

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**ŞANLIURFA İLİ AYAKLI BÖLGESİNDE YAPAY VE DOĞAL
RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ YAPILARAK ÇEVRESEL FAKTÖRLERİN
RADYOLOJİK YAPIYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Tayfun YANGIN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞUBAT 2021

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**ŞANLIURFA İLİ AYAKLI BÖLGESİNDE YAPAY VE DOĞAL
RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ YAPILARAK ÇEVRESEL FAKTÖRLERİN
RADYOLOJİK YAPIYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Tayfun YANGIN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞUBAT 2021

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞANLIURFA İLİ AYAKLI BÖLGESİNDE YAPAY VE DOĞAL
RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ YAPILARAK ÇEVRESEL FAKTÖRLERİN
RADYOLOJİK YAPIYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Tayfun YANGIN

FİZİK

ANABİLİM DALI

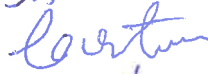
YÜKSEK LİSANS

Bu tez 12 / 02 / 2021 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

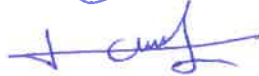
Prof. Dr. Yasemin KÜÇÜK



Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN



Prof. Dr. Asım SOYLU



ÖZET

ŞANLIURFA İLİ AYAKLI BÖLGESİNDE YAPAY VE DOĞAL RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ YAPILARAK ÇEVRESEL FAKTÖRLERİN RADYOLOJİK YAPIYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Tayfun YANGIN

Yüksek Lisans Tezi, Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yasemin KÜÇÜK

Şubat 2021; 47 sayfa

Bu çalışmada Şanlıurfa ilinin Viranşehir ilçesine bağlı Ayaklı bölgesinin toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının konsantrasyonları gama ışını spektrometresi kullanılarak incelenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'un radyoaktivite konsantrasyonu ortalamaları sırasıyla 24,89; 35,23; 310,76Bq/kg ve fisyon ürünü olan ^{137}Cs radyoizotopunu konsantrasyonu 7,81Bq/kg olarak ölçülmüştür. Elde edilen aktivite konsantrasyonları kullanılarak Havadaki Soğurulan Doz Hızı (D), Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Raeq), Dış Tehlike Endeksi (Hex) ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE) hesaplanmış olup, havadaki Soğurulmuş Doz Hızı ortalaması 46,29nGy/saat bulunmuştur. Bütün Dış Tehlike Endeksi değerlerinin sınır değeri olan 1' den küçük olduğu gözlenmiştir. Sonuçlar daha önce yapılan çalışmaların yanı sıra uluslararası kuruluşların insan sağlığı açısından belirledikleri sınır değerleri ve ortalama değerler ile karşılaştırılmıştır. GDR: 46.34 nGy/h, REA: 99.20Bq/kg, AEDE(Yetişkinlerde): 56,83 $\mu\text{Sv/yıl}$. Bu çalışmada ayrıca, bölgenin doğal sınırlar içinde bir arka plan radyasyon düzeyine sahip olduğu bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Dış Tehlike Endeksi, Doğal Radyoaktivite, gama spektrometrisi, gama doz oranı.

JÜRİ: Prof. Dr. Yasemin KÜÇÜK

Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN

Prof. Dr. Asım SOYLU

ABSTRACT

INVESTIGATING THE EFFECT OF THE ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE RADIOLOGICAL STRUCTURE IN AYAKLI, ŞANLIURFA BY MEASURING OF THE ARTIFICIAL AND NATURAL RADIOACTIVITY

Tayfun YANGIN

MSc. Thesis, Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Yasemin KÜÇÜK

February 2021; 47 pages

In this study the activity concentrations in the soil samples of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in Ayaklı Village of Viranşehir, Şanlıurfa have been investigated by using the gamma-ray spectrometry. The radioactivity concentration of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K have been measured as 24,89; 35,23; 310,76Bq/kg respectively. The concentration of the ^{137}Cs which is fission product has been measured as 7.81Bq/kg. The outdoor absorbed dose rates (D), radium equivalent activities (Raeq), external hazard indices (Hex) and corresponding annual effective (AEDE) have been obtained by using the measured activity concentrations. The average outdoor absorbed dose rate has been found as (GDR) 46,29nGy/h. The all external hazard indices values have been measured lower than limit value, 1. The results obtained in this work have been compared with previous studies as well as the limit and average values justified by the international organisations for the human health. GDR: 46.34 nGy/h, REA: 99.20Bq/kg, AEDE(Adults): 56,83 $\mu\text{Sv/yıl}$. It has also been observed that this region has background radiation level within the natural limits.

KEYWORDS: External hazard indices, Gama spectrometry, Gamma Dose Rate, Natural radioactivity.

COMMITTEE: Prof. Dr. Yasemin KÜÇÜK

Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN

Prof. Dr. Asım SOYLU

ÖNSÖZ

Tezime ilk başladığım andan beri yoğun akademik hayatının arasında her soruma cevap vererek yoluma ışık tutan değerli danışman hocam Prof. Dr. Yasemin KÜÇÜK' e bana kattıkları ve emekleri için saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma alanımız Suriye sınırına çok yakın ve numune toplama takvimimiz Barış Pınarı Operasyonlarına denk gelmiş, işlerimiz kat be kat zorlaşmışken yardımlarıyla numuneleri toplamamı kolaylaştıran edebiyat öğretmeni arkadaşım Abdulvahit KARAKEÇİLİ' ye teşekkür ediyorum.

Çalışmada kullandığım haritaları hazırlayarak destek olan değerli hocam Öğr. Gör.ERCÜMENT AKSOY teşekkür ediyorum.

Ayrıca hazırlık aşamasından teslim anına kadar her aşamada bana öğrettiği bilgiler ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli 2. Danışman hocam Doç. Dr. Süleyman Fatih ÖZMEN'e çok teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca hep yanımda olup çalışmalarımda bana destek veren, cesaretlendiren annem Hüsne YANGIN ve babam Hasan YANGIN'a teşekkür ediyorum. Tezin teslim sürecinde verdiği destek için kıymetli dayım, çocukluk arkadaşım İrfan ULUÇ'a sabrı için teşekkür ediyorum.

Güler yüzü, sevgisi ve sabrıyla hayat arkadaşım Cavide YANGIN'a ve dünya tatlısı kızlarım Sezin Dila YANGIN ile Elvin YANGIN'a her şey için teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
1.1. Radyoaktiflik Nedir?	2
1.2. Radyasyon Çeşitleri.....	3
1.3. Radyoaktif Denge Nedir?	5
1.4. Doğal Radyoaktivite.....	5
1.5. Yapay Radyoaktivite	8
1.6. Gelişmeler Doğrultusunda Radyoaktivite Birimleri.....	9
1.6.1. Aktiflik (A) :	9
1.6.2. Işınlanma dozu (POZ) :.....	9
1.6.3. Soğurulan doz (D) :.....	9
1.6.4. Doz eşdeğeri (DE):.....	9
1.7. Radyasyon Kaynakları.....	10
1.6.5. Doğal radyasyon kaynakları.....	10
1.6.6. Yapay radyasyon kaynakları	12
1.8. Radyasyon Madde Etkileşimi.....	13
1.8.1. Fotoelektrik olay	13
1.8.2. Compton saçılması olayı	14

1.8.3. Çift oluşumu.....	15
1.9. Radyasyonun Ölçülmesi.....	16
1.9.1. HPGe dedektörü ve çalışma prensibi	16
2. KAYNAK TARAMASI	18
3. MATERYAL VE METOD.....	22
3.1. Pik Alanının Hesaplanması	24
3.2. Kalibrasyon	24
3.2.1. Enerji kalibrasyonu	24
3.2.2. Pik genişliği kalibrasyonu	24
3.2.3. Verim kalibrasyonu.....	25
3.3. Minimum Dedekte Edilebilen Aktivite (MDA)	26
3.4. Doğal Ortam Sayımı.....	26
3.5. Radyolojik Risk Parametreleri	27
3.5.1. Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}):.....	27
3.5.2. Soğurulan gama doz hızı (D):	27
3.5.3. Yıllık etkin doz (AED):.....	27
3.5.4. Dış zarar indeksi (Hex):	27
3.6. Bölgenin Tanıtılması	27
3.7. Ölçme İşlemi	29
3.8. Ölçmede Hata	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1. Toprak Örneklerindeki Doğal Radyasyon Seviyeleri.....	34
5. SONUÇLAR.....	40
6. KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Şanlıurfa İli Ayaklı Bölgesinde Yapay Ve Doğal Radyoaktivite Ölçümleri Yapılarak Çevresel Faktörlerin Radyolojik Yapıya Etkisinin İncelenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

12/02/2021

Tayfun YANGIN



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

As	: Arsenik
Bq	: Becquerel
Ci	: Curie
D	: Sođrulan Doz Hızı
E	: Enerji
f	: Fermi (10^{-15})
Gy	: Gray
H _{ex}	: Dış Tehlike Endeksi
Hg	: Civa
K	: Kilo(10^3)
m	: Mili, değeri(10^{-3})
M	: Mega (10^6)
n	: Nano, değeri (10^{-9})
p	: Piko, değeri(10^{-12})
R	: Röntgen, radyasyon řiddet birimi
Ra _{eq}	: Radium Eşdeğer Aktivitesi
Sb	: Antimon
Sv	: Sievert
T _{1/2}	: Yarılanma süresi ya da yarı ömür
α	: Alfa parçacığı
β	: Beta parçacığı
γ	: Gama fotonu
μ	: Mikro, değeri (10^{-6})

Kısaltmalar

ADC	: Analog Sayısal Dönüştürücü
AEDE (AED)	: Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri
esu	: Elektrostatik yük birimi
FWHM	: Yarı Yükseklikteki Tam Genişlik (Full Width at Half Maximum)
HPGe	: Yüksek Saflıkta Germanyum
MCA	: Çok Kanallı Analizör
MDA	: Tespit Edilebilir Minimum Aktivite
NCRP	:Radyasyondan Korunma ve Radyasyon Ölçümleri Ulusal Kurulu
QF	: Kalite Faktörü
Rad	: Soğurulan Radyasyon Dozu (Radition absorbed dose)
RBE	: Bağlı biyolojik etkinlik
SI	: Uluslararası Birim Sistemi
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	:Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
WHO	: Dünya Sağlık Teşkilatı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kararlılık kuşağı (arpana.gov\ionising-radioactivity).....	3
Şekil 1.2. Uranyum serisi bozunum şeması(IAEA,1996).....	6
Şekil 1.3. Toryum serisi bozunum şeması(IAEA,1996).....	7
Şekil 1.4. Aktinyum serisi bozunum şeması(IAEA,1996).....	7
Şekil 1.5. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının oransal değerleri	10
Şekil 1.6. Doğal radyasyon kaynakları(TAEK,2010,2014).....	11
Şekil 1.7. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oranları(IAEA,1996)	12
Şekil 1.8. Fotoelektrik olayı betimleyen görsel (livescience.com).....	14
Şekil 1.9. Compton saçılması olayını betimleyen görsel(radiopedia)	15
Şekil 1.10. Çift oluşumu olayını betimleyen görsel (Lilley 1991)	15
Şekil 1.11. Yarı iletken dedektörlerin çalışma prensibini gösteren devre(TAEK,1985)	16
Şekil 1.12. Bir Germanyum (Ge) dedektörü soğutma kabı (dewar).....	17
Şekil 3.1. Radyasyon enerjisinin ölçümü sırasında dedektörde gelişen olaylar(Krane,2001)	22
Şekil 3.2. Bir dedektöre aktarılan radyasyon enerjisine ait pikler(Krane,2001).....	23
Şekil 3.3. Gama spektroskopi sistemi	23
Şekil 3.4. Pik alanının hesaplanması.....	24
Şekil 3.5. Pik genişliğinin hesaplanması (Gilmore, 2008).....	25
Şekil 3.6. Ayaklı bölgesinin coğrafi konumu (harita.gov).....	28
Şekil 3.7. Çalışma Alanı	29
Şekil 3.8. Numune alınan 11 nokta (harita genel müdürlüğü).....	30
Şekil 3.9. Numunelerin etüvde nemden uzaklaştırılması.....	30
Şekil 3.10. Numunelerin tartılma işlemi	31

Şekil 3.11. Dedektörde sayıma hazır hale getirilmiş örnekler	31
Şekil 3.12. Akdeniz Üniversitesi Fizik Bölümü Gama Spektroskopi Laboratuvarı	32
Şekil 3.13. MAESTRO32 ile elde edilmiş Kemerli köyünün gama spektrumu	32
Şekil 4.1. Toprak örneklerinden elde edilen radyoaktivite konsantrasyon grafiği	37
Şekil 5.1. TAEK Türkiye çevresel radyasyon atlası, Şanlıurfa, ²²⁶ Ra aktivite derişim haritası	40
Şekil 5.2. TAEK Türkiye çevresel radyasyon atlası, Şanlıurfa, ²³² Th aktivite derişim haritası	40
Şekil 5.3. TAEK Türkiye çevresel radyasyon atlası, Şanlıurfa, ⁴⁰ K aktivite derişim haritası	41
Şekil 5.4. TAEK Türkiye çevresel radyasyon atlası, Şanlıurfa, ¹³⁷ Cs aktivite derişim haritası	41
Şekil 5.5. İşaretli çalışma noktalarındaki ²²⁶ Ra aktivite konsantrasyon grafiği.....	43
Şekil 5.6. İşaretli çalışma noktalarındaki ²²⁸ Ac aktivite konsantrasyon grafiği	43
Şekil 5.7. İşaretli çalışma noktalarındaki ⁴⁰ K aktivite konsantrasyon grafiği.....	44
Şekil 5.8. İşaretli çalışma noktalarındaki ¹³⁷ Cs aktivite konsantrasyon grafiği.....	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. İzin Verilen Yıllık Doz Sınırları	2
Çizelge 1.2. Doğal radyoaktif çekirdek serileri (Krane,2001).....	6
Çizelge 1.3. Bazı doğal radyoaktif izotoplar (Krane,2001).....	8
Çizelge 1.4. İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri	10
Çizelge 1.5. (Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri)(TAEK,2010,2014).....	11
Çizelge 3.1. HPGe gama spektrometre sisteminin MDA değerleri(Özmen, 2014).....	26
Çizelge 4.1. Toprak örneklerinin net kütlesi.....	34
Çizelge 4.2. Standart referans kaynaktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri.....	35
Çizelge 4.3. Toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	35
Çizelge 4.4. Toprak örneklerinin radyolojik zarar indeksleri	38
Çizelge 5.1. Daha önce yapılan bazı çalışmalardaki toprak örneklerinin ortalama aktivite değerleri.....	42

1.GİRİŞ

20. yüzyılın başlarında atomun çekirdeği anlaşılmaya başlandığında radyoaktivite ve radyasyon ifadeleri hayatımızda yer edinmeye başladı. Nükleer (çekirdek) enerjisinin fark edilmesi ile birlikte bilim tarihinde önemli gelişmeler oldu. Bu gelişmelerin sonuçları insanoğlunun yaşamını kolaylaştırdığı gibi yanlış kullanılması ile zararları da kendini gösterdi. Evrenimizin oluşumundan bu yana doğada kendiliğinden olan doğal radyoaktif maddelerin olduğu gibi antropojenik (insan etkisi ile) oluşan radyoaktif maddelerde bulunmaktadır.

Radyoaktif maddeler belli dozun üzerinde ışıma yaptıklarında canlı sağlığını tehdit eder. Bu yüzden yaşam alanları ve çevresinin düzenli araştırılıp kayıtlarının yapılması önem arz etmektedir. Canlılar buldukları ortamdan radyoaktif olarak etkilenebilir. Bu etkinin kaynağı bazen doğal bazen de doğal olmayan bir kaynak olabilir. Kaynakların ve zarar indekslerinin belirlenmesi, takip edilmesi canlı sağlığı açısından çok önemlidir. Doğal kaynaklardan biri uzaydan atmosferimize giren kozmik ışınlardır. Başka bir doğal kaynak ise hali hazırda atmosferimiz içinde olan yani karasal radyonüklitlerdir. Bu radyonüklitler ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th serileri ve ^{40}K 'tır. Bu radyoaktif elementler yer kabuğundaki bütün toprak ve kaya türlerinde bulunur. Toprakta ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması sırası ile 35, 30 ve 400 Bq.kg⁻¹'dir(UNSCEAR,2000),(Çevik,2013). Doğal radyoaktif elementlerin bozunma serilerinde bulunan Radon (Rn) gazı yer kabuğundaki kayaçların kırılması sonucunda bozunmadan yeryüzüne ulaşabilir(Krane,2001). Bu gaz iyi havalandırılmayan bina içindeki merdiven boşlukları gibi yerlerde birikerek insan sağlığını tehdit edebilir. Radon ve ürünlerinin akciğer kanseri riskini arttırdığı bilinmektedir. Bu gaz solunum yolu ile vücuda girer ve içeriden ışınlanma yaparak kansere yakalanma riskini belirgin ölçüde artırır(Morrison,1998). Diğer yandan çekirdek enerjisinin gün geçtikçe kullanıldığı yerler değişmekte bunlarda beraberinde nükleer kazaları getirmektedir. Bu kazaların yanında nükleer santrallerde de istenmeyen durumların oluşması ile kazalar oluşmakta ve çevresel radyoaktif risk artmaktadır.

Radyoaktif etki için yıllık etkin doz eşdeğeri(AEDE) hesaplanarak insanların bir yılda alacağı radyasyon dozu belirlenir. Bu değer yetişkinler, çocuklar ve bebekler için ayrıca hesaplanmaktadır. Bu değerlerin sürekli takip edilmesi, Çizelge 1.1' deki Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) tavsiye ettiği sınırlar içinde olup olmadığının belirlenmesi hayati öneme sahiptir.

Çizelge 1.1. İzin Verilen Yıllık Doz Sınırları

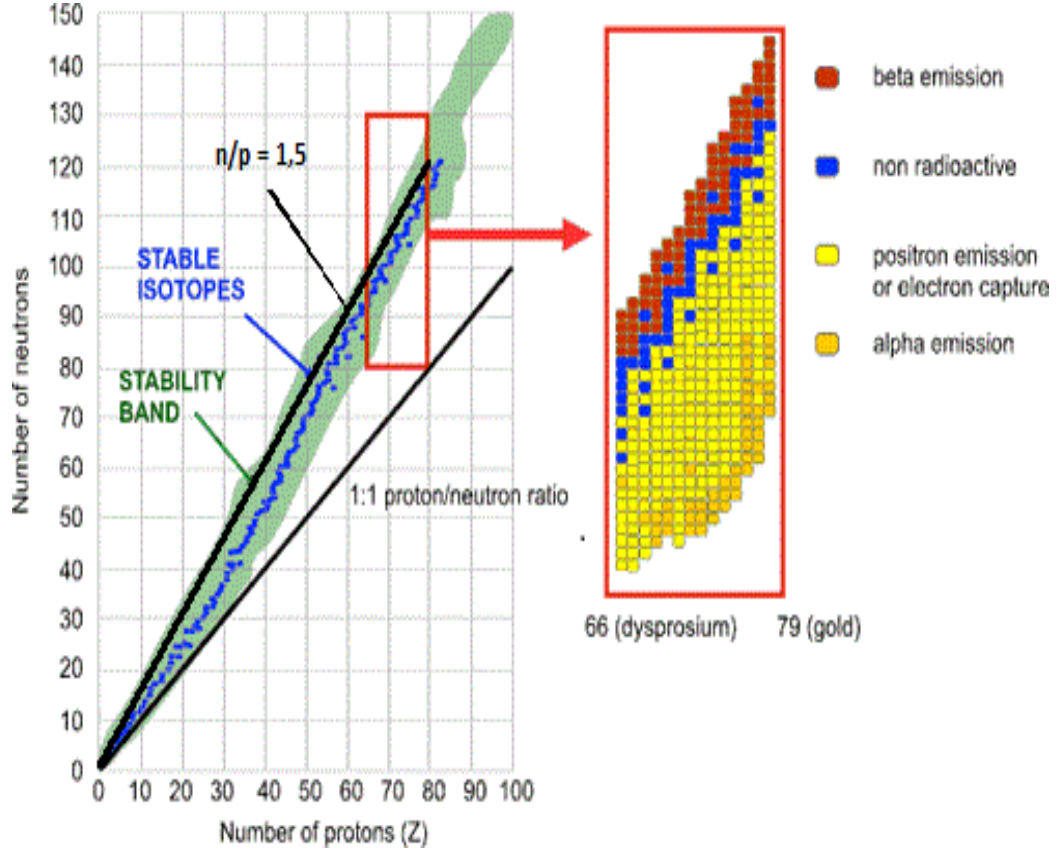
		Radyasyon Görevlileri	Halk
Etkin Doz	Yıllık Ortalama	20mSv/yıl	1 mSv/yıl
	Tek Yıl	50mSv/yıl	5 mSv/yıl
Eşdeğer Doz	Göz	150mSv/yıl	15 mSv/yıl
	Cilt	500mSv/yıl	50 mSv/yıl
	El-ayak	500mSv/yıl	50 mSv/yıl

1.1. Radyoaktiflik Nedir?

Henri Becquerel, 2 Mart 1896 yılında fotoğraf filmine uranyum tuzunun etki ettiğini fark etti. Bunu X ışını gibi görünmeyen bir ışığın yaptığını belirtti. Fransa Bilim Akademisindeki bu açıklamasından sonra bu ışığa Becquerel Işığı denildi. 1898 yılında Marie Curie yaptığı çalışmalar ile bu duruma Radyoaktivite ismini verdi(Henriksen ,2003). Marie ve Pierre Curie çiftinin çalışmaları sonucunda Uranyum ile beraber Toryumu'nda radyoaktif özellik taşıdığını buldular. Daha sonra Marie Curie ayrıştırma yöntemi ile iki yeni radyoaktif element olarak Polonyum ve Radyumu bulduğunu rapor etti. Çalışma sonunda iki yeni elementin varlığını rapor ettiler(Peh,1996). Rutherford'un ince altın levha ile yaptığı saçılma deneyinde kullandığı alfa parçacıkları daha sonra ortaya çıkan gelişmelerle anlaşıldı ki bu parçacık aslında radyoaktif kararsız atomların parçalanması sonucunda meydana geliyordu(Serway,1996).

Rutherford'un saçılma deneyi ile atomun merkezinde pozitif yüklü bir çekirdek olduğu anlaşıldı. Zamanla çekirdekteki bu pozitif yüklere proton adı verildi. Rutherford'un cevap veremediği bir soru vardır. Çekirdeği bir arada tutan nedir? Eldeki verilere göre çekirdekte pozitif yükler var ve bunlar birbirlerini Coulomb kuvveti ile iterlerdi. Buna rağmen çekirdek neden dağılmıyor? Bugün artık bu sorunun cevabını biliyoruz. Çünkü nükleonları bir arada tutan kuvvet doğadaki dört temel kuvvetten biri olan güçlü nükleer kuvvettir. Güçlü nükleer kuvvet çekici bir etkiye sahiptir. Diğer yandan kısa menzillidir. Yaklaşık olarak menzili 2 fermi ($2 \cdot 10^{-15}$ m) kadardır. Bu kuvvet

kısa menzil içindeki proton-proton, nötron-nötron ve proton-nötron arasında çekici bir etki oluşturarak dağılmayı engeller.



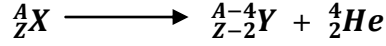
Şekil 1.1. Kararlılık kuşağı (arpansa.gov\ionising-radioactivity)

Çekirdekteki nötron ve proton için N/P oranı 1 ile 1,5 arasında olduğunda kararlı yapı gözlenmiştir (Şekil 1.1). Bu duruma sahip yaklaşık 400 çekirdek gözlenmiştir. Çekirdek büyüdükçe güçlü nükleer kuvvetin nükleonları bir arada tutması zorlaşmaktadır. Periyodik cetveldeki kararlı en büyük çekirdek N/P oranının yaklaşık 1,5 olduğu $^{209}_{83}\text{Bi}$ 'tur (Serway,1996). Radyasyon, çekirdeğin kararlı hale gelmesi için üzerindeki enerjiyi parçacık veya elektromanyetik dalga olarak yayınlamasına denir.

1.2. Radyasyon Çeşitleri

Radyoaktif bozunma ile oluşan radyasyon parçacık ya da elektromanyetik dalga olarak ortaya çıkar. Bu radyasyon türleri alfa (α) parçacığı, beta (β) parçacığı ve gama (γ) fotonu olmak üzere üç çeşittir.

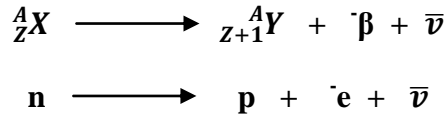
Alfa Bozunumu Olayı: Radyoaktif bir çekirdek kararlı hale gelebilmek için üzerinden iki proton ve iki nötron yayınlaması olayına alfa bozunması denir. Çekirdekten çıkan top yekün parçacık alfa parçacığı ($^4_2\alpha$) olarak isimlendirilir. Alfa parçacığı, Helyum ($^4_2\text{He}^+$) çekirdeğidir.



Bozunmanın sembolik gösterimi bu şekildedir. Burada X ana çekirdek, Y ürün çekirdektir. Atom numarası 83'ten büyük atomlarda ve çoğunlukla doğal radyoaktif elementlerde gözlenir. Ağır bir parçacık olan α havada yalnızca birkaç santimetre gidebilir(Gören,2011).

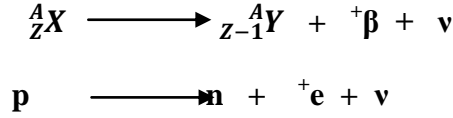
Beta Bozunumu Olayı: β^- ve β^+ şeklinde iki tip beta bozunumu vardır.

β^- bozunumu: Bir nötronun proton ve elektrona dönüştüğü bozunmadır. Proton çekirdekte kalır, elektron ise yüksek hızla çekirdekten dışarı fırlatılır.



Bozunmanın sembolik gösterimi bu şekildedir. Burada $\bar{\nu}$ antinötrindir. Varlığı deneysel olarak 1956 yılında kanıtlanan nötrinonun karşıt parçacığıdır.

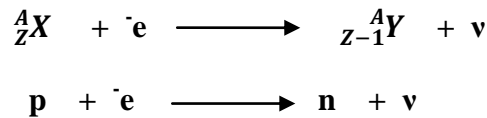
β^+ bozunumu: Bir protonun nötron ve pozitrona(elektronun karşıt parçacığı) dönüştüğü bozunumdur. Nötron çekirdekte kalırken pozitron dışarı fırlatılır.



Bozunmanın sembolik gösterimi bu şekildedir. Burada ν nötrindir.

Alfa parçacığına göre beta parçacıklarının havadaki menzilleri daha fazla olup yaklaşık 70cm ile 80cm ilerleyebilirler(Değerlier, 2007).

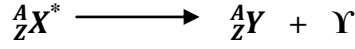
Elektron Yakalama Olayı: Diğer süreçlerin aksine bu olayda çekirdek kendisine en yakın yörüngede bulunmakta olan elektronu çekirdek içine alması olayıdır. Çekirdekte elektron ile proton birleşerek nötron ve nötrinoya dönüşür. Bu olayda çekirdekten bir parçacık yayınlanmaz ama elektronun çekirdeğe alınması ile boş kalan yere üst yörüngelerden bir elektron geçecektir. Bu geçiş sırasında yörüngeler arasındaki enerji farkı kadar frenleme (Bremmstrahlung) radyasyonu yani X ışınları yayımlanır.



Elektron yakalanmasının sembolik gösterimi bu şekildedir.

Gama Bozunumu Olayı: Alfa veya beta bozunumları ile parçalanmış bir çekirdek genellikle uyarılmış enerji seviyesinde kalır. Bu durumdaki çekirdek sahip olduğu fazla enerjiyi üzerinden gama fotonu olarak atarak daha kararlı çekirdek seviyesine iner.

Gama fotonu havada kilometrelerce yol alabilir(Değerlier, 2007). Bu olayda herhangi bir nükleon sayısında değişimi yoktur.



Bozunumun sembolik gösterimi bu şekildedir. X^* çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinde olduğunu gösterir. γ (gama) ışını yüksek enerjili, kütsüz, ve yüksüzdür. Enerjisini karşılaştığı elektrona aktarır iyonize edebilir. İnsan bedenine geçebilir. Canlı dokuya zarar verir. Tıpta tedavi amaçlı da kullanılmaktadır(Değerlier, 2007).

1.3. Radyoaktif Denge Nedir?

Radyoaktif çekirdekler bozularak başka bir radyoaktif çekirdeğe dönüşebilirler. Yeni radyoaktif çekirdekte kararlı olabilmek için tekrardan bozularak başka bir radyoaktif çekirdeğe dönüşebilir. Kararlı duruma ulaşana kadar bozunma olayı seri olarak devam eder. Uranyum (^{238}U), Toryum (^{232}Th) ve Aktinyum (^{235}U) çekirdekleri doğal radyoaktif serilerin ana çekirdekleridir. Bu çekirdekler bozunma serileri sonunda kararlı bir çekirdek olan kurşun (Pb) izotopunda biterler(Altıntaş,2019).

Durumun daha iyi anlaşılması için kabul görmüş şu benzetmeyi paylaşmak açıklayıcı olacaktır. Bir radyoaktif seride ilk çekirdeğe ana, ondan ortaya çıkan çekirdeğe kız ve kız çekirdekten ortaya çıkan sonraki çekirdeğe torun denilmektedir. Buradan yola çıkarak örneğin ana çekirdek kız çekirdeğe ve kız çekirdekte kararlı torun çekirdeğe bozularak dönüşsün. Ana çekirdeğin yarı ömrü kız çekirdeğin yarı ömründen çok büyük olduğunu kabul ederek başlanırsa. Bozunma öncesi henüz kız ve torun çekirdek sayısı sıfırdır. Zaman ilerledikçe ana çekirdek bozularak kız çekirdeğe dönüşür. Kız çekirdeklerin sayısı zamanla artarken diğer yandan aynı zamanda kız çekirdek de bozunduğu için kendi bozunma hızına göre azalır. Süreç içinde öyle bir an gelir ki ana çekirdeğin kıza dönüşen çekirdek sayısı, kız çekirdeğin toruna dönüşen çekirdek sayısına aşağı yukarı eşit olur. Tam da oluşan bu duruma kalıcı denge ya da sürekli denge denilmektedir. Bozunma hızına aktiflik dediğimiz için şöyle bir cümle kurabilir. Kalıcı(sürekli) dengedeysen ana çekirdeğin aktifliği ürün çekirdeğin aktifliğine yaklaşık olarak eşit olur. Böylece gama spektrometrik analizlerde numunelerdeki ürün çekirdeklerden birinin kalıcı denge halindeki aktifliği bulunarak ana çekirdekler olan Uranyum (^{238}U), Toryum(^{232}Th) ve Aktinyum(^{235}U) elementlerinin aktifliği bulunabilir.

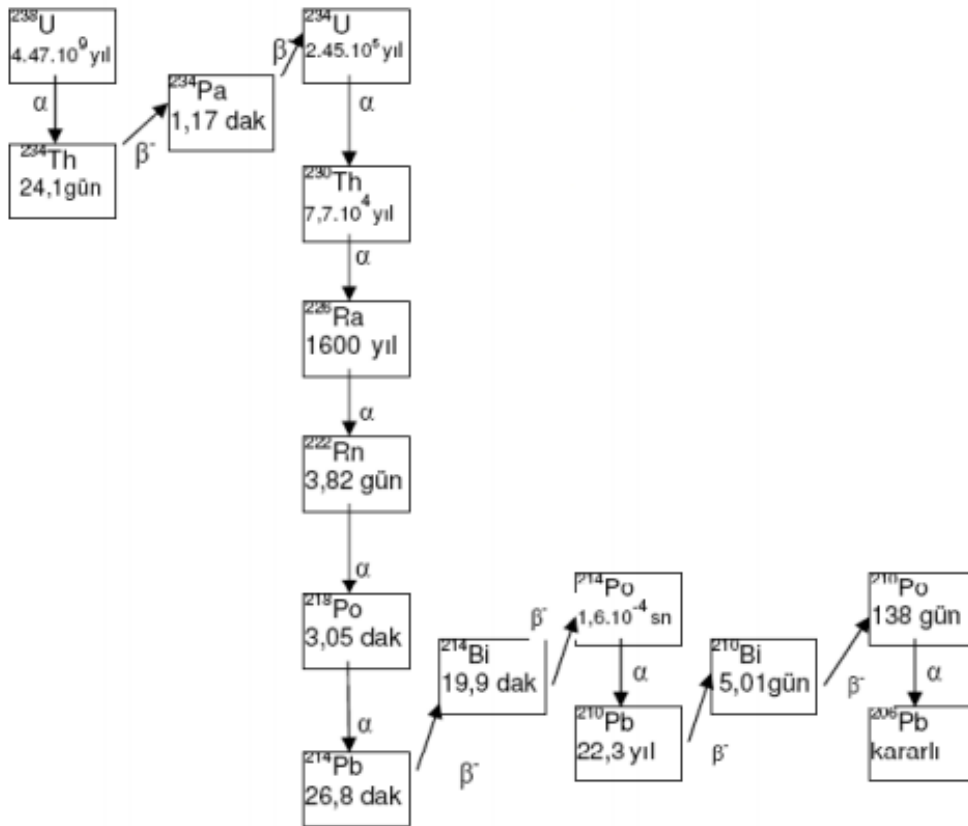
1.4. Doğal Radyoaktivite

Radyoaktif bozunmalarda kütle numarası sadece alfa ışınmasında değişir. O zaman evrendeki radyoaktif çekirdek çeşitliliği alfa ışınması ile olmuştur denilebilir. Alfa (α) bozunumu ile kütle numarası dört birim değişir(Çizelge 1.2). Öyleyse radyoaktif elementlerin çekirdeklerinin kütle numaraları için n bir tam sayı olmak üzere $4n$, $4n + 1$, $4n + 2$, $4n + 3$ olan dört bağımsız bozunma serisi elde edilir(Krane,2001).

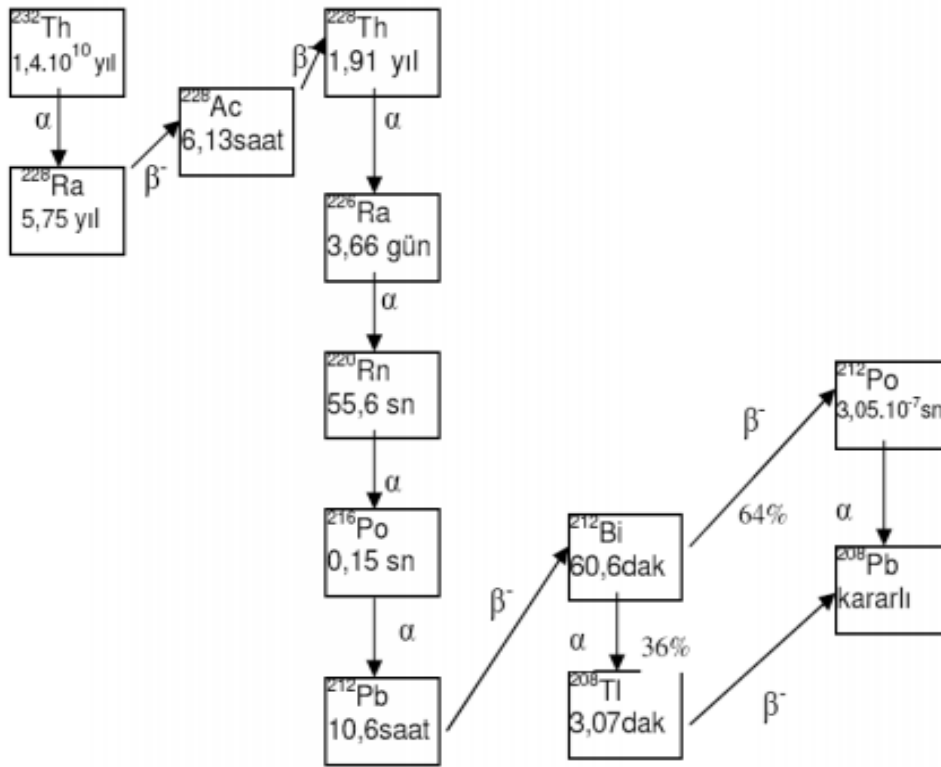
Çizelge 1.2. Doğal radyoaktif çekirdek serileri (Krane,2001)

Seriler	Başlangıç İzotopu	Yarı Ömür (Yıl)	Kararlı Son Çekirdek	Türü (n, bir tam sayı)
Uranyum	$^{238}_{92}\text{U}$	4.47×10^9	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$4n + 2$
Aktinyum	$^{235}_{92}\text{U}$	7.04×10^8	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$4n + 3$
Toryum	$^{232}_{90}\text{Th}$	1.41×10^{10}	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$4n$
Neptünyum	$^{237}_{93}\text{U}$	2.14×10^6	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$4n + 1$

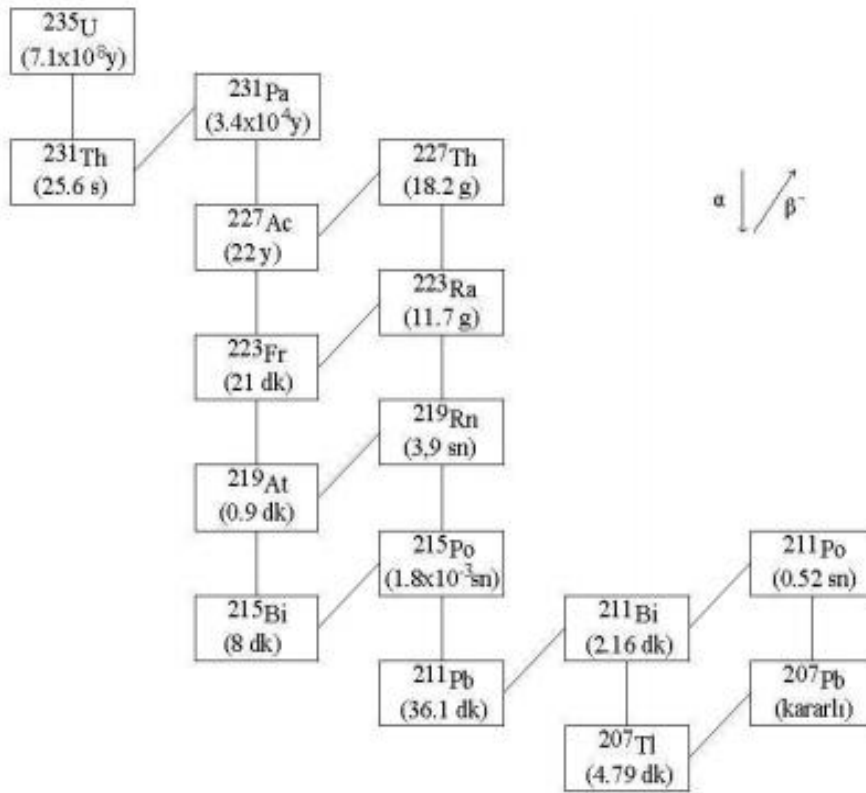
Aşağıdaki şema ^{238}U , ^{232}Th ve ^{235}Ac çekirdeklerinin bozunma ürünleri şemasıdır. Şemada çekirdeklerin yarı ömürleri ile beraber bozunma tipleri de gösterilmektedir. Üç serinin de kararlı kurşun ile tamamlanmaktadır.



Şekil 1.2. Uranyum serisi bozunum şeması(IAEA,1996)



Şekil 1.3. Toryum serisi bozunum şeması(IAEA,1996)



Şekil 1.4. Aktinyum serisi bozunum şeması(IAEA,1996)

Şekil1.2, Şekil1.3 ve Şekil1.4'te gösterildiği gibi doğal radyoaktif elementlerin bozunum serileri verilmiştir.

^{40}K yukarıdaki serilerin dışında doğada tek başına bulunan doğal radyoaktif izotoptur. Çizelge 1.3'te gösterildiği gibi ^{40}K benzeri doğal radyoaktif izotoplar verilmiştir.

Çizelge 1.3. Bazı doğal radyoaktif izotoplar (Krane,2001)

İzotop	$t_{1/2}$ (y)
^{40}K	1.28×10^9
^{87}Rb	4.28×10^{10}
^{113}Cd	9×10^{15}
^{115}In	4.4×10^{14}
^{138}La	1.3×10^{11}
^{176}Lu	3.6×10^{10}
^{187}Re	5×10^{10}

1.5. Yapay Radyoaktivite

İnsan etkisiyle oluşmuş radyoaktivitedir. İki çeşit çekirdek reaksiyon ile bu durum oluşturulur. Bunlar çekirdek parçalanması reaksiyonu fisyon ve çekirdek birleşmesi reaksiyonu füzyondur.

Fisyon tepkimesinde kütle numarası büyük bir atom çekirdeğinin parçalanarak kütle numarası küçük iki çekirdeğe dönüşmesi gözlenir. Ortaya radyoaktif ürün çekirdeklerin yanı sıra nötronda çıkar. Bu nötron ortamdaki başka çekirdeklerin tekrar fisyon yapmasını sağlayacak enerjidedir. Bu nötron ortamdaki uzaklaştırılmazsa tepkime zincir olarak devam eder. Nükleer santrallerde kullanılan tepkimedir.

Füzyon tepkimesi iki hafif çekirdeğin kaynaşarak daha ağır bir çekirdeği oluşturmasıdır. Fisyon göre daha çok enerji açığa çıkar. Güneşte gerçekleşen tepkime örnek olarak gösterilebilir. II. Dünya Savaşında kullanılan hidrojen bombası da örnek verilebilir.

1.6. Gelişmeler Doğrultusunda Radyoaktivite Birimleri

Bozunma sonrası ortaya çıkan radyasyon düzeyini belirlemek için çeşitli birimler kullanılmıştır.

1.6.1. Aktiflik (A)

Aktiflik, bozunma hızı veya birim zamandaki bozunma sayısına denir. Aktivite birimi 1 saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanmayı gösteren Curie(Ci) olarak belirlenmiştir. Çok büyük birim olan Curie (Ci)'nin kullanım zorluğu nedeniyle SI birim sisteminde saniyede 1 bozunum olan Becquerel (Bq) birimine geçilmiştir.

1.6.2. Işınlanma dozu (POZ)

Radyasyon, kaynağından çıktıktan sonra yolu üzerindeki havayı iyonize eder. Bir başka düşünce olarak radyasyonun havayı ne miktarda iyonize ettiği fikri radyasyon seviyesini anlamayı sağlayabilir. Böylece radyasyonun havanın birim kütlesinde oluşturduğu elektrik yükü anlamındaki Işınlanma Dozu ya da Poz kavramı ortaya çıkmıştır. Işınlanma Dozu ya da Poz kavramı için Röntgen (R) birimi kullanılır. Röntgen, 0°C sıcaklıkta ve 760 mm-Hg basınçta 1kg havadan 2.58×10^{-4} Coulomb değerinde yük elde eden radyasyondur.

1.6.3. Soğurulan doz (D)

Radyasyon madde içinden geçerken enerjisinin bir miktarını ya da tamamını aktarır. Bu etkileşim ile maddenin birim kütlesinde depo edilen enerjinin ölçüsü soğurulan doz (D) olarak ifade edilmiştir. 1 gram maddenin 100 erg'lik enerjiyi soğurması 1rad olarak belirlenmiştir. SI birim sisteminde ise maddenin kilogram başına 1joule enerji soğurmasına Gray(Gy) denilmiş ve rad ile arasındaki ilişki $1\text{Gy} = 100\text{rad}$ olarak hesaplanmıştır.

1.6.4. Doz eşdeğeri (DE)

Radyasyonun canlı dokudaki hareketi radyasyonun türüne ve enerjisine bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Her radyasyon türü canlı doku içindeki menzili boyunca enerjisini aktaracaktır. α parçacığının menzili kısa, β parçacığının ve γ fotonunun menzili canlı doku içinde daha uzundur ve bu menzillerde enerjilerini aktarırlar. Canlı dokuya aktarılan bu enerji ve etkisi doz eşdeğeri (DE) kavramı ile ifade edilir. Burada radyasyon türleri arasındaki farklılığı ifade eden kalite faktörü QF kavramıdır.

$$DE = QF \cdot D \quad (1.1)$$

Burada soğurulan doz (D) birimi için SI sisteminde Gray (Gy) olursa doz eşdeğeri birimi Sievert (Sv) olacaktır. Çizelge 1.4'te gösterildiği gibi tüm niceliklerin dönüşüm faktörleri verilmiştir.

Çizelge 1.4. İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri

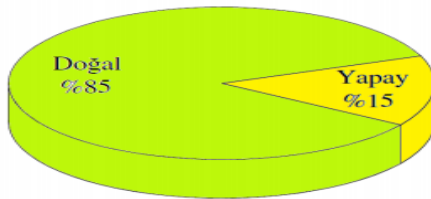
NİCELİK	ÖLÇÜLEN DEĞER	SI SEMBOLÜ	ESKİ BİRİMİ	DÖNÜŞÜM FAKTÖRÜ
Aktivite (A)	Saniyedeki bozunma hızı	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1Bq=2.7x10 ⁻¹¹ Ci
Işınlanma (POZ)	Havadaki iyonlaşma	C/Kg	Röntgen (R)	1 C/kg = 3876 R
Soğurulan Doz(D)	Birim kütleyle aktarılan enerji	Gray (Gy)	Rad	1 Gy = 100 rad
Doz Eşdeğeri(DE)	Biyolojik etkinlik	Sievert (Sv)	Rem	1Sv = 100 rem

1.7. Radyasyon Kaynakları

Radyasyonun oluşumu göz önüne alındığında ortaya çıkışı doğal ve yapay kaynaklardan olduğunu görürüz bu nedenle radyasyon kaynaklarını

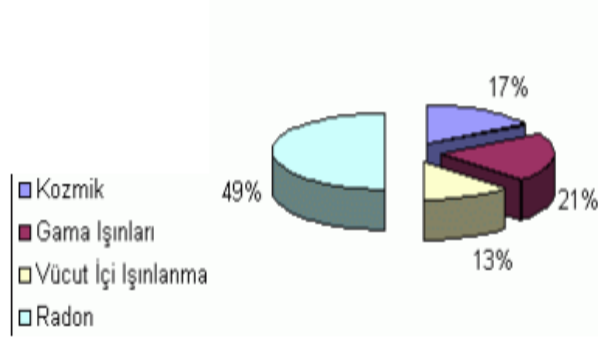
1. Doğal radyasyon kaynakları
2. Yapay radyasyon kaynakları

olarak iki şekilde gruplayabiliriz. Şekil1.5'te gösterildiği gibi insanlar çevrelerindeki doğal radyasyon kaynaklarında 2.4mSv'lik yıllık etkin doz alırken yapay radyasyon kaynaklarından daha düşük dozda etkilenirler(Podgorsak,2010).

**Şekil 1.5.** Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının oransal değerleri

1.6.5. Doğal radyasyon kaynakları

Canlılar yerkabuğunda bulunan ²³⁵U, ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K gibi radyoaktif çekirdeklerden diğer yandan atmosfer dışından kozmik kökenli radyoaktif ışımalarla etkilenirler. Buradaki karasal ve kozmik radyasyon kaynakları Doğal radyasyon kaynaklarıdır. İnsanların oransal olarak bu kaynaklardan aldıkları dozlar Şekil1.6'da gösterildiği gibidir(UNSCEAR,2000).



Şekil 1.6. Doğal radyasyon kaynakları(TAEK,2010,2014)

1.6.5.1. Karasal radyasyon kaynakları

Karasal radyasyonu kaynaklarını ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th bozunum serileri ile ^{40}K ve ^{87}Rb gibi doğada tek başına bulunanlar radyoaktif izotoplar oluşturmaktadır. Bu kaynaklar vücuda hava, su ve gıda ile alınarak içeriden ışınlanmaya sebep olmaktadır. Yukarıdaki şekilden de anlaşılabilceği gibi radyoaktif bir gaz olan radon en çok etkilenilen doğal kaynaktır. Bu gaz tatsız ve kokusuz olup kimyasal açıdan aktif değildir. Solunum yolu ile vücuda alındıktan sonra akciğerde kanser riskini arttırmaktadır.

1.6.5.2. Kozmik radyasyon kaynakları

Çoğunluğu Güneş sisteminin dışından gelen bu yüksek enerjili ışınlar atmosferi geçerek canlılara ulaşmaktadır. Manyetik alan ve atmosfer tabakası doğal bir kalkan olarak görev yaparak radyoaktif etkiyi azaltır. Yukarıdaki şekle bakıldığında kozmik ışınlar diğer doğal radyasyon kaynaklarına göre oransal olarak daha az etkilemektedir. Çizelge 1.5’de gösterildiği gibi dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.5. (Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri)(TAEK,2010,2014)

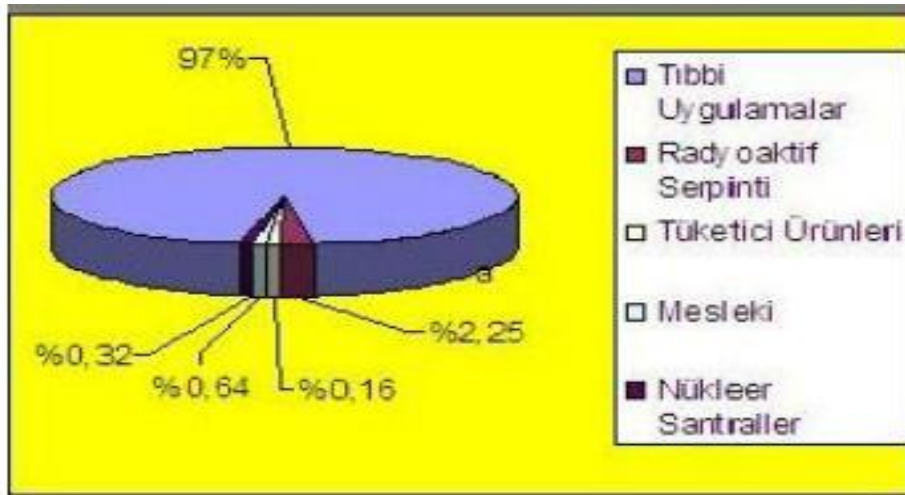
Dünya Genelinde Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Ortalama Radyasyon Doz Değerleri		
Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
	Değişim Aralığı	
Ortalama		
KOZMİK RADYASYON		
• Foton bileşeni	0,28	
• Nötron bileşeni	0,10	
KOZMOJENİK RADYOİZOTOPLAR	0,01	
Toplam	0,39	0,3 – 1,0 ^(a)

Çizelge 1.5'in devamı

YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ IŞINLANMA		
• Bina dışı	0,07	
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	0,3 – 0,6 ^(b)
SOLUNUM YOLU İLE IŞINLANMA		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
• Radon (Rn -222)	1,15	
• Toron (Rn -220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2 – 10 ^(c)
BESLENME YOLU İLE IŞINLANMA		
• K-40	0,17	
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2 – 0,8 ^(d)
GENEL TOPLAM	2,4	1 – 10

1.6.6. Yapay radyasyon kaynakları

İnsan etkisi ile (antropojenik) ortaya çıkan yapay radyasyon kaynakları tıbbi, zirai ve endüstriyel alanlarda kendini göstermektedir. Teknolojik gelişmelerle nükleer enerjiye duyulan ihtiyaçta artmakta ve kullanımı çeşitlenmektedir. Bunlarla beraber radyoaktif risklerde artmaktadır. Örneğin nükleer denemelerde ve nükleer santrallerde oluşan kazalar ile yayılan nükleer serpintiler canlı sağlığını yapay radyoaktif kaynaklar olarak tehlikeye atar. Şekil1.7'de gösterildiği gibi yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oranları verilmiştir.



Şekil 1.7. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oranları(IAEA,1996)

1.8. Radyasyon Madde Etkileşimi

Alfa Parçacıklarının Madde İle Etkileşimi: Alfa parçacıkları 2 proton ve 2 nötrona sahip ağır boyut olarak ta iri bir parçacıktır. Kısa menzili içinde ilerlerken ortam ile etkileşerek iyonlaşmaya sebep olur. Alfa parçacıkları menzili boyunca her 1cm'de yaklaşık olarak sabit sayılacak miktarda enerji aktararak ilerler. Bu ilerleyiş içinde bulunduğu ortamın yoğunluğuyla ters orantılıdır(TAEK,2009).

Beta Parçacıklarının Madde İle Etkileşimi : Beta parçacıkları yapı olarak bakıldığında alfa parçacığına göre daha küçüktür. Yük açısından bakıldığında yine daha küçüktür. Bu özellikler beta parçacığının bir ortamda daha az etkileşerek uzun menziller kat etmesini sağlar. Öyleyse beta parçacığı, alfa parçacığından daha küçük, daha az yüklü ama daha uzun menzillidir(TAEK,2009).

Gama ile X - ışınlarının Madde İle Etkileşimi: Bu ışınlar, alfa ve beta parçacıklarından farklıdır çünkü elektromanyetik yapıya sahiptir. Kütlesi aynı zamanda yükü de olmadığından ortam ile daha az etkileşerek uzun menziller boyu ilerleyebilir. Bunun yanında eğer madde ile etkileşecekse enerjisinin çoğunu maddeye aktarır. Bu etkileşmeler aşağıdaki olaylar ile açıklanır(TAEK,2009).

1. Fotoelektrik etki
2. Compton etkisi
3. Çift oluşumu

1.8.1. Fotoelektrik olay

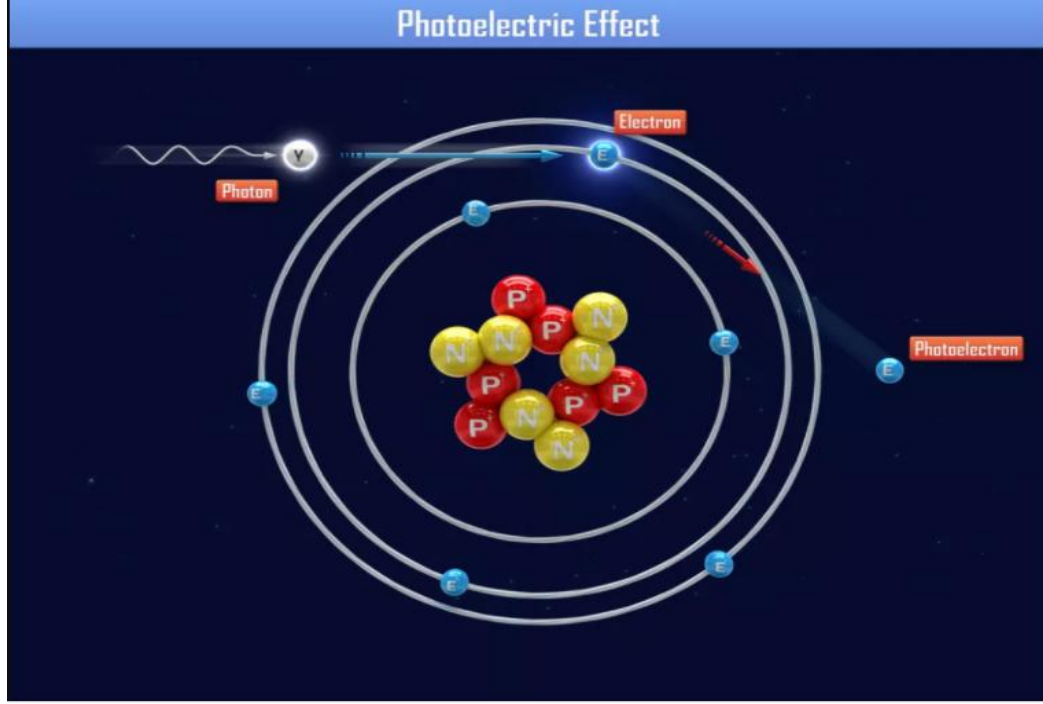
Yüksek enerjili bir foton üzerine gönderildiği metal yüzeydeki bir elektron ile etkileşerek enerjisini aktarır. Fotonun enerjisi ne kadar çok olursa olsun her foton yalnızca bir elektron ile etkileşir. Olay sonunda foton enerjisini elektrona aktardığı için yok olur. Elektron aldığı enerjinin bir kısmını metal yüzeyden ayrılmak için bağlanma enerjisinde kullanır, kalan kısmı ile bulunduğu yerden uzaklaşmak için kinetik enerjide kullanır. Yayınlanan (yüzeyden ayrılan) bu elektrona fotoelektron denir. Fotoelektronun atomdaki boşalttığı yere üst yörüngelerden bir elektron gelerek (frenlenme) X ışını yayınlanabilir. Fotonun enerjisini hesaplamak için parametreler: h (Planck sabiti) ve v (foton frekansı)'dır.

$$E_{\text{FOTON}} = h \cdot v \quad (1.2)$$

Elektronu bulunduğu yüzeyden sökmek için gereken enerji bağlanma (eşik) enerjisidir ve ϕ ile gösterilir. Einstein 1921 yılında fotoelektrik etkiye getirdiği açıklama ile Nobel ödülü kazanmıştır. Einstein'ın fotoelektrik denklemi şu şekildedir:

$$E_{\text{FOTON}} = \phi + E_{\text{KİNETİK}} \quad (1.3)$$

Metal yüzeye çarpan fotonun enerjisi elektronu metal yüzeyden koparmaya yetecek kadar değilse foton yüzeyden yansır. Şekil 1.8'de gösterildiği gibi Fotoelektrik olayı görülmektedir.



Şekil 1.8. Fotoelektrik olayı betimleyen görsel (livescience.com)

1.8.2. Compton saçılması olayı

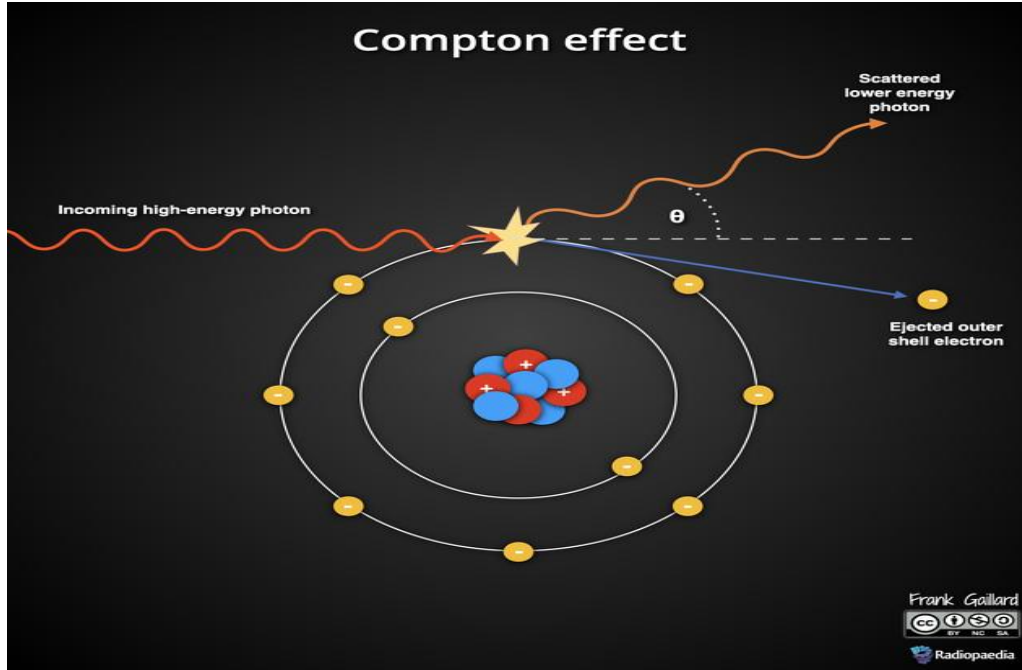
Compton saçılması olayı, fotonun atomun en dış yörüngesindeki zayıf bağlı elektron ile çarpışması olayıdır. Şekil 1.9’da gösterildiği gibi Compton saçılması olayı görülmektedir. Gelen fotonun enerjisi ile elektronun bağlanma enerjisi karşılaştırıldığında foton enerjisi çok büyük ise elektronu serbest elektron olarak kabul ederiz. Bu etkileşimde fotoelektrik olaydan farklı olarak foton kaybolmaz. Çarpışma sonrası enerjisinin bir kısmını elektrona aktardığı için daha düşük enerjili başka bir fotona dönüşür ve θ saçılma açısı ile yönünü değiştirir. Fotonun enerjisinin bir kısmı elektrona aktardığı için saçılan fotonun enerjisi θ saçılma açısıyla ilişkilendirilir. Saçılan fotonun enerjisi korunum yasalarına göre

$$E_{sf} = E_{gf} / [1 + (E_{gf}/0,511)(1 - \cos\theta)] \quad (1.4)$$

İfade edilir. Burada E_{sf} saçılan fotonun enerjisi, E_{gf} gelen fotonun enerjisidir. Elektrona aktarılan kinetik enerji E_{kin} şu şekilde

$$E_{kin} = E_{gf} - E_{sf} \quad (1.5)$$

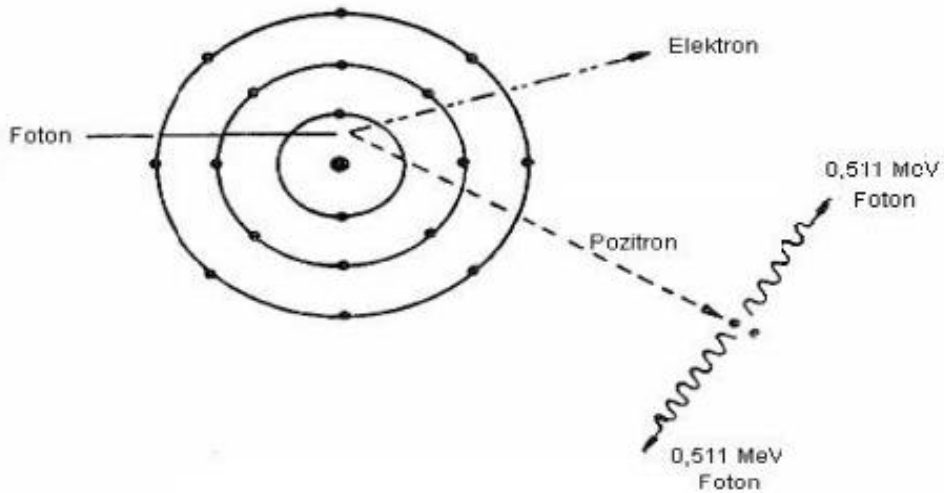
hesaplanır.



Şekil 1.9. Compton saçılması olayını betimleyen görsel(radiopedia)

1.8.3. Çift oluşumu

Bu olay yeterli enerjiye sahip bir fotonun, çekirdeğin elektrik alanına girdiğinde ortaya çıkan durumdur. Bu etkileşme sonucunda foton kaybolur. Fotonun enerjisi bir pozitif(pozitron) ve negatif (elektron) yük çiftine dönüşebilir. Çift oluşumunun gerçekleşebilmesi için fotonun sahip olması gereken minimum enerji her bir elektronun durgun kütle enerjisi 0.511MeV ' un iki katı olan 1.022MeV olmalıdır(Haller 2006). Şekil 1.10'da gösterildiği gibi çift oluşumu olayı görülmektedir. Çift oluşumu ile elektron-pozitron çiftinden pozitron bir elektron ile çift yok olma gerçekleşebilir. Bu durumun sonucu olarak iki foton oluşur.



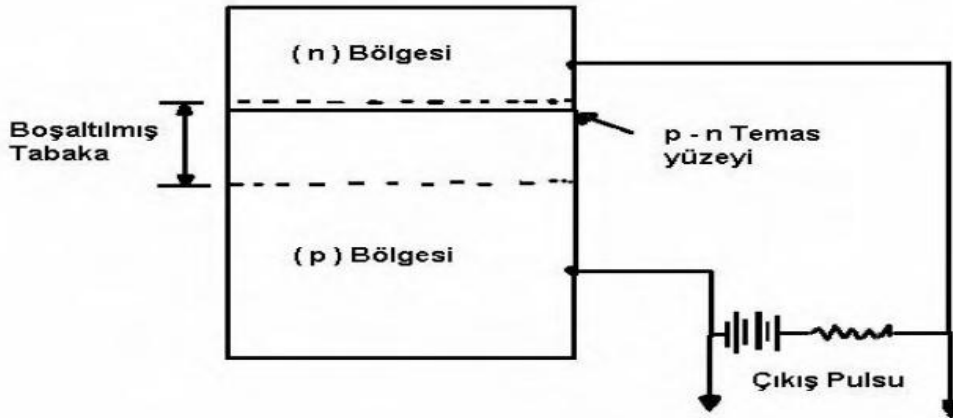
Şekil 1.10. Çift oluşumu olayını betimleyen görsel (Lilley 1991)

1.9. Radyasyonun Ölçülmesi

Radyasyon ölçüm tekniği radyasyonun türüne göre değişmektedir. Radyasyon türleri kütleleri, yükleri ve menzilleri farklı olduğundan madde ile etkileşimdeki bu farklılıklar yöntemi değiştirmektedir. Örneğin alfa parçacığının madde içindeki menzili yaklaşık 100 μ m olduğu için ölçüm için kullanılacak dedektör çok ince olmalıdır. Beta için dedektör malzemesi kalınlığı 0,1-1mm, gama için 5cm olması yeterli olabilir. Böylece radyasyon türüne göre malzeme seçimi yapılmalıdır.

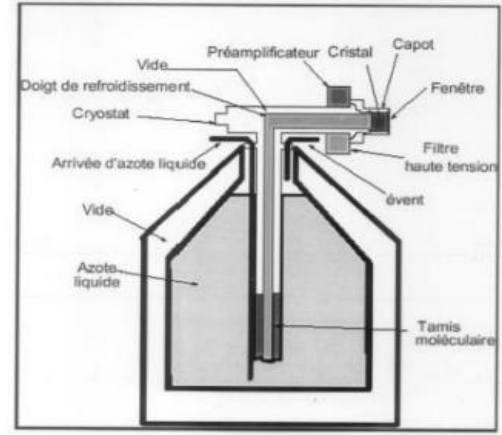
1.9.1. HPGe dedektörü ve çalışma prensibi

P ve N tipi yarı iletkenler bir araya getirilerek eklem diyotlar oluşturulur. Bu diyotlara ters yönde gerilim uygulanması ile elektron ile deşik birbirinden uzaklaşır aralarında boşaltılmış tabaka adını verdiğimiz bölge oluşur. Şekil 1.11’de gösterildiği gibi bu bölge görülmektedir. Bu bölgeden gama ışını geçerken bir elektron ile etkileştiğinde o elektronu değerlik bandından iletim bandına geçirir. Böylece bir elektron-deşik çifti oluşturulmuş olunur. Bu şekilde biriken elektronları dedektör sistemi bir sinyale dönüştürür. Bu prensiple oluşturulmuş bir dedektör olan HPGe dedektörü (Yüksek saflıktaki Germanyum) çevresel örnek analizlerinde oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir.



Şekil 1.11. Yarı iletken dedektörlerin çalışma prensibini gösteren devre(TAEK,1985)

Bu dedektörlerin ana malzemesi son yörüngesinde 4 elektron bulunan Ge(Germanyum) veya Si(Silisyum)'tur. Bunların üzerine son yörüngesinde 3 elektron bulunan (B, Al, Ga) ya da son yörüngesinde 5 elektron bulunan (P, As, Sb) maddeler eklenerek elektron fazlası olan (n tipi) negatif yarı iletken ile elektron eksikliği olan (p tipi) pozitif yarı iletkenler oluşturulur. Ters gerilim ve sıcaklık artışı ile kontrollü bir akım geçişi sağlarlar. Bu şekilde elde edilen akım elektriksel bir sinyale dönüşür(Krane,2001).



Şekil 1.12. Bir Germanyum (Ge) dedektörü soğutma kabı (dewar)

Yüksek gerilimden dolayı elektriksel yük geçişlerinin önüne geçmek için dedektörün soğutulması gerekir. Şekil 1.12’de gösterildiği gibi dedektörün soğutma kabı görülmektedir. Dedektörün soğutulması için dewara bakır çubuk daldırılmaktadır. Soğutulması (77^0K) çalışırken çıkan ses düzeyi için önemlidir. Dış radyasyonun önlenmesi için kalın kurşun bir zırh ve bu zırhın iç yüzeyi ise kalay ve bakır ile kaplanmaktadır.

2. KAYNAK TARAMASI

Ülkemizde ve dünyada doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla çeşitli ölçümler yapılmaktadır. Bu bölümde tez konusuna benzer literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Yapılan çalışmalarda toprak, su ve benzeri maddelerdeki radyoaktivite seviyesi ve radyonüklitlerin konsantrasyonu tespit edilmiştir.

2014 yılında Muhammed Mahmud Abu Samareh ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Filistin Batı Şeria'nın, Bethlehem Eyaletinden alınan 50 toprak örneğinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları incelenmiştir. Ölçümleri gerçekleştirmek için bir HPGe detektörü kullanıldı. Bu çalışmada ^{238}U spesifik aktivitesi 12,7 ile 122,3Bq.kg⁻¹ arasında olup ortalama değer 41,4Bq.kg⁻¹, ^{232}Th aktivitesi 2,0 ile 32,2Bq.kg⁻¹ olup ortalama değer 19,5Bq.kg⁻¹, ^{40}K aktivitesi 12,0 ile 183,8Bq.kg⁻¹ arasında olup ortalama değer 113,3Bq.kg⁻¹, ^{137}Cs 1,0 ile 12,2Bq.kg⁻¹ arasında olup ortalama değer 2,8Bq.kg⁻¹ olarak ölçülmüştür (Samareh, 2014).

2010 yılında Shanthi G. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Hindistan'ın güneybatısında bulunan Kanyakumari bölgesinden 28 farklı yerden alınan toprak örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'un doğal radyoaktivite konsantrasyonları gama spektrometrik sistemde NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. ^{232}Th ve ^{40}K 'un ortalama konsantrasyonları UNSCEAR'ın önerdiği sınır değerlerini aştığı gözlenmiştir. Radyasyonun risklerini değerlendirme noktasında yıllık etkin doz eşdeğeri ve diğer risk değerlendirme indeksleri hesaplanmıştır (Shanthi,2010).

2007 yılında Meltem Değerlier ve arkadaşlarının Adana ili çevresi için yaptıkları çalışmada ise ortalama aktivite değerleri ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için sırasıyla, 22.35Bq.kg⁻¹, 22.69Bq.kg⁻¹, 305.53Bq.kg⁻¹, 7.00Bq.kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Ev dışı havada soğurulmuş gama radyasyonu eşdeğeri (GDR) ortalama 65,6nGy/h olarak tespit edilmiştir (Değerlier, 2007).

2019 yılında Pınar İsel ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise İstanbul Boğazı'nın farklı noktalarından toplanan 60 adet sediment ve toprak örneğinin radyoaktivite analizleri gama spektroskopi sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstanbul Boğazı'ndan alınan 55 adet sediment örneğindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif çekirdeklerinin ortalama aktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla 11,41Bq.kg⁻¹, 6,87Bq.kg⁻¹ ve 369,61Bq.kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Örneklerindeki ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyon değeri ise 6,54Bq.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Sahilden alınan (5 adet) toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif çekirdeklerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 11,65Bq.kg⁻¹, 9,55Bq.kg⁻¹ ve 396,43Bq.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerindeki ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyon değeri ise 4,57Bq.kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Her bir toprak ve sediment örneğinin analizi sonucunda ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonları ve yıllık etkin doz değerleri hesaplanmıştır. UNSCEAR 2000 raporuna göre ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonları için belirlenmiş olan sınır değerlerinin üzerinde bir değer gözlenmemiştir (İsel,2019).

2018 yılında Mustafa Çubukçu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada Kocaeli ili Karadeniz sahil bölgelerinde radyasyon riskini belirlemek, veri tabanı oluşturmak ve var olan radyoaktivite miktarını ölçmek için 13 adet toprak numunesi alınarak, doğal radyonüklitler ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K ve doğal olmayan fisyon ürünü ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi ile ölçülmüştür. Kandıra ilçesi için sonuçlar ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için sırasıyla 27.05, 29.37, 199.04 ve 16.93Bq/kg olarak bulunmuştur. Bu değerler daha önce aynı bölgede yapılan diğer ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ölçümler sonunda elde edilen spesifik aktivite değerleri, ^{238}U ve ^{232}Th için bu değerlere yakındır. ^{40}K için bulunan sonuçlar ise Dünya ve Türkiye ortalamasından daha düşük bulunmuştur (Çubukçu, 2018).

2007 yılında Ahmet Bozkurt ve arkadaşlarının Şanlıurfa ilinde yaptıkları çalışmada Türkiye'nin güneydoğusundaki Şanlıurfa ilinin arka plan radyasyon seviyesi incelenmiştir. Dış mekan gama ölçümleri Havadaki radyasyon (karasal ve kozmik kaynaklı) 112 noktada plastik bir sintilatör kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ortalama soğurulan edilen doz 60,9nGy/h olarak bulunmuştur (74,7µSv/y 'lik etkili bir doza karşılık gelir). Toplanan 45 toprak örneğindeki doğal radyonüklitler ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ve fisyon ürünü ^{137}Cs gama ışını spektrometresi ile ölçülmüş ve ortalama aktiviteler sırasıyla 20.8, 24.95, 298.6 ve 9.08Bq/kg olarak belirlenmiştir. 53 içme suyu örneğinin radyoaktivite seviyeleri, brüt alfa aktivitesi için 0.038Bq/l ve brüt-alfa ve brüt-beta sayım yöntemleri (etkili bir doza eşdeğer) kullanılarak brüt beta aktivitesi için 0.1324Bq/l olarak ölçülmüştür (7.76Sv/y). Diğer Türk şehirleri için elde edilen mevcut verilerle karşılaştırıldığında, dış mekan gama dozları ve toprak radyoaktivite konsantrasyonları doğal sınırlar içinde kalan bir arka plan radyasyon seviyesini göstermektedir. Öte yandan ölçülen brüt alfa ve içme suyundaki beta aktiviteleri göreceli olarak daha yüksektir (Bozkurt,2007).

2013 yılında Cumhur Canbazoğlu ve arkadaşlarının Kilis ilinde yaptıkları çalışmada yüzey toprağındaki karasal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve antropojenik (insanın neden olduğu) radyonüklitlerin (^{137}Cs) aktivite konsantrasyonları analiz edilmiştir. HPGe dedektörü kullanılarak Kilis ili ve çevresindeki farklı konumlardan toplanan örnekler ve dış ortam havasındaki iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma değerlendirilmiştir. Toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri sırasıyla 16.1,15.0,206.0 ve 9.5Bq.kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Dış ortam havasında soğurulan gama radyasyonu doz oranı (GDR) değeri ortalama 25nGy.h⁻¹ ve yıllık etkin doz (AED) değeri ortalama 31µSv/y olarak hesaplanmıştır. Bu ortalama değerler kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu bulunmuştur (Canbazoğlu,2013).

2010 yılında Nevzat Damla ve arkadaşlarının Batman ili için yaptıkları çalışmada ise Batman ilinde toprak, yapı malzemeleri ve su örneklerinden radyonüklit aktivitesi ölçümleri ve kapalı alan radon araştırması yapılmıştır. Alınan toprak örneklerinde doğal radyonüklitlerin (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve bir fisyon ürününün (^{137}Cs) ortalama aktivite konsantrasyonları, sırasıyla 35 ± 8 , 25 ± 10 , 274 ± 167 ve $12 \pm$

7Bq.kg^{-1} bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen ölçüm sonuçları, ülkenin diğer bölgelerinde alınanlar ölçümler ile benzerdir (Damla, 2010).

1994 yılında Ibrahim Othman ve arkadaşlarının Suriye genelinde yaptıkları çalışmada arka plan radyoaktivitesinin değerlendirilmesi için yapılan çevresel izleme programının bazı sonuçları gösterilmektedir. Ortalama harici gama radyasyon maruz kalmanın yaklaşık olarak $94 \pm 8\text{nGy.h}^{-1}$ olduğu ve bir bölgeden diğerine bir miktar değiştiği gözlemlenmiştir. Topraktaki doğal radyonüklitlerin ^{40}K , ^{232}Th ve ^{226}Ra ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 247 ± 100 , 18.43 ± 5 ve $22.2 \pm 9\text{Bq.kg}^{-1}$ dir. Ülkenin farklı bölgelerinden gelen mahsullerdeki doğal radyoaktivite ve topraktaki radyoaktivite seviyelerinin uygun olduğu görülmüştür. Toprak ve mahsul için en yüksek değerler ülkenin güneyinde ve kuzey doğusunda bulunmuştur (Othman,1994).

2008 yılında Ibrahim F. Al-Hamarneh ve arkadaşlarının Ürdün'de yaptıkları çalışmada ülkenin kuzey yaylalarındaki kentsel alanlarda çeşitli jeolojik oluşumlardan toplanan yüzey toprağı örneklerinde gama ışını spektrometri sistemi ile doğal radyoaktivite tayini gerçekleştirilmiştir. Alınan topraklardaki doğal radyonüklitlerin ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 42.5, 49.9, 26.7 ve 291.1Bq.k^{-1} dir. Bu radyonüklitler arasında yapılan korelasyonlar, incelenen topraklarda sürekli dengenin varlığını kanıtlamaktadır. Çalışma alanının toplam ortalama soğurulan doz oranı (GDR) $51,5\text{nGy.h}^{-1}$ olarak bulunurken, yıllık etkin doz eşdeğeri (AED) ortalama $63,2\mu\text{Sv. y}^{-1}$ değerine sahiptir. Dış ve iç tehlike indeksleri ve radyum eşdeğer aktivitesi incelenen topraklarda izin verilen sınırları aşmamaktadır (Hamarneh,2008).

2019 yılında Elsayed Salama ve arkadaşlarının Irak'ta yaptıkları çalışmada Al Felluce bölgesinden alınan toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{238}U ve ^{235}U ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 20.09 ± 4.0 ile 21.94 ± 2.4 , 11.51 ± 2.3 ile 11.75 ± 3.2 , 96.53 ± 8.0 ile 112.13 ± 49.8 , 19.98 ± 4.6 ile 20.76 ± 4.8 , 25.4 ± 3.9 ile 26.1 ± 6.0 ve 1.28 ± 0.18 ile 1.34 ± 0.21 olarak bulunmuştur. Tüm incelenen numuneler için elde edilen Ra_{eq} değerleri, önerilen 370Bq.kg^{-1} sınırından ve $\text{H}_{\text{ex}} 1$ 'den daha azdır. Bu sonuçlar önceki çalışmalarla ve UNSCEAR raporlarında belirtilen dünya ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bulunan değerler izin verilen değerlerin üzerinde olmadığı görülmüştür (Salama; Kameesy; Elrawi,2019).

2007 yılında Ahmet Erdal Osmanlıoğlu ve arkadaşlarının Gaziantep bölgesinde yaptığı çalışmada 39 farklı yerden toprağın üstten ilk 10cm'sinde örnekler toplanmıştır. Toplanılan numuneler için gama spektroskopik ölçümler, gama spektroskopi cihazı (Canberra, model 85) bir koaksiyel HPGe detektörüne bağlanarak yapılmıştır. Gaziantep bölgesi yüzey toprağı örneklerinden doğal radyonüklitlerin ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve fisyon ürünü ^{137}Cs 'nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 25,2 ($12,36 \pm 0,3 - 40,32 \pm 1$), 23,7 ($4,64 \pm 0,1 - 34,95 \pm 0,4$), 289,2 ($128,31 \pm 0,8 - 502.37 \pm 4.4$) ve 8.0 ($5.1 \pm 0.1 - 15.7 \pm 1.8$) Bq.kg^{-1} dir. Ortalama soğurulan doz oranı (GDR) 50.1nGy.h^{-1}

olarak, yıllık etkin doz eşdeğeri(AED) ise $61,5\mu\text{Sv.y}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Osmanlıoglu,2007).

3. MATERYAL VE METOD

Radyasyon enerjisinin doğru ölçülebilmesi için karşılaşılabilecek tüm durumlar düşünülmelidir. Radyasyonun dedektöre gelmesi ile fotoelektrik, Compton ve çift oluşumu mekanizmaları başlayabilir. Bu olaylarda kendi içinde farklı durumları beraberinde getirebilir. Sıralamak gerekirse işte o durumlar şöyledir.

1. Gama fotonu birden çok Compton saçılması gerçekleştirebilir. Enerjisinin tamamını aktarmadan dedektörü terk edebilir. (1 numaralı durum)

2. Compton saçılması sonrasında fotoelektrik olay ile tüm enerjisini dedektör ortamına aktarabilir. (2 numaralı durum)

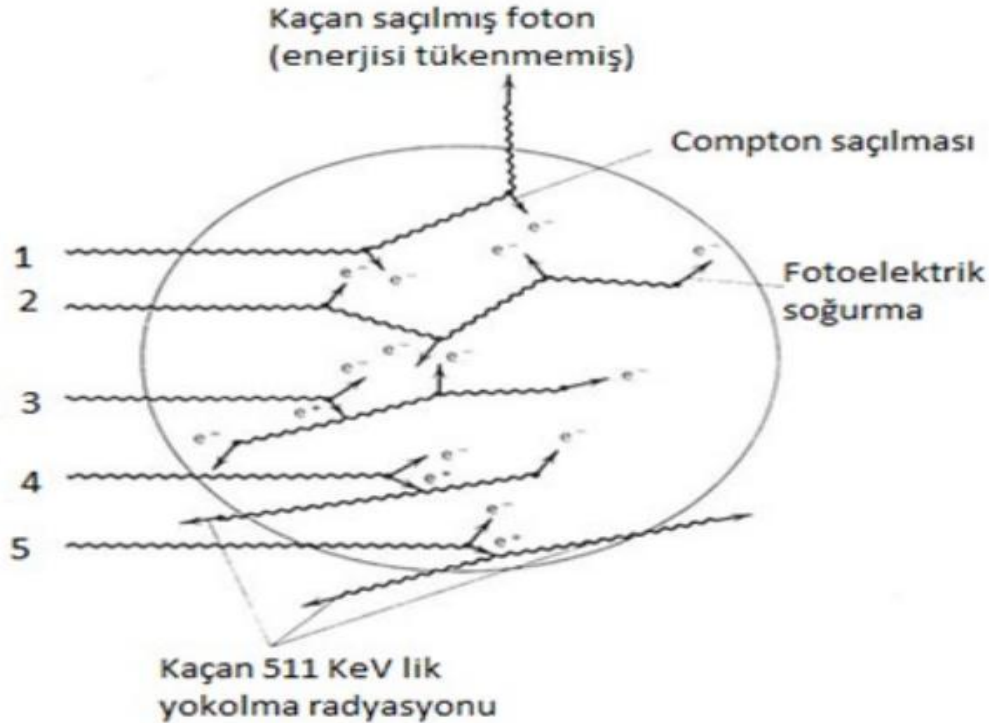
3. Çift oluşum gerçekleşebilir. Oluşan elektron-pozitron çiftinden pozitron bir elektron ile çift yok olma gerçekleşebilir. Bu durumun sonucu olarak iki foton oluşur.

3.1. Bu fotonlardan ikisi de Compton saçılmaları ve fotoelektrik olay gerçekleştirip tüm enerjilerini dedektör ortamına aktarabilir. (3 numaralı durum)

3.2. Bu fotonlardan biri enerjisini dedektöre aktarmadan ortamı terk edebilir. (4 numaralı durum)

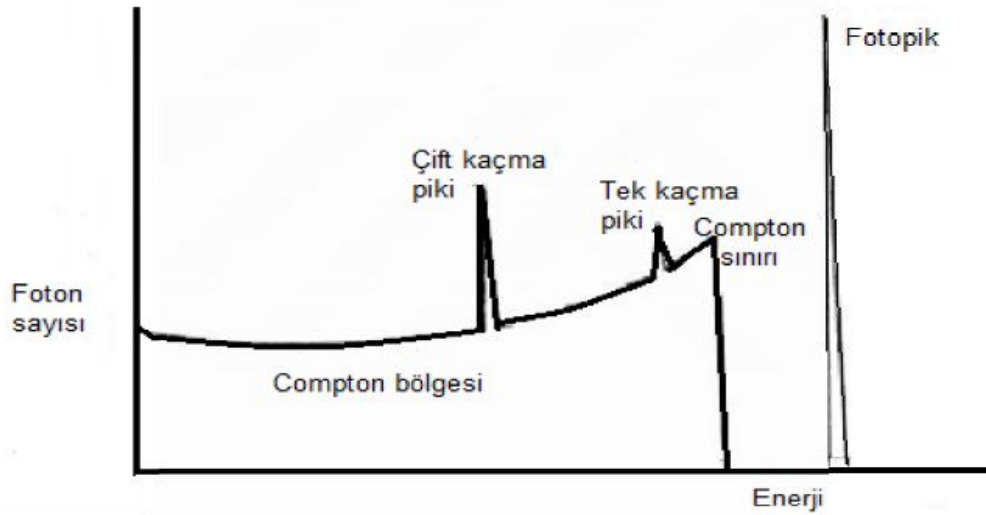
3.3. Bu fotonların her ikisi de enerjisini dedektörü aktarmadan terk edebilir. (5 numaralı durum)

Bu durumlar Şekil 3.1’te gösterildiği gibi incelenebilir.



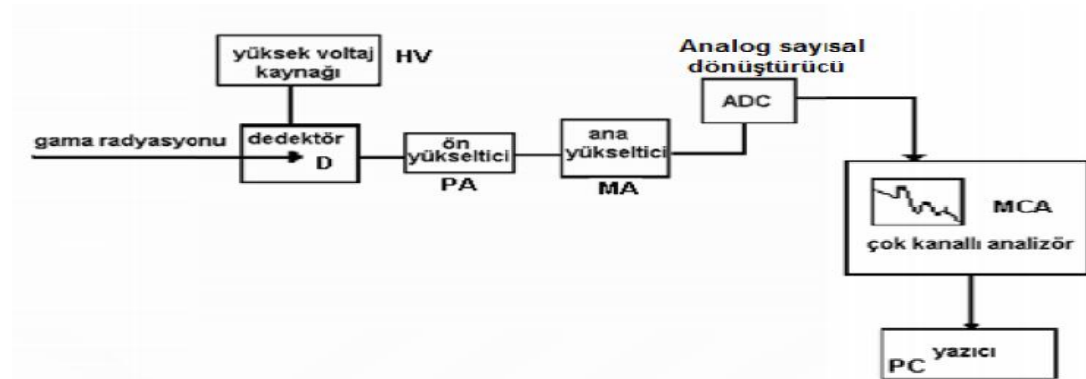
Şekil 3.1. Radyasyon enerjisinin ölçümü sırasında dedektörde gelişen olaylar(Krane,2001)

Dedektöre ulaşan radyasyon fotonunun enerjisi en az 1,022MeVdeğerine sahipse pozitron-elektron çifti oluşturabilir. Dedektör bu enerjiyi bulduğunda grafikte fotopiki oluşur. Çift yok olma sonrası oluşacak fotonların ikisi de ortamdaki kaçabilir, biri kaçabilir, ikisi de enerjisini Compton ve fotoelektrik olay ile ortama aktarabilir. Bu durumlar Şekil 3.2’de gösterildiği gibi grafiğe yansiyacaktır.



Şekil 3.2. Bir dedektöre aktarılan radyasyon enerjisine ait pikler(Krane,2001)

Ölçüm cihazlarının çalışma şeması Şekil3.3’te gösterildiği gibidir. Ölçüm cihazı radyasyon fotonunun enerjisini bu enerji ile orantılı bir elektriksel sinyale dönüştürür.

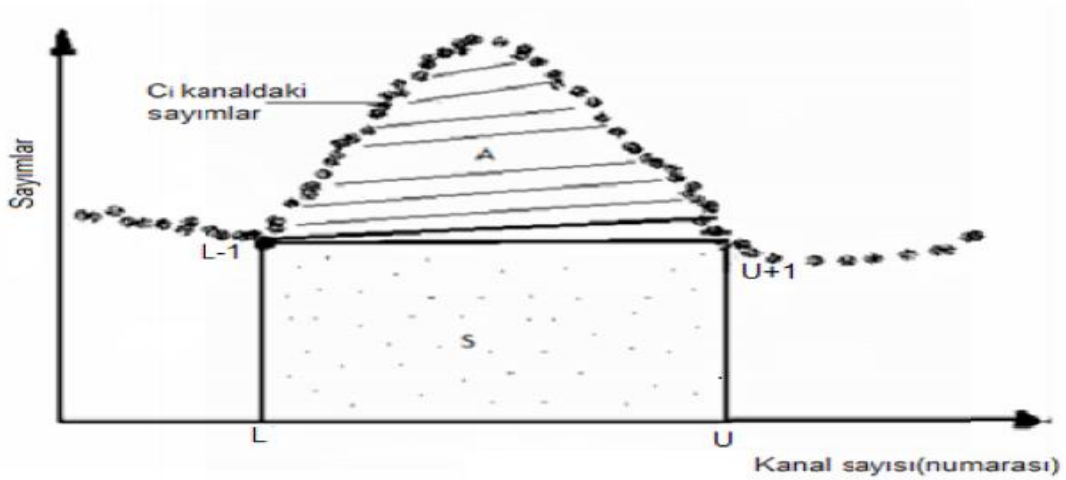


Şekil 3.3. Gama spektroskopi sistemi

Gama fotonu enerjisini dedektöre aktardıktan sonra yüksek ve kararlı gerilim uygulanmakta olan ön yükseltici(PA) bu enerjiyi burada fotonun enerjisi ile doğru orantılı bir elektriksel sinyale dönüştürür. Bu sinyal ana yükseltici(MA) de genliği artırılarak analog sinyal dönüştürücüye(ADC) gönderir. Analog sinyal dönüştürücüde bu elektriksel sinyali dijital bir sinyale dönüştürerek çok kanallı analizöre(MCA) gönderir. Dijital sinyallere dönüştürülmüş birçok farklı genliğe sahip bu sinyaller çok kanallı analizör sisteminde(MCA) kaydedilir. Bu bilgiler daha sonra sayım için bilgisayara gönderilir(Parmaksız,2004).

3.1. Pik Alanının Hesaplanması

Çok kanallı analizör sistemine(MCA) kaydedilen dijital sinyaller bilgisayar yazılımı sayesinde bir grafiğe dönüşür. Bu grafiğe dedektörün cevap fonksiyonu adı verilir. Cevap fonksiyonları da spektrumların oluşmasını sağlar. Çok kanallı analizör sisteminde(MCA) her kanal bir enerji değerine karşılık gelir. En baştan sona doğru eşit aralıklı olarak kanal sayısı arttıkça dedektörün ölçtüğü enerjide artar. Şekil3.4'te gösterildiği gibi ortaya çıkan spektrumda pikler hesaplanırken taban sayım alanı hesaplamadan çıkarılır çünkü bu kısım ya dedektörden kaynaklanıyor olabilir ya da ortamın doğal radyasyon fonu olabilir.



Şekil 3.4. Pik alanının hesaplanması

3.2. Kalibrasyon

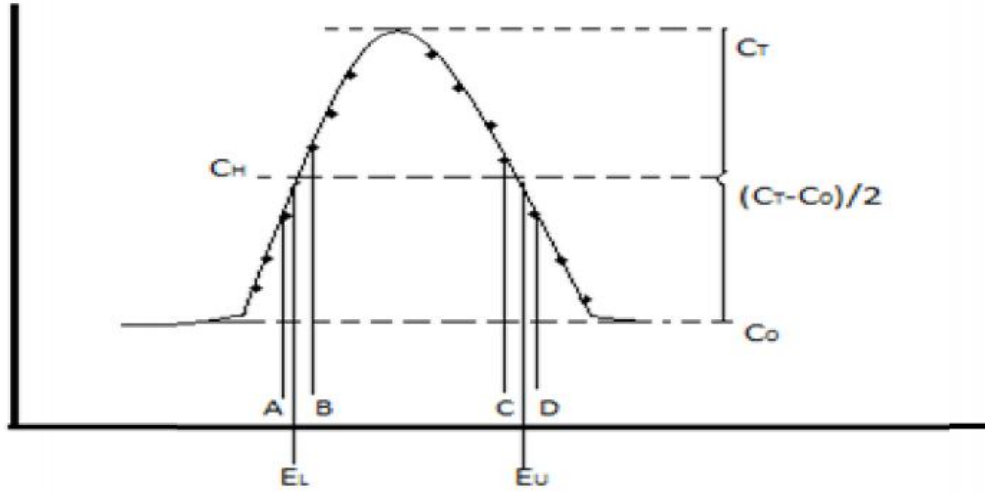
Spektrumun farklı şekillerde yorumlanmasını sağlayan kalibrasyon 3 durumda incelenir.

3.2.1. Enerji kalibrasyonu

Enerjisi bilinen bir kaynağın spektrumundan yola çıkarak hangi pikin hangi enerjiye karşılık geldiğinin belirlenmesi enerji kalibrasyonudur. Ölçme işleminde ilk yapılması gereken enerji kalibrasyonudur. Artık bilgisayar yazılımları bu enerji kalibrasyonunu otomatik olarak yapabilmektedir.

3.2.2. Pik genişliği kalibrasyonu

Pik alanını bilgisayara yaptırıldığında bu kalibrasyon yapılmak zorundadır. Bilgisayar programına pikin şekli hakkında bilgi verildiğinde pikin genişliğini (FWHM) enerjinin bir fonksiyonu olarak çıkarabilecektir.



Şekil 3.5. Pik genişliğinin hesaplanması (Gilmore, 2008)

Şekil 3.5'te gösterildiği gibi pik genişliği aşağıdaki yöntemle hesaplanabilir. Burada C_T , pik yüksekliğidir. C_T değerinden pikin altındaki taban sayımının (background) yüksekliği olan C_0 çıkarılır. Bulunan değer ise ikiye bölünür. Taban sayım yüksekliği olan C_0 'a eklenerek yarı yükseklik olan C_H değeri bulunur. Pikin sol tarafında yarı yüksekliğe alttan en yakın kanal A ve üstten en yakın kanal B sayıları ile birlikte bulunur. Bunlara sırasıyla C_A ve C_B denirse o zaman sol taraftaki yarı yükseklik kanal konumu E_L ,

$$E_L = A + (C_H - C_A) / (C_B - C_A) \quad (3.1)$$

olur. Benzer şekilde sağ taraftaki yarı yükseklik kanal konumu E_U ,

$$E_U = C + (C_C - C_H) / (C_C - C_D) \quad (3.2)$$

eşitliğinden bulunur. Yarı yükseklikteki maksimum genişlik (FWHM) ise,

$$FWHM = E_U - E_L \quad (3.3)$$

olur.

3.2.3. Verim kalibrasyonu

Dedektöre gelen enerji ile ölçülen enerji arasında farklılıklar olabilir.

$$\left(\text{Verim} = \frac{\text{Ölçülen Enerji}}{\text{Gelen Enerji}} \right)$$

Bu oranın hesaplanması dedektörün performans ölçütü olarak düşünülür. Burada verimi kaynağın ve dedektörün şekli (geometrisi) de etkileyecektir. Verim ε ile ifade edilirse,

$$\varepsilon = \frac{\text{Net Sayım}}{A.I_{\gamma}.t.m} \quad (3.4)$$

dir. Burada A, (Aktiflik) kaynağın 1 saniyedeki bozunma şiddetidir (Becquerel). I_{γ} da ölçülen gama ışınının yayınlanma olasılığı, t ise ölçme zamanı ve m kaynağın kütlesidir.

Bu çalışma için verim kalibrasyonu, TAEK'in gönderdiği değerleri bilinen standart numune ile yapılmıştır.

3.3. Minimum Dedekte Edilebilen Aktivite (MDA)

Minimum dedekte edilebilen aktivite (MDA) belli koşullar altında ölçüm sisteminin kapasitesini ifade etmek için kullanılan bir terimdir. MDA değerinin hesaplanması denklem 3.5'te olduğu gibidir.

$$\text{MDA} = \frac{2,71+4,65.\sqrt{N}}{\varepsilon.Y.t.m} \quad (3.5)$$

Burada N; geri plan(back-ground) sayısı, t; sayım zamanı, Y; yayınlanma olasılığı, m; kütle, ve ε ; tam enerji pik verimidir(Özmen,2014). Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi MDA değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. HPGe gama spektrometre sisteminin MDA değerleri(Özmen, 2014)

Ana Nüklit	Ürün Nüklit	Enerji (keV)	MDA(Bq/kg)
²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	351,9	0,36
²²⁶ Ra	²¹⁴ Bi	609,3	0,41
²³² Th	²⁰⁸ Tl	583,8	0,35
²³² Th	²²⁸ Ac	911,2	0,36
⁴⁰ K		1460,1	4,61
¹³⁷ Cs		661,6	0,04

3.4. Doğal Ortam Sayımı

Ortamın doğal radyasyon fonu ölçümlerde hataya sebep olabilir. Özellikle seviyesi düşük aktiviteye sahip numunelerde ölçümde bu durum daha belirleyici bir hal alır. Bu sebeple ölçümün yapıldığı ortam olabildiğince dış etkilerden arındırılmalı. Sonuç olarak dedektör boş olarak çalıştırılıp doğal ortamın sayımı yapılmalıdır. Doğal

ortam bazen ölçümün yapıldığı binanın yapı malzemelerinde bazen dedektörün zırhından kaynaklanabilir. Bu ölçümler numune ölçümlerinden çıkarılarak daha sağlıklı değerlere ulaşılmış olur.

3.5.Radyolojik Risk Parametreleri

3.5.1. Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}):

Doğada dağılımları farklı olan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K maruz kalmayı standartlaştırmak için Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}) tanımlanmaktadır (Beretka,1985).

$$R_{eq} = C_U + 1,43 C_{Th} + 0,077 C_K \quad (3. 6)$$

Burada C_U , C_{Th} ve C_K sırası ile ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ait aktiviteleridir.

3.5.2. Soğurulan gama doz hızı (D):

Yüzeyden 1 m yükseklikteki havada soğurulan gama doz hızını hesaplamak için spesifik aktivite konsantrasyonları belli dönüşüm faktörleri ile çarpılır(UNSCEAR 2000).

$$D = 0,623 C_{Th} + 0,461 C_U + 0,0414 C_K \quad (3. 7)$$

Burada C_U , C_{Th} ve C_K sırası ile ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ait aktiviteleridir.

3.5.3. Yıllık etkin doz (AED):

Soğurulan doz için dönüşüm (0,7Sv/Gy) ve dış ortamda maruz kalma faktörü (0,2) dikkate alınarak yıllık etkin doz aşağıdaki formülle hesaplanır(UNSCEAR,2000).

$$\text{Etkin Doz Hızı}(\mu\text{Sv/Gy})=\text{Doz hızı (nGy/h)}.8760\text{h}.0,2. 0,7\text{Sv/Gy}.10^{-3} \quad (3. 8)$$

Bu eşitlikte doz dönüşü katsayısı 0,7Sv/Gy ve bina dışı ortamda maruz kalma faktörü 0,2 olarak alınmıştır.

3.5.4. Dış zarar indeksi (H_{ex}):

Beretka ve Mathew tarafından 1985 yılında tanımlanan dış zarar indeksi;

$$H_{ex} = \frac{C_U}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \quad (3. 9)$$

Burada C_U , C_{Th} ve C_K sırası ile ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ait aktiviteleridir. Radyasyon zararının önemsiz olabilmesi için H_{ex} değeri 1'den küçük olmalıdır.

3.6. Bölgenin Tanıtılması

Bu çalışma Şanlıurfa ilinin, Viranşehir ilçesine bağlı Ayaklı bölgesinin toprak analizini içermektedir. Viranşehir, batısında Şanlıurfa (90km), doğusunda Mardin

(95km), kuzeyinde Diyarbakır (91km) il merkezleri olan, güneyinde Ceylanpınar adlı ilçe ile Suriye sınırından ayrılan Şanlıurfa'nın nüfus olarak dördüncü büyük ilçesidir. Daha önce bu bölgeye yakın noktalarda çalışılmış olmasına rağmen Ayaklı bölgesinden numune alınmamıştır. Çalışma bölgesi E90 karayoluna, tarihi ismi ile İpek Yolu'na (18km) ve Suriye sınırına yakındır. Kaçakçılık, terör gibi olayların yanı sıra 90'lı yıllardan bu yana Irak'a ve Suriye'ye yapılan askeri müdahalelerden çokça etkilenmiş bir bölgedir. 2003 yılında Irak'a yapılan askeri müdahale sırasında Ayaklı bölgesine füze düşmüştür. Sağlık Bakanlığına bağlı Kanserle Savaş Dairesi Başkanlığı füzede nükleer başlık olduğu şüphesi ile Türkiye Atom Enerjisi Kurumundan durumun araştırılmasını istemiştir(Anonim 1,2019). Gelişmeler bölgenin güncel analizini yapma konusunda güçlü bir merak duygusu oluşturmuştur.



Şekil 3.6. Ayaklı bölgesinin coğrafi konumu (harita.gov)

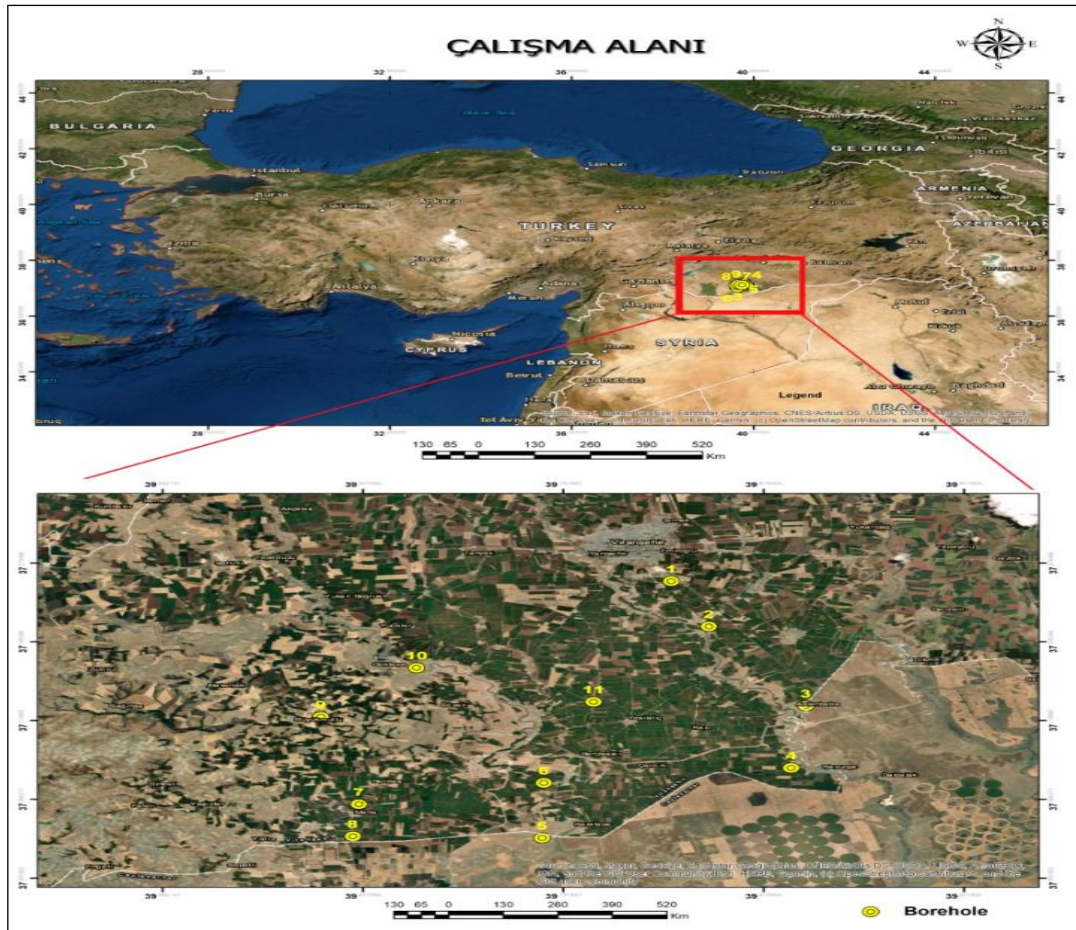
Şekil 3.6'da gösterildiği gibi Ayaklı bölgesinin coğrafi konumu 37.073555 kuzey enlemi ile 39.737827 doğu boylamının kesiştiği yerde bulunmaktadır. Fırat ve Dicle nehirlerinin arasında Mezopotamya olarak adlandırılan bölge içinde kalmaktadır. Viranşehir ilçesine bağlı olan Ayaklı köyünün merkezi ilçeye 18 km uzaklıktadır. Suriye sınırına olan uzaklığı ise 37km'dir. Bölgede ülkemizin zengin kültürel mozaiki karşımıza çıkmaktadır. Numune alınan köylerde dil açısından kültürel zenginlik göze çarpmaktadır. Köylerde Kürtçe, Zazaca ve Arapça dilleri kullanırken ortak olarak hepsi Türkçe de kullanılmaktadır. Ayaklı mahallesinin nüfusu toplam 2.849 tır. Bu nüfusun 1.416'si erkek, 1.433'si kadındır (Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2019). Halkın geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Çalışma bölgesinde Akdeniz, çöl ve karasal iklimin etkileri görülür. Karasal ve çöl ikliminin etkisiyle yazları çok sıcak geçer. Fakat nem oranı yüksek olmadığı için bu sıcaklar boğucu derecelerde hissedilmez. Bu yönüyle Akdeniz ikliminden ayrılır. Kışlar soğuk ve yağışlıdır.

Bölgenin jeolojik açıdan özellikleri ise Şanlıurfa İlinin yakın doğusundaki Senozoyik zaman aralığında çökelmiş olan Midyat Grubu karbonat kayaçlarını karasal sedimanter ve volkanik kayaçların stratigrafik ve sedimentolojik özellikleriyle tektoniğini kapsamaktadır. Şanlıurfa İli civarında Paleosen yaşlı Germav Formasyonu üzerine uyumlu bir şekilde gelmektedir. Viranşehir çevresinde yapılan jeolojik incelemeler göstermiştir ki birimin alt seviyesi marnlardan, orta seviyeleri ise çört yumrulu bantlı kireçtaşıdan oluşan, üst seviyesi ise bol Nummulit'li kireçtaşıyla temsil edilmektedir.

3.7. Ölçme İşlemi

Ayaklı bölgesinin çevresel radyoaktivite düzeyinin belirlendiği bu çalışmada uygulanan metodoloji aşağıda açıklanmıştır.

Yaklaşık olarak 390 km²'lik araştırma alanımızdan 11 toprak numuneleri alınmıştır. Ayaklı köyü merkeze alınarak 10 km uzaklıktaki birbirlerinden en az 3 km aralıklarla örnekler alınmıştır.



Şekil 3.7. Çalışma Alanı

Şekil 3.7’de gösterildiği gibi örneklerin toplandığı noktalar için Coğrafi Bilgi Sistemlerinden ArcGis yazılımı ile enlem ve boylam bilgileri kullanarak konumsal

yerleşim yapılmıştır. İşaretli noktalarda bulunan mahalleler(köyler) ise Şekil 3.8' te gösterildiği gibi verilmiştir.



Şekil 3.8. Numune alınan 11 nokta (harita genel müdürlüğü)

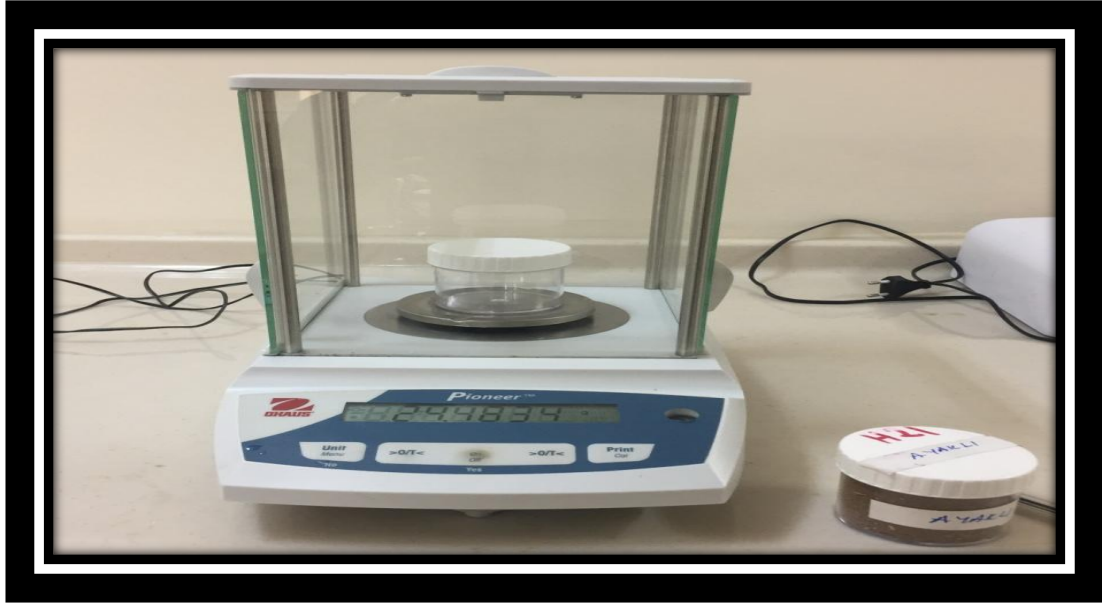
Örnekler yüzeyden 0-20 cm derinliğe kadar otsuz ve tarım alanlarından olabildiğince uzak noktalardan yaklaşık 10 kg olarak alındı. Şekil 3.8'de gösterildiği gibi belirlenen noktalardan alınan toprak numuneleri oda sıcaklığında 3-4 gün doğal nem seviyesine gelmesi için beklendi. 2 mm elek ile yabancı cisimlerden temizlendi.



Şekil 3.9. Numunelerin etüvde nemden uzaklaştırılması

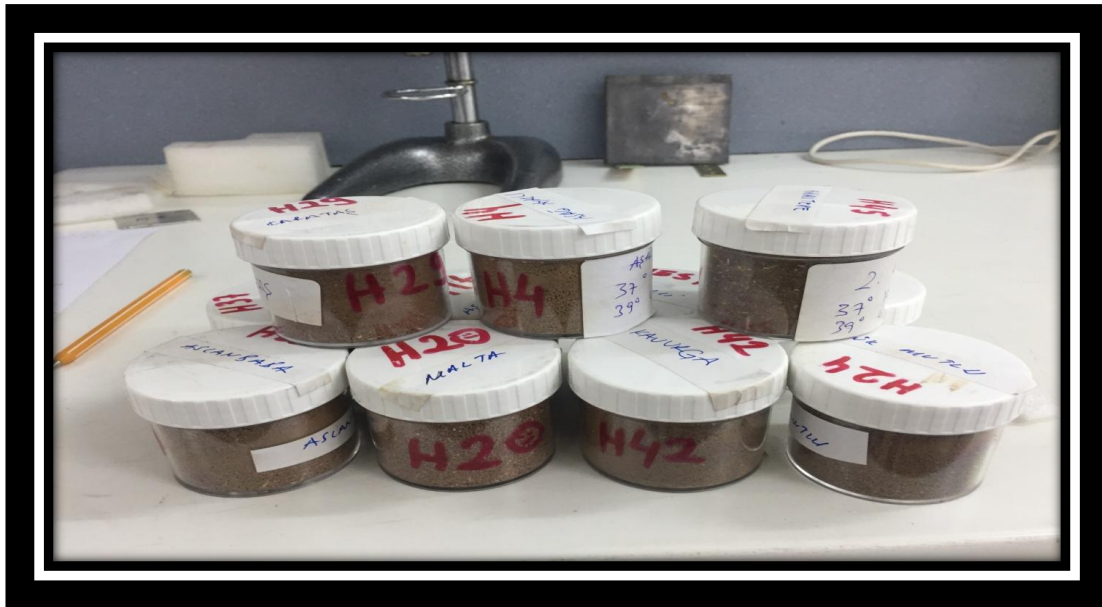
Şekil 3.9'da gösterildiği gibi örnekler, Akdeniz Üniversitesi su ürünleri fakültesindeki etüvde 70-80 °C'lerde 24 saat kurutulmaya bırakıldı. Böylece ölçümde hataya sebep

olabilecek nem tamamen kurutulmuş oldu. Homojenize edilen uygun numune kaplarına dolduruldu.



Şekil 3.10. Numunelerin tartılma işlemi

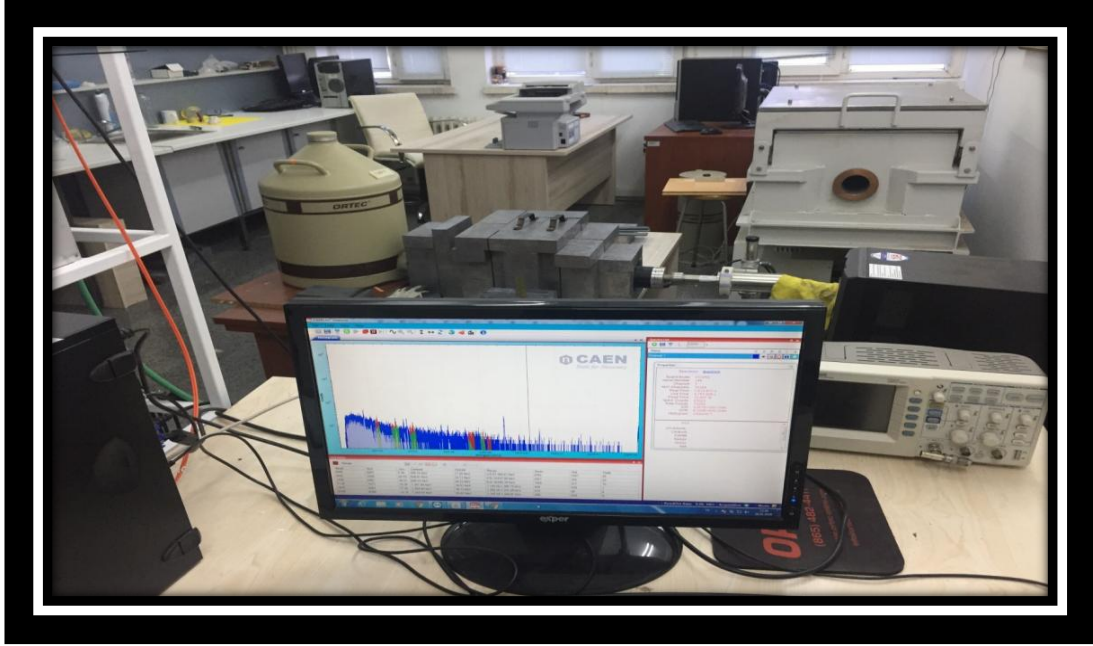
Şekil 3.10'da gösterildiği gibi kaplar tartılarak etiketlenip gaz sızdırmaz parafilm ile sıkıca kapatıldı. ^{226}Ra - ^{222}Rn arasında radyoaktif dengenin oluşması ve Compton bölgesinin kararlı hale gelmesi için yaklaşık 30 gün beklenmiştir.



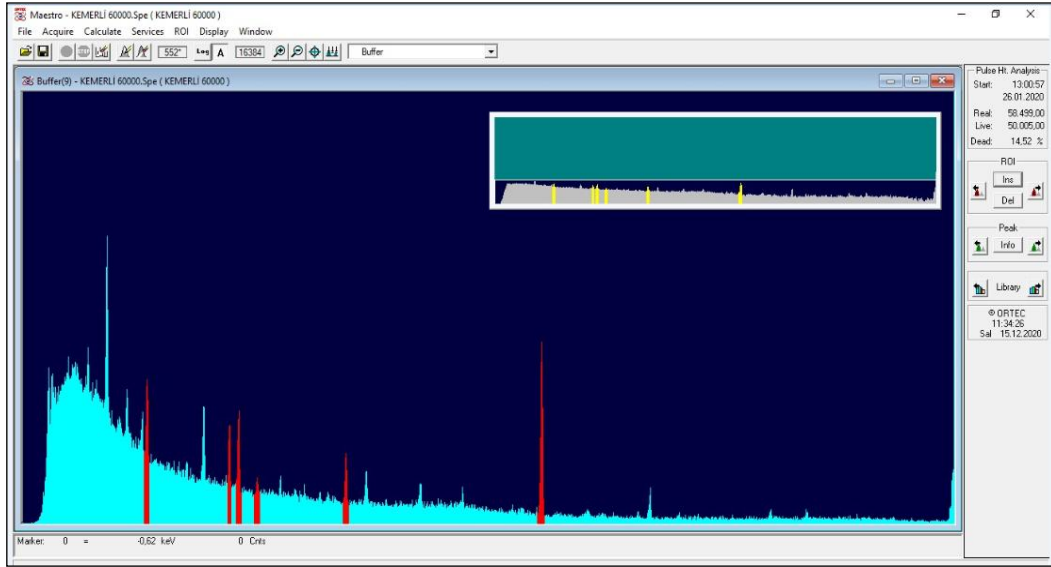
Şekil 3.11. Dedektörde sayıma hazır hale getirilmiş örnekler

Plastik kaplar içinde ölçüme hazırlanmış örnekler Gama Spektroskopi Laboratuvarında bulunan p-tipi, koaksiyel, elektrik soğutmalı, bağıl verimi %40 ve ^{57}Co için 122keV'de 768 eV FWHM ve ^{60}Co için 1332keV'de 1.85keV FWHM değerlerine

sahip AMETEK-ORTEC, GEM40P4 model yüksek saflıkta Germanyum dedektörü ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.12. Akdeniz Üniversitesi Fizik Bölümü Gama Spektroskopi Laboratuvarı
Dedektörden gelen sinyaller MAESTRO32 yazılımı kullanılarak sayılmıştır.



Şekil 3.13. MAESTRO32 ile elde edilmiş Kemerli köyünün gama spektrumu

^{238}U ve ^{232}Th 'ye ait radyoaktivite konsantrasyonları, bu radyonüklitlerin bozunma ürünleri olan doğal radyonüklitler yardımıyla tayin edilmektedir. Aktivite hesaplanırken en yüksek bolluğa sahip bozunum ürününün aktivitesi, ^{238}U ve ^{232}Th 'nin aktivitesi olarak alınmıştır.

- 1) ^{214}Bi radyonükliti,
- ^{238}U bozunma ürünüdür.
 - Yarı ömürleri 19,9 dakikadır.
 - Enerji pikleri ve bollukları ise
 - 609,31keV bolluğu % 45,49
 - 1120,29keV bolluğu % 14,91
 - 1238,11keV bolluğu % 5,83
 - 1764,56keV bolluğu % 15,28

dir.

- 2) ^{208}Tl radyonükliti,
- ^{232}Th bozunma ürünüdür.
 - Yarı ömrü 3.05 dakikadır.
 - Enerji pikleri ve bollukları ise
 - 277,37keV bolluğu % 2,37
 - 583,19keV bolluğu % 30,6
 - 860,56keV bolluğu % 4,48
 - 2614,51keV bolluğu % 35,85

Spektrum analizi için bu çalışmada ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları ^{238}U ve ^{232}Th bozunum serilerindeki ürün radyonüklitlerinden yayımlanan ^{214}Pb için 352keV ^{214}Bi için 609keV, ^{228}Ac için 911keV, ^{208}Tl için 583keV enerji değerindeki pikler kullanılmıştır. Ayrıca ^{137}Cs için 662keV ve ^{40}K için 1461keV enerjili pikler kullanılmıştır. Yazılımdan elde ettiğimiz piklerin net alanları hesaplandıktan sonra aktivite konsantrasyonları aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$A = \frac{N/t}{\varepsilon \cdot I_\gamma \cdot m} K \quad (3.10)$$

Burada, A: Aktivite (Bq/kg), ε : Dedektörün verim, N: Seçilen pikin net alanı (net sayım), I_γ : Gama ışının bolluğu (% yayınlanma olasılığı), t: Sayım süresi (s), m: Kaynağın kütlesi (kg), K: düzeltme katsayısıdır.

3.8. Ölçmede Hata

Deneyisel çalışmalarda karşılaşılan önemli noktalardan biride hata hesabıdır. Hata ya da belirsizliğin kaynakları pik alanındaki sayımda oluşabilecek hata ΔN , sayım süresinde oluşabilecek hata Δt , dedektör veriminde oluşabilecek hata $\Delta \varepsilon$, kütle ölçümünde oluşabilecek hata Δm , yayınlanma olasılığında oluşabilecek hata ΔI 'dir.

$$\frac{\sigma_A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{N_{Net}}}{N_{Net}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_\gamma}}{I_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11'de gösterildiği gibi hata oranı hesaplanır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Ayaklı bölgesinden belirlenen konumlardan alınan 11 adet toprak örneklerinin doğal radyoaktivite konsantrasyonları belirlendi. Toprak örneklerinin ölçümü için yüksek saflıkta Germanyum dedektörü ile gama spektrometrik sayım sisteminde yapıldı.

4.1. Toprak Örneklerindeki Doğal Radyasyon Seviyeleri

Toprak örneklerinin radyoaktivite konsantrasyonları, enerji kalibrasyonu yapılan yüksek saflıkta Germanyum dedektöründe gama spektrometrik sayım sisteminde örnekler en az 33369 en çok 58499 saniye sayım süresince spektrumu kaydedilerek ölçüldü. Ayrıca background (arka plan) olarak yaptığımız ölçüm sonuçları dedektörün içi boşken aldığımız değerlerdir. Tüm sonuçları standart referans kaynak ile kıyaslayabilmek için 10000 saniyedeki değerleri hesaplanmıştır.

$$X = \frac{N \cdot 10000}{t} \quad (4.1)$$

Burada X; 10000 saniyedeki sayım, N; t içindeki sayım değeri, t; ilk sayımın süresidir. Net sayımları elde edebilmek için örneklerimizin sayımlarının içinden background sayımını çıkaracağız.

$$Y = X_{\text{örneğin sayımı}} - X_{\text{Background sayımı}} \quad (4.2)$$

Alınan toprak örnekleri etüvde nemden arındırıldıktan sonra plastik kaplara konulup kütle ölçümü yapıldı.

Çizelge 4.1.Toprak örneklerinin net kütlesi

TOPRAK ÖRNEKLERİ	KÜTLE(gram)
KAYNAK	206,2
KARATAŞ	140,12
KINALITEPE	130,82
ASLANBABA	122,44
KAVURGA	137,02
AŞAĞI AYAKLI	142,72
AYAKLI	125,49
MALTA	123,74

Çizelge 4.1'in devamı

AŞAĞI MALTA	123,07
BÜYÜK MUTLU	117,78
BATI GÖMÜLÜ	122,67
KEMERLİ	107,45

Bu bilgiler ışığında bölgenin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir.

$$A_{\text{Örneğin aktivitesi}} = \frac{N_{\text{Örneğin net sayımı}} \cdot m_{\text{Stdrt.ref.kaynağının kütlesi}}}{N_{\text{Stdrt.ref.kaynağının net sayımı}} \cdot m_{\text{Örneğin kütlesi}}} \cdot A_{\text{Standart referans kaynağının aktivitesi}} \quad (4.3)$$

Çizelge 4.2. Standart referans kaynaktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri

ANA NÜKLİT	ÜRÜN NÜKLİT	ENERJİ (keV)	MDA	STANDART REFERANS KAYNAK AKTİVİTESİ
^{238}U	^{214}Pb	352	0,53	1900,00
^{238}U	^{214}Bi	609	0,85	
^{232}Th	^{228}Ac	911	1,72	1825,00
^{40}K	^{40}K	1462	18,48	755,00

Sahip olduğumuz verileri eşitlik (4. 3)'te yerine konularak Çizelge 4.3'te gösterildiği gibi toprak numunelerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını bulunur.

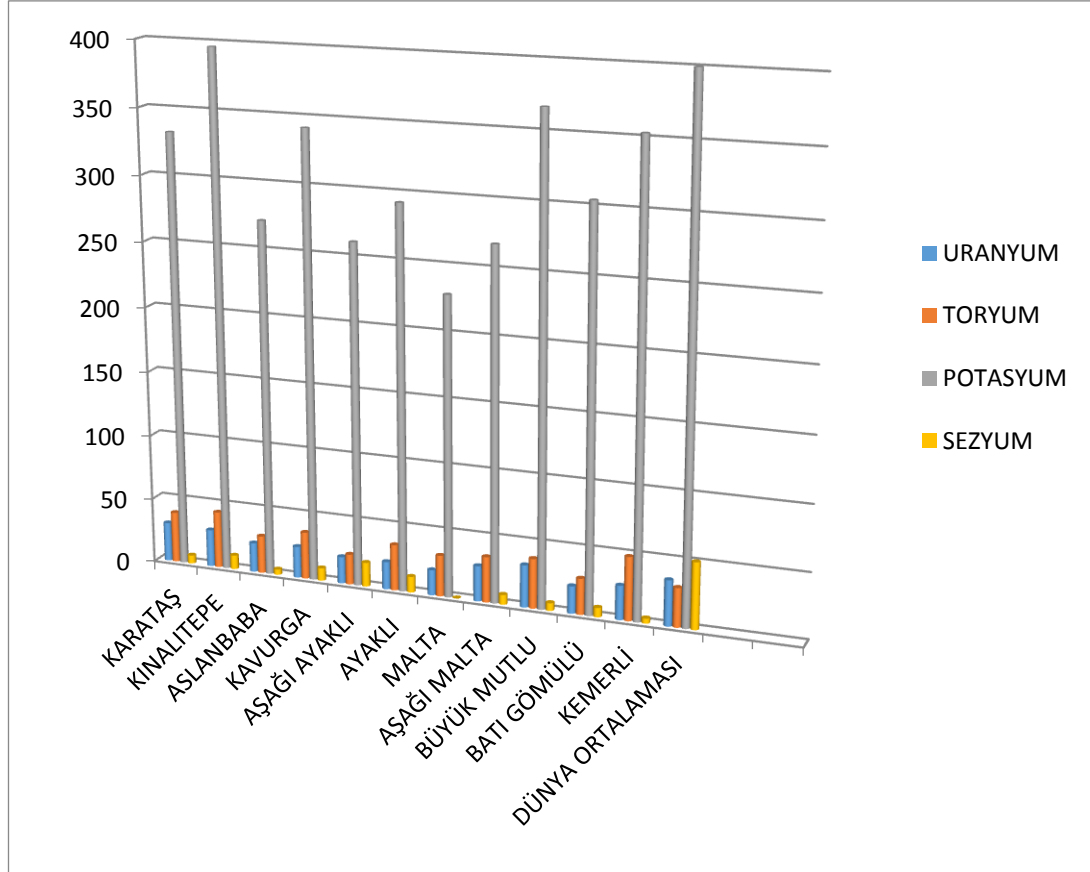
Çizelge 4.3. Toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)		
	^{226}Ra (Bq/kg)	^{228}Ac (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)
KARATAŞ	30,01 ± 1,97	39,11 ± 2,67	332,35 ± 17,34	6,3 ± 0,48
KINALITEPE	28,64 ± 2,03	43,64 ± 2,66	396,38 ± 22,41	10,7 ± 0,98

Çizelge 4.3'ün devamı

ASLANBABA	22,63 ± 1,48	28,82 ± 2,41	271,76 ± 14,78	4,1 ± 0,31
KAVURGA	24,21 ± 2,32	36,23 ± 2,33	341,85 ± 14,43	9,7 ± 0,93
AŞAĞI AYAKLI	20,64 ± 1,42	23,37 ± 2,10	261,48 ± 18,24	18,6 ± 1,41
AYAKLI	21,28 ± 1,39	35,35 ± 2,87	292,71 ± 14,62	12,2 ± 1,04
MALTA	19,5 ± 1,66	31,53 ± 2,65	228,76 ± 14,34	ÖSA (Ölçüm Sınırının Altında)
AŞAĞI MALTA	27,2 ± 1,81	34,99 ± 2,13	268,09 ± 15,85	7,5 ± 0,66
BÜYÜK MUTLU	32,5 ± 2,89	38,13 ± 2,29	367,12 ± 21,27	5,9 ± 0,48
BATI GÖMÜLÜ	21 ± 1,46	27,64 ± 2,73	304,61 ± 14,31	7,1 ± 0,45
KEMERLİ	26,15 ± 1,78	48,75 ± 3,38	353,24 ± 24,72	3,8 ± 0,23

Toprak örneklerindeki ^{238}U 'un en yüksek aktivite konsantrasyonu Büyük Mutlu mahallesinde (32,50Bq/kg) ve en düşük aktivite Malta mahallesinde (19,50 Bq/kg) ölçüldü. Bütün topraklardan alınan ^{238}U örneklerinin ortalaması ise 24,89Bq/kg olarak bulundu. Bu ortalama değer dünya ortalamasının altındadır. Toprak örneklerindeki ^{232}Th 'un en yüksek aktivite konsantrasyonu Kemerli mahallesinde (48,75Bq/kg) ve en düşük aktivite Aşağı Ayaklı mahallesinde (23,37Bq/kg) ölçüldü. Bütün topraklardan alınan ^{232}Th örneklerinin ortalaması ise 35,23Bq/kg olarak bulundu. Bu ortalama değer dünya ortalamasının biraz üstündedir. Toprak örneklerindeki ^{40}K 'ın en yüksek aktivite konsantrasyonu Kınalıtepe mahallesinde (396,38Bq/kg) ve en düşük aktivite Malta mahallesinde (228,76Bq/kg) ölçüldü. Bütün topraklardan alınan ^{40}K 'ın örneklerinin ortalaması ise 310,76Bq/kg olarak bulundu. Bu ortalama değer dünya ortalamasının altındadır. Toprak örneklerindeki ^{137}Cs 'un en yüksek aktivite konsantrasyonu Aşağı Ayaklı mahallesinde (18,6Bq/kg) ve en düşük aktivite Kemerli mahallesinde (3,8Bq/kg) ölçüldü. Bütün topraklardan alınan ^{137}Cs 'un örneklerinin ortalaması ise 7,81Bq/kg olarak bulundu. Bu ortalama değer dünya ortalamasının altındadır.



Şekil 4.1. Toprak örneklerinden elde edilen radyoaktivite konsantrasyon grafiği

Alınan yüzey toprak örneklerinde ölçülen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri konsantrasyonlarına bağlı olarak hesaplanan Gama Doz Hızları (GDR) $34,96\text{nGyh}^{-1}$ ile $57,09\text{nGyh}^{-1}$ arasında değiştiği gözlemlenmiş, ortalama değeri $46,34\text{nGyh}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Yıllık Etkin Doz hesaplanırken dış ortamda maruz kalma faktörü 0,2 alınmıştır. Dönüşüm katsayısı ise yetişkinlerde 0,7; çocuklarda 0,8; bebeklerde 0,9 olarak alınarak hesaplanmıştır. Buna göre Yıllık Etkin Doz yetişkinlerde (AEDE, Adult) $42,87\mu\text{Sv/y}$ ile $70,01\mu\text{Sv/y}$ arasında değiştiği gözlemlenmiş, ortalama değeri ise $56,83\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Yıllık Etkin Doz çocuklarda (AEDE, Childeren) $48,99\mu\text{Sv/y}$ ile $80,01\mu\text{Sv/y}$ arasında değiştiği gözlemlenmiş, ortalama değeri ise $64,95\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Yıllık Etkin Doz bebeklerde (AEDE, Infant) $55,12\mu\text{Sv/yıl}$ ile $90,02\mu\text{Sv/y}$ arasında değiştiği gözlemlenmiş, ortalama değeri ise $73,06\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Radyum Eşdeğer aktivitesi (R_{eq}) $74,20\text{Bq/kg}$ ile $123,07\text{Bq/kg}$ arasında değişirken ortalama değeri $99,20\text{Bq/kg}$ olarak hesaplanmıştır. Dış zarar İndeksi (H_{ex}) 0,20 ile 0,33 arasında değişirken, ortalaması 0,27 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Toprak örneklerinin radyolojik zarar indeksleri

YER ADI	10-200nGy/h arasında olmalı	370Bq/kg'a eşit ve ya küçük olmalı	1'den küçük olmalı			460msV/yıl'dan küçük olmalı (TAEK önerilen 5mSv/yıl'dan küçük olmalı)		
						Bebeklerde	Çocuklarda	Yetişkinlerde
						G D R nGy/h	RE A Bq/kg	EHI
KARATAŞ	52,01	111,52	0,30	0,38	0,36	82,01	72,90	63,78
KINALITEPE	56,86	121,57	0,33	0,41	0,40	89,66	79,70	69,73
ASLANBABA	39,68	84,77	0,23	0,29	0,27	62,57	55,62	48,67
KAVURGA	47,94	102,35	0,28	0,34	0,34	75,60	67,20	58,80
AŞAĞI AYAKLI	34,96	74,20	0,20	0,26	0,24	55,12	48,99	42,87
AYAKLI	43,99	94,36	0,25	0,31	0,31	69,36	61,65	53,95
MALTA	38,13	82,21	0,22	0,27	0,27	60,12	53,44	46,76
AŞAĞI MALTA	45,47	97,88	0,26	0,34	0,31	71,70	63,74	55,77
BÜYÜK MUTLU	54,00	115,29	0,31	0,40	0,37	85,15	75,69	66,23
BATI GÖMÜLÜ	39,57	83,98	0,23	0,28	0,27	62,39	55,46	48,53
KEMERLİ	57,09	123,07	0,33	0,40	0,41	90,02	80,01	70,01
						Bebeklerde	Çocuklarda	Yetişkinlerde
	G D R	RE A	EHI	IHI	IY	A E D E	A E D E	A E D E
ORTALAMA	46,34	99,20	0,27	0,34	0,32	73,06	64,95	56,83

Çizelge 4.4'ün devamı

MİNİMUM	34,96	74,20	0,20	0,26	0,24	55,12	48,99	42,87
MAKSİMUM	57,09	123,07	0,33	0,41	0,41	90,02	80,01	70,01
	10-200	<370,00	<1	<1	<1	<460,00	<460,00	<460,00

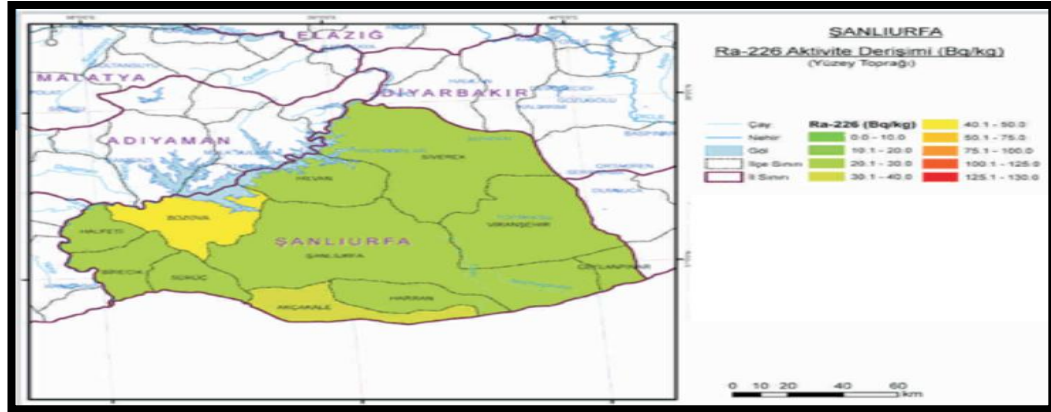
Çalışma bölgesinin coğrafi özelliklerinin temsil edecek 11 noktadan mermer, beyaz, kırmızı ve krem renkli taşlar alınmıştır. Bölgenin jeolojik araştırmalar sonrasında maden kaynakları açısından fakir olmakla birlikte en önemli yeraltı kaynağı bakımından işletmeye elverişli sıcak su çıkarılmıştır. Bölgede çok sayıda mermer ruhsat sahaları mevcuttur. Diğer taraftan bu mermer yapıtaşı ve karayolları mucur malzemesi olarak da bölgedeki kayaçlar işletilmektedir.

Şanlıurfa İli doğusundaki Senozoyik zaman aralığında çökelmiş olan Midyat Grubu karbonat kayaçlarını karasal sedimanter ve volkanik kayaçların stratigrafik ve sedimentolojik özellikleriyle tektoniğini kapsamaktadır.

İnceleme alanında Eosen döneminde derin deniz ortamında çökelen Midyat Grubuna ait Gaziantep Formasyonu en yaşlı birim olarak yüzeylemektedir. Formasyon üç farklı seviye halinde görülmekte olup, Alt-Orta-Üst Eosen zaman aralığını kapsamaktadır. Çalışma alanında bu birimin tabanı görülmemektedir. Fakat Şanlıurfa İli civarında Paleosen yaşlı Germav Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir(Polat vd,1996)

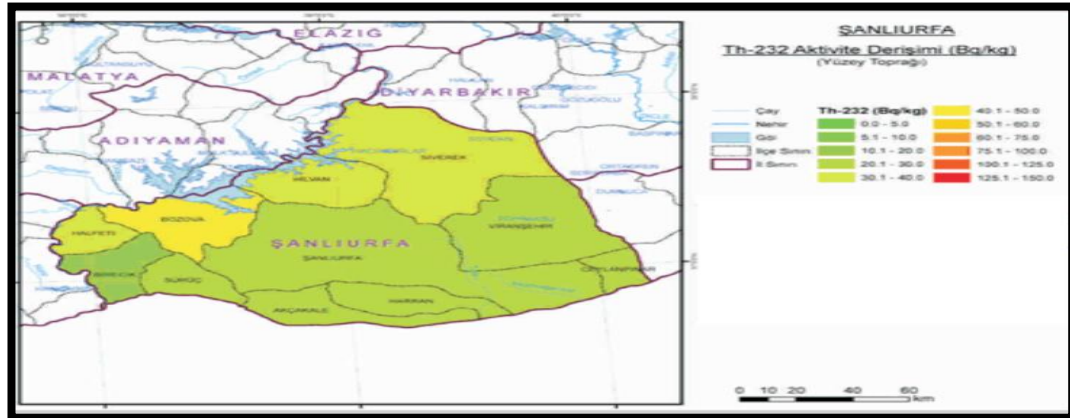
5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Şanlıurfa ilinin Viranşehir ilçesine bağlı Ayaklı bölgesinin toprak örneklerinin doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları tespit edilmiştir. Ayaklı Köyü (mahallesi) merkeze alınarak yarıçapı en az 10 km olan ve birbirlerinden en az 3 km mesafeli 11 farklı bölgeden alınan toprak numunelerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları yüksek saflıktaki germanyum dedektöründen yararlanarak ölçülmüştür.



Şekil 5.1. TAEK Türkiye çevresel radyasyon atlası, Şanlıurfa, ^{226}Ra aktivite derişim haritası

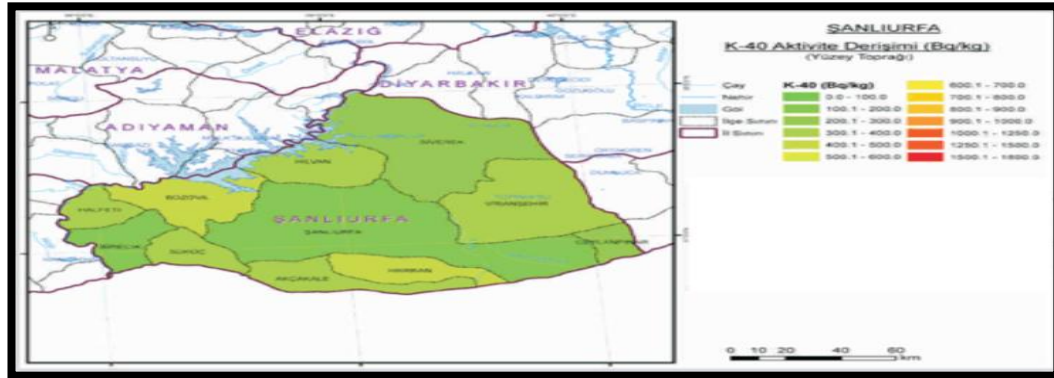
Şekil 5.1'de gösterildiği gibi Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun 27 Eylül 2017 düzenleme tarihli Şanlıurfa verilerine bakıldığında çalışma bölgesi için ortalama ^{226}Ra aktivite konsantrasyon 20.1-30.0Bq/kg aralığında görülmektedir. Çalışma sonuçlarına bakıldığında TAEK ile çalışma sonuçları örtüşmektedir.



Şekil 5.2. TAEK Türkiye çevresel radyasyon atlası, Şanlıurfa, ^{232}Th aktivite derişim haritası

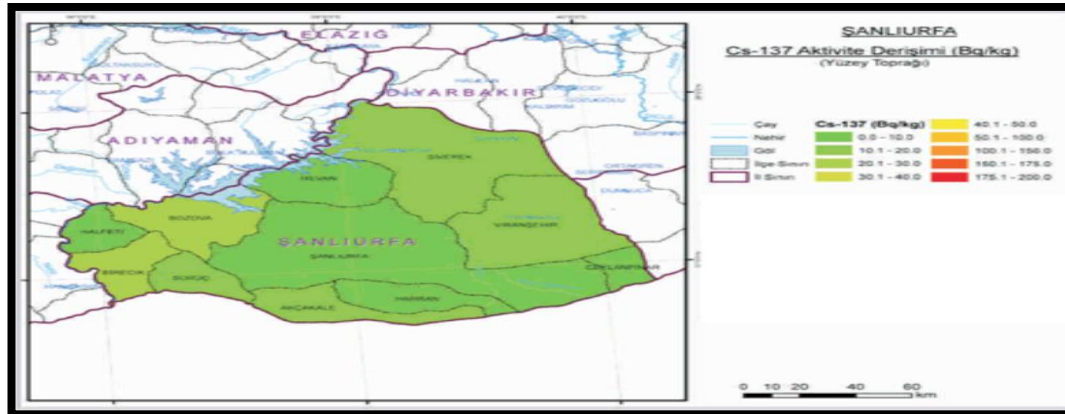
Şekil 5.2'de gösterildiği gibi Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun 27 Eylül 2017 düzenleme tarihli Şanlıurfa verilerine bakıldığında çalışma bölgesi için ortalama ^{232}Th

aktivite konsantrasyon 20.1-30.0Bq/kg aralığında görülmektedir. Çalışma sonuçlarına bakıldığında TAEK ile çalışma sonuçları arasında küçük farklılıklara rastlanılmıştır.



Şekil 5.3. TAEK Türkiye çevresel radyasyon atlası, Şanlıurfa, ^{40}K aktivite derişim haritası

Şekil 5.3’de gösterildiği gibi Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun 27 eylül 2017 düzenleme tarihli Şanlıurfa verilerine bakıldığında çalışma bölgesi için ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyon 300.1-400.0Bq/kg aralığında görülmektedir. Çalışma sonuçlarına bakıldığında TAEK ile çalışma sonuçları örtüşmektedir.



Şekil 5.4. TAEK Türkiye çevresel radyasyon atlası, Şanlıurfa, ^{137}Cs aktivite derişim haritası

Şekil 5.4’de gösterildiği gibi Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun 27 eylül 2017 düzenleme tarihli Şanlıurfa verilerine bakıldığında çalışma bölgesi için ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyon 0.0-10.0Bq/kg aralığında görülmektedir. Çalışma sonuçlarına bakıldığında TAEK ile çalışma sonuçları örtüşmektedir.

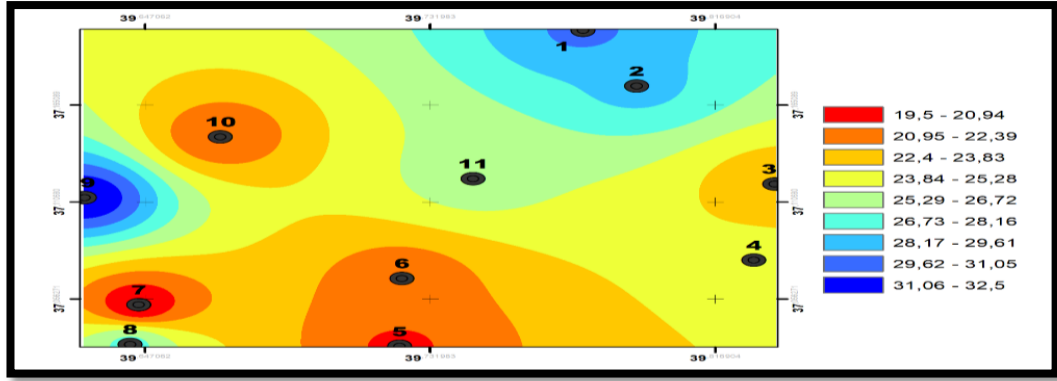
Sonuçlar, Türkiye Atom Enerji Kurumu (TAEK) tarafından yayımlanan Türkiye Çevresel Radyoaktivite Atlası’ndaki Şanlıurfa verileri ve Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi’nin (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation- UNSCEAR) dünya ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1. Daha önce yapılan bazı çalışmalardaki toprak örneklerinin ortalama aktivite değerleri

NO	ÇALIŞMA BÖLGESİ	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)
1	Şanlıurfa(A. Bozkurt)	20.8	24.95	298.6	9.08
2	Sakarya	33,74	29,19	463,27	
3	Siverek (Ş.urfa, M.Altuntas)	27.43	14.12	321.82	
4	Diyarbakır	16,2	20,0	276,3	12,3
5	Adıyaman	27,6	29,2	254,4	6,4
6	Gaziantep	21,5	22,2	212,8	7,1
7	Mardin	26,8	24,8	369,8	9,4
8	İstinye (İstanbul)	25,63	27,95	719,10	4,27
9	Batman	35	25	274	12
10	Kilis	16,1	15,0	206	9,5
11	Garipçe-1 (İstanbul)	4,79	2,82	186,09	4,88
12	Kocaeli	20,74	28,87	410,35	5,30
13	Kastamonu	32,43	27,17	431,43	
14	Suriye (Genel)	22,2	18,43	247	
15	Ürdün (Kuzey Yaylaları)	49,9	26,7	291,1	
16	Felluce Bölgesi (Irak)	26,1	11,7	112,1	
17	Nijer Deltası	40,5	26,1	267,1	
18	Ayaklı bölgesi (Şanlıurfa)	24,89	35,23	310,76	7,81
19	Türkiye	27,56	32,65	439,93	12,03
20	Dünya	35	30	400	51

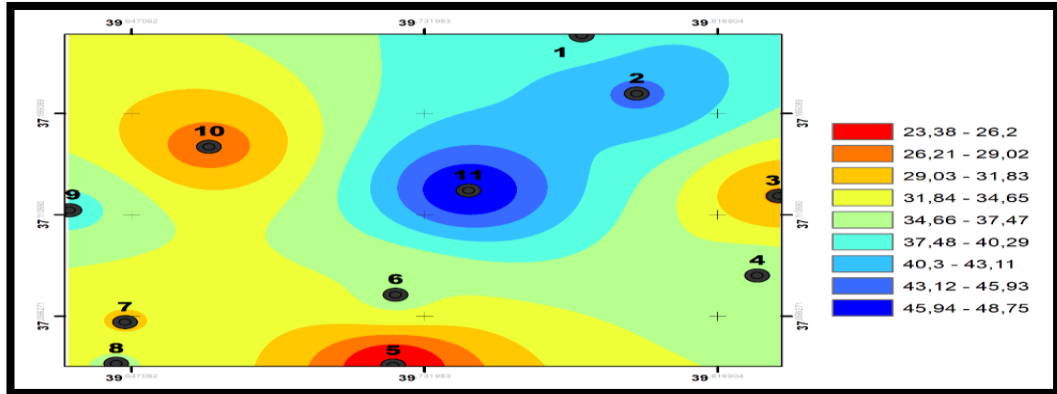
Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi bu çalışmadan elde edilen ^{238}U , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite değerleri sırasıyla 24,89Bq/kg - 310,76Bq/kg - 7,81Bq/kg Suriye Atom Enerjisi Kurumu (Atomic Energy Commission of Syria) verileri, TAEK’in Türkiye radyonüklit ortalamaları ve UNSCEAR’ın Dünya ortalama aktivite değerleriyle uyum içerisinde. Fakat ^{232}Th ortalama aktivite değeri **35,23Bq/kg** Türkiye ve Dünya ortalamasının biraz üzerinde çıkmıştır. Bu açıdan radyolojik zarar indekslerine bakıldığında anlamlı bir yükseklik olmadığı anlaşılmıştır. ^{232}Th ortalama aktivitesindeki farklılık ulusal jeolojik verilerle de uyumludur.

Ayaklı merkezli (6 numaralı konum) çalışma alanımızın Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarından ArcGis yazılımı ile radyonüklitlerin konum analizi enterpolasyon yöntemi ile yapılmıştır. Yazılım koordinatları girilen konumların analiz sonuçlarını renkler ile dağılımını göstermektedir. Aşağıda verilen şekillerde enlem boylam ve ölçeklendirme gerçek değerleri ile orantılıdır. Böylelikle çalıştığımız harita üzerindeki hareketimize bağlı olarak değişen konsantrasyon değerlerini görebilmekteyiz.



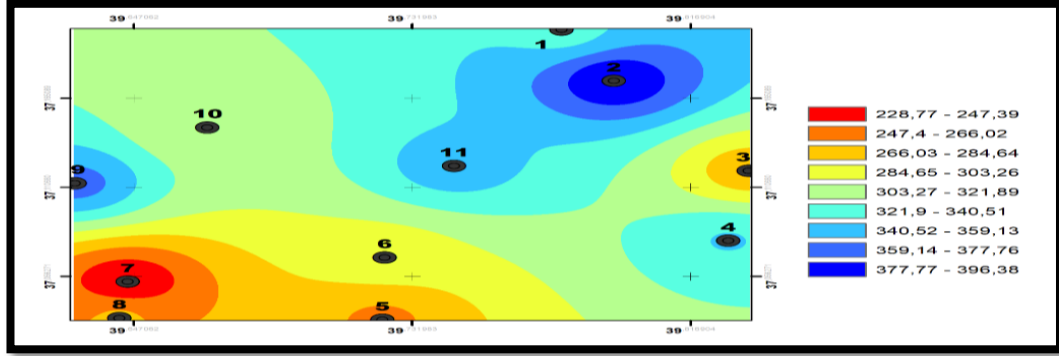
Şekil 5.5. İşaretli çalışma noktalarındaki ^{226}Ra aktivite konsantrasyon grafiği

Çalışma bölgesi için ^{226}Ra aktivite konsantrasyon analizi sonuçları 24,89Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.5’ de gösterildiği gibi 6 numaralı Ayaklı köyü merkezli çalışma bölgesinin kuzeyinde ve batısında ^{226}Ra aktivite konsantrasyonunun yükseldiği gözlenmektedir.



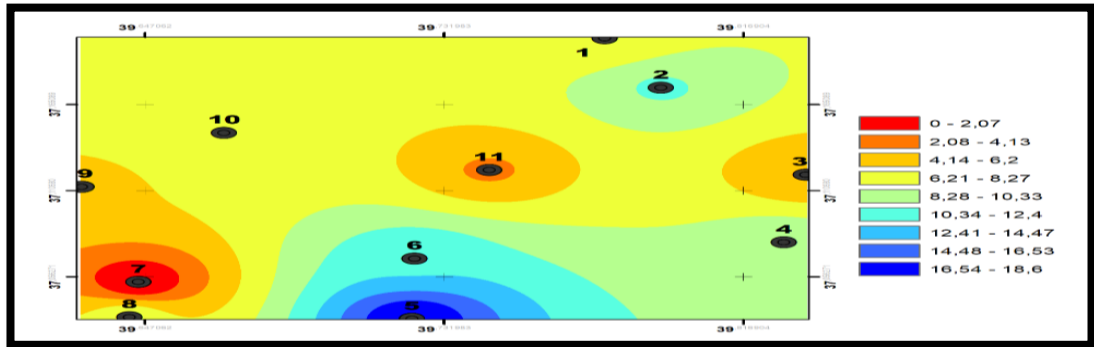
Şekil 5.6. İşaretli çalışma noktalarındaki ^{228}Ac aktivite konsantrasyon grafiği

Çalışma bölgesi için ^{232}Th aktivite konsantrasyon analizi sonuçları $35,23\text{Bq/kg}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.6' de gösterildiği gibi 6 numaralı Ayıklı köyü merkezli çalışma bölgesinin kuzey-doğusunda ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun yükseldiği gözlenmektedir.



Şekil 5.7. İşaretli çalışma noktalarındaki ^{40}K aktivite konsantrasyon grafiği

Çalışma bölgesi için ^{40}K aktivite konsantrasyon analizi sonuçları $310,76\text{Bq/kg}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 5. 7'de gösterildiği gibi 6 numaralı Ayıklı köyü merkezli çalışma bölgesinin kuzey-doğusunda ve batısında ^{40}K aktivite konsantrasyonunun yükseldiği gözlenmektedir.



Şekil 5.8. İşaretli çalışma noktalarındaki ^{137}Cs aktivite konsantrasyon grafiği

Çalışma bölgesi için ^{137}Cs aktivite konsantrasyon analizi sonuçları $7,81\text{Bq/kg}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 5. 8'de gösterildiği gibi 6 numaralı Ayıklı köyü merkezli çalışma bölgesinin güneyinde ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun yükseldiği gözlenmektedir.

Bu çalışmada, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ' un bütün toprak örnekleri için radyoaktivite konsantrasyonu ortalamaları sırasıyla $24,89$; $35,23$; $310,76\text{Bq/kg}$ olarak ölçülmüştür. Filyon ürünü olan ^{137}Cs radyoizotopunu konsantrasyonu $7,81\text{Bq/kg}$ olarak ölçülmüştür. Burada ortaya konulan veriler, çalışma alanının Suriye sınırına yakınlığından kaynaklı hareketli yapısı da göz önüne alındığında arka planın normal veya yüksek radyasyon bölgesinde olup olmadığını belirlemek için kullanılabilir ve radyoaktif kirliliğin etkisinin gelecekteki tahminleri için değerli bir veri tabanı sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Krane K. S., 2001. Nükleer Fizik 1. Cilt. Palme Yayıncılık, Ankara.
- Gilmore Gordon R., 2008. Practical Gamma-Ray Spectrometry. 2nd Edition, Gordon R. Gilmore Nuclear Training Services Ltd Warrington, Uk, 2-38-387p.
- Serway R.A., 1996. Fen Ve Mühendislik İçin Fizik. 3. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara
- Henriksen T., Maillie, H. D., 2003, Radiation and Health, ISBN 0-415-27162
- Podgorsak, E. B., 2010, Radiation Physics for Medical Physicists, ISBN 978-3- 642-00874-0.
- Knoll G. F., 2000. Radiation detection and measurement. Third Edition, John Walley and Sonc Inc, New York, 802p.
- Beretka, J. and Mathew, P.J. 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. Health Phys, 48-87
- Haller E. E., 2006, Germanium: From Its Discovery to SiGe Devices, Materials Science in Semiconductor Processing, Vol: 9, Issue: 4, Page: 408-422.
- Çevik U., 2013, Çelik A, Çelik N, Ozkalayci F, Akbulut S. Assessment of radiological levels at schools in Trabzon, Turkey. Indoor Built Environ.; 22:376–383.
- Morrison H.G., Villeneuve PJ, Lubin JH. Schaubel DE Radon-progeny exposure and lung cancer risk in a cohort of Newfoundland fluorspar miners. Radiat Res. 1998;150: 58–65.
- Abu-Samareh M.M., 2014 , T. Khalil Mohammed , K. Fatima Waleed, Measurement of activity concentration levels of radionuclides in soil samples collected from Bethlehem Province, West Bank, Palestine , *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences* , 38: 113 – 125
- Togay Y.E., 2002. Radyasyon ve Biz. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, Ankara, 37s
- Altıntaş M., 2019, Siverek ilçesi toprak, su ve kaya numunelerindeki doğal radyoaktivitenin ölçümü.
- Ocak S.B., 2014. X. Uluslararası Katılımlı Parçacık Hızlandırıcıları ve Dedektörleri Yaz Okulu, 14-19 Temmuz, Bodrum, s.181-196.
- Gören E., 2011. Adana içme sularında Trityum aktivitesinin belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 72s.
- Bakkal S., 2012. Kilis ili toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi. Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kilis, 57s.
- Akkoyun S., 2006. Uzayda gama ışını ölçümleri-bir Geant simülasyonu. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 58s
- Gezer F., 2011. Fosfojips'in doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 77s

- Özger A.G.,2005. Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 100s
- Değerlier M., 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerin Bulunması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi , Adana,. 212520
- İsel P., 2019, İstanbul Boğazı'ndan toplanan toprak ve sediment örneklerinin gama spektroskopisi sistemi ile radyoaktivite analizi, Y. Lisans tez. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul
- Özmen S.F., 2014. I. Boztosun, M. Yavuz, M.R. Tunç. 2013. Determination of gamma radioactivity levels and associated doses of soil samples of the Akkuyu/Mersin using high resolution gamma-ray spectrometry. Radiation protection dosimetry, volume 158, Issue 4, March 2014.
- Bozkurt A.,2007. Nuri Yorulmaz, Erol Kam, Gursel Karahan, Ahmet Erdal Osmanlioglu Şanlıurfa bölgesi için çevresel radyoaktivite değerlendirmesi güneydoğu, Türkiye,12 mayıs 2007.
- Çubukçu Mustafa., 2018.Kocaeli ili Karadeniz sahilleri toprak numunelerindeki radyasyon seviyelerinin ölçülmesi,Y. Lisans tezi, Kocaeli üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Canbazoğlu C.,2013. S. Turhan, S. Bakkal , F.A. Uğur, E. Gören, Gama yayan radyonüklidlerin analizi (karasal ve Güney Anadolu'da Kilis ilinden toprak örneklerinde antropojenik),Türkiye,28 mayıs 2013.
- Damla N., 2010, Ugur Cevik, Ali Ihsan Kobya, Berna Ataksor , Umit Isık, Çevresel radyoaktivitenin değerlendirilmesi, Batman, Türkiye
- Othman Ibrahim,1994, T. Yassine, Natural radioactivity in the Syrian environment, Department of Radiation Protection and Nuclear Safety, Syrian Atomic Energy Commission, Damascus, RO Box 6091, Syria
- Al-Hamarneh I.F.,2008, Mohammad I. Awadallah, Department of Applied Science, Prince Abdullah Bin Ghazi Faculty of Science and IT, Al-Balqa Applied University, Al-Salt 19117, Jordan
- Salama E.,2019, Physics Department, Faculty of Science, Ain Shams University, Cairo, Egypt, S.U.El-kameesy, Basic Science Department, Faculty of Engineering, The British University in Egypt (BUE), EL Sherouk City, Egypt ,Rawaa Elrawi, Physics Department, Baghdad University, Iraq, Depleted uranium assessment and natural radioactivity monitoring in North West of Iraq over a decade since the last Gulf War
- Osmanlioglu A.E.,2007 Kam E, Bozkurt A, Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of southeastern Turkey. Rad Prot Dosim 124:407-410.
- Peh, W.C.G., 1996, The Discovery of Radioactivity and Radium, Singapore Med, J Vol 37: 627-630.

- Parmaksız A., 2004, Gama Spektrometrik Yöntem İle Fosfojipsteki 226Ra, 232Th, 40K Aktivitelerinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü.
- UNSCEAR (2000). Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, United Nations, New York, USA.
- IAEA, International Atomic Energy Agency, 1996, Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725.
- TAEK, (2010,2014). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, <http://www.taek.gov.tr>
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 1993, UNSCEAR Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations Annex A, New York, 33-89.
- UNSCEAR 2000 Report, 200. Exposures from natural radiation sources, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Annex B, New York
- TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, 2009, Tanısal Radyolojide Radyasyondan Korunma Kurs Notları, Küçükçekmece İstanbul, 7-19.
- Polat C.,1996, Yurtseven D, Manav E, Gürel H, Sarp S, Ay Y, *Şanlıurfa-Viranşehir Dolayının Jeolojisi*, Rapor no: 9936
- BeşergilB.,2020,İyon-dedektörleri.http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_965.html
- Anonim1:<https://taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-44-19/103-turkiye-cevresel-radyasyon-atlasi/illere-gore-toprak-ve-su-radyoaktivitesi-dagilim-haritalari/498-63-sanliurfa.html> [Son erişim tarihi 29.11.2019]

ÖZGEÇMİŞ

Tayfun YANGIN/1978
tayfunyangin@gmail.com
tayfunyangin@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2017 - 2021	Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Antalya
Lisans	Mersin Üniversitesi
1997 - 2001	Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Mersin

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

2016 – Devam ediyor.	MEB’te öğretmen.
2001 - 2016	Kurumsal ve yerel dersanelerde fizik öğretmenliği.