canlı yaşamını destekleyen en önemli sistemdir. Yeryüzünde tarımsal üretimin kapasitesini belirler. Toprak birçok formda ve çeşitli derecelerde kirlilik yaratan maddeler için en büyük filtredir. Toprak, CO_2 , metan ve N_2O içeren biyokimyasal dönüşümde en önemli kaynaktır. Bu nedenle artan nüfusun tüm ihtiyaçlarının karşılanması, toprak ve su gibi doğal kaynakların bilinçli ve ekonomik biçimde kullanılması, değerlendirilmesi ve geliştirilmesi ile mümkün olabilecektir. Türkiye'deki linyitlerde önemli miktarda radyoaktif madde ile zehir etkisi yaratan elementler bulunmaktadır. Bu linyitlerin yakılması ile radyoaktif maddeler ve diğer ağır metaller partikül madde halinde baca gazıyla birlikte atmosfere yayılırlar. Ayrıca, bacalara kurulan filtre sistemlerinde tutulan uçucu küller ile yakma kazanı dibinde oluşan taban külleri

büyük yığınlar halinde atık depolama alanlarında biriktirmektedir ya da toprakla karıştırılarak gömülmektedir. Bütün bu etkiler, santral çevresindeki topraklarda verim kaybına, tarımsal ürünlerin zarar görmesine ve bitki örtüsünün olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Santrallerden endüstriyel atık olarak atılan uçucu küller yığınlar halinde santral çevresine atılır. Uçucu küllerin değerlendirilmesi çevre kirliliğini azaltacağı gibi enerjiden de tasarruf sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 1.3. Kül Dağı

Uçucu küllerin Şekil 1.4 de görüldüğü gibi kül yığınları halinde santral civarlarına atılması durumunda bünyesinde bulunan; Sb, As, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Zn, vb. elementlerin her biri canlılar üzerinde çeşitli toksik etkiler oluşturmaktadır. Yine kömürün yakılması ile ortaya çıkan radon, uranyum, toryum gibi radyoaktif elementler insan sağlığını olumsuz etkilemektedir.

Termik santrallerin çevresindeki topraklar aşağıdaki şekillerde kirlenmektedir;

- 1-Baca küllerinin kül yağmuru olarak toprağa yağması ve toprağın fiziksel ve kimyasal yapısının zamanla değişmesi,

- 2-Baca gazındaki kükürt dioksitin asit yağmuru şeklinde toprağa geçmesi ve toprağın kimyasal yapısının zamanla değişmesi,
- 3-Termik santrallerin kirlettiği akarsuların tarım topraklarının sulanmasında kullanılması ile bu kirliliğin topraklara geçmesi ve tarım topraklarını kirlletmesi,
- 4-Termik santrallerin oluşturduğu asit yağmurlarının ormanları kurutması ve bu alanlardaki topraklarda erozyonunun hızlanması (Baykan, 2004).
- 5-Radyoaktif maddeler içeren kömür kullanan termik santrallerde, baca külleri ile radyoaktif maddelerin toprağa karışması.

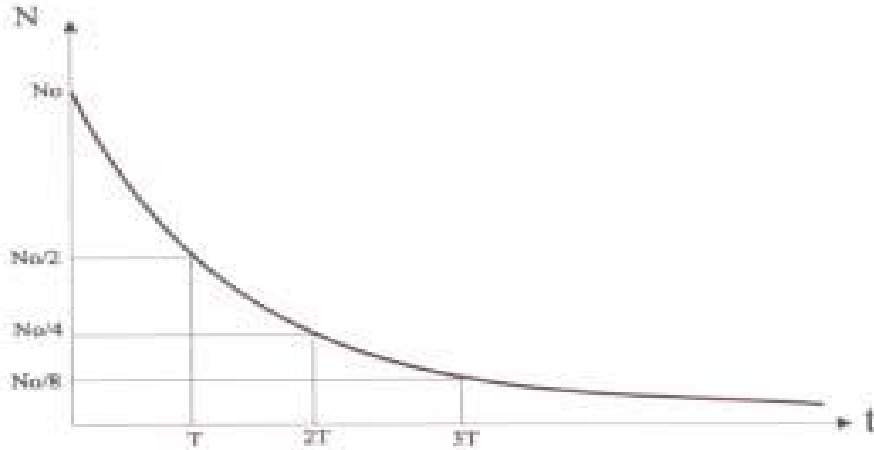
Toprak radyoaktivitesi ve oluşan radyasyon seviyesi gama ışın spektroskopisi sistemi ile ölçülmektedir. Bu sistem ile yeryüzünden gerçekleştirilebilen ölçümlerle sığ derinlikteki radyoaktivite bile ölçülebilmektedir. Bu ölçümleri iki şekilde yapılabilmektedir. Birinci ölçüm şekli; toplam sayım ölçümleri tüm enerji kaynaklarından yayımlanan gama ışını ölçümünü kaydeder. Bu nedenle, alansal toplam gama radyasyonu izlenebilir ve belirti kaynaklarının varlığı belirlenebilir. İkinci ölçüm şeklinde ise, gama ışını spektrometreleri radyoaktif enerjiyi ve yoğunluğu ölçüp radyasyon kaynağını belirleyebilmektedir. Bu çalışmada gama ışın spektroskopisi sistemi ile radyoaktivite inceleneceğinden, radyoaktivite ile ilgili temel teorik bilgiler verilmesi yararlı olacaktır.

1.6. Radyoaktivite

1.6.1. Radyoaktif Bozunma Kanunu

İlk defa Rutherford ve Soddy'nin ortaya attıkları teoriye göre, radyoaktif atomlar her cisim için farklı ve sabit bir hızla kendiliklerinden bir alfa veya beta parçacığı fırlatarak değişime uğrarlar ve yeni atomlar oluşur. Oluşan bu yeni atomlar kararlı veya kararsızdırlar. Kararsız atomlar yeni karakteristiklerle yeni atomlar oluştururlar ve bu hal, radyoaktif olmayan atomlara kadar devam eder. Buna göre radyoaktif bir maddenin radyoaktifliği zamanla eksponansiyel olarak azalır (Şekil

1.4). Yani radyoaktif bir elementin değişim halinde bulunan atom sayısı her an bu elementin mevcut olan sayısı ile orantılıdır.



Şekil 1.4. Radyoaktif Bir Numune Miktarının Zamanla Değişimi (Krane, 1998)

Doğada mevcut elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı, diğer kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptirler. Kararlı bir çekirdekte, çoğu durumda nötron sayısı proton sayısından biraz daha yüksek ve nötron/proton oranı yaklaşık olarak 1,50 civarındadır. Kararlı bir çekirdekte, proton ve nötronlar birbirine nükleer kuvvetlerle o kadar sıkı bağlıdırlar ki hiçbir parçacık çekirdek dışına kaçamaz. Bu durumda, çekirdek dengede kalır. Ancak, çekirdek dengede değilse yani kararsız ise, fazla bir enerjiye sahip olur ve parçacıkları bir arada kalmaz. Kısa bir süre içinde veya daha uzun bir süre sonra bu fazla enerjisini boşaltır.

Radyoaktivite istatistiksel bir olay olup bir çekirdeğin ne zaman bozunacağı önceden bilinemez. Ancak, çok sayıda atomun zamanla nasıl bozunacağı istatistiksel olarak bulunabilir (Songül bayata). Saf bir radyoaktif numunenin zamanla bozunma hızının üstel kanuna uyduğu radyoaktifliğin keşfedildiği 1896 yılını izleyen üç yılda gösterilmiştir. Eğer bir t anında N radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni çekirdekler ilave edilmiyorsa t anını izleyen dt zamanı içinde bozunan atomların sayısı dN , N ve dt ile orantılıdır:

$$I = \frac{dN}{dt} = \text{sabit} \cdot N \quad (1.1)$$

Burada, eksi (-) işareti atomların sayısının zamanla azaldığını gösterir. λ ise bozunma veya parçalanma sabitidir ve radyoaktif bir atomun birim zamanda bozunma olasılığı olarak tanımlanır.

1.6.2. Radyoaktif Yaş Tayini

Radyoaktif değişim kanununun önemli uygulamalarından biriside cisimlerin yaşlarının tayinidir. Bir kayanın oluşumu sırasında, bir radyoaktif maddenin de meydana geldiği düşünülürse radyoaktif maddenin miktarındaki değişim,

$$N=N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.2)$$

şeklindeydi. Burada t , kayanın oluşumundan bugüne kadar ki zamanı yani yaşını göstermektedir.

t zamanı boyunca bozunan atom sayısı (N_0-N) 'dir ve uzun bir süre sonra bunlar kararlı izotopa dönüşürler. Bozunan atom sayısı N_b ise,

$$N_b=N_0-N=N_0(1-e^{-\lambda t}) \quad (1.3)$$

olarak bulunur.

1.6.3. Yarı Ömür

Bir radyoaktif maddenin başlangıçta var olan atomları sayısının yarıya inmesi için geçen zamana “yarı ömür” denir. Yarı-ömür (T) ile bozunma sabiti (λ) arasındaki ilişki (1.4) bağıntısı ile bulunabilir. $t=T$ için ve $N(t) = N_0/2$ olduğundan,

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \quad (1.4)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıdan yarı-ömür ve bozunma sabiti arasında

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (1.5)$$

ifadesi elde edilir. τ ortalama ömür de önemli bir kavramdır ve bir çekirdeğin bozuluncaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır. Eğer radyoaktif bozunmaya bir olasılık fenomeni olarak bakılırsa bozunma olasılık yoğunluğu fonksiyonu tanımlanabilir.

$$P(t) dt = \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (1.6)$$

Çekirdeğin bir t ile $t+dt$ zaman aralığındaki bozunma olasılığını veren yukarıdaki ifadeden bir çekirdeğin bozunması için geçen ortalama zaman hesaplanabilir (Krane, 1998).

$$T_{\text{ort}} = \int_0^{\infty} P(t)t dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt \rightarrow T_{\text{ort}} = \frac{1}{\lambda} \quad (1.7)$$

Bu durumda, ortalama ömür bozunma sabitinin tersidir.

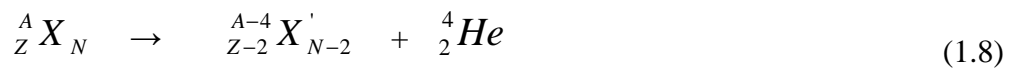
1.6.4. Doğal Radyoaktiflik

Radyoaktivite, atom çekirdeğinin kendiliğinden bozunuma uğrayarak α , β ve γ gibi bazı ışınlar yayınlayıp niteliğini başka çekirdeğe dönüştürme olayıdır. Bozunan radyonüklit, doğada bulunuyor veya doğada bulunan diğer radyonüklitlerin bozunmasından ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktiflik, radyonüklit insan tarafından yapay olarak reaktörlerde veya hızlandırıcılarda üretiliyorsa buna da yapay radyoaktiflik adı verilir. Doğal radyoaktiviteden, atomun çekirdek yapısının açıklanması, dünya yaşının tahmini ve okyanusların dibinde bulunan oluşum oranlarının ölçülmesi gibi çeşitli alanlarda faydalanılır.

Her ne kadar diğer türlerin de uzun ömürlü doğal radyoaktif elementleri varsa da günümüzde gözlenenlerin çoğu çok ağır elementlerden oluşmuşlardır ve hiç kararlı izotopları yoktur. Bu radyoaktif çekirdekler α ve β yayınlarak atom numarası (Z) ve kütle numarası (A) sayılarını azaltarak sonuçta kararlı bir çekirdeğe ulaşırlar. Alfa bozunması A'yı dört birim azaltırken, beta bozunması ise A sayısını değiştirmez. Bozunma süreci çekirdeği, zincirin en uzun ömürlü üyesine götürme eğilimindedir ve eğer bu çekirdeğin ömrü en azından Dünya'nın yaşı mertebesindeyse bu aktiflik bugün de gözlenebilir. Genellikle ağır çekirdekleri olan doğal radyoizotoplar şu radyoaktif serilere üyedir: Toryum (^{232}Th), Neptünyum (^{237}Np), Uranyum (^{238}U) ve Aktinyum (^{235}U). Tarihsel sıralama söz konusu olduğunda en son keşfedilen seri Neptünyum serisidir. n bir tamsayı olmak üzere bu doğal radyoaktif seriler sırayla $4n$, $4n+1$, $4n+2$ ve $4n+3$ ile temsil edilirler. Bozunma zinciri sonucunda yukarıdaki kararsız çekirdeklerden Toryum, Uranyum ve Aktinyum sırasıyla kurşunun kararlı olan ^{208}Pb , ^{206}Pb ve ^{207}Pb çekirdeklerine ulaşırken Neptünyum kararlı en ağır çekirdek olan ^{209}Bi Bizmuta dönüşür.

1.6.4.1. Alfa Bozunması

α yayınlaması, çekirdekteki Coulomb itmesinden kaynaklanan bir olaydır. Bu durum daha çok ağır çekirdeklerde gözlenen bir durumdur; çünkü ağır çekirdeklerde itici Coulomb kuvveti Z^2 ile artarken, nükleer bağlanma kuvveti yaklaşık olarak A ile artmaktadır. Bu nedenle, A'sı büyük olan çekirdekler kararlı hale gelmek için genellikle α (^4_2He) parçacığı yayarlar. α bozunması sonucunda açığa çıkan α parçacığının kinetik enerjisini bulmak için ana çekirdek ve açığa çıkan parçacıkların bağ enerjilerinden faydalanılır.

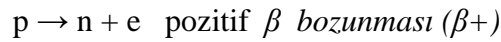


$$Q = \Delta mc^2 = [m(X) - m(X') - m({}^4_2 \text{He})].c^2 \quad (1.9)$$

Bozunum nedeniyle ortaya çıkan enerjinin büyük kısmını, momentumun korunumu gereğince küçük kütleyle sahip olan alfa parçacığı alır. ${}^4_2\text{He}$ Çekirdeği yüksek enerjiye sahip olsa da ağır kütlesi nedeniyle menzili çok kısadır. Alfa bozunumu genellikle kütle numarası 190'dan büyük çekirdeklerde daha sık görülür. Enerji spektrumu kesiklidir ve 4 ile 10 MeV arasında değişim gösterir. Çünkü yüklü bir parçacık olduğundan içerisinden geçtiği maddenin elektronları ile yoğun bir şekilde etkileşir.

1.6.4.2. Beta Bozunumu

Çekirdekten negatif elektronların yayınlanması olayı radyoaktiflik olayının ilkeleri arasındadır. Halbuki, çekirdeğin bir elektron yutması olayı 1938 yılına kadar gözlenememiştir. B bozunması olayı bir nötronun protona dönüşmesi veya bir protonun nötrona dönüşmesinden başka bir şey değildir. Çekirdek içerisinde β bozunması olayı, Z veya N değerlerini birer birim değiştirmektedir. Yani $A=Z+N$ sabit kalmaktadır.



1931 yılında Pauli β yayınlamasında başka bir parçacığın daha olması gerektiği teorisini ortaya koydu. Daha sonraları Fermi, bu parçacığı nötrino olarak adlandırdı. Yük korunumu kanununa göre, nötrinoların yüksüz olması gerektiği ortaya çıkmıştır ve β bozunmasında bir miktar enerji taşıdıkları bulunmuştur. Deneyler, gerçekte iki çeşit nötrinonun olması gerektiğini göstermiştir; bunlar nötrino ve onun antiparçacığı olan anti nötrinodur.

1.6.4.2.(1). β^- Bozunumu

Eğer bir radyonüklitin kararsızlığı çekirdekdeki nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için nötronlardan birini proton ve elektron haline dönüştürür. Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atomdan dışarı atılır.



1.6.4.2.(2). β^+ Bozunumu

Atomun kararsızlığı nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona (pozitrona) dönüşür.



Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayımlayan radyonüklitin proton sayısı (atom numarası) bir eksilerek kendinden bir önceki elementin (izobar) atomuna dönüşür, fakat kütle sayısı değişmez.

1.6.4.3. Gama bozunumu

Birçok α ve β bozunumları veya nükleer reaksiyonlar oluştuktan sonra, oluşan yeni çekirdekler uyarılmış bir halde olabilirler. Uyarılmış durumdaki bu çekirdekler çok çabuk bir şekilde bir ışın yayımlayarak kararlı olan temel seviyeye dönerler. Yayınlanan bu ışınlara gama ışın adı verilir. Ayrıca bu ışınlara elektro manyetik ışınım fotonunda denir. Gama ışınlarının enerjileri genelde 0.1-10 MeV arasında değişir, dolayısıyla dalga boyları da (100-10 000 fm) kısadır.

Gama yayınlanmasının yarı ömrü diğer bozunumlarla kıyaslandığında çok kısadır, genellikle 10^{-9} saniyeden daha küçüktür, ancak saat, hatta gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlanması da vardır. Enerji spektrumları ise kesiklidir.

1.6.5. Radyasyon Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonun madde üzerindeki etkisi, radyasyonun maddede ne kadar iyonizasyon meydana getirdiğine bağlıdır. Etki ise radyasyon tipine ve enerjisiyle alakalıdır. Radyasyon etkilerini ve aktiviteyi belirlemek amacıyla çeşitli birimler kullanılmaktadır. ICRU (International Commity of Radiation Units –Uluslar arası Radyasyon Birimleri Komitesi) önce aktivite için Curie (Ci), soğrulan doz için Rad, eşdeğer doz birimi için rem ve ışınlama (poz) için de Roentgen birimlerini kabul etmiştir. 1971 senesinde ICRU MKS birim sisteminin kabulüyle SI birimlerini tanımlamıştır.

Bir radyoaktif madde miktarı saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunma meydana getiriyorsa aktivitesi eski birimlere göre 1 Curie (Ci) olarak tanımlanır. Büyüklüğü nedeniyle genellikle alt birimleri olan μCi ($=10^{-6}$ Ci) ve pCi ($=10^{-9}$ Ci) kullanılır. Yeni birim Becquerel (Bq) olup saniyede 1 bozunma meydana getiren madde miktarı olarak tanımlanır.

Soğrulan doz için eski birim rad (Radiation Absorbed Dose), herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg' lik enerji emilmesine eşittir. SI birim sistemine göre soğrulan doz birimi Gray (Gy) olup tanımı 1 kilogramlık herhangi bir maddeye 1 joule enerji verebilen radyasyon dozudur.

Eşdeğer doz birimi, iyonize edici radyasyonların biyolojik madde üzerindeki etkisini belirtmek amacıyla kullanılır. Biyolojik etki radyasyonun geçişte bıraktığı enerjile doğru orantılıdır. Eski eşdeğer doz birimi rem' dir (Roentgen Equivalent Man). Yeni birim ise Sievert (Sv)' dir. Boyutu Joule/kg' dir.

Işınlama (doz) birimine SI sisteminde yeni bir isim verilmemiştir. 1 Roentgen (R) Normal şartlarda, yani 760 mmHg ve 0 °C' de havanın 1 kilogramında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb değerinde artı ve eksi yüklü iyonlar meydana getiren X ışını ve γ miktarı olarak tanımlanır. Bu birim soğurucunun değil radyasyon demetinin niteliği hakkında bilgi verir. Çizelge 1.3'de radyoaktivite birimleri ve aralarındaki ilişki verilmiştir (Atakan, 1990)

Çizelge 1.3. SI Birim Sistemindeki Radyoaktivite Birimleri (Atakan, 1990)

Nicelik	Ölçülen	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birim	Dönüşüm Çarpanı
Aktiflik	Bozunma Hızı	Bq	Ci	$2,7 \times 10^{-11}$
Soğurulan Doz	Enerji Soğurulması	Gy	Rad	100
Eşdeğer Doz	Biyolojik Etkinlik	Sv	Rem	100
Işınlama	Havadaki İyonlaşma	Roentgen	R	3876

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

1984 yılında, Yunanistan'da Kamari ve Thessaloniki isimli termik santrallerden alınan uçucu küllerin, çimento ürünlerine ve diğer inşaat malzemelerine belirli oranlarda katkılanmasıyla oluşan radyolojik riskin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Örneğin K-40 için aktivite değerleri, portland çimentosu (OPC) ile %6 uçucu külün katkılanmasıyla Kamari termik santralinde 210 Bq/kg ölçülürken Thessaloniki termik santralinden alınan örneklerde ortalama aktivite konsantrasyon değerinin altında kalmıştır. OPC ile %10 uçucu külün katkılanmasıyla, Kamari termik santralinde 210 Bq/kg ve Thessaloniki termik santrali için 78 Bq/kg bulunmuştur. OPC ile uçucu kül %20 oranında katkılanmasıyla Kamari termik santralinde 230 Bq/kg ve Thessaloniki termik santralinde için 260 Bq/kg bulunmuştur. Ra-226 için aktivite değerleri, uçucu külün %6 katkılanmasıyla Kamari termik santrali için 32 Bq/kg, Thessaloniki termik santrali için 48 Bq/kg bulunmuştur. Uçucu külün %10 katkılanmasıyla Kamari termik santrali için 71 Bq/kg değeri bulunurken Thessaloniki termik santralinden alınan örneklerde ortalama aktivite konsantrasyon değerinin altında kalmıştır. Uçucu külün %20 katkılanmasıyla Kamari ve Thessaloniki termik santralleri için sırasıyla 160, 118 Bq/kg bulunmuştur. Radyum eşdeğer aktivitesi ise Kamari termik santralinden % 0 oranında alınan uçucu külle katkılanmış çimento için 7 Bq/kg'dır. %10 oranında uçucu külle katkılanmış çimento için 11 Bq/kg dır. %20 oranında uçucu külle katkılanan çimentoda ise 17 Bq/kg bulunmuştur. Thessaloniki termik santralinden alınan uçucu küllerle çimentonun katkılanma oranları %0, %10, %20 için sırasıyla 8, 11, 11 Bq/kg bulunmuştur (I. Siotis ve ark., 1984).

1997 yılında, Muğla'nın Yatağan ve Milas ilçelerinde bulunan linyit yakıtlı termik santrallerin civarından toplanan kömür, uçucu kül ve taban külü gama spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Kömür için, U-238, Th-226, K-40 aktivite değerleri sırasıyla 4-25 ppm, 3-16 ppm, 218-596 ppm bulunmuştur. Elektrosatik filtreden kaçan uçucu küllerin U-238, Th-226 ve K-40 aktivite değerleri sırasıyla 21-43 ppm, 10-31 ppm ve 252-936 ppm bulunmuştur. Ra-226 konsantrasyon eşitliği ise

kömür ve uçucu kül örnekleri için sırasıyla 2.3-14 pCi/gr ve 13-21 pCi/gr olarak bulunmuştur (G. A. Ayçık ve ark., 1997).

1998 yılında, Polonya'nın Lodz bölgesinde termik santrallere yakın iki bölgeden alınan toprak örnekleri referans seçilen noktadan, 0-5-10-30-150 metre uzaklığından alınan örneklerin radyolojik karakteristiği gama ışın spektrometresi kullanılarak kıyaslanmıştır. Toprak örneklerindeki U-238 ve Th-232 doğal radyonüklitlerin aktivitesi 7,5 ile 77 Bq/kg oranında bulunmuştur (E.M. Bem ve ark., 1998).

1998 yılında, Amerika'daki Kentucky termik santralinden alınan 150-250 gram uçucu kül ve taban külü örnekleri gama spektroskopisiyle ölçülmüştür. Uçucu kül ve taban külü Pb-214 için sırasıyla 0.25-0.34 dpm/gr ve Ra-226 için 0.45-0.53 dpm/gr bulunmuştur (R. A. Zielinski ve ark., 1998).

2003 yılında Hindistan'da 15 adet toprak numunesi toplanarak Ra-226, Th-232, K-40 için aktivite değerleri sırasıyla 44.21, 93.10, 174.48 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ayrıca Ra_{eq} 191.09 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bulunan değerlerin limit değerinin altında olduğu gözlenmiştir (S. Singh ve ark., 2003).

2004 yılında yapılan bu çalışmada uçucu kül, kum ve süngertaşı örnekleri incelenmiştir M.J. Anagnostakis ve arkadaşları gama spektroskopisi yöntemi ile inşaat malzemelerindeki doğal radyo nüklidleri belirlemek için çalışmışlardır. (M. J. Anagnostakis ve ark., 2009).

2004 yılında, Polonya da gama ray ile yapılan bu çalışmada kaya ve toprak örnekleri içerisindeki doğal radyonüklit oranlarının belirlenmesini amaçlamıştır. K-40, Th-232, Ra-226 ve Cs-137 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 320-1200, 25-62, 31-122 Bq/kg ve 4001-154 Bq/m² arasında değişen değerlerde bulunmuştur (D. Malczewski ve ark., 2004).

2005 yılında, Hindistan'da uçucu kül kömür çimento ve toprak örneklerinin radon aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Uçucu kül için 1435 Bq/m³, kömür için 1989 Bq/m³, çimento için 482 Bq/m³ ve toprak için 1803 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Çimento örneklerinin uçucu küle katkılanmasıyla radon aktivitesinin arttığı gözlenirken, toprak örneklerinin uçucu küle katkılanmasıyla radon aktivitesinin azaldığı gözlenmiştir. Çimentonun %0 uçucu küle katkılanmasıyla radon aktivitesi 482 Bq/m³ iken çimentonun %50 uçucu küle katkılanmasıyla radon

aktivitesi 1412 Bq/m^3 olarak arttığı gözlemiştir. Toprağın uçucu kütle %0 ,%50 oranlarında katkılanması ile sırasıyla 100 ve 60 Bq/m^3 olarak azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, toprağın gözenekli yapıda olmasından dolayı radonun bu gözeneklerden kaçması sonucunda, çimentoya oranla değerlerinin düşük olduğu belirtilmiştir (R.Kumar ve ark., 2005).

2005 yılında, Pakistan'ın Lahore kentinin 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm ve 20-25 cm derinliklerinden alınan toprak örneklerinin radyolojik karakteristiği incelenmiştir. Her bir derinlikten 25 tane toprak örneği toplanmış ve gama spektroskopisinde 65 000 sn sayılmıştır. 0-5 cm için K-40, Th-232, Ra-226 değerleri sırasıyla 545.3, 47.5, 24.7 Bq/kg olarak bulunmuştur. 5-10 cm için K-40, Th-232, Ra-226 değerleri sırasıyla 593.9, 49.7,28.2 Bq/kg, 10-15cm için K-40, Th-232, Ra-226 değerleri sırasıyla 524.8, 53.6, 25.5 Bq/kg, 15-20 cm için K-40, Th-232, Ra-226 değerleri sırasıyla 601.6, 50.6, 25.2 Bq/kg, 20-25 cm için K-40, Th-232, Ra-226 değerleri sırasıyla 545.3, 45.4, 25.5 Bq/kg olarak bulunmuştur (N. Akhtar ve ark., 2005).

2005 yılında, Sedat Avcı Türkiye'de bulunan termik santralleri incelemiş ve çevresel etkilerini araştırmıştır (S. Avcı, 2005).

2006 yılında Pakistan'ın Faisalabad kentinden alınan 250 ekili tuzlu toprak ve verimsiz tuzlu toprak üzerinden yapılan analiz sonuçları UNSCEAR raporuna göre değerlendirilmiştir ve limit değeri aşmadığı tespit edilmiştir. K-40 için verimli ve verimsiz toprak değerlerinde sırasıyla 499-609, 563-629 Bq/kg, Cs-137 için sırasıyla 3.57-3.63, 1.98-5.15 Bq/kg, Ra-226 için 24-29, 27-33 Bq/kg ve Th-232 için 49-54, 46-62 Bq/kg arasındaki değişen değerlerde bulunmuştur (M. Tufail ve ark., 2006).

2007 yılında, Ankara'da yapılan bu çalışma da Çayırhan Termik Santrali'nden alınan linyit kömürü ve onun kül ve toprak örnekleri incelendi. Kıyaslama için termik santralin 4 km güneyinden numune toplanmıştır. Ra-226, Th-232 ve K-40'ın aktivite konsantrasyonları sırasıyla 57.82, 30.45 ve 322,21 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bütün örnekler için ortalama radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}), hava-soğurum doz oranı (D), yıllık etkin doz ve dış doz oranı (H_{ex}) sırasıyla 123.9 Bq/kg, 58.90 nGy/h, 71.99 $\mu\text{Sv/y}$ ve 0.34 olarak bulunmuştur. Örneklerin radyum eşdeğer aktivite değeri limit değerden (370 Bq/kg) daha düşüktür. Bu radyonüklitler

için ölçülen aktivite konsantrasyonları diğer ülkelerin rapor edilen verileriyle karşılaştırılmıştır (U. Çevik ve ark., 2007).

2007 yılında, Rize’de toprak ve sediment örneklerinin radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple Fırtına Vadisi civarından toprak ve sediment örnekleri toplanmıştır. Yüzeyin 0-15 cm derinliğinden alınan örnekler 30 gün bekletilip gama spektroskopisinde 50000 saniye sayılmıştır. 1-59 km deniz seviyesi referans alınarak ölçüm yapılmış ve U-238; 11-118, Th-232; 10-105, K-40; 105-1235 Bq/kg olarak bulunmuş ve diğer ülkelerle kıyas yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmanın gelecekteki araştırmalar ve veri eldesi için faydalı bir radyolojik harita olabileceği belirtilmiştir (A. Kurnaz ve ark., 2007).

2007 yılında, İç Anadolu’da kullanılan inşaat malzemeleri, hammaddeler ve iç kaplama malzemelerindeki doğal radyoaktivite miktarı üzerine yapılmış bir çalışmadır. Türkiye’de kullanılan inşaat malzemeleri (tuğla ve çimento), hammaddeleri (uçucu baca külü ve toprak) ve iç kaplama malzemelerindeki gama ışınması miktarının Bq/kg biriminde ölçülmesi amaçlanmıştır. Çalışılan bölgede ortalama radyoaktivite değerleri uçucu kül için 632.2 Bq/kg, tuğla için 4.4 Bq/kg, toprak için 73.3 Bq/kg, çimento için 306.6 Bq/kg ve alçı için 302.3 Bq/kg olarak bulunmuştur. Sonuçlar orta Türkiye’de kullanılan inşaat malzemelerinin 1.0 mSv/yıl değerinin altında olduğunu gösterdiğini ancak çimentonun bir bileşeni olan uçucu kül için bu değer 1.0 mSv/ yıl değerinin üzerinde olduğu bulunmuştur (A. Erkan, 2007).

2008 yılında, Afşin Elbistan Termik Santrali’nin civarından alınan toprak örneklerinin radyolojik karakteristiği gama spektroskopisi yöntemi ile belirlenmiştir. Buna ek olarak santralde kullanılan kömür örnekleri sonucunda ortaya çıkan uçucu kül ve curuf örneklerinin doğal radyoaktiviteleri Ra-226, Th-232 ve K-40 sırasıyla 167, 44 ve 404 Bq/kg’dir. $R_{a_{eq}}$, havadan absorblanan doz, yıllık etkin doz ve H_{ex} sırasıyla 258 Bq/kg, 121 nGy/h, 148 μ Sv, 0.7 bulunmuştur (U. Çevik ve ark., 2008).

2008 yılında, Sırbistan ve Bosna Hersek ülkelerinden alınan 16 toprak örneklerinde Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137, U-238 ve U-235 değerleri için aktivite konsantrasyonları sırasıyla 5.1-128, 6.8-72, 60-821, 2.1-68, 6.5-228, 0,4-9 Bq/kg olarak bulunmuştur. Yıllık etkin doz oranı ortalaması 0.08mSv olarak bulunmuş ve

bu değerin dünya yıllık ortalama doz değeri olan 0.48mSv'dan düşük olduğu belirtilmiştir (M. Janković ve ark., 2008).

2009 yılında, Küçük Menderes havzası topraklarında 2002-2004 boyunca sürdürülen bu radyolojik çalışmada toplanan 105 toprak örneğinde doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları HPGe gama spektrometre sistemi ile ölçülmüştür. Tarım topraklarında Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 17-76 Bq/kg, 17-51 Bq/kg ve 226-1305 Bq/kg aralığında değiştiği gözlenmiştir. Çalışma altındaki bölgede, topraklarda ölçülen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarına dayalı olarak ortalama karasal gama doz hızı 59 nGy/h hesaplanmıştır ve bu kaynaklardan insanların maruz kaldığı yıllık ortalama etkin doz eşdeğeri 70 µSv /y tahmin edilmiştir. Radyolojik risk açısından bu değerlerin literatürde verilen sınır değeri aşmadığı gözlenmiştir (Y. I. Camgöz ve ark., 2009).

2009 yılında A.A. Naqvi ve arkadaşları Arabistan'da anlık gama analizi yardımıyla katkılı çimento örneklerinde uçucu kül, silis dumanı ve superpozz incelenmiştir. Katkılı çimentoya bu materyallerin eklenmesi, katkılı çimento betonunda silisyum ve kalsiyum konsantrasyonunu değiştirdiğini gözlemişlerdir. Ayrıca gama ışını yoğunluk oranı kalsiyumdan (Ca) 6.42 MeV gama ışını ve silikondan (Si) 4.94 MeV gama ışını olarak ölçülmüştür (A.A. Naqvi ve ark., 2009).2010 yılında, Polonya'da Bedzin ve Katowice isimli iki termik santral civarından alınan 24 adet uçucu kül örnekleri gama spektroskopisi yöntemiyle radyolojik açıdan incelenmiştir. Aktivite oranları Ra-226 için 85.4 Bq/kg, K-40 için 689 Bq/kg, Th-232 için 100.8 Bq/kg, U-235 için 135.5 Bq/kg ve U-238 için 50 Bq/kg olarak bulunmuştur (D. S. Danielowska, 2010).

2009 yılında, Arabistan'da anlık gama tekniği ile yapılan bu çalışmada, yüksek fırın curufu, uçucu kül ve silisli toprak portland çimentosuna eklendiği zaman yoğunluğunun arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, beton çimento içerisindeki klorid konsantrasyonunun ağırlıkça yüzdesi 1.16 ve 6.11 MeV için sırasıyla 0.022 ± 0.007 ve 0.038 ± 0.017 olarak bulunmuştur (A.A. Naqvi ve ark., 2009).

2010 yılında Türkiye'de 15 termik santralden alınan uçucu kül örnekleri gama spektroskopisi yöntemi ile incelenmiş ve aktivite değerleri K-40 için 12-2974 Bq/kg, Th-232 için 9-696 Bq/kg ve Ra-226 için 17-2720 Bq/kg olarak bulunmuştur.

Bu elde edilmiş olan veriler ile Avrupa ülkelerindeki ortalama değerler olan Ra-226, Th-232, K-40 için 180, 100 ve 650 Bq/kg değerleri arasında kıyaslama yapılmıştır. Türkiye'deki uçucu küllerin ölçümü sonucunda Ra-226 değerinin Çatalağzı, Çolakoglu-2, Seyitömer ve Sugözü termik santralleri için Avrupa'nın ortalama değerinden düşük iken Th-232'nin Çatalağzı, Orhaneli, Soma, Tunçbilek ve Yatağan termik santrallerindeki değeri Avrupa ortalamasını üstüne çıktığı gözlenmiştir (Ş. Turhan ve ark., 2010).

2010 yılında, Filipin bölgesindeki 4 termik santralden alınan kömür dibi külü ve uçucu kül örnekleri gama spektroskopisiyle analiz edilmiştir. Ra-226 için aktivite değerleri 1.84 -11.70 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Ra-228 için 1.72-13.65 Bq/kg aralığında elde edilmiştir. K-40 için 13.90-80.23 Bq/kg, Th-232 için 2.6-15.8 Bq/kg, U-238 için 2.6-13.7 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Bu ölçümler daha önceden Hong-Kong için bulunan aktivite değerleri (Ra-226, Ra-228, K-40 için sırasıyla 17, 20, 24 Bq/kg) ile kıyaslanmıştır (V.K. Parami ve ark., 2010).

2010 yılında Türkiye'de bulunan kömür yakıtlı 11 termik santralden toplanan uçucu küller %10, %20, %30 oranında çimentoyla katkılanarak gama spektroskopisi yöntemi ile radyolojik analizi yapılmıştır. Soma termik santrali için uçucu kül ile %10 oranında katkılanmış çimento örneğinde aktivite değerleri Ra-226 için 19.6-36.5 Bq/kg, %20 katkılanmasıyla 37.5-64 Bq/kg ve %30 katkılanmasıyla 67.0-153.0 Bq/kg aralığında bulunmuş ve katkılanmanın artmasıyla aktivite değerinde artış olduğu gözlenmiştir. Th-232 için %10, %20, %30 oranında katkılanmış çimento örnekleri için sırasıyla 4.0-7.3, 7.0-10.0, 7.0-14.1 Bq/kg aralığında bulunmuştur. K-40 için ise %10 %20 %30 oranında katkılanma yapılarak aktivite değerleri sırasıyla 34.5-40, 42.9-73, 70-106 Bq/kg aralığında bulunmuştur (Ş. Turhan ve ark., 2010).

2011 yılında yapılan bu çalışmada düşük kalorili yani 2000 k/cal kömürle çalışan termik santrallerden alınan uçucu küllerin kar ile katkılanması sonucunda, içerisindeki radyonüklit oranlarının %42 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Böylece daha hafif bir malzeme elde edildiği için daha kullanışlı olduğu ve taşıma maliyetinin düştüğü belirtilmiştir. Uçucu kül ve kar katkılı uçucu küllerin oranları sırasıyla; U-235 için 12 ve 7 Bq/kg, Ra-226 için 248 ve 154, U-238 için 207 ve 142 ve Th-232 için 51 ve 35 olarak bulunmuştur (G. Baykal ve ark., 2011).

2011 yılında, Arabistan'ın Katar kentinde inşaat materyallerinden (Beyaz çimento, kum, Katar ve Suudi çimentosu) alınan 20 numunenin Ra, Th ve U değerleri gama-ray ile incelenmiştir. İnşaat materyalleri için UNSCEAR tarafından verilen uluslar arası ortalama aktivite konsantrasyonları (Ra-226, Th-232, K-40 sırasıyla 50, 50 ve 500 Bq/kg) ile karşılaştırılmış ve Ra-226, Th-232 ve K-40 için sırasıyla 23.4 ± 0.3 , 12.1 ± 0.2 ve 159 ± 4 Bq/kg bulunmuştur (H. Al-Sulaiti ve ark., 2011).

2011 yılında, Hindistan'da 5 farklı termik santrallerden alınan kömür, uçucu kül ve taban külü örnekleri incelenmiştir. Bu örneklerden uçucu kül içindeki As, Hg, Pb, Cd gibi toksik elementlerin konsantrasyonları sırasıyla $0.19-0.35$ $\mu\text{g/g}$, $0.51-2.13$ $\mu\text{g/g}$, $7.6-35.3$ $\mu\text{g/g}$ ve $0.6-0.93$ $\mu\text{g/g}$ değerler aralığında bulunmuştur. Taban külü için sırasıyla $0.1-0.29$ $\mu\text{g/g}$, $0.41-1.58$ $\mu\text{g/g}$, $8.8-28.28$ $\mu\text{g/g}$ ve $0.49-0.79$ $\mu\text{g/g}$ olarak bulunmuştur (R. C. Bhangare ve ark., 2011).

3. MATERYAL VE METOD

3. 1. Radyasyon Dedeksiyon ve Ölçüm Yöntemleri

3.1.1. İyonizasyon Dedektörleri

3.1.1.1. İyonizasyon İşlemi

İçerisinde gaz bulunan kapalı bir ortam ve aralarına elektrik alan uygulanacak anot ve katot dikkate alınsın. Bu ortama gelen radyasyon gaz atomları ile etkileşerek atomik uyarma ve iyonizasyona neden olacak ve enerjisini kayıp edecektir. İyonizasyon sonucunda oluşan serbest elektronlar ve pozitif iyonlar, elektrotlar ara sıra uygulanan alanın etkisiyle anot ve katoda ulaşarak bir iyon akımı meydana getirirler. Birçok gazda iyonizasyon enerjisi 10-20 eV mertebesindedir, ancak radyasyon enerjisi her zaman iyonizasyona değil gaz atomlarının uyarılmasında harcanabilir. Gaz içerisinde bir iyon çiftinin oluşması için gerekli enerji 30-35 eV civarındadır.

3.1.1.2. İyon Odaları ile Radyasyon Doz Ölçümleri

İyon odalarının en önemli kullanım alanlarından bir tanesi gama ışınlamasının ölçülmesidir. Işınlama havada meydana gelen iyon çiftlerinin sayısı olarak tanımlandığı için hava iyon odaları en uygun sistemlerdir. Hava eş değeri bir iyon odasında ışınlama hızı R (C/kg olarak) verilir.

3.1.1.3. İyon Odalarının Tasarımları

İyon odalarının yapımlarında farklı elektrot tasarımları vardır. Elektrotların paralel plaka şeklinde yapılmasıyla homojen bir elektrik alan elde edilir. Bir başka yöntem ise silindirik geometridir. Silindirin dış kabuğu toprak potansiyelindedir ve merkezi bir iletken çubuğa yüksek bir potansiyel uygulanır.

$$E=V/(r \ln b/a) \quad (3.1)$$

Burada a, anodun b ise katodun yarıçapıdır. V ise potansiyel farkıdır.

3.1.2. Orantılı Sayaçlar

Orantılı Sayaçlar iyon odalarına çok benzerler, gelen radyasyonun oluşturduğu orijinal iyon çiftlerinin gaz atomları etkileşmeleri prensibine göre ve daima puls modunda çalışırlar. Daha çok alçak enerjideki x ışınlarının dedeksiyon ve spektroskopisinde, nötron dedeksiyonunda kullanılırlar.

3.1.2.1. Gaz Çoğalması

Elektrik alanın ufak değerlerinde elektron ve pozitif iyonlar elektrotlara doğru hareket ederlerken ortamdaki nötral gaz molekülleri ile birçok etkileşme yaparlar. Artan alan şiddetiyle serbest elektronlar daha fazla kinetik enerji kazanırlar. Bu enerji gaz moleküllerin iyonizasyon enerjisinden daha fazla ise bu etkileşmeler sonucunda ilave iyon çiftlerinin oluşması mümkündür. İkincil iyonizasyon işlemiyle serbest kalan elektronlar elektrik alan etkisiyle hızlanarak diğer gaz molekülleriyle çarpışır ve ek iyonizasyon olaylarına neden olurlar. Gazın iyonizasyonu şelale gibi devam eder ve Townsend çığı olarak isimlendirilir.

3.1.3. Geiger –Müeller Dedektörleri

Geiger-Müeller dedektörleri çalışma prensibi iyonizasyona dayanan diğer bir gaz odası sistemidir. Tüpte uygulanan elektrik alanın yüksek olması nedeniyle meydana gelen çığ çok şiddetlidir ve her çığ başka bir çığ oluşturur. Puls genlikleri çok büyük olup 10^9-10^{10} iyon çiftinden oluşur.

3.1.3.1. Geiger Boşalımı

Tek bir elektron tarafından yaratılan tipik bir Townsend çığında ikincil elektronlara ilave olarak elektron etkileşmelerinin neden olduğu birçok uyarılmış gaz molekülü meydana gelir. Uyarılmış gaz molekülerli taban seviyeye inerler ve fotonlar salınır. Bu fotonların katot yüzeyinde ya da gazın bir başka bölgesinde yapacakları fotoelektrik etkileşmeler sonucu oluşan elektronlar anoda ulaşarak yeni çığların ortaya çıkmasına neden olurlar.

3.1.3.2. Ölü Zaman

Eğer bir Geiger boşalımının hemen sonrasında, elektrik alanın kritik değerinin altında olduğu bir anda yeni bir iyonizasyon etkileşmesi meydana gelirse bu etkileşmeye ait ikinci puls gaz çoğalımı olmadığı için gözlenmeyecektir bu zaman boyunca tüp ölüdür ve bu süre içerisinde tüm etkileşmeler kayıp olacaktır.

3.1.4. Sintilasyon Dedektörleri

İyonize radyasyonun bazı maddelerde oluşturduğu sintilasyon ışığı ile algılanması eski yöntemlerden biri olup, farklı radyasyonların dedeksiyonu ve spektroskopisinde en yararlı tekniklerden bir tanesidir.

3.1.5. Yarı İletken Radyasyon Dedektörleri

En yaygın olarak kullanılan yarı iletken dedektörler silikon ve germanyumdan yapılmışlardır. Önemli özellikleri aşağıda verilmiştir.

- 1-Geniş bir enerji aralığında radyasyona karşı yanıtları doğrusaldır.
- 2-Belirli bir boyut için etkinlikleri yüksektir.
- 3-Farklı geometrik tasarımlarda yapılmaları mümkündür.
- 4-Puls doğma zamanları hızlıdır.

5-Vakum altında çalışırlar.

6-Magnetik alanlara karşı hassas değillerdir.

Bu çalışmada, radyokimyasal ayırma işlemlerine gerek duyulmadan doğrudan, tahribatsız, hızlı ve radyonüklitleri aynı anda ölçme imkânı sağlayan ve nicel olarak aktivitelerinin ölçülmesine imkan veren yarı iletken dedektörlerin kullanıldığı gama spektrometrik yöntem kullanılmıştır.

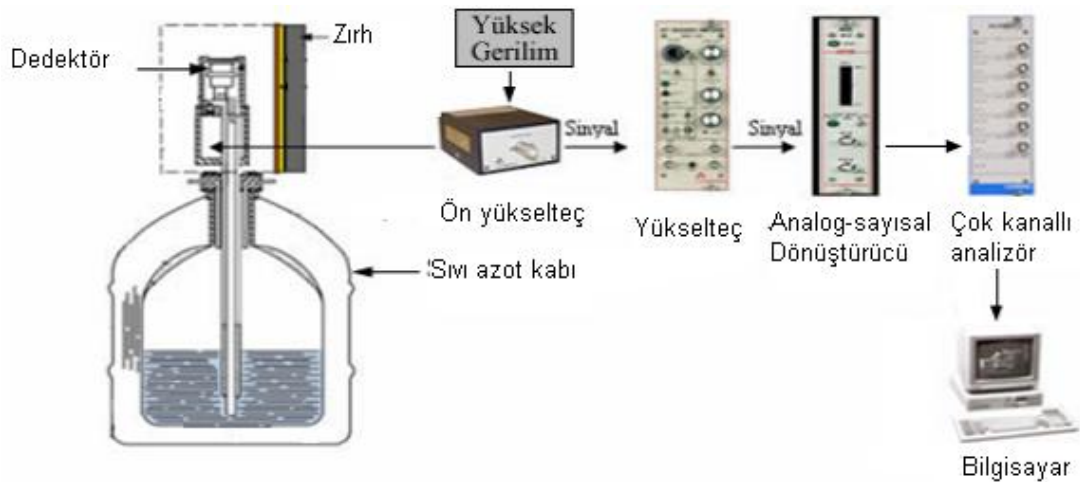
3.2. Gama Spektrometre Sistemi

Ölçümler çizelge 3.1' de özellikleri verilen bir kuyu tipi HPGe dedektör (Canberra GCW4023) ile yapılmıştır. Detektör, ortamdaki doğal fon radyasyonunun etkisini en aza indirmek için Canberra Model 747 zırhı ile zırhlanmıştır. Zırh 9.5 mm kalınlığındaki çelik iskelet içinde 10 cm kalınlığında kurşundur. Ayrıca zırhın iç kısmı 72-88 keV enerji aralığındaki kurşun X-ışınlarını önlemek amacıyla 1 mm kalınlığında kalay ve kalay X-ışınlarını (24-28 keV) önlemek için 1.6 mm kalınlığında bakır ile kaplanmıştır. Zırhın taban kısmında halka şeklinde bir kurşunla kapatılmış 11.4 cm çapında boşluk vardır. Bu boşluktan dikey geometrili kriyostat ve dedektör kabloları geçmektedir. Zırh içindeki saçılan radyasyonu en aza indirmek için dedektör zırhın merkezine yerleştirilmiştir. Azot soğutması için 30 L hacminde, çift duvarlı (vakumlu) bir sıvı azot kabı kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. HPGe dedektörlerinin özellikleri

Dedektör modeli	Canberra HPGe Detector
Bağıl verim	%50
Enerji ayırma gücü ve pik/Compton oranı ^{60}Co 'ın 1332,5 keV enerjideki yarı maksimumdaki tam genişliği	1,94 keV ve 69.8:1
Dedektör geometrisi ve kristal tipi	Kapalı uçlu, eş eksenli ve p-tipi Ge
Çapı ve yüksekliği	65.5 mm ve 62.5 mm
Pencere malzemesi, kalınlığı	Al, 1 mm ve 15,9 cm ²
Pencereden uzaklık	5 mm
Kriyostat ve azot kabı	Dikey geometrili

Dedektör beslenmesi için gerilimi Canberra 3106D yüksek gerilim güç kaynağı ile sağlanmıştır. Canberra 2002CLS direnç geri beslemeli ön yükselteç ve Canberra 2025 spektroskopi yükselteci ile puls işleme yapılmıştır. Spektrum, Genie™2000 versiyon 3.0 gama spektroskopi yazılımı ile kontrol edilebilen 14 bit sabit dönüşüm zamanlı analog sayısal dönüştürücülü, 16K Dönüştürme kazançlı Canberra Multiport-2 çok kanallı analizör ile kaydedilmiştir.



Şekil 3.1. Yüksek Saflıktaki Germanyum Dedektörlü Gama Spektrometresi (Solmaz 2008).

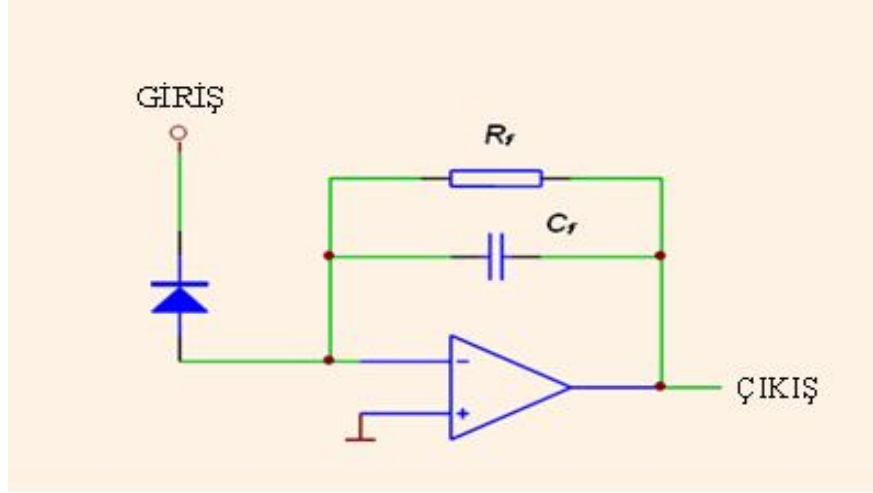
3.2.1. Yüksek Safılıkta Germanyum Yarı İletken Dedektörleri

Germanyum dedektörler, iç bölgesi iyonlaşmış radyasyona, özellikle x ışınları ve gama ışınlarına hassas olan P-N yapısında yarı iletken diyotlardır. Foton dedektörün boşaltılmış hacmi içerisinde fotonla etkileştiğinde yük taşıyıcıları üretilir ve elektrik alanla P ve N elektrotlarına sürüklenir. Gelen foton tarafından dedektörde depolanan enerji ile orantılı bu yük hassas ön yükselteç ile atma'ya dönüştürülür (Gilmore, 2000).

Germanyum düşük bant aralığına sahip olduğu için bu dedektörler yük taşıyıcılarının ısısal üretimini (zıt sızıntı akımı) kabul edilebilir bir seviyeye azaltmak için soğutulmalıdır. Aksi takdirde, sızıntı akımın indüklediği gürültü dedektörün enerji çözünürlüğünü yıkar. 77 K sıcaklığa sahip sıvı azot bu tür dedektörler için yaygın soğutma ortamıdır. Dedektör LN2 kriostata yerleştirilen veya bağlanan vakum odasına monte edilmiştir. Böylece hassas dedektör yüzeyleri nem ve diğer bulaşmalardan korunur.

3.2.2. Ön Yükselteç

Gama-ışınlarının dedektör ile etkileşmesi sonucunda oluşan yük ön yükselteç ile toplanır. Ön yükselteçte puls şekillendirmesi yapılmaz. Dedektöre yüksek empedans vererek yükselteç ve dedektör arasında bir empedans uyum sağlayıcı olarak görev yapar. Ön yükselteçler akıma, gerilime ve yüke hassas olmak üzere farklı şekilde tasarımlanabilirler. Yüksek çözünürlüklü gama spektrometresinde, genellikle kazancın dedektör kapasitansından bağımsız olmasından dolayı yüke hassas ön yükselteçler kullanılır (Şekil 3.2) (Gilmore, 2000).



Şekil 3.2. Yüke Hassas Ön yükseltecin Şematik Görünümü (Solmaz, 2008)

Dedektörde oluşan yük, belirli bir süre boyunca C_f kapasitörü ile toplanır. Yük toplandıkça, kapasitördeki gerilim artar. Ön yükselteç girişini bir sonraki pulsa hazırlamak için R_f geri besleme direnci kapasitöre paralel olarak bağlanır. Bu şekilde yapılan ön yükselteçler direnç geri beslemeli ön yükselteç olarak adlandırılır. Çıkış pulsunun doğma zamanı hızlıdır (100–700 ns) ve dedektörün yük toplama özelliklerine göre çıkış atmasının azalım zamanı uzundur. Azalım zamanı geri besleme devresinin $R_f C_f$ çarpımı ile verilen zaman sabiti ile belirlenir. Direnç geri beslemeli ön yükselteçlerde iki önemli sorun vardır. Birincisi çıkış pulsunun azalım zamanının uzun olmasından dolayı art arda gelen atmalar üst üste binmesi diğeri ise R_f geri besleme direncinden kaynaklanan gürültüdür. Bu gürültüyü en aza indirmek için direnç değeri büyük seçilir.

3.2.3. Yükselteç

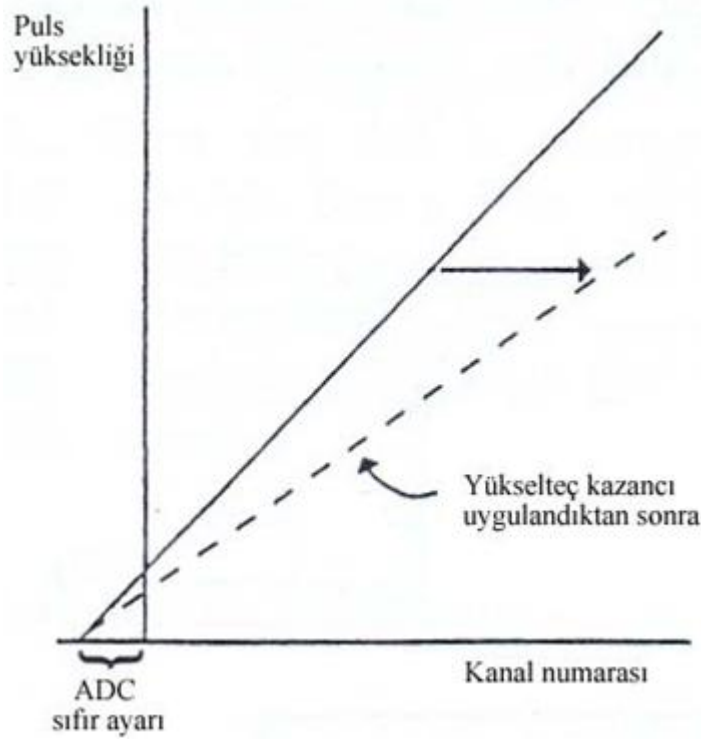
Ön yükselteçten çıkan kuyruklu pulslar, puls yüksekliğinin ölçülmesi için uygun değildir. Bu kuyruklu pulslar yükselteç tarafından büyütülerek daha kısa doğma zamanlı ve çok daha hızlı azalım zamanı olan pulslara dönüştürülürler (Knoll 2000). Şekillendirmenin istenmeyen etkilerini düzeltmek için, yüksek

çözünürlüklü gama spektroskopisinde kullanılan yükselteçlerde sıfır-kutup düzeltmesi ve taban seviye düzeltmesi sağlanır.

3.2.4. Çok Kanallı Analizör

Dedektöre gelen gama-ışını enerjisiyle orantılı yükseklikte oluşan pulsların yükselteçte şekillendirilmesinden sonraki işlem bu pulsların çok kanallı analizörde yüksekliklerine göre sıralanmasıdır. Günümüzde 13 bit, 14 bit spektrum kaydetme hafızasına sahip çok kanallı analizörler nükleer spektroskopide yaygın olarak kullanılmaktadır.

Prensipite çok kanallı analizöre gelen pulsun yüksekliği ve bu puls yüksekliğine karşılık gelen kanal numarası arasındaki ilişki doğrusal olmalıdır (Şekil 3.3). Küçük genlikli gürültü pulslarının engellenmesi için, analog-sayısal dönüştürücü sıfır ayarı yapılmasına imkân verir. Çok kanallı analizörde integral ve diferansiyel olmak üzere iki farklı doğrusallık tanımlanır. İntegral doğrusallık, puls yüksekliği ve kanal numarası arasındaki doğrusallıktan sapmanın ölçüsüdür. Diferansiyel doğrusallık ise kanal genişliklerinin kararlılığını gösterir ve integral doğrusallığa göre daha hassastır.



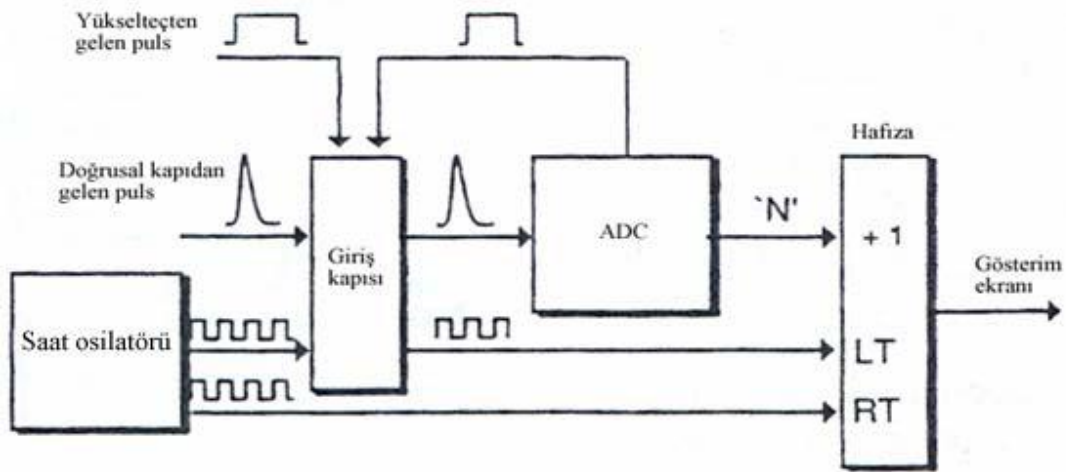
Şekil 3.3. Çok Kanallı Analizörde Kanal Numarası ve Puls Yüksekliği Arasındaki İlişki (Solmaz, 2008)

Spektrum kaydetme hafızası olarak da nitelenen çok kanallı analizörün kanal sayısı 16 K'ya kadar çıkmaktadır. Bu hafıza aynı anda veya bölünerek kullanılabilir. Spektrumun elde edilmesinde kullanılacak kanal sayısı dedektörün ayırma gücüne ve ilgilenilen enerji aralığına bağlı olarak seçilir. Genellikle germanyum dedektörlerde yarı yükseklikteki tam genişliğin, (YYTG) 4 kanala eşit olduğu durum uygun kabul edilir. Germanyum dedektörlerde 1000 keV–1500 keV enerji aralığında YYTG=2 keV olduğundan kanal başına 0,5 keV enerjiye karşı gelmektedir. Bu nedenle ilgilenilen enerji aralığı 2000 keV'den daha yüksek ise pratikte 4096 veya 8192 kanal seçilmesi gerekmektedir.

3.2.5. Analog Sayısal Dönüştürücü

Enerji spektroskopisinde yükselteçten gelen çıkış pulsu (analog sinyal) ADC'de eşdeğer bir sayıya dönüştürülür. Her puls yüksekliklerine göre sıralanır ve uygun bir kanala gönderilir (Şekil 3.4). ADC tarafından kontrol edilen bir giriş kapısı

bir önceki pulsun sayısallaştırılması sırasında ADC'ye puls gelmesini engeller. ADC, meşgul olmadığı süre boyunca giriş kapısını açık tutacak mantık pulsu sağlar. Giriş kapısının açık olduğu süre, bu kapıya yönlendirilen saat osilatörü pulsları ile ölçülür. Bu pulsların sayısı sistemin aktif kaldığı sürenin (live time, LT) ölçüsüdür. Giriş kapısına gönderilmeyen saat osilatörü pulslarının sayısı ise geçen gerçek süreyi (real time, RT) belirler. Şekil 3.4'deki sistemin puls işlemediği süreye ise ölü zaman (DT) denilir ve $DT = RT - LT$ ifadesinden hesaplanır (Knoll, 2000).



Şekil 3.4. Analog Sayısal Dönüştürücünün Şematik Görünümü (Solmaz, 2008)

3.2.6. ADC Ayırma Gücü

Kullanılabilecek toplam kanal sayısıdır. Genelde m-bit ADC, 2^m tane kanalı ifade eder. Örneğin 13 bit ADC, 8192 kanalı kaplayacak şekilde bir dönüşüm yapar. Germanyum dedektörlerle kullanılan sistemlerde genellikle 16384 (6K), 8192 (8K) veya 4096 (4K) kanal bulunur. Ayırma gücü, [İlgilenilen enerji aralığı (keV)/ ADC kanal sayısı] ifadesinden hesaplanır.

3.2.7. ADC Dönüşüm Kazancı

Herhangi bir spektrumun elde edilmesinde kullanılan kanal sayısıdır. Sistemin ayırma gücü 16384 kanal olmasına rağmen, sadece 4096 kanal spektrumda

kullanılabilir, bu durumda dönüşüm kazancı 4096 olacaktır ve 0-10V aralığındaki pulslar 1-4096 arasındaki kanallarda kaydedilecektir. Spektroskopi uygulamalarında üç tip ADC kullanılır. Bunlar 1) Wilkinson tipi ADC, 2) Sabit dönüştürme zamanlı ADC ve 3) Ayraçları paralel bağlı (flash tipi) ADC'dir. Nükleer spektroskopi uygulamalarında yaygın olarak ilk iki tip ADC tercih edilir.

3.3. Aktivite Ölçümü

Gama spektrometrik yöntem, düşük seviyeli aktivitenin ölçülmesinde, oldukça büyük (yaklaşık 4 L'ye varan) hacimli örnekleri genelde tahribatsız (non-destructive) örnek hazırlama usulleri ile hızlı ve pratik şekilde ölçme imkanı vermektedir. Bu yöntemle, yüksek çözme güçlü ve yüksek verimli HPGe dedektörler kullanıldığında 10 keV-10 MeV enerji aralığında gama ışını yayınlayan her türlü radyonüklitin aktivitesi belirlenebilmektedir. Bu nedenle HPGe dedektörlü gama spektrometresi, genelde oldukça düşük aktivite içeren çevresel ve gıda örneklerinde çok etkin olarak kullanılmaktadır ve yüksek doğrulukta sonuç vermektedir. Yöntem, diğer her türlü NORM ve TENORM maddelerin (çevresel ve sanayi atıkları, adi atıklar, sanayi ham maddeleri ve ürünleri, yapı malzemeleri) içerebileceği aktivitelerin belirlenmesinde de kullanıldığı gibi, yüksek aktiviteler içeren nükleer atıkların ölçümüne de uygundur.

Uygulamada aktivitenin ölçülmesinde iki yöntem kullanılır:

1. Örneğe uygun bir standart olmaması durumunda sistemin sayım geometrisine uygun mutlak verimin kullanıldığı doğrudan aktivite belirleme yöntemi,
2. Örnekle özdeş bir standart olması durumunda verim tayini gerektirmeyen ve daha kolay standartla karşılaştırma yöntemi.

3.3.1. Doğrudan Aktivite Ölçüm Yöntemi

Bu yöntemde örneğin aktivitesinin belirlenmesi için, daha önceden örnek ile aynı geometride ölçülen standart kaynaklar ile elde edilen mutlak verim eğrisinden hesaplanan verim değerleri kullanılır. Örnekte bulunan radyonüklitin ilgilenilen enerjisindeki aktivitesi

A_x : Örneğin aktivitesi.

m_x : Örneğin kütlesi.

t_x : Örneğin sayım süresi.

ϵ : Dedektör verimi.

f_γ : Gama yayınlanma olasılığı.

Sayım / t = Sayım hızı olarak gösterilirse standardın aktivitesi;

$$A_x = \frac{(\text{Sayım})_x / t_x}{\epsilon f_\gamma m_x} \times 1000 \quad (3.2)$$

eşitliğinden hesaplanır.

3.3.2. Standartla Karşılaştırma Yöntemi

Örneklerin aktivitelerinin hesaplanması için alternatif ve güvenilir bir yöntem de, standartla karşılaştırma yöntemidir. Bu yöntemde, örnekleri ölçeceğimiz geometri ile aynı geometride daha önceden aktivitesi bilinen aktif uranyum, toryum ve potasyum standartları ölçülür, sayım hızları bulunur ve gama spektrumları elde edilir. Daha sonra aynı geometride hazırlanan örneklerin her biri en az 86.000 saniye sayım süresi olacak şekilde ölçülür. Standardın aktivitesi bilindiği için sayım hızları oranından örneklerin aktivitesi kolaylıkla, daha güvenli bir şekilde hesaplanabilir. Spektrumlar ilgili radyonüklitler analizörde seçilerek, bilgisayar ortamına transfer

edilmiş, bilgisayar ortamında sayım hızları hesaplanan örnekler standartların sayım hızlarıyla oranlanarak her örneğin özgül aktivitesi hesaplanmıştır.

Bu yöntemin en önemli avantajı, sayım hızları oranlanırken dedektör verimlerinin birbirini yok etmesi ve bunun sonucunda da verime bağlı hataların ortadan kalkmasıdır (Parmaksız, 2004).

A_s : Standartın aktivitesi.

A_x : Örneğin aktivitesi.

m_s : Standardın kütlesi.

m_x : Örneğin kütlesi.

t_s : Standartın sayım süresi.

t_x : Örneğin sayım süresi.

ϵ : Dedektör verimi.

f_γ : Gama yayınlanma olasılığı.

Sayım / t = Sayım hızı olarak gösterilirse standardın aktivitesi;

$$A_s = \frac{(\text{Sayım})_s / t_s}{\epsilon f_\gamma m_s} \times 1000 \quad (3.3)$$

$$A_x = \frac{(\text{Sayım})_x / t_x}{\epsilon f_\gamma m_x} \times 1000 \quad (3.4)$$

İki bağıntı birbirine oranlandığında;

$$\frac{A_s}{A_x} = \frac{\frac{(\text{Sayım})_s / t_s}{\epsilon f_\gamma m_s} \times 1000}{\frac{(\text{Sayım})_x / t_x}{\epsilon f_\gamma m_x} \times 1000} \quad (3.5)$$

$$\frac{A_s}{A_x} = \frac{(\text{Sayım})_s t_x m_x}{(\text{Sayım})_x t_s m_s} \quad (3.6)$$

elde edilir. $(\text{Sayım}/t) = \text{sayım hızı olduğuna göre, ifade yeniden düzenlendiğinde};$

$$\frac{A_s}{A_x} = \frac{(\text{Sayım})_s}{t_s} \times \frac{t_x}{(\text{Sayım})_x} \times \frac{m_x}{m_s} \quad (3.7)$$

$$A_s/A_x = (\text{Sayım hızı})_s m_x / (\text{Sayım hızı})_x m_s \quad (3.8)$$

Buradan A_x çekilirse;

$$A_x = A_s (\text{Sayım hızı})_x m_s / (\text{Sayım hızı})_s m_x \quad (3.9)$$

elde edilir.

Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4’de bu metotta kullanılan radyoaktif standartlar verilmiştir. Çizelge 3.5’ da standartların kütle ve sayım süreleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. IAEA/RGU–1 (Uranyum Standardı)

Element	Derişim
Uranyum	400± 2 µg/g
Toryum	1 µg/g’ dan daha az
Potasyum	20 µg/g’ dan daha az

Çizelge 3.3 IAEA/RGTh-1 (Toryum Standardı)

Element	Derişim
Toryum	800± 16 µg/g
Uranyum	6,3± 0,4 µg/g
Potasyum	0,02± 0,01 µg/g

Çizelge 3.4 IAEA/RGK-1 (Potasyum Standardı)

Element	Derişim
Potasyum	44,8± 0,3 %
Uranyum	0,001 µg/g'dan daha az
Toryum	0,01 µg/g'dan daha az

Çizelge 3.5 Standartların Kütle ve Sayım Süreleri.

	IAEA RGU-1	IAEA RGTH-1	IAEA RGK1	IAEA Soil-375
Sayım Süresi (sn)	24154,3	25804,65	5331,525	1309,37
Kütle (g)	130,1	133,6	178,6	172,7302

3.3.3. Pik Alanı Hesabı

Tek pikin net alanı;

$$S = G - B \quad (3.10)$$

ile elde edilir.

Burada;

S: Net pik alanı,

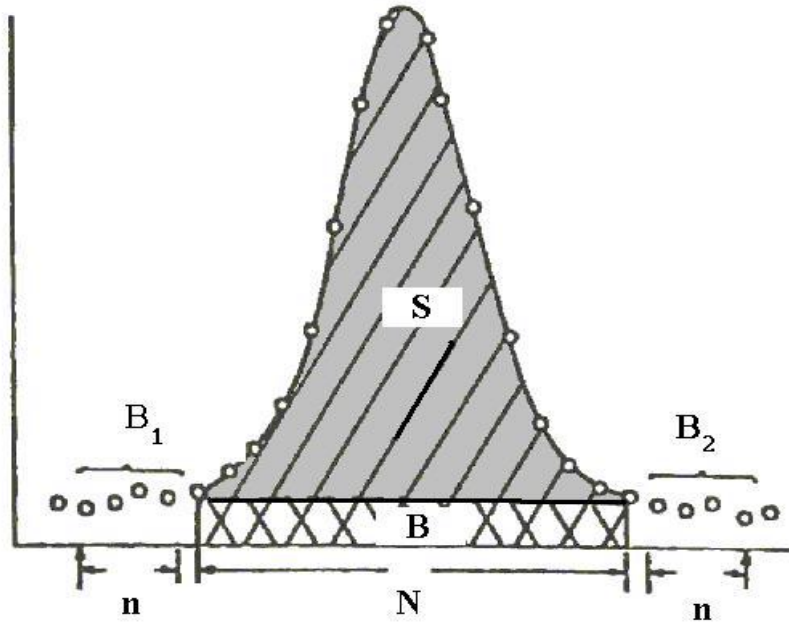
G: İlgili bölgedeki toplam sayım sayısı,

B: Doğal fondur.

Şekil 3.6.'ta gösterilen pikte B alanı,

$$B = \left(\frac{N}{2n} \right) (B_1 + B_2) \quad (3.11)$$

eşitliğinden elde edilir.



Şekil 3.5 Pik Alanı Hesabı (Solmaz, 2008)

Burada ;

N: İlgili pikteki kanalların sayısı,

n: Pikin sağındaki ve solundaki doğal pik kanal sayısı

$$B_1 = \left(\sum_{a=x_1}^{x_1+n-1} x_a \right) / n \quad \text{fotopikin sol tarafındaki doğal fon sayımının ortalaması,}$$

$$B_2 = \left(\sum_{a=x_2-n+1}^{x_2} x_a \right) / n \quad \text{fotopikin sağ tarafındaki doğal fon sayımının}$$

ortalaması,

Net pik alanındaki belirsizlik Şekil 3.6.'de gösterilen bir fotopik için aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$s = \sqrt{G + \left(\frac{N}{2} \right)^2 \frac{(B_1 + B_2)}{n}} \quad (3.12)$$

σ : Standart sapma

G: Pikteki toplam alan (sayım)

N: İlgilenilen pikteki toplam kanal sayısı

n: Seçilen uç kanal sayısı (4 veya 2)

B_1 ve B_2 daha önce tanımlanmıştı. Hesaplanan pik alanındaki sayım istatistiğini yeterli derecede vurgulamak için, “yüzde hatası” aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\% \text{Hata} = m\sigma / N_p \quad (3.13)$$

N_p : Pik alanı

σ : Standart sapma

m: Güven katsayısı

3.3.4. HPGe Dedektörünün Enerji Kalibrasyonu

Bilgisayar hafızasında kaydedilen spektrumların analiz edilmesi için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir.

Enerji kalibrasyonu yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart kaynaklara ihtiyaç vardır. Çizelge 3.6'de genel olarak kalibrasyon için kullanılan standart kaynaklara ait bilgiler verilmektedir. Enerji kalibrasyonu için dedektöre konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek hangi kanallara geldiği tespit edilmiştir.

3.3.5. HPGe Dedektörünün Mutlak Verim Kalibrasyonu

%50 bağıl verimli HPGe dedektörünün verim kalibrasyonunu yapmak için IAEA'dan alınan ve örneklerle aynı geometriye sahip kaplarda hazırlanan RGU (uranyum cevheri), RGTh (toryum cevheri), RGK (K_2SO_4) ve Soil-375 standartları kullanılmıştır. Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4'de bu metotta kullanılan radyoaktif standartlar verilmiştir. Standartlar dedektörün tepesine yerleştirilmiş ve spektrumları elde edilmiştir.

Çizelge 3.6 Standart Kalibrasyon Kaynaklarının Özellikleri

Gama Enerjisi (keV)	Radyonüklit	Yarı Ömür	Yayınlanma Olasılığı (%)	Aktivite (µCi)	Saniyede Gama Çıkışı	Toplam Belirsizlik (%)
88	Cd-109	462,6±0,7gün	3,63	1,437	1,930	3,1
122	Co-57	271,79±0,09gün	85,6	0,05533	1,752	3,0
159	Te-123m	119,7±0,1gün	84,0	0,06398	1,988	3,0
320	Cr-51	27,706±0,007gün	9,86	1847	6,738	3,1
392	Sn-113	115,09±0,04gün	64,89	0,2767	6,643	3,0
514	Sr-85	64,849±0,004gün	98,4	0,3899	14,200	3,0
662	Cs-137	30,17±0,16yıl	85,1	0,2438	7,677	3,0
898	Y-88	106,630±0,025gün	94,0	0,5472	19,030	3,0
1173	Co-60	5,272±0,001yıl	99,86	0,3055	11,290	3,0
1333	Co-60	5,272±0,001yıl	99,98	0,3055	11,300	3,0
1836	Y-88	106,630±0,025gün	99,36	0,5472	20,120	3,0

%50 verimli HPGe dedektöründe, standart ile değişik mesafelerden ölçülerek her mesafe için ortalama veriler bulunmuştur Çizelge 3.7. Şekil 3.7’de deneysel olarak bulunan veriler eğriye uyarlanarak dedektörün mutlak verim eğrisi elde edilmiştir.

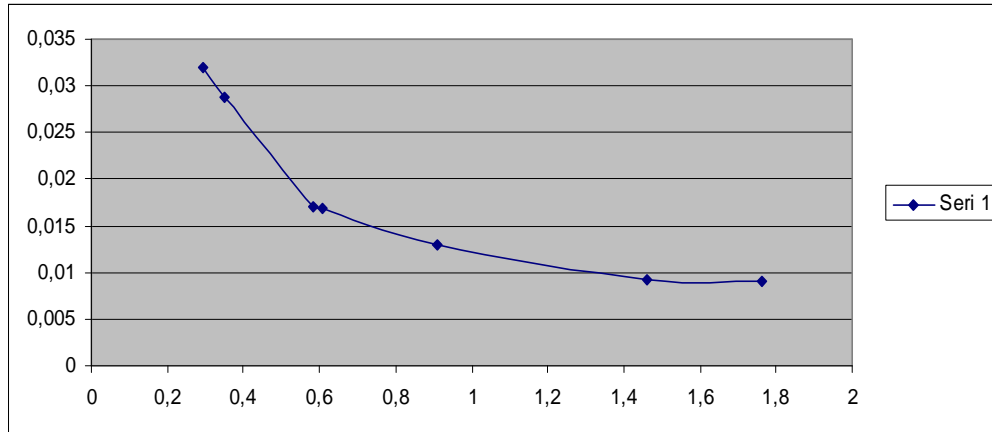
Deneysel olarak bulunan veriler uygun bir fonksiyona uyarlanırsa;

$Y = \exp(a + b \cdot \ln(x) + c \cdot \ln(x)^2 + d \cdot \ln(x)^3)$ elde edilir. Fonksiyondaki sabitlerin değerleri ise;

a: -4,53 b: $-6,50 \times 10^{-1}$ c: $5,13 \times 10^{-1}$ d: $2,54 \times 10^{-1}$ dir.

Çizelge 3.7 Verim Kalibrasyonu Verileri

Radyoizotop	Enerji (keV)	Deneysel	Verim Fit
Pb-214	295,207	0,031973391	0,032361577
Pb-214	351,925	0,028700041	0,027956064
Tl-208	583,191	0,017090938	0,017142287
Bi-214	609,318	0,0168893	0,01642408
Ac-911	911,16	0,012999298	0,011547408
K-60	1460,83	0,009284926	0,009234669
Bi-214	1764.515	0,009003414	0,009250239



Şekil 3.6. % 50 Bağıl Verimli HPGe Dedektörün Mutlak Verim Eğrisi

3.4. Numune Alınan Termik Santraller

3.4.1. İsken Su gözü Termik Santrali

Türkiye 'nin ilk ithal kömürle çalışan termik santrali isken Yumurtalık ilçesinde bulunmaktadır.

İSKEN'in yüzde 75'lik hissesi 60 yıldır kendi ülkesinde santraller kuran Alman STEAK'a, yüzde 25'i ise yine Alman firması olan RWE'ye aittir. Yapımcı konsorsiyumda ise Alman Siemens liderliğinde Babcock Borsig Power (Almanya),

Gama-Tekfen-Siemens A.Ş. yer almıştır. Santralin resmi açılış töreni 24.02.2004 tarihinde yapılmıştır. (Şekil 3.7) de görüldüğü gibi İSKEN Sugözü Enerji Santrali her biri 660 MW'lık iki üniteden oluşmaktadır. Üretilen yıllık 9 milyar kWh enerji, ülke ihtiyacının %7'sini karşılamaktadır (www.isken.com.tr).



Şekil 3.7. İsken Su gözü Termik Santrali

3.4.2. Afşin Elbistan-A Termik Santrali

Kahramanmaraş İlinin Afşin ve Elbistan ilçeleri arasında kurulan Afşin-Elbistan-A termik santralinin yapımına 1973 yılında başlanmıştır. Kışlaköy İşletmesi'nde kurulan 4x344 MW gücündeki üniteler 1984, 1992, 1993 ve 1994 yıllarında devreye alınmıştır (www.euas.gov.tr). 8.1 milyar kilowatt saat enerji üretecek bir termik santral ile yıllık üretimi 18.6 milyon ton linyit olan bir açık maden işletmesinden oluşmaktadır.

Linyit rezervi, günümüzde mevcut maden üretim teknolojisine göre 4.5 milyar ton olup, Türkiye'nin en büyük linyit rezervidir. Kömürün kül ve rutubet yüzdesinin yüksek ve ısıl değerinin düşük olmasına rağmen rezervin topluca bulunması ve yüksek üretimli bir işletmeye imkan vermesi büyük termik santraller kurulmasını mümkün kılmaktadır. Afşin-Elbistan santrali bu santrallerden ilkidir. Bu santralde Kışla köy bölgesinden çıkartılan linyit kullanılmaktadır. Linyit bantlar vasıtasıyla 1 milyon ton kapasiteli stok sahasına gönderilmektedir. Stok sahası santralin 15 günlük ihtiyacı karşılayacak niteliktedir. Değişik ısıl değerdeki tabakalardan alınmış olan linyit burada harmanlanmakta ve 1050 Kcal/kg'lik ortalama değerdeki linyit bantlarla santrale verilmektedir. Santralin yakıt ihtiyacı saatte 3000 tondur.

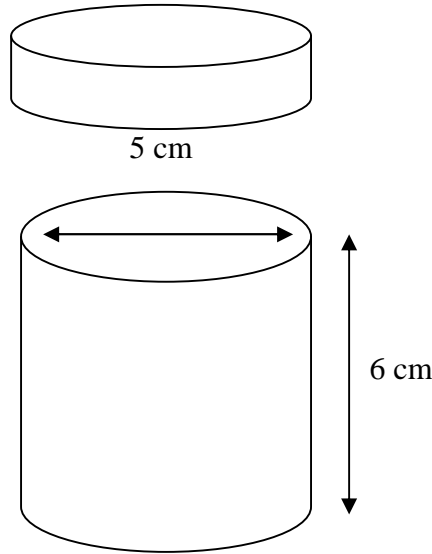


Şekil 3.8. Afşin Elbistan-A Termik Santrali

3.5. Örneklerin Hazırlanması

Örnekler Çukurova Üniversite'sinin Gülten Günel Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. Afşin-Elbistan ve Sugözü (İsken) termik santrallerinden referans seçilen noktadan 0- 100-500-1000-2000-3000 ve 5000 m.

uzaklığından toplanan toprak örnekleri 0-15 cm derinlikten alınmıştır. Uçucu kül ve curuf örnekleri Afşin-Elbistan termik santralinden resmi yazışmalarla temin edilmiştir. 1 kg alınan numuneler önce neminin kaybolması için 1 hafta açık bir şekilde bırakılmıştır, daha sonra elenerek toprak dışındaki maddelerden temizlenmiştir homojen olarak ufalan her bir numune 2 saat süreyle 105 °C de fırınlanmıştır. Fırınlanan numuneler pladyum Rn -226 ve onun ürün çekirdeği olan Rn-222 arasındaki kalıcı dengeyi oluşturmak için 1 ay süreyle bekletilmiştir. Kapların içinden dışarıya radon gazının kaçışının (bunun terside olabileceği düşünülerek) mümkün olduğunca önlenmesi amacı ile hermetik sızdırmazlık sağlanması için, kapların vida adımları teflon bantla sarılmış ve ayrıca kapak kenarları parafilm ile sıkıca sarılarak kapatılmıştır.



Şekil 3.9 Kalibrasyon ve Ölçümler için Kullanılan Plastik Örnek Kabı.

3.6. Ölçme İşlemi

Toprak radyoaktivitesi ve oluşan radyasyon seviyesi gama ışın spektroskopisi sistemi ile ölçülmektedir. Bu sistem ile yeryüzünden gerçekleştirilebilen ölçümlerle sığ derinlikteki radyoaktivite bile ölçülebilmektedir. Toplam sayım ölçümleri tüm enerji kaynaklarından yayımlanan gama ışını ölçümünü kaydeder. Bu nedenle, alansal toplam gama radyasyonu izlenebilir ve belirti kaynaklarının varlığı

belirlenebilir. Gama ışını spektrometreleri radyoaktif enerjiyi ve yoğunluğu ölçüp radyasyon kaynağını belirleyebilmektedir. Bunun yanı sıra, jeolojik haritalama amaçlı kullanım örneklerinde, jeoteknik parametrelerin belirlenmesinde ve arkeolojik alanlardaki gömülü potasyumca zengin kalıntıların bulunmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneklerin aktivitesinin ölçümü iki farklı yöntemle yapılmıştır. Birinci yöntemde örnekler gama spektrometresinde verim kalibrasyonu yapılarak doğrudan ölçmeyle, plastik örnek kaplarında her biri 86.000 saniye sayım süresince spektrumları kaydedildi. Sayım sonuçları çok kanallı analizöre aktarılarak ilgili pikler seçilmiş sonra spektrum verileri bilgisayar ortamına aktarılarak analizleri yapılmış ve radyonüklitlerin aktiviteleri hesaplanmıştır.

İkinci aşamada örnekler mevcut standartla karşılaştırma yöntemiyle ölçülmüştür. Bu yöntemle göre önce aktiviteleri bilinen aktif uranyum, toryum, potasyum ve soil-375 standartları ölçüm yapılacak geometriye göre hazırlanarak dedektöre uygun geometride yerleştirilmiş ve gama spektrumları elde edilmiştir. Standartların sayım hızları bulunmuş sonra aynı geometride hazırlanan örneklerin her biri için aynı 86.000 saniye sayım süresi uygulanmıştır.

Spektrumlarında ilgili radyonüklitler analizörde seçilerek, bilgisayar ortamına transfer edilmiş, bilgisayar ortamında sayım hızları hesaplanan örnekler standartların sayım hızlarıyla oranlanarak her örneğin özgül aktivitesi hesaplanmıştır.

Bu yöntemin en önemli avantajı, sayım hızları oranlanırken dedektör verimlerinin birbirini yok etmesi ve bunun sonucunda da verime bağlı hataların ortadan kalkmasıdır.

Toprak, uçucu kül ve kömür numunelerinin analizinde Ra-226 aktivitesi için; $185,7(^{235}\text{U})+186,2(^{226}\text{Ra})$ keV' lik foto-piki, ^{214}Pb ' ün 295,2 keV' lik foto-piki, ^{214}Pb 'ün 351,9 keV' lik fotopiki, ^{214}Bi 'ün 609,3 keV' lik fotopiki ve ^{214}Bi 'ün 1764,5 keV' lik fotopiki kullanılmıştır. Th-232 aktivitesi için; ^{208}Tl ' in 583,2 keV' lik fotopiki ve ^{228}Ac 'un 911,2 keV' lik fotopiki kullanılmıştır. ^{40}K aktivitesi için 1460,8 keV' lik fotopik kullanılmıştır. Bu ölçüm sisteminin minimum ölçülebilir aktivitesi

$$MDA = \frac{1.64S_{N_B}}{e.P.t.w} \quad (3.14)$$

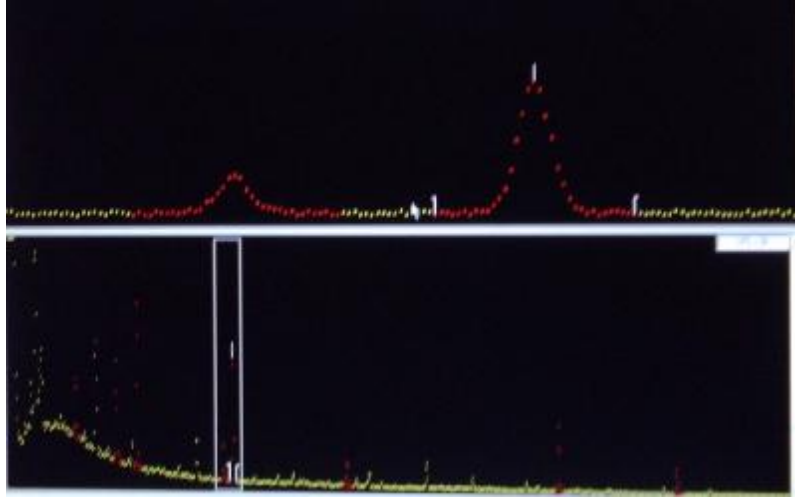
eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Burada, MDA Bq/kg (güvenilirlik seviyesi %95), S_{N_B} ilgilenilen bölgede fonun standart sapması ve fon spektrumu için sayımların sayısının kareköküne eşittir, e dedektörün mutlak verimi, P gama bozunumunun mutlak yayılım olasılığı, t saniye cinsinden ölçüm süresi ve kilogram cinsinden kurutulmuş örneğin ağırlığıdır.

Ölçme işlemi yapılan HPGe dedektör (Canberra GCW4023) ve ortamdaki doğal fon radyasyonunun etkisini en aza indirmek için Canberra Model 747 zırhı ile kaplanmış olduğu sistem şekil 3.8 de gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Deneylerde kullanılan gama spektroskopisi

Ayrıca ölçümlerin sonunda elde edilen dataların ve piklerin (şekil 3.8) bilgisayara aktarılmasını sağlayan gama spektroskopi sistemi ise şekil 3.9 de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Ölçümler sonucunda elde edilen örnek pikler



Şekil 3.12 Deneylerde kullanılan gama spektrometresi sistemi

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Ölçülebilir En Düşük Aktivite Değerinin Hesaplanması

Toprak, kömür ve uçucu kül örneklerine ilişkin ölçülebilir en düşük aktivite (ÖEA) değerleri aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{ÖEA}(\text{Bqkg}^{-1}) = \frac{F_c \cdot S_{NB}}{e \cdot P \cdot t \cdot w} \quad (4.1.)$$

Burada F_c istatistiksel kapsam faktörü, σ_{NB} ise ilgilenilen fotopiklerin arka fondaki standart sapması (arka fon spektrumunda ilgilenilen her bir fotopikteki net sayım değerlerinin karekökü), ϵ HPGe dedektörünün mutlak verimi, P bozunum başına gama yayınlama ihtimali, t ölçme süresi (s) ve w kütlesi (kg) dir.

Afşin –Elbistan termik santralinden alınan nemsiz kömür ve karıştırıcıdan alınan kömür örneklerinin radyolojik karakteristiği incelenmiştir aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 4.1.Kömüre ait aktivite derişim değerleri

Örnek	Aktivite Derişimi (Bq/kg \pm σ)		
	A_{Ra}	A_{Th}	A_K
A3 (kömür-n)	96.6 \pm 3.2	22.4 \pm 3.2	92.4 \pm 3.6
A4 (kömür-k)	59.4 \pm 2.2	12.4 \pm 2.4	36.8 \pm 1.6

Afşin –Elbistan termik santralinden alınan uçucu kül, dip külü ve curuf örneklerinin radyolojik karakteristiği incelenmiştir ve aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 4.2.Kül ve curuf aktivite derişim değerleri

Örnek	Aktivite Derişimi (Bq/kg \pm σ)		
	A _{Ra}	A _{Th}	A _K
A1 (uçucu kül)	444.1 \pm 10.6	27 \pm 4.3	192.5 \pm 8.4
A2 (dip külü)	343.9 \pm 7.5	38.5 \pm 3.0	208.8 \pm 5.2
A5 (curuf)	428.7 \pm 13.7	49.7 \pm 14.0	240.7 \pm 19.1

AET civarından toplanan toprak örnekleri santral kapısı referans alınarak 0m, 100m, 500m, 1000m, 2000m, 3000m, 5000m uzaklığından toplanmıştır. Afşin Elbistan termik santralinden alınan numuneler için yapılan araştırmada uçucu kül örnekleri için ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K değerleri sırasıyla 444, 27 ve 192 Bq kg⁻¹ ve curuf örnekleri için ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K değerleri ise 428, 49, 240 Bq kg⁻¹ ayrıca toprak örneklerinin ortalama değerleri ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K sırasıyla 153.9, 30.4, 269.3 Bq kg⁻¹, dip külü örneklerinde ise ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K değerleri 343.9, 38.5, 208.8 Bq kg⁻¹, nemsiz kömür ve karıştırıcıdan aldığımız kömürler için ise ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K sırasıyla 96.6, 22.4, 92.4 ve 59.4, 12.4, 36.8 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Sugözü termik santralinden alınan toprak numuneleri için ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K sırasıyla 13.6, 17.0, 321 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.3. AET Toprak aktivite derişimi

Örnek	Aktivite Derişimi (Bq/kg \pm σ)		
	A _{Ra}	A _{Th}	A _K
Sınır değerler	26-33	27-45	380-420
AT1 0m	105.5 \pm 2.9	31 \pm 2.8	270.9 \pm 4.8
AT2 100m	448.5 \pm 11.4	46.8 \pm 6.6	275.3 \pm 12.8
AT3 500m	211 \pm 4.9	26.7 \pm 2.8	183.4 \pm 4.8
AT4 1000m	201.6 \pm 6.1	34.1 \pm 4.5	252.9 \pm 10.2
AT5 2000m	43.7 \pm 2.0	20.6 \pm 2.5	184.9 \pm 5.7
AT6 3000m	33 \pm 2.1	26.3 \pm 3.4	322.8 \pm 10.7
AT7 5000m	34.3 \pm 1.7	27.9 \pm 2.6	395.2 \pm 8.3
Ortalama	153.9 \pm 4.4	30.48 \pm 3.6	269.3 \pm 8.1

UNSCEAR (2000) raporunda, toprak konsantrasyonunda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri sırasıyla 26-33, 27-45, 380-420 değer aralığındadır. Afşin –Elbistan termik santrali civarından toplanan toprak örneklerinde ise ^{226}Ra için 153.9, ^{232}Th için 30.48, ^{40}K için 269.3 olarak bulunmuştur. ^{226}Ra için limit değerinin çok üzerinde olduğu gözlenmiştir. Afşin –Elbistan termik santralinden alınan uçucu kül, taban külü ve curuf örneklerinde de ^{226}Ra değerinin çok yüksek olduğu gözlenmiştir. Uçucu kül Çimento içerisine karıştırılarak malzemenin dayanıklılığının arttırması ve böylelikle daha hafif bir malzeme elde edilmesi nedeniyle inşaat sektöründe çok fazla tercih edilmektedir. Ancak içerdiği yüksek ^{226}Ra nedeniyle dikkatli kullanılması ve kullanılmadan önce limit değeri aşıp aşmadığı göz önüne alınmalıdır. Çünkü çimentoya % 40 gibi yüksek bir oranda katkılanması sonucu direkt olarak kullanılması ve betonun içerisine katkılanması sonucunda bina içerisindeki radon konsantrasyonunun artmasına neden olup insan sağlığına zarar vermektedir. Ayrıca uçucu külün geri dönüşüm olarak kullanılması faydalı olup geri dönüşüm sayesinde uçucu kül stok alanlarının küçülmesine neden olur, bu nedenle uçucu külün inşaat sektöründe kullanılması oldukça önemlidir. Fakat uçucu külün içerisindeki ^{226}Ra , ^{40}K , ^{232}Th değerlerinin katkılanmadan önce radyolojik karakteristiği belirlenip limit değeri aşmayan uçucu küllerle katkılanması önerilebilir.

Su gözü (isken) termik santrali civarından toplanan toprak örnekleri santral kapısı referans alınarak 0 m- 100 m- 500 m- 1000 m- 2000 m- 3000 m- 5000 m uzaklığından alınarak çevreye yaydığı radyolojik risk mesafelere dayanarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.4 de özetlenmiştir.

Çizelge 4.4. SG Toprak aktivite derişimi

Örnek	Aktivite Derişimi (Bq/kg $\pm \sigma$)		
	A _{Ra}	A _{Th}	A _K
Sınır değerler	26-33	27-45	380-420
ST1 0m	13.3 \pm 0.9	18.9 \pm 1.8	365.0 \pm 6.5
ST2 100m	11.4 \pm 0.8	17.9 \pm 1.8	380.1 \pm 7.1
ST3 500m	11.7 \pm 1.1	16.0 \pm 2.0	352.1 \pm 7.1
ST4 1000m	13.5 \pm 0.8	13.4 \pm 1.4	284.7 \pm 5.4
ST5 2000m	13.5 \pm 0.8	18.9 \pm 1.6	334.6 \pm 5.9
ST6 3000m	17.3 \pm 0.9	16.9 \pm 1.6	348.7 \pm 6.1
ST7 5000m	15.1 \pm 1.1	17.4 \pm 1.9	184.9 \pm 7.7
Ortalama	13.68 \pm 0.9	17.0 \pm 3.6	321.4 \pm 8.18

UNSCEAR (2000) raporunda, toprak konsantrasyonunda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri sırasıyla 26-33, 27-45, 380-420 değer aralığındadır. Bu değerler Afşin-Elbistan ve Su gözü termik santralinden alınan toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri UNSCEAR (2000) raporuyla karşılaştırılmıştır. Su gözü termik santrali civarından alınan toprak örneklerinin istenilen limit değeri aşmadığı gözlenmiştir. Ancak Su gözü termik santralinden alınan toprak numunelerinde Afşin-Elbistan termik santralinden alınan toprak numunelerine göre K-40 değerinin aktivite konsantrasyonunun daha büyük olduğu gözden kaçmamıştır buna sebep olarak bölgede tarım yapılması nedeniyle suni gübre kullanımı, bitki kalıntısının toprağa karışmış olması veya numune alınan bölgede organik kalıntıların olabilme ihtimallerini beraberinde getirmektedir. Ra-226 ve Th-232 değerlerinin diğer santrale göre daha düşük olması; kullanılan kömürün ithal olması, tesisin 8 yıl gibi kısa bir süredir faaliyet göstermesi, bölgenin rakım seviyesi ve rüzgar alması gibi faktörler yanında yeni nesil santral olması nedeniyle ileri teknoloji kullanımı ve iyi filtrasyon uygulaması de göz önüne alındığında çevreye dost bir termik santral olabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak santralin yaşı dikkate alındığında bu sonuca varmak için henüz erken olabilir.

4.2. Radyum Eşdeğer Aktivite

Toprak ve uçucu kül numunelerindeki radyonüklitlerden kaynaklanan radyolojik tehlikeleri hesaba katmak için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K 'un aktivite derişim seviyesini temsil etmek amacıyla radyum eşdeğer (Ra_{eq}) aktivite indisi türetilmiştir. Ra_{eq} aktivite derişimi (veya indisi),

$$\text{Ra}_{\text{eq}} = A_{\text{Ra}} + \left(\frac{10}{7}\right) \cdot A_{\text{Th}} + \left(\frac{10}{130}\right) \cdot A_{\text{K}} \quad (4.2)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Burada, A_{Ra} , A_{Th} ve A_{K} numunelerdeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın sırasıyla, Bq kg^{-1} cinsinden aktivite derişimidir. OECD-NEA tarafından 1979 yılında yayımlanan raporda, ev ve işyeri binalarında kalıcı olarak kullanılmak amacıyla üretilen malzemelere yönelik olarak Ra_{eq} aktivite derişimi için 370 Bqkg^{-1} , müsaade edilen en büyük değeri olarak belirlenmiştir. Ra_{eq} aktivite derişiminin, bu değere eşit veya küçük olması durumunda, yapı malzemelerindeki radyonüklitlerin sebep olduğu dış ışınlamadan kaynaklanan yapı içi yıllık etkin doz değerinin $1,5 \text{ mSv}$ 'in altında olacağı kabul edilmiştir. Afşin-Elbistan toprak örnekleri için radyum eşdeğer aktivitesi 218.21, uçucu kül örnekleri için 455.55, curuf örneği için 518.2154, Su gözü toprak örnekleri için 64.80 olarak bulunmuştur. Örneklerin uçucu kül ve curuf olanlarının müsaade edilen limit değerin çok üzerinde olduğu bulunmuştur.

4.3. Harici ve Dahili Aktivite İndisleri

Yapı malzemelerinden kaynaklanan yapı içi gama radyasyon dozuna; ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K gibi birden daha fazla radyonüklit katkıda bulunduğundan bu radyonüklitleri içeren malzemelerin özgül aktivitelerini karşılaştırmak ve uygulama sınırının aşılıp aşılmadığını değerlendirmek amacıyla aktivite indislerinin türetilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Aktivite indisinin türetilmesinde, malzemenin tipi ve yapı içindeki miktarı dikkate alınmalıdır. Bina içindeki duvarların kalınlıkları, kapı ve

pencerelerin yerleri ve radyonüklitlerin düzgün dağılım göstermesi, farklı doz hızı dağılımlarını oluşturabilir. Bu yüzden farklı modeller kullanılarak farklı indisler elde edilebilir. Bugüne kadar aktivite derişim indisi veya gama indisi (I_γ), temsili (tipik) seviye indisi ($I_{\gamma r}$) ve harici indis (H_{ex}) olarak isimlendirilen bir çok aktivite indisi teklif edilmiştir (TAEK, 2009; V. R, 1981; Krişuk ve ark, 1971; Stranden, E., 1976; Markkanen M., 1995; Report STUK-B- 1995).

Bu çalışmada, Avrupa Komisyonu (AK) tarafından 1999 yılında yayımlanan raporda, tavsiye edilen aktivite derişim indisi dikkate alınmış ve raporda açıklandığı gibi hesaplanmıştır (EC (European Commission), 1999). Aktivite derişim indisi, ev ve iş yeri binalarında kalıcı olarak kullanılmak amacıyla üretilen malzemeler için aşağıda eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$I_\gamma = \frac{A_{Ra}}{300 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{A_{Th}}{200 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{A_K}{3000 \text{ Bq kg}^{-1}} \quad (4.3.)$$

Burada, A_{Ra} , A_{Th} ve A_K yapı malzemelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'in sırasıyla, Bq kg^{-1} cinsinden aktivite derişimidir. Aktivite derişim indisi, doz sınırına, malzemenin yapı içinde kullanılma şekline ve miktarına bağlı olarak Çizelge 4.3'da verilen değerleri aşmamalıdır. $I_\gamma \leq 1$ olduğu durumlarda, yapı malzemesi herhangi bir kısıtlama olmadan kullanılabilir.

Çizelge 4.5. Doz ölçütünün kontrolüne yönelik aktivite derişim indisi değerleri

Doz ölçütü	0,3 mSv y ⁻¹	1 mSv y ⁻¹
Yapısal malzemeler (beton, tuğla, vb.)	$I \leq 0,5$	$I \leq 1$
Yüzeysel olarak ve sınırlı kullanıma sahip diğer malzemeler (kiremit, vb.)	$I \leq 2$	$I \leq 6$

Çizelge 4.6. Afşin-Elbistan toprak örnekleri için hesaplanan I_γ , I_α indisleri ve soğurulmuş gama doz hızı , yapı içi etkin doz hızı değerleri ve radyum eşdeğer aktivitesi

Örnek	I_γ	I_α	$D_R(nGyh^{-1})$	$H_R(mSvy^{-1})$	Ra_{eq}
AT1	0.596967	0.5275	152.832	0.749733	170.6242
AT2	1.820767	2.2425	486.124	2.38473	536.5341
AT3	0.897967	1.055	238.162	1.168328	263.2505
AT4	0.9268	1.008	243.214	1.193111	269.7681
AT5	0.3103	0.2185	77.656	0.380949	87.35165
AT6	0.3491	0.165	85.114	0.417535	95.4022
AT7	0.385567	0.1715	93.862	0.460449	104.5571
Ortalama	0.75535	0.76971	196.709	0.96497	218.21

I_γ , I_α , $D_R(nGyh^{-1})$, $H_R(mSvy^{-1})$, Ra_{eq} , değerleri sırasıyla 0.75535, 0.76971, 196.709, 0.96497, 218.21 olarak bulunmuştur. Afşin-Elbistan termik santralinden alınan toprak numunelerinin ortalama değeri $I_\gamma \leq 1$ olduğu için yapı malzemesi olarak kullanılması, herhangi bir radyolojik risk oluşturmamaktadır. Sadece 2 numaralı örnekte I_γ değeri yaklaşık 1.82 olarak bulunmuştur bu da 1 den büyük bir değer olduğu için bu bölgeden alınan toprak örneklerinin inşaat malzemesi olarak veya bu bölgede tarım ürünü yetiştirmek insan sağlığına direkt olarak zararlıdır. AT2 olarak isimlendirilen iki numaralı numunenin Ra_{eq} değerinin müsaade edilen değerin çok üstünde olduğu gözlenmiştir.

I_γ , I_α , $D_R(nGyh^{-1})$, $H_R(mSvy^{-1})$, Ra_{eq} , değerleri Su gözü için 0.24, 0.06, 59.18, 0.290, 64.80 olarak bulunmuştur. Su gözü termik santralinden alınan toprak numunelerinin de $I_\gamma \leq 1$ olduğu için yapı malzemesi olarak kullanılması, herhangi bir radyolojik risk oluşturmamaktadır.

Uranyum-radyum serisinden radon (^{222}Rn) ve toryum serisinden toron (^{220}Rn), alfa radyasyonu yayınlayan radyonüklitlerdir. Her ikisi de asal gaz olduklarından, yapı malzemeleri gibi gözenekli ortamlarda serbestçe hareket edebilir ve malzemede oluşan ^{222}Rn ve ^{220}Rn 'nin bir kısmı yüzeye ulaşır ve ev ve işyeri

binalarının içine nüfuz edebilirler. Binalar içindeki en önemli ^{222}Rn ve ^{220}Rn kaynağı, binaların temelinde bulunan topraktır; ancak bazı durumlarda yapı malzemeleri de önemli kaynak hâline gelebilir.

Ev ve işyeri binalarında kullanılan yapı malzemelerinden kaynaklanan ve solunum yolu ile vücuda giren ^{222}Rn ve kısa ömürlü bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa ve beta radyasyonları, iç ışınlamaya sebep olur. Yapı içi radon derişim sınırı, eski binalar için 400 Bq m^{-3} ve yeni binalar için ise 200 Bq m^{-3} olarak belirlenmiştir (EC , 1990).

Bugüne kadar ^{222}Rn gazının solunmasının sebep olduğu ilave alfa radyasyonunun değerlendirilmesiyle ilgili olarak birkaç indis (alfa-indisleri ve dâhili indisler (H_{in})) türetilmiştir. Bu çalışmada esas alınan alfa indisi ($I\alpha$), aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I\alpha = \frac{A_{\text{Ra}}}{200 \text{ Bq kg}^{-1}} \quad (4.4.)$$

Burada, A_{Ra} , yapı malzemelerindeki ^{226}Ra 'nın Bq kg^{-1} cinsinden aktivite derişimidir. $I\alpha > 1$ olduğu durumlarda, ev içi ^{222}Rn aktivite derişimi sınırı olan 200 Bq m^{-3} 'ün aşılması mümkündür. Elde edilen sonuçlara göre $I\alpha$ değeri hem Afşin-Elbistan için (2 numaralı numune hariç) hem de Su gözü santrali için toprak ve kül örneklerinde $I\alpha < 1$ olduğundan dolayı yapı içerisinde katkılanmış veya direkt olarak rahatça kullanılabilir. Bulunan değerler Afşin için 0.7, Su gözü için 0.06 olarak bulunmuştur. Bundan dolayı ev içi ^{222}Rn aktivite derişimi sınırı olan 200 Bq m^{-3} 'ün aşılması olasıdır. Dolayısıyla bu malzemelerin sürekli hava solunan yaşam alanlarında (ev, büro, hastane, okul v.s) kullanılması, uygun olabilir.

Çizelge 4.7. SG toprak örnekleri için I_γ , I_α indisleri ve soğurulmuş gama doz hızı ve yapı içi etkin doz hızı değerleri ve radyum eşdeğer aktivitesi.

Örnek	I_γ	I_α	$D_R(nGyh^{-1})$	$H_R(mSvy^{-1})$	Ra_{eq}
SG1	0.2605	0.0665	62.226	0.305256	68.3920
SG2	0.2542	0.057	60.586	0.297211	66.20898
SG3	0.236367	0.0585	56.532	0.277323	61.64176
SG4	0.2069	0.0675	49.936	0.244966	54.54286
SG5	0.250967	0.0675	59.962	0.29415	66.22308
SG6	0.2584	0.0865	62.402	0.306119	68.26593
SG7	0.260367	0.0755	62.650	0.306894	68.34945
Ortalama	0.24681	0.0684	59.18	0.290	64.80

I_γ , I_α , $D_R(nGyh^{-1})$, $H_R(mSvy^{-1})$, Ra_{eq} değerleri Su gözü için 0.24, 0.06, 59.18, 0.290, 64.80 olarak bulunmuştur. Su gözü termik santralinden alınan toprak numunelerinin de $I_\gamma \leq 1$ olduğu için yapı malzemesi olarak kullanılması radyolojik risk oluşturmamaktadır. Bu nedenle yapı malzemesinde kullanılması radyolojik açıdan uygundur.

Çizelge 4.8. ve 4.9. Afşin-Elbistan uçucu kül ve kömür örnekleri için I_γ , I_α indisleri, soğurulmuş gama doz hızı ve yapı içi etkin doz hızı değerleri ve radyum eşdeğer aktivitesi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Afşin-Elbistan uçucu kül ve curuf örnekleri için I_γ , I_α indisleri, soğurulmuş gama doz hızı ve yapı içi etkin doz hızı değerleri ve radyum eşdeğer aktivitesi

Örnek	I_γ	I_α	$D_R(nGyh^{-1})$	$H_R(mSvy^{-1})$	Ra_{eq}
AEL1 (uçucu kül)	1.6795	2.2205	453.672	2.225533	497.4791
AEL2 (dip külü)	1.408433	1.7195	375.442	1.841768	414.9615
AEL5 (curuf)	1.757733	2.1435	468.33	2.29744	518.2154

Çizelge 4.9. Afşin-Elbistan kömür örnekleri için I_γ , I_α indisleri, soğurulmuş gama doz hızı ve yapı içi etkin doz hızı değerleri ve radyum eşdeğer aktivitesi

Örnek	I_γ	I_α	$D_R(\text{nGyh}^{-1})$	$H_R(\text{mSvy}^{-1})$	Ra_{eq}
AEL3 (kömür-n)	0.4648	0.483	120.904	0.593107	135.7077
AEL4 (kömür-k)	0.272267	0.297	71.232	0.349436	79.94505

Afşin-Elbistan uçucu kül dip külü, curuf için I_γ , I_α indisleri için sırasıyla 1.6795, 1.408433, 1.757733, olarak bulunmuştur. $I_\gamma \geq 1$ ve $I_\alpha > 1$ olduğundan ev içi ^{222}Rn aktivite derişimi sınırı olan 200 Bq m^{-3} 'ün aşılması olasıdır. Ayrıca kömür örnekleri için bulunan sonuçlar I_γ ve I_α değerleri için tabloda verilmiştir. Dolayısıyla bu malzemelerin sürekli hava solunan yaşam alanlarında (ev, büro, hastane, okul v.s) kullanılması, radyolojik açıdan uygun olmayabilir. Asfalt, baraj, viyadük, köprü iskele gibi açık hava alanları tercih edilmelidir.

4.4. Soğurulmuş Gama Doz Hızı ve Yapı İçi Etkin Doz Hızı

Yapı malzemelerindeki radyonüklitlerin sebep olduğu dış ışınlamadan kaynaklanan yapı içi soğurulmuş gama doz hızının (D_R) hesaplanmasında, doz hızı dönüşüm katsayıları olarak; ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla, $0,92 \text{ nGy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$, $1,1 \text{ nGy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$ ve $0,08 \text{ nGy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$ değerleri alınmıştır .

Doz hızının yapısal ve kaplama malzemelerindeki radyonüklitlerden kaynaklanan dış ışınlamanın sebep olduğu yapı içi soğurulmuş gama doz hızı,

$$D_R (\text{nGy h}^{-1}) = 0,92 \times A_{\text{Ra}} + 1,1 \times A_{\text{Th}} + 0,08 \times A_{\text{K}} \quad (4.4.)$$

formülüyle elde edilir. Afşin-Elbistan toprak numuneleri için soğurulmuş doz hızı $196.709 \text{ (nGyh}^{-1})$, uçucu kül numuneleri için $297.916 \text{ (nGyh}^{-1})$, Su gözü toprak numuneleri için $59.18 \text{ (nGyh}^{-1})$ olarak bulunmuştur. Yer kabuğu kökenli radyonüklitlerden kaynaklanan dış ışınlamanın sebep olduğu yapı içi soğurulmuş

gama dozu hızının nüfus ağırlıklı dünya ortalaması, 84 nGy h^{-1} ($40 - 200 \text{ nGy h}^{-1}$) olarak verilmiştir (UNSCEAR, 2000). Sadece uçucu kül ve curuf örneklerinin limit değeri aştığı gözlenmiştir. Afşin-Elbistan toprak numunelerinde dünya ortalamasının üzerinde olduğu gözlenmiştir. Yapı içi etkin doz hızı (H_R), havada soğurulmuş gama dozundan etkin doza dönüşüm kat sayısı $0,7 \text{ Sv Gy}^{-1}$ alınarak ve bireylerin zamanının % 80'nini kapalı mekânlarda geçirdiği kabul edilerek aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$H_R (\text{mSv y}^{-1}) = D_R (\text{nGy h}^{-1}) \times 365,25 \text{ gün} \times 24 \text{ h} \times 0,8 \times 0,7 \text{ Sv Gy}^{-1} \times 10^{-6} \quad (4.5.)$$

Binalarda kullanılan yapı malzemelerindeki radyonüklitlerden kaynaklanan gama radyasyonu sebebiyle halkın maruz kaldığı yapı içi etkin doz hızı için uygulama sınırı olarak 1 mSv y^{-1} tavsiye edilmiştir (AB, 1999). Raporda, doz hızına yönelik yapılacak kontrollerde, $0,3 - 1 \text{ mSv y}^{-1}$ aralığındaki bir değer esas alınması gereği de tavsiye edilmiştir. Yapısal ve kaplama malzemeleri için değerlendirilen D_R ve H_R sonuçları, çizelgelerde verilmiştir. Yapısal malzemeler için değerlendirilen D_R 'nin ortalama değerleri, çimento, tuğla ve briket hariç ve kaplama malzemeleri için değerlendirilen D_R 'nin ortalama değerleri ise granit, seramik, fayans ve karo hariç, ağırlıklı ortalamadan (84 nGy h^{-1}) daha küçüktür. Yapısal malzemeler için değerlendirilen H_R 'nin ortalama değerleri, briketin dışında, aşılmaması tavsiye edilen sınır değerden (1 mSv y^{-1}) önemli ölçüde daha küçüktür. Afşin-Elbistan toprak örnekleri için, $0,96497 \text{ mSvy}^{-1}$, uçucu kül için $2,0336 \text{ mSvy}^{-1}$, kömür örnekleri için $0,4712 \text{ mSvy}^{-1}$, su gözü toprak numuneleri için $0,290 \text{ mSvy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mSv y^{-1} tavsiye edilen değerden Afşin-Elbistan bölgesinden elde edilen uçucu kül, curuf numunelerinin limit değeri aştığı gözlenmiş, toprak örneklerinin de bazılarında limit değere çok yakın olduğu gözlenmiştir.

4.5. Numunelerin X-Işını Floresans Spektrometresi ile Elementsel Analizi

XRF tekniği ile düşük maliyetle hızlı ve güvenilir bir şekilde ölçüm yapılabilmektedir bu nedenle bilimsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu teknik genel olarak foton-madde etkileşmesi sonucu meydana gelen X-ışınları ve saçılan fotonların nicel ve nitel değerlendirmesine bağlı olarak uygulanan sodyum-uranyum aralığındaki elementlerin analizleri numune matrisine bağlı olarak, ppm-% konsantrasyon mertebesinde yapılmaktadır.

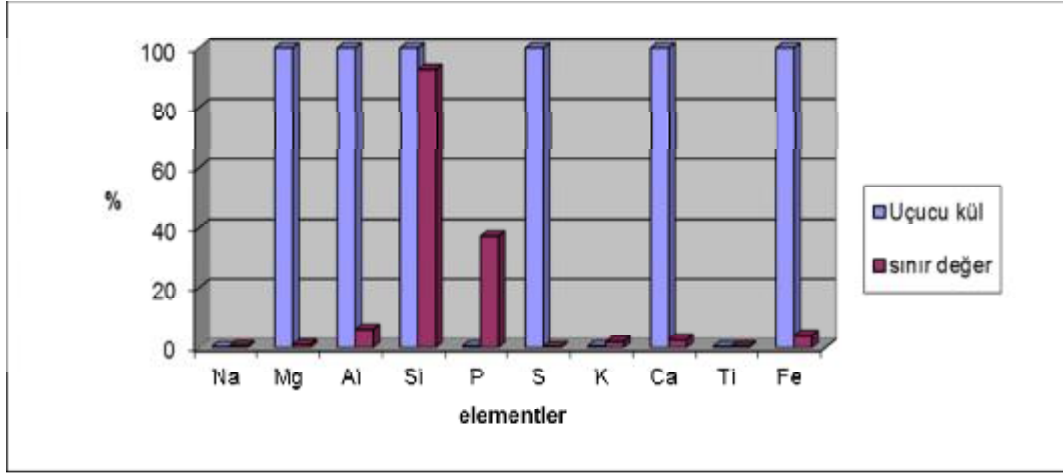
Her iki termik santralden alınan örnekler, 4 kW gücünde ve max 160 mA akımlı Panalytical marka Axios Advance model dalgaboylu dağılımlı X ışınları floresans spektrometresi ile analiz edildi ve numuneler öğütülüp 30 tonda 31mm çapında tabletler yapılarak analiz edildi.

Çizelge 4.10. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür ve cüruf örneklerinin elementsel analizi

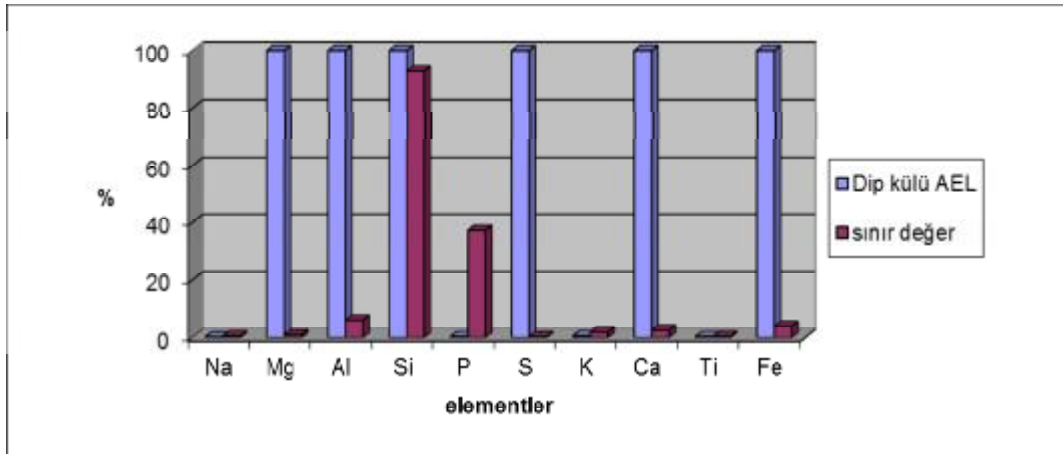
1 .örnek (%)		2 .örnek (%)		3 .örnek (%)		4 .örnek (%)	
Uçucu kül		Dip külü AEL		Nemsiz kömür AEL		Cüruf AEL	
Na	0.2	Na	0.237	Na	0,13	Na	0,306
Mg	1.808	Mg	1.57	Mg	1,488	Mg	2,046
Al	9.221	Al	10.647	Al	9,348	Al	16,541
Si	17.315	Si	22.739	Si	18,717	Si	36,832
P	0.488	P	0.405	P	0,551	P	0,471
S	17.534	S	8.434	S	17,173	S	4,663
K	0.513	K	0.585	K	0,555	K	1,016
Ca	45.992	Ca	48.834	Ca	43,346	Ca	28,507
Ti	0.371	Ti	0.383	Ti	0,532	Ti	0,607
Fe	6.17	Fe	5.842	Fe	7,682	Fe	8,641

Al, S, Fe elementlerinin örnek içindeki fazlalığı zehirlenme etkisini arttıracığından element analizi düzenli bir şekilde yapılmalıdır (NIST) raporlarına göre Al(alüminyum) toprakta yaklaşık % 6 iken AEL civarından alınan kül, kömür ve cüruf örneklerinde bu oran limit değeri geçmiştir. Ayrıca cüruf örneğini kömüre oranla değerini yaklaşık 2 kat arttırması kömürün santrallerde kullanıldıktan sonra toprak için daha verimsiz bir hal aldığı söylenebilir. Fe(demir) için istenilen üst limit % 3.97 iken kül, kömür ve özellikle cüruf örneği % 8.6 gibi yaklaşık 3 kat fazla

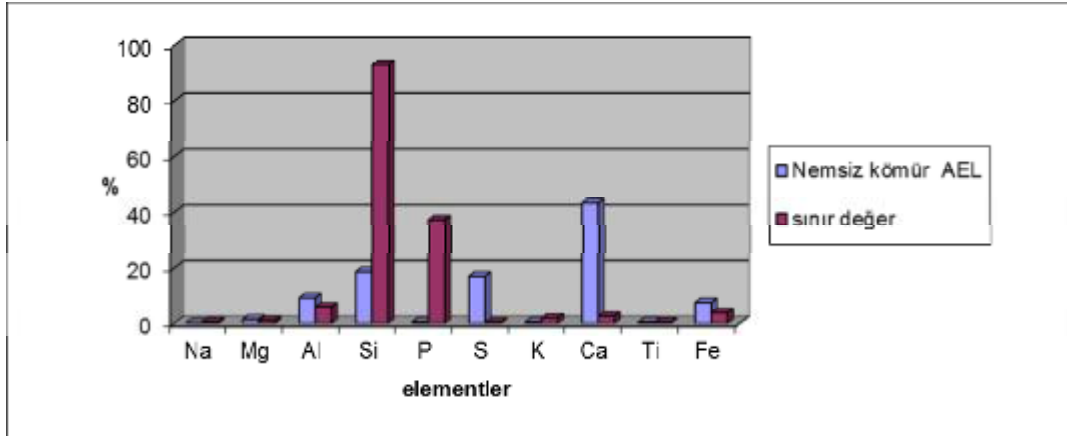
bulunmuştur. S(kükürt) için istenilen üst limit yaklaşık %0.34 civarında iken uçucu kül örneğinde % 17.534 gibi oldukça yüksek bir değer bulunmuştur. Bu kalitedeki uçucu küllerin toprağa karışması sonucunda burada yetişen bitkilerin verimliliği açısından uygun olmayacağından santral civarlarına atılan kül yığınları denetlenmelidir.



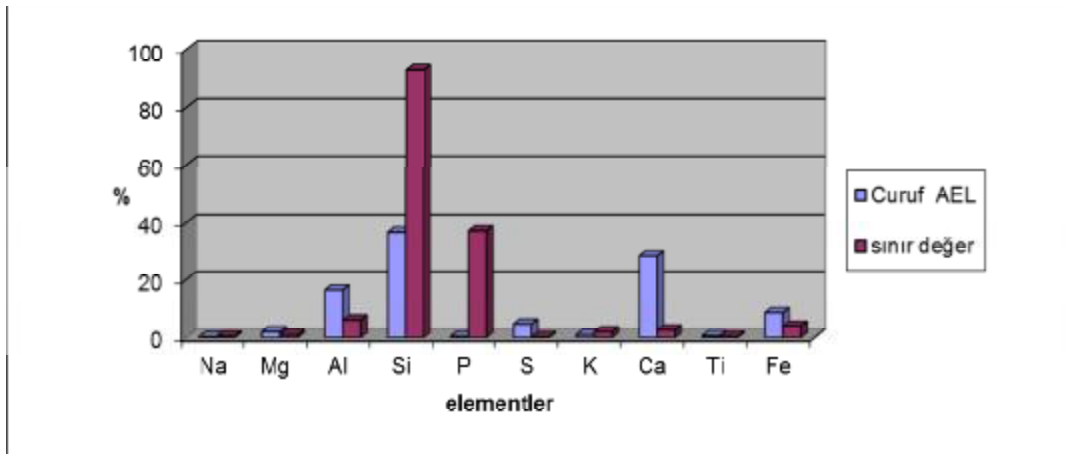
Şekil.4.1. uçucu kül XRF Analizi



Şekil 4.2.dip külü XRF Analizi



Şekil 4.3. nemsiz kömür XRF Analizi

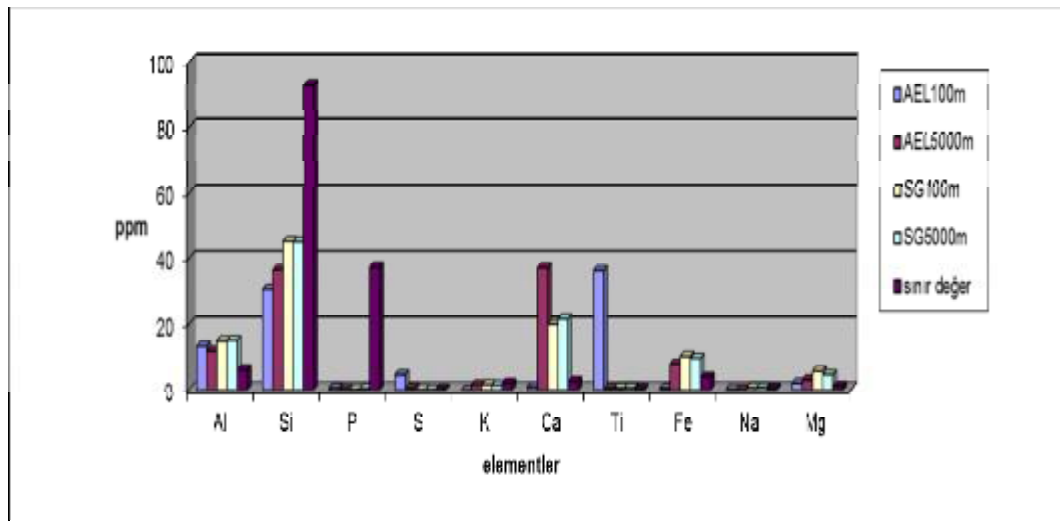


Şekil 4.4. curuf XRF Analizi

Çizelge 4.11. SG ve AEL santrallerinden alınan toprak örneklerinin elementsel analizi

5 .örnek (%)		6 .örnek (%)		7 .örnek (%)		8 .örnek (%)	
Toprak 100m AEL		Toprak 5000m AEL		Toprak 100m SG		Toprak 5000m SG	
Na	0,233	Na	0,176	Na	0,745	Na	0,834
Mg	2,117	Mg	3,09	Mg	5,776	Mg	4,639
Al	13,204	Al	11,784	Al	14,871	Al	14,99
Si	30,631	Si	36,482	Si	45,334	Si	45,143
P	0,62	P	0,325	P	0,212	P	0,434
S	4,638	S	0,575	S	0,174	S	0,12
K	0,021	K	1,588	K	1,623	K	1,482
Ca	0,983	Ca	37,142	Ca	20,1	Ca	21,692
Ti	36,28	Ti	0,498	Ti	0,587	Ti	0,663
Fe	0,611	Fe	7,815	Fe	10,141	Fe	9,551

SG civarından alınan toprak örneklerinde Fe, Na, Mg, Al değerlerinin AEL bölgesinden alınan örneklere göre değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bu elementlerin fazlalığı toprakta zehirlenme etkisi yapabilir. Ayrıca santral kapısından 100 m uzaklıkla 5000 m uzaklığı kıyaslayacak olursak Ca değerinin sırayla % 0.983,% 37.142 bulunması santralden uzaklaştıkça bulunan değerlerin değiştiğini gösterebilir.



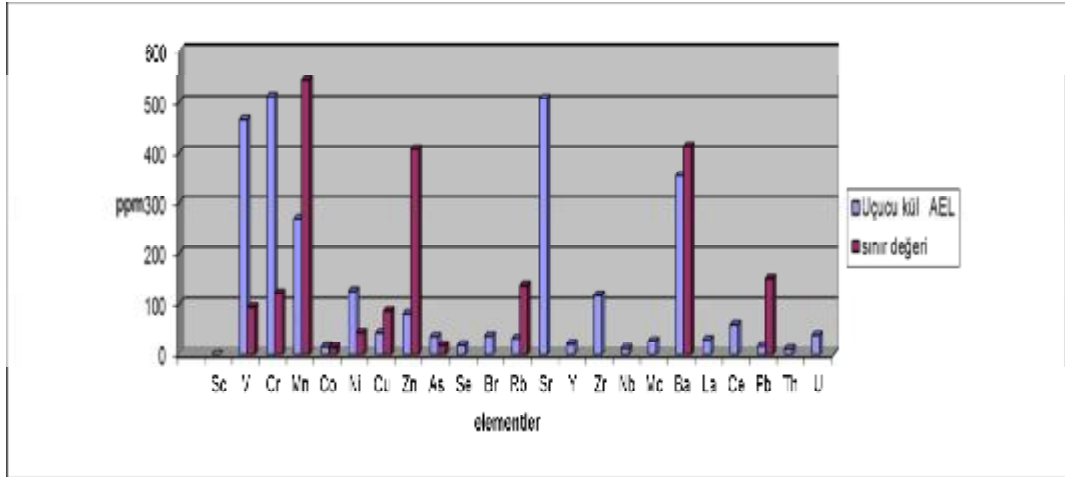
Şekil 4.5. AEL ve SG toprak XRF Analizi

Çizelge 4.12. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür ve curuf örneklerinin elementsel analizi

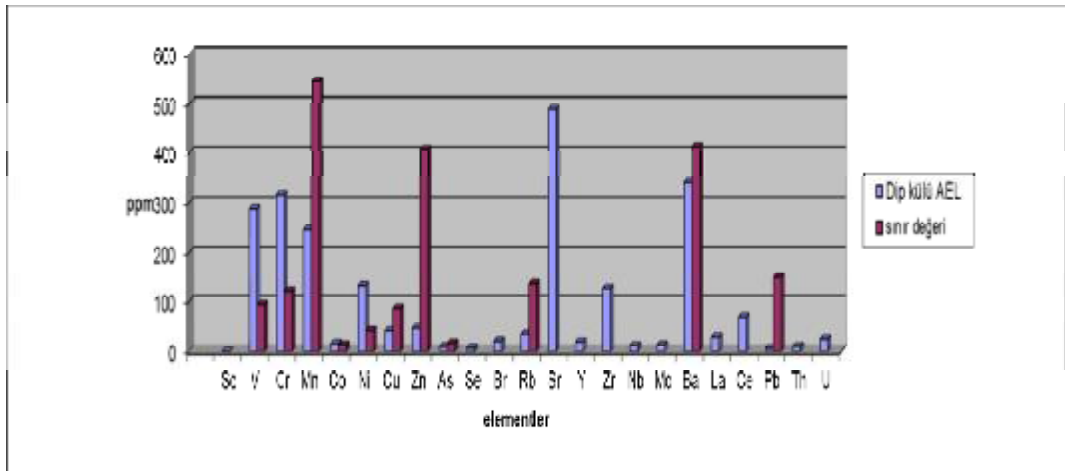
1.örnek Uçucu kül AEL (ppm)		2 Dip külü AEL (ppm)		3 Nemsiz kömür AEL (ppm)		4 Curuf AEL(ppm)	
Sc	0	Sc	0	Sc	0	Sc	0
V	466	V	288	V	162	V	368
Cr	512	Cr	317	Cr	199	Cr	460
Mn	270	Mn	246	Mn	104	Mn	298
Co	15	Co	16.8	Co	7.7	Co	21.8
Ni	126	Ni	133	Ni	53	Ni	181
Cu	42.6	Cu	42.3	Cu	15.0	Cu	57.3
Zn	81.5	Zn	48.0	Zn	34.3	Zn	73.0
As	35.2	As	10.1	As	11.4	As	10.9
Se	18	Se	7.2	Se	6.7	Se	0
Br	36.5	Br	21.5	Br	21.8	Br	0
Rb	31.5	Rb	35.9	Rb	15.2	Rb	56.1
Sr	508	Sr	490	Sr	169	Sr	367
Y	20.20	Y	19.31	Y	8.68	Y	24.97
Zr	118	Zr	127	Zr	52	Zr	157
Nb	11.8	Nb	12.0	Nb	5.4	Nb	15.8
Mo	26.4	Mo	13.5	Mo	7.6	Mo	12.6
Ba	354	Ba	342	Ba	120	Ba	326
La	28.9	La	29.8	La	10.1	La	38.2
Ce	58.6	Ce	70.3	Ce	19.9	Ce	74.4
Pb	15.9	Pb	6.6	Pb	5.6	Pb	8.2
Th	10.8	Th	10.6	Th	4.4	Th	12.6
U	38.1	U	25.6	U	13.6	U	31.2

Xrf element analizine göre V (vanadyum) için istenilen üst limit (ppm) ertebesinde 94.6 iken AEL uçucu kül için 466, dip külü için 288, kömür için 162, cüruf için 368 gibi yüksek değerler bulunmuştur. Cr (krom) için üst limit (ppm) 122 iken uçucu kül için 512, dip külü için 317, cüruf için 460 gibi yüksek konsantrasyonlarda gözlenmiştir. Co (kobalt) için yine 13.6 değerine kıyasla cüruf örneğinde 21.8 gibi bir değer bulunmuştur. Ni (nikel) için 42.9 değer üst limit

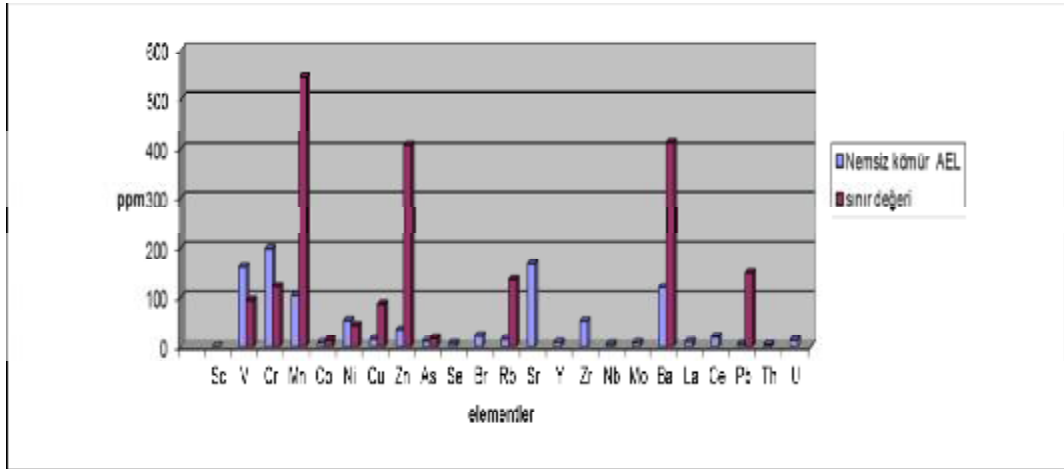
olmasına karşın cüruf örneği 181 olarak bulunmuştur. As (arsenik) için sınır değerimiz (ppm) 17 iken uçucu külde 35.2 gibi yüksek bir değer görülmüştür.



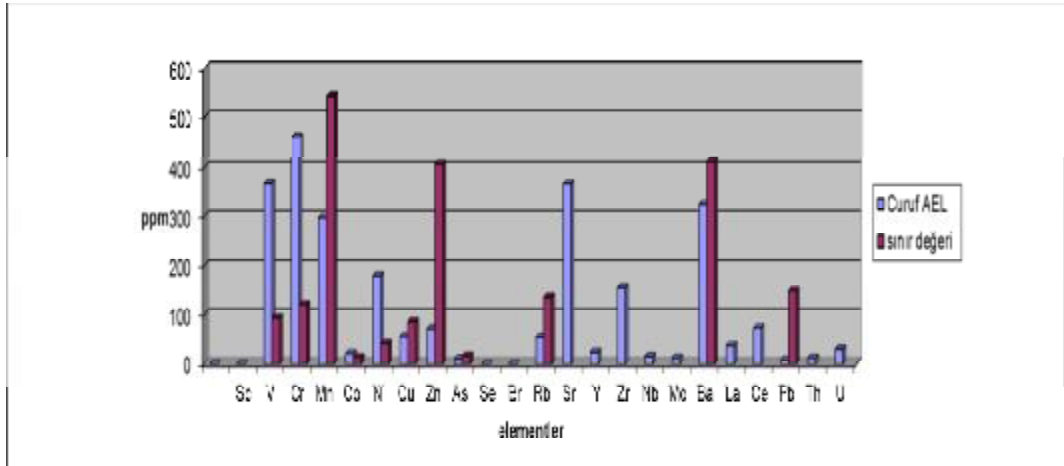
Şekil 4.6. uçucu kül AEL XRF Analizi



Şekil 4.7. dip külü AEL XRF Analizi



Şekil 4.8. nemsiz kömür AEL XRF Analizi



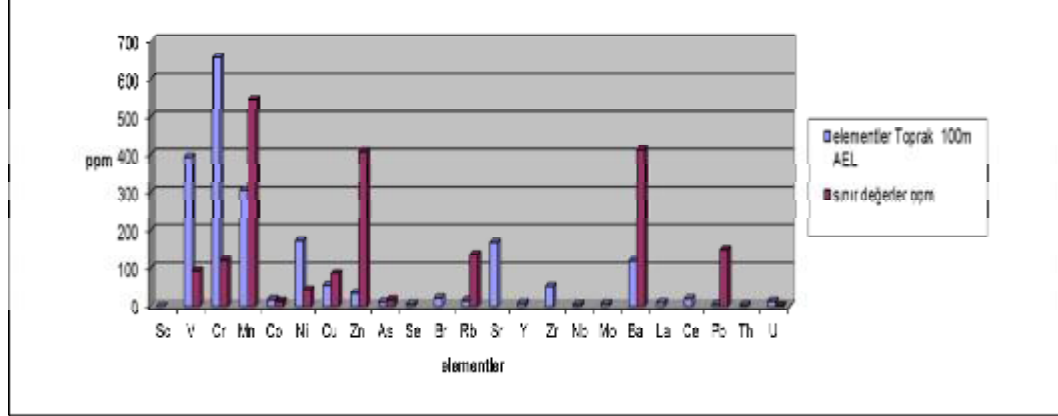
Şekil 4.9. curuf AEL XRF Analizi

Çizelge 4.13. Toprak örneklerinin XRF analizi

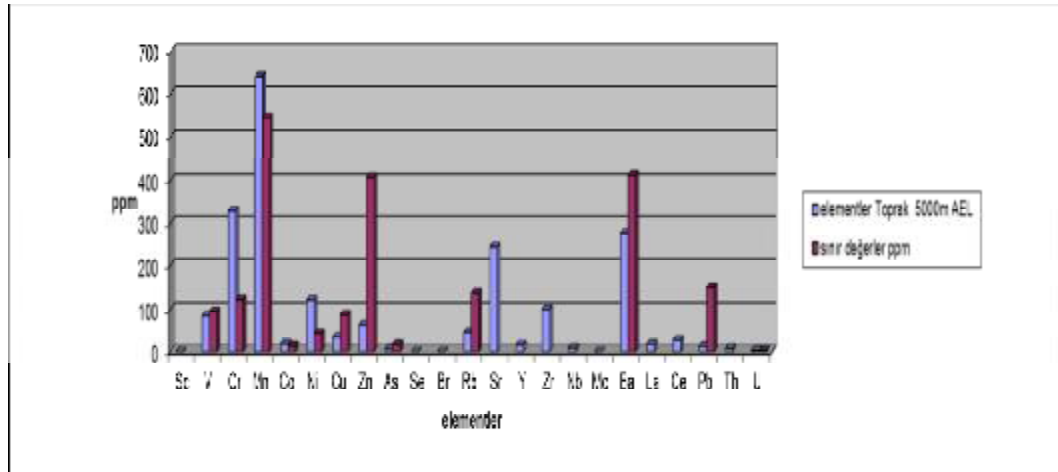
5.örnek (ppm) Toprak 100m AEL		6.örnek (ppm) Toprak 5000m AEL		7.örnek (ppm) Toprak 100m SG		8.örnek (ppm) Toprak 5000m SG	
Sc	0	Sc	0	Sc	13.351	Sc	12.587
V	394	V	85	V	136	V	141
Cr	657	Cr	328	Cr	330	Cr	304
Mn	307	Mn	641	Mn	776	Mn	818
Co	17.6	Co	18.6	Co	24.5	Co	21.8
Ni	174	Ni	121	Ni	190	Ni	134
Cu	55.2	Cu	34.3	Cu	44.3	Cu	38.0
Zn	34.3	Zn	62.9	Zn	77.4	Zn	73.7
As	11.4	As	6.9	As	7.2	As	7.2
Se	6.7	Se	0	Se	0	Se	0
Br	21.8	Br	0	Br	0	Br	0
Rb	15.2	Rb	45,9	Rb	46.5	Rb	34.6
Sr	169	Sr	245	Sr	240	Sr	245
Y	8.68	Y	15.40	Y	19.01	Y	18.96
Zr	52	Zr	100	Zr	103	Zr	98
Nb	5.4	Nb	8.8	Nb	7.7	Nb	6.0
Mo	7.6	Mo	0	Mo	0	Mo	0
Ba	120	Ba	277	Ba	167	Ba	186
La	10.1	La	17.5	La	16.4	La	17.5
Ce	19.9	Ce	27.0	Ce	27.0	Ce	21.6
Pb	5.6	Pb	12.9	Pb	11.3	Pb	9.7
Th	4.4	Th	7.93	Th	5.4	Th	4.01
U	13.6	U	3.33	U	0	U	0

Xrf element analizine göre V (vanadyum) için istenilen üst limit (ppm) ertebesinde 94.6 iken AEL toprak 100 m için 394 iken 5000m de 98 olarak bulunmuştur.SG 100 m için 136 iken 5000 m de (ppm) 141 olarak bulunmuştur. AEL için santral çevresini daha çok etkilediği buradan çıkarılabilir. Cr (krom) için üst limit (ppm) 122 iken AEL 100 m için 657, 5000m için 328, SG 100 m için 330 ve 304 olarak bulunmuştur. Xrf element analizine göre Mn (mangan) için istenilen üst

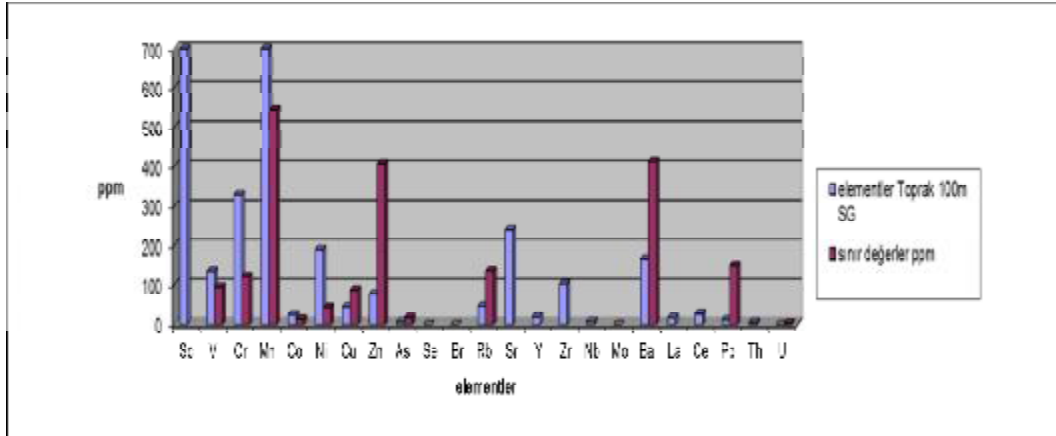
limit (ppm) mertebesinde 544 iken AEL toprak 100 m için 307 iken 5000m de 641 olarak bulunmuştur.SG 100 m için 776 iken 5000 m de (ppm) 818 olarak bulunmuştur. SG civarı için Mn elementi bakımından AEL ' a kıyasla daha elverişlidir



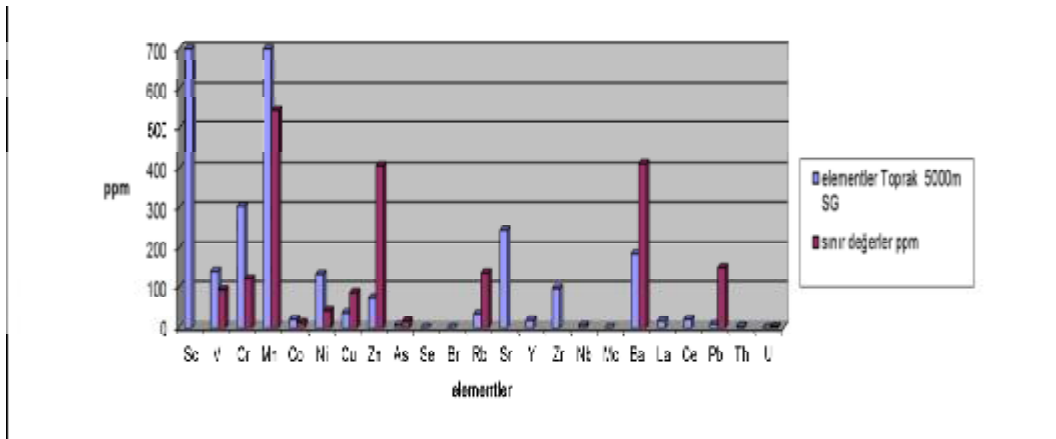
Şekil 4.10. Toprak 100m AEL XRF analizi



Şekil 4.11. Toprak 5000m AEL XRF analizi



Şekil 4.12. Toprak SG 100m XRF analizi



Şekil 4.13. Toprak 5000m SG XRF analizi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Verilerin Değerlendirilmesi

5.1.2. Gama Spektrometresi İle Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Numune alınan topraklar her iki santral için mesafelere dayanarak toplanmıştır. Gözlemlenen sonuçlar Afşin-Elbistan için santral çevresinden uzaklaştıkça radyolojik tehlike azalmış, Su gözü için ise santral çevresinden uzaklaştıkça toprakta radyolojik değişiklik gözlenmemiştir. Afşin-Elbistan santralinden alınan taban külü, uçucu kül (UNSCEAR) raporuyla karşılaştırılmıştır ve limit değerinin üzerinde olduğu gözlenmiştir. Direk solunan ortamlarda kullanılması insan sağlığı açısından tehlikeli olup limit değeri aşmayan küllerle katkılanmış çimento kullanılması atılan uçucu külün geri dönüşümü açısından çok faydalıdır.

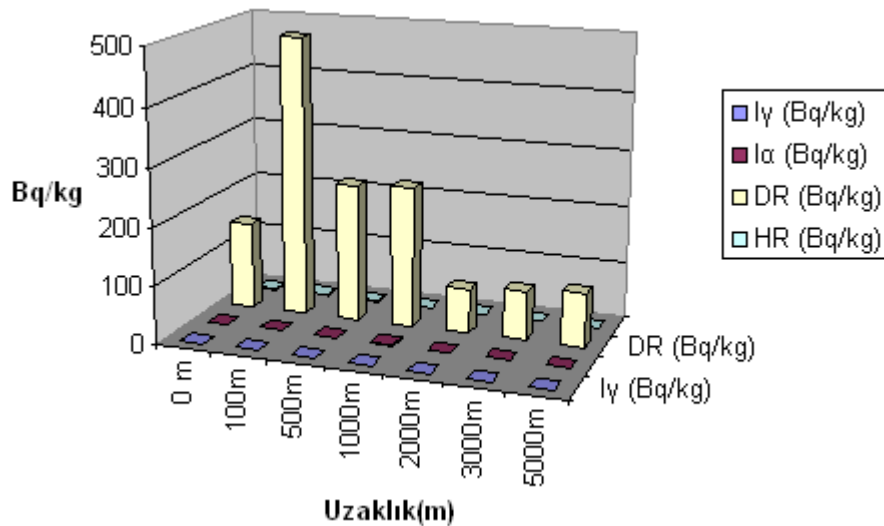
Çimento ve Beton üretiminde uçucu kül kullanımının çevresel faydaları 2 ana başlık altında incelenebilir.

1. Termik santral ve Bölgesindeki Çevresel faydalar
2. Çimento ve Beton üretimi kapsamındaki çevresel faydaları

5.1.2.1. Çevresel faydaları

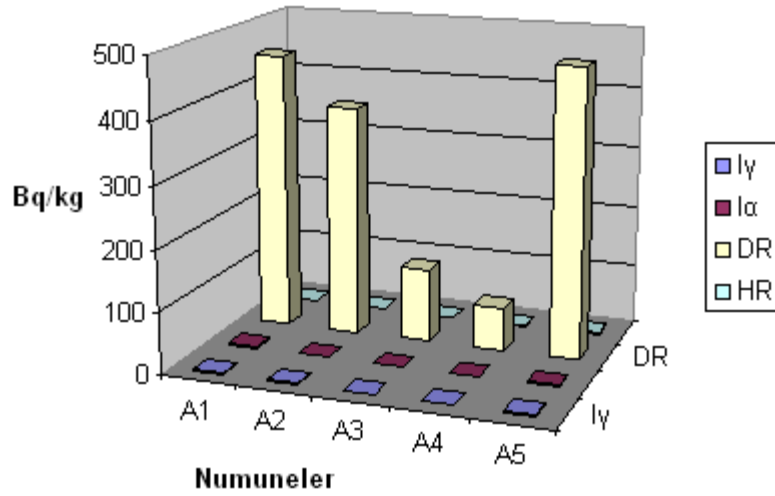
- a.) Enerji üretmek amacıyla kullanılan kömürün yakılması sonucunda uçucu kül ve taban kül olmak üzere iki tip kül oluşmaktadır ve bu küller santrallerin civarında yakın bölgelerde açık şekilde arazide depolanmaktadır.
- b.) Stok sahası ömrünün uzaması ; uçucu külün çimento üretiminde kullanımıyla stok sahasına gidecek olan kül miktarı azalacak ve stoklama sahasının ömrü uzayacaktır. Böylelikle yeni stok sahası açılmayacak ve tarım arazilerinin, orman arazilerinin doğal yapısı bozulmayacaktır.

- c.) Stoklanan külün yağın yağmur ve içerisindeki kimyasalların çözünerek yeraltı sularını kirletme riski vardır bu yeraltı sularının içme sularına karışmasından kaynaklı istenmeyen kimyasallar besin zincirine girmektedir.
- d.)Stok sahasındaki özellikle uçucu kül çapı mikron düzeyinde olup atmosferik hareket ile tarım arazilerine, yerleşim yerlerine dağılarak besin zincirine ulaşabilir. Ayrıca direk solunan hava ile insan sağlığını olumsuz etkileri uçucu külün sanayi de çimento olarak kullanılmasıyla çevresel riskleri ortadan kaldırılmaktadır.
- e.) Çimento üretiminde %40 uçucu küller katkılanması sonucu direk (klinker) kullanılabilir. Birebir kalker yerine kullanıldığından klinker üretimi (kalker ve kil) için enerjiden ve hammaddeden tasarruf edilmektedir.
- f.) Sepere uçucu kül; hazır beton üretiminde standartların izin miktarı azaltılmakta ve böylece yakıt elektrik enerjisinden tasarruf sağlanmaktadır.
- g.) Hazır beton ve çimento üretiminde kullanılan uçucu külün kimyasal ve fiziksel olarak koşullara uygun olması ve radyasyon güvenliği de dahil olmak üzere tüm belgelerin eksiksiz alınmış olması gerekir.



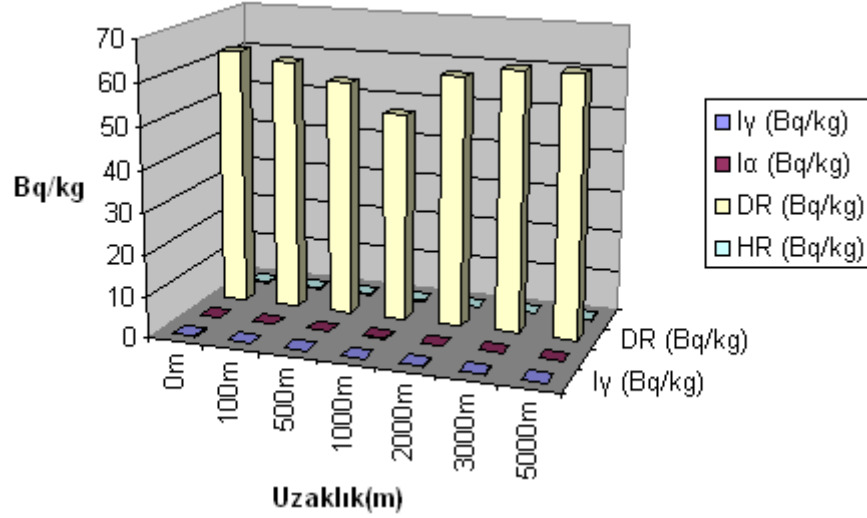
Şekil 5.1.AEL toprak örneklerinin I γ , I α indisleri soğurulmuş gama doz hızı ve yapı içi etkin doz hızı değerleri

Şekilden 5.1 den de anlaşılacağı gibi toprak numuneleri santral çevresine yakın bölgelerden alındığında gözlemlenen aktivite değerleri santral çevresinden uzaklara gidildikçe ölçülen aktivite değerlerinden daha küçüktür. Bu nedenle santral çevresindeki atık sahası geri dönüşüm için uygun koşullara getirilmeli ve santralin hemen 1 km yakınındaki topraklarda ıslah çalışmaları yapılması önerilebilir.



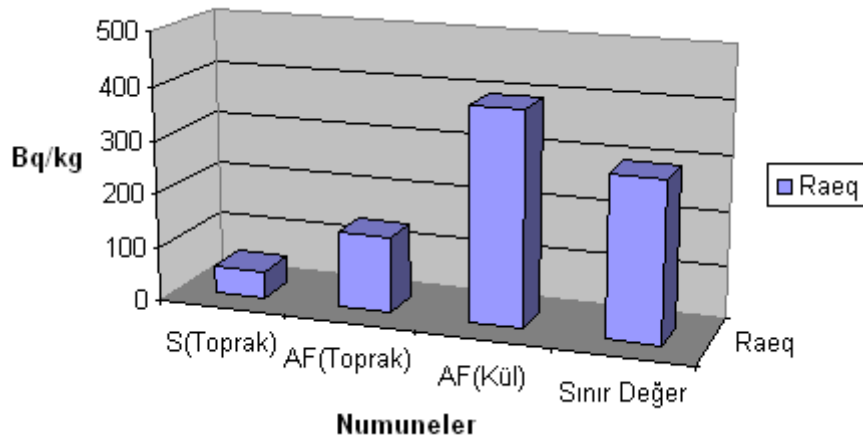
Şekil 5.2. AEL uçucu kül, taban külü, kömür curuf örneklerinin I_γ, I_α indisleri ve soğurulmuş gama doz hızı ve yapı içi etkin doz hızı değerleri

Şekil 5.4 de gözlemlediğimiz gibi A1, A2, A5 olarak isimlendirdiğimiz sırasıyla uçucu kül, taban külü ve curuf örneklerinin aktivite değerleri oldukça yüksek bulunmuştur ve hatta limit değer üzerinde olduğu tespit edilmiştir. A3 ve A4 olarak isimlendirdiğimiz numuneler nemi alınmış kömür ve bizim laboratuarda nemini aldığımız kömür örneklerinden oluşmaktadır.



Şekil 5.3 SG toprak örneklerinin I_γ , I_α indisleri ve soğurulmuş gama doz hızı ve yapı içi etkin doz hızı değerleri.

Şekil 5.3 de Su gözü (İSKEN) termik santrali civarından alınan toprak örneklerinin aktivite değerlerinin uzaklıkla orantılı olarak çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir. Türkiye ' ilk defa ithal kömürle çalışan bir termik santral olup santralde kullanılan kömüre ait jeolojik incelemeler yapılması ve bu incelemeler ışığında Türkiye bulunan diğer termik santrallere örnek oluşturabilecek veriler elde edilmesi önerilebilir.



Şekil 5.4. Toprak ve uçucu kül numunelerindeki radyum eşdeğer aktivite ortalamasının sınır değerle kıyaslanması.

Şekil 5.4. da numune alınan her iki termik santralin toprak ve kül ortalamaları alınarak sınır değeriyle karşılaştırılmıştır burada AF(kül) değerinin limit değeri üzerinde olduğunu söyleyebiliriz.

5.1.2.2. Geri Dönüşüm Sayesinde Uçucu Külün Geri Kazanımının Faydaları

Santral kazanında pulvarize (ufalanmış) kömürün tek başına yakılması esnasında baca gazlarındaki taneciklerin elektron filtrelerde tutulmasıyla uçucu kül, oluşur. Bu küller çimento fabrikalarına, beton için katkı maddesi olarak kullanılan uçucu kül ise uygun incelik ve TS EN 450 standardına getirilerek beton santrallerine sevk edilir, böylece oluşan uçucu kül yapı sektöründe kullanılarak ekonomiye ve doğaya tekrar kazandırılır.

Termik santrallerde kömürün yanması sonucu meydana gelen ve baca gazları ile taşınarak elektro filtrelerde toplanan uçucu kül önemli bir yan üründür. Türkiye 'de halen yılda 16 milyon tondan fazla uçucu kül açığa çıkmaktadır. Endüstriyel bir atık olan uçucu külün artması çevre sorunlarını da beraberinde getirir. Kullanım dışı kalan geri dönüşebilir atık malzemenin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılması olarak tanımlanır. Uçucu külün geri dönüşümünün sağlanması doğal hammadde kaynaklarının ve çevrenin korunması bakımından büyük önem taşımaktadır. Kalkınma çabasında olan ve ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan gelişmekte olan ülkelerinde doğal kaynaklarından uzun vadede ve maximum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeli, ekonomik değeri olan maddelerin geri dönüşüm yöntemleri daha fazla detaylandırılmalıdır. Enerji üreten dost santrallerden alınan uçucu küller geri dönüşüm için tercih edilmeli, kullanılan uçucu külün radyolojik karakteristiği incelenmeli sınır değeri aşmadığı koşullarda kullanılmasına dikkat edilmelidir.

Sonuç olarak bu çalışmada termik santrallerin çevresel etkileri, kullanım alanları, santrallerde kullanılan kömürün kalitesi, jeolojik yaşı oldukça önemli olup insan sağlığını tehdit edecek unsurların en aza indirilerek faaliyette olması önerilebilir. Ayrıca Opinion Research Corporation (ORC, görüş araştırma şirketi) 'nin yaptığı bir anket sonucuna göre Amerikan halkının % 80 inin nükleer güçten

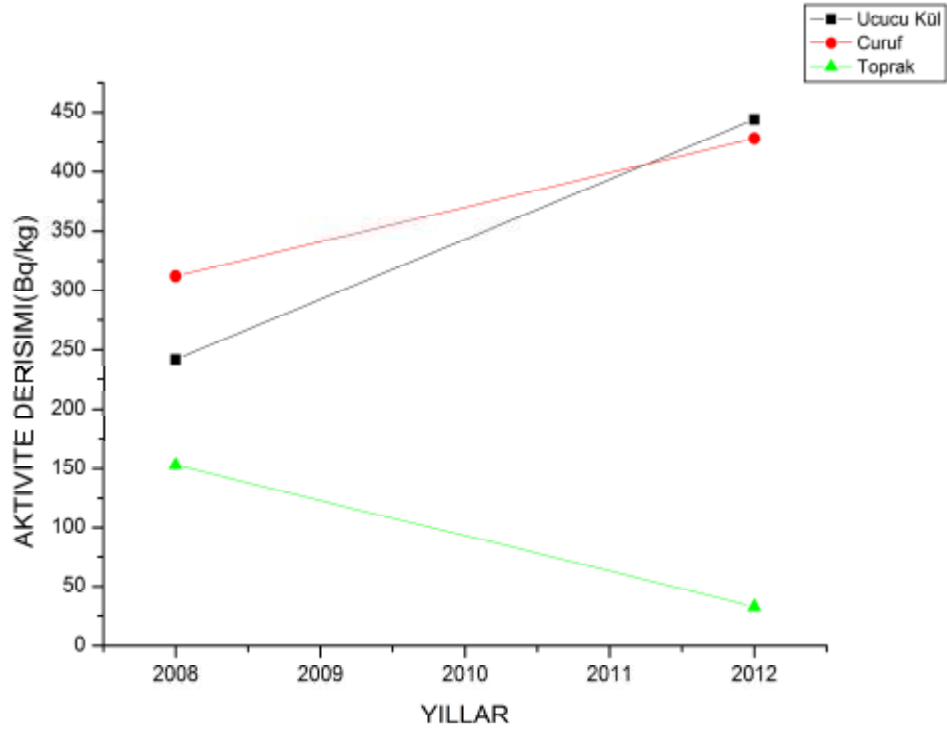
elektrik elde etmenin, aynı işi kömür kullanarak yapmaktan çok daha tehlikeli olduğunu ortaya çıkardı. Termik santraller ve nükleer enerji ile elektrik üretiminin görece tehlikeleri temelde bilimsel bir sorundur. Halkın görüşünün tersine yapılan araştırmaların hepsi kömürün daha tehlikeli olduğunu gösterir

Afşin Elbistan termik santralinden alınan numuneler için yapılan araştırmada uçucu kül örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri sırasıyla 444, 27 ve 192 Bq kg⁻¹ ve cüruf örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri ise sırasıyla 428, 49, 240 Bq kg⁻¹ ayrıca toprak örneklerinin ortalama değerleri ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K sırasıyla 153.9, 30.4, 269.3 Bq kg⁻¹, dip külü örneklerinde ise ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri 343.9, 38.5, 208.8 Bq kg⁻¹, nemsiz kömür ve karıştırıcıdan aldığımız kömürler için ise ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri sırasıyla 96.6, 22.4, 92.4 ve 59.4, 12.4, 36.8 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Sugözü termik santralinden alınan toprak numuneleri için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri sırasıyla 13.6, 17.0, 321 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Sugözü termik santralinden uçucu kül numuneleri elde edilemediği için böyle bir araştırma söz konusu olmamıştır ve böylece termik santraller arasında herhangi bir kıyaslama yapılamamıştır ancak elde edilen veriler şu an için risk oluşturmadığından uyarı niteliğinde ele alınamayabilir.

Çizelge 5.1 2008 ve 2012 Yıllarında Ölçülen ^{226}Ra için Aktivite Derişim Değerleri

Yıl	^{226}Ra için Aktivite Derişimi (Bq/kg)		
	Uçucu Kül	Curuf	Toprak
2008	242	312	153
2012	444	428	33

2008 ve 2012 yıllarında uçucu kül, cüruf ve toprak örneklerindeki ^{226}Ra için aktivite derişim değerleri ölçülmüştür. Tablodan görüleceği üzere 2012 yılında uçucu kül ve cüruf örneklerindeki ^{226}Ra aktivite derişim değerleri 2008 yılına göre daha yüksek bulunurken toprak örneklerinde ölçülen değer daha düşük ölçülmüştür.



Şekil 5.5 AEL bölgesinde 2008-2012 yıllarındaki aktivite derişimi

Şekil 5.5 de AEL bölgesinde 2008 yılında yapılan bu araştırmayı 2012 yılındaki elde edilen verilerle kıyaslanmıştır.

2008 yılında bu bölgede yapılan araştırmada uçucu kül örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri sırasıyla 242, 51 ve 493 Bq kg⁻¹ ve curuf örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri ise 313, 51, 307 Bq kg⁻¹ ayrıca toprak örneklerinin ortalama değerleri ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K sırasıyla 33, 36, 379 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Yapılan araştırmayla bu araştırmayı kıyasladığımızda 4 yıl gibi kısa bir sürede ^{226}Ra değerinin çok fazla artış göstermesi, gerekli önlemlerin alınması konusunda uyarı niteliğindedir.

5.1.3. X-Işım Floresans Spektrometresi ile Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Çalışmanın amacı topraktaki kirlenme ve tüm ağır metallerin seviyesi dünya toprak değerleriyle karşılaştırılmıştır. Topraklardaki iz metal konsantrasyonları çeşitli sanayi, nükleer araştırma ve salınan atıkların depolanması ile etkilenebilir. Aynı zamanda toprak içerisinde bulunma miktarları tarımsal verimlilik- açısından

çok önemlidir. Bitkilerin büyümesinde 16 mineral elementin gerekli olduğu kabul edilmektedir. Makrobesin elementleri olarak adlandırılan ve bitkiler tarafından görece yüksek konsantrasyonlarda kullanılan 9 mineral elementi; C, H ,O, N, P, K, Ca, Mg ve S' dir. C, H ve O kaynağı esas olarak hava ve su' dur. N, P, K, Ca ,Mg ve S kaynağı ise toprak partikülleridir. Mikrobesin elementleri olarak adlandırılan diğer 7 mineral elementi Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo ve Cl çok düşük konsantrasyonlarda gerekli olup kaynakları toprak partikülleridir. Makrobesinler genellikle bitkilerde bulunan protein ve nükleik asitler gibi organik maddelerin bileşenleridir. Mikrobesinler ise çoğunlukla enzim molekülleri bileşenleridir. Asıl besin elementlerini içeren minerallerin topraktaki konsantrasyonları yetersiz veya yüksek oranlarda olduğu zaman, bitki gelişimi ve verimliliğini ters yönde etkileyebilir. Makro ve mikro besin elementleri konsantrasyonunun yetersiz olduğu topraklarda organik toprak kondisyonlayıcıları kullanılmalıdır. Se, B, Al, Mn, Fe, S, Ba, Ni, Cu, Zn ve Pb konsantrasyonları fazla ise toksik etki (zehirlenme) yaratır

Toprak verimliği için belli mesafelerle numune alınan iki santrali kıyaslayacak olursak, Na için SG 100m uzaklığından alınan toprak örnekleri için % 0.745 iken AEL 100m uzaklığı için % 0.233 olarak bulunmuştur. İki bölgenin 5000 m için kıyası ise; SG için % 0.834 iken AEL için % 0.176 olarak bulunmuştur. 5000 m içinde Na için standart değer 0.553 olarak NIST 8704 tarafından belirlenmiştir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için Na değerleri sırasıyla % 0.2, % 0.234, % 0.13, %0.306 olarak bulunmuştur.

Mg için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için %5.576 iken AEL 100m için % 2.117 olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m Mg için sırasıyla %4.639, %3.09 olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer % 1.2'dir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için Na değerleri sırasıyla % 1.808 , % 1.57 , % 1.488 , %2.046 olarak bulunmuştur.

Zn için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 77.4ppm iken AEL 100m için 34.3ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m Zn için sırasıyla 73.7ppm, 62.9ppm olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer 408ppm'dir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için Zn değerleri sırasıyla 81.5ppm , 48ppm , 34.3ppm , 73.0ppm olarak bulunmuştur.

Al için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için % 14.871 iken AEL 100m için % 13.204 olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m Al için sırasıyla % 14.99, % 11.784 olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer % 6.1'dir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için Al değerleri sırasıyla % 9.221, % 10.647, % 9.348, % 16.541 olarak bulunmuştur.

Si için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için % 45.334 iken AEL 100m için % 30.631 olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla % 45.143, % 36.482 olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer % 92.9'dir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerleri sırasıyla % 17.315, % 22.739, % 18.717, % 36.832 olarak bulunmuştur.

P için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için % 0.212 iken AEL 100m için % 0.62 olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla % 0.434, % 0.325 olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer % 37.3'dir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerleri sırasıyla % 0.488, % 0.405, % 0.551, % 0.471 olarak bulunmuştur.

S için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için % 0.174 iken AEL 100m için % 4.638 olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla % 0.12, % 0.575 olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer % 0.34'dir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerleri sırasıyla % 17.534, % 8.434, % 17.173, % 4.663 olarak bulunmuştur

K için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için % 1.623 iken AEL 100m için % 0.021 olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla % 1.482, % 1.588 olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer % 2'dir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerleri sırasıyla % 0.513, % 0.585, % 0.555, % 1.016 olarak bulunmuştur

Ca için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için % 20.1 iken AEL 100m için % 0.983 olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla % 21.692, % 37.142 olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer % 2.64'dir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerleri sırasıyla % 43.992, % 48.834, % 43.346, % 28.507 olarak bulunmuştur

Ti için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için % 0.587 iken AEL 100m için % 36.28 olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla % 0.663, % 0.489 olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer % 0.457'dir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerleri sırasıyla % 0.371, % 0.383, % 0.532, % 0.607 olarak bulunmuştur

Fe için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için % 10.141 iken AEL 100m için % 0.611 olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla % 9.551, % 7.815 olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer % 3.97'dir. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerleri sırasıyla % 6.17, % 5.842, % 7.682, % 8.641 olarak bulunmuştur.

Sc için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 13.351ppm iken AEL 100m için 0ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 12.587ppm, 0ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 0ppm , 0ppm , 0ppm , 0ppm olarak bulunmuştur.

V için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 136ppm iken AEL 100m için 394ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 141ppm, 85ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 466ppm , 288ppm , 162ppm , 368ppm olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer 94.6 ppm verilmiştir.

Cr için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 330ppm iken AEL 100m için 657ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 304ppm, 328ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 512ppm , 317ppm , 199ppm , 460ppm olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer 122 ppm verilmiştir.

Mn için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 776ppm iken AEL 100m için 307ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 818ppm, 641ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 270 ,246 104 , 298ppm olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer 544 ppm verilmiştir.

Co için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 24.5ppm iken AEL 100m için 17.6ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 21.8ppm,

18.6ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 15, 16.8, 7.7, 21.8 (ppm) olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer 13.6 ppm verilmiştir.

Ni için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 190ppm iken AEL 100m için 174ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 134ppm, 174ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 126, 133, 53, 181 (ppm) olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer 42.9 ppm verilmiştir.

Cu için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 44.3ppm iken AEL 100m için 55.2ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 38ppm, 34.3ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 24.6, 42.3, 15.0, 57.3 (ppm) olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer 87 ppm verilmiştir.

As için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 7.2ppm iken AEL 100m için 11.4ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 7.2ppm, 6.9ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 35.2, 10.1, 11.4, 10.9 (ppm) olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer 17 ppm verilmiştir.

Se için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 0ppm iken AEL 100m için 6.7ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 0ppm, 0ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 18, 7.2, 6.7, 0 (ppm) olarak bulunmuştur.

Br için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 0ppm iken AEL 100m için 21.8ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 0ppm, 0ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 36.5, 21.5, 21.8, 0 (ppm) olarak bulunmuştur.

Rb için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 46.5ppm iken AEL 100m için 15.2ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 34.6ppm, 45.9ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 31.5, 35.9, 15.2, 56.1 (ppm) olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer 137 ppm verilmiştir.

Sr için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 240ppm iken AEL 100m için 169ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 245ppm, 245ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 508, 490, 169, 367 (ppm) olarak bulunmuştur.

Y için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 19.01ppm iken AEL 100m için 8.68ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 18.96ppm, 15.40ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 20.20, 19.31, 8.68, 24.97 (ppm) olarak bulunmuştur.

Zr için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 103ppm iken AEL 100m için 52ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 98ppm, 100ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 118, 127, 52, 157, (ppm) olarak bulunmuştur.

Nb için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 7.7ppm iken AEL 100m için 5.4ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 6ppm, 8.8ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 11.6, 12.0, 5.4, 15.8 (ppm) olarak bulunmuştur.

Mo için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 0ppm iken AEL 100m için 7.6ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 0ppm, 0ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 26.4, 13.5, 7.6, 12.6 (ppm) olarak bulunmuştur.

Ba için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 167ppm iken AEL 100m için 120ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 186ppm, 277ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 354, 342, 120, 326 (ppm) olarak bulunmuştur. NIST 8704 tarafından verilen standart değer 413 ppm verilmiştir.

La için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 16.4ppm iken AEL 100m için 10.1ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 17.5ppm, 17.5ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 28.9, 29.8, 10.1, 38.2 (ppm) olarak bulunmuştur.

Ce için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 27.0ppm iken AEL 100m için 19.9ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 21.6ppm, 27.0ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 58.6, 70.3, 19.9, 74.4 (ppm) olarak bulunmuştur.

Pb için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 11.3ppm iken AEL 100m için 5.6ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 9.7ppm, 12.9ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 15.9, 6.6, 5.6, 8.2 (ppm) olarak bulunmuştur. . NIST 8704 tarafından verilen standart değer 150 ppm verilmiştir.

Th için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 5.4ppm iken AEL 100m için 4.4ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 4.01ppm, 7.93ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 10.08, 10.06, 4.4, 12.6 (ppm) olarak bulunmuştur.

U için kıyaslama yapacak olursak; SG 100m için 0ppm iken AEL 100m için 13.6ppm olarak bulunmuştur. SG 5000m ve AEL 5000m için sırasıyla 0ppm, 3.33ppm olarak bulunmuştur. Uçucu kül, dip külü, nemsiz kömür, curuf örnekleri için değerler sırasıyla 38.1, 25.6, 13.6, 31.2 (ppm) olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- AKHTAR, N., TUFAİL, M., IQBAL, M.M., 2005. Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahore, Pakistan. 39:11-14.
- AL-SULAİTİ, H., ALKHOMASHİ, N., AL-DAHAN, N., AL-DOSARİ, M., BRADLEY, D.A., BUKHARİ, S., MATTHEWS, M., REGAN, P.H., SANTAWAMAİTRE, T., 2011. Determination of the natural radioactivity in Qatari building materials using high-resolution gamma-rays spectrometry.652:915-919
- ANAGNOSTAKİS, M.J., BOLZAN, C., DE FELİCE, P., FAZİO, A., GRİSANTİ, G., RİSİCA, S., TURTİAİNEN, T., GRAF, E., 2004. A preliminary intercomparison of gamma-ray spectrometry on building materials. 61:381-388.
- ARSLAN, M., BOYBAY, M. KAYA, M., CİCİ, M., ALKAN, C., 1990. Türkiye Termik Santralleri Uçucu Küllerinin Bazı Özellileri. İTÜ 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 37-53.
- AVCI, S., 2005. Türkiye’de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri. İ.Ü. Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi, 13: 1-26.
- AYÇİK, G.A., ERCAN, A., 1997. Radioactivity measurements of Coals and Ashes from Coal Fired Power Plants in the Southwestern Part of Turkey.35:23-35.
- BARBİR, F., VEZİROĞLU, T.N., 1992. Assessment of Environmental Damage by Fossil Fuels. Clean Utilization of Coal, NATO ASI Series, Series:C, Mathematical and Physical Sciences, Vol 370, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- BAYKAL, G., SAYGILI, A., 2011. A new technique to reduce the radioactivity of fly ash utilized in the construction industry. 90:1612-1617.
- BAYKAN, A. R., 2004. Türkiye Çevre Atlası. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Bşk., Ankara.

- BAYRAM, A., VE ODABAŞI, M., 1994, Türkiye’de linyitli termik santrallerin kirletici emisyonları, Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğler Kitabı, 2, 435447
- BEM, E.M., BEM, H., WİECZORKOWSKI, P., 1998. Studies of radionuclide concentrations in surface soil in and around fly ash disposal sites, 220: 215-222.
- BHANGARE, R.C., AJMAL, P.Y., PANDİT, G.G., PURANİK, V.D., 2011. Distribution of trace elements in coal and combustion residues from five thermal power plants in India. 86:349-356.
- CAMGÖZ, İ.Y., YAPRAK, G., 2009. Küçük Menderes Havzası Tarım Topraklarında Doğal Radyonüklit Seviyesinin Belirlenmesi E.Ü Türkiye. 70:74-80
- CHEREMISINOFF, P., 1988. Coal Fly Ash : Power Plant Waste or by Product, Power Engineering, July :40-41.
- ÇEVİK, U., DAMLA, N., NEZİR, S., 2007. Radiological characterization of Cayırhan coal-fired power plant in Turkey. 86: 2509-2513.
- ÇEVİK, U., DAMLA, N., KOZ B., KAYA, S., 2008. Radiological characterization around the Afşin-Elbistan coal-fired power plant in Turkey. 22:428-432.
- DANIELOWSKA, D.S., 2010. Rare earth elements in fly ashes created during the coal burning process in certain coal-fired power plants operating in Poland-Upper Silesian Industrial Region. 101:965-968.
- ENERJİ İSTATİSTİKLERİ, 1994, Türkiye 6. Enerji Kongresi, 17-22 Ekim, İzmir.
- ENERJİ RAPORU, 1994, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi.
- ERKAN, A., 2007. An Investigation on the Natural Radioactivity of Building Materials, Raw Materials and Interior Coatings in Central Turkey. 37:199-203.
- EYE, J.D. and BASU, T.K., 1970. The Use of Fly Ash in Wastewater Treatment and Sludge Conditoning. Journal of WPCF, 42 (5), R125-R135.
- FERRAIOLA G., ZILLI, M. and CONVERTTI, A., 1990. Fly Ash and Utilization, J. Chem. Tech. Biotechnol., 47: 281-305.

- FISCHER, G.L. and NATUSCH, D.F.S., 1979. Size Dependence of the Physical and Chemical Properties of Coal Fly ASH. Anal.Methods Coal Prod.,3 :489-541.
- GOLDEMBERG, J., JOHANSSON, T.B., 2004. World Energy Assessment: Overview Update. New York: United Nations Development Programme
- HULLET, L.D., WEINBERGER, A.L., NORTHCUTT, K.J. and FERGUSON, M., 1980. Chemical Species in Fly Ash from Coal-Burning Power Plants. Science 210 : 1356-1358.
- JANKOVIĆ, M., TODOROVIĆ, D., SAVANOVIĆ, M., 2008. Radioactivity measurements in soil samples collected in the Republic of Srpska.43:1448-1452.
- KARAYIĞIT, A.İ., 1998. Kömür Petrografisi. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. 1998, İstanbul.
- KNOLL, F.G., 2000. Radiation Detection and Measurement Third Edition.Wiley, 816, New York.
- KUMAR, R., MAHUR, A.K., SENGUPTA, D., PRASAD, R., 2005. Radon activity and exhalation rates measurements in fly ash from a thermal power plant.40:638-641.
- KURNAZ,A., KÜÇÜKÖMEROĞLU, R., KESER, R., OKUMUŞOĞLU, F.K., KARAHAN, G., ÇEVİK, U., 2007. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey). 65:1281-1289
- MALCZEWSKI, D., TEPER, L., DORDA, J., 2004. Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environs of Swieradow Zdroj in Sudetes, Poland, by in situ gamma-ray spectrometry.73:233-245.
- MAVROS, P., ZOUBOULIS,A.I., LAZARIDIS, N.K., 1993. Removal of metal Ion from Wastewaters The Case of Nickel, Enviromental Technology, 14: 83-91.
- MERİÇBOYU, A.E., BEKER, Ü.G., KÜÇÜKBAYRAK, S., 1998. Kömürün Kullanımını Belirleyen Önemli özellikleri. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İstanbul.

- NAKOMAN, E., 1971. Kömür. Maden Teknik ve Arama Enstitüsü Yayınlarından Eğitim serisi No:8, Ankara.
- NAQVİ, A.A., GARWAN, M.A., MASLEHUDDİN, M., NAGADİ, M.M., AL-AMOUDİ, O.S.B., REHMAN, K., RAASHİD, M., 2009. Prompt gamma analysis of fly ash silica fume and Superpozz blended cement concrete specimen. 67:1707-1710.
- NAQVİ, A.A., GARWAN, M.A., NAGADİ, M.M., MASLEHUDDİN, M., AL-AMOUDİ, O.S.B., REHMAN, K., 2009. Non-destructive analysis of chlorine in fly ash cement concrete. 607:446-450
- PARAMİ, V.K., SAHOO, S.K., YONEHARA, H., TAKEDA, S., QUIRİT, L.L., 2010. Accurate determination of naturally occurring radionuclides in Philippine coal-fired thermal power plants using inductively coupled plasma mass spectrometry and γ -spectroscopy. 95:181-185.
- PARMAKSIZ, A., 2004. Yüksek Çözünürlüklü Gama Spektrometresi ile Fosfojips İçerisindeki Doğal Radyoaktivitenin ölçülmesi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- POLLARD, S.J.T., FOWLER, G.D., SOLLARS, C.J. and PERRY, R., 1992. Low-cost Adsorbents for Waste and Wastewater Treatment, A Review, Sci. Total Envir., 116: 31-52.
- PRABHU, P.V.S.S., NARAYANASWAMY, M.S. and NARASA RAJU, T.S.S., 1981. Adsorption of Zinc from Aqueous Solutions by Fly Ash, Indian Association of Water Pollution Control Technical Annual, 8:46.
- SİNGH, S., SİNGH, B., KUMAR, A., 2003. Natural radioactivity measurements in soil samples from Hamirpur district, Himachal Pradesh, India. 36:547-549.
- SİOTİS, I., WRİXON, A.D., 1984. Radiological consequences of the use of fly ash in building materials in Greece.7:101-105.
- SOLMAZ NUR, A., 2008. Düşük Seviyeli Radyoaktivite Ölçümü için Kuyu-Tipi Ge Dedektörlü Bir Gama Spektrometresinin 40–2000 keV Enerji Aralığında Verim Kalibrasyonunun Yapılması, AÜ Nükleer Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- TOPRAK, S., 2009. MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Ankara.

- TORAMAN, Ö.Y., 1995. Afşin-Elbistan Termik Santral Uçucu Küllerinden Liç Yöntemiyle Metal Oksitlerin Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 82s.
- TUFAİL, M., AKHTAR, N., WAQAS, M., 2006. Measurement of terrestrial radiation for assessment of gamma dose from cultivated and barren saline soils of Faisalabad in Pakistan. 41:443-451.
- TURHAN, Ş., ARIKAN, İ.H., VARİNLİOĞLU, A., KÖSE, A., 2010. Evaluation of the radiological safety aspects of utilization of Turkish coal combustion fly ash in concrete production. 89:2528-2535.
- TURHAN, Ş., PARMAKSIZ, A., KÖSE, A., YÜKSEL, A., ARIKAN, İ.H., YÜCEL, B., 2010. Radiological characteristics of pulverized fly ashes produced in Turkish coal-burning thermal power plants. 89:3892-3900.
- TÜRKMENOĞLU, M., 2010. Uçucu Küllerin Liç Karakteristiklerinin ve Çevreye Etkilerinin Araştırılması. ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Adana.
- VIRARAGHAVAN, T. and DRONOMRAJU, M.,1993. Use of Fly Ash in the Removal of Copper, Nickel and Zinc from Wastewater, Water Poll. Res. J. Canada, 28 (62): 369-384.
- VIRARAGHAVAN, T. and RAO, G.A.K., 1991. Adsorption of Cadmium and Chromium from Wastewater by Fly Ash, Journal of Enviromental Scientist Health A, 26 (5): 721-753.
- WATSON, J.S., 1985. Potential Resources from Coal Fly Ash. Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 43: 151-161.
- WENG, C.H. and HUANG, C.P., 1990. Removal of Trace Heavy Metals by Adsorption onto Fly Ash, in C.R.O Melia (Ed.). Proceedings of the1990 Enviromental Engineering Speciality Conference, ASCE, New York, NY, USA. Pp. 923-924.
- WENG, C.H. and HUANG, C.P., 1994. Treatment of Metal Industrial Wastewater by Fly Ash and Cement Fixation, J. Enviromental Engineering, ASCE, 120 (6): 1470-1487.

YADAVA, K.P., TYAGI, B.S., PANDAY, K.K. and SINGH, V.N., 1987. Fly Ash for the Treatment of Cadmium (II) Rich Effluents, Environmental Technology Letters, 8: 225-234.

ZIELINSKI, R.A., BUDAHN, J.R., 1997. Radionuclides in fly ash and bottom ash: improved characterization based on radiography and low energy gamma-ray spectrometry. 77:259-267.

3.ENDÜSTRİYEL KİRLENME SEMPOZYUMU, 1992, İTÜ, 7-9 Eylül, İstanbul.

<http://www.belgeler.com/blg/2eh9/termik-santral-nedir-nasil-calisir-turkiye-deki->

[termik-santrallar-elektrik-santral-cesitleri](#) (Erişim tarihi: 3Kasım 2011)

http://www.tki.gov.tr/dosyalar/komur_nedir.pdf (Erişim tarihi: 4Kasım 2011)

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Mersin’de doğdu. İlk , orta ve lise öğrenimini Mersin’in Silifke ilçesinde tamamladı. 2003 yılında başladığı Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden 2007 yılında mezun oldu 2008 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümünde Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Halen aynı bölümde bilimsel çalışmalarına devam etmektedir.