

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANTALYA-KONYAALTI PLAJINDA DOĞAL RADYOAKTİVİTE
TAYİNİ**

Sibel SEÇKİNER

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Kadir GÜNOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**



© 2017 [Sibel SEÇKİNER]

TEZ ONAYI

Sibel SEÇKİNER tarafından hazırlanan "**Antalya-Konyaaltı Plajında Doğal Radyoaktivite Tayini**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Kadir GÜNOĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. İskender AKKURT
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Osman GÜNAY
Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Sibel SEÇKİNER

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Radyasyon ve Özellikleri.....	1
1.2. Radyasyon Kaynakları.....	2
1.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	3
1.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	3
1.3. Radyoaktivite.....	4
1.3.1. Doğal radyoaktivite.....	5
1.3.2. Yapay radyoaktivite.....	6
1.4. Radyoaktif Bozunma Türleri.....	6
1.4.1. Alfa Işınması.....	6
1.4.2. Beta Işınması.....	7
1.4.2.1. Negatron (β^-) Bozunumu.....	8
1.4.2.2. Pozitron (β^+) Bozunumu.....	8
1.4.2.3. Elektron Yakalama Olayı.....	9
1.4.3. Gama Işınması.....	9
1.4.4. Nötron Işınması (Nükleer Bölünme).....	10
1.5. Radyoaktif Seriler.....	11
1.5.1. Toryum Serisi.....	12
1.5.2. Uranyum Serisi.....	13
1.5.3. Aktinyum Serisi.....	15
1.6. Radyasyondan Korunma Yöntemleri.....	16
1.6.1. Zaman Kuralı.....	17
1.6.2. Mesafe Kuralı.....	17
1.6.3. Zırhlama Kuralı.....	18
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Numunelerin Hazırlanması.....	26
3.2. Gama Spektrometre Sistemi.....	27
3.2.1. NaI(Tl) Dedektörü.....	28
3.2.2. Elektronik Üniteler.....	29
3.2.3. Detektörün Enerji Kalibrasyonu.....	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	32
4.1. Doğal Radyoaktivite Bulguları.....	32
4.2. Doz hesaplamaları.....	36
4.2.1. Absorblanmış Doz Hızı.....	36
4.2.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.....	37
4.2.3. Yaşam boyu aşırı kanser riski.....	38
4.3. Radyolojik Zarar İndeksleri.....	41
4.3.1. Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}).....	41
4.3.2. Dış Zarar (H_{ext}) ve İç Zarar (H_{int}) İndeksi.....	42

5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	45
6. KAYNAKLAR.....	47
7. ÖZGEÇMİŞ.....	51



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ANTALYA-KONYAALTI PLAJINDA DOĞAL RADYOAKTİVİTE TAYİNİ

Sibel SEÇKİNER

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kadir GÜNOĞLU

Bu tez çalışmasında Antalya Konyaaltı Plajından toplanan 15 çakıl numunesi için doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları, yani ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ölçülür. Ölçüm, Süleyman Demirel Üniversitesi gama spektrometri laboratuvarında 3"x3" NaI (Tl) dedektörü içeren bir gama ışını spektrometresi kullanılarak yapıldı. Çalışılan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla 31.64 Bq/kg, 26.67 Bq/kg ve 350.42 Bq/kg'dır. Bu doğal radyonüklidlerin konsantrasyonları diğer bazı ülkeler için bildirilen verilerle karşılaştırılmıştır.

Doğal radyoaktivitenin radyolojik tehlikesini değerlendirmek için radyum eşdeğer etkinliği, emilen doz oranı, yıllık etkin doz eşdeğeri, iç ve dış tehlike endeksleri, gama endeksi, yıllık gonadal doz eşdeğeri ve aşırı ömür boyu kanser riski hesaplanmıştır. Tüm çakıl numunelerindeki radyum eşdeğer etkinlik değerleri önerilen sınır olan 370 Bq / kg'dan düşüktür. Dış ve iç tehlike indeksi değerleri birlikte daha düşüktür. Dışarıdan hava emilen doz oranı ve araştırılan çakılın mukabil yıllık efektif doz eşdeğeri dünya ortalamasından düşüktür. Aşırı ömür boyu kanser riski, tüm numuneler için dünya ortalamasının altındadır.

Anahtar Kelimeler: Antalya-Konyaaltı Plajı, Radyasyon, doğal radyoaktivite, detektör

2017, 50 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY IN ANTALYA-KONYAALTI BEACH

Sibel SEÇKİNER

Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Kadir GÜNOĞLU

In this thesis the activity concentrations of the natural radionuclides, namely ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K are measured for 15 gravel samples collected from Konyaalti Beach, Antalya. The measurement was performed using a gamma ray spectrometry that contains a 3"x3" NaI(Tl) detector at gamma spectrometry laboratory of Süleyman Demirel University. The average activity concentration values of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K from the studied are 31.64 Bq/kg , 26.67 Bq/kg and 350.42 Bq/kg respectively. The concentrations of these natural radionuclides were compared with the reported data for some other countries.

In order to evaluate the radiological hazard of the natural radioactivity , the radium equivalent activity, absorbed dose rate, annual effective dose equivalent, internal and external hazard indices, gamma index, annual gonadal dose equivalent and excess lifetime cancer risk have been calculated. The radium equivalent activity values in all gravel samples are lower than the recommended limit of 370 Bq/kg. The external and internal hazard index values are less than unity. The outdoor air absorbed dose rate and the corresponding annual effective dose equivalent of gravel investigated are lower than the worldwide average. The excess lifetime cancer risk is less than the world average for all samples.

Keywords: Antalya-Konyaalti Beach , Radiation, natural radioactivity,detector

2017, 50 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden geleni yapan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Yrd. Doç. Dr. Kadir GÜNOĞLU'na, eğitimim boyunca ilminden ve bilgi birikiminden faydalandığım insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı kıymetli saygıdeğer hocam Prof.Dr. İskender AKKURT'a, sonsuz teşekkürlerimi sunar ve bunu bir borç bilirim.

4668 - YL2 - 17 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Başkanlığı'na ve değerli çalışanlarına teşekkür ederim.

Zamanımı yeterince ayıramadığım ve ilgimi çalışmalar süresince kendisine tam yansıtamadığım teşekkürlerin az bile kalacağı canım kızım Azra Naz SEÇKİNER'e, eğitimim süresince bana enerji ve destek veren eşim Sinan SEÇKİNER'e ve başta Filiz KARAKOYUNLU ve Aslan Çağlar ÜNVER olmak üzere kıymetli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Sibel SEÇKİNER
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrum.....	1
Şekil 1.2.Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları (TAEK)	2
Şekil 1.3. Doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları (TAEK).....	3
Şekil 1.4. Yapay radyasyonu oluşturan temel kaynaklar (TAEK).....	4
Şekil 1.5. Proton-nötron sayısına göre elementlerin kararlılık eğrisi	5
Şekil 1.6. Alfa bozunumu	7
Şekil 1.7. Negatron (β^-) Bozunumu.....	8
Şekil 1.8. Pozitron (β^+) bozunumu.....	9
Şekil 1.9. Gama bozunumu.....	10
Şekil 1.10. Nötron Işınması (Nükleer Bölünme)	10
Şekil 1.11. Radyoaktif Bozunma Şeması(Kanışkan vd.,1996)	11
Şekil 1.12. Toryum serisinin bozunma zinciri.....	12
Şekil 1.13. Uranyum serisinin bozunma zinciri.....	14
Şekil 1.14. Aktinyum serisinin bozunma zinciri.....	15
Şekil 1.15. Radyasyondan korunmanın üç temel yolunun şematik gösterimi	17
Şekil 1.16. Çeşitli radyasyonların giriciliğinin karşılaştırılması.....	18
Şekil 3.1. Çalışma bölgesi.....	25
Şekil 3.2. Boş ve doldurulmuş numune kapları	27
Şekil 3.3. Gama spektroskopi sisteminin şematik diyagramı	28
Şekil 3.4. Kullanılan NaI(Tl) detektörü (üstte) ve iç yapısı (altta)	28
Şekil 3.5. DSPEC LF modülü (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta)	30
Şekil 3.6. MAESTRO-32 yazılımı ile elde edilmiş örnek spektrum	30
Şekil 3.7. Kaynakların enerji spektrumları (üstte) ve enerji-kanal fiti (altta)	31
Şekil 4.1. Numunelerden elde edilen spektrum	32
Şekil 4.2. Çakıl örneklerinin ^{40}K aktivite sonuçları	33
Şekil 4.3. Çakıl örneklerinin ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite sonuçları	34
Şekil 4.4. Çakıl örneklerinin için absorblanmış doz hızı.....	36
Şekil 4.5. Çakıl örneklerinin için yıllık etkin doz eşdeğeri	38
Şekil 4.6. Çakıl örneklerinin için Yaşam boyu aşırı kanser riski	39
Şekil 4.7. Çakıl örneklerinin Radium eşdeğer aktivitesi (Raeq)	41
Şekil 4.8. Çakıl örnekleri için Dış Zarar (Hex) ve İç Zarar (Hin) İndeksi	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Bazı radyoaktif izotoplar ve özellikleri.....	4
Çizelge 1.2. Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması	11
Çizelge 1.3. Radyoaktif Seriler	12
Çizelge 1.4. ^{232}Th 'in bozunum zincirindeki gama yayan izotopların enerjileri ve yayınlanma olasılıkları	13
Çizelge 1.5. Doğal Uranyum İzotopları(TAEK).....	13
Çizelge 1.6. ^{238}U 'in bozunum zincirindeki gama yayan izotopların enerjileri ve yayınlanma olasılıkları	15
Çizelge 1.7. Müsaade edilen maksimum radyasyon dozu	16
Çizelge 3.1. Örneklerin alındığı koordinatlar	26
Çizelge 4.1. Çakıl örnekleri için ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları..	34
Çizelge 4.2. Farklı ülkelerde yapılmış çalışmalar.....	35
Çizelge 4.3. Doz hesaplamaları sonuçları.....	40
Çizelge 4.4. Zarar indeksleri sonuçları	43

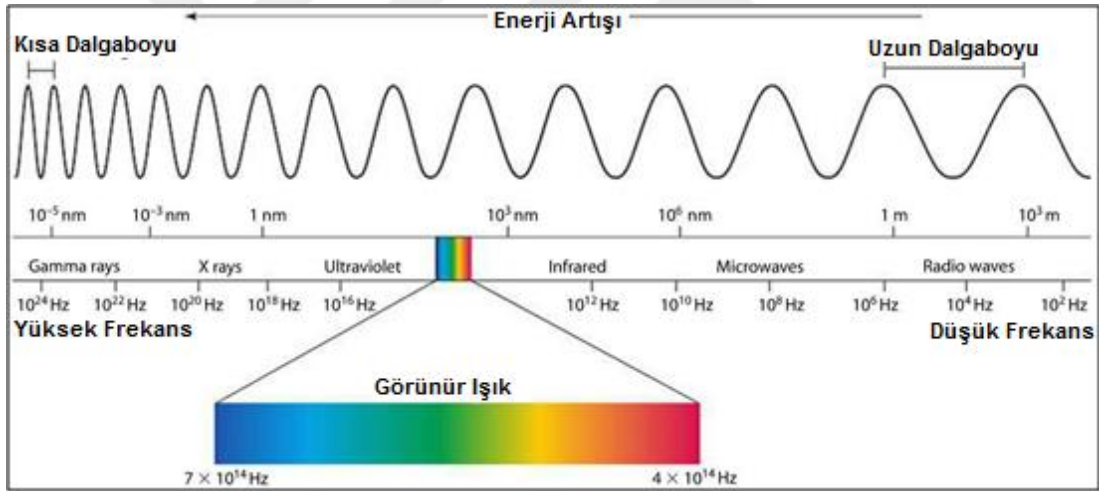
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	Alfa taneciği	
β	Beta taneciği	
p	Proton	
γ	Gama ışını	
n	Nötron	
ΔX	Radyasyon pozundaki değişim	
Γ	Kaynağa bağlı gama katsayısı	
μ	Toplam doğrusal zayıflatma katsayısı	
eV	Elektronvolt	
keV	Kilo elektronvolt	
MeV	Mega elektronvolt	
E_γ	Gama enerjisi	
h	Planck sabitesi	
ν	Frekans	
λ	Dalga Boyu	
e	Elektronun yükü	
c	Işık hızı	
me	Elektronun durgun hal kütlesi	Z Atom numarası
A	Kütle numarası	
Bq	Becquerel, radyoaktivite birimi	Ci Curie, radyoaktivite birimi
HpGe	Yüksek Saflıkta Germanyum	
IAEA	International Atomic Energy Agency	
ICRP	International Commission On Radiological Protection	
NaI(Tl)	Talyum ihtiva eden Sodyum İyodür	
NCRP	National Council On Radiation Protection	
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu	
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation	

1. GİRİŞ

1.1. Radyasyon ve Özellikleri

Doğadaki bazı elementler kararlı iken bazıları ise kararsızdır. Kararsız çekirdekler mutlaka kararlı hale geçmek isterler. Kararlı hale geçerken çekirdeğin parçacık veya dalga formunda yaydığı enerjiye “radyasyon” denir. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden parçacıkları ifade ederken, dalga tipi radyasyon ise yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır. Canlılar gün içerisinde sürekli olarak elektromanyetik dalgaların (görünen ışık, sıcaklık, radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ötesi, mor ötesi, X ışınları; gama ışınları, alfa ve beta parçacıkları ve kozmik ışınlar) etkisinde kalırlar. Şekil 1.1’ de elektromanyetik spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrum

İyonlaştırıcı radyasyon; yüksek enerjili alfa, beta ve nötron parçacıkları ile X ve gama ışınları gibi ivmelendirilmiş yüklü parçacıkların oluşturdukları elektromanyetik dalgalardır. Bu ışınlar, maddeden geçerken yapıdaki atomları doğrudan veya dolaylı olarak iyonlaştırırlar.

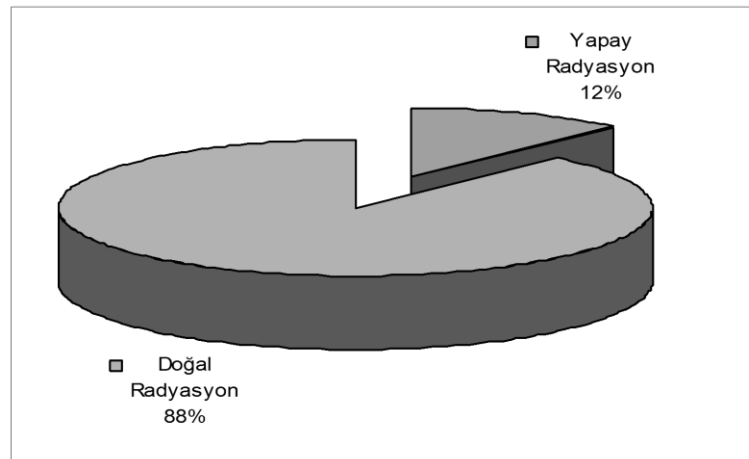
İyonlaştırıcı olmayan radyasyon; atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü olmadıkları için madde ortamından geçerken yapı atomları ile bir iyonlaşmaya

neden olmazlar. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi dalgalar örnek olarak gösterilebilir.

Radyasyon bir rastlantı sonucu keşfedilmiş ve radyasyonla ilgili çalışmalar 1896 yılında Henry Becquerel tarafından başlatılmıştır. H. Becquerel uranyum tuzlarından gözle görülmeyen ışınlar çıktığını ve bu ışınların maddeden geçerek fotoğraf filmine etki ettiğini gözledi. Daha sonra H. Becquerel, Marie Curie ve Ernest Rutherford tarafından yapılan çalışmalarda, bu tür ışın çıkaran birçok izotop keşfedilmiştir.

1.2. Radyasyon Kaynakları

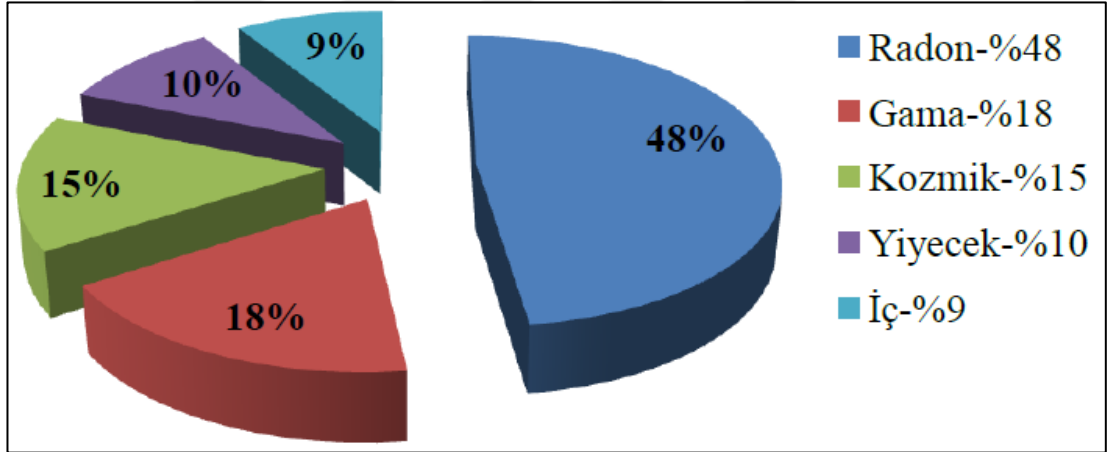
İnsanlar, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar, yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan sürekli olarak ışınlanmaya maruz kalmaktadırlar. Bunların yanı sıra enerji üretimi, tıp, endüstri, araştırma, tarım, hayvancılık gibi pek çok alanda kullanımı kaçınılmaz olan yapay kaynaklar nedeni ile de ışınlanmaya maruz kalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı doğadaki radyasyon kaynaklarını doğal ve yapay olmak üzere iki başlıkta toplayabiliriz. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları Şekil 1.1. de verilmiştir (TAEK).



Şekil 1.2. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları (TAEK)

1.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Fosil yakıtların içerdikleri doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler yakıt içinde iken bir radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal radyasyon düzeyinde az da olsa bir artışa neden olur. Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınları doğal radyasyon kaynaklarından birisidir. Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (Potasyum-40, Karbon-14) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (Ra^{226}) bozunması sırasında salınan radon gazıdır. Şekil 1.2'de doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları oransal olarak gösterilmektedir.

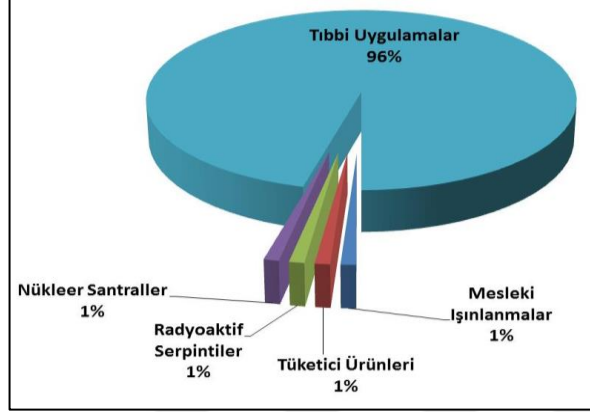


Şekil 1.3. Doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları (TAEK)

1.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Teknolojinin hızlı gelişimine bağlı olarak birçok alanda radyasyon kullanılmaya başlanmıştır. Tıpta, tarımda ve endüstride kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Bu şekilde dışarıdan, insan müdahalesiyle

ortaya çıkan radyasyon türüne yapay radyasyon denir. Yapay radyasyonların fiziksel doğaları ve etkileri doğal radyasyon ile aynıdır. Maruz kaldığımız toplam yapay radyasyonu oluşturan temel kaynaklar Şekil 1.3’ de gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Yapay radyasyonu oluşturan temel kaynaklar (TAEK)

1.3. Radyoaktivite

Bazı çekirdeklerin kararsız olması nedeniyle radyasyon yayma olayına “radyoaktivite” denir. Böyle radyoaktif ışın yayan maddelere de “radyoaktif madde” denir. Periyodik cetvelin ⁸³Bi izotopundan sonra gelen, tüm elementler radyoaktiftir. Bazı radyoaktif elementlerin yarı-ömürleri ve yayınladıkları radyasyonlar Çizelge 1.1. de verilmiştir.

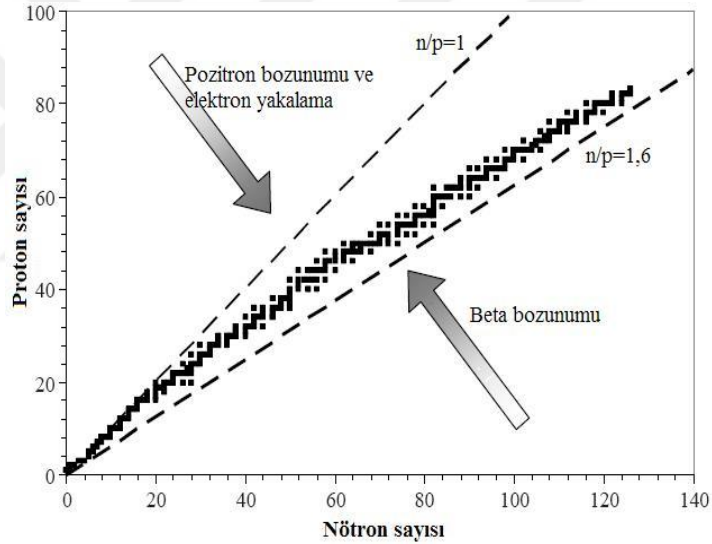
Çizelge 1.1. Bazı radyoaktif izotoplar ve özellikleri

Element	İzotop	Yarı-Ömür	Yayıdığı Radyasyon
Hidrojen	³ ₁ H	12 yıl	Beta
Karbon	¹⁴ ₆ C	5730 yıl	Beta
Fosfor	³² ₁₅ P	14 gün	Beta
Potasyum	⁴⁰ ₁₉ K	1.28x10 ⁹ yıl	Beta ve gama
Kobalt	⁶⁰ ₂₇ Co	5 yıl	Beta ve gama
Stronsiyum	⁹⁰ ₃₈ Sr	28 yıl	Beta
İyot	¹³¹ ₅₃ I	8 gün	Beta ve gama
Sezyum	¹³⁷ ₅₅ Cs	30 yıl	Beta
Polonyum	²¹⁴ ₈₄ Po	1.6x10 ⁻⁴ saniye	Alfa ve gama
Radyum	²²⁶ ₈₈ Ra	1600 yıl	Alfa ve gama
Uranyum	²³⁵ ₉₂ U	7.1x10 ⁸ yıl	Alfa ve gama
	²³⁸ ₉₂ U	4.5x10 ⁹ yıl	Alfa

Tüm radyoaktif çekirdekler, elementin türünden ve yaydıkları radyasyonlardan bağımsız olarak radyoaktif bozunma yasasına tabidirler (Krane, 1988). N_0 çekirdeklerin başlangıçtaki sayısı ve λ (zaman⁻¹) birim zaman başına bozunma ihtimali demek olan bozunma sabiti olmak üzere, t zaman sonraki mevcut çekirdek sayısı Denk. 1.1. ile verilmektedir.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.1)$$

Bir çekirdeğin kararlılığı onun nötron (N) ve proton sayısı (Z) yakından ilgilidir. Pek çok çekirdek için $N > Z$ 'dir ve kararlılık $N \approx Z$ civarında sağlanır (Şekil 1.4, Jevremovic, 2009'dan). $Z > 80$ olan tüm çekirdekler bir radyoaktif izotopa sahiptir. Aynı zamanda $Z \geq 83$ olan tüm çekirdekler radyoaktiftir. Atom numarası en büyük radyoaktif olmayan element ${}^{209}_{82}\text{Bi}$ 'tur (Eisenbud ve Gesell, 1997).



Şekil 1.5. Proton-nötron sayısına göre elementlerin kararlılık eğrisi

1.3.1. Doğal radyoaktivite

Doğada bulunan radyoaktif elementler yarı ömürlerine bağlı olarak bozunuma uğrarlar. Bozunuma uğrayan radyoizotop doğada kendiliğinden bulunuyorsa buna doğal radyoaktivite diyebiliriz. Dünyanın oluşumundan itibaren insanlar radyasyona her daim maruz kalmışlardır. Bu uzun süre içerisinde tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Son dönemlerdeki teknolojiye büyük gelişim, yakın

geçmişteki nükleer denemeler ve kazalar doğal radyoaktivite düzeyini etkilemiştir. Yapılan çalışmalar insanların en fazla dozu % 85 oranında doğal radyasyondan, % 15 oranında yapay radyasyondan aldığını göstermektedir (UNSCEAR 2000).

1.3.2. Yapay radyoaktivite

Kararlı halde olan elementlerin parçacık hızlandırıcılarında, nükleer reaktörlerle genellikle nötronlarla, proton ve döteronlarla bombardıman edilip kararsız hale getirilmesine yapay radyoaktivite denir. Yapay radyonüklitlerin bozunma şekilleri de pozitron veya elektron yayınlanması şeklinde olur ve yarı ömürleri daha kısadır.

1.4. Radyoaktif Bozunma Türleri

Kararsız çekirdekler fazla enerjilerini vererek kararlı yapıya geçmek için üç temel ışın ve bunlara ek olarak nötron ışınması (nükleer bölünme) yaparlar. Üç temel ışınla;

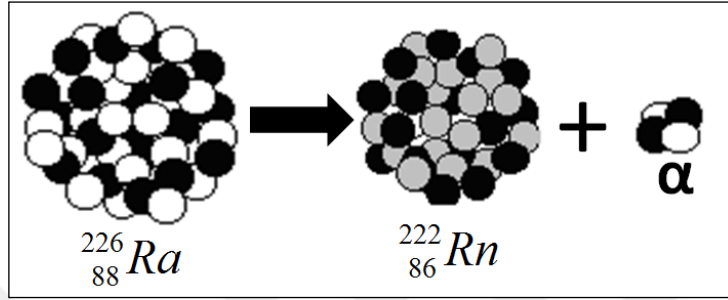
- Alfa ışınması
- Beta ışınması (Negatron (β^-) ve pozitron (β^+) ışınması, Elektron Yakalama)
- Gama ışınmasıdır.

1.4.1. Alfa Işınması

Alfa ışınları, çekirdek tarafından yayınlanan iki proton ve iki nötrondan oluşan pozitif yüklü helyum çekirdeğidir. Bir başka deyişle, 4 kütle birimi ve 2 pozitif elektriksel yük birimi ile helyum çekirdeği olan alfa parçacığının ana çekirdekten kopması, onun fiziksel özelliğini, ürün çekirdekte A'nın değerini 4, Z'nin değerini 2 azaltacak şekilde değişmektedir (Denk. 1.2).



Bu bağlamda alfa taneciği çekirdeğin fırlatabildiği en ağır kütle olarak kabul edilmektedir. Beta taneciğinden yaklaşık 7500 kat daha ağırdır. Radyoaktif bozunumlar içerisinde en büyük kütle ve enerji kaybı alfa bozunumu ile gerçekleşmektedir. Bu bozunmaya örnek olarak Şekil 1.5' de Ra-226'dan Rn-222' ye, α parçacığı yayarak uğranan değişim gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Alfa bozunumu

Atom numarası büyük olan izotoplar genellikle alfa çekirdeği yayarak bozunurlar. Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan alfa parçacıklarının enerjileri yaklaşık olarak 4 MeV ile 9 MeV arasındadır. Bu enerjiler, alfa taneciklerine ışık hızının % 5-10'u kadar hız kazandırmaktadır.

Alfa parçacığı içinden geçtiği soğurucu ortamdaki elektronlarla güçlü bir elektrostatik çekim kuvveti meydana getirir. Bununla birlikte, ortamda bulunan atomların çekirdekleri ile karşılaşmaları sonucu oluşan Coloumb kuvveti ile itilmektedir. Buna göre, çekirdek bozunumu sırasında sabit ve çok büyük bir kinetik enerjiyle fırlatıldıkları düşünülürse, soğurucu ortam atomları ile etkileşme olasılığının yüksek olduğu görülmektedir.

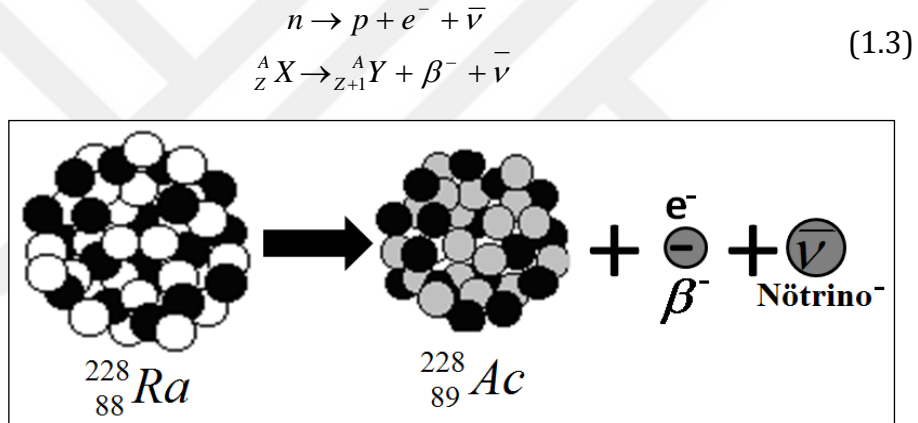
1.4.2. Beta Işınması

Radyoaktif çekirdeklerden atılan elektronlar olarak kabul edilen beta ışınması, çekirdekteki nötronun protona veya protonun nötrona dönüşmesi sırasında ortama yayılan enerjinin elektron olarak formlaşıp yayılmasıdır. Beta parçacıkları (e^-) bir yük ve kütle sahiptirler bu nedenle alfa parçacıklarında olduğu gibi, madde ile temasları halinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının sebep olduğu iyonlaşmaya nazaran daha azdır ve

bunun sebebi de beta parçacıklarının alfa parçacıklarına göre daha hafif ve daha girici olmasıdır. Beta bozunumu üç farklı şekilde gerçekleşir:

1.4.2.1. Negatron (β^-) Bozunumu

Kararsız radyoaktif çekirdekler her zaman kararlı hale geçmek isterler. Kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından kaynaklanan bir kararsız çekirdek, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için nötronlarından birini bir proton ve bir anti-nötrino'ya dönüştürür. Bunun sonucunda elektron açığa çıkar ve çekirdekte kalamayan bu elektron, negatron (β^-) ışınması olarak kendini gösterir (Denklem 1.3). Bu bozunmaya örnek olarak Şekil 1.6' da Ra-228'den Ac-228'ye, β^- parçacığı yayarak uğranan değişim gösterilmektedir.

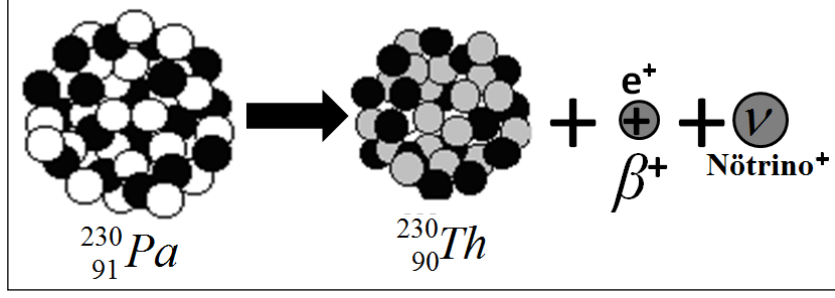


Şekil 1.7. Negatron(β^-) Bozunumu

1.4.2.2. Pozitron (β^+) Bozunumu

Kararsızlığı çekirdekteki nötron azlığından veya proton fazlalığından kaynaklanan bir radyoçekirdek, protonlarından birini bir nötrona dönüştürür ve bu arada pozitif yüklü elektron (pozitron) ve nötrino açığa çıkar (Denklem 1.4). Bu bozunmaya örnek olarak Şekil 1.7' de Pa-230'dan Th-230'ye, β^+ parçacığı yayarak uğranan değişim gösterilmektedir.





Şekil 1.8. Pozitron (β^+) bozunumu

1.4.2.3. Elektron Yakalama Olayı

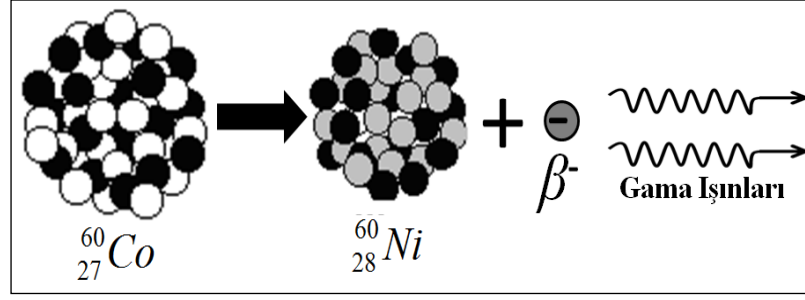
Pozitron (β^+) yayınlamayan ve çekirdeğin kararsızlığı proton fazlalığından kaynaklanıyorsa atomun çekirdeğe yakın yörüngelerinde bulunan elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanır. Elektronla bir proton birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşür. Bu bozunumda proton sayısı bir eksilir ve kütle numarası sabit kalır (Denklem 1.5). Bu olay sonucu boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerden başka bir elektron geçer ve bu olay “iç dönüşüm” olarak bilinir.



1.4.3. Gama Işınması

Gama ışınları, atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Bir alfa veya bir beta parçacığı yayınlayan çekirdek genellikle kararlı bir durumda olmaz. Çekirdeğin kalan fazla enerjisi bir elektromagnetik radyasyon halinde yayınlanır. Gama ışınları (γ), beta ışınlarından daha yüksek enerjili olmaları nedeniyle madde içerisine daha çok nüfuz edebilirler. Gama ışınması yapan bir yarı kararlı nüklidin atom ve kütle sayılarında bir değişme olmaz ve bu olaya “izomerik bozunma” adı verilmiştir (Denklem 1.6). Şekil 1.8’ de gama bozunumu görülmektedir.



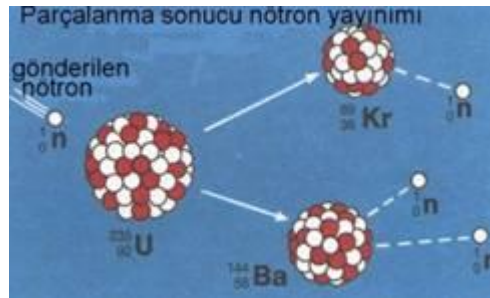


Şekil 1.9. Gama bozunumu

Gama ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır. Gama ışınları kütsüz ve yüksüz elektromanyetik radyasyondur. Yükleri olmadığından elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmezler. Gama ışınları bir çekirdek reaksiyonu sonucunda çekirdekten yayınlanan fotonlardır. Bu bağlamda gama ışınları ile X-ışınları arasındaki en önemli fark, gama ışınının atom çekirdeğinden, X-ışınının ise atomun yörüngelerinden kaynaklanmasıdır.

1.4.4. Nötron Işınması (Nükleer Bölünme)

Nötron bozunmasına uğrayan çekirdekler yapılarını gecikmeli nötron bozunumu ve kendiliğinden fisyon olmak üzere iki şekilde değiştirmektedirler. Çok az çekirdek gecikmeli nötron bozunumu yapar. Gecikmeli nötron bozunumu yapan elementin türü değişmez ancak atom o elementin farklı bir izotopuna dönüşür. Ana çekirdek bir alfa veya beta bozunmasına uğradıktan sonra ara basamakta kararsız bir yavru çekirdek oluşur ve bu kararsız çekirdek de nötron salarak yavru çekirdeği oluşturur. Bu duruma örnek olarak bir fisyon ürünü olan ^{87}Br 'un ^{87}Kr 'a dönüşmesi verilebilir.



Şekil 1.10. Nötron Işınması (Nükleer Bölünme)

Kendiliğinden fisyon olayı çok fazla enerjiye sahip bazı ağır çekirdeklerin kendilerini daha küçük çekirdeklere ayırması olayıdır. Bozunma sonucunda ana çekirdeğin türüne göre 2 ile 4 adet nötron salınabilir. α veya β bozunmaları sürece eşlik edebilir. Örnek olarak ^{235}U ve ^{252}Cf verilebilir.

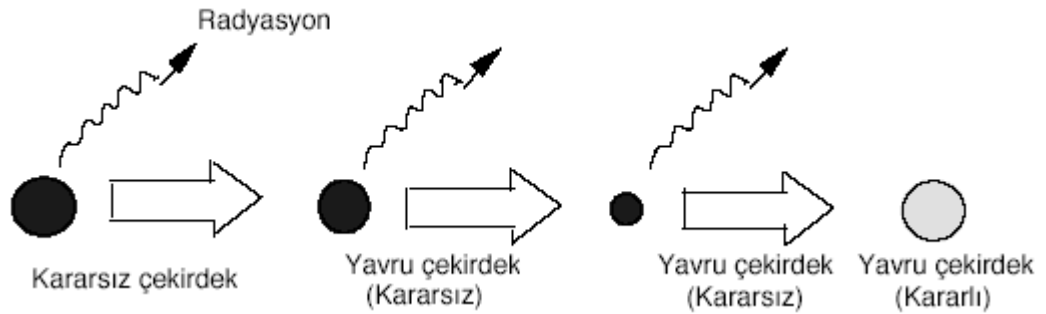
Nötron radyasyonlarının sınıflandırılmasına dair literatürde az da olsa farklılık gösteren yaklaşımlar vardır. Ancak genel bir sınıflandırma Çizelge 1.2.'deki gibidir (Krane, 1988).

Çizelge 1.2. Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması

Sınıflandırma adı	Nötron enerjisi
Soğuk	10^{-3} eV
Yavaş (termal) (epitermal)	10^{-3} – 0,4 eV 0,4 – 100 eV
Orta dereceli	100 eV – 200 keV
Hızlı	200 keV – 10 MeV
Görelî	≥ 10 MeV

1.5. Radyoaktif Seriler

Evrenin var oluşu ile birlikte var olan radyoçekirdeklerin tamamı üç değişik seride bozulan zincirin parçası durumundadır. İlk bozunmaya uğrayan kararsız çekirdek "ana çekirdek", ve ana çekirdeğin radyoaktif bozunmaya uğraması sonucu kararlı hale döneşene kadar oluşan çekirdekler ise "yavru çekirdek" adını alırlar (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. Radyoaktif Bozunma Şeması(Kanışkan vd.,1996)

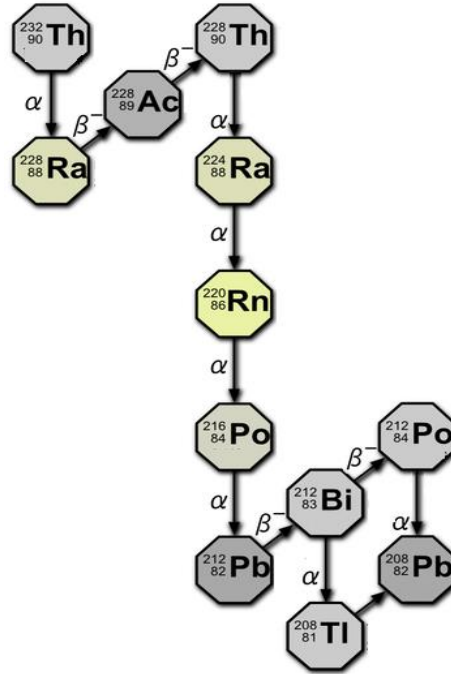
Doğal Radyoaktif seriler olarak Toryum, Uranyumve Aktinyum serisi şeklinde üç grup oluşturulmuştur. Doğal Radyoaktif Seriler ve özellikleri Çizelge1.6.da verilmiştir.

Çizelge 1.3. Radyoaktif Seriler

Seri Adı	En uzun Ömürlü Üyesi		Son Çekirdek (Kararlı)
	Çekirdek	Yarı-Ömür (yıl)	
Toryum	^{232}Th	1.41×10^{10}	^{208}Pb
Uranyum	^{238}U	4.47×10^9	^{206}Pb
Aktinyum	^{235}U	7.04×10^8	^{207}Pb

1.5.1. Toryum Serisi

Toryum radyoaktif bozunum serisinin ana elemanı ^{232}Th ' dir. Toryum serisi 11 ürün nüklidi içerir. Kompleks bir gama spektrumu verir ve hemen hemen hepsi daimakararsızdırlar. Ürün nüklidler sırasıyla: ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Ac , ^{228}Th , ^{224}Ra , ^{220}Rn , ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{212}Po , ^{208}Tl ve son olarak kararlı ^{208}Pb izotopudur. Şekil 1.12. de Toryumserisinin bozunma zinciri görülmektedir.



Şekil 1.12.

Şekil 1.12. Toryum serisinin bozunma zinciri

Toryum serisi içinde en uygun karakteristik gamapiki, ^{208}Tl ' e ait olan 2615 keV enerjili piktir. Ayrıca ^{232}Th , doğal Toryumun en önemli radyoizotopudur. ^{232}Th 'in bozunum zincirindeki gamaların enerjileri ve yayınlama olasılıkları Çizelge 1.7. de görülmektedir.

Çizelge 1.4. ^{232}Th 'in bozunum zincirindeki gama yayan izotopların enerjileri ve yayınlanma olasılıkları

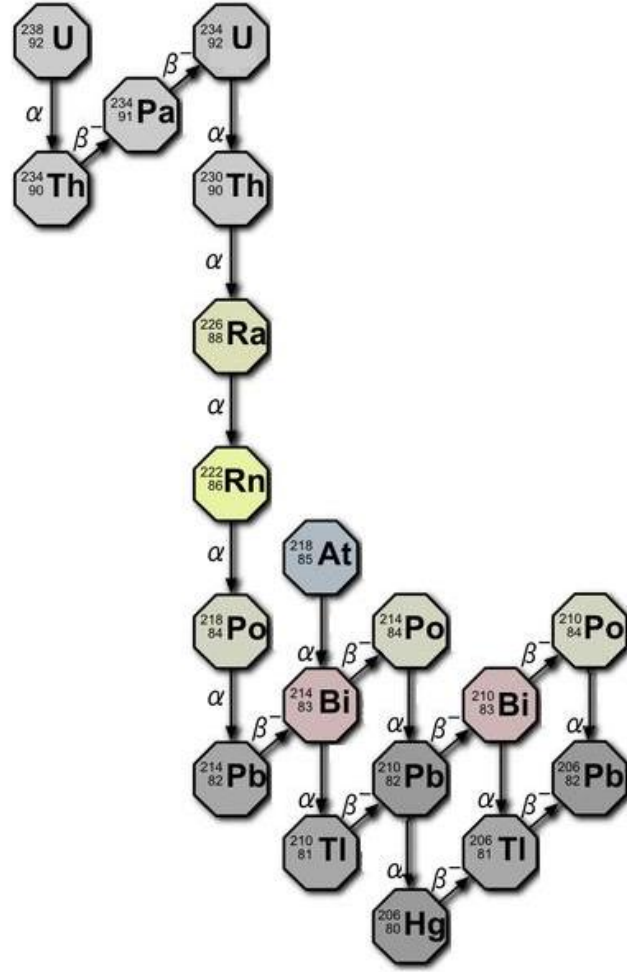
Bozunan İzotop	Gama Enerjisi (MeV)	Gama Yayınlama Olasılıkları (%)
^{212}Pb	0,2386	45
^{228}Ac	0,3386	12,3
^{208}Tl	0,5107	9,0
^{208}Tl	0,5381	30,0
^{212}Bi	0,7272	7,0
^{228}Ac	0,9111	29,0
^{228}Ac	0,9667	23,0
^{228}Ac	1,5881	4,6
^{208}Tl	2,61747	35,9

1.5.2. Uranyum Serisi

Uranyum doğada doğal olarak bulunan ve Çizelge 1.8' de verilen özelliklere sahip 3 izotopu ile çevresel olarak her yerde bulunan bir elementtir. Uranyum, yapı malzemelerinin de üretildiği kaya ve toprak katmanlarında düşük konsantrasyonlarda bulunur. Doğal Uranyum İzotopları Çizelge 1.8. de ve Uranyum serisinin bozunmaz zinciri Şekil 1.13. de görülmektedir.

Çizelge 1.5. Doğal Uranyum İzotopları (TAEK)

İzotop	Yarı-Ömür (yıl)	Doğal Çokluk
^{238}U	4.47×10^9	% 99.29
^{235}U	7.04×10^8	% 0.71
^{234}U	2.45×10^5	% 0.006



Şekil 1.13. Uranyum serisinin bozunma zinciri

^{238}U birçok elementin uzun radyonüklid bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, toplam 8 α ve 6 β ışıması yaparak ^{234}Th , ^{234}Pa , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po , ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po ve son olarak radyoaktif olmayan ^{206}Pb ' ya dönüşene kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif bir gaz olan radon radyoizotopu (^{222}Rn) kapalı ortamlarda sıklıkla bulunur.

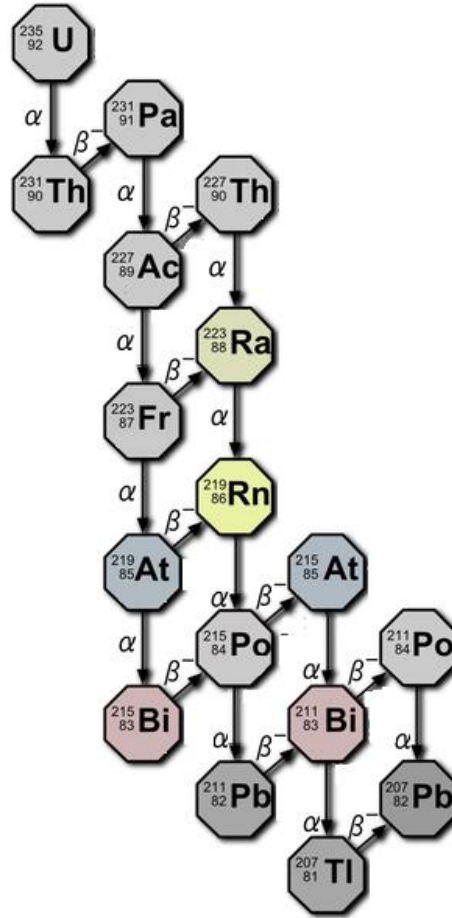
Uranyum serisinin gama spektrumunda farklı enerjilerde birçok gama ışını olmasından dolayı çok karmaşıktır. Fakat nicel ölçümler yapabilmek için karakteristik bir piki yoktur. Uranyumun kendisi karakteristik bir gama enerjisine sahip olmasına karşılık, nicel analizler yapabilmek için ^{214}Bi 'ün, 1760keV enerjili piki kullanılır. ^{238}U 'in bozunum zincirindeki gamaların enerjileri ve yayımlanma olasılıkları Çizelge 1.9. da görülmektedir.

Çizelge 1.6. ^{238}U 'in bozunum zincirindeki gama yayan izotopların enerjileri ve yayınlanma olasılıkları

Bozunan İzotop	Gama Enerjisi (MeV)	Gama Yayınlanma Olasılıkları (%)
^{214}Pb	0,2952	17,9
^{214}Pb	0,3520	35,0
^{214}Bi	0,609	43,02
^{214}Bi	1,1204	14,5
^{214}Bi	1,2382	5,6
^{214}Bi	1,3778	4,6
^{214}Bi	1,7647	14,7
^{214}Bi	2,2045	4,7
^{214}Bi	2,4480	1,5

1.5.3. Aktinyum Serisi

Ana elemanı ^{235}U olan ve doğada bulunma bolluğu %0.72 olan ve ^{207}Pb izotopu ile sonlanan Aktinyum serisinin bozunma zinciri şekil 1.14. de görülmektedir.



Şekil 1.14. Aktinyum serisinin bozunma zinciri

1.6. Radyasyondan Korunma Yöntemleri

Radyasyonun sağladığı kolaylıklar ve faydaları yanı sıra zararları da yok sayılmayacak kadar büyük ve önemlidir. Radyasyonun yapılan araştırmalarla birlikte zararının çok fazla olduğu tespit edilmiştir. Radyoaktif kirleticiler tüm canlıların olumsuz yönde etkileyerek ekolojik dengeyi bozmaktadır. Tüm bunların yanı sıra radyasyon zararları canlılarda genetik değişikliklere de yol açmaktadır. Radyasyon etkisi cinse, yaşa, organlara göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin radyasyondan en çok etkilenen organ gözdür ve gözde görme zayıflığı, katarakt ve göz uyumunun azalmasına neden olmaktadır. En dayanıklı organ ise deridir. Radyasyonun zararları zaman içerisinde belirmektedir. Atom bombaları ile gerçekleşen ölümler ve yüksek radyasyona bağlı yangınlar ani olarak ortaya çıkar.

Radyasyonun var olan bu zararları göz önüne alınacak olursa radyasyonun zararlı etkilerinden korunulması kaçınılmazdır.

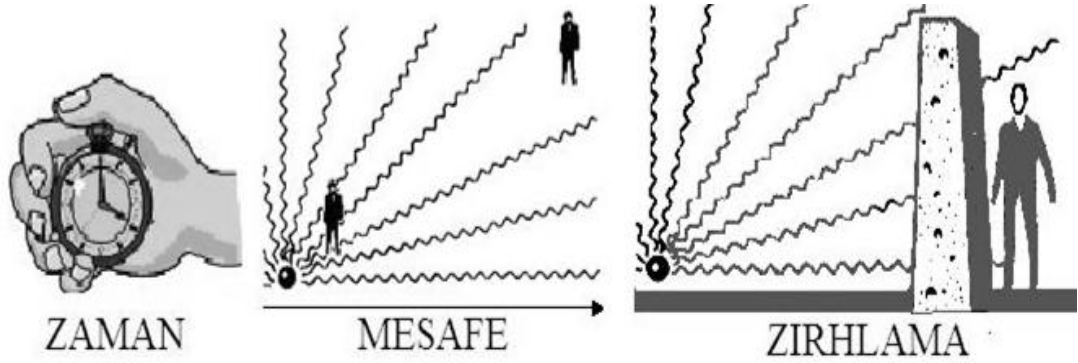
ICRP'nin önerilerine göre; radyasyon çalışanları için müsaade edilen maksimum doz sınırı, birbirini takip eden beş yılın ortalaması 20 mSv'i geçmezken (yılda en fazla 50 mSv), toplum üyesi diğer kişiler (halk) için aynı şartlardaki bu sınır 1 mSv'in altında tutulmaktadır. Çizelge 1.7'te müsaade edilen maksimum radyasyon doz değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.7. Müsaade edilen maksimum radyasyon dozu

Müsaade Edilen Maksimum Doz			
		Görevli	Halk
Yıllık Etkin Doz		20 mSv	1 mSv
Yıllık Eşdeğer Doz	Göz	150 mSv	15 mSv
	Cilt	500 mSv	50 mSv
	Kol-Bacak	500 mSv	50 mSv

Radyasyonun zararlı etkilerinden korunmanın üç temel yolu zaman, mesafe ve zırhlama kuralı olarak sıralanmaktadır. Bunlar Şekil 1.15'de sembolize

edilmiştir. Şüphesiz ki, en iyi korunma yöntemi bu üç kuralın aynı anda işletilmesidir.



Şekil 1.15. Radyasyondan korunmanın üç temel yolunun şematik gösterimi

1.6.1. Zaman Kuralı

Radyasyondan korunmanın ilk ve en basiti zaman kuralıdır. Müsaade Edilebilir Maksimum Doz (ALARA) ilkesine göre (ICRP, 1997) radyoaktif kaynaklar kullanılarak yapılan uygulamalar mümkün en kısa zamanda tamamlanmalıdır. Radyasyona maruz kalan maddenin emdiği doz zamanla değişmektedir. A aktivitesine sahip bir kaynağın kendisinden r mesafedeki poz hızı (birim zamandaki poz), Γ kaynağa bağlı bir sabit olmak üzere;

$$\Delta X = \Gamma \frac{A}{r^2} \Delta t \quad (1.7)$$

ile verilir (Krane, 1988). Buna göre emilen doz zamanla doğru orantılıdır.

1.6.2. Mesafe Kuralı

Alfa ve beta radyasyonları gibi tanecikli radyasyonların havada dahi serbest yolları oldukça kısadır. Nötron ve gama radyasyonları ise diğerlerine göre daha uzun yollar almalarına karşın mesafeyle şiddetleri azalır. Bu nedenle bir radyasyon kaynağının zararlarından sakınmanın etkili yollarından birisi de kaynaktan mümkün olduğu kadar uzakta durmaktır. Maruz kalınan radyasyon miktarı mesafeyle ters kare yasasına bağlı olarak değişmektedir. Bunu doğrulamak için kaynaktan aynı anda çıkan ışınların bir t zaman sonra r uzaklıkta küresel dalga cephesi oluşturduğunu varsaymak yeterli bir doğruluk sağlayacaktır. Böylece herhangi bir küresel dalga cephesinin yüzeyindeki

ışınların yoğunluğu, kaynağın I_0 şiddeti ile doğru, küre yüzeyinin alanıyla ters orantılıdır.

$$I \propto \frac{I_0}{4\pi r^2} \quad (1.8)$$

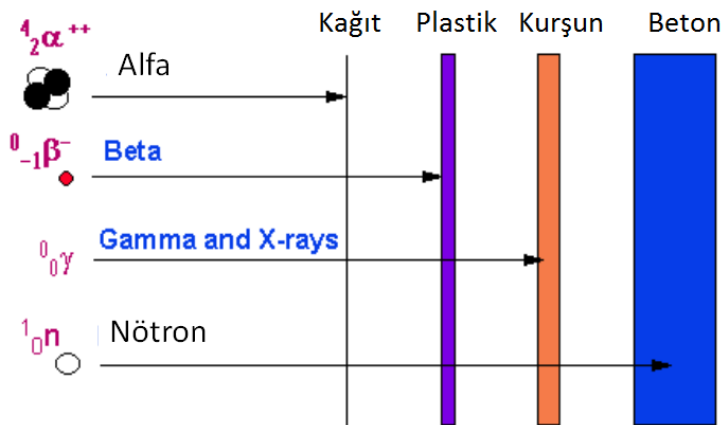
Burada I , r mesafedeki radyasyon şiddetidir. Ayrıca bir d_2 uzaklığındaki doz hızı D_2 , başka bir d_1 uzaklığındaki ($d_1 < d_2$) doz hızı D_1 'den uzaklıkların kareleriyle ters orantılı olacak şekilde daha küçüktür.

$$D_2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 D_1 \quad (1.9)$$

1.6.3. Zırhlama Kuralı

Zırhlama, radyasyonun etkilerini yok etmek veya en aza indirmek için radyasyon kaynağı ile radyasyondan korunması amaçlanan sistem arasına engel koymaktır. Zırhlamanın temel amacı, salınan radyasyonların zırh malzemesinin atomları ile etkileşerek enerjilerinin tamamını ya da bir kısmını kaybetmelerini sağlamak olduğu söylenebilir. Bu amaçla kullanılacak zırhlama malzemesi seçiminde radyasyonların türü ve enerjisi önemlidir. Çünkü nükleer radyasyonların maddeyle etkileşme mekanizmaları sahip oldukları yüke, kütle ve enerjilerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Radyasyonların madde içerisine giricilik kabiliyetleri karşılaştırıldığında en tehlikeli radyasyon türlerinin gama ve nötronlar olduğu ortaya çıkar. Çünkü nötronlar yüksüz; gama ışınları ise hem yüksüz hem de kütesizdir. Şekil 1.16' da farklı radyasyon türlerinin farklı materyallerdeki giriciliği gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Çeşitli radyasyonların giriciliğinin karşılaştırılması

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kozmik ışınlar ve yer kabuğu (kaya, toprak vs) kaynaklı radyonüklidler doğal radyasyonun kaynağını oluşturmaktadır. Yer kabuğu (kaya, toprak vs) kaynaklı radyonüklidlerden maruz kalınan karasal radyasyon doğal radyasyonun büyük kısmını oluşturmaktadır. Karasal radyasyonu oluşturan radyonüklidlerin en önemlileri ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{238}U ' dir. Bu radyonüklidlerin belirlenmesi ile ilgili literatürde geçmişten günümüze kadar devam eden bir çok çalışma mevcuttur. Bu bölümde doğal radyoaktivite ile ilgili yurt içi ve yurt dışında yapılmış bazı çalışmaların özetleri tarih sırasına göre verilmiştir.

Tzortzis ve ekibi (2003a) yapmış oldukları çalışmada Kıbrıs'taki doğal granitlerin gama radyasyonu seviyelerini belirlemek için ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanarak incelemişlerdir ve aktivite konsantrasyonları ^{232}Th için 1- 906 Bq/kg aralığında, ^{238}U için 1-588 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 50- 1606 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Toplam absorblanmış doz hızı ^{232}Th için 7 - 1209 nGy/h aralığında, ^{238}U için 4 - 605 nGy/h aralığında, ^{40}K için 2-302 nGy/h aralığında bulunmuştur.

Örgün ve ekibi (2005) Eskişehir'in güneydoğusundaki Kaymaz ve Sivrihisar bölgelerinden 14 farklı granitik kaya örneklerinin radyoaktivite seviyelerini HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanarak ölçmüşler ve ^{238}U aktivitesini $43.59 \pm 2 - 651.80 \pm 24$ Bq/kg aralığında, ^{232}Th aktivitesini $51.16 \pm 3 - 351.94 \pm 13$ Bq/kg aralığında ve ^{40}K aktivitesini $418.50 \pm 17 - 1618,03 \pm 66$ Bq/kg aralığında bulmuşlardır.

Baykara ve ekibi (2007) yılında yapmış oldukları çalışmada Elazığ- Türkiye' de 14 farklı mermer numunesi doğal radyoaktivitesini belirlemek için NaI(Tl) gama spektroskopisi kullanılmıştır. Aktivite konsantrasyonları ^{232}Th için 5.63 ± 0.60 Bq/kg ile 46.43 ± 1.74 Bq/kg aralığında, ^{238}U için 12.33 ± 0.80 Bq/kg ile 114.16 ± 2.45 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 435.97 ± 22.53 Bq/kg ile 2381.40 ± 53.75 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Radyum eşdeğer aktivitesi ise

94.35±2.85 ile 255.15±4.42 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Doz oranı 55.50 nGy/h ile 123.44 nGy/h aralığında bulunmuş olup dünya ortalamasının üzerindedir(55nGy/h). Yıllık etkin doz eşdeğeri havada 0.23 mSv/y ile 0.60 mSv/y aralığında bulunmuştur, dünya ortalamasının oldukça altındadır(2.4 mSv/y). Ortalama Dış ortam tehlike indeksi (H_{ex}) ve iç ortam tehlike indeksi (H_{in}) sırasıyla 0.43 ve 0.53 olarak bulunmuştur.

Akkurt ve ekibi (2009) yapmış oldukları çalışmada Türkiye’de kullanılan farklı türdeki kömür örneklerinin doğal radyoaktivitesini NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometresi kullanarak ölçmüşlerdir. Aktivite konsantrasyonları ^{238}U için 35.95- 110.37 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 15.63-22.56 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 135,59- 321.9 Bq/kg aralığında bulmuşlardır.

Akkurt ve ekibi (2010) yapmış oldukları çalışmada Afyonkarahisar bölgesinden çıkarılan bazı mermer örneklerinin doğal radyoaktivitesini NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometresi kullanarak ölçmüşlerdir. Aktivite konsantrasyonları ^{238}U için 38.883- 195.726 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 32.165-47.814 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 106.264-351.755 Bq/kg aralığında bulmuşlardır.

Moura ve ekibi (2011) yapmış oldukları çalışmada Brezilya’daki magmatik kayaçların doğal radyoaktivitesini NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometresi kullanarak ölçmüşlerdir. Elde edilen aktivite sonuçları ^{226}Ra için 12.18-251.9 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 9.5-347.47 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 407.5-1615 Bq/kg aralığında bulmuşlardır.

E.O. Agbalagba ve R.A. Onoja tarafından 2012 yılında Nijerya’da yapılan bir çalışmada; NaI(Tl) sintilatör dedektörü kullanılarak toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları tayin edilmiştir. Aktivite konsantrasyonları sırasıyla; ^{226}Ra için ortalama 41.0 ± 5 Bq/kg, ^{232}Th için ortalama 29.7 ± 4 Bq/kg ve ^{40}K için ortalama 412.5 ± 20 Bq/kg bulunmuştur. Yine bu çalışmada soğurulmuş doz oranı ortalama 30 ± 5.5 nGyh⁻¹, yıllık etkin doz oranı 6.8μ Svy⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

T. Santawamaitre ve arkadaşları tarafından HPGe dedektörü kullanılarak 2011 yılında gama ışını spektrometresi aracılığıyla Tayland'da yapılan bir çalışmada; ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları tayin edilmiştir. Aktivite konsantrasyonları ^{238}U için 55.3 ± 1.2 - 65.2 ± 1.4 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 60.7 ± 1.2 - 69.1 ± 1.3 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 393.4 ± 13 - 478 ± 16 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Soğurulmuş gama doz oranı 8.6 ± 1.9 - 90.4 ± 2.1 nGy/h aralığında ve yıllık eşdeğer etkin doz ise 100.1 ± 2.3 - 110.8 ± 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ olarak hesaplanmıştır.

R. Ravisankar ve arkadaşları tarafında 2012 yılında yapılan çalışmada; Hindistan'ın Timilnadu bölgesinde toprak örneklerindeki radyoaktivite seviyeleri NaI(Tl) sintilatör dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Radyoaktivite konsantrasyonları. ^{238}U için 2.17 - 2353 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 13.54 - 89.89 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 625.09 - 2207.3 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Yine bu çalışmada soğurulmuş doz oranı. 41.63 - 132.40 nGy/h aralığında ve yıllık etkin doz oranı ise. 0.49 - 0.158 mSv/y aralığın da hesaplanmıştır.

Z. Morsy ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada; Mısır'ın Ebo Zaabal kentinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları toprak bitki ve su örneklerinde HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Toprak, bitki ve su örnekleri için ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla ^{238}U için 6.57 , 10.16 ve 5.44 Bq/kg, ^{232}Th için 8.46 , 8.33 ve 6.04 Bq/kg ve ^{40}K için 136.3 , 216.8 ve 119.2 Bq/kg bulunmuştur. Bu çalışmada toprak örnekleri için havada soğurulmuş doz oranı, 14.2 ± 0.83 nGy/h ve yıllık etkin doz oranı ise 0.0174 ± 0.001 mSv/y olarak hesaplanmıştır.

M.S. Hamideen ve J. Sharaf tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada; Ürdün'ün Russaifa bölgesindeki Fosfat tepeleri boyunca toplanan toprak örneklerindeki doğal olarak meydana gelen karasal radyonüklidlerin (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) aktivite konsantrasyonları HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Aktivite konsantrasyonları ^{238}U için 5.3 - 1201.1 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 2.2 - 31.2 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 19.4 - 288.4 Bq/kg aralığında

bulunmuştur. Soğrulmuş doz oranı ise 26.1-563.2 nGy/h aralığında tespit edilmiştir.

B.Y. Almayahi ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada; Malezya Yarımadasının kuzeyinde toprak örneklerindeki radyoaktivite miktarları, HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Toprak örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları sırasıyla; 57 ± 3 , 68 ± 4 ve 427 ± 17 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bu çalışmada soğrulmuş doz oranı 88 nGy/h ve yıllık etkin doz oranı ise 108 mSv/y olarak hesaplanmıştır.

Günoğlu tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada; Türkiye' de çıkartılan doğal taş örneklerinin doğal radyoaktivite seviyeleri NaI(Tl) sintilatör dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Tüm doğal taş numuneleri için elde edilen sonuçlar ^{40}K aktivitesi için 99,670-1305,567 Bq/kg, ^{226}Ra aktivitesi için 12,006-155,649 Bq/kg ve ^{232}Th aktivitesi için 6,088-171,126 Bq/kg aralığında değiştiği bulunmuştur.

Papadopoulos ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada; Yunanistan' daki çeşitli kaya örneklerindeki doğal radyoaktivite seviyeleri HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Ortalama aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 15 Bq/kg, ^{232}Th için 376 Bq/kg ve ^{40}K için 1632 Bq/kg olarak bulunmuştur.

S. Sivakumar ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada; Hindistan- Tamilnadu şehrinin kıyı şeridindeki sediment örneklerinde doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi ve radyolojik zararlar NaI(Tl) sintilatör dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 3.8, 26.23 ve 328.68 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bu aktivite değerlerinden faydalanılarak radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}), absorblanmış doz hızı, yıllık efektif doz oranı, aktivite kullanım indeksi, iç ve dış radyasyon tehlike indeksleri hesaplanmıştır.

M.A.M. Uosif ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada; Mısır'ın Orta Doğu Çöl bölgesindeki granit örneklerindeki doğal radyonüklid dağılımlarını NaI(Tl) dedektörlü gama spektroskopi sistemi kullanılarak belirlemişlerdir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyon değerlerini sırasıyla (3 ± 0.5 to 43 ± 2 Bq/kg), (5 ± 0.7 to 41 ± 2 Bq/kg) ve (128 ± 6 to 682 ± 35 Bq/kg) olarak bulmuşlardır.

Halime Kayakökü ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada; Bitlis' te kullanılan bazı yapı malzemelerinin aktivite konsantrasyonları NaI(Tl) dedektörlü gama spektroskopi sistemi kullanılarak belirlemişlerdir. Aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 29.6 ± 5.9 - 228.2 ± 38.1 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 10.8 ± 5.4 - 95.5 ± 26.1 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 249.3 ± 124.7 - 2580.1 ± 266.9 Bq/kg aralığında bulunmuştur.

R. Hariprasath ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada; Hindistan' daki bazı nehir yataklarından toplamış oldukları kum örneklerinin doğal radyoaktivite ve radyolojik zararlarını NaI(Tl) dedektörlü gama spektroskopi sistemi kullanılarak belirlemişlerdir. Elde edilen ortalama konsantrasyon değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 9.91 ± 4.74 Bq/kg, 18.30 ± 4.17 Bq/kg ve 309.51 ± 23.23 Bq/kg olarak bulunmuştur. Radium eşdeğer aktivitesi ortalama olarak 55.29 ± 11.45 Bq/kg, yıllık etkin doz eşdeğeri iç ve dış olmak üzere 31.96 ± 5.85 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ ve 127.84 ± 23.4 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ olarak hesaplanmıştır. Ortalama Dış ortam tehlike indeksi (H_{ex}) ve iç ortam tehlike indeksi (H_{in}) sırasıyla 0.14 ± 0.02 and 0.19 ± 0.05 olarak hesaplanmıştır.

Jinlong Wang ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada; Çin' deki bazı nehir ve kıyı alanlarından toplanan yüzey sedimentlerinde doğal radyoaktivite seviyeleri HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Doğal radyonüklid aktiviteleri ^{238}U için 14.1 ile 62.3 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 26.1 ile 71.9 Bq/kg aralığında, ^{226}Ra için 13.7 ile 52.3 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 392 ile 898 Bq/kg aralığında olduğu bulunmuştur. Aktiviteler yardımıyla hesaplanan radyum eşdeğer aktivitesi belirlenmiş olan 370 Bq/kg limit değerinin altında olduğu ve dış zarar indeksinin 1' den düşük olduğu hesaplanmıştır.

Ayrıca havada absorlanmış doz oranı ve yıllık etkin doz oranının dünya ortalamalarının azda olsa üzerinde olduğu özenmiştir.

S. Fares tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada; Süveyş Kanalı bölgesinden toplanan siyah kum ve sediment örneklerinin doğal radyoaktivite seviyeleri HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Sediment örneklerinde elde edilen aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 4.29 ± 1.66 ile 30.06 ± 8.80 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 6.69 ± 1.54 ile 39.24 ± 9.80 Bq/kg aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Siyah kum örneklerinde elde edilen aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 4.29 ± 0.68 ile 18.52 ± 5.22 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 4.56 ± 1.07 ile 18.65 ± 5.27 Bq/kg aralığında değiştiği tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu tez çalışmasında Antalya ili içerisinde bulunan ve özellikle yaz aylarında insanların yoğun ilgi gösterdiği Konyaaltı Plajı'ndaki doğal radyasyon seviyesinin gama spektrometresi yöntemi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Ülkemizin en uzun plajlarından birisi olan Konyaaltı plajı Antalya şehrinin batısında bulunmaktadır. Plaj yaklaşık 8 km uzunluğundadır. Kuzeydoğu-güneydoğu doğrultusu boyunca bu kıyı şeridi çakıl taşlarından oluşmaktadır. Şekil 3.1' de çalışma yapılan bölge gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 3.1' de örneklerin alındığı noktaların koordinatları verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma bölgesi

Konyaaltı Plajı'nın doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla plajın farklı noktalarından toplanan 15 çakıl numunesinin ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th konsantrasyonları ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik A.B.D. Gamma Spektroskopi Laboratuvarında bulunan NaI(Tl) detektörü ile yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Örneklerin alındığı koordinatlar

Örnek No	N	E
S1	36°52' 55.1568"	30°40' 26.4036"
S2	36°52' 43.9392"	30°40' 1.866"
S3	36°52' 36.0804"	30°39' 48.1716"
S4	36°52' 28.9128"	30°39' 36.1116"
S5	36°52' 21.1728"	30°39' 23.2956"
S6	36°52' 14.0814"	30°39' 12.456"
S7	36°52' 6.0888"	30°39' 0.2808"
S8	36°51' 58.806"	30°38' 48.8904"
S9	36°51' 50.4684"	30°38' 36.9672"
S10	36°51' 41.7132"	30°38' 20.9148"
S11	36°51' 32.0976"	30°38' 2.7636"
S12	36°51' 19.5912"	30°37' 46.884"
S13	36°51' 7.7796"	30°37' 33.2796"
S14	36°50' 59.7408"	30°37' 21.1872"
S15	36°50' 48.3144"	30°37' 10.956"

3.1. Numunelerin Hazırlanması

Doğal radyoaktiviteleri ölçülecek olan çakıl numuneleri ölçümlerden önce bir dizi işlemde geçirilmiştir. Öncelikle öğütülerek toz haline getirilen çakıl numuneleri neminden arındırmak amacıyla 100 °C' de etüvde 24 saat süreyle kurutulmuştur.

Kurutulan numuneler darası alınmış ölçüm kaplarına konularak ağırlıkları tartılmıştır ve etiketlenerek kabın ağzı hava almayacak şekilde kapatılmıştır (Şekil 3.2.). Daha sonra gama spektrometresi ile ölçümü yapılacak numunelerin aktivite konsantrasyonlarının gerçek konsantrasyonları vermesi, örneklerin radyoaktif dengeye ulaşmasına bağlıdır. Ana nüklid ile ürün nüklid arasında bir radyoaktif denge varsa, ana nüklidin aktivitesi ürün nüklidden gidilerek bulunur. Bu durumda radyoaktif denge, ürün nüklidlerin yarı-ömürünün ana nüklide göre çok daha kısa olduğu durumlar için belli bir süre sonunda ürün aktivitesinin ana aktiviteye eşit olma durumudur. Bu sebeple hazırlanan numunelerin dengeye gelmesi için belirli bir süre beklenmesi gerekir. Bu süre, ^{238}U bozunma zincirinde ^{226}Ra ile ^{222}Rn arasındaki radyoaktif dengenin sağlanabilmesi için, örneklerin 1 ay süreyle kapatılması ile sağlanır (Akkurt, 2010). Bekleme süresi dolduktan sonra bazı numuneler üzerinde test ölçümleri

yapılmıştır. Bu test ölçümleri seçilen her bir numune için 3 defa tekrarlanarak elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.

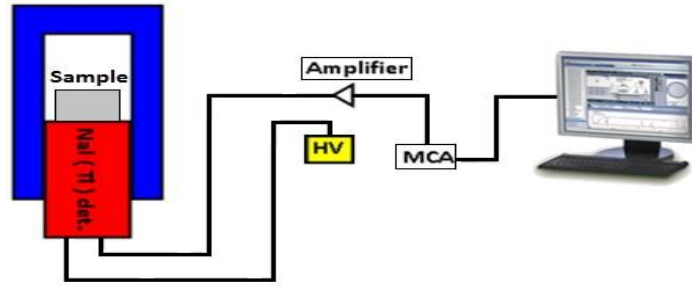


Şekil 3.2. Boş ve doldurulmuş numune kapları

3.2. Gama Spektrometre Sistemi

Deneysel çalışmalar Süleyman Demirel Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik A.B.D. bünyesinde bulunan Gamma Spektroskopi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda NaI(Tl) detektörden, NIM modülünden, spektrum analiz yazılımı MAESTRO-32 'nin yüklü olduğu bir bilgisayardan oluşan gama spektroskopi sistemi kullanılmıştır. Gama spektrometresi, bir materyalin radyoaktif olup olmadığını ve eğer radyoaktif ise bu radyoaktivitenin hangi radyoizotoptan kaynaklandığının bulunmasını sağlayan ve bu radyoaktif elementler tarafından yayınlanan gama ışınlarını enerjilerine göre ayıran bir sistemdir.

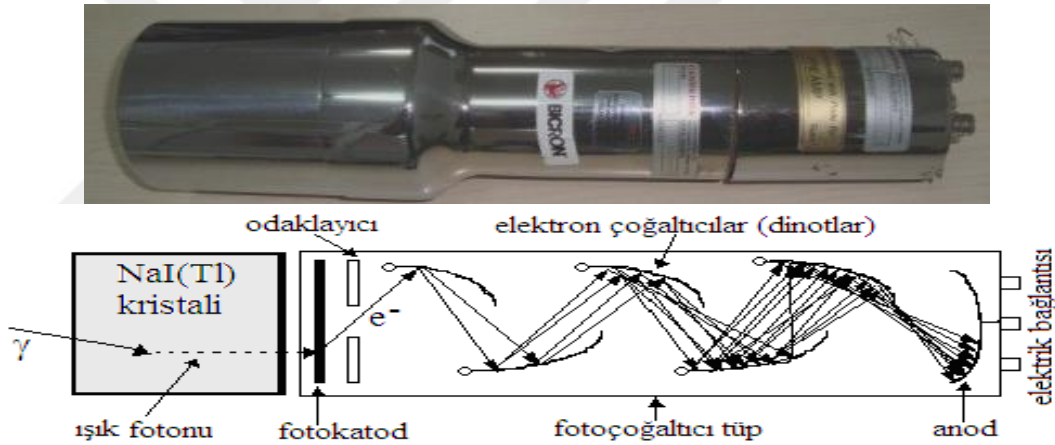
Belli bir kaynaktan yayılan radyasyon dedektörle etkileşerek absorbe edilen enerji ile orantılı bir akım darbesi meydana getirir. Bu darbe amplifikatörler yardımıyla voltaj darbesine çevrilir, yükseltilir, şekillendirilir ve çok kanallı analizöre (ÇKA) gelir. Analizörden sayısal hale çevrilen bilgiler, ekranda spektrum olarak gözlenir. Bu spektrum veya spektrumla ilgili bilgiler ÇKA' ya bağlı uygun bir giriş/çıkışla(I/O) değerlendirilmek üzere dışarı alınır(Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Gama spektroskopi sisteminin şematik diyagramı

3.2.1. NaI(Tl) Dedektörü

Kullanılan malzemeye göre radyasyon detektörlerini gazlı, yarı-iletken ve sintilasyon (parıldayıcı) detektörler olmak üzere üç ana gruba ayırmak mümkündür. Bu çalışmada gama radyasyonu spektrumları ORTEC marka 3"x3" boyutlu NaI(Tl) sintilasyon detektörü kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Kullanılan NaI(Tl) detektörü (üstte) ve iç yapısı (altta)

Bir sintilasyon detektörü iki ana kısımdan oluşmaktadır: Dışında parıldayıcı bir malzeme bulunan sintilatör ve içinde foto katot odaklayıcı elektrot, elektron çoğaltıcılar (dinotlar), anot bulunduran foto çoğaltıcı tüp. Bir sintilasyon detektörünün gelen gama ışınlarını kaydetmesi için bazı süreçlerin gerçekleşmesi gerekir. Öncelikle gama ışını sintilatöre girer ve buradaki malzemeyle 1. bölümde bahsi edilen etkileşmelere uğrar. Böylece gama ışınının enerjisinin tamamı veya bir kısmı elektronlara ya da elektron-pozitron çiftlerine aktarılır. Gama ışınları tarafından uyarılan elektronlar temel seviyelerine geri dönerken dalga boyu görünür bölgede veya görünür bölgeye çok yakın olan ışık yayınlırlar. Bu yolla üretilen ışık sinyallerine flüoresan radyasyonu denir.

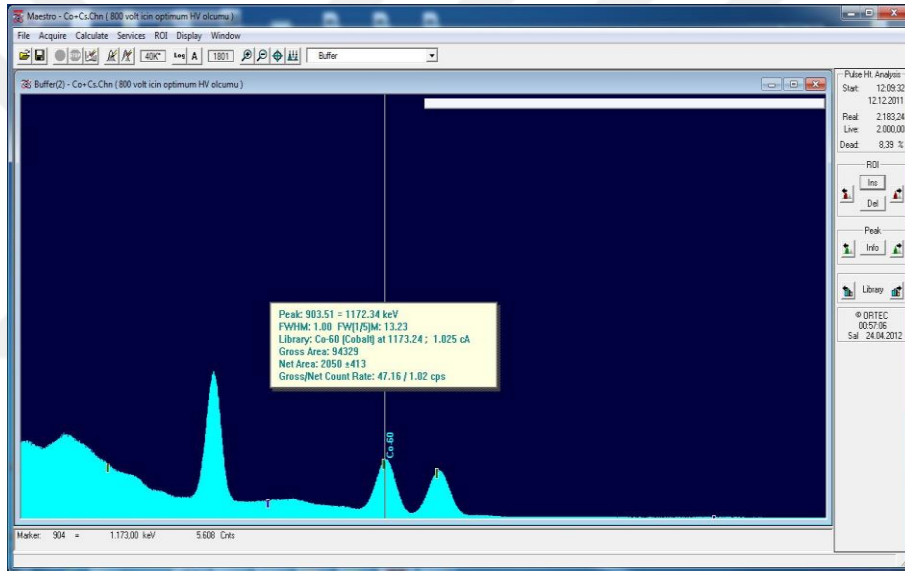
Flüoresan ışınlar detektörün foto çoğaltıcı bölümüne girerler ve ilk olarak ışığa duyarlı foto katotla etkileşirler. Etkileşme sonucu meydana gelen foto elektronlar odaklama vazifesi gören bir elektrot tarafından elektron çoğaltıcı (dinot) tabakalardan ilkinе yönlendirilir. Elektron çoğaltıcı tabakayla etkileşen elektronların başlangıç enerjilerine göre çoğaltıcıdan birden fazla ikincil elektron kopar. Koparılan bu yeni elektronlar da odaklayıcılar sayesinde bir sonraki elektron çoğaltıcıya yönlendirilir. Bu işlem anoda kadar devam eder. Her bir çoğaltıcıdan koparılan elektron miktarı foto katotla anot arasındaki gerilim gradyentine göre değişir. Süreç sonunda anotta bir akım sinyali oluşur ve bu sinyal yükseltilerek elektronik elemanlar vasıtasıyla okunabilir spektruma çevrilir.

3.2.2. Elektronik Üniteler

NaI(Tl) detektörü ile etkileşen gama radyasyonunun oluşturduğu atmaların anlamlı sayısal sinyallere dönüşmesi için elektronik cihazlara ve sinyallerin analizi için de yazılıma ihtiyaç vardır. Radyasyonun detektörde oluşturduğu sinyaller yükseltici (amplifikatör) yardımıyla yükseltilir, şekillendirilir ve içerisinde Çok Kanallı Analizöre (Ç.K.A.) sahip DSPEC LF' e gönderilir. 16384 kanala sahip DSPEC LF ile sayısal hale çevrilen bilgiler MAESTRO-32 yazılımı yardımı ile ekranda spektrum olarak gözlenir. Gama radyasyonu spektrumunu oluşturan pikler Gauss eğrisi şeklindedir. Her bir enerji ve kanal numarası başına düşen sinyal sayısı yazılım tarafından kaydedilir. Sistem bir yüksek gerilim birimi ile beslenmektedir. Detektör çalışma gerilimi olan 800 V bu birim tarafından sağlanmaktadır. Şekil 3.5. DSPEC LF ve yüksek gerilim modülünü göstermektedir. Şekil 3.6' da MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla elde edilen örnek bir spektrum gösterilmiştir.



Şekil 3.5. DSPEC LF modülü (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta)

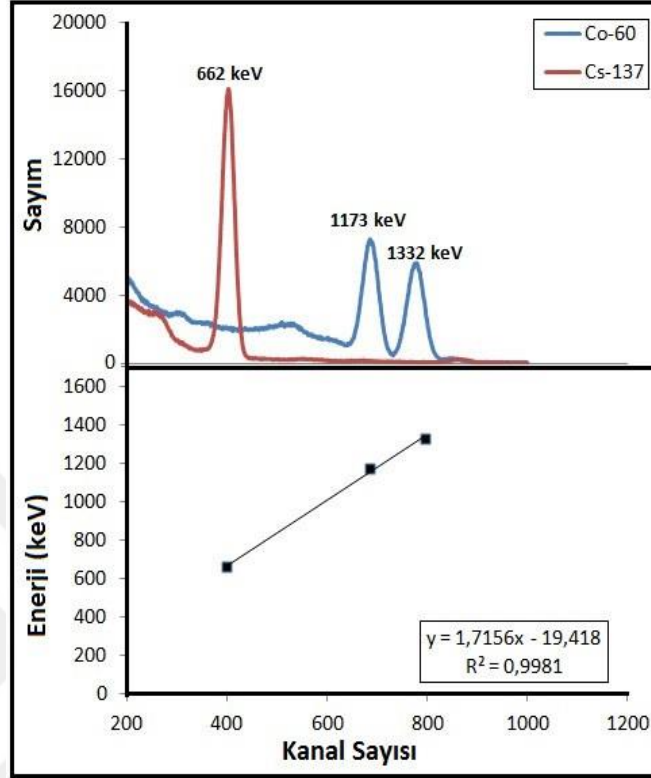


Şekil 3.6. MAESTRO-32 yazılımı ile elde edilmiş örnek spektrum

3.2.3. Detektörün Enerji Kalibrasyonu

Detektörünün kalibre edilmesindeki amaç, ölçüm cihazının belirli bir radyasyon enerjisi karşısında vermesi gereken cevabın cihaza tanıtılmasıdır. Bu sebeple cihazın kalibrasyonunda yayınladıkları enerjileri daha önceden bilinen radyoaktif kaynaklar kullanılır. Çalışmada kullanılan NaI(Tl) detektörünün kalibrasyonu, ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1173 keV- 1332 keV) standart radyoaktif kaynakları kullanılarak yapılmıştır. Bunun için her iki kaynak için eşit sürelerde spektrumlar alınarak bu spektrumlardaki ilgili gama enerjilerinin karşılık geldiği kanal numarası detektöre MAESTRO-32 yazılımıyla tanıtılmıştır.

Şekil 3.7. iki kaynağa ait pikleri ve karşılık gelen enerji kanal fitini göstermektedir.



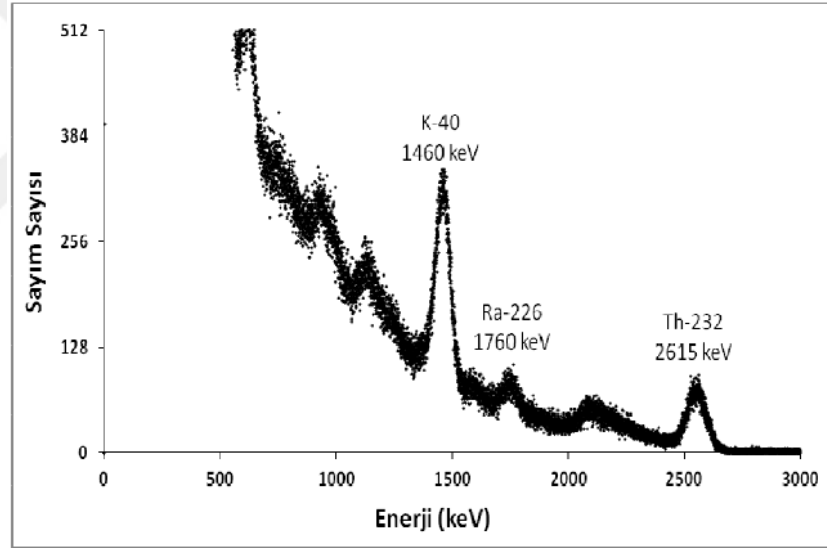
Şekil 3.7. Kaynakların enerji spektrumları (üstte) ve enerji-kanal fiti (altta)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Doğal Radyoaktivite Bulguları

“Antalya-Konyaaltı Plajının Doğal Radyoaktivite yönünden incelenmesi “ isimli bu tez çalışmasının bu bölümünde Konyaaltı Plajından toplanan çakıl numunelerinin doğal radyoaktivitelerinin belirlenmesi amacıyla ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th konsantrasyonları hesaplanmıştır. Deneyle Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik A.B.D. Gamma Spektroskopi Laboratuvarında bulunan NaI(Tl) detektörü ile yapılmıştır.

Çalışma kapsamında toplanan çakıl numunelerinin doğal radyoaktivite seviyeleri ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th konsantrasyonları elde edilerek araştırılmıştır. Numunelerden elde edilen örnek bir spektrum Şekil 4.1’ de görülmektedir.



Şekil 4.1. Numunelerden elde edilen spektrum

Spektrumdan da görüldüğü gibi numunelere ait doğal radyonüklid aktivite hesapları ^{40}K için 1460 keV, ^{226}Ra (^{214}Bi) için 1760 keV ve ^{232}Th (^{208}Tl) için 2615 keV enerjilerinde gelen gama piklerinin altındaki alanlar kullanılmıştır. Numunelerle ölçülen alanlardan numune kabının boş olarak alınan ölçüm sonucu (background) çıkarılarak net alanlar bulunmuş ve aktivite konsantrasyonları için bu net alanlardan faydalanılarak hesaplanmıştır.

Aktivite hesabı,

$$A(Bq/kg) = \frac{NPA}{\varepsilon \cdot \gamma \cdot t \cdot m} \quad (4.1)$$

formülü ile verilmektedir (Beretka vd., 1985). Burada;

NPA: Net Pik Alanı

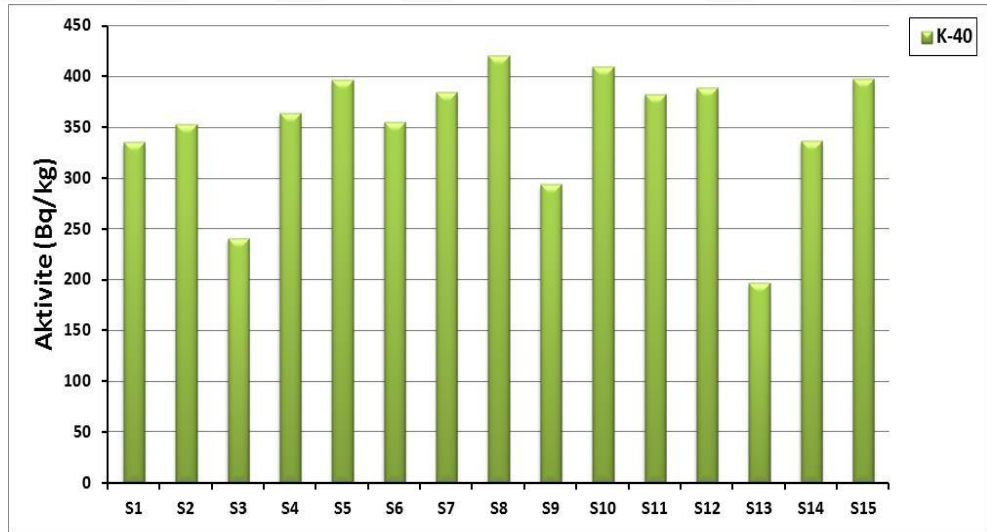
ε : Detektör verimi

γ : İlgili nüklidin gama yayınlama olasılığı t: Sayım süresi

m: Kütle (kg)

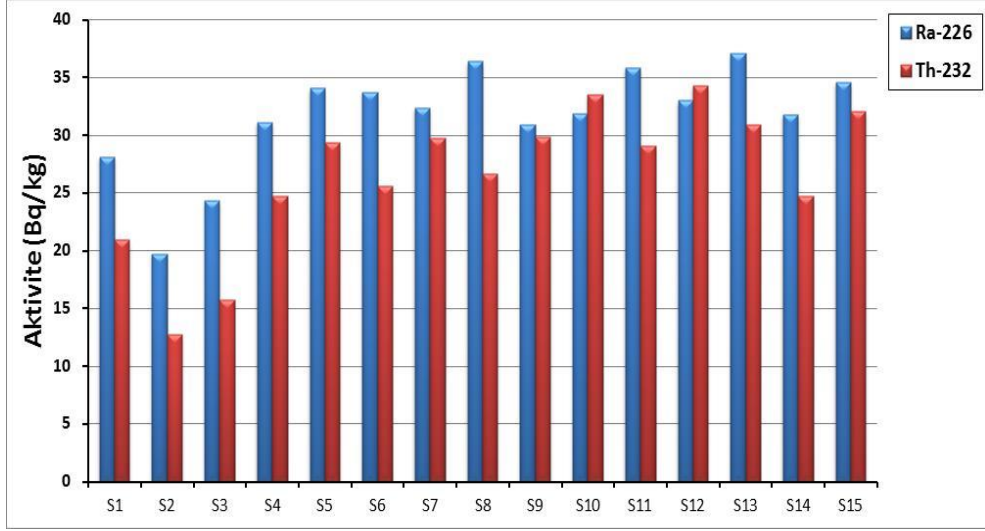
Net pik alanı, numune sayımından boş numune kabı sayımının çıkarılması ile bulunan alanları verir. İlgili nüklidin gama yayınlama olasılığı, ^{232}Th (^{208}Tl) için %35,9, ^{226}Ra (^{214}Bi) için %14,7, ^{40}K için %10,7 dir.

Toplanan çakıl numunelerinin ^{40}K aktivite sonuçları Şekil 4.2 ve ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite sonuçları sırasıyla Şekil 4.3' de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çakıl örneklerinin ^{40}K aktivite sonuçları

Şekil 4.2' den görüldüğü gibi ^{40}K aktivitesi için en yüksek değer S8 numunesinde en düşük değer ise S13 numunesinde ölçülmüştür.



Şekil 4.3. Çakıl örneklerinin ²²⁶Ra ve ²³²Th aktivite sonuçları

Şekil 4.3' den görüldüğü gibi ²²⁶Ra aktivitesi için en yüksek değer S13 numunesinde en düşük değer ise S2 numunesinde ölçülmüştür. ²³²Th aktivitesi için en yüksek değer S12 numunesinde en düşük değer ise S2 numunesinde ölçülmüştür. Ölçümü yapılan 15 farklı çakıl örneği için elde edilen aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çakıl örnekleri için ⁴⁰K, ²²⁶Ra ve ²³²Th aktivite konsantrasyonları

Örnek No	Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)		
	K-40	Ra-226	Th-232
S1	335,054	28,102	20,908
S2	352,919	19,735	12,761
S3	240,886	24,293	15,763
S4	364,213	31,136	24,691
S5	396,538	34,042	29,368
S6	355,305	33,711	25,626
S7	384,913	32,372	29,735
S8	421,127	36,359	26,688
S9	293,939	30,872	29,880
S10	410,039	31,852	33,498
S11	382,764	34,823	29,052
S12	388,564	32,998	34,316
S13	196,374	37,035	30,934
S14	336,296	31,771	24,694
S15	397,479	34,576	32,029
Ortalama	350,427	31,645	26,663

Çizelge 4.1' den görüldüğü gibi ^{40}K aktivite konsantrasyonu 196.37 Bq/kg (S13) ile 421.13 (S8) Bq/kg, ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu 19.74 Bq/kg (S2) ile 37.03 (S13) Bq/kg ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 12.76 Bq/kg (S2) ile 34.32 (S12) Bq/kg arasında değişmiştir. UNSCEAR, 2000 raporlarında belirtilen müsaade edilen aktivite konsantrasyonları ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th için sırasıyla 400, 35 ve 30 Bq/kg olarak verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre ^{40}K aktivite konsantrasyonu için S8 ve S10 belirlenen limit değerler üzerinde çıkmasına rağmen ortalama olarak limit değerinin altında bir sonuç elde edilmiştir. ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu için S8 ve S13 belirlenen limit değerler üzerinde çıkmasına rağmen ortalama olarak limit değerinin altında bir sonuç elde edilmiştir. ^{232}Th aktivite konsantrasyonu için S10, S12 ve S15 belirlenen limit değerler üzerinde çıkmasına rağmen ortalama olarak limit değerinin altında bir sonuç elde edilmiştir. Bunun yanı sıra Çizelge 4.2' de farklı ülkelerde yapılmış olan benzer çalışmalar ve bu çalışma gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı ülkelerde yapılmış çalışmalar

Ülke	Activity concentration (Bq/kg)			References
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
Hindistan	35,12	713,6	349,6	Gandhi et al. (2014)
Çin	14.6 ± 4.4	10.9 ± 7.8	396.4 ± 75.1	Huang et al. (2015)
İran	14.6–29.6	14.8–21.7	179.5–464.5	Tari et al. (2013)
Tayland	22,6	26,4	523	Malain et al. (2012)
Malezya	31 ± 8	36 ± 6	369 ± 17	Almayahi et al. (2012)
KSA	11,3	6,7	153,8	Al-Ghamdi et al. (2016)
Umman	11.83–22.68	10.7–25.02	222.89–535.07	Zare et al. (2012)
Suudi Arabistan	11,42	19,26	641,08	Al-Trabulsy et al. (2011)
Türkiye	12,2	9	157,7	Özmen et al. (2014)
Türkiye	4.41–14.04	2.62–16.55	11.60–513.32	Korkulu and Özkan (2013)
Mısır	21,1	11,6	930	Harb (2008)
Türkiye	31,64 ± 1,58	26,67 ± 1,33	350,42 ± 17,52	Bu Çalışma

Çizelge 4.2' de verilmiş olan farklı ülkelerdeki çalışmalarla bu çalışma karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar benzerlik göstermiştir.

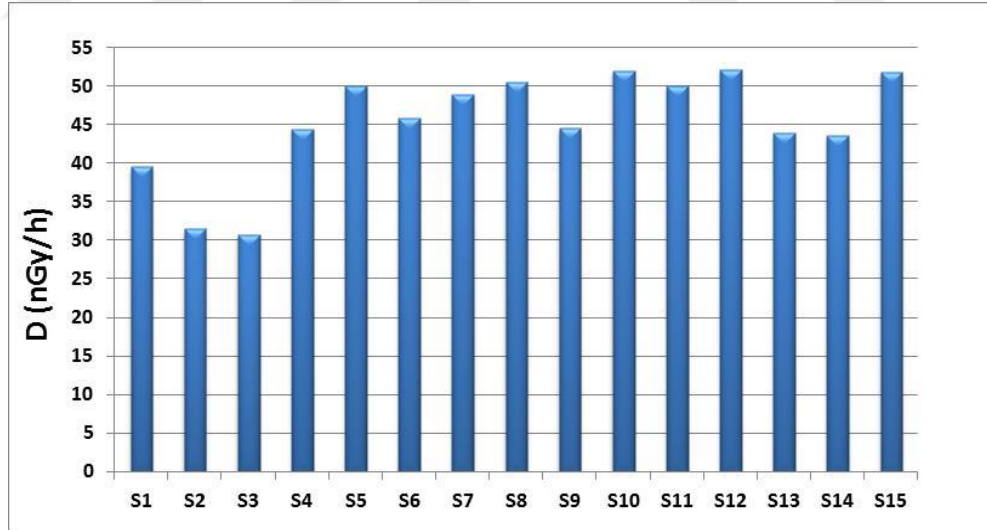
4.2. Doz hesaplamaları

4.2.1. Absorblanmış Doz Hızı

Dış karasal gama ışınının ayırt edici bir özelliğini temin etmek için deneysel olarak elde edilen aktivite konsantrasyonları kullanılarak, Absorblanmış Doz Hızı (D) hesaplanmıştır. UNSCEAR 2000 raporlarında kaya numuneleri için dönüşüm katsayıları ^{40}K için 0,0417, ^{226}Ra için 0,462 ve ^{232}Th için 0,604 nGy/h başına Bq/kg olarak verilmiştir (Veiga vd., 2006; UNSCEAR 2000).

$$D(\text{nGy/h}) = 0,0417A_K + 0,462A_{Ra} + 0,604A_{Th} \quad (4.2)$$

Absorblanmış doz hızı Denk. (4.2) ile hesaplanır. Burada, A_K , ^{40}K için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu, A_{Ra} , ^{226}Ra için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu ve A_{Th} , ^{232}Th için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu ve göstermektedir. Denk. (4.2) kullanılarak hesaplanmış olan absorblanmış doz hızı sonuçları Şekil 4.4' de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Çakıl örneklerinin için absorblanmış doz hızı

Şekil 4.4' den görüldüğü gibi en yüksek absorblanmış doz hızı S12 numunesinde en düşük absorblanmış doz hızı ise S3 numunesinde hesaplanmıştır.

UNSCEAR 2000 raporuna göre absorblanmış doz hızının limit değeri 55 nGy/h olarak verilmiştir (UNSCEAR, 2000). Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi tüm çakıl numunelerinin absorblanmış doz hızı değerleri limit değerinin altında olduğu gözlenmiştir.

4.2.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE) insanların farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kalmak suretiyle gerekse aldığı besinlerle ve teneffüs ettiği havada bulunan radyonüklidleri vücuda alarak içten maruz kalmak suretiyle 1 yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır.

Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri hesabı için Denk. (4.3) kullanılır.

$$YEDE(mSv/y) = D * DDF * ZGF * T \quad (4.3)$$

Burada,

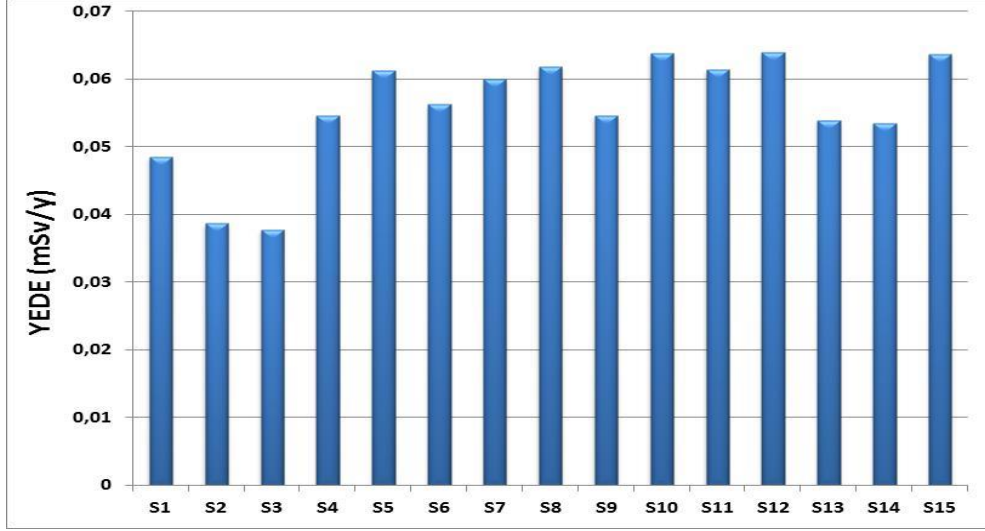
D = Absorbe Edilen Doz Hızı (nGy/h)

DDF = Doz Dönüşüm Faktörü (Sv/Gy)

ZGF = Zaman Geçirme Faktörü

T = Zaman (h/y)

Çevresel gama ışınlamaları için DDF değeri 0,7 Sv/Gy alınmaktadır (Veiga vd., 2006). Bu değer, hem ev içi (indoor) hem de ev dışı (outdoor) çevresel gama ışınları için kullanılır. Gama ışınlarının insana verdiği yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplariken dikkate alınması gereken en önemli faktör, insanların bu ışınlarla ne kadar süre maruz kaldıklarıdır. Dışarda geçirilen zamana ilişkin ZGF faktörü; bir insanın zamanının yaklaşık % 80'ini ev içerisinde veya kapalı alanlarda, % 20'sini de ev dışı alanlarda geçireceği düşünülerek kullanılır. (UNSCEAR,1988). T değeri ise 12 ay düşünülerek 8760 saat/yıl alınmıştır. Buna göre elde edilen Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri sonuçları Şekil 4.5' de verilmiştir.



Şekil 4.5. Çakıl örneklerinin için yıllık etkin doz eşdeğeri

Şekil 4.5' den görüldüğü gibi en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri S12 numunesinde en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri ise S3 numunesinde hesaplanmıştır.

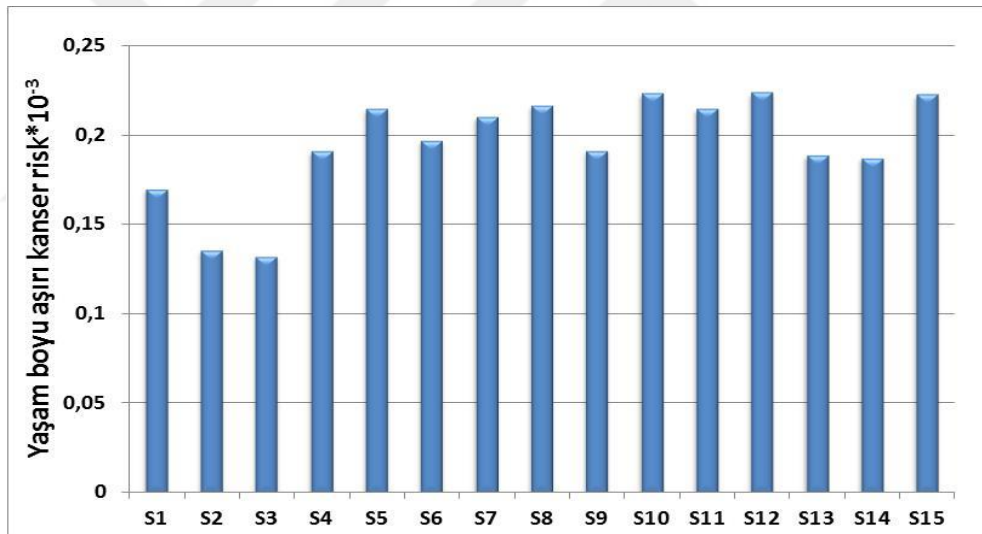
4.2.3. Yaşam boyu aşırı kanser riski

Değişen hızlarda verilen farklı büyüklüklerdeki radyasyon dozlarına maruz kalan insanların vücutlarının, farklı bölgelerinde farklı zamanlarda değişik türde sağlık sorunları ortaya çıkabilir. Bir insan 5 Gy veya daha fazla doza maruz kalırsa, tedavisi yapılmadığı zaman, kemik iliği veya sindirim sistemi hasarı sonucu yaşamını yitirebilir. Ancak 50 Gy'lik doza maruz kalan insanların tıbbi tedavi sonrası bile yaşamını sürdürmesi mümkün değildir. Alınan doz miktarı düşükse veya doza uzun bir zaman aralığında maruz kalınıyorsa yaralanan dokulardaki etki, yaşamın sonraki yıllarında veya gelecek nesillerde ortaya çıkan etkilere stokastik etkiler denir (Yaren vd. 2005). Bu etkilerin ortaya çıkma olasılığı, ışınlanan kişinin doğal ya da yapay radyasyon kaynaklarından aldığı radyasyon miktarına bağlıdır. Stokastik etkilerin en önemlisi olan kanser, her zaman ciddi ve çoğunlukla öldürücüdür. Kanser vakalarının radyasyon ışınlanması veya diğer nedenlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığı kesin olarak ayırt edilemezken, radyasyon ışınlanmasından kaynaklanan ölümcül kanser riskinin belirlenmesi için yaş, cinsiyet gibi faktörleri hesaba katmak gerekir. Radyasyona maruz kalmış bir gruptaki kişi sayısı, kişilerin aldıkları doz

miktarları ile bu gruptaki kanser oluşumu gözlenerek, diğer özellikleri benzer olan ancak radyasyona maruz kalmamış gruptaki beklenen kanser vakası sayısı ile dozları kıyaslayarak birim doz başına artan kanser riski tahmin edilebilir. Buna risk faktörü (RF) denir. Yaşam boyu aşırı kanser riski, belirli bir maruz kalma düzeyinde bir ömür boyu kanser gelişme olasılığı ile ilgilidir. YAKR, eşitlik (4.4) ile hesaplanır (Oyeyemi et al. 2017).

$$YAKR = YEDE * YS * RF \quad (4.4)$$

Burada, YEDE yıllık etkin doz eşdeğeri, YS, ortalama yaşam süresi (ortalama 70 yıl) ve RF ise risk faktörü olup Stokastik etkilerde, toplumun tamamında ölümcül kanser için ICRP 60 risk faktörleri RF'yi $5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ olarak kullanmaktadır (UNSCEAR 2000). Buna göre elde edilen Yaşam boyu aşırı kanser risk (YAKR) sonuçları Şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.6. Çakıl örneklerinin için Yaşam boyu aşırı kanser riski

Şekil 4.6' dan görüldüğü gibi en yüksek yaşam boyu aşırı kanser riski değeri S12 numunesinde en düşük yaşam boyu aşırı kanser riski değeri S3 numunesinde hesaplanmıştır.

Aktivite konsantrasyonlarından faydalanılarak hesaplanmış olan Absorblanmış Doz Hızı (D, nGy/h), Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE mSv/y) ve Yaşam boyu

aşırı kanser riski (YAKR) gibi doz hesaplamaları için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Doz hesaplamaları sonuçları

Örnek No	D (nGy/h)	YEDE (mSv/y)	YAKR*10 ⁻³
S1	39,583	0,049	0,170
S2	31,542	0,039	0,135
S3	30,789	0,038	0,132
S4	44,486	0,055	0,191
S5	50,001	0,061	0,215
S6	45,869	0,056	0,197
S7	48,966	0,060	0,210
S8	50,478	0,062	0,217
S9	44,567	0,055	0,191
S10	52,047	0,064	0,223
S11	50,059	0,061	0,215
S12	52,175	0,064	0,224
S13	43,983	0,054	0,189
S14	43,617	0,053	0,187
S15	51,895	0,064	0,223

Çizelge 4.3' de görüldüğü gibi Absorblanmış Doz Hızı 30,789 nGy/h (S3) ile 52,175 nGy/h (S12) arasında değişmiştir. UNSCEAR 2000 raporuna göre absorblanmış doz hızının limit değeri 55 nGy/h olarak verilmiştir (UNSCEAR, 2000). Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi tüm çakıl numunelerinin absorblanmış doz hızı değerleri limit değerinin altında olduğu gözlenmiştir. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri 0,038 mSv/y (S3) ile 0,064 mSv/y (S12) arasında değişmiştir. UNSCEAR 2000 raporuna göre yıllık etkin doz eşdeğeri için limit değer 0,460 mSv/y olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan tüm çakıl numunelerinde yıllık etkin doz eşdeğerinin limit değerinin altında olduğu gözlenmiştir. Yaşam boyu aşırı kanser riski 0.132×10^{-3} (S3) ile 0.224×10^{-3} (S12) arasında değişmiştir. Elde edilen yaşam boyu kanser riski değerleri dünya ortalaması olan 0.290×10^{-3} değerinin altındadır.

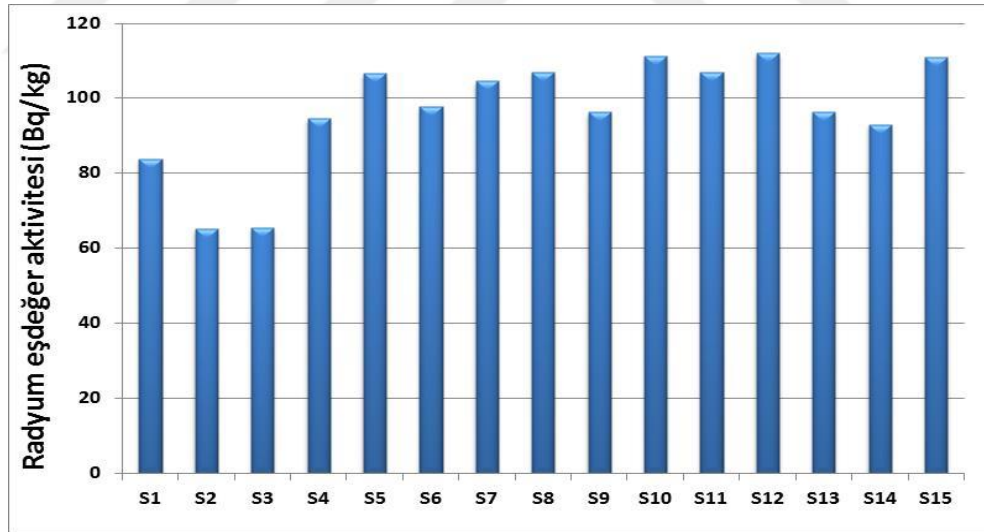
4.3. Radyolojik Zarar İndeksleri

4.3.1. Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq})

Radyasyona maruz kalma oranını tanımlamak için, Bq/kg cinsinden ölçülen radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) değerleri, genellikle farklı miktarlarda ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th içeren materyallerin spesifik aktivitesini karşılaştırmak için kullanılır. Ayrıca, Denk. (4.5) ile hesaplanan Ra_{eq} verileri, toprakta ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th radyonüklitlerinin varlığı nedeniyle ortaya çıkabilecek sağlık açısından tehlikeli durumları değerlendirmek için kullanılabilir (Beretka ve Mathew, 1985). Radyum eşdeğer aktivitesi hesabı için Denk. (4.5) kullanılmaktadır.

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1,43A_{Th} + 0,077A_K \quad (4.5)$$

Burada, A_K , ^{40}K için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu, A_{Ra} , ^{226}Ra için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu ve A_{Th} , ^{232}Th için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu ve göstermektedir.



Şekil 4.7. Çakıl örneklerinin Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq})

Şekil 4.7' den görüldüğü gibi en yüksek Radyum eşdeğer aktivitesi S12 numunesinde en düşük Radyum eşdeğer aktivitesi ise S2 numunesinde hesaplanmıştır.

UNSCEAR 2000 raporuna göre Radyum eşdeğer aktivitesi için limit değer 370 Bq/kg olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan tüm çakıl numunelerinde Radyum eşdeğer aktivite değerlerinin limit değerinin altında olduğu gözlenmiştir.

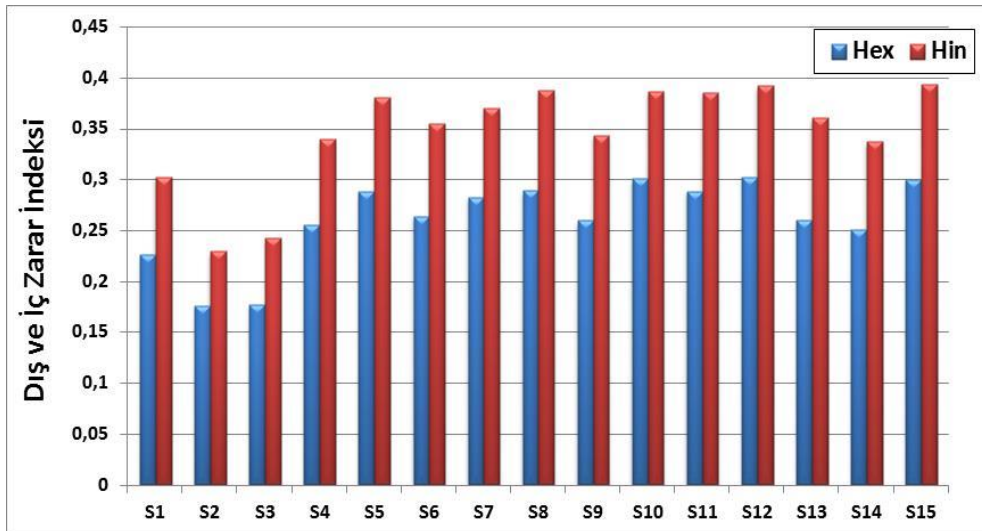
4.3.2. Dış Zarar (Hex) ve İç Zarar (Hin) İndeksi

^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th içeren yüzey elementlerinin radyoaktivitesinden kaynaklanan sağlık etkilerini değerlendirmek için bu nüklidlerin aktivitesi dış ve iç tehlike indeksi olarak adlandırılan tek bir miktara dönüştürülür. Bu indeksin asıl amacı, radyasyon dozunu, 1 mSv/y doz eşdeğer limitine sınırlamaktır (ICRP, 1992). Dış Zarar (H_{ex}) ve İç Zarar (H_{in}) İndeksi Denk. (4.6) ve Denk. (4.7) kullanılarak hesaplanır.

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \leq 1 \quad (4.6)$$

$$H_{in} = \frac{A_{Ra}}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \leq 1 \quad (4.7)$$

Burada, A_K , ^{40}K için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu, A_{Ra} , ^{226}Ra için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu ve A_{Th} , ^{232}Th için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu ve göstermektedir.



Şekil 4.8. Çakıl örnekleri için Dış Zarar (Hex) ve İç Zarar (Hin) İndeksi

Şekil 4.8' den görüldüğü gibi en yüksek Dış Zarar (H_{ex}) indeksi S12 numunesinde en düşük Dış Zarar (H_{ex}) indeksi ise S2 numunesinde hesaplanmıştır. En yüksek İç Zarar (H_{in}) indeksi S15 numunesinde en düşük İç Zarar (H_{in}) indeksi ise S2 numunesinde hesaplanmıştır. Hesaplanan Dış Zarar (H_{ex}) ve İç Zarar (H_{in}) İndeksleri tüm çakıl numunelere için 1 mSv/y doz eşdeğer limitinin altındadır.

Elde edilen aktivite konsantrasyonlarından faydalanılarak Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}), Dış Zarar (H_{ex}) ve İç Zarar (H_{in}) İndeksleri gibi radyolojik zarar indeksleri de çalışma kapsamında hesaplanmıştır. Hesaplanmış olan zarar indeksleri sonuçları Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Zarar indeksleri sonuçları

Örnek No	Ra_{eq} (Bq/kg)	H_{ex}	H_{in}
S1	83,800	0,226	0,302
S2	65,158	0,176	0,229
S3	65,382	0,177	0,242
S4	94,488	0,255	0,339
S5	106,571	0,288	0,380
S6	97,715	0,264	0,355
S7	104,531	0,282	0,370
S8	106,949	0,289	0,387
S9	96,233	0,260	0,343
S10	111,326	0,301	0,387
S11	106,840	0,289	0,385
S12	111,989	0,302	0,392
S13	96,391	0,260	0,360
S14	92,978	0,251	0,337
S15	110,984	0,300	0,393

Çizelge 4.4' de görüldüğü gibi radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) 65,158 Bq/kg (S2) ile 111,989 Bq/kg (S12) arasında değişmiştir. UNSCEAR 2000 raporuna göre Radyum eşdeğer aktivitesi için limit değer 370 Bq/kg olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan tüm çakıl numunelerinde Radyum eşdeğer aktivite değerlerinin limit değerinin altında olduğu gözlenmiştir. Dış Zarar (H_{ex}) İndeksi 0,176 mSv/y (S2) ile 0,302 mSv/y (S12) arasında değişmiştir. İç Zarar (H_{in})

İndeksi 0,229 mSv/y (S2) ile 0,393 mSv/y (S12) arasında değişmiştir. Hesaplanan Dış Zarar (H_{ex}) ve İç Zarar (H_{in}) İndeksleri tüm çakıl numunelere için 1 mSv/y doz eşdeğer limitinin altındadır.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyanın oluşumundan itibaren yeryüzünde bulunan radyoizotoplar iç ve dış ışınlama şeklinde insan vücudunu iki şekilde ışınlamaya maruz bırakırlar. Dış kaynaklı ışınlamanın temel nedeni doğal olarak bulunan ^{40}K radyoizotopundan veya ^{232}Th ve ^{238}U serilerinden kaynaklanan gama ışınlamalarıdır. Özellikle granit ve fosfat kayalarda, tortularda farklı oranlarda radyoaktivite bulunabilmektedir. Buna ek olarak, yapı malzemeleri de taş, toprak ve kayalardan üretilmiş olmaları nedeniyle az miktarda da olsa radyoaktivite içermektedirler. İnsanlar yaşadıkları coğrafi şartlara ve buldukları yaşam standartlarına bağlı olarak farklı oranlarda radyasyona maruz kalabilmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında Antalya ili içerisinde bulunan ve özellikle yaz aylarında insanların yoğun ilgi gösterdiği Konyaaltı Plajı' ndaki doğal radyoaktivite seviyesinin gama spektrometresi yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür.

Konyaaltı Plajı' nın doğal yapısında bulunan çakıl örnekleri üzerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen ortalama aktivite konsantrasyonları UNSCEAR 2000 raporlarında belirtilmiş olan değerlerden düşük olduğu görülmüştür. Özellikle bu konsantrasyonlar yardımıyla hesaplanmış olan doz değerleri ve radyolojik zarar indeksleri doğal radyoaktivitenin canlılara ve çevreye vermiş olduğu zararların değerlendirilmesinde daha etkili ve daha belirleyici niceliklerdir. Bu bağlamda Konyaaltı Plajı' ndan toplanmış olan çakıl örnekleri absorblanmış doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) ve yaşam boyu aşırı kanser riski (YAKR) doz değerleri açısından dünya ortalamalarından düşük olduğu tespit edilmiştir. Radium eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}), Dış Zarar (H_{ex}) ve İç Zarar (H_{in}) İndeksleri gibi radyolojik zarar indeksleri açısından da dünya ortalamalarından düşük olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda tespit edilmiştir.

Bu bilgiler ışığında, Antalya-Konyaaltı Plajı' nın doğal radyoaktivite seviyelerinin limit değerlerin altında olduğundan dolayı çevreye ve insanlara zarar verecek boyutta olmadığı sonucu çıkartılabilir. Ayrıca yapılan bu çalışma

ile hem toplum sağlığı açısından hem de literatürdeki eksikliğin giderilmesi açısından önem kazanmaktadır.

Antalya ilinin özellikle uzun bir sahil şeridine sahip olması ve turistik merkezlerimizden biri olması münasebetiyle bu sahil şeridi üzerinde ilerde yapılacak olan çalışmalara ışık tutması açısından önemli bir çalışma olacaktır.



6. KAYNAKLAR

- A. Papadopoulos, G. Christofides, A. Koroneos, L. Papadopoulou, C. Papastefanou, S. Stoulos, 2013. Natural radioactivity and radiation index of the major plutonic bodies in Greece. *Journal of Environmental Radioactivity* 124, 227-238.
- Agbalagba E.O., Avwiri G.O., Chad-Umeroh Y.E., 2012 “ γ -spektroskopi measurement of natural radioactivity and assessment of radiation hazard indices in soil samples from oil environment of Delta State, Nigeria” *Journal of Environmental Radioactivity* Vol. 109; 64- 70
- Akkurt, I., Mavi, B., Akyıldırım, H., Gunoglu, K., 2009. Natural radioactivity of coals and its risk assessment. *International Journal of the Physical Sciences*, Vol: 4(7), p. 403-406
- Akkurt, I., Oruncak, B., Gunoglu, K., 2010. Natural radioactivity and dose rates in commercially used marble from Afyonkarahisar-Turkey. *International Journal of the Physical Sciences*, Vol: 5(2), p. 170-173
- Al-Ghamdi, H., Al-Muqrin, A., El-Sharkawy, A., 2016. Assessment of natural radioactivity and ^{137}Cs in some coastal areas of the Saudi Arabian gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 104, 29–33.
- Al-Trabulsi, H., Khater, A., Habbani, F., 2011. Radioactivity levels and radiological hazard indices at the Saudi coastline of the Gulf of Aqaba. *Radiat. Phys. Chem.* 80, 343–348.
- Almayahi, B.A., Tajuddin, A.A., Jaafar, M.S., 2012. Effect of the natural radioactivity concentrations and $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ disequilibrium on cancer diseases in Penang, Malaysia. *Radiat. Phys. Chem.* 81, 1547–1558.
- Almayahi B.A., Tajuddin A.A., Jaafar M.S., 2012. “Radiation hazard indices of soil and water samples in Northern Malaysian Peninsula”. *Applied Radiation and Isotopes* Vol.70; 2652-2660.
- Baykara, O., Doğru, M., Karatepe, Ş., 2007. Assessment of Natural Radioactivity and its Significant Hazards of different Kinds Marbles in Elazığ (Turkey). e- *Journal of New World Sciences Academy*, 2(4), p.256-264
- Beretka, J., Mathew, P. J., 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Phys.*, , 48, p. 87–95.
- Eisenbud, M., Gesell, T., 1997. *Environmental Radioactivity From Natural, Industrial and Military Sources*. Academic Press, 683 s., London.
- Gandhi, S.M., Ravisankar, R., Rajalakshmi, A., Sivakumar, S., Chandrasekaran, A., Anand, P.D., 2014. Measurements of natural gamma radiation in beach sediments of North east coast of Tamilnadu, India by gamma ray

spectrometry with multivariate statistical approach. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 7 (1), 7–17.

Günoğlu, K., 2012. Türkiye’deki Bazı Doğal Taşların Radyoaktivite Tayini Ve Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 112s, Isparta.

Halime Kayakökü, Şule Karatepe, Mahmut Doğru, 2016. Measurements of radioactivity and dose assessments in some building materials in Bitlis, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes* 115, 172–179.

Hamideen Jordan M.S., Sharaf J., 2012. “Natural radioactivity investigations in soil samples obtained from phosphate hills in the Russaifaregion”. *Radiation Physics and Chemistry* Vol. 81; 1559-1562

Harb, S., 2008. Natural radioactivity and external gamma radiation exposure at the coastal Red Sea in Egypt. *Radiat. Prot. Dosimetry* 130 (3), 376–384.

Huang, Y., Lu, Xinwei, Ding, X.W., Feng, T., 2015. Natural radioactivity level in beach sand along the coast of Xiamen Island, China. *Mar. Pollut. Bull.* 91, 357–361.

ICRP, 1990. Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, in ICRP Publication 60. Pergamon Press Annals of ICRP, Oxford, UK.

ICRP, 1992. (International Commission on Radiological Protection) Protection against radon-222 at home and at work (ICRP Publication 65) Annals of the ICRP, 23(2). Pergamon Press, Oxford.

Jinlong Wang, Jinzhou Du, Qianqian Bi, 2017. Natural radioactivity assessment of surface sediments in the Yangtze Estuary. *Marine Pollution Bulletin* 114, 602–608.

Kanışkan, N., Açıkkalp, E., Caner, N., Güven, A., 1996. Temel Kimya Ünite 13- Radyoaktivite. Anadolu Üniversitesi Yayınları No: 672 Açıköğretim Fakültesi Yayınları No: 329

Korkulu, Z., Özkan, N., 2013. Determination of natural radioactivity levels of beach sand samples in the black sea coast of Kocaeli (Turkey). *Radiat. Phys. Chem.* 88, 27–31.

Krane, S.K., 1988. *Nuclear Physics*. John Wiley & Sons, 404 s, New York.

M.A.M. Uosif, Shams A.M. Issa, L.M. Abd El-Salam, 2015. Measurement of natural radioactivity in granites and its quartz-bearing gold at El-Fawakhir area (Central Eastern Desert), Egypt. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8, 393-398.

Malain, D., Regan, P.H., Bradley, D.A., Matthews, M., Al-Sulaiti, H.A., Santawamaitre, T., 2012. An evaluation of the natural radioactivity in

Andaman beach sand samples of Thailand after the 2004 tsunami. *Appl. Radiat. Isot.* 70 (8), 1467–1474.

- Morsy Z. , Abd El-Wahab M., El-Faramawy N., 2012. “Determination of natural radioactive elements in Abo Zaabal, Egypt by means of gamma spectroscopy”. *Annals of Nuclear Energy* vol. 44; 8-11
- Moura, C.L., Artur, A.C., Bonotto, D.M., Guedes, S., Martinelli, C.D., 2011. Natural radioactivity and radon exhalation rate in Brazilian igneous rocks *Applied Radiation and Isotopes*, Vol:69, p.1094-1099.
- Oyeyemi K.D., Usikalu M.R., Aizebeokhai, A.P., Achuka J.A., Jonathan O. (2017). Measurements of radioactivity levels in part of Ota Southwestern Nigeria: Implications for radiological hazards indices and excess lifetime cancer-risks *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 852, 1-8.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G., Çelebi, N., 2005. Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in Southeast part of Eskisehir, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol:63, p. 267-275
- Özmen, S.F., Cesur, A., Boztosun, I., Yavuz, M., 2014. Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples from Mediterranean Coast of Turkey. *Radiat. Phys. Chem.* 103, 37–44.
- R. Hariprasath, M.T. Jose, I. Vijayalakshmi, A. Leo Rajesh, 2016. Determination of natural radioactivity and radiological hazards of sediment sands in Tiruchirappalli district, Tamil Nadu, India. *Chemical Data Collections* 2, 1–9.
- Ravisankar R., Chandrasekaran A., Vijayagopal P., Venkatraman B., Senthilkumar G., Eswaran P., Rajalakshmi A., 2012. “Natural radioactivity in soil samples of Yelagiri Hills, Timilnadu, India and the associated radiation hazards ”. *Radiation Physics and Chemistry* Vol. 81;1789-1795
- S. Fares, 2017. Measurements of natural radioactivity level in black sand and sediment samples of the Tamsah Lake beach in Suez Canal region in Egypt. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 10, 194-203.
- S. Sivakumar, A. Chandrasekaran, R. Ravisankar, S.M. Ravikumar, J. Prince Prakash Jebakumar, P. Vijayagopal, I. Vijayalakshmi, M.T. Jose, 2014. Measurement of natural radioactivity and evaluation of radiation hazards in coastal sediments of east coast of Tamilnadu using statistical approach. *Journal of Taibah University for Science* 8, 375–384.
- Santawamaitre T., Malain D., Al-Sulaiti H.A., Matthews M. , Bradley D.A., Regan P.H., 2011. “Study of natural radioactivity in riverbank soils along the Chao Phraya river basin in Thailand”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* Vol.652; 920-924.

TAEK Bilgi Köşesi, Doğal Radyasyon Kaynakları.

- Tari, M., Zarandi, S.A.M., Mohammadi, K., Zare, M.R., 2013. The measurement of gammaemitting radionuclides in beach sand cores of coastal regions of Ramsar, Iran using HPGe detectors. *Mar. Pollut. Bull.* 74, 425–434.
- Tzortzis, M., Tsertos, H., Christofides, S., Christodoulides, G., 2003a. Gamma radiation measurements and dose rates in commercially-used natural tiling rocks (granites). *Journal of Environmental Radioactivity*, volume 70(3), p. 223-235(13)
- UNSCEAR 1988 Report ,1988. Sources, Effects And Risks Of Ionizing Radiation, Annex A: Exposure From Natural Sources Of Radiation
- UNSCEAR 2000 Report, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume 1 Sources, ANNEX B-Exposures From Natural Radiation Sources.
- UNSCEAR 2000 Report, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume 2 Effects, ANNEX G- Biological Effects at Low Radiation Doses.
- Veiga R, Sanches N, Anjos RM, Macario K, Bastos J, Iguatemy M, Aguiar JG, Santos AMA, Mosquera B, Carvalho C, Baptista FM, Umisedo NK (2006). *Radiat. Meas.* 41: 189-196.
- Yaren H., Karayılanoğlu T. (2005). Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkileri, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 4 (4), 199-208.
- Zare,M.R., Mostajaboddavati,M., Kamali,M., Abdi, M.R., Mortazavi, M.S., 2012. ²³⁵U, ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs activity concentrations in marine sediments along the northern coast of Oman Sea using high-resolution gamma-ray spectrometry. *Mar. Pollut. Bull.* 64 (9), 1956–1961.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sibel SEÇKİNER

Doğum Yeri ve Yılı : Yozgat, 1986

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu

Lise : Yozgat İstiklal Lisesi, (2004)

Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliği (2008)

Yayınları

1. S. Seçkiner, İ. Akkurt and K. Günoğlu, 2017. Determination of ^{40}K Concentration in Gravel Samples from Konyaaltı Beach, Antalya. ACTA PHYSICA POLONICA A, Vol. 132, No. 3-II, 1095-1097.