

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

**TEKİROVA (ANTALYA) OFİYOLİTLERİ'NİN DOĞAL VE YAPAY
RADYOAKTİVİTE (GAMA) SEVİYELERİ VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Sezer ÜNAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2017

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

**TEKİROVA (ANTALYA) OFİYOLİTLERİ'NİN DOĞAL VE YAPAY
RADYOAKTİVİTE (GAMA) SEVİYELERİ VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Sezer ÜNAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
(BAP) tarafından FYL-2016-1038 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

2017

ÖZET

TEKİROVA (ANTALYA) OFİYOLİTLERİ'NİN DOĞAL VE YAPAY RADYOAKTİVİTE (GAMA) SEVİYELERİ VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Sezer ÜNAL

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN

Mayıs 2017, 117 Sayfa

Bu çalışmanın amacı, Antalya–Tekirova bölgesinde yayılım gösteren ofiyolit kayaçlarının doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerinin genel değerlendirmelerini ortaya koymaktadır. Antalya-Tekirova ofiyolit kayaçlarının örneklere ait jeolojik incelemesi yapılmış, teknolojik özellikleri araştırılmış, kimyasal analizleri incelenmiş ve tüm bu veriler gama spektrometre değerleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Kayaçların jeolojik olarak değerlendirmeleri yapılmış olup, sayısal veriler ile ilgili tablolara aktarılarak birbirleri arasında basit istatistikler yapılmıştır. Araştırmadan elde edilen bulguların sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, doğal ve yapay anomali gösteren radyasyon değerlerine sahip kayaçlar ön plana çıkarılmıştır. Tez çalışması kapsamında ölçülen radyoaktivite sonuçları K-40 aktivitesi için 28,82-985,83 Bq/kg aralığında, U-238(Ra) aktivitesi için 0,26-212,07 Bq/kg aralığında, Th-232 aktivitesi için 1,06-104,30 Bq/kg değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Dünya ve Türkiye ortalamaları civarındaki bu değerler kullanılarak yapılan hesaplamalarda örneklerin ürettiği radyasyondan kaynaklanan ortalama doz değerinin müsaade edilebilir doz seviyesinin altında olduğu belirlenmiştir. Ancak Tekirova S25, S30 ve S31, Kemer S33, S35 ve S40, Kumluca S4 ve S29 lokasyonlarında radyasyon değerleri üst seviyelerde belirlenmiş olup bu bölgede yaşayan insanların sağlığının kontrol edilmesinde fayda olduğu düşünülmüştür. Araştırma sonuçları genel anlamda Antalya-Tekirova ofiyolit kayaçların doğal radyoaktivite açısından insan sağlığını önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Tekirova Ofiyoliti, Radyasyon, K-40, U-238, Th-232.

JÜRİ: Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN (Danışman)
Prof. Dr. Nurdane İLBEYLİ
Doç. Dr. Yusuf URAS

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF TEKİROVA (ANTALYA) OPIOLITIES ON NATURAL AND ARTIFIED RADIOACTIVITY (GAMA) LEVELS AND HUMAN HEALTH

Sezer ÜNAL

**MSc Thesis in Geological Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN
May 2017, 117 pages**

The purpose of this study is to find out overall evaluations of natural and artificial radioactivity levels of ophiolite rocks exposed over location of Tekirova region in Antalya. An examination of geological regarding Antalya-Tekirova ophiolite rock samples were conducted, their technological properties were investigated, chemical analyzes were examined and all these data were evaluated together with gamma spectrometer values. Evaluation of the rocks as geological has been carried out in the meantime by transferring related to the tables, basic statistics have been fulfilled between each other. In light of findings obtained from the research were emerged to the foreground with rocks having radiation values indicating natural and artificial anomaly. Within the context of thesis, the results of radioactivity measuring were identified to vary in the range of 28,82-985,83 Bq / kg for K-40 activity, in the range of 0.26-212,07 Bq / kg for U-238 (Ra) activity, between 1,06 and 104,30 Bq/kg for Th-232 activity, Using of these values around the world and Turkey averages, fulfilling in calculation given the result of dose values that arising from average radiation by samples producing was identified to be below of the level of permissible dose values. However, Tekirova S25, S30 and S31, Kemer S33, S35 and S40, Kumluca S4 and S29 at locations have been determined to have upper limits of radiation and it is thought that it is beneficial to control the health of the people living in this region. The results of the research suggest that the ophiolite rocks of Antalya-Tekirova on the whole do not affect human health significantly in terms of natural radioactivity.

KEYWORDS: Tekirova ophiolite, Radiation, K-40, U-238, Th-232.

COMMITTEE: Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN (Supervisor)
Prof. Dr. Nurdane İLBEYLİ
Assoc. Prof. Yusuf URAS

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana yol gösteren, öncelikle örnek akademik hayatı ile daima yanımda olan ve arazi çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. M. Gürhan YALÇIN' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerin gerçekleştirilmesine imkan sağlayan ve radyasyon ölçüm sonuçların değerlendirilmesinde katkı sağlayan Akdeniz Üniversitesi Fizik bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Haris DAPO'ya, çok teşekkür ederim.

Çalışmanın hazırlanma sürecinde arazi ve laboratuvar çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Akdeniz Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlilerinden Ebru Paksu ve Alper Güneş hocalarıma çok teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarımı ve eğitimimi almamı sağlayan, eğitimim ve bu çalışmalar süresince gerek maddi gerekse manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme de çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ.....	11
1.1. Tezin Amacı.....	12
1.2. Literatür Çalışmaları.....	13
2. RADYASYON VE ÖZELLİKLERİ	24
2.1. Radyasyon Kaynakları.....	26
2.1.1. Doğal radyasyon.....	26
2.1.2. Yapay radyasyon.....	34
2.2. Radyoaktivite.....	35
2.3. Radyoaktif Bozunma Türleri	37
2.3.1 Alfa bozunması.....	39
2.3.2 Beta bozunması.....	40
2.3.3 Elektron yakalama bozunumu.....	42
2.3.4 Gama ışını yayınlanması.....	43
2.4 Radyasyon Birimleri.....	44
2.4.1 Aktivite birimi	45
2.4.2 Işınlama birimi	46
2.4.3 Absorblanan doz.....	46
2.4.4 Doz eşdeğer birim	46
2.5 Radyoaktif Elementler ile Özellikleri.....	47
2.5.1 Uranyum.....	47
2.5.2 Potasyum	50
2.5.3 Toryum.....	51
2.5.4 Radyum	53

3. MATERYAL VE METOT	55
3.1. Radyasyon Ölçüm Yöntemleri	55
3.1.1. İyon odası dedektörü.....	55
3.1.2. Geiger-Mueller sayacı	55
3.1.3. Orantılı sayaçlar.....	56
3.1.4. Sintilasyon dedektörleri.....	57
3.1.5. Yarı İletken dedektörler.....	57
3.1.6. HPGe gama spektrometresi sistemi	57
3.1.7. Enerji kalibrasyonu	59
3.1.8. Verim kalibrasyonu.....	60
3.2. Çalışma Alanında İncelenen Kayaçlar	61
3.3. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi ve Özellikleri	63
3.4. Kayaç Örneklerinin Analizlere Hazırlanması	68
3.5. Kayaç Örneklerinde Aktivite Hesaplamaları	75
3.5.1. Havada soğurulan doz hızı (D).....	76
3.5.2. Yıllık etkin doz hızı (AED)	76
3.5.3. Radyuma eşdeğer aktivite (Raeq)	77
3.5.4. Harici radyasyon riski (Hex)	77
3.5.5. Dahili radyasyon riski (Hin)	77
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	79
4.1. Tekirova Bölgesine Ait Aktivite Değerleri	79
4.2. Kemer Bölgesine Ait Aktivite Değerleri.....	83
4.3. Kumluca Bölgesine Ait Aktivite Değerleri	86
4.4. Tekirova, Kemer ve Kumluca Bölgesine Ait Ortalama Değerler	91
4.5. Numune Örneklerinin Kimyasal Analiz Değerleri.....	94
5. SONUÇLAR	101
6. KAYNAKÇA.....	105
7. EKLER.....	116
Ek 1: Kimyasal Analiz Değerleri	116
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Bq: Becquerel

Kg: Kilogram

Ci: Curie

⁰C: Santigrad derece

Gy: Gray

R: Röntgen

rad: Radiation absorbed dose

Sv: Sievert

Rem: Roentgen Equivalent Man

α : Alfa

β^- : Elektron

β^+ : Pozitron

γ : Gama

n: Nötron

p: Proton

ϵ : Verim

t: Sayım süresi

m: Kütle (kg)

Th: Toryum

U: Uranyum

K: Potasyum

Ra: Radyum

KeV: Elektronvolt

Kısaltmalar

SI: Uluslararası Birimler Sistemi

ICRU: Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu

TAEK: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

IAEA: Uluslararası Atom Enerji Ajansı

UNSCEAR: Birleşmiş Milletler Atom Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi

ICRP: Radyolojik Uluslararası Komisyon Koruması

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. İnsanlara radyasyon geçiş yolları	24
Şekil 2.2. Dünya üzerindeki doğal ve yapay radyasyon dağılımı	26
Şekil 2.3. Radyasyon kaynaklarının insan sağlığı üzerine etkileri.....	27
Şekil 2.4. Doğal radyasyon kaynaklarının dünyayı etkiledikleri radyasyon doz yüzde değerleri.....	29
Şekil 2.5. Radon oluşumu	32
Şekil 2.6. Dünyadaki yapay radyasyondan etkilenilen radyasyon doz oranları.....	35
Şekil 2.7. Kararlı çekirdek oluşumu.....	38
Şekil 2.8. Alfa bozunumu.....	40
Şekil 2.9. Örnek bir beta(β^-) bozunumu	41
Şekil 2.10. Örnek bir beta(β^+) Bozunumu	41
Şekil 2.11. Elektronların enerji spektrumlarına örnek	42
Şekil 2.12. Gama bozunumu	43
Şekil 2.13. Uranyum-238 radyoaktif serisi	50
Şekil 2.14. Th-232 bozunma şekli.....	53
Şekil 3.1. Geiger- Muellere farklı voltaj değerlerine göre görünümü	56
Şekil 3.2. Gama spektrometre sistemin blok şeması.....	58
Şekil 3.3. Yüksek çözünürlüklü HPGe dedektörü	59
Şekil 3.4. Enerji kalibrasyon eğrisi	60
Şekil 3.5. Verim kalibrasyon eğrisi.....	60
Şekil 3.6. Çalışma alanındaki serpantin örneği.....	61
Şekil 3.7. Çalışma alanı yer buldur haritası	62
Şekil 3.8. Ofiyolit kayaçların çıkarıldığı bölgelerin dağılımı	63
Şekil 3.9. Batı toroslar tektonik birlikleri	64
Şekil 3.10. Çalışma alanının genel jeolojisi	67
Şekil 3.11. Numune örneklerinin laboratuvara taşınması	69
Şekil 3.12. Numune örneklerinin küçük parçalara ayrılması.....	70
Şekil 3.13. Numunelerin öğütücüde toz haline getirilmesi.....	71
Şekil 3.14. Numunelerin hassas terazide tartılarak numaralandırılması.....	72
Şekil 3.15. Numune örneklerinin temizlenmesi.....	72
Şekil 3.16. Numunelerin radyasyon ölçümü için hazır hale getirilmesi	73

Şekil 3. 17. HPGe dedektörünün iç kısmı.....	75
Şekil 4.1. Tekirova bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri	80
Şekil 4.2. Tekirova bölgesine ait; D(nGy/h), Raeq(Bq/kg) ve AED(mSv/y) değerleri..	82
Şekil 4.3. Tekirova bölgesine ait; Hin ve Hex değerleri.....	81
Şekil 4.4. Kemer bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri.....	84
Şekil 4.5. Kemer bölgesine ait; D(nGy/h), Raeq(Bq/kg) ve AED(mSv/y) değerleri.....	86
Şekil 4.6. Kemer bölgesine ait; Hin ve Hex değerleri	86
Şekil 4.7. Kumluca bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri	88
Şekil 4.8. Kumluca bölgesine ait; D(nGy/h), Raeq(Bq/kg) ve AED(mSv/y) değerleri..	90
Şekil 4.9. Kumluca Bölgesine ait; Hin ve Hex değerleri.....	90
Şekil 4.10. Tüm bölgelere ait ortalama K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri.	91
Şekil 4.11. Tüm bölgelere ait D(nGy/h), Raeq(Bq/kg) ve AED(mSv) ortalama değerleri	92
Şekil 4.12. Tüm bölgelere ait radyasyon riski oluşturan ofiyolitik kayalar	92
Şekil 4.13. Kayaç örneklerin özdeğerlerinin dağılımı (Scree Plot)	98
Şekil 4.14. Kayaç örneklerinin dendogram değerleri	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Radyasyon kaynaklarının etkiledikleri doz dağılımı	29
Çizelge 2. 2. Topraktaki doğal radyonüklitler	31
Çizelge 2. 3. Yapı malzemelerindeki doğal radyoaktivite için ölçülmesi esas alınan veriler	31
Çizelge 2.4. Radonun özellikleri.....	33
Çizelge 2.5. Çeşitli kaya tipleri ile toprağın ortalama radyonüklid konsantrasyon değerleri.....	37
Çizelge 2.6. Radyoaktif bozunma ürünlerinin özellikleri	38
Çizelge 2.7. Radyoaktif bozunma çeşitleri	39
Çizelge 2. 8. Radyoaktif izotopların yarı ömürleri	44
Çizelge 2.9. Eski ve yeni radyasyon birimleri	45
Çizelge 2.10. Bazı radyasyon türlerinin kalite faktörleri	47
Çizelge 2.11. Uranyumun özellikleri	48
Çizelge 2.12. Radyonüklidlerin ışın türleri ve uranyumun bozunum zinciri	49
Çizelge 2. 13. Potasyumun özellikleri.....	51
Çizelge 2. 14. Toryumun özellikleri	52
Çizelge 2. 15. Radyumun özellikleri.....	54
Çizelge 3. 1. 10000s ölçüm süresi için ölçülebilen minimum aktivite değerleri	76
Çizelge 4.1. Tekirova bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri	79
Çizelge 4.2. Tekirova bölgesine ait D(nGy/h), Raeq(Bq/kg),Hin, Hex ve AED(mSv/y) değerleri.....	81
Çizelge 4. 3. Kemer bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri	83
Çizelge 4.4. Kemer bölgesine ait D(nGy/h), Raeq(Bq/kg),Hin, Hex ve AED(mSv/y) değerleri.....	85
Çizelge 4.5. Kumluca bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri.....	87
Çizelge 4.6. Kumluca bölgesine Ait D(nGy/h), Raeq(Bq/kg),Hin, Hex ve AED(mSv) değerleri.....	89
Çizelge 4.7. Tüm bölgelere ait ortalama K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri.....	91
Çizelge 4.8. Tüm bölgelere ait D(nGy/h), Raeq(Bq/kg) ve AED(mSv) ortalama Değerleri.....	92
Çizelge 4. 9. Ölçülen aktivite değerlerinin karşılaştırılması	93

Çizelge 4.10. Kimyasal elementlere ilişkin aritmetik ortalama ve standart sapma Değerleri.....	95
Çizelge 4.11. Kayaç örneklerinin faktör analiz değerleri	96
Çizelge 4.12. Kimyasal elementlerin bileşen değerleri ilişkisi.....	97
Çizelge 4.13. Kimyasal elementlerin model summary ve anova ilişkisi	100



1. GİRİŞ

İnsanların ömürleri boyunca, yaşamlarını sürdürdükleri çevrede hem yaşadıkları ortama hem de yaşam kalitelerine bağlı olarak önemli ölçüde doğal radyasyon, yapay radyasyon kaynakları ve iç ile dış ışınlamalar sonucunda radyasyon etkisi altında kalmaktadırlar.

Dünya üzerinde hemen hemen var olan bütün maddeler çok az bir miktar da olsa radyoaktif elementler içermektedir. Radyasyon günümüzde artık hayatın gerçeği ve önemli bir parçası olarak kabul edilmek zorundadır. Günümüzde gelişen ileri teknolojik düzeydeki cihazlar, haberleşme kaynakları hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuşken dünyanın hemen hemen her yerinde kaçınılamaz bir şekilde bulunan radyoaktif elementler ve kaynaklar aracılığıyla, hayatımızı sürdürmekteyiz.

Yer kabuğu, soluduğumuz hava, içtiğimiz su ve yediğimiz besinlerdeki miktarlarda bulunan radyoaktif elementler; kozmik ışınlar, nükleer silahlar, nükleer enerji santrallerindeki kazalar radyasyon seviyesini önemli miktarda artmasına neden olmaktadır. Herhangi bir bölgenin radyasyon seviyesi o bölgenin deniz seviyesinden yüksekliği, topoğrafya düzeyi, jeolojik yapısı ve mineral oluşumları radyasyonun seviyesinde değişiklik göstermektedir. Radyasyon etkisinde normal bir bölgede yaşayan bir kişi doğal yollardan almış olduğu yıllık doz ortalaması 2.4 mSv civarındadır (IAEA 1996). Bu ortalama değer yaklaşık olarak %82'sinin sebebi doğal radyasyon kaynaklarından meydana gelmektedir. Bir bölgenin veya zeminin radyasyon düzeyinin belirlenmesi için ilk olarak o bölgenin toprağında, suyunda ve havasında meydana gelen radyoaktivite seviyesinin ölçülmesi gerekmektedir (UNSCEAR 1982).

Artık günümüzde bütün canlılar radyasyonla iç içe yaşamakta bunun en önemli nedenleri olarak güneşten gelen kozmik ışınlar sonucunda toprak, binaların yapımında kullanılan yapı malzemeleri, içtiğimiz ve kullandığımız sular en önemlisi olarak yediğimiz besinlerde doğal ve yapay kaynaklardan radyasyon ışınlanmaktadır. Doğal radyasyon kaynaklarından canlılar %85'lik bir doza yapay radyasyon kaynaklarından ise %15'lik bir etki altında kalmaktadır (UNSCEAR 2008).

Yerkabuğunun içindeki bütün elementler yoğunlukları birbirinden farklı olmak üzere radyonüklid barındırmaktadır. Radyonüklitlerin belirli konsantrasyon seviyeleri

bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı ve ortamına bağlıdır. Bunun da en önemli bilgi kaynağı termal sulardır. Bu ortamlar yer altı fayların ve çatlakların bulunduğu bölgelerde oluşur ve bu sular magmanın beslemesiyle birlikte daha fazla ısınarak yer yüzeyine çıkar. Sıcaklığın artmasıyla bulunduğu ortamlardaki mineralleri yıkayarak önemli bir seviyede radyoaktif bir element taşınması yapar. Yeryüzü kabuğunun biçimlenmesinde doğal ve yapay radyoaktivitenin bozulması sonucu açığa çıkan enerji; uranyum, toryum ve potasyumu meydana getirmektedir. Uranyum, radyonüklid bozunma kaynağı olup, bozunma ürünlerinden radyum alfa bozunması yaparak radona dönüşmektedir. (Rn-222) atmosfere yayılır ve sürekli bozunmaya devam eder. Radon, uranyumun bulunduğu her kayadan ve topraktan gelmekte olup gaz olduğu için boşluklardan yayılarak atmosfere doğru hareket eder. Radyoaktif bir gaz olan radon gazı hızlı bir şekilde yayılır ve insan vücuduna girerek kemik kanserini tetiklemektedir. Toryum-232 ise, başka bir radyoaktif dizinin başlangıç kaynağı olup onunda oluşum süreci uranyum ile aynıdır. Potasyum-40 ise kararlı bir element içerisinde bulunur.

En önemli sağlık sorunlarının başında radyasyon gelmektedir. İnsan vücudunu etkileyen radyasyon dozları, radyoaktif seviyesinin olması gereken değer üstünde bulunması durumunda insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bunun en önemli sebeplerinden birisi insanların kullanmış oldukları besinlerdir. Ayrıca içilen ve kullanılan sularda, sağlık amaçlı kullanılan termal kaplıca alanlarda ve yapı malzemelerinde (bina ve işyerleri gibi alanların yapımında kullanılan) malzemeler insanların radyasyona yakalanma riskini daha fazla arttırmaktadır. Bu nedenle bu tarz ortamlarda yaşayan kişilerin aldıkları radyasyon doz miktarlarının (uranyum, radyum, toryum ve potasyumun aktivite seviyelerinin) ölçülmesi büyük önem arz etmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, Antalya –Tekirova bölgesinde yayılım gösteren ofiyolit kayaçlarının doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerini belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda, 50 adet ofiyolit kayaç örneğinin; (Serpantin) radyasyon etkisi yapabilecek radyoaktif elementlerin Uranyum U-238 (^{226}Ra), Toryum (Th-232) ve Potasyum (K-40), radyasyon (gama) değerlerini belirlemek ve bu aktivitelerin insan sağlığı üzerine etkilerinin olup olmayacağını araştırmaktır. İnceleme alanından derlenen ofiyolitlerin kimyasal içerikleri de ayrıca incelenmektedir.

Bu amaca yönelik olarak 50 adet kayaç örneğinin doğal radyoaktivite seviyeleri gama spektrometre yöntemiyle ölçülmüştür. Bu sonuçlar kapsamında iç ve dış indeksleri, yıllık etkin doz hızları, radyuma eş değer aktivite değerleri hesaplanarak sonuçları hem ulusal hem de uluslararası ölçütlerle kıyaslanarak insan sağlığı üzerindeki riskleri etkileyip etkilemediği değerlendirilmiştir.

Bu tez kapsamı boyunca yapılan çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde yani giriş kısmında radyasyonun kaynaklarından olan doğal ve yapay radyasyonun insan vücudundaki etkileri ile radyoaktif elementlerin doğrultusu boyunca oluşan radon gazının insan sağlığı üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Ayrıca, konuya ilişkin daha fazla bilgi sağlamak için daha önce yapılmış bilimsel çalışmalar incelenmiştir.

İkinci bölümde radyasyonun tanımı, radyasyon kaynakları ve radyasyon bozunmaları ile radyoaktif elementler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Üçüncü bölümde radyoaktif cihazların kullanımı ve radyometrik ölçme işlemleri ayrıntılı biçimde ele alınmış ve 50 adet numune örneğinin hazırlanması anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise, çalışılan bölgenin genel jeolojik yapısı detaylı bir şekilde verilek elde edilen kayaç örneklerinin radyoaktivite ölçüm sonuçları çizelge ve grafikler halinde ayrıntılı bilgi sunularak daha önceki yapılan literatür çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır. En son bölümde ise elde edilen veriler ile Antalya- Tekirova ofiyolitlerine ait kayaçların insan sağlığını radyolojik açıdan nasıl etkilediği tartışılmıştır.

1.2 Literatür Çalışmaları

Son yıllarda yapılan radyasyon çalışmaları özellikle doğal radyasyon seviyelerini belirlemeye yönelik çalışmalar çok önemli bir şekilde ivme kazanmıştır. Çalışmaların birçoğunda gama spektrometre yöntemiyle ölçümler yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda birçok bölgedeki radyoaktivite seviyeleri birbirinden farklı değerlerde olmaları çalışılan ortamın deniz seviyesinden yüksekliği, topoğrafya düzeyi, jeolojik yapısı ve mineral oluşumları ile jeokimyasal özelliklerine bağlı olarak değiştikleri tespit edilmiştir.

Türkiye'nin güney batısındaki Antalya Ofiyolitleri, Neotetis okyanus havzalarının güney kolunun kalıntılarından oluşmaktadır. Antalya ofiyolit kompleksi Antalya

naplarının orta birimlerine ait olup, batı Toroslardaki en büyük nap sistemlerinden biridir (Lefevre 1967).

Tekirova Ofiyoliti için plütonik kayalardaki yapısal unsurlar kullanılarak bir okyanus ortası sırt modelini önermiştir (Juteau vd 1977). Bu modeli desteklemek, magma ve magma odası evrimini açıklamak için jeokimyasal veriler sunulmuştur (Juteau ve Whitechurch 1980).

Tekirova Bölgesi Güney Neotetis okyanus havzası içinde oluşan Geç Kretase ofiyolit parçaları (Robertson ve Woodcock 1980) içermektedir. Tekirova ofiyolitleri alttan üste doğru, eksiksiz bir istif sunmaktadır. Kemer bölgesinde tabakalı dayklar ile izotropik gabrolar vardır. Manto Tekirova yapısal bölge içinde Adrasan, Çıralı, Tekirova Kemer bölgelerinde görülmektedir.

Tekirova Ofiyolitleri; manto peridotitleri, ultra mafik-mafik kümülatlar, izotrop gabro, tabakalı dayk, volkanikler ve sedimentlerle ilişkilerini ortaya koymaya çalışmış ve Geç Kretase zamanında pelajik kireçtaşları ile mafik volkanik kayaların ardalanmalı olduğunu belirtmişlerdir (Robertson ve Woodcock 1982).

Batı Toroslarda incelemelerde bulunan (Ersoy 1990) Beydağları Otoktonu üzerinde yer alan allokton ünitelerin kökeni üzerine jeolojik çalışmalar yapmıştır. Bu kapsamda bölgede Menderes Masifi, Batı Toros Teknesi ve Beydağları Otoktonu bulunmaktadır.

Meksika'da yapılan bir çalışmada açık ve kapalı alanlardaki toprakların içerisindeki radon gazının doğal radyoaktivite konsantrasyonlarını ilişkilendirilmiştir. İzleme olarak LR-115 type II raylı dedektör ile farklı tespit cihazlarının geometrileri kullanılarak yapılmıştır. İç ve dış mekan radon konsantrasyonları 100 Bq/m³'den değerlerle karşılaştırılmıştır. Toprağın radon konsantrasyonları jeolojik yapısına farklılık göstermiştir (Segovia 1991).

Kenya'da yapılan çok önemli bir çalışmada yine yapı malzemeleri üzerine yapılarak elde edilen değerler dünya ortalamasının altındadır. NaI(Tl) dedektörü kullanılarak yapılmış olup sonuçlar sırasıyla 40K için 237,1 Bq/kg, 226Ra için 11,0 Bq/kg ve 232Th için 5,0 Bq/kg değerlerinde bulunmuştur (Mustapha vd 1997).

(Shenber 1997) yılında yapılan çalışmada toprak numunelerinin doğal radyoaktivite derişimleri hesaplanmıştır. Toprak numunelerinin ölçümleri HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi kullanılarak ölçülmüştür. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerleri 10.5 Bq/kg, 9.5 Bq/kg ve 270 Bq/kg değerlerinde ölçülmüştür. Sonuçlar dünya ortalamasının oldukça altında olduğu belirlenmiştir.

Hindistan'ın Gudalero topraklarında yapılan çalışmada doğal radyoaktivite seviyeleri HPGe gama spektrometre ile belirlenmiş olup K-40 için 195,2 Bq/kg, U-238 37,7 Bq/kg ve Th-232 75,3 Bq/kg değerlerinde bulunmuştur (Selvasekarapandian 2000).

Nigeria (Ikogosi- Ekiti Bölgesinde) NaI (Ti) detektörü kullanılarak yapılan çalışma da kayalardaki K-40, U-238 ve Th-232 aktivite derişim miktarları sırasıyla 1203,1Bq/kg-57,9 Bq/kg, 3,5 ile 110,5 Bq/kg ve 81,6 Bq/kg olarak ölçülmüştür (Ajayi 2000).

İstanbul ve çevresinde yapılan çalışmada alınan toprak örneklerinin doğal radyoaktivite derişimleri belirlenmiştir. Ölçümler gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Ortalama aktivite değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için radyoaktivite değerleri 21 Bq/kg, 37 Bq/kg, ve 342 Bq/kg değerlerinde hesaplanmıştır (Karahan ve Bayulken 2000).

Gana (Büyük Accra) bölgesi'nde yapılan bilimsel çalışmada kum örneklerinde, K-40 radyoaktivite değerleri 91,1-1395,9 Bq/kg arasında; U-238 radyoaktivitesi 2,4-62,7 Bq/kg arasında, Th-232 radyoaktivitesi 3,2-145,7 Bq/kg arasında değiştiği belirlenmiştir (Yeboah 2001).

Birden fazla çalışmada kullanılan germanyum detektörü ile HPGe gama spektrometresi kullanılarak yapılan Ürdün'deki bilimsel çalışmada U-238 ve K-40 aktivite derişim değerleri dünya ortalamasının oldukça altında olup çalışma sonuçları sırasıyla, 0.14 ile 34.8 Bq/kg olarak verilmiştir (Sagan vd 2001).

Cezayir'de yapılan çalışmada inşaat malzemelerinde kullanılan yapı malzeleri üzerine yapılmış olup sonuçları HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüş ve aktivite derişimleri ^{226}Ra için 12-65 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 7-51 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 36-675 Bq/kg aralığında sonuçlandırılmıştır (Amrani vd 2001).

Stromboli (Aerolian Adasında) yapılan çalışmada HPG'e gama spektrometresi kullanılarak toprak örnekleri için K-40 derişimi 340 Bq/kg, U-238 derişimi 31 Bq/kg ve Th- 232 derişimi 30 Bq/kg olarak sonuçlandırılmıştır (Brai vd 2002).

Hindistan'da yapılan bir diğer önemli çalışma inşaatların yapımında kullanılan yapı malzemeleridir. NaI(Tl) dedektörü kullanılarak yapılan çalışmada 226Ra, 232Th ve 40K aktivite derişimleri dünya ortalamasının oldukça altında olup sonuçlar sırasıyla 3,1Bq/kg, 14 Bq/kg ve 24,3 Bq/kg değerlerinde sonuçlandırılmıştır (Kumar vd 2003).

Kıbrıs'da ticari amaçlı kullanılan granit kayaçları üzerine yapılan çalışmada yüksek çözünürlüklü gama ray spektrometresi kullanılarak yapılan ölçümlerde ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K radyoaktivite değerleri 1-588 Bq/kg, 1-906 Bq/kg ve 50-1606 Bq/kg olarak ölçülmüştür (Tzortzis vd 2003).

Yapılan bir diğer çalışmada yine HPGe gama spektrometresi kullanılarak Polonya'daki toprak ve kaya örnekleri üzerinde çalışılmış ve bu çalışma sonucunda radyoaktivite seviyeleri K-40 derişiminin 320 ile 1200 Bq/kg arasında, Ac-228 derişiminin 25 ile 62 Bq/kg arasında ve ²²⁶Ra derişiminin 31 ile 122 Bq/kg arasında sonuçlandığı tespit edilmiştir (Malczewski 2004).

Mısır'da Qena bölgesinde yapılan çalışmada yapı malzemelerinde kullanılan tuğla, çimento, jips, seramik, mermer, kireç taşı ve granit numunelerinin radyoaktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Numune örnekleri gamma spektrometre sistemiyle ölçülmüş olup sonuçlar içerisinde en yüksek değerdeki mermer örneği ²²⁶Ra aktivitesinde 83Bq/kg ile 205 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Granit örneğinde en yüksek değer ²³²Th aktivitesinde 14Bq/kg ile 118Bq/kg aralığında ölçülmüştür. ⁴⁰K radyoaktivitesi için ise 390 Bq/kg ile 870 Bq/kg değerlerinde belirlenmiştir (Ahmed 2005).

Çin'de Xi'an bölgesinde yapı malzemelerinin doğal radyoaktivite değerleri ölçülmüştür. Sekiz adet numune örneği gamma ray spektrometre sistemi kullanılarak radyoaktivite değerleri bulunmuştur. Ölçülen radyoaktivite değerleri sırasıyla ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K için; 19,5-68,3 Bq/kg, 13,4-51,7 Bq/kg ve 63,2-713,9 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Ölçülen radyoaktivite değerleri dünya ortalamasının altında olduğu yorumu yapılmıştır (Xinwei 2005).

Pakistan'daki Lahor bölgesinde tuzlu toprakların çevreye verdikleri radyasyon değerleri hesaplanmıştır. Doğal ve yapay radyoaktivite yer kabuğunda farklı miktarda bulunur. Topraktaki radyoaktivite miktarı toprağın türüne ve kullanımına bağlıdır. Toplanan 125 toprak örneği gamma ray spektrometre dedektörü ile ölçülmüştür. ^{40}K aktivite değeri için, 524,84-601,62 Bq/kg aralığında, ^{226}Ra aktivite değeri 24,73-28,17 Bq/kg aralığında ve ^{232}Th aktivite değeri için 45,46-52,61 Bq/kg aralığında bulunmuştur (Akhtar vd 2005).

Brezilya'dan İspanya'ya ve Yunanistan'a kadar yapı malzemelerinde kullanılan 16 çeşit farklı granit numunelerinin doğal radyoaktivite değerleri ölçülmüştür. Aktivite konsantrasyonları ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K sırasıyla ortalama değerleri; 61 Bq/kg, 64 Bq/kg, 81 Bq/kg, 1104 Bq/kg olarak bulunmuş olup değerler dünya ortalamasının altında olduğu gözlemlenmiştir (Pavlidou vd 2006).

Kamerun'da yapılan çalışmada 13 adet yapı malzemelerinin radyasyon aktivitesi gama ray spektrometresi kullanılarak ölçülmüş olup ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K radyoaktivite değerleri 1,76-49,84 Bq/kg, 0,32-147 Bq/kg ve 18-1226 Bq/kg aralığında ölçülmüştür (Ngachin vd 2007).

Güneydoğu Avrupa'da (Makedonya, Yunanistan ve Bulgaristan) yapılan çalışmada yerli ve ithal olarak kullanılan yapı malzemelerinin doğal radyoaktivite değerleri ölçülmüştür. Ölçümler Hpge gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Numune örnekleri jips için; ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerleri sırasıyla 1,1-67 Bq/kg, 0,5-188 Bq/kg ve 22-804 Bq/kg aralığında mermer için ise; 1,2-63 Bq/kg, 0,4-142 Bq/kg ve 8,8-986 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Sonuçların dünya ortalamasının altında olduğu belirlenmiştir (Krstic vd 2007).

Şanlıurfa'da yapılan çalışmada bölgenin çevresel radyoaktivite değerleri belirlenmiştir. Bölgede toplanan 45 adet toprak numunesi gamma ray spektrometresi kullanılarak bulunmuştur. Ortalama aktivite değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için 20,8 Bq/kg, 24,95 Bq/kg ve 298,6 Bq/kg değerleri bulunmuştur (Bozkurt vd 2007).

Gediz havzasındaki topraklarda ve çeşitli gıdalardaki radyoaktivite değerleri NaI(Tl) gamma spektrometre kullanılarak bulunmuştur. Toprak örneklerinin ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite değerleri sırasıyla, 46,05-68,83 Bq/kg, 9,29-50,57 Bq/kg ve 36,75-56,70

Bq/kg aralığında ölçülmüş olup dünya ortalamasının altında olduğu belirlenmiştir (Bolca vd 2007).

Slovenya ve Hırvatistan'da karstik bölgede yapılan çalışmada dört farklı lokasyondan alınan terra rossa toprak örneklerinin radyoaktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Analizler gamma ray spektrometre sistemiyle ölçülmüş olup ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerleri, 52-75 Bq/kg, 52-70 Bq/kg, 50-85 Bq/kg ve 320-510 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. ^{137}Cs aktivasyon değeri denize yakın bölgede 10-25 Bq/kg aralığında, iç bölgelerde 105-250 Bq/kg aralığında ölçülmüştür (Vaupotic 2007).

Güney Lübnan'da 2008 yılında yapılan çalışmada yapı malzemelerinin doğal radyoaktivite değerleri ölçülmüştür. Yapı malzemeleri olarak kum, çakıl, çimento ve jips kullanılmıştır. Ülkenin güneyinde 10 farklı lokasyon alanından toplanan örnekler üzerinden yapılmış olup, ölçümler gama spektrometre ve CR-39 dedektörü kullanılmıştır. En yüksek ^{226}Ra aktivite değeri gri ve beyaz çimento'da ortalama 3-73,2 Bq/kg ve 3-76,3 aralığında ölçülmüştür. Radon konsantrasyon değerini belirlemek için ise CR-39 dedektörü kullanılarak bulunmuştur. Kum örneklerinde ortalama 69-291 Bq/m³ ve 339-1774 Bq/m³ aralığında bulunmuştur (Kobeissi vd 2008).

Afrika'da Botswana bölgesinde toprak örneklerinin doğal radyoaktivite değerleri ölçülmüştür. Ölçümler gamma ray spektrometre %41 verimliliği olan HPGe dedektörü ile belirlenmiştir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerleri sırasıyla, 34,8 Bq/kg, 41,8 Bq/kg ve 432,7 Bq/kg değerinde ölçülmüştür. Bu üç radyoaktivitenin ortalama doz değeri 0,07 mSV olarak bulunmuştur (Murty ve Karunakara 2008).

Kütahya'da yapılan çalışmada şehir merkezinden toplanan toprak örneklerinin doğal radyoaktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçümler gama spektrometre sistemi kullanılarak yapılmıştır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite derişimleri 33 Bq/kg, 32 Bq/kg ve 255 Bq/kg olarak hesaplanmış olup sonuç değerleri dünya ortalamasının altında olduğu yorumu yapılmıştır (Şahin ve Çavas 2008).

Kuzey Ürdün'de yapılan çalışmada toprak numune örneklerinin radyoaktivite konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Ürdün'de çeşitli jeolojik formasyon alanlarından toplanan numunelerin kökeni kireçtaşı olup, ülkenin yüzde 70'nin yaşadığı bölgelerden alınmıştır. Gamma ray spektrometre sistemi kullanılarak bulunmuştur. ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th

ve ^{40}K aktivite değerleri 42,5 Bq/kg, 49,9 Bq/kg, 26,7 Bq/kg ve 291,1 Bq/kg değerlerinde bulunmuştur (Al-Hamarneh ve Awadallah 2009).

Kırklareli'nde yapılan çalışmada topraktaki doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. 177 farklı lokasyondan alınan 230 toprak örnekleri gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Ortalama ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerleri 37-18 Bq/kg, 28-13 Bq/kg, 40-18 Bq/kg, 8-5 Bq/kg, 667-281 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Ölçülen değerler dünya ortalamasının üstünde olduğu yorumu yapılmıştır (Taşkin 2009).

Kıbrıs'da yapılan önemli bir çalışmada yaygın bir şekilde kullanılan yapı malzemelerinin radyoaktivite derişimleri ölçülmüştür. Yapılan çalışmada 87 adet numune örneği üzerinden yüksek çözünürlü gama ray spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla 0,8-21,2 Bq/kg, 0,3-6,4 Bq/kg ve 4,6-147,3 Bq/kg değerleri aralığında ölçülmüştür (Michael vd 2010).

İspanya'da Huelva Bölgesinde yapılan önemli bir çalışmada fosfoalçı numunelerinin radyolojik etkileri ve doğal radyoaktivite değerleri ölçülmüştür. Aktivite konsantrasyonlarını ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K belirlemek için gama spektrometre dedektörü kullanılmıştır. ^{226}Ra için ortalama değerler 560-740 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için ortalama değerler oldukça düşüktür 8-25 Bq/kg aralığında, 25-300 Bq/kg aralığında ölçülmüştür (Duenas vd 2010).

(Damla vd 2010) yılında Türkiye'deki yapı malzemelerinde yaygın bir şekilde kullanılan tuğla ve çatı kiremiti örneklerini toplayarak doğal radyoaktivite değerlerini gama ray spektrometresi kullanarak ölçülmüştür. Tuğla için ölçülen aktivite konsantrasyon değerleri ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K sırasıyla, 14-34 Bq/kg aralığında, 12-33 Bq/kg aralığında ve 175-462 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Çatı kiremitleri için ölçülen aktivite değerleri ise ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K sırasıyla, 14-34 Bq/kg aralığında, 12-33 Bq/kg aralığında ve 161-429 Bq/kg aralığında ölçülmüştür.

Çanakkale'de yapılan önemli bir çalışmada araçların bölgedeki çevreyi radyasyon seviyesi olarak nasıl etkilediği ölçülmüştür. Ölçümler plastik gama ışınımı ve araba ile taşınan bir spektrometre sistemi kullanılarak yapılmıştır. Çanakkale bölgesindeki toprak numunelerinin aktivite konsantrasyonları HPGe dedektörü kullanılarak yapılmıştır.

Çanakkale bölgesinin radyasyon gama dozunun ortalaması 55.4 nGy/h ve nüfus ağırlıklı ortalaması ise 40.6 nGy/h dir. Halkın yıllık olarak etkilendiği değerler ortalama 26.6 ile 96.8 μ Sv aralığında olduğu belirlenmiştir (Turhan vd 2010).

Ordu'da yapılan çalışmada yapı malzemeleri ve toprak örneklerinin doğal radyoaktivite konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Ordu'da farklı örnekleme istasyonlarından toplanan toprak ve yapı malzemeleri numunelerindeki radyoaktivite değerleri gama ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Toprak örneklerinin radyoaktivite değerleri, ^{226}Ra için 13.4 ila 151.7 Bq/kg, ^{232}Th için 14.3 ila 98.5 Bq/kg, ^{40}K için 303 ila 1107 Bq/kg ve ^{137}Cs için 67.4 ila 275.3 Bq/kg ortalama değerleri arasında ölçülmüştür. Seçilen inşaat malzemelerinde ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla 34.5, 26.9 ve 378.4 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Çelik vd 2010).

Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan önemli bir çalışmada ticari amaçlı kullanılan özellikle en çok evlerdeki mutfak tezgahlarında bulunan granitler üzerine yapılan çalışmada NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometresi kullanılmış olup ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için bulunmuş olan en yüksek aktivite derişimleri sırasıyla 55,4Bq/kg, 0,65 Bq/kg ve 4,1 Bq/kg elde edilmiştir. Dünya standartlarına göre oldukça altında olup herhangi bir radyasyon etkisi bulunamamıştır (Llope 2011).

Elazığ bölgesinde yapılan çalışmada yapı malzemelerinin doğal radyoaktivite değerleri ve radon gazı belirlenmiştir. Numune örneklerini belirlemek için gama ray spektrometre sistemi kullanılmıştır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri sırasıyla 3,5-114,1 Bq/kg, 1,6-20,7 Bq/kg ve 201,4-4928 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Radon gazı değeri ortalama 20,9-405,2 Bq/kg aralığında ölçülmüş olup bu oran dünya ortalamasının ($364,3 \text{ Bq/m}^3$) üstünde bir değer olarak bulunmuştur (Baykara vd 2011).

Karabük'te yapılan çalışmada evlerdeki yüzey topraklarının doğal radyoaktiviteye bağlı radyoaktivite ölçümleri ve radon seviyesi belirlenmiştir. Ölçümler gamma spektrometre seviyesi ile HPGe dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Radon konsantrasyonlarının dağılımını belirlemek için (CR-39) dedektörleri kullanılmıştır. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 21.0, 23.5 ve 363.5 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bu aktivitelerin hesaplanan ortalama yıllık etkili doz eşdeğeri 53.5

$\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlenmiştir. ^{222}Rn ortalama radon konsantrasyonu ve yıllık etkili doz eşdeğerleri sırasıyla 131.6 Bq/m³ ve 3.32 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Baldık vd 2011).

(Kabadayı ve Gümüş 2011) Türkiye'de yapılan önemli bir çalışmada insanların tükettiği olduğu şişe içme suların doğal radyoaktivite derişimleri belirlenmiştir. Ölçümler, HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi ile yapılmış olup ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerleri sırasıyla 0,52-1,21 Bq/kg, 0,23-1,87 Bq/kg ile 1,54-2,57 Bq/kg değerleri arasında hesaplanmıştır.

Samsun ilindeki toplanan toprak örneklerinden radyoaktivite seviyeleri HPGe gama spektrometresi kullanarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, toprak örneklerindeki ^{238}U radyoaktivite değeri 4-45 Bq/kg, ^{232}Th radyoaktivite değeri 2-40 Bq/kg ve ^{40}K 'ın radyoaktivite değeri 22-364 aralığında bulunmuştur (Tufan ve Bostancı 2012).

Erzincan'da yapılan çalışmada şehirden toplanan toprak ve içme sularının doğal radyoaktivite konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Bölgede toplanan toprak örnekleri gamma ray spektrometre sistemi ile ölçülmüş ve ortalama aktivite değerleri ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs sırasıyla 8.93, 11.39, 281.94 ve 9.52 Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Bu doğal radyoaktivite kaynaklarından elde edilen yıllık ortalama etkili doz 27.9 μSv oranında hesaplanmıştır. İçme ve kullanma suyu numunelerindeki radyoaktivite seviyeleri çok kanallı düşük seviye orantılı sayaç kullanılarak incelenmiştir. Ortalama brüt alfa aktivite konsantrasyon değerleri 0.0477 Bq/L (en az 0.007 Bq/L, en fazla 0.421 Bq/L) olarak belirlenmiş ve ortalama brüt beta aktivitesi değeri 0.104 Bq/L (en az 0.008 Bq/L; Maksimum 1.806 Bq/L) olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, alfadan yayılan radyonüklitler ortalama 9.75 μSv ile sudaki beta yayılan radyonüklitlerden 56.34 μSv 'lik senelik olarak etkili doz sağlar. İncelenen su numunelerindeki radyoaktivite düzeylerinin Sağlık Bakanlığı tarafından çıkarılan yönetmeliklere uygun olduğu tespit edilmiştir (Yalcin vd 2012).

Antalya, Burdur ve Isparta bölgelerinden çıkarılan mermer numunelerine ait örnekler germanyum dedektörü (HPGe) ile gama spektrometresi kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda K-40 aktivitesi 2,85-64,70 Bq/kg, U-238 aktivitesi 2,13-4,88 Bq/kg ve Th-232 aktivitesi 52,9- 95,9 Bq/kg aralığındadır (Özmen vd 2013).

Hindistan'da yapılan çalışmada termik santralden çıkan uçucu küllerin doğal radyoaktivite değerleri, radon eksalasyon ölçülmesi ve radyasyon doz hız değerleri belirlenmiştir. Uçucu küllerin bulunduğu alandan numune örnekleri olarak tuğla, çimento ve arazi alanından kum örnekleri toplanmıştır. Ölçümler yüksek çözünürlüklü gamma ray spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için; 7,4 ile 118,6 Bq/kg arasında, ^{232}Th için 3,4-147 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için; 4,5-352 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Radon eksalasyonun ölçülmesi için Lr-115 type II dedektörü kullanılmıştır. Radon eksalasyon oranları 12,8-155,5 Bq/mh aralığında ölçülmüştür. Radyasyon doz değerleri ise Hin değeri için 0,77 ile 1,87 arasında bulunmuştur (Gupta vd 2013).

Antalya ve yakın civarından terra rossa, kireç taşı ve serpantinden alınmış toplam 10 örnek üzerinde radyoaktivite seviyeleri ölçülmüş ve gama spektrum değerleri ile doz değerleri belirlenmiş ve en yüksek değer serpantinde çıkmıştır (Yalcin vd 2014).

Kars'da yapılan çalışmada merkezdeki yüzey topraklarının doğal radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanından toplanan 38 adet toprak örneğinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları NaI(TI) gama spektrometresi ile ölçülmüştür. Numuların ortalama aktiviteleri sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitleri için 47,8 Bq/kg, 31,2 Bq/kg ve 536 Bq/kg değerlerinde ölçülmüştür. ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu ise 18 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Türkiye'deki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında toprak dokusuna ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak ölçülen ^{40}K aktivitesi biraz daha yüksek olduğu yorumu yapılmıştır (Cengiz ve Reşitoğlu 2014).

Yunanistan'da yapılan bilimsel çalışmada plütonik kayaların özellikle granitik kayalarda gama ray spektrometre ile U-238, Th-232, K-40 aktivite değerleri belirlenmiştir. Ortalama aktivite değerleri sırasıyla 79.2, 85.3 ve 881.4 Bq/kg olarak bulunmuştur (Papadopoulos 2014).

Trakya bölgesinde yapılan bilimsel çalışmada toprak örneklerinin U-238, Th-232, Ra-226, K-40 ve Cs-137 aktivite konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. U-238 için aktivite konsantrasyon değeri 12.82 ile 101.75 Bq/kg arasında değişmektedir. 232-Th için; 5.16

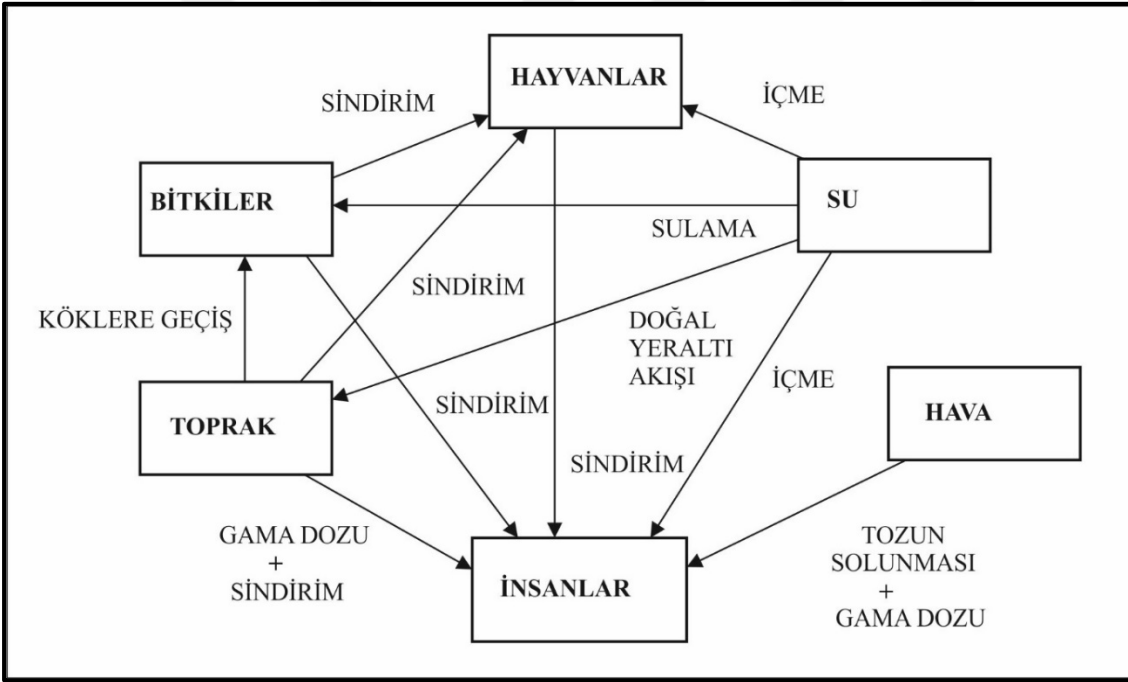
ile 73.34 Bq/kg aralığında, K-40 için; 185.54 ile 5399 Bq/kg aralığında ve Ra-226 için; 11.42 ile 90.73 Bq/kg aralığında bulunmuştur (Aközcan 2014).

Çoruh nehrinde yapılan bilimsel çalışmada üç farklı barajlardan alınan 10 farklı sediment örneklerinin U-238, Th-232, K-40 ve Cs-137 aktivite konsantrasyon seviyeleri yüksek çözünürlüklü gama spektrometre ile ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda Deriner Baraj Gölü için; ortalama konsantrasyon değerleri U-238, Th-232, K-40 ve Cs-137, sırasıyla 15.8, 13.9, 551.5 ve 18.1 Bq/kg; Borçka Baraj gölü için; 3.7, 12.5, 473.8 ve 6.8 Bq/kg; Muratlı Baraj Gölü için; 14.4, 30.0, 491.7 ve 18.2 Bq/kg olarak bulunmuştur (Koby vd 2015).

Rize ilinde yapılan çalışmada Rize bölgesinde kanser riskinin yakalanma oranının yüksek olması nedeniye toprak örnekleri için radyaktivite düzeyleri belirlenmiştir. Bu oranın yüksek olmasının nedeni Çernobil kazasıdır. 132 farklı noktadan alınan toprak örnekleri gamma ray spektrometre ile yüksek çözünürlüklü germanyum dedektörü ile ölçülmüştür. Ortalama aktivite konsantrasyon ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için değerler sırasıyla 85,75-11,77 Bq/kg aralığında, 51,8-9,42 Bq/kg aralığında ve 771,57-37,65 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Sonuçlar dünya ortalaması ile karşılaştırılmış olup değerler dünya ortalamasının altında olduğu belirlenmiştir (Dizman vd 2016).

2. RADYASYON VE ÖZELLİKLERİ

Radyasyon elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar halinde yayılan enerji türüne radyasyon denir. Dünya üzerinde yüksek seviyeli doğal radyasyon alanları uranyum ve toryum içeren radyoaktif maddelerle birlikte bulunmaktadır. Görünür ışık, sıcaklık, radyo dalgaları, x ışınları, alfa, beta ve gama ışınları radyasyona örnek olarak verilebilir. Radyasyon radyoaktif bir maddenin içerisinden geçerken meydana getirmiş olduğu değişikliğe bağlı olarak, iyonize eden (maddenin atomundan elektron koparan) ve iyonize etmeyen (maddenin atomundan elektron koparamayan) şeklinde de karakterize edilebilir (Günoğlu 2008). Şekil 2.1’de görüldüğü gibi insanlara radyasyon geçişleri, topraktan, bitkilerden, hayvanlardan, kullanılan ve içilen sulardan ve soluduğumuz havadan bile radyasyon geçmektedir ki bu da insan sağlığına etki etmektedir.



Şekil 2.1. İnsanlara radyasyon geçiş yolları (Revan 2010)

21. yüzyılda yaşadığımız ortamdaki doğal radyoaktivitenin insan sağlığı üzerindeki etkileri sonucunda jeolojik çalışmalar büyük bir hız kazanmıştır. Günümüzde yer kabuğunda jeolojik süreçler sonucunda meydana gelmiş 65 civarındaki “radyonüklit”, durdurulamaz radyoaktif bir parçalanma yoluyla çevreye radyasyon yaymaktadır. Kayaçlardaki Uranyum ve Toryum grubu mineraller ile Potasyum grubu minerallerden sadece K-40 izotopu olan radyasyon düzeyine etki eden faktörlerdir. Radyoaktif

minerallere sıkça rastlanılan magmatik kayalar, radyoaktivite açısından en sorunlu kayaları oluşturur. Granitik kayalardaki jeolojik çalışmalar, bu kayalarda yaygın olarak izlenen zirkon, sfen, apatit gibi tali minerallerin radyoaktiviteye neden olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca başta fosfat kayaları olmak üzere birçok değişik kayada “radyonüklit” içeriğine bağlı olarak radyoaktivite izlenebilmektedir.

Ülkemizde radyasyon ölçümleri Çernobil Nükleer Santral kazasının (29 Nisan 1986) duyulmasından sonra TAEK tarafından Trakya, İstanbul ve Ankara’da yapılan ölçümler sonucunda çevresel gama radyasyon oranlarında artış olması sebebiyle radyasyon ölçümlere daha çok önem verilmeye başlanmıştır (TAEK 1988).

Günümüz dünyasında en önemli sorunlardan biri olan radyasyon insan sağlığını ve doğanın geleceğini yüksek oranda tehdit etmektedir. Özellikle ileri düzeyde gelişen teknolojiyle birlikte radyasyon kirliliği üzerindeki soru işaretleri giderek daha fazla seviyeye ulaşmaktadır.

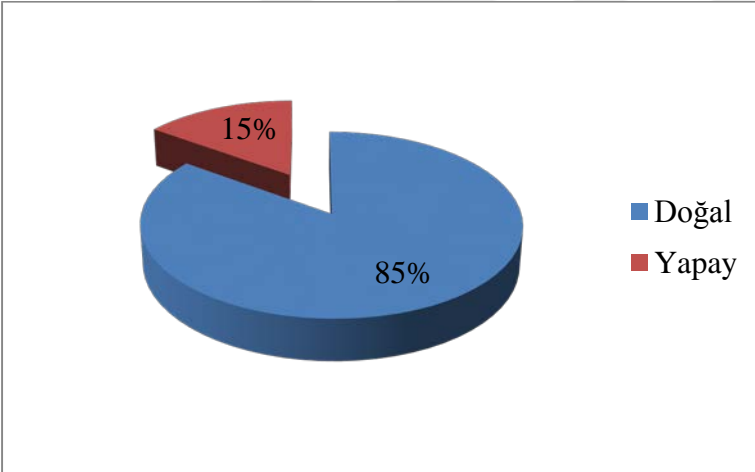
Radyasyon, temel kaynağı, bir başka maddeye geçiş yolu ve enerjisi olarak ifade edilebilir. Radyasyonun tanecik veya elektromanyetik dalga düzeyinde olması ortamdan enerjinin bir başka yere taşınması yoluyla bağlantılıdır. Eğer radyasyon alfa ve elektron gibi bir tanecik tarafından çekirdekte uzaklaşıyorsa, parçacık kökenli; foton ismi verilen yükü ve kütlesi olmayan enerji tarafından dalga yoluyla uzaklaşıyorsa elektromanyetik kökenli olarak tanımlanır. Atomdan yayılan radyasyon, çekirdekteki değişimler sonucunda meydana gelmiş ise nükleer radyasyon olarak ifade edilir. Örnek olarak da α , β ve γ ışınları verilir, atomun kendi yörüngeleri arasında oluşan geçişler sonrasında meydana gelmişse yörüngesel radyasyon olarak isimlendirilir. Örnek olarak da x-ışınları verilir. UV ışınlar ise; su, kar veya kumdan yansiyabilirler. Pencere camları ve açık renkli elbiseler insanlara yüksek frekanslı ışınların geçmesini büyük ölçüde engeller. Ancak bu ışınların etkisi herhangi bir seviyeye yükselmeden görülemediği için insanlar farkına vardıklarında önemli ölçüde etkilenmiş olurlar. Bunlar da kişiler için önemli sağlık sorunlarına neden olurlar. Örneğin; deride erken yaşlanma, kuma ve halsizlik gibi önemli sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Kulalı 2009).

Sıcaklığın artması radyasyonun enerji ve frekansına önemli oranda artış göstermesine neden olmaktadır. Mikrodalga radyasyonlarının frekans hızları 1-300 GHz

arasında ölçülen bir elektromanyetik dalga türüdür. Radar, uydu, cep telefonu gibi haberleşme cihazlarında ve televizyon yayınlarında kullanılır (Güler ve Çobanoğlu 1997).

2.1 Radyasyon Kaynakları

18. yüzyılın sonuna doğru önemli araştırma bulguların elde edilmesinden sonra, radyasyon ve radyoaktivitenin kullanım alanları gelişmiş ve radyasyondan özellikle tıbbi alanda kullanılarak çok büyük fayda sağlanmıştır. Tıbbi alanda kullanılan radyasyon özellikle X- ışınları insanlar açısından en önemli sağlık sorunların başında gelen kanser tedavilerinde erken teşhis olarak kullanılmaya başlamasına karşın radyasyonun insanlar açısından özellikle hamile bayanlarda çok ciddi sorunlara neden olduğu da ortaya çıkarılmıştır. Radyasyon sonraki çalışmalarda doğal ve yapay radyasyon kaynakları olarak daha detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi dünya üzerindeki radyasyon dağılımı en çok %85 ile doğal radyasyona aittir.

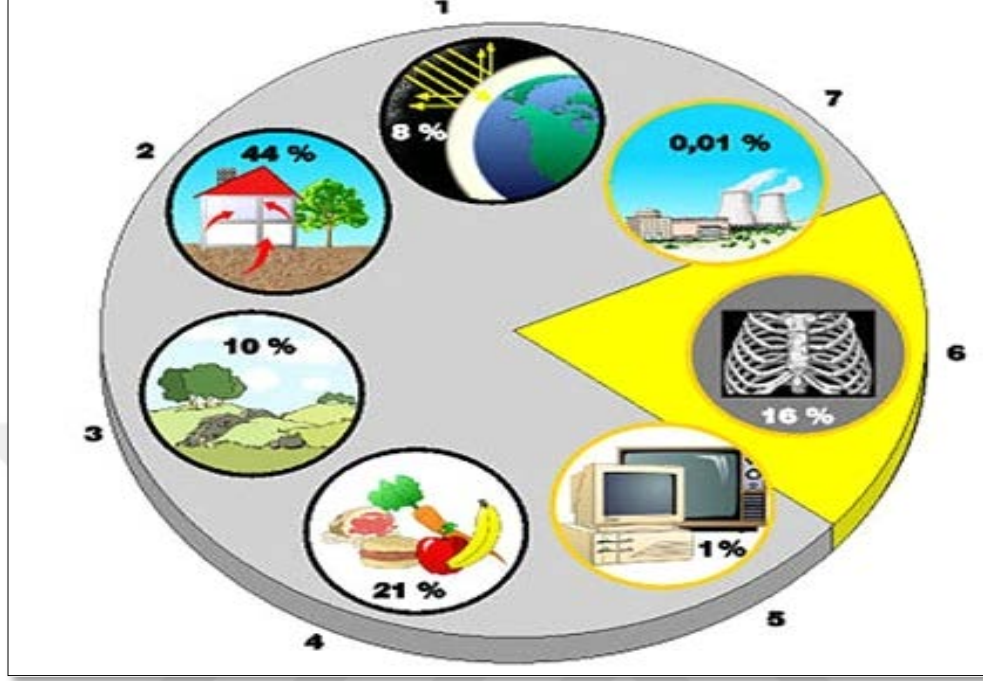


Şekil 2.2. Dünya üzerindeki doğal ve yapay radyasyon dağılımı (TAEK 2009)

2.1.1 Doğal radyasyon

Doğal radyasyon; İnsanoğlunun yaratılışından bile daha önce Dünya'nın temel bir unsuru olmuştur. Bu nedenle Dünya birçok radyoaktif element içermektedir. Radyoaktif elementlerin bir kısmı yerkürenin oluşumu sonucunda, bir kısmı da evrendeki nükleer reaksiyonlar sonucunda üretilir (El-Kameesy vd 2008). Yeryüzündeki yaşam, çevresel gama ve yüklü parçacık radyasyonların etkisinde hemen hemen her yerde gelişmiştir. Doğal radyasyon, yaşam ve biyolojik gelişme koşullarından biri olabilir. Ancak iyonize

olmuş radyasyonun hem hayatımıza hem de biyolojik sistemlere zarar verebileceği belirtilmiştir (Aarkrog 1990).



Şekil 2.3. Radyasyon kaynaklarının insan sağlığı üzerine etkileri (Bor 2015)

Şekil 2.3'de görülmektedir ki insan sağlığına en çok zarar veren birinci tehlike %44 ile Radon gazı olduğu belirlenmiştir. Radon gazından sonra ikinci en büyük tehlike besindeki radyasyon kaynaklarıdır. Üçüncü en büyük etkiyi %16 ile Tıbbi amaçlı kullanılan cihaz uygulama yöntemlerinde görülmektedir. Dördüncü tehlike ise %10 ile doğal radyoaktivite kaynaklarıdır. Daha sonraki tehlike ise %8 ile kozmik ışınlardır. Diğer radyasyon kaynaklarına göre insan sağlığını olumsuz etkilemesi açısından en düşük yüzde değerleri teknolojik cihazlar ile nükleer tesisler gelmektedir.

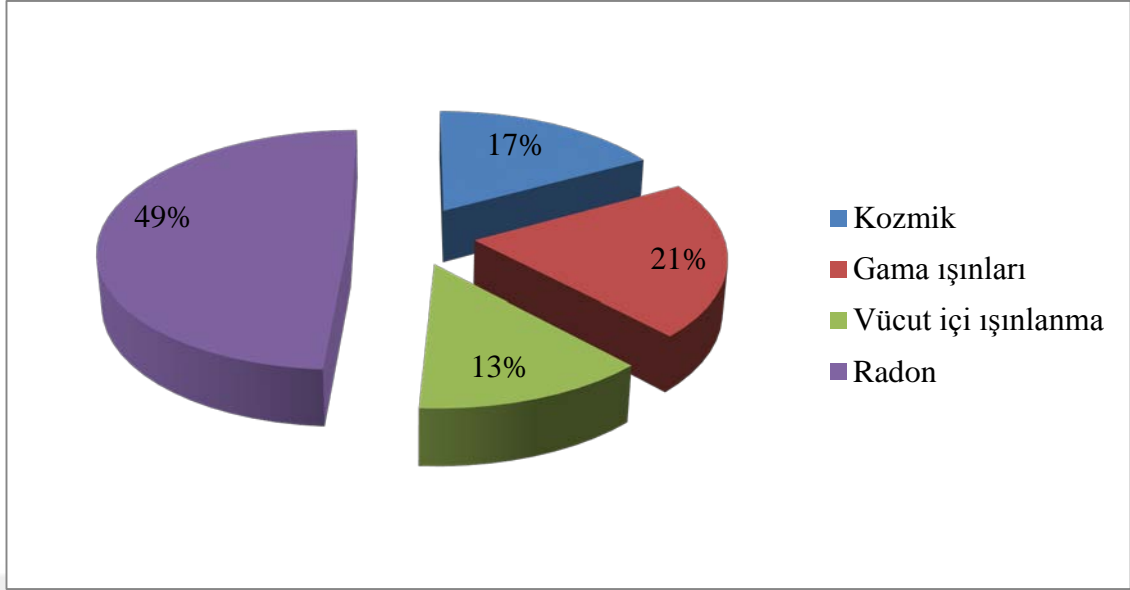
Kozmik ışınlar; parçacıkları, elektronlar ve artı yüklü iyonları ile protonları, Dünya 'ya ulaşan en ağır elementleri bu özellikler ile yüklerler. Kozmik ışınların insan sağlığı açısından tehlikesi güneş yayıcısı olmasıdır. Kozmik ışınların bir kısmı Güneş tarafından en düşük enerjili parçacıklar yaymasına rağmen, kozmik ışınların büyük bir kısmı güneş sistemini sınırlayacak kadar enerjisi olmasıdır. Buna da en güzel örnek yıldızların oluşumudur. Kozmik ışınların yaklaşık yüzde 98'i pozitif yüklü çekirdeklerden oluşmaktadır. Geriye kalan yüzde 2'lik kısım ise negatif yüklü elektronlardan oluşmaktadır. Kozmik ışınlar parçacık yüklü olduklarından, Dünya'ya giden yolları

manyetik alanlarla çevrilidir. Kozmik ışın yoğunluğu ekvator dan kutuplara doğru giderek artmaktadır bu da insanların aldığı radyasyon boyutunu giderek arttırmaktadır. Bununla birlikte, kozmik ışınlar; yıldızlarda ve diğer astrofizik kaynaklarda meydana gelen süreçler için önemli ipuçları sağlarlar. UNSCEAR'ın yaptığı araştırmalar sonucunda, kozmik ışınların etkiledikleri doz seviyesi yıllık 0,4 mSv civarındadır. Astrofizikçiler genellikle en erken evrede bulunan elementlerin sadece Hidrojen, Helyum ve çok az miktarlarda Lityum, Berilyum ve Bor olduğuna inanırlarmış. Günümüzde mevcut elementlerin çoğu, yıldızlarda, yıldız patlamalarında veya nükleosentez adı verilen nükleer reaksiyonlar ile üretilmiştir (Huber vd 2016).

Dünya'nın atmosferi çeşitli kaynaklardan gelen radyasyonlar ile sürekli etkileşim halindedir. Çeşitli kaynaklara örnek olarak güneşten gelen kozmik ışınlar bir başka deyişle güneş kozmik radyasyonu verilir. Kozmik radyasyonlar dünya atmosferine ulaşarak temelde dört olayla etkilenir. Bunlar;

- Güneş Döngüsü
- Dünyanın Atmosferi
- Dünyanın Manyetosferi
- Dünyanın Yüksekliği'dir.

Kozmik radyasyonun yeryüzüne ulaştığı büyüklük kısmen ve şiddetle güneşin belirli bir dönemdeki etkinliğine bağlıdır. Güneş bazen, gama ışınlarını, X ışınlarını ve radyo dalgaları biçimindeki elektromanyetik alandaki radyasyonları sebest bırakır. Bu olgu her 11 yılda bir maksimuma ulaşır (güneş döngüsü) ve bu esnada toprak radyasyon alımına neden olur. Etkileyici bir şekilde, dünyaya ulaşan kozmik radyasyonun yoğunluğu, dünyanın atmosferi ve manyetosferi tarafından etkilenir (Enyina 2016). Bunun sonucu olarak bitkiler ve hayvanlar çevreyi etkilemiş olan radyoaktif elementlerden dolayı insanların tüketmiş oldukları yiyeceklerde önemli miktarda radyoaktif madde içerebilir. Doğal radyasyonun ortalama yıllık etkin doz miktarı 2,4 mSv. Bu miktar bazı ülkeler de 10 mSv'den daha fazla değerde bulunabilir (TAEK 2009).



Şekil 2.4. Doğal radyasyon kaynaklarının dünyayı etkiledikleri radyasyon doz yüzde değerleri (Taek 2009)

Şekil 2.4'de görüldüğü gibi Dünyayı etkileyen en büyük radyasyon doz değeri %49 ile Radon gazı içermektedir. Radon gazından sonra %21 ile dünyayı etkileyen radyasyon gama ışınlarıdır. Dünyayı etkileyen bir diğer radyasyon türü %17 ile kozmik ışınlarıdır. %13 ile de vücut içi ışınlanma dünyayı etkileyen radyasyon olarak dikkat çekmektedir. Çizelge 2.1'de görülmektedir ki radyasyon kaynaklarının sahip oldukları doz oranları bakımından yine en büyük etkiyi radon gazı göstermektedir.

Çizelge 2.1. Radyasyon kaynaklarının etkiledikleri doz dağılımı (TAEK 2009)

RADYASYON KAYNAKLARI	RADYASYON DOZU
Kozmik	0.390
İç Işınlama	0.230
Radon	1.300
Gama Işınları	0.460
Atıklar	0.001

Işınlama terimi genellikle maruz kalma olarak adlandırılır. Işınlama insan vücudunun radyoaktif maddelerden veya radyasyon üreten bir cihazdan yayılan ışınların

ne kadar radyasyona maruz kalacağı bir durumu açıklamak için kullanılır. Radyoaktif maddeler insanların cilt yüzeylerine çökmesi sonucunda gerçekleşir. Bu duruma en önemli etki dış ışınlamadır. Eğer radyoaktif maddeler insan vücuduna nüfuz etmişse (solunma, yutma, emilim veya yaralar) yoluyla giriş yapmışsa iç ışınlama sonucunda meydana gelmiştir. İnsanların vücutlarını doğal halde bulunan radyoizotoplar dış ve iç ışınlama olarak etkilerler. Dış ışınlama radyasyonunda ilk incelemeler Hiroşima ve Nagasaki'deki atom bombasından hayatta kalanlar üzerinde kanser riskleri araştırması yapılarak belirlenmiştir. Bunun sonucunda kansere yakalanan kişilerde orta ile yüksek dozlarda radyasyona maruz kalmalarından dolayı yakalandıkları belirtilmiştir (Douple vd 2011).

İnsan vücudu radyasyon kaynaklarından olan dış ışınlanmadan etkilenmesinin en önemli nedeni U-238, Th -232 ve K-40 radyoaktif elementlerinin gama ışınları yaymasıdır. Bunun sonucu olarak da gama ışınları hem alfa hem de beta parçacıkları yaydığı için insan vücudundaki çeşitli organlarda iç ışınlanmaya sebep olmaktadır. Jeolojik açıdan bakıldığında radyasyon özellikle volkanik kayalarda (granitlerde) oldukça fazla miktarda bulunur. İnsanlar konutlarda da radyoaktiviteye maruz kalmaktadır bunun en önemli sebebi yapı malzemelerinin taş ile topraktan üretilmesidir. İnsanlar hem dış kaynaklı hem de iç kaynaklı radyasyona maruz kalmaktadır. Bu açıdan bakıldığında radyasyonun insanlar üzerindeki etkisi hem yaşanan yerin jeolojik özellikleri hem de konutlarda kullanılan taş ve toprakların düşük miktarda da olsa radyasyon doz oranının insan sağlığını etkilemesidir. Işınlama yani bir başka deyişle maruz kalma radyoaktif maddelerin kişileri etkilediğinde ortaya çıkar. Ayrıca ışınlamalar radyasyona maruz kalacak olan radyoaktif maddelerle temas kurmak zorunda değildir.

Gama ışınları ve X- ışınları yüksek derecede enerjik ve nüfuz edici olduğundan etki alanlarını azaltmak için kurşun gibi yoğun malzemeler kullanılır. Gama ve X- ışınlarının kökenleri farklı olmakla birlikte aynı tehlikeye neden olurlar. Bu radyasyonlarla tipik olarak bağlantılı ana tehlike dış ışınlamalardır. Gama ışınları etkisi sonucunda meydana gelen radyoaktif elementler U-238, Th-232 ve K-40 insanların dış kaynaklı radyasyondan etkilenme değerlerini belirlemektedir. Gama radyasyonu nedeniyle alınan toplam yıllık etkin doz değeri yaklaşık 0,48 mSv'dir (Taek 2009). Atıkların radyasyon etki dozları ise insanlarda oldukça düşüktür.

Çizelge 2. 2. Topraktaki doğal radyonüklitler (UNSCEAR 2000)

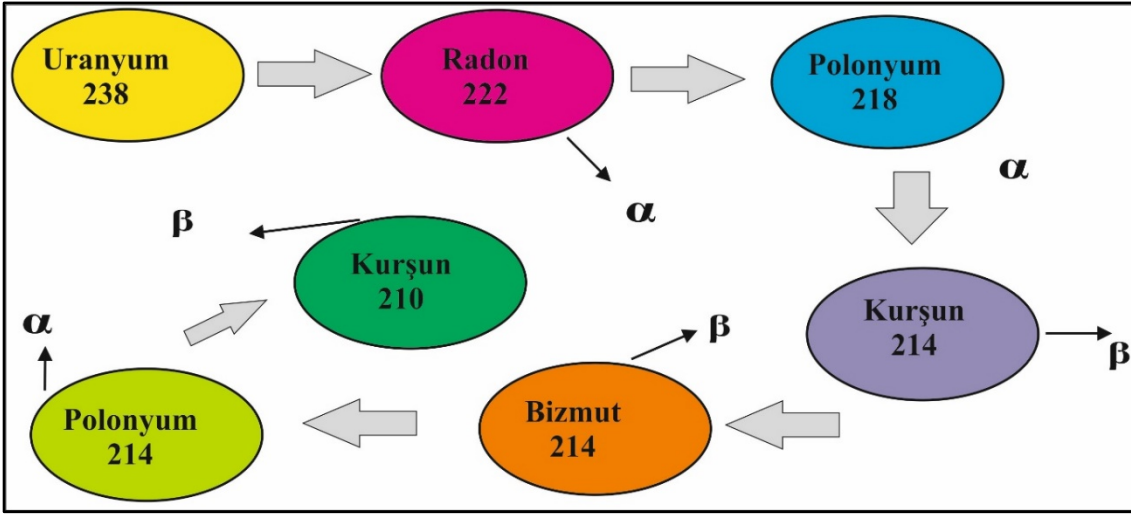
	Radyonüklit Aktivitesi (Bq /kg)			
	K-40	U-238	Ra -226	Th -232
Aralık Değerleri	140-850	16-110	17-60	11-64
Ortalama Değerleri	400	35	35	45

Radyoaktif elementlerin oluşan biçimlerine radyonüklid adı verilir. Çevrede doğal olarak bulunan 60'dan fazla radyonüklid vardır ve bunların bazıları insanlar tarafından üretilmiştir. İnsan kaynaklı radyasyonlar çok küçük oranda da olsa radyasyona bağlı yaralanmaların belirlenmesinde en önemli rolü oynar. Çizelge 2.2'de görüldüğü üzere; K-40 radyonüklid konsantrasyonu toprakta bulunma değeri ortalama 400 Bq/kg'dır. Th-232 radyonüklid konsantrasyon değeri 45 Bq/kg ve U-238(Ra-226)'nın radyonüklid değeri ise 35 Bq/kg'dır.

Çizelge 2. 3. Yapı malzemelerindeki doğal radyoaktivite için ölçülmesi esas alınan veriler (Debertin ve Helmer 1988)

Radyonüklit	Gama- ışını enerjisi keV	Gama ışınının yayınlanma ihtimali %	Gama ışını yayınlayan bozunum ürünü
²²⁶ Ra	186,2	3,6	²²⁶ Ra
	295,2	18,2	²¹⁴ Pb
	351,9	35,1	²¹⁴ Pb
	609,3	44,6	²¹⁴ Bi
	1764,5	15,1	²¹⁴ Bi
²³² Th	583,2	30,6	²⁰⁸ Tl
	727,3	6,6	²¹² Bi
	338,4	11,3	²²⁸ Ac
	911,2	26,6	²²⁸ Ac
⁴⁰ K	1460,8	10,7	⁴⁰ K

Çizelge 2.3’de görüldüğü üzere yapı malzemelerinde kullanılan radyonüklitlerin gama ışını enerjisi, gama ışının yayınlanma ihtimali ve gama ışını yayınlayan bozunum ürünü her bir radyonüklid için ayrı ayrı incelenmiştir. U-238 gama ışını yayınlayan bozunum sonucunda Radium-226, Kurşun -214 ve Bizmut- 214 oluncaya kadar bozunumu gerçekleştirir. Th-232 ise üç tane gama ışını yayınlayan bozunum ürünü oluşturur. Bunlardan en önemlileri Bizmut-212 ile 228- Aktinyum'dur. K-40 radyonüklid ise yine kendi gama ışını yayınlayan bozunum ürününü oluşturur. Şekil 2.5’de radon oluşumu gösterilmektedir.



Şekil 2. 5. Radon oluşumu (<http://www.taek.gov.tr>)

Radon; radyoaktif bir gaz olup asal gazların en ağır olanıdır. Radon (Rn) simgesi ile gösterilir ve kimyasal bir elementtir. Radon, Radiumun(Ra) radyoaktif çürümesi ile üretilir. Bir başka ifadeyle çeşitli kayalarda bulunan Uranyumun doğal bir çürüme ürünü olarak meydana gelir. Çizelge 2.4’de radonun özellikleri verilmiştir. Kayaların ve toprağın atmosfere sızan radon sızıntı miktarları, bodrum gibi kapalı alanlarda yeterli konsantrasyonlarda sıkıştığında insan sağlığı açısından tehlike oluşturabilir (Spradley ve Joseph 2016).

Çizelge 2.4. Radonun özellikleri(<https://tr.wikipedia.org/>)

İsim	Radon
Atom Numarası	86
Element Serisi	Asil Gazlar
Atom Ağırlığı	222 g/mol
Yoğunluk	9,73 g/cm³
Maddenin Hali	Gaz
Kaynama Noktası	211,3 K
Kristal Yapısı	Yüzey Merkezli Kübik Kafes
Renk	Renksiz gaz

Radyolojik Uluslararası Komisyon Koruması (ICRP 1993), radon konsantrasyon değer aralıklarını işyeri ve konutlar için sırasıyla 500-1500 ve 200-600 Bq/m³ arasındaki değer aralıklarında bulunması gerektiğini bu da insanlar açısından önemli bir sağlık sorunu oluşturmayacağı açıklanmıştır.

İnsanların uzun süre bir oda da yüksek konsantrasyonda radona maruz kalma tehlikeleri 0.5/h⁻¹ oranında olduğu tahmin ediliyor. İnsanlarda evde uzun süre radona maruz kalma durumunda akciğer kanseri riskini ortaya çıkartmaktadır. Kapalı alanlardaki radon konsantrasyonunun yapı materyali aşağıdaki denklem 2.1 ile hesaplanır (Nazaroff ve Nero 1988).

$$C_{Rn} = E_x \times S_r / V_r \times \lambda_v \quad (2.1)$$

C_{Rn} =Radon Konsantrasyonu(Bq/m³)

E_x =Radon ekshalasyon oranı(Bq/m².h)

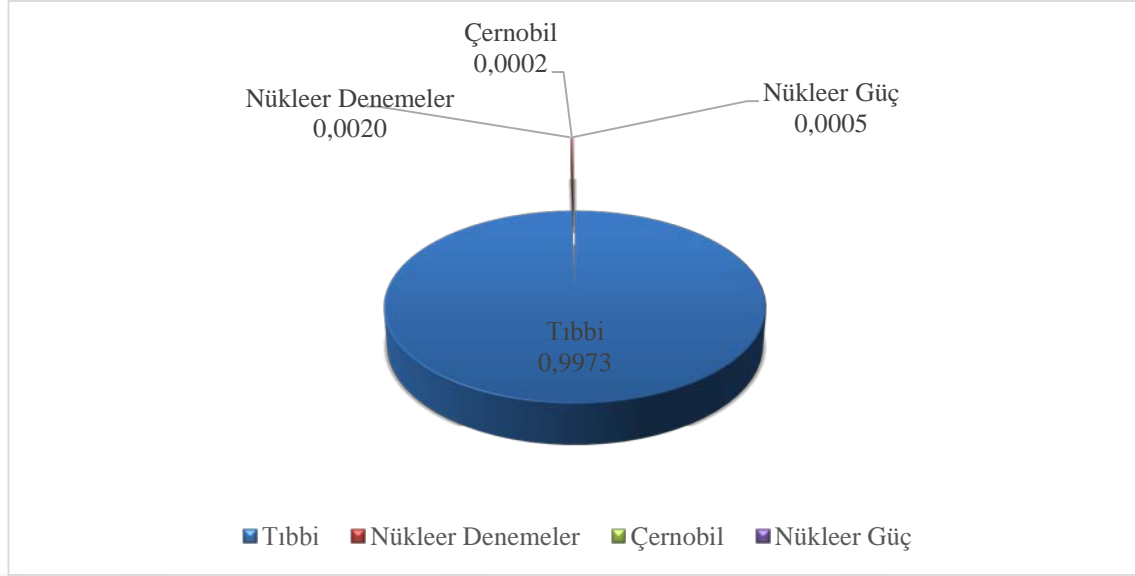
S_r =Oda hacmi(m³)

λ_v =Hava değişim oranı(1/h)

Radon gazı insanlarda akciğer kanserini ortaya çıkarmaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi alfa emisyonlarını radyonüklidlere dönüştürmesidir. Ayrıca, alfa parçacıklarının cilt üzerinde radon birikmesi sonucunda insanların epitel hücrelerine hasar meydana getirmesinden dolayı deri kanserini arttıran önemli bir faktör olduğu da düşünülmektedir. Radon bazı insanların böbreklerine de zarar vermiştir. Bunun sebebi olarak radon en yüksek doz değerine ulaştığı zaman vücut organlarına kan yoluyla geçiş yaptığı için insanların böbreklerine de zarar vermektedir (Al-Sharif ve Abdelrahman 2001).

2.1.2 Yapay radyasyon

Gelişen dünyamızda artık radyasyonsuz yaşamak imkansız hale gelmiştir. Nükleer enerjilerin ilerlemiş yöntemleri yapay radyasyonu ortaya çıkarmış ve yeni radyasyon türleri oluşmuştur. Dünyanın yaklaşık olarak %15'i yapay radyasyondan etkilenmektedir. Şekil 2.6'da görüldüğü üzere yapay radyasyonun en fazla etkilediği alan tıbbi radyasyon olmuştur. 19. yüzyılın sonlarına doğru tıbbi alanda gelişen X ışınları ile radyoaktivite kullanımını artık günümüze kadar hızla yayılmış olup tıbbi ve endüstriyel alanda radyasyon vazgeçilmez olmuştur. İnsanlar üzerinde kullanılan X-ışınları insan vücudunu önemli miktarda iyonlaştırıcı radyasyonla etkilemektedir. Radyasyonun (iyonlaştırıcı radyasyon) insan sağlığı üzerinde önemli etkileri vardır ve en önemli sağlık sorunu olan kanser tedavilerinde kullanılmasıdır. Özellikle radyasyonlar tümör hücrelerini yok etmek amacıyla kullanılır. Nükleer silah denemeleri ilk olarak yer üstünde üretilmiş ve nükleer silahları meydana getirirken çok sayıda radyoaktif maddenin birikmiş olmasından faydalanarak nükleer silahları üretmişlerdir (Taek 2009).



Şekil 2.6. Dünyadaki yapay radyasyondan etkilenilen radyasyon doz oranları (Taek 2009)

Tıbbi alandaki radyasyonun insan sağlığı üzerine etkilerine bakıldığında kanser hücrelerini yok edebilme özelliğine sahip olmasından dolayı radyasyon kanser hastaları üzerindeki en önemli teşhis ve tedavi yöntemidir. Hastalar üzerinde X-ışınları kullanılarak insanların hastalıklı bölgesini röntgen filmi ile çekerek radyasyonun tanısız özelliği ön plana çıkarılmaktadır. Bu yöntemle hastaların teşhis ve tedavi yöntemleri uygulanır. Co-60 radyoaktif maddelerde etkili bir şekilde kullanılan yöntem kanser hastalarının tedavilerinde uygulanan en önemli yöntemdir. Yapay radyasyonun bir diğer etkilediği en önemli sorun radyoaktif çevre kirliliğidir. Kömür ve fosfat kayaları radyoaktif element olan Uranyum (U-238 ve Ra-226), Potasyum (K-40) ve Toryum-232 içermektedirler. Bu radyoaktif maddelerden dolayı fosfatın gübrelerde, kömüründe yakıt olarak kullanıldığı düşünüldüğünde çevreye zararlı olan radyasyon doz miktarı verilmektedir (Taek 2009).

2.2 Radyoaktivite

Radyoaktivite, bir nükleer reaksiyondan kaynaklanan radyasyon emisyonudur ve radyoaktivite kararsız atom çekirdeğinin kendiliğinden çürümesi sonucu meydana gelmiştir (L'Annunziata 2012). İzotopik olarak dengesiz elementlerin çekirdeklerinden nötron, proton türü parçacıkların veya elektromanyetik dalgalar, ısı gibi çeşitli enerjilerin yayılmasına radyoaktivite, bu tip elementlere ise radyoaktif element denir. Radyonüklid

hammadde kaynaklarının başında da Uranyum(U) ve Toryum(Th) gelmektedir (Temur 2001).

Ağır ve iç enerjileri yüksek olan radyoaktif elementler radyoaktif parçalanma sonucunda kendilerinin yeni izotoplarına veya daha kararlı elementlere dönüşürler. Radyoaktif parçalanma sırasında açığa çıkan ışınlar; pozitif yüklü olan alfa hem pozitif hem negatif yüklü olan beta ve yüksüz olan gama ışınları olmak üzere üçe ayrılırlar. Bu ışınlar gözle görülmezler, karanlıkta parlamazlar ve manyetik değildirler.

Radyoaktiflik 1896 yılında Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. 1896 yılının başında Henri Becquerel Paris'e ulaştığı gün Wilhelm Röntgen'in X-ışınlarının keşfetmiş olduğu haberini duyduktan sonra, doğal fosforlu malzemelerin benzer ışınlarını yaydığını görmek için araştırma yapmayı düşünmüştür. Bu çalışmalardan sonra Henri Becquerel Uranyum tuzları üzerinde araştırma yapmıştır. Henri Becquerel fotoğrafik plakalara uranyum sülfat numunelerini yerleştirerek plakaların ışığa maruz kalmaması için siyah kağıt ya da alüminyum levhalarla kaplamıştır. Fotoğraf plakalarını geliştirdikten sonra, Uranyum tuzlarının siyah veya alüminyum kaplı kağıttan geçebilecek ışınları ve hatta Uranyum tuzları ile fotoğraf plakaları arasında konumlandırılan bir metal levha veya ince camı yaydığını da keşfetmiştir (L'Annunziata 2012).

Dünyadaki jeolojik yapıya baktığımız zaman toprak katmanının hemen altında kaya katmanının olduğu gözlemlenmiştir. Birçok bilim adamının düşüncesine göre kaya katmanı karasal bir radyoaktiviteye neden olduğu yorumu yapılmıştır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyonüklidlerin toprağın içinde bulunma yüzdeleri kaya çeşidine göre farklılık göstermektedir. Dünya ortalamaları sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için 50, 50 ve 500 Bq/kg olarak belirlenmiştir (UNSCEAR 1993). Çizelge 2.5'de çeşitli kaya tipleri ile toprağın ortalama ne kadar radyonüklid içerdiği gösterilmiştir. Ayrıca radyasyon seviyesinin yüksek olduğu volkanik kayalar olarak belirlenmiş ve düşük seviye de olanların ise sedimanter kayalarda olduğu görülmüştür.

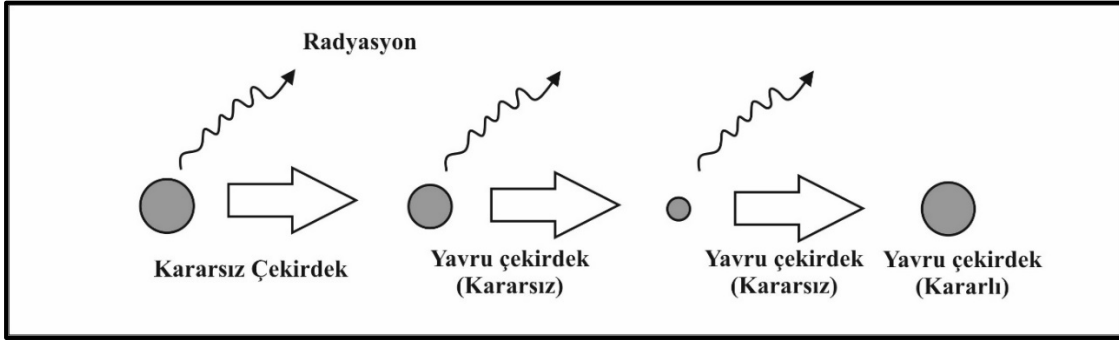
Çizelge 2.5. Çeşitli kaya tipleri ile toprağın ortalama radyonüklid konsantrasyon değerleri (IAEA 2003)

KAYA TİPLERİ	%K	⁴⁰ K(Bq/Kg)	²³² Th(Bq/Kg)	²³⁸ U(Bq/Kg)
BAZALT	0.8	300	10-15	7-10
GRANİT	>4	>1000	70	40
ŞİST, KUMTAŞI	2.7	800	50	40
TEMİZ KUVARS	<1	<300	<8	<10
KİRLİ KUVARS	2	400	10-25	40
ARKOZ	2-3	600-900	<8	10-25
SAHİL KUMLARI	<1	<300	25	40
TOPRAKLAR	1.5	400	37	66

2.3 Radyoaktif Bozunma Türleri

Radyoaktif bozunma; bir atom çekirdeği tarafından enerjinin serbest bırakılması olayıdır. Radyoaktif bozunumu anlayabilmek için, atom çekirdeğinin davranışını anlamak gerekir. Atom çekirdeği, atomun çok küçük bir orta bölümünü işgal eder. Eğer atom iki katlı bir evin büyüklüğüyse, çekirdek bir iğnenin başının büyüklüğü olmuş olurdu. Küçük boyutuna rağmen, atom çekirdeği atomun hemen hemen tüm kütlesini içerir. Çekirdekler neredeyse aynı kütleli iki parçacıktan meydana gelir ve bunlardan biri pozitif elektrik yükü taşıyan proton, diğeri ise yüksüz olan nötrondur. Çekirdeğin yörüngesi ise elektrondur.

Kararsız atomlar iki veya daha fazla yolla bozunabilmektedirler. Çizelge 2.6 ve 2.7'de görüldüğü gibi radyoaktif çekirdekler bozunum sırasında; alfa (α), beta (β) ve gama (γ) bozunumlarından herhangi birini gerçekleştirerek kendilerini serbest hale getirirler. Şekil 2.7'de görüldüğü üzere, radyoaktif bozunum süreci tamamlandıktan sonra çekirdek kararlı hale dönüşerek döngü tamamlanır.



Şekil 2.7. Kararlı çekirdek oluşumu (<http://www.kimyaevi.org/>)

Doğada üç büyük radyoaktif bozunma türü bulunur. Bunlar;

- Alfa bozunumu
- Beta bozunumu
- Gama ışını yayınlanması'dır.

Radyoaktif bozunmada yayılan parçacıklara alfa, beta ve gama parçacıkları veya ışınları adı verilir. Radyoaktif bozunum mekanizmaları, yarı ömürleri ve çevresel etkileri birbirinden çok farklıdır.

Çizelge 2.6. Radyoaktif bozunma ürünlerinin özellikleri

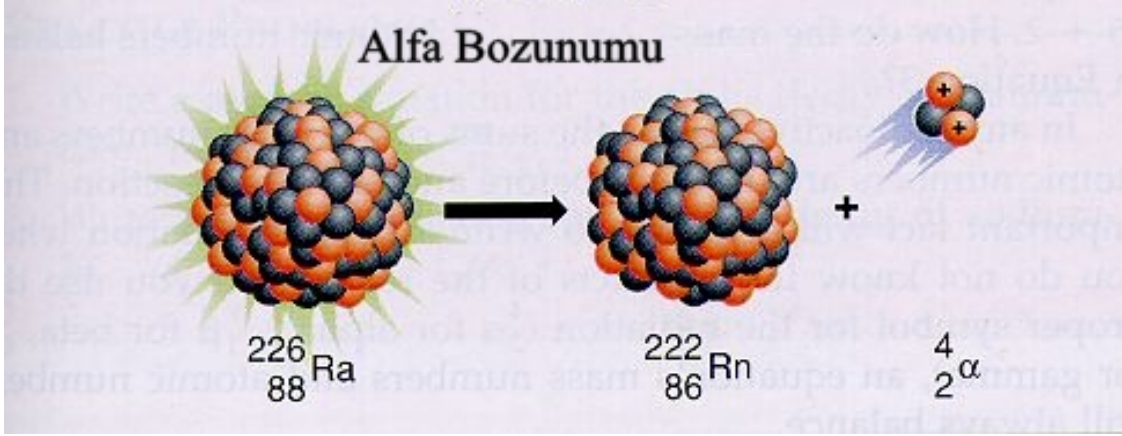
Tanecik	Sembol	Yük	Kütle Numarası	Tanecik	Sembol	Yük	Kütle Numarası
Alfa	α	+2	4	Gama	γ	0	0
Elektron	β^-	-1	1/1840	X-ışını	x	0	0
Pozitron	β^+	+1	1/1840	Nötron	n	0	1
Nötrino	ν	0	0				

Çizelge 2.7. Radyoaktif bozunma çeşitleri

α Bozunumu	${}^N_Z N \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} N' + {}^4_2 He$
β Bozunumu	${}^A_Z N \rightarrow {}^A_{Z+1} N' + e^- + \nu^-$
	${}^A_Z N \rightarrow {}^A_{Z-1} N' + e^+ + \nu$
	${}^A_Z N + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1} N' + \nu$
γ Bozunumu	${}^A_Z N^* \rightarrow {}^A_Z N + \gamma$

2.3.1 Alfa bozunması

Radyoaktif bozunum yoluyla elementlere kimlik değiştirmenin bir alternatif yolu da “alfa bozunumu” denilen yapıdır. Alfa bozunması çoğunlukla bir alfa parçacığı yayan ağır çekirdeklerde meydana gelir. Bir Helyum atomunun çekirdeği iki proton ve iki nötron dan oluşmaktadır. Bu alfa yapısının ağır bir çekirdek olan Helyum atomunun içerisine sıkı bir şekilde birleştiği düşünülmektedir. Alfa bozunması gerçekleşmesi için kütle numarasının 4, atom numarasının 2, olmuş olan taneciğin bünyesinden ayrılarak alfa bozunması meydana gelir. Alfa parçacıkları çok yoğun olduklarından ve iki adet pozitif yük yükledikleri için, maddede çok kısa mesafelerde seyahat eder ve ince bir kağıt tabakasıyla kolayca durdurulsa bile çevresine çok zarar verirler. Her alfa bozunumu, Ayrıldığı çekirdeğin enerji yapısı tarafından belirlenen eşsiz bir enerji ile karakterize edilirler. Geriye kalan çekirdek tamamen farklı bir element atomunu oluşturuyor. Alfa bozunmalarının yarılanma ömürleri genellikle çok uzundur (Saha 1998). Örneğin U-238, yaklaşık olarak dünyanın yaşına geldiği düşünülen yıllık 4,51 milyar bir yarılanma ömrüne sahiptir. Şekil 2.8'de görüldüğü üzere Radium elementinin alfa bozunumuna uğramasıyla Radon elementine dönüştüğü gösterilmiştir.

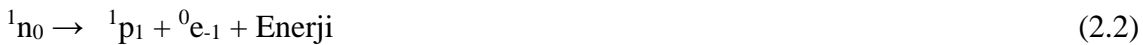


Şekil 2.8. Alfa bozunumu (<https://kurious.ku.edu.tr/tr/makaleler/superagir-elementler>)

Alfa parçacıklarının, kinetik enerjileri sıfır olduğunda ortamdan iki elektron alarak kararlı bir şekilde helyum atomu haline dönüşürler (Saha 1998). Alfa parçacıkları düz çizgi şeklinde yayılım göstermektedirler (Eisenberg 1992). Bu alfa parçacıklarının çevresel olarak zararlı bir etkisi yoktur, canlılar için ise iç yayıcı bakımından oldukça önemlidir. Solunum sisteminden geçerken kemiklerde ve kemik iliğinde önemli miktarda hasara neden olurlar. Bundan dolayı, radyasyondan korunmak için özellikle su, toprak ve havadaki alfa parçacıklarının radyoaktivite değerlerinin sürekli izlenerek takip edilmesi büyük önem arz etmektedir.

2.3.2 Beta bozunması

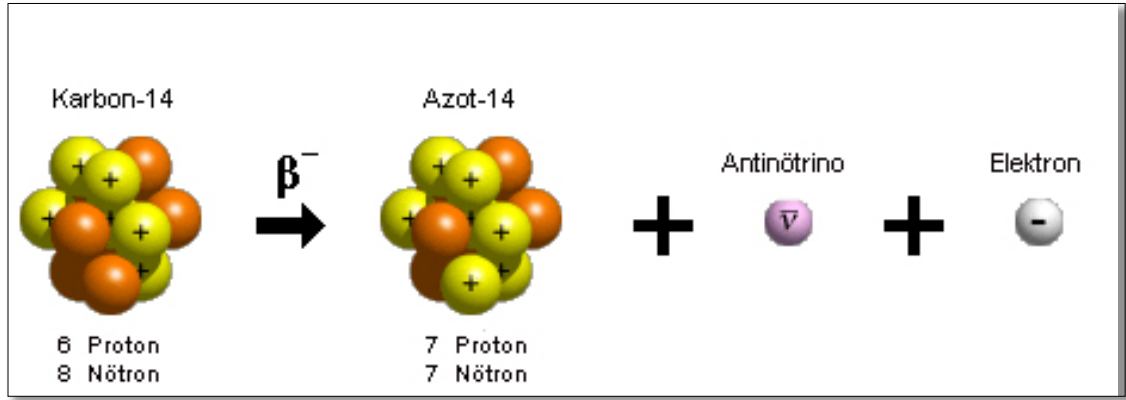
İki çeşit beta bozunması vardır. Negatif (β^-) bir elektronun emisyonu radyoaktif bir çekirdekte bir nötronun bir protona dönüşmesidir. (Denklem 2.2).



Denklem 2.3'de görüldüğü gibi Toryum elementinin β^- bozunumuna uğramasıyla, kütle sayısı değişmezken, Protaktinyum elementinin ise proton sayısının değişmediği belirlenmiştir (Denklem 2.3).



Şekil 2.9'da görüldüğü üzere; en önemli β^- bozunumlarından biri olan C-14 izotopunun, altı proton ve sekiz nötron ile azot izotopuna dönüşmesidir. Bu bozunumun yarı ömrü 5,730 yıldır. Beta bozunumunun en önemli özelliği atomik elektronlardan birinin bir nötrona dönüşmesi için bir proton tarafından yakalanması olaylarını içerir (Howes 2016).



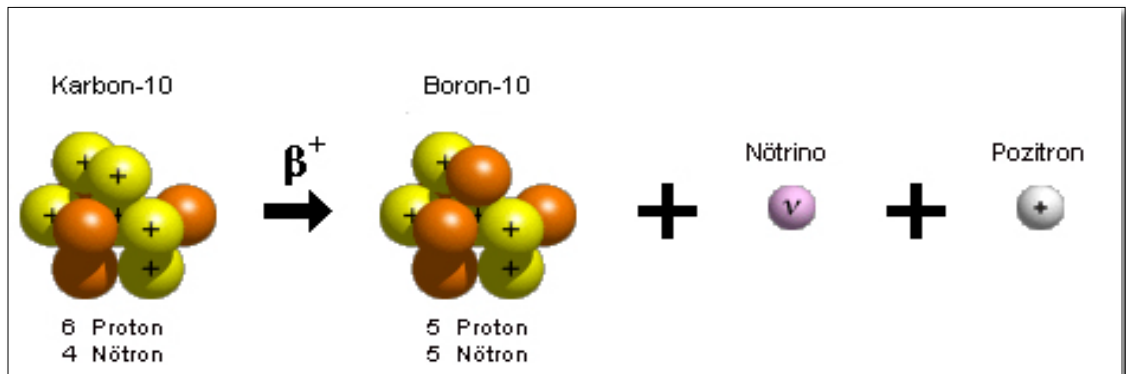
Şekil 2. 9. Örnek bir beta (β^-)bozunumu (<http://education.jlab.org/glossary/betadecay>)

Pozitron (β^+) pozitif yüklü bir elektronun emisyonu ve çekirdeğinde bir protonun bir nötrona dönüşümü olayıdır.



Pozitron (β^+) denklem 2.4'de görüldüğü üzere; sıfır veya sıfıra yakın bir değerde olduğu zaman elektrostatik çekim kuvveti sayesinde bir elektron ile reaksiyona girerek elektron ve pozitron çifti birbirini yok eder ve sonucunda 0,511 MeV'luk iki gama fotonunun etki altına girer (L'Annunziata 1998).

Şekil 2.10'da görüldüğü üzere; en önemli β^+ bozunumlarından biri olan C-10 izotopunun, altı proton ve dört nötron ile boron izotopuna dönüşmesidir. Beta bozunumunun en önemli özelliği atomik elektronlardan birinin bir nötrona dönüşmesi için bir proton tarafından yakalanması olaylarını içerir.



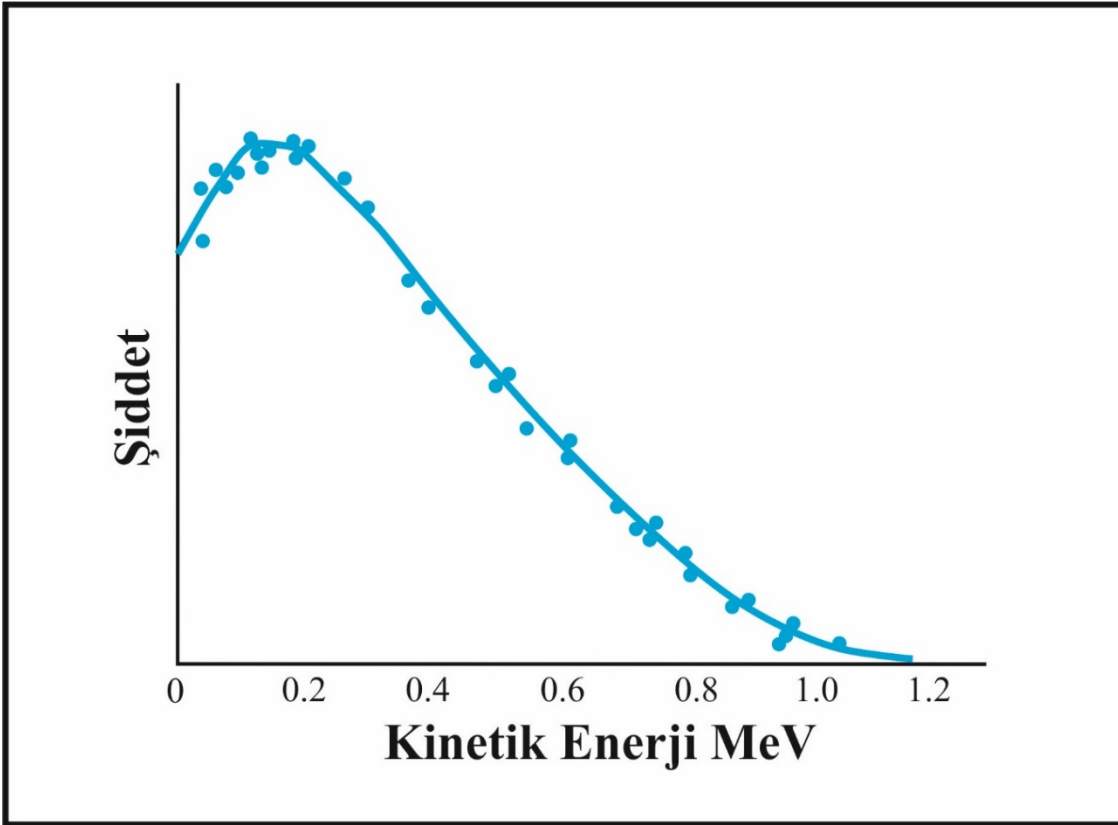
Şekil 2.10. Örnek bir beta (β^+) bozunumu (<http://education.jlab.org/glossary/betadecay>)

Her iki tip beta parçacıkları, çevreye verdikleri zarar bakımından alfa ve gama bozunumların arasında yer alır. Bunlar tipik olarak ince alüminyum bloklarla durdurulur

ve alfa parçacıklarına göre daha az zarar verirler. Pozitronlar bir elektronla birleşerek kendilerini yok ederler veya kendi çevrelerine zarar veren iki gama ışınının emisyonu ile yok olurlar. Beta bozunumlarının yarı ömürleri birkaç saniyeden binlerce yıla uzanabiliyor.

2.3.3 Elektron yakalama bozunumu

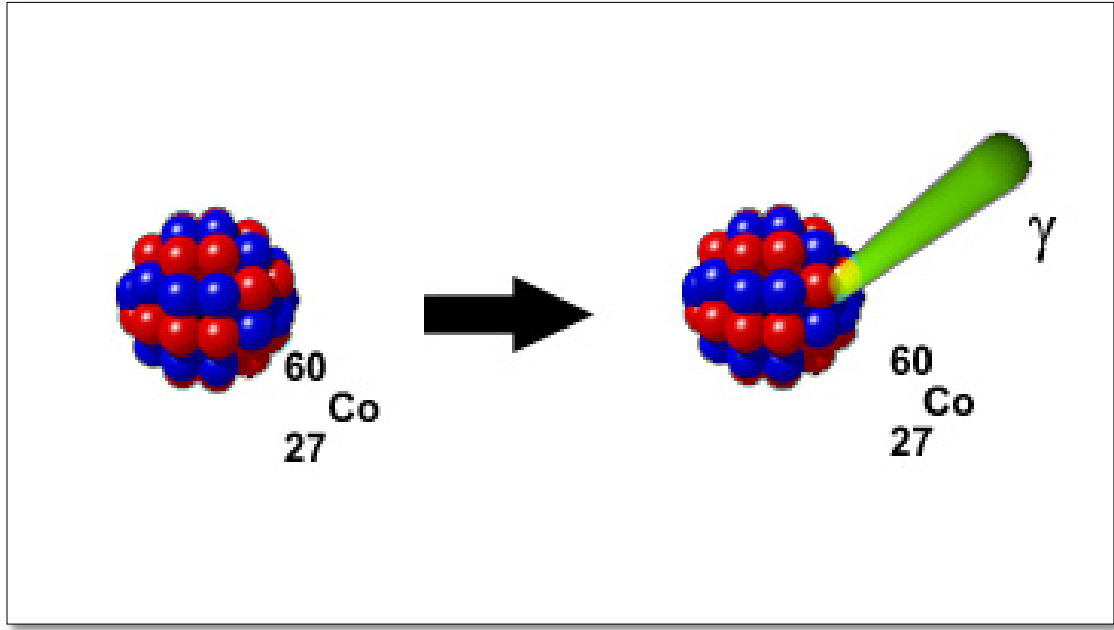
β^- ve β^+ bozunumunun yanında nötron yetersiz nüklidleri için alternatif bir bozunum oluşturarak elektron yakalamayı meydana getirmiştir. Burada esas amaç protonu dönüştürmek için gereken elektron, çekirdek tarafından elektron kabuklarından birinden yakalanır. Bu süreçte elektron yakalama bozunumu olarak bilinir (Gilmore 2008). Şekil 2.11'de görüldüğü üzere bozunumlar sonucunda herbir elektronun enerjileri bir spektruma sahiptir.



Şekil 2. 11. Elektronların enerji spektrumlarına örnek (Seyrek 2007)

2.3.4 Gama ışını yayınlanması

Gama ışını yayınlanması alfa ve beta bozunumlarından farklı olarak gama ışınımda atomdaki çekirdeğin kütle ve atom numarası sayısı herhangi bir değişikliğe uğramaz. Şekil 2.12’de gösterilmektedir. Bu süreçte sadece gama ışınımı yüksek enerjisini kaybetmektedir ve genellikle alfa ile beta bozunumunun bir yan ürünüdür (Gilmore 2008).



Şekil 2.12. Gama bozunumu (Seyrek 2007)

Gama ışınımı bir başka ifadeyle yüksek frekanslı X- ışınlarından oluşan yüksek elektromanyetik radyasyon yayılımıdır. Gama ışını yayınlanmasında yeni oluşan çekirdekteki proton ve kütle sayısını değiştirmeden proton ve nötronların daha düşük enerji durumlarına geçmesine izin verir. Gama bozunumunda partiküller yük ve kütle taşımazlar. Sonuçta elektromanyetik radyasyon oldukları için, madde boyunca uzun mesafeler taşırlar ve yüklü parçacıkların geçişi ile atomlara çok az zarar verirler. Gama bozunumlarının yarılanma ömürleri genellikle çok kısadır. Çizelge 2.8’de radyoaktif elementlerin yarı ömür süreleri gösterilmektedir. Yarı ömürleri genellikle saniyenin milyarda biridir. Bu süre zarfında da bir gama yarılanma ömrü bulmak çok nadirdir. Gama ışınımı enerjisi, onu çeken çekirdekteki proton ve nötronların enerji seviyelerinin karakteristiğidir. Denklem 2.5 ve denklem 2.6’da görüldüğü üzere gama ışınımında

oluşan atomların kütle ve atom numaraları sayısı değişmemektedir. Yayılan gama ışınlarının oluşumu bir nükleer türün tanımlanması için kullanılabilir.



Çizelge 2. 8. Radyoaktif izotopların yarı ömürleri

Element	İzotop	Yarı-Ömür	Verdiği Radyasyon
Hidrojen	^3_1H	12 yıl	Beta
Karbon	$^{14}_6\text{C}$	5730 yıl	Beta
Fosfor	$^{32}_{15}\text{P}$	14 gün	Beta
Potasyum	$^{40}_{19}\text{K}$	1.28×10^9 yıl	Beta ve gamma
Kobalt	$^{60}_{27}\text{Co}$	5 yıl	Beta ve gamma
Stronsiyum	$^{90}_{38}\text{Sr}$	28 yıl	Beta
İyot	$^{131}_{53}\text{I}$	8 gün	Beta ve gamma
Sezyum	$^{137}_{55}\text{Cs}$	30 yıl	Beta
Polonyum	$^{214}_{84}\text{Po}$	$1,6 \times 10^{-4}$ saniye	Alfa ve gamma
Radyum	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 yıl	Alfa ve gamma
Uranyum	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,1 \times 10^8$ yıl	Alfa ve gamma
	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \times 10^9$ yıl	Alfa

2.4 Radyasyon Birimleri

Geçmişte, radyoaktif madde miktarının bir birimi olan curie, uranyum ve toryum gibi doğal radyoaktif maddelere uygulanmasıyla farklı yorumlar yapılmasına neden olmuştur. Birçok çalışmalarda curie radyoaktifliğin saf bir birimi olarak değerlendirilmiştir (Jaeger ve Houtermans 1962). Uluslararası Birimler Sistemi (International System of Unit, SI) onaylanmasıyla birlikte ICRU 1971 yılından itibaren SI birimlerini tanımlamış ve eski birim olan Curie yerine Becquerel kullanılmaya başlanmıştır.

Bu onaylanma sonucuda artık yeni birimler kullanılmaktadır. Aşağıdaki çizelge 2.9.'da eskiden kullanılan radyasyon birimleri ile günümüzde kullanılan radyasyon birimleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.9. Eski ve yeni radyasyon birimleri (U.S.NRC 2000)

Terim	Birim		Dönüşüm
	Klasik Sistem	SI Birim	
Aktivite	Curie, Ci	Becquerel, Bq	1 Ci=3,7 x 10 ⁷ 1 Ci=37 GBq
Işınlanma Düzeyi	Röntgen, R	Coulomb/kilogram C/kg	1 C/Kg=3876 R 1 R=2,58 x 10 ⁻⁴
Soğrulan Doz	Radiation Absorbed Dose, Rad	Gray, Gy	1 Gy=100 Rad 1 rad=0,01 Gy
Doz Eşdeğeri	Röntgen Equivalent Man, Rem	Sievert, Sv	1 Sv=100 rem

2.4.1 Aktivite birimi

Radyoaktivite birimi önceden Curie (Ci) olarak tanımlanmaktaydı. Radyoaktivite ölçü sistemindeki birimi 1986 yılında Uluslararası Birimler Sistemi (SI) tarafından onaylanarak Becquerel (Bq) adını almıştır. Radyoaktiviteyi keşfeden Henri Becquerel'in ismine ithafen radyoaktivite ölçü birimi Becquerel (Bq) konulmuştur. Bir radyoaktif maddenin birim zamandaki bozunma sayısına aktivite denilmektedir.

Özel Birim: Curie(Ci)

SI Birimi: Becquerel(Bq)

Curie: Saniyede 3.7x 10¹⁰ parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir.

Bequerel: Saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir (Liden 1974).

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

2.4.2 Işınlama birimi

Radyasyonun belirli bir ortamda hava atomları iyonlaştırma (iyonizasyon meydana getirme) özelliğine dayanan bir ölçüdür ve elektromanyetik radyasyonlar için tanımlanmıştır.

Özel Birim: Röntgen (R); Normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1kg'ında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır.

SI Birimi: Coulomb/kg (C/kg); Normal hava şartlarında havanın 1kg'ında Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır (Liden 1974).

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$$

$$1 \text{ C/kg} = 3.88 \times 10^3 \text{ R}$$

2.4.3 Absorblanan doz

Radyasyon enerjisinin ortamda iyonizasyon nedeniyle enerji olarak depolandığı miktara denilmektedir. Birim zamanda soğrulan doz miktarına soğrulan doz hızı denilmektedir.

Özel Birim: Rad; Işınlanan maddenin 1kg'ına 10^{-4} joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğrulan enerji parçacık veya foton olabilir.

SI Birimi: Gray(Gy); Işınlanan maddenin 1kg'ına 1joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır (Liden 1974).

$$1 \text{ Rad} = 10^{-4} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad}$$

2.4.4 Doz eşdeğer birim

Soğrulan doz ile kalite faktörünün çarpımıdır. Kalite faktörü (Q) ile ifade edilmiştir. Bazı radyasyon türleri için kalite faktörü aşağıdaki çizelge 2.10'da verilmiştir.

Eşdeğer dozun eski birimi rem (Roentgen Equivalent Man)'dir. Yeni birimi ise Joule/kg olup Sievert (Sv) adı verilmiştir (Liden 1974).

Özel Birim: Rem

SI Birimi: Sievert (Sv); 1 Gray'lık x ve g ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır.

Rem = Soğurulan Doz x Faktörler

1 Rem = 10^{-2} Sv

1Sv = 100 Rem = 1 J/kg

Çizelge 2. 10. Bazı radyasyon türlerinin kalite faktörleri (AFAD 2015)

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü (Q)
x ışınları	1
γ ışınları	1
β ışınları	1
α ışınları	20
Elektronlar	1
Protonlar	2
Nötronlar	5-20

2.5 Radyoaktif Elementler ile Özellikleri

En önemli radyoaktif elementler uranyum, potasyum, toryum ve radyum'dur.

2.5.1 Uranyum

Uranyum, saf ve doğal halde bulunmamasına karşın Dünya'nın kabuğunda ve okyanuslarda oldukça yaygın halde bulunur. Uranyum diğer elementlerle birleşerek bilinen 150 minerali oluşturuyor. Uranyum savunma programları dahil federal nükleer programların bir parçası olarak da kullanılır. Aynı zamanda sivil elektrikli reaktörler için nükleer yakıt olarak da kullanılmaktadır. Atom numarası 92 olan Uranyumun simgesi (U) olarak gösterilir ve periyodik cetvelin 3B grubunda yer alır. Kimyasal ve fiziksel

özellikleriyle plütonyuma benzemektedir. Doğal olarak radyoaktiftir ve üç tane izotopu vardır (atomik kütle numaraları farklı ancak atom numaraları aynı olan). Ortalama molekül ağırlığı 238,03'tür. Uranyum-238 ve Uranyum-235 en önemli iki izotopudur. Saf Uranyum gümüşümsü beyaz parlak bir metal renge sahiptir. Uranyum deniz suyunda milyonda 0.002 parça bulunurken, dünya kabuğunun kayaçlarında milyonda 4 parçaya kadar bulunur. Uranyum, en çok siyah oksit uraninitde ve radyum ve uranyumlu maden cevherlerinde bulunur. İşlenmiş Uranyum sarı pasta olarak da adlandırılır.

Uranyum öğütme işlemi sırasında çıkan radyoaktif elementler potansiyel olarak insan sağlığına zararlıdır. Bu radyoaktif elementler radon, radyum, uranyum izotopları ve kurşundur. Uranyum ve tuzları yoğun miktarda toksik içerdiğinden insanlarda cilt ve göz tahrişine ve hatta ölüme bile neden olmaktadır. Minik radyoaktif parçacıkların bile solunması insanlarda akciğer kanseri riskinin artmasına neden olmaktadır. Uranyum-245 atom ve hidrojen bombalarında kullanılır. Uranyum-234 ve Uranyum-235, güç reaktörlerinde nükleer yakıt olarak kullanılmaktadır. Uranyum-235 yoğunluğu yüksek olmasından dolayı röntgen ve gama ışını koruması için kullanılır (Judith 2016). Çizelge 2.11.'de Uranyumun özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2.11. Uranyumun özellikleri (<http://www.chemicalelements.com>)

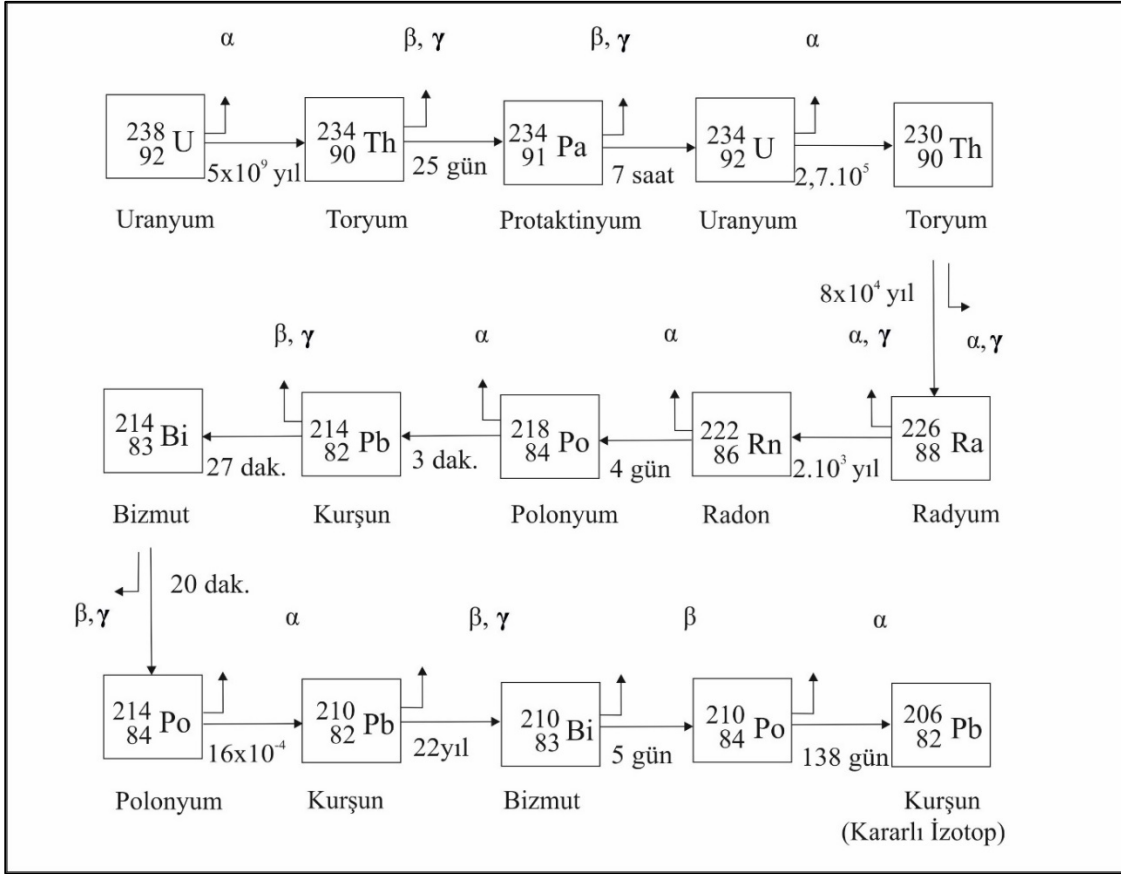
İsim	Uranyum
Atom Numarası	92
Element Serisi	Aktinitler
Atom Ağırlığı	238,02891
Yoğunluk	19,1 g/cm ³
Ergime Noktası	1405,3 K
Kaynama Noktası	4404 K
Kristal Yapısı	Ortorombik
Mohs Sertliği	2,5-3
Renk	Metalik gri

Çizelge 2.12’de görüldüğü gibi; Uranyum-238, doğada en sık rastlanan Uranyum izotopudur. Uranyum-238’in yarılanma zamanı (4,46 milyar) yıldır ve radyoaktif ışımaya yaparak (doğal ışımaya enerjisi 4,267 MeV) sırasıyla bir başka uranyum izotopu olan 239-U, Neptünyum ²³⁹Np ve Plütonyum ²³⁹Pu’a indirgenir. Silah sanayisinde zırh ve zırh delici mermilerde sıklıkla kullanılan zayıflatılmış uranyum içerisinde bol miktarda 238-U izotopu bulunur (Scott 1982).

Çizelge 2.12. Radyonüklidlerin ışımaya türleri ve uranyumun bozunum zinciri (WHO 2001)

Radyoçekirdek	Yarı Ömür	Radyasyon Türü
U-238	4,468 x 10 ⁹ yıl	Alfa
Th-234	24,1 gün	Beta
Pa-234m	1,17 dakika	Beta
U-234	244.500 yıl	Alfa
Th-230	77.000 yıl	Alfa
Ra-226	1.600 yıl	Alfa
Rn-222	3,8235 gün	Alfa

Uranyumunun bozunum zincirinde gama yayılma ışınımının etkisi altında 226-Ra meydana gelir. Bozunum zincirinde oluşan gama yayılımının %95’inden daha fazlası bozunum zincirinin en alt serisinde oluşur. Bozunma zinciri elemanlarının büyük bir çoğunluğu kısa yarı ömre sahiptir. Yarı ömürleri bir yıldan fazla olan sadece 4 radyoçekirdek vardır. Bunlar, 238-U, 234-U, 230-Th ve 226-Ra’dur. Bazı radyoçekirdeklerin yarı ömür süreleri 30 dakikadan az olanların yarı ömür aralıkları 3,82 ile 182 gündür. Şekil 2.13.’de gösterildiği gibi; 214Pb çok az etkisi olmasına rağmen 214Bi’un oldukça fazla etkisi vardır. Bozunum zincirinde radyumun oldukça zayıf bir beta ışını yaydığı görülür. Bu ışın oldukça önemli olup toprak içerisine saklanmış olan 226Ra’un özellikle altın madenleri içerisinde gama dozlarının önemli bir yayıcısıdır (WHO 2001).



Şekil 2. 13. Uranyum-238 radyoaktif serisi (Ereeş 1998)

2.5.2 Potasyum

İngiliz kimyager Sir Humphry Davy 1807 yılında potasyum elementini keşfetti ve isimlendirdi. Potasyumu oluştururken ilk olarak potasyum hidroksiti elektrolize ederek izole etti ve potasyumu ilk kez metal haline getirmiş oldu. Potasyum, Dünya'nın kabuğunda bol miktarda bulunan oldukça hafif, gümüşümsü beyaz renkli bir metaldir. Kimyasal sembolü (K) olarak gösterilir ve atom numarası 19'dur. Periyodik cetvele göre alkali metal grubunda yer almaktadır. Potasyum havada hızlı bir şekilde okside olur ve su ile şiddetli bir reaksiyon göstererek potasyum hidroksit ve hidrojen gazı üretir. Potasyum güvenli bir şekilde depolandıktan sonra hidrojen gazı kendiliğinden yanmaktadır. Potasyum az miktarda tüm hayvan ve bitki dokularının bir bileşeni olduğu için yeryüzünde yaşamsal önem taşımaktadır. Aynı zamanda potasyum toprağı besleyen en önemli unsurdur.

Potasyum doğada üç izotopik oluşumda bulunur. Bu izotopiklerin kütle numaraları birbirinden farklıdır (K-39, K-40 ve K-41). K-39 bu üç doğal izotopun

içerisinden en bol bulunanıdır. Doğada bulunan potasyumun %93,25'i K-39, %6,7'si K-41 ve %0,01'i K-40 içermektedir. K-40 radyoaktif bir izotoptur (Narsaria 2016).

Doğada tek başına bulunabilen doğal radyonüklidler arasında kendine has özelliklere sahip olan K-40 en önemli radyonüklidlerden bir tanesi olup doğal radyasyona etkisi çok fazladır. Potasyum nehir sularının akış hızları doğrultusunda taşınmasıyla göl ve denizlerde birikerek K-40 etkisini daha fazla arttırmaktadır. Bunları etkileyen en önemli etkenler bölgelerin jeolojik yapısı, bölgenin konumu, iklim özellikleri gibi birçok faktör etki etmektedir (Engelkemeir vd 1962). Çizelge 2.13'de potasyumun özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2. 13. Potasyumun özellikleri (<https://tr.wikipedia.org>)

İsim	Potasyum
Atom Numarası	19
Element Serisi	Alkali Metaller
Atom Ağırlığı	39,0983 g/mol
Yoğunluk	0,89 g/cm³
Ergime Noktası	335,53 °K
Kaynama Noktası	1032 °K
Kristal Yapısı	Hacim Merkezli Kübik
Mohs Sertliği	0,4
Renk	Gümüş-Beyaz

2.5.3 Toryum

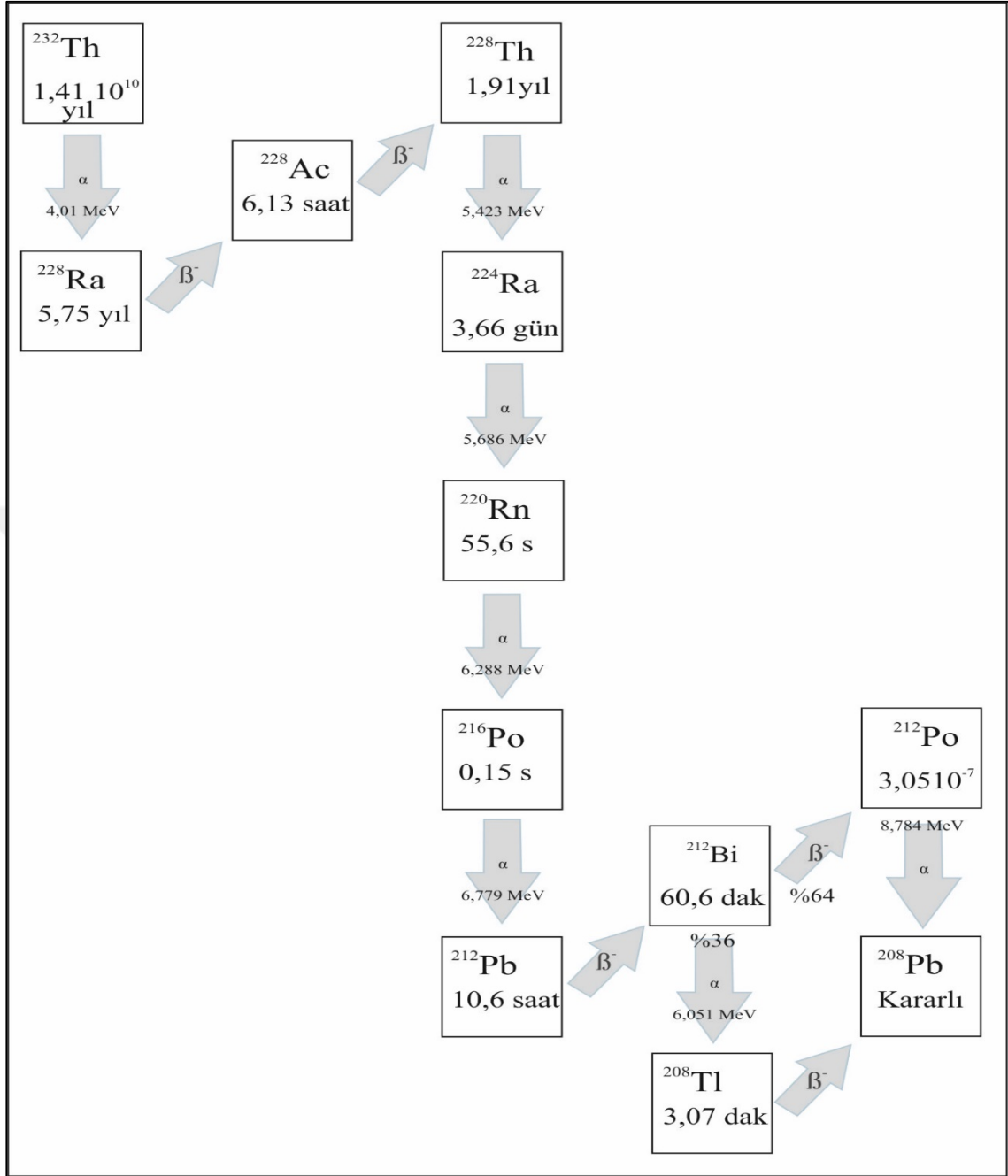
Toryum elementi Uranyum veya nadir toprak elementi içeren çeşitli minerallerde bulunur. Toryumun en önemli kaynağı genellikle kumda bulunan monazittir. Toryum elementi çoğunlukla Toryum-232 (Th-232) elementi olarak kullanılır. Th-232 elementi

nükleer reaktörler için Uranyum-233 üretebilmesi için kullanılır. Toryum kimyasal ve fiziksel özelliklerine bakıldığında Uranyuma benzemektedir. Toryum periyodik cetvelin aktinit serisinde yer almakta olup atom numarası 90'dır. Çizelge 2.14.'de Toryum eleminin özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2. 14. Toryumun özellikleri (<https://tr.wikipedia.org/>)

İsim	Toryum
Atom Numarası	90
Element Serisi	Aktinitler
Atom Ağırlığı	232,0381 g/mol
Yoğunluk	11,7 g/cm³
Ergime Noktası	2115 °K
Kaynama Noktası	5061 °K
Kristal Yapısı	Kübik
Mohs Sertliği	3
Renk	Kurşun Rengi

Tüm Toryum izotopları radyoaktif olup en yoğun özelliğe sahip Th-232 izotopudur. Th-232'inin yaklaşık olarak on dört milyar yıllık bir yarılanma ömrüne sahiptir. Şekil 2.14'de görüldüğü gibi Toryum elementi bozunması sonucunda kararlı Kurşun haline dönüşür. Toryum, Uranyum elementine benzeyen nadir bir radyoaktif elementtir. Toryum elementi radyoaktif olduğu için insan sağlığı açısından tehlike oluşturmaktadır. Toryum-232 elementi kendi başına bir tehlikeli özellik yansıtmasa da, Radon-220 elementi bozunması sırasında içine düşen maddelerin birisi gaz olduğu için insanların akciğerlerine girebilir. Toryum, radyoaktivitesi nedeniyle toryum ürünlerinin kullanımı azalmıştır.



Şekil 2.14. Th-232 bozunma şekli (Günoğlu 2008)

2.5.4 Radyum

Radyum, 1898 yılında Marie Curie tarafından daha önce Antoine-Henri Becquerel tarafından bulunan nüfuz edici radyasyonda uranyum ve toryum içeren maddeler bulunmuştur. Marie ve Pierre Curie, bizmut ile polonyum yeni radyoaktif elementleri izole etmeyi başarmışlardır. Radyum elementi sadece Uranyum içeren cevherlerde bulunur.

Radyumun kullanım alanları çok az olmasına rağmen kanser tedavilerinde kullanılması açısından tarihi önem taşımaktadır. Aynı zamanda metalurji ve bilimsel uygulamalarda da kullanılır. Radyum elementi kimyasal sembol olarak (Ra) olarak gösterilir ve atom numarası 88 olup radyoaktif bir elementtir. Çizelge 2.15.'de radyumun özellikleri verilmiştir. Kimyasal özellik olarak Baryum'a benzemektedir. Radyumun yirmibeş tane izotop oluşumu vardır (Ra-206'dan Ra-230'a kadar). Bu izotopların hepsi dengesizdir. Saf radyum parlak beyaz renktedir. Ancak havada hızla okside olduğu için kararmış olur. Doğal olarak oluşan Radyum elementinin en yoğun halde bulunan izotop elementi Ra-226'dır. 1,620 yıllık bir yarılanma ömrüne sahiptir. Radyum, alfa ve gama radyasyonunun yoğun bir kaynağı olduğu için çevresel bir tehlike kaynağıdır. Yirminci yüzyılın başlarında radyum, gama radyasyonu ile kullanılmasıyla birçok kanser türünde tedavi amaçlı kullanılmıştır. Radyumun, bozulması sonucunda kemik iliği veya kemik kanseri riskine neden olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2. 15. Radyumun özellikleri (<https://tr.wikipedia.org/>)

İsim	Radyum
Atom Numarası	88
Element Serisi	Alkalinler
Atom Ağırlığı	226 g/mol
Yoğunluk	5,5 g/cm³
Maddenin Hali	Katı
Kaynama Noktası	2012 °K
Kristal Yapısı	Kübik
Renk	Gümüş Metal Beyazı

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Radyasyon Ölçüm Yöntemleri

Radyasyon ölçüm yöntemleri radyasyon ve maddenin etkileşmesi sonucunda meydana gelir. Işınlardan maddeye girdikleri zaman radyasyon enerjisi maddeye geçer ve radyasyon korunur hatta durdurulur. Maddenin atomları ve molekülleri yüksek bir enerjiyle uyarılmış duruma getirilir ve ışınım enerjileri yeterince yüksek ise iyonlaşırlar. Alfa, beta ve gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyon olarak bilinir. Radyasyon bir gazdan geçerken pozitif iyonları ve elektronları oluşturur. Radyasyon ölçüm cihazları oldukça hassas cihazlar ile yapılmaktadır.

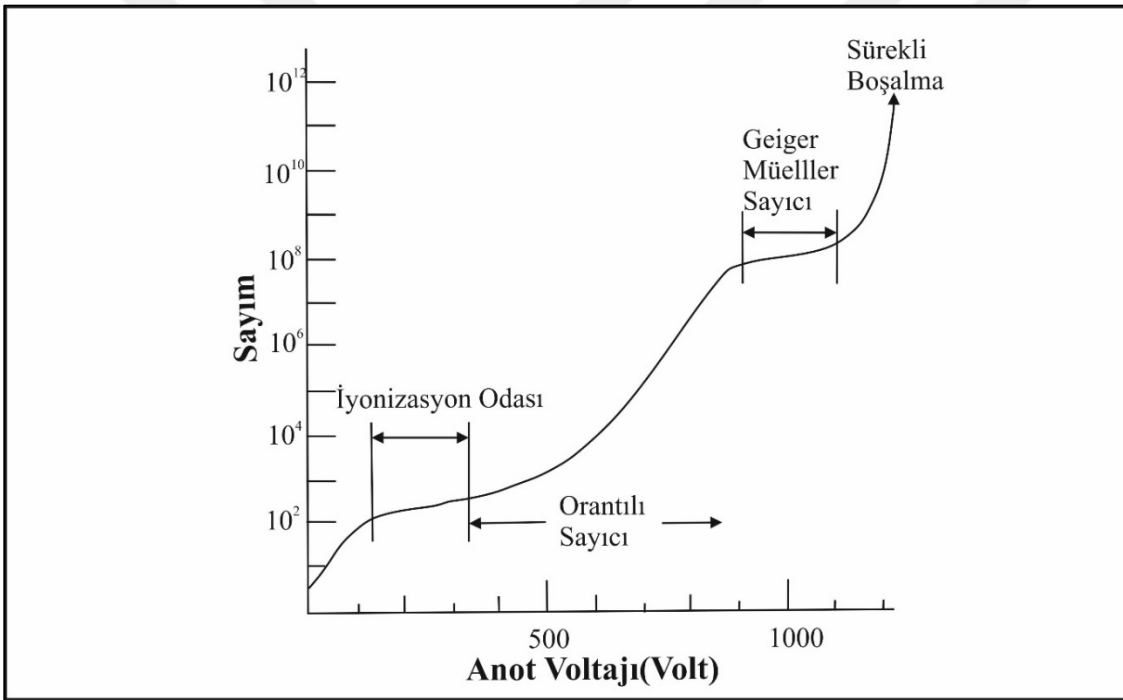
3.1.1 İyon odası dedektörü

Gaz iyonizasyon dedektörleri, yük toplama elektrotları arasındaki farklı alan kuvvetleri tarafından oluşturulan etkilerle karakterize edilebilmektedir. İyon odası dedektörlerinin büyüklüğü alan şiddetine ve dedektör hacmine giren iyonlaşmış radyasyon türüne bağlıdır. Elektrotlarda toplanan sarj miktarı, doğrudan gelen radyasyonun iyonizasyon etkilerini gösterirler. İyon odası dedektörleri 60 ile 300 Volt'luk değerler arasında çalışmaktadır (Lytle vd 1984). İyon odası dedektörleri, özel bir radyasyon tipi için uyarlanabilir ve düşük doz radyasyon enerjileri hakkında bilgi verirler. Çıkış sinyali doğrudan iyonizasyon etkisi ile ilişkili olduğu için, iyon odası dedektörleri radyasyon dozimetresinin ölçülmesinde oldukça yararlıdır. İyonizasyon dedektörleri alfa parçacıkları yüksek enerji çıkış sinyali sağladıkları için kolayca algılanabilirler. Ancak beta parçacıkları ve gama ışınları düşük bir sinyal ürettikleri için kolayca algılanamazlar (Steinhauser ve Buchtela 2012).

3.1.2 Geiger-Mueller sayacı

Fotonlar için yoğun ve esas saptama verimliliğinin yeni bir hesaplama modeli olan Geiger-Müeller tüpü kullanılmaya başlanmıştır. Geiger-Müeller yöntemi ile verimlilik ve foton enerjisi arasındaki ilişki katot malzemelerine ve kalınlıklarına bağlı olduğu bulunmuştur. Geiger-Müeller tüpünün iç çapı 20 mm olan kurşun katotun içerisinde, düşük foton enerjilerinde hassas 0.1 mm kalınlığında katot duvarı vardır. Yüksek enerji bölgesinde üzerinde 0,2 mm tüp içerisinde 0,3 ile 3 MeV arasında bir hassasiyete sahiptir. Geiger- Mueller 900 ile 1300 Volt'luk değerler arasında çalışmaktadır. Duvar kalınlıkları

düz duyarlılığa sahip seçilmiş kurşun, kalay ve bakır katotu kullanılır Geiger-Müeller tüpü içerisinde. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere verim değeri, düşük foton enerjisine kadar uzanırken atom numarasıyla azalır. Geiger-Müeller tüpleri, basit yapıları ve büyük çıkış sinyalleri nedeniyle radyasyon ölçüm cihazlarında veya radyasyon monitörlerinde uygulanır. Geiger-Müeller tüpüne çarpan fotonlar, iyonize edilmiş iyonlar ve sayım gazları ile elektronlar sayesinde tespit edilir. Bununla birlikte, fotonlar çoğunlukla katot duvarıyla etkileşir ancak sayım gazları ile etkileşime girmez. İçerisinde oluşturulan elektronlar serbest bırakılır ve daha sonra tespit edilir. Geiger-Müeller tüplerinin bu tespit mekanizması, sintilasyon sayaçları ve germanyum dedektörlerinden farklıdır (Watanabe 1999).



Şekil 3.1. Geiger- Muellerin farklı voltaj değerlerine göre görünümü (Günoğlu 2008)

3.1.3 Orantılı sayaçlar

Orantılı sayaçların çalışma mekanizmasında uygulanan alan kuvvetinin artırılması sonucunda yüksek kinetik enerjisinden dolayı ekstra bir iyonizasyon oluşmaya başlar. Orantılı sayaçlar 1500 ile 4000 Volt'luk değerler arasında çalışmaktadır. Bu birincil iyonlar, dedektör gazının iyonizasyon enerjisinden daha yüksek bir enerjiyle hızlandırıldıkları için ikincil iyonları üretmektedirler. Daha sonra üretilen çok sayıda iyonlar birincil iyonların asıyısı ile orantılı olmak zorundadır (Steinhauser ve Buchtela

2012). Birincil bölgedeki iyonlar alfa, beta ve gama radyasyonu üretmek için kullanılmaktadır. Aynı türden farklı enerjilerle radyasyonları ayırmayabilirler.

3.1.4 Sintilasyon dedektörleri

Sintilasyon dedektörleri, çıkış pulslarındaki farklılıkları algılayarak dedektörle etkileşen radyasyon hakkında tam bir bilgi sağlamaktadır. Sintilasyon dedektörleri nötronlar ve gama ışınları arasında hızlı bir şekilde ayrımı yapabilir ve spektrometre sayımını gerçekleştirebilir. Sintilasyon dedektörleri radyasyonu tespit etmesinde uygulanan temel adımlar şunlardır; radyasyonun sintilasyon dedektörü ile etkileşimi, gerekli malzemelere enerji transferi yapması, foton ışınların yayılmasını sağlamak, fotodedektörler ile fotonların toplanmasını sağlamak ve son olarak da ilişkili elektronitler tarafından sinyalin alınmasını sağlamaktadır. Sintilasyon dedektörünün, ışığı yaydıktan sonraki emilmiş radyasyon oranları %10 ile %15 arasında değişmektedir. Bu da sintilasyon dedektörlerinin çok verimli olmadığını göstermektedir (Ahmed 2015).

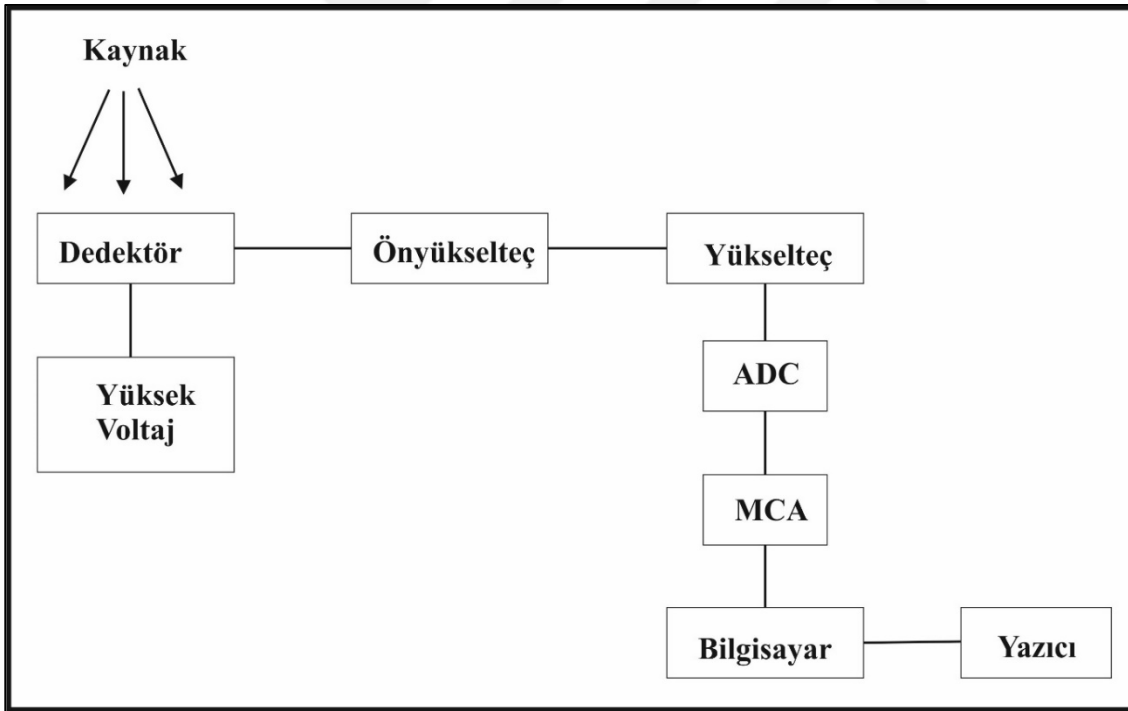
3.1.5 Yarı iletken dedektörler

Yarı iletken Germanyum(Ge) ve Silisyum(Si) dedektörleri bilim çalışmalarına uzun yıllar hizmet etmektedirler. Bununla birlikte Ge dedektörleri, daha iyi çözünürlük, daha yüksek verim, daha fazla çeşitlilik ve düşük seviyeli spektrumun sayımın gerçekleştirilmesinde önemli bir faktördür. Yüksek saflıktaki Ge algılayıcıları ve yüklü parçacık Si algılayıcıları üretimdeki yeni teknolojik imkanları açığa çıkarmaktadır. Ge ve Si dedektörleri gama ışınları- X-ışınları veya yüklü parçacık spektrometresinde uygulamaları büyük oranda saptar ve belirli bir problemi tanımlamak için kullanılan en iyi dedektörlerdir. Germanyum dedektörleri ^{137}Cs ve ^{24}Na gama spektrumundaki karmaşıklık hakkında bilgi verirken, dedektör çözünürlüğünü ve verimliliğini etkileyen farklı faktörleri de ortaya çıkarmaktadır (Verplancke vd 2012). Silisyum dedektörleri birçok açıdan Germanyum dedektörlerine benzemektedir. Genellikle radyasyonun enerjisini ölçmek için kullanılır (Fernández vd 2010). Ayrıca alfa ve beta spektroskopisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.1.6 HPGe gama spektrometresi sistemi

Gama spektrometrik ölçümlerde her türlü çevresel örnekte kimyasal işlem gerekmeden sadece fiziksel işlemlerle örnek hazırlanmaktadır. Örnekte gama ışını yayan

hangi radyonüklidlerin bulunduğu (kalitatif) ve spesifik aktiviteleri (kantitatif) belirlenebilmektedir. Gama spektrometresinin bulunduğu laboratuvarların bodrum katlarda, penceresiz ve duvarları kalın veya baritli betondan yapılmış olması gerekmektedir. Bu zırhlama uzaydan gelen ve detektöre ulaşan yüksek enerjili kozmik ışınların şiddetini düşürmek için yapılmaktadır. Buna ilaveten, dedektör 10 cm kalınlığında kurşun blok içinde bulunmakta ve bu kurşun zırh da detektöre ulaşan kozmik ışın akısını yeterince azaltmaktadır. Şekil 3.2 ve 3.3’de görüldüğü üzere gama spektrometre sisteminin nasıl çalıştığı belirtilmiştir. 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 sağlamabilmesi için, örneklerin 1 ay süreyle bekletilmesi ile sağlanır (Bruzzi vd 1997). Laboratuvarun bulunduğu konum ve Pb zırhın uygun olmaması spektrumlarda ölçülmek istenen düşük aktiviteli radyonüklid piklerinin ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır.



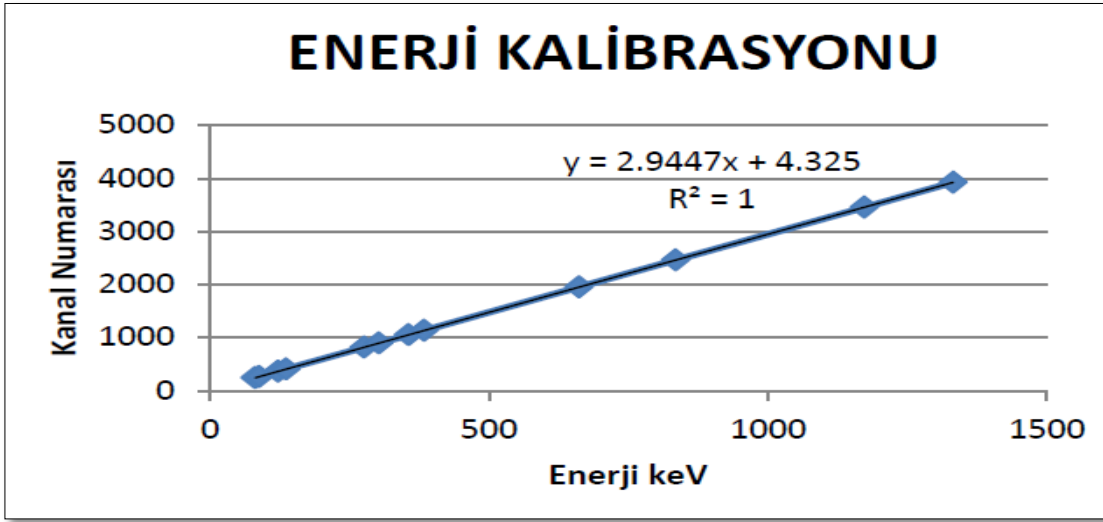
Şekil 3.2. Gama spektrometre sistemin blok şeması (<http://nukleer.akdeniz.edu.tr>)



Şekil 3. 3. Yüksek çözünürlüklü HPGe dedektörü

3.1.7 Enerji kalibrasyonu

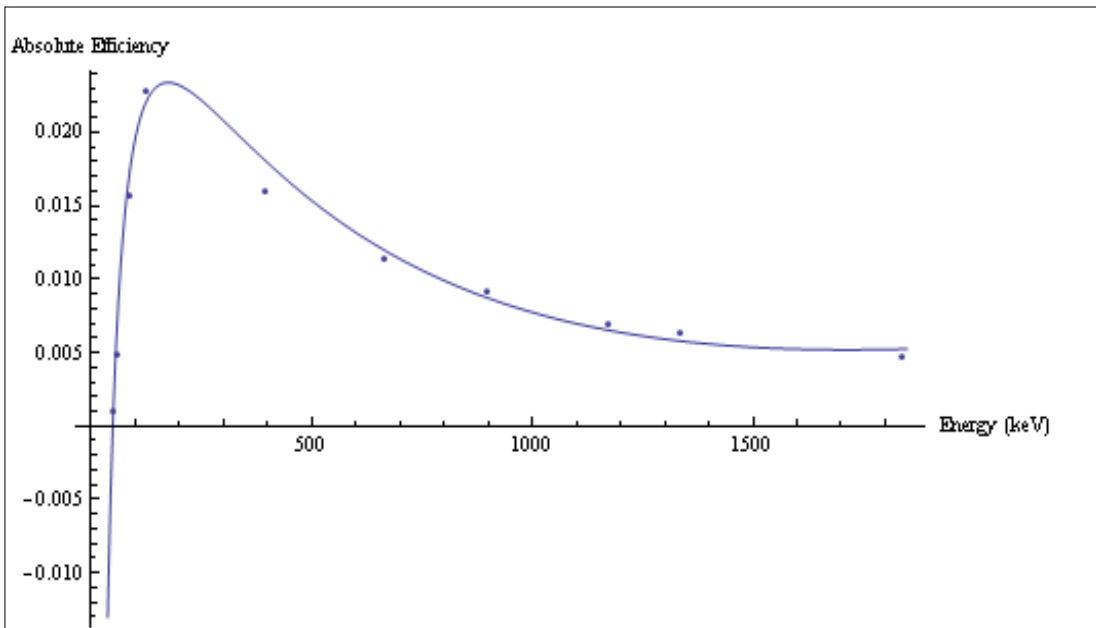
Enerji kalibrasyonu radyoaktivite ölçümlerinden sonra spektrumların hangi aralıklarda olduğunu belirlemek için kullanılır. Şekil 3.4’de görüldüğü gibi bu yöntemle elde edilmiş olan gama ışınlarının kanalını hangi enerji alanına denk geldiğini göstermekte olup radyoaktif çekirdeklerin belirlenmesini ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 3. 4. Enerji kalibrasyon eğrisi (<http://nukleer.akdeniz.edu.tr/>)

3.1.8 Verim kalibrasyonu

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi, verim kalibrasyonu, dedektör içerisinde sayılabilir büyüklükteki pulsları üreten fotonların yüzdesi şeklinde ifade edilir. Verim kalibrasyonunun belirlenmesinde numune örneklerinin ve kaynak geometrilerinin aynı olması büyük öneme sahiptir. Eğer uygulanan yöntemde örnek ve kaynak geometrileri aynı değilse verim kalibrasyonunun düzeltilmesi gerekmektedir.



Şekil 3. 5. Verim kalibrasyon eğrisi (<http://nukleer.akdeniz.edu.tr/>)

3.2 Çalışma Alanında İncelenen Kayaçlar

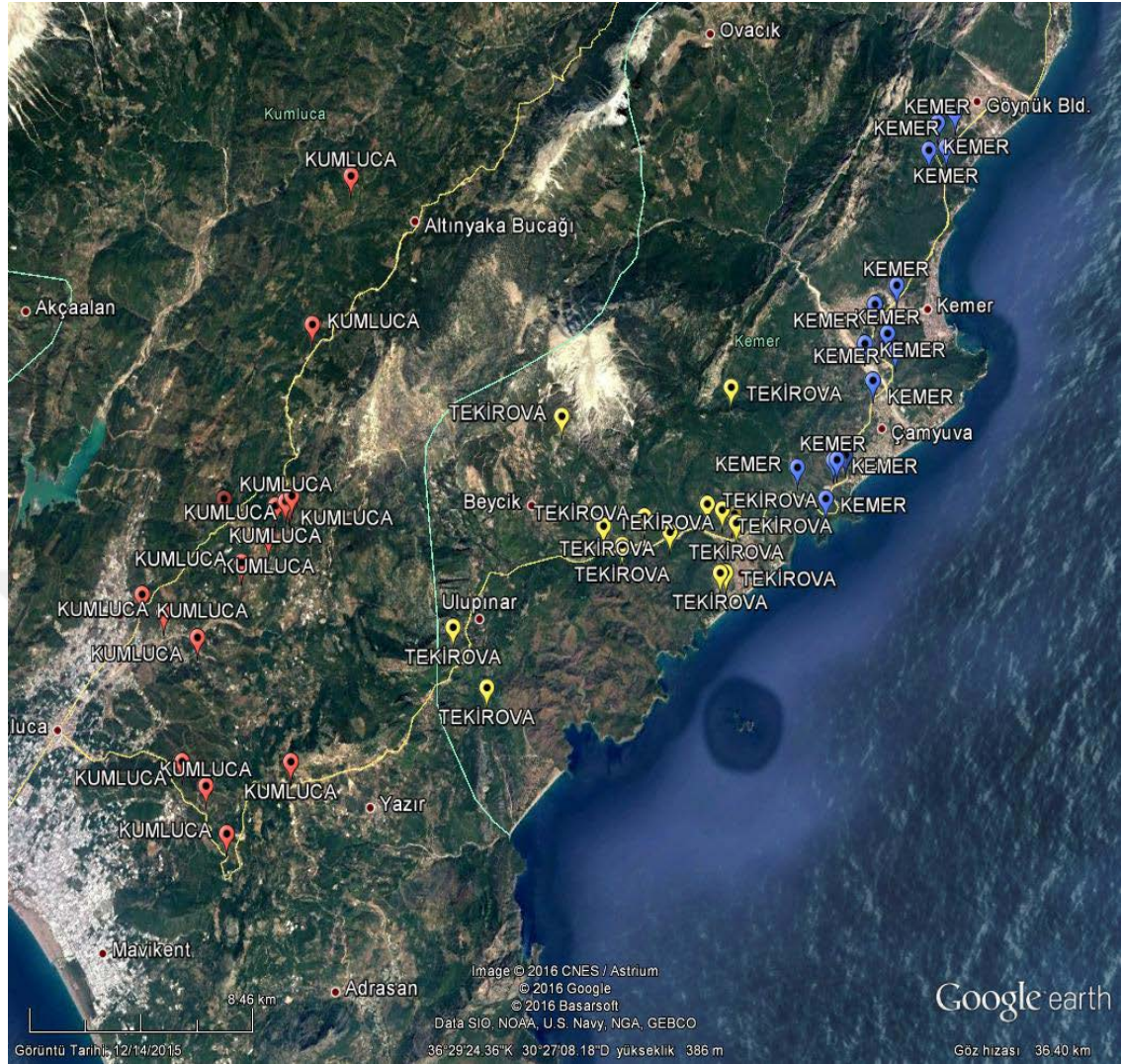
Tez çalışması kapsamında Antalya ili içerisinde yer alan Tekirova, Kemer ve Kumluca bölgelerinden toplam 50 adet ofiyolit kayaç numunesi üzerinden ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.7'de çalışma alanının yer buldur haritası gösterilmektedir. Şekil 3.8'de çalışma alanından derlenen kayaç örnekleri gösterilmektedir. Çalışma alanında toplanan bütün kayaç örnekleri serpantin kayacına aittir. Serpantin oldukça yaygın bir halde bulunmakta ve sulu filosilikatlar arasında yer almakta olup kimyasal formülü $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ olarak ifade edilir. Üç ana serpantinli polimorfun (krizotil, lizardit ve antigorit) her biri birçok jeolojik ortamda geniş termal koşullar altında oluşmaktadır (Evans vd 2013). Çoğunlukla serpantin grubu minerallerinden oluşan Serpantinit antik çağlardan beri ayinlerde ve süs oymalarında kullanılmıştır (Guillot ve Hattori 2013). Serpantin taşı "asil" olarak karakterize edilmiştir. Şekil 3.6'da serpantin örneği gösterilmiştir. Kompakt bir mikroyapısı olan serpantin mavi-yeşil, sarımsı yeşil, gri ve beyaz gibi ince renklerle bulunmaktadır (O'Donoghue 2006).



Şekil 3. 6 Çalışma alanındaki serpantin örneği



Şekil 3. 7. Çalışma alanı yer buldur haritası



Şekil 3. 8. Ofiyolit kayaçların çıkarıldığı bölgelerin dağılımı

3.3 Çalışma Alanının Genel Jeolojisi ve Özellikleri

Antalya kompleksinin Isparta açısını tanımlayan, bölgesel kuzeye dönük V-şekilli mostra deseni vardır. Antalya kompleksi Isparta açısı içinde her iki tarafta platform karbonatlarını; Mesozoik ofiyolitik, tortul ve volkanik kayaçlar oluşturur. Antalya Kompleksi Batı Kıbrıs Mamonia Kompleksi ile benzeşmektedir, Doğu Akdeniz'in tektonik yorumlanması Mesozoik ve Tersiyer zamanlı olduğu için çok önemlidir (Robertson 1998). Antalya Körfezinin güneybatı kısmı Antalya kompleks bölgesinin en iyi parçasıdır. Batıdan doğuya doğru Isparta açısı Kuzey-Güney uzanımlı ve beş tektonostratigrafik birimleri ile kurucu kayalar, tektonik tarzı ve yaş farklılıklarına dayalı olarak batı uzantısında ayırt edilirler (Robertson ve Woodcock 1977).

Antalya kompleksinin birimleri Beydağları, Kumluca, Gödene, Kemer ve Tekirova'dır (Robertson ve Woodcock 1980-1982). Şekil 3.9'da görüldüğü üzere; beydağları platformu Isparta açısının batı kolunu oluşturur ve yaşları üst triyas'tan eosen'e kadar değişmekte olup karbonat kayaçlarından oluşmaktadır. Kumluca zonu, geç triyas yaşından geç kretase yaşına kadar olan sedimentlerdir. Gödene bölgesi, geç triyas'tan geç kretase'ye kadar uzanan, kesilmiş ofiyolitik kayaçlardan, derin deniz sedimanlarından ve sıg su kireç taşlarından oluşmaktadır. Kemer zonu, baskın bir şekilde bulunan paleozoyik tortul sedimanların üzerine Mesozoyik sıg su karbonat kayaçları hakimindedir. Tekirova zonu, güney neotetis okyanus havzasında oluşan geç kretase yaşlı ofiyolitleri kapsamaktadır (Robertson 1998).



Şekil 3. 9. Batı toroslar tektonik birlikleri (Şenel 1999)

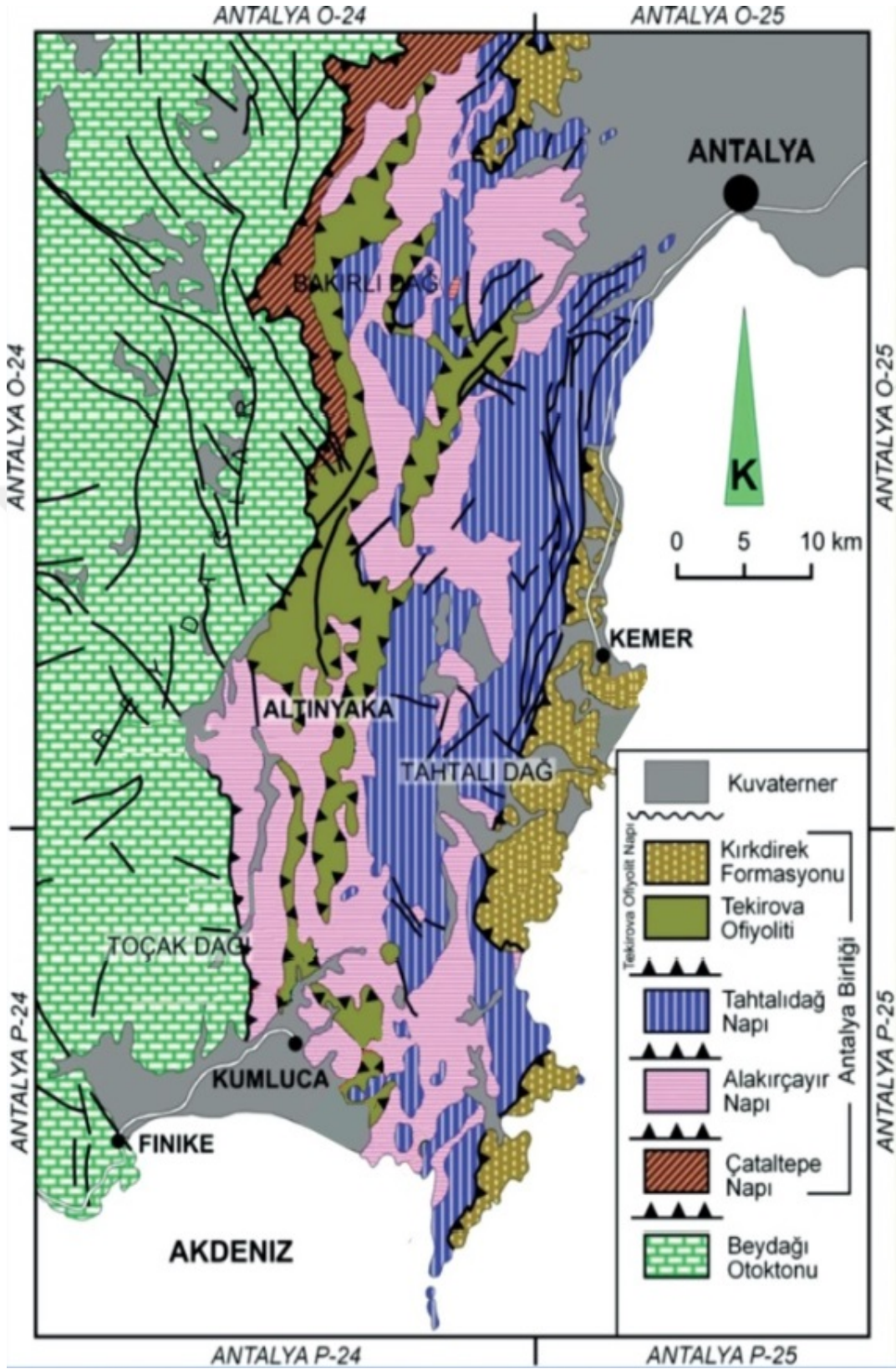
Tekirova ofiyolitleri alttan üste doğru; manto tektonitleri, ultramafik-mafik kümülatları, izotropik gabrolar ve tabakalı dayklar şeklinde oluşmaktadır. Çıralı-Tekirova manto tektonit kümülatların, Kemer ise izotropik gabro kümülasyonların geçiş dönemi için normaldir. Kemer bölgesi tabakalı dayklar ile izotropik gabro arasında bir yapı mevcuttur. Tekirova tektonik bölgesi içerisinde yer alan manto tektonitleri Adrasan, Çıralı, Tekirova ve Kemer bölgelerinde yer almaktadır. Değişken serpantinleşmiş tektonitler Gödene bölgesinde tektonostratigrafi birimler ile tektonik olarak birleşmişlerdir. Tektonitler ağırlıklı olarak harzburjit ve dunit'den oluşmakta olup en önemli yapıları kromit ile temsil edilmektedirler. Tekirova ofiyolitindeki mafik kümülat

kayalar içerisinde iyi korunmuş ultramafik kayalar esas olarak güneyde Çıralı-Tekirova'nın kıyı kesiminde, kuzey'de ise Doyran'a kadar uzanmaktadır. Mafik kümülat kayalarının küçük ölçekli mostraları Gödene bölgesinden, Kuzdere, Kemer, Kuvvettaş dere, Ziyaret tepe gibi yerlerde tektonik olarak dağılmıştır. Ultramafik ve mafik kümülatlar olivin klinopiroksen, olivin gabro, olivin gabronit ve gabrodan oluşmaktadır. İzotropik gabrolar; Kuzdere, Kemer, Gödene ve Çıralı- Tekirova kıyı kesimi boyunca uzanmaktadır. Bunlar gabro, diyorit ve kuvars diyorit ile temsil edilmektedirler. İzotropik gabroları kesen kuvars, plajiyoklas ve amfibolden oluşan küçük ölçekli plajiyogranitler istisna olarak görülmektedirler. Tabakalı dayklar, Kemer bölgesinin kuzeyinde lokal olarak bulunmakta ve izotropik gabrolar tarafından temsil edilmektedirler (Juteau 1975). Bu dayklar, manto tektonitlerine girerek Çıralı-Tekirova kıyı kesiminden Adrasan'ın güneyine kadar birikmektedir. Daykların kalınlığı 2-5 cm'den 10 cm'ye kadar değişmektedir ve ana kayalarla teması boyunca kenar boşluğu göstermezler (Bağcı ve Parlak 2007).

Türkiye'nin güney batısındaki Antalya Ofiyolitleri, Neotetis okyanus havzalarının güney kolunun kalıntılarından oluşmaktadır. Antalya ofiyolit kompleksi Antalya naplarının orta birimlerine ait olup, batı Toroslardaki en büyük nap sistemlerinden biridir (Brunn vd 1973). Antalya (Tekirova) ofiyolitleri tabandan tavana doğru harzburjitik tektonitler, ultramafik- mafik kümülatlar, izotrop gabrolar ve levha dayk kompleksinden oluşan eksik bir istif sunmaktadır. Antalya ofiyolitlerinde volkanik kompleks korunmamış olup, metamorfik dilime ait kayalar harzburjitik tektonitlerin altında bulunmaktadır. Antalya ofiyolitlerindeki manto peridotitlerini oluşturan spinel grubu, lertzolit, harzburjiti, ve dünitleri içerir. Tekirova (Antalya) Ofiyolitinin yaşı Geç Kretasedir. Ofiyolitler içindeki harzburjiti spinel lertzolitlerin üzerinde egemendir. Oysaki dünitler sadece harzburjitilerce barındırılan zarflarca sarılmış kromit bölmeleriyle oluşur. Peridotitlerdeki jeokimyasal ve petrografik verilere göre son derece ateşe dayanıklı karakter gösterir. Türkiye'deki belli başlı ofiyolitik birimleri, Antalya napı, Kırıkkale (Irmak Formasyonu), İzmir- Bursa arası Ofiyolitleri, Tavşanlı bölgesi ofiyolitleri, Tokat-Tekneli bölgesi ofiyolitleri, Konya-Karaman (Ermenek Ofiyolitleri) içermektedir.

Ofiyolit kompleksleri, okyanus kabuğu parçalarının kıta kenarları üzerine bindirmesi veya orojenez sırasında oluştuğu kabul edilmektedir. Bununla birlikte şu an kabul edilen ofiyolitlerin çeşitli tektonizma sonucu oluştuğu jeokimya, mineraloji ve yapısal unsurlarla belirtilmektedir. Örneğin tabakalı ofiyolit dizisi ‘üretken’ (MORB tipi) manto karakteri ve tabakalı dayklar, Al’ca zengin spineller, nispeten düşük oksijen uçuculuğu okyanus ortası sırtı kökenli olduğunu ima eder. Kalkalin bir magma refrakter manto karakterinde kromca zengin spineller yüksek oksijen uçuculuğu ele alındığında dalma-batma kökenli olduğunu ima eder. Hem sıkışma hem de gerilme tektoniğinin birlikte olması çelişkidir.

Bazen ofiyolitler muamma olarak adlandırılan, onların petrojenik ve jeodinamik önemini kurarken, ofiyolitlerden anlamlı bir sınıflandırma sorunu üzerine eleştiriler taşımaktadır. Bugüne kadar sınıflama şemaları çoğunlukla MORB ve ‘Yitim’ SSZ (supra-subduction zone) sözde sınırlı olmuştur. Türkiye içindeki ofiyolit kompleksleri Alpin – Himalaya orojenik sistemin değişik zamanlarda (çoğunlukla Jura-Kratese) genellikle doğu-batı odaklı ve muhtemelen ayırık Neotetisi kapatma (mikro kıta çarpışma) olaylarını yansıtmaktadır. Bu oluşukların çoğu yitim ile ilişkili volkanik yay, yay önü ve yay arkası olarak olmuştur. Şekil 3.10’da bölgenin genel jeolojisi gösterilmektedir.



Şekil 3. 10. Çalışma alanının genel jeolojisi (Şenel 1997) ve örnekleme haritası (Yalcin 2015)

3.4 Kayaç Örneklerinin Analizlere Hazırlanması

Antalya ili Kumluca, Kemer ve Tekirova bölgelerinde yapılan arazi çalışmaları sonucunda toplanan ofiyolit örnekleri radyasyon ve kimyasal analizler için Akdeniz Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Maden Yatağı Laboratuvarı'nda hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

Arazi çalışma planımız çerçevesinde belirlenen çeşitli ofiyolit örneklerine ait bilgiler ışığında farklı özellikleri sistematik olarak yansıtabilecek şekilde 50 adet ofiyolit örneği yüksek çözünürlüklü Germanyum Dedektörü (HPGe) ile ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklit aktiviteleri Gama Doz Hızı (D), Radium Eşdeğer Aktivitesi (Raeq), Yıllık Eşdeğer Doz (AED), İç (Hin) ve Dış (Hex) Zarar Endeksleri ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ofiyolit örneklerinin kimyasal analizlere uygun hale getirmek için ise; öğütücü ile toz haline getirildikten sonra numune örnekleri 0,063 mikron boyutundaki elekten geçirilerek 15'er gr olacak şekilde plastik torbalara konularak elektronik hassas terazi de ölçülerek torbaların ağızları kapalı bir şekilde ACME Analitik Laboratuvarına gönderilmiştir. Referans numarası ANK16000365 olan numune analizleri, ACME Analitik Laboratuvarı Ltd.'de yapılmıştır. Örneklerin element içerikleri ACME Analitik Laboratuvarı Ltd. tarafından Microsoft Excel formatında gönderilmiştir.

Arazi çalışmaları sonucu derlenen numuneler, hazır duruma getirilmiş ve ilgili kurumlara gönderilmiştir. Arazi çalışmalarında yorumlanmış olan ofiyolitler çıkartıldıkları yerlere göre gruplandırılmıştır. Bu değerlendirmeler analiz sonuçlarıyla korele edilmiştir.

Arazi çalışmaları sonucunda toplanan ofiyolit örneklerinin ilk olarak, boyutlarını küçültmek için jeolog çekici, beyaz kalın kağıt ve Vommak marka kırıcı kullanılmıştır. Numune örneklerinin toz haline getirmek için ise Retsch marka Havan Öğütücü -RM200 kullanılmıştır. Ofiyolit örneklerini toz haline getirmek için jeolog çekici ile küçük boyutlara getirildikten sonra Vommak marka kırıcı ile toz haline getirilmiştir. Radyasyon analizine uygun hale getirmek için ofiyolit örneklerinin toz haline getirdikten sonra 50cc'lik kaplara konulmadan önce kapların içleri saf su kullanılarak temizlendikten sonra kapların iç kısımları doldurulmuştur. Numune örnekleri toz haline getirildikten sonra kimyasal analiz için 0,063 mikron süzgeç elekten geçirilerek her bir örnek için gramajları

net 15 gr olacak şekilde poşetlere konup tartılması için elektronik terazi ve plastik numune torbaları kullanılmıştır.



Şekil 3. 11. Numune örneklerinin laboratuvara taşınması

Her bir numune örneğinin hazırlanmasından önce jeolog çekici, Vommak marka kırıcı, Retsch Havan Öğütücü, mpMinipure Dest (Saf su cihazı) ve numune örneklerini

elekten geçirilmek için 0,063 mikronlu süzgeç kullanılmıştır. Numune örneklerinin her biri tek tek analizi yapıldıktan sonra numune örneklerinin birbirine karışmaması için saf su ile jeolog çekici, öğütücü ve süzgeç yıkanıp basınçlı hava ile kağıt havlu kullanılarak kurutulmuştur. Numune örneklerinin bir diğer örnekle kirlenmemesi için her seferinde altına serilen kalın kağıtlar değiştirilmiştir. Şekil 3.12'den 3.15'e kadar numune hazırlanması gösterilmiştir.



Şekil 3. 12. Numune örneklerin küçük parçalara ayrılması



Şekil 3. 13. Numunelerin öğütücüde toz haline getirilmesi



Şekil 3. 14. Numunelerin hassas terazide tartılarak numaralandırılması



Şekil 3. 15. Numune örneklerinin temizlenmesi

Numune örneklerini radyasyon ölçümlerine hazır hale getirmek için ofiyolit numuneleri yaklaşık olarak 5 ile 8 dakika arasında öğütücüden geçerek tamamen toz haline getirilmiştir. Toz haline geldikten sonra 0,256 mm'lik elekten geçirilerek istenilen gerçek boyutlara indirgenmiştir. Numune örneklerinin doğal neminden kurtulmak için ise etüvde, 800 C'de yaklaşık 14 saat bekletilmiştir. Numune örneklerini (6x5cm) 50cc hacimli kaplara doldurmadan önce kapların iç kısımları önce saf su ile yıkanıp daha sonra alkol ile temizlenmiştir. Ra226 ve Ac228 radyoizotoplarının ürünlerle radyoaktif dengeye gelmesi için kapların ağızları gaz sızdırmaz parafilm ile sıkıca kapatılarak yaklaşık bir ay süreyle rutubetsiz, direk güneş ışığı almayan ve oda sıcaklığında bulunan bir ortamda beklemeye alınmıştır. Şekil 3.16'da gösterilmiştir.





Şekil 3. 16. Numunelerin radyasyon ölçümü için hazır hale getirilmesi

Örneklerin hazırlanmasından sonra, radyasyon ölçümlerinin yapılması için Gama Spektrometre Sistemi ile incelenen ofiyolit kayaç örnekleri U, Th ve K aktiviteleri Akdeniz Üniversitesi Fizik Bölümünde bulunan p tipi, koaksiyal, elektrik soğutuculu HPGe detektör ile yapılmıştır. HPGe detektörünün bağıl verimi %40 olup Co57 radyoizotopunun 122keV'deki piki için FWHM değeri 768eV, Co60 radyoizotopunun 1332keV deki piki için FWHM değeri 1,85keV tur. Şekil 3.17'de görüldüğü gibi HPGe detektörü 10cm kalınlığındaki kurşun bir zırh içerisinde bulunmaktadır. Ayrıca zırhtan kaynaklanabilecek x-ışınlarını filtrelemek için kurşun zırhın iç kısmı 2mm bakırla kaplanmıştır.



Şekil 3. 17. HPGe dedektörünün iç kısmı

3.5 Kayaç Örneklerinde Aktivite Hesaplamaları

Radyoaktivite ölçümleri ve doz hesaplamaları sistemin enerji ve verim kalibrasyonları yapıldıktan sonra her bir ofiyolit örneği için 10000s sayılmıştır. Net pik alanının belirlenmesi için örnek olmaksızın aynı zaman aralığında arka plan ölçümü gerçekleştirilerek dışarıdan gelen katkılar çıkarılmıştır (<http://nukleer.akdeniz.edu.tr>). Aktivite hesaplamaları Denklem 3.1’de gösterilmiştir.

$$A = N / (\epsilon \times P \times t \times m) \text{ Formülü kullanılarak hesaplanmıştır.} \quad (3.1)$$

Burada; N: Net Pik Alanı,

ϵ : Verim,

P: İlgili nüklidin gama yayınlama olasılığı,

t: Sayım süresi,

m: Kütle (kg)' dir.

U-238 (Ra-226), Th-232 (Ac-228) ve K-40 radyonüklitlerinin aktivitelerinin hesaplamalarında sırasıyla ^{214}Bi -352keV, ^{228}Ac -911keV ve ^{40}K -1460 keV enerjili pikleri kullanılmıştır. Gama Spektroskopi sistemi ile Ra-226, Th-232 ve K-40 radyonüklitlerinin 10000s sayım süresi ve 1 kg'lık numuneler için ölçülebilen minimum değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. 10000s ölçüm süresi için ölçülebilen minimum aktivite değerleri

Radyonüklit	Enerji(keV)	MDA(Bq/kg)
^{214}Pb	352	0.32
^{214}Bi	609	0.41
^{228}Ac	911	0.60
^{40}K	1461	4.51

3.5.1 Havada soğurulan doz hızı (D)

Doğal olarak oluşan radyonüklitler eşit dağılıma uğramışsa, UNSCEAR raporuna göre, absorbe edilen doz oranları (nGy/h) aktivite konsantrasyonları kullanılarak değerlendirilir. Aşağıdaki denklem 3.2'de gösterilmiştir (UNSCEAR 1988).

$$D = 0.0417A_K + 0.462A_{Ra} + 0.621A_{Th} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki denklemde görüldüğü üzere A_K , A_U ve A_{Th} ; K-40, Ra-226 ve Th-232 radyonüklitlerin Bq/kg olarak ifade edilmesidir. Dünya ortalamasının tavsiye edilen ortalama değeri 10 ile 200 nGy/h arasında olması gerektiği ifade edilmiştir (UNSCEAR 1988).

3.5.2 Yıllık etkin doz hızı (AED)

Yıllık etkin doz hızı, insan sağlığına etkilerini anlayabilmek için bulunur. UNSCEAR'ın önerdiği (UNSCEAR 2000), açık havadaki yıllık etkin doz (0.7 Sv/Gy) olduğunu bununda emilen dozdan etkin doza dönüşüm katsayısı ile tahmin edilebildiği ortaya çıkarılmıştır. Açık havada (0.7) kullanılması zamanın %20 sinin açık havada geçtiği UNSCEAR tarafından ortaya çıkarılmıştır. Yıllık etkin doz hızı(AED) aşağıdaki denklem 3.3'de gösterilmiştir (UNSCEAR 1988).

$$AED = D(nGy / h) \times 8760(h / y) \times 0,2 \times 0,7(Sv / Gy) \times 10^{-3} \quad (3.3)$$

Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP 1993), kişiler için yıllık etkin doz değerinin 1 mSv/y, radyasyon işçilerinin ise yıllık etkin doz değerinin 20 mSv/y limitini önermektedirler.

3.5.3 Radyuma eşdeğer aktivite (Raeq)

Numnune örneklerinin radyolojik riskini değerlendirmek için ortak bir yöntem olan radyuma eşdeğer aktivitesinden yararlanılır. K-40, Ra-226 ve Th-232 radyoaktivite değerlerini karşılaştırmak için kullanılmıştır. Aşağıdaki denklem 3.4'de gösterildiği gibi hesaplanır (UNSCEAR 1982).

$$Raeq = (AK \times 0,077) + (AU) + (A_{Th} \times 1,43) \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemde görüldüğü üzere AK, AU ve A_{Th}; K-40, Ra-226 ve Th-232 radyonüklidlerin Bq/kg olarak ifade edilmesidir. Yapı malzemelerinde ortalama radyuma eşdeğer aktivite 370 Bq/kg'dir. Bu da insanlarda yaklaşık olarak yılda 1.5 mSv doza maruz kalmasına neden olur (Krieger 1981).

3.5.4 Harici radyasyon riski (Hex)

Harici radyasyon riski (Hex) yayılan gama ışınlarına bağlı olarak dış radyasyon tehlike indeksidir. Aşağıdaki denklem 3.5'de gösterildiği gibi hesaplanır (Beretka ve Mathew 1985).

$$Hex = (AU / 370) + (A_{Th} / 259) + (AK / 4810) \quad (3.5)$$

Yukarıdaki denklemde görüldüğü üzere AK, AU ve A_{Th}; K-40, Ra-226 ve Th-232 radyonüklidlerin Bq/kg olarak ifade edilmesidir. Harici radyasyon riski (Hex) önerilen ortalama değeri 1'den küçük olmak zorundadır, bu durum radyuma eşdeğer aktivite (370Bq/kg) değerinin üst sınırına bağlıdır.

3.5.5 Dahili radyasyon riski (Hin)

Harici radyasyon riskine (Hex) ilave olarak radon ve kısa ömürlü ürünler de solunum organları için zararlıdır. Bu yüzden radon ve kısa ömürlü ürünlerin dahili radyasyon riski(Hin) ile nicelendirilir. Dahili radyasyon riski (Hin) aşağıdaki denklem 3.6'da gösterildiği gibi hesaplanır (Krieger 1981).

$$H_{in} = (AU / 185) + (A_{Th} / 259) + (AK / 4810) \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde görüldüğü üzere AK, AU ve A_{Th}; K-40, Ra-226 ve Th-232 radyonüklidlerin Bq/kg olarak ifade edilmesidir. Dahili radyasyon riski(H_{in}) önerilen ortalama değeri 1'den küçük olmak zorundadır, bu durum radyuma eşdeğer aktivite (370Bq/kg) değerinin üst sınırına bağlıdır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Tekirova Bölgesine Ait Aktivite Değerleri

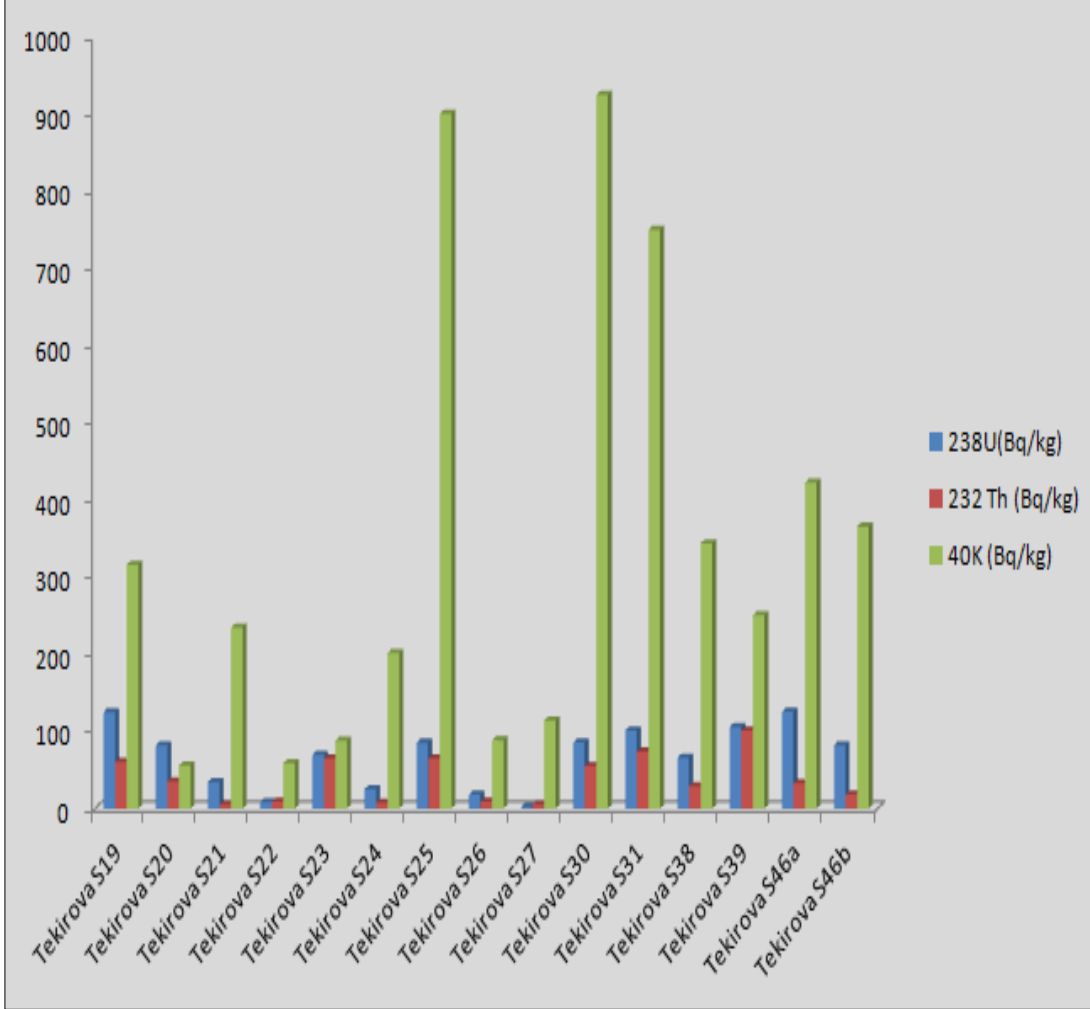
Bu tez çalışması kapsamında Antalya ili Tekirova bölgesine ait 15 adet ofiyolit kayaç numunelerinin K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri belirlenmiştir. Tekirova bölgesine ait elde edilen K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tekirova bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri

Örnek	²³⁸ U(Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)
Tekirova S19	125,35	60,79	316,55
Tekirova S20	82,07	35,32	55,9
Tekirova S21	34,86	5,08	235,06
Tekirova S22	8,26	8,96	58,82
Tekirova S23	69,73	65,06	88,06
Tekirova S24	25,18	7,98	201,9
Tekirova S25	85,58	65	900,78
Tekirova S26	18,35	9,15	88,68
Tekirova S27	1,96	5,52	114,17
Tekirova S30	85,73	55,26	925,45
Tekirova S31	101,57	74,03	750,74
Tekirova S38	65,85	29,05	344,04
Tekirova S39	105,69	101,45	250,68
Tekirova S46a	125,58	33	422,78
Tekirova S46b	82,35	18,15	365,68

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1'de görüleceği üzere Tekirova ofiyolit örnekler için en yüksek değerler K-40 için en düşük değerler ise U-238(Ra) için elde edilmiştir. K-40 kayaçlarda daha fazla bulunmaktadır. Tekirova bölgesine ait K-40 aktivitesinin en düşük

değeri 55,9 Bq/kg, en yüksek değeri 925,45 Bq/kg'dır. U-238(Ra) aktivitesinin en düşük değeri 1,96 Bq/kg, en yüksek değeri 125,58 Bq/kg'dır. Th- 232 aktivitesinin en düşük değeri 5,08 Bq/kg, en yüksek değeri 101,45 Bq/kg'dır.



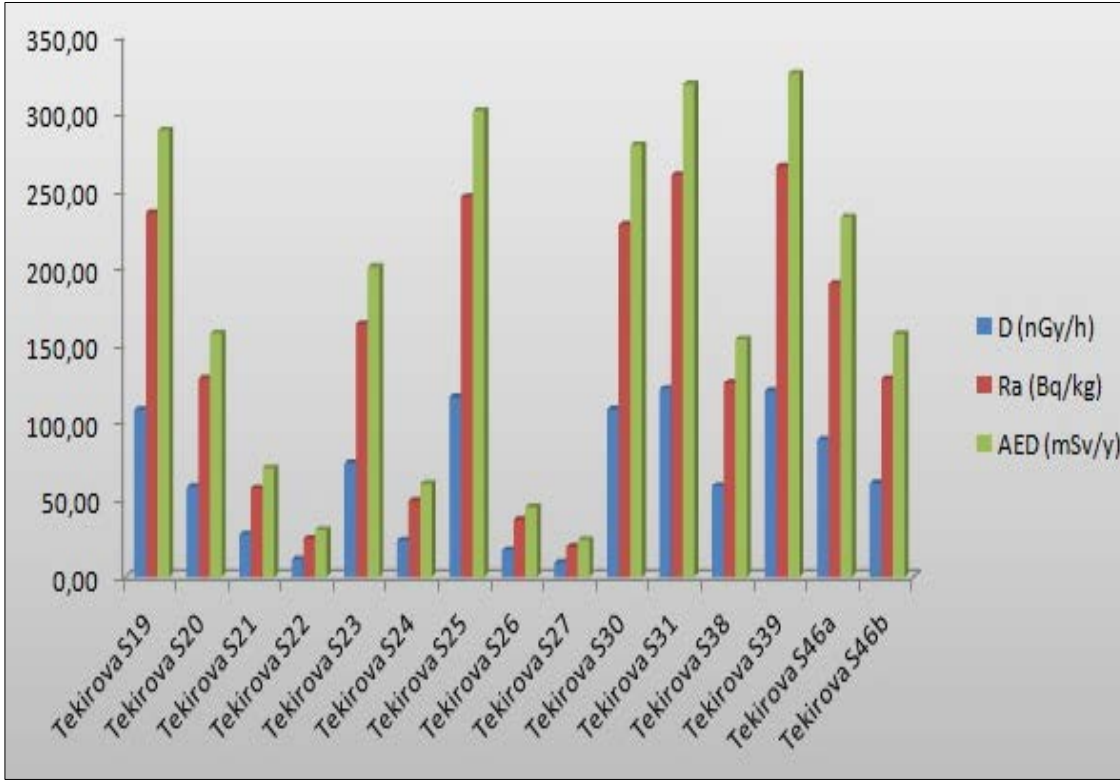
Şekil 4.1. Tekirova bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri

Hem Çizelge 4.2 hem de Şekil 4.2'de görüleceği üzere Tekirova bölgesine ait yapılan ölçümler sonucunda ofiyolit numunelerinin soğurulan toplam doz hızı değerleri 9,43 nGy/h ile 121,56 nGy/h aralığında olup normal değer sınırları içinde bulunmuştur. En düşük Raeq değerinin TekirovaS27 numunesi için 19,43 Bq/kg olduğu görülmektedirken, en yüksek değer ise TekirovaS39 numunesinde 265,46 Bq/kg olduğu görülmektedir. Çalışma sonunda elde edilen tüm Tekirova ofiyolit numunelerinin maksimum Raeq değeri olan 370 Bq/kg ve endüstriyel ürünler için limit değerler olan 370-740 Bq/kg'dan küçük olduğu görülmektedir. ARa, ATh ve AK; 226Ra, 232Th ve 40K radyonüklidlerinin Bq/kg cinsinden aktivite konsantrasyonlarıdır. Şekil 4.3.'de

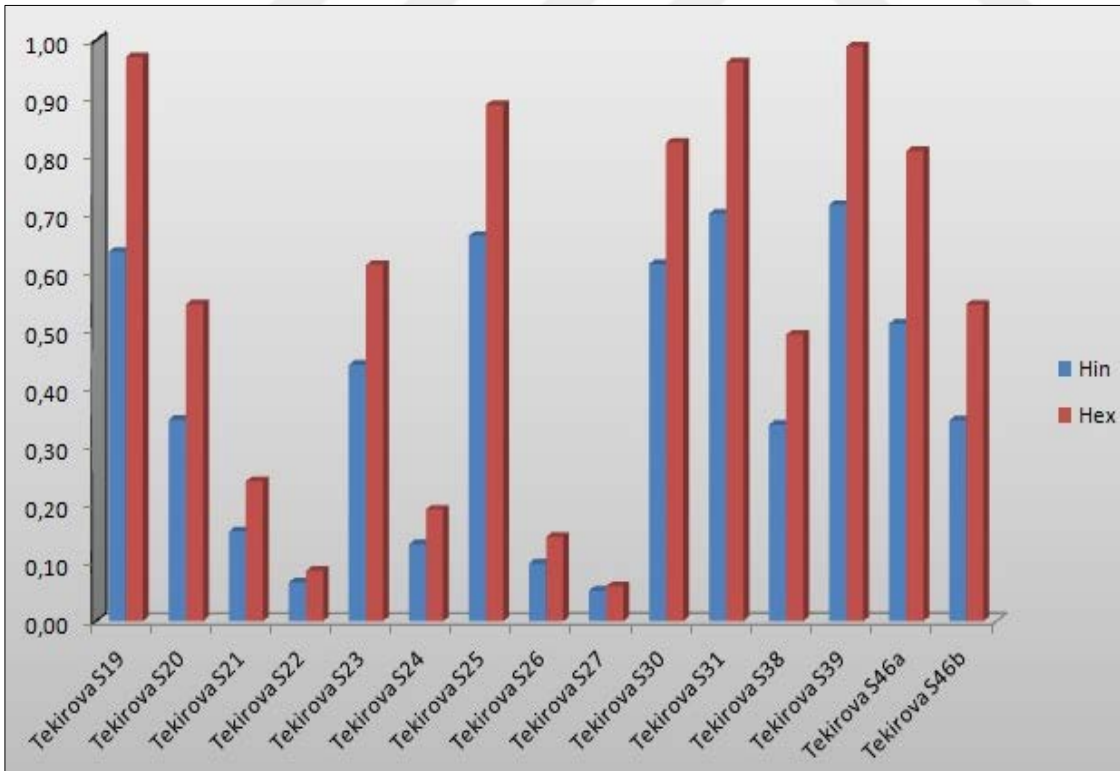
görüleceği üzere; Hex ve Hin değeri 1'den küçük olmalıdır, bu değer ise Raeq üst limitine (370Bq/kg) bağlıdır.

Çizelge 4.2. Tekirova bölgesine ait D(nGy/h), Raeq(Bq/kg), Hin, Hex ve AED(mSv/y) değerleri

Örnek	D (nGy/h)	Ra (Bq/kg)	Hin	Hex	AED (mSv/y)
Tekirova S19	108,23	235,5	0,64	0,97	288,82
Tekirova S20	58,24	128,4	0,35	0,55	157,47
Tekirova S21	27,61	57,28	0,15	0,24	70,25
Tekirova S22	11,41	24,71	0,07	0,09	30,3
Tekirova S23	73,54	163,51	0,44	0,61	200,52
Tekirova S24	23,51	49,04	0,13	0,19	60,15
Tekirova S25	116,26	245,76	0,66	0,89	301,4
Tekirova S26	17,14	36,77	0,1	0,14	45,09
Tekirova S27	9,43	19,43	0,05	0,06	23,83
Tekirova S30	108,43	227,7	0,62	0,82	279,26
Tekirova S31	121,56	259,9	0,7	0,96	318,74
Tekirova S38	58,77	125,35	0,34	0,49	153,73
Tekirova S39	120,18	265,46	0,72	0,99	325,56
Tekirova S46a	88,75	189,7	0,51	0,81	232,65
Tekirova S46b	60,49	127,97	0,35	0,55	156,94



Şekil 4. 2. Tekirova bölgesine ait; D(nGy/h), Raeq(Bq/kg) ve AED(mSv/y) değerleri



Şekil 4. 3. Tekirova bölgesine ait; Hin ve Hex değerleri

4.2 Kemer Bölgesine Ait Aktivite Değerleri

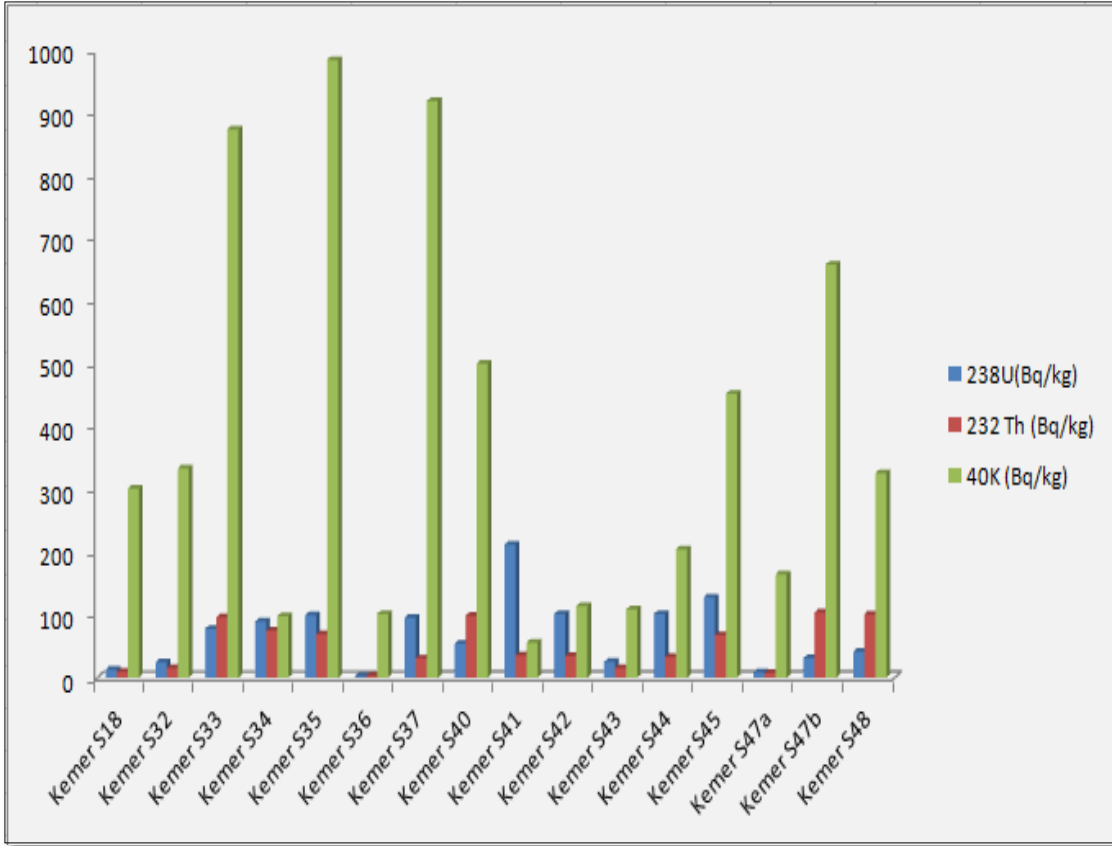
Bu tez çalışması kapsamında Antalya ili Kemer bölgesine ait 16 adet ofiyolit kayaç numunelerinin K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite sonuçları belirlenmiştir. Kemer bölgesine ait elde edilen K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4. 3. Kemer bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri

Örnek	²³⁸ U(Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)
Kemer S18	12,69	9,45	301,68
Kemer S32	24,31	15,3	333,78
Kemer S33	78,26	96,52	875,17
Kemer S34	89,65	75,25	98,15
Kemer S35	99,61	69,26	985,93
Kemer S36	2,73	3,19	101,45
Kemer S37	95,79	31	920,59
Kemer S40	54,39	98,79	501,55
Kemer S41	212,07	35,32	55,9
Kemer S42	101,86	35,08	114,06
Kemer S43	25,26	15,32	108,82
Kemer S44	101,73	33,06	205,06
Kemer S45	128,18	67,98	452,9
Kemer S47a	8,96	7,52	165,17
Kemer S47b	31,45	104,3	659,15
Kemer S48	41,69	101,12	326,63

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.4.'de görüleceği üzere Kemer ofiyolit örnekler için en yüksek değerler K-40 için ve en düşük değerler ise U-238(Ra) için elde edilmiştir. Kemer bölgesine ait K-40 aktivitesinin en düşük değeri 55,9 Bq/kg, en yüksek değeri 985,93 Bq/kg'dır. U-238(Ra) aktivitesinin en düşük değeri 2,73 Bq/kg, en yüksek değeri 212,07

Bq/kg'dır. Th- 232 aktivitesinin en düşük değeri 3,19 Bq/kg, en yüksek değeri 104,30 Bq/kg'dır.

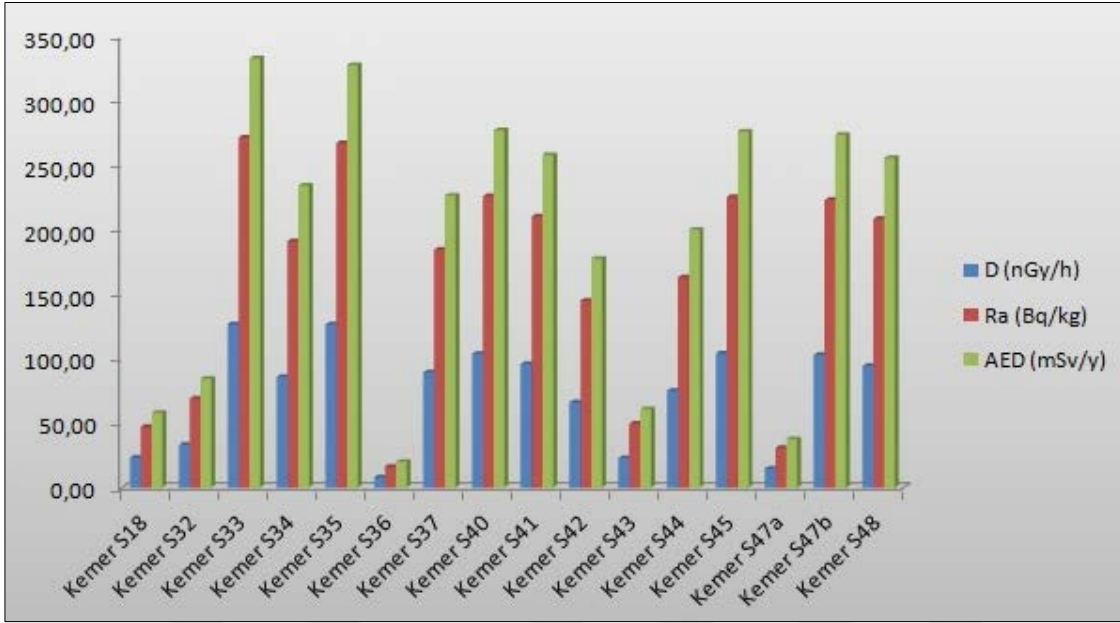


Şekil 4. 4. Kemer bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri

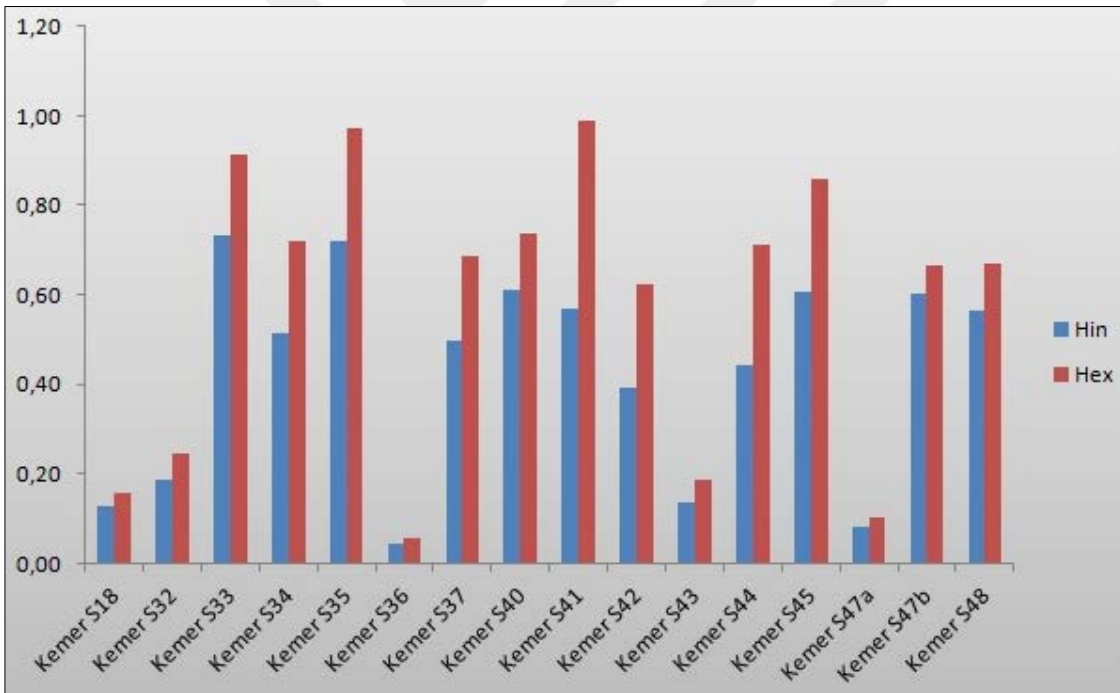
Çizelge 4.4. ve Şekil 4.5.'de görüleceği üzere Kemer bölgesine ait yapılan ölçümler sonucunda ofiyolit numunelerinin soğurulan toplam doz hızı değerleri 7,99 nGy/h ile 126,84 nGy/h aralığında olup normal değer sınırları içinde bulunmuştur. En düşük Raeq değerinin KemerS36 numunesi için 16,28 Bq/kg olduğu görülmekteyken, en yüksek değer ise KemerS33 numunesinde 271,53 Bq/kg olduğu görülmektedir. Şekil 4.6'da görüleceği üzere; Hex ve Hin değeri 1'den küçük olmalıdır, bu değer ise Raeq üst limitine (370Bq/kg) bağlıdır.

Çizelge 4.4. Kemer bölgesine ait D(nGy/h), Raeq(Bq/kg), Hin, Hex ve AED(mSv/y) değerleri

Örnek	D (nGy/h)	Ra (Bq/kg)	Hin	Hex	AED (mSv/y)
Kemer S18	23,26	47,33	0,13	0,16	58,04
Kemer S32	33,19	68,92	0,19	0,24	84,52
Kemer S33	126,84	271,53	0,73	0,91	333
Kemer S34	85,91	191	0,52	0,72	234,25
Kemer S35	126,52	267,27	0,72	0,97	327,77
Kemer S36	7,99	16,28	0,04	0,05	19,96
Kemer S37	89,39	184,56	0,5	0,69	226,35
Kemer S40	103,62	226,11	0,61	0,74	277,3
Kemer S41	96,04	210,4	0,57	0,99	258,03
Kemer S42	66,18	144,86	0,39	0,62	177,66
Kemer S43	22,98	49,66	0,13	0,19	60,91
Kemer S44	75,27	163,25	0,44	0,71	200,22
Kemer S45	104,1	225,36	0,61	0,86	276,38
Kemer S47a	14,86	30,72	0,08	0,1	37,67
Kemer S47b	103	223,17	0,6	0,67	273,7
Kemer S48	94,41	208,55	0,56	0,67	255,77



Şekil 4.5. Kemer bölgesine ait; D(nGy/h), Ra(Bq/kg) ve AED(mSv/y) değerleri



Şekil 4.6. Kemer bölgesine ait; Hin ve Hex değerleri

4.3 Kumluca Bölgesine Ait Aktivite Değerleri

Bu tez çalışması kapsamında Antalya ili Kumluca bölgesine ait 19 adet ofiyolit kayaç numunelerinin K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite sonuçları belirlenmiştir.

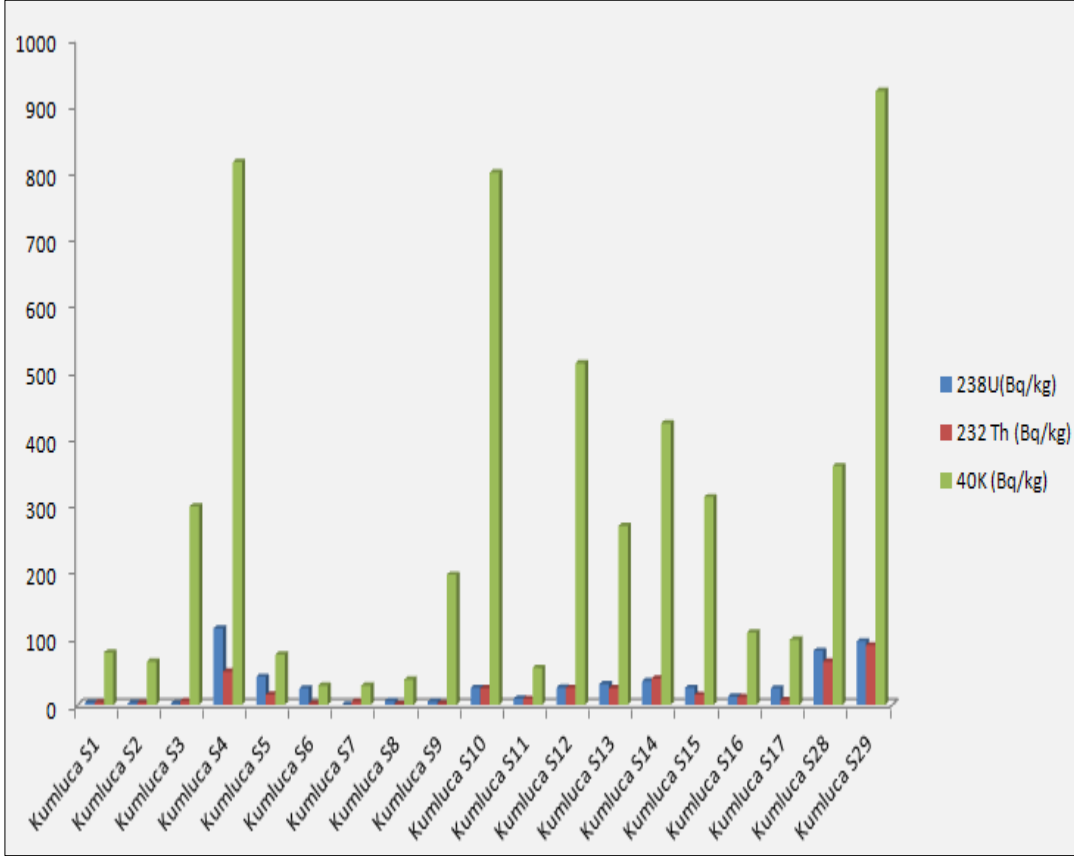
Kumluca bölgesine ait elde edilen K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kumluca bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri

Örnek	²³⁸ U(Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)
Kumluca S1	3,05	3,64	78,59
Kumluca S2	2,8	3,05	65,04
Kumluca S3	1,68	5,45	298,68
Kumluca S4	115,05	50,06	816,55
Kumluca S5	42,07	15,32	75,9
Kumluca S6	24,86	2,08	29,06
Kumluca S7	0,26	4,96	28,82
Kumluca S8	5,73	1,06	38,06
Kumluca S9	5,11	1,98	195,9
Kumluca S10	25,58	25	800,74
Kumluca S11	9,39	9,14	55,61
Kumluca S12	25,96	25,52	514,17
Kumluca S13	31,31	25,25	269,15
Kumluca S14	35,61	39,65	423,63
Kumluca S15	25,73	15,19	312,45
Kumluca S16	12,56	11,64	108,59
Kumluca S17	24,85	7,05	98,04
Kumluca S28	81,39	65,3	359,15
Kumluca S29	95,69	89,65	923,63

Çizelge 4.6 ve Şekil 4.7’de görüleceği üzere Kumluca ofiyolit örnekler için en yüksek değerler K-40 için ve en düşük değerler ise U-238(Ra) için elde edilmiştir.

Kumluca bölgesine ait K-40 aktivitesinin en düşük değeri 28,82 Bq/kg, en yüksek değeri 923,63 Bq/kg'dır. U-238(Ra) aktivitesinin en düşük değeri 0,26 Bq/kg, en yüksek değeri 115,05 Bq/kg'dır. Th- 232 aktivitesinin en düşük değeri 1,06 Bq/kg, en yüksek değeri 89,65 Bq/kg'dır.

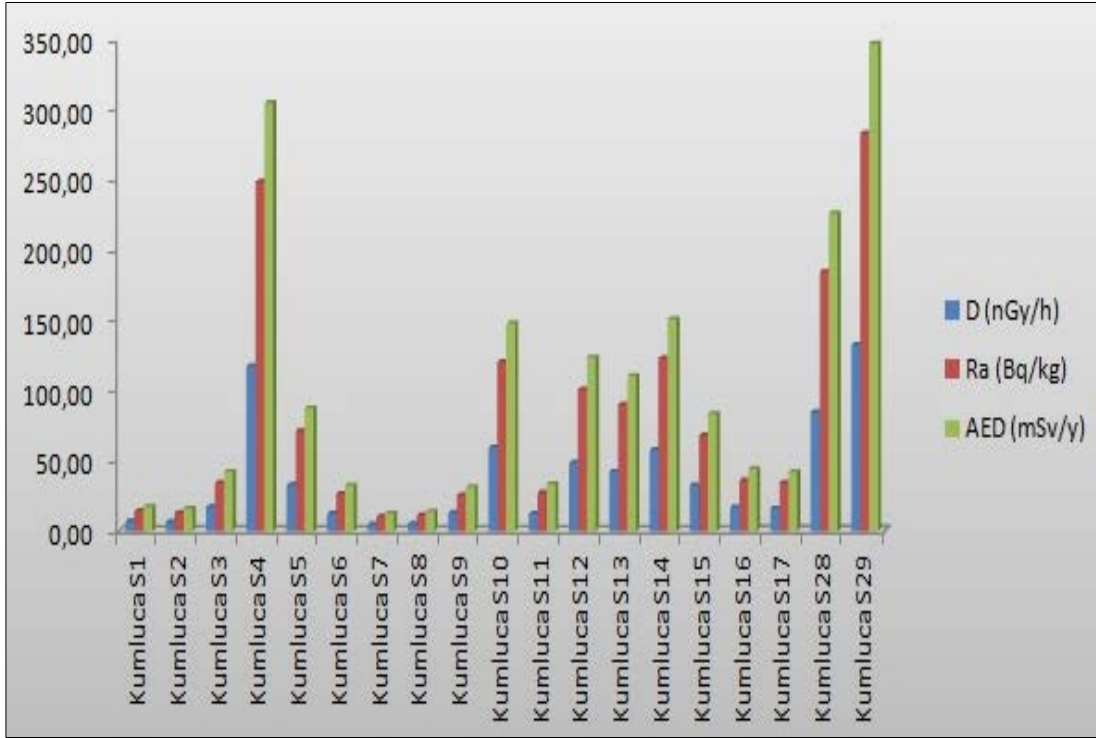


Şekil 4.7. Kumluca bölgesine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri

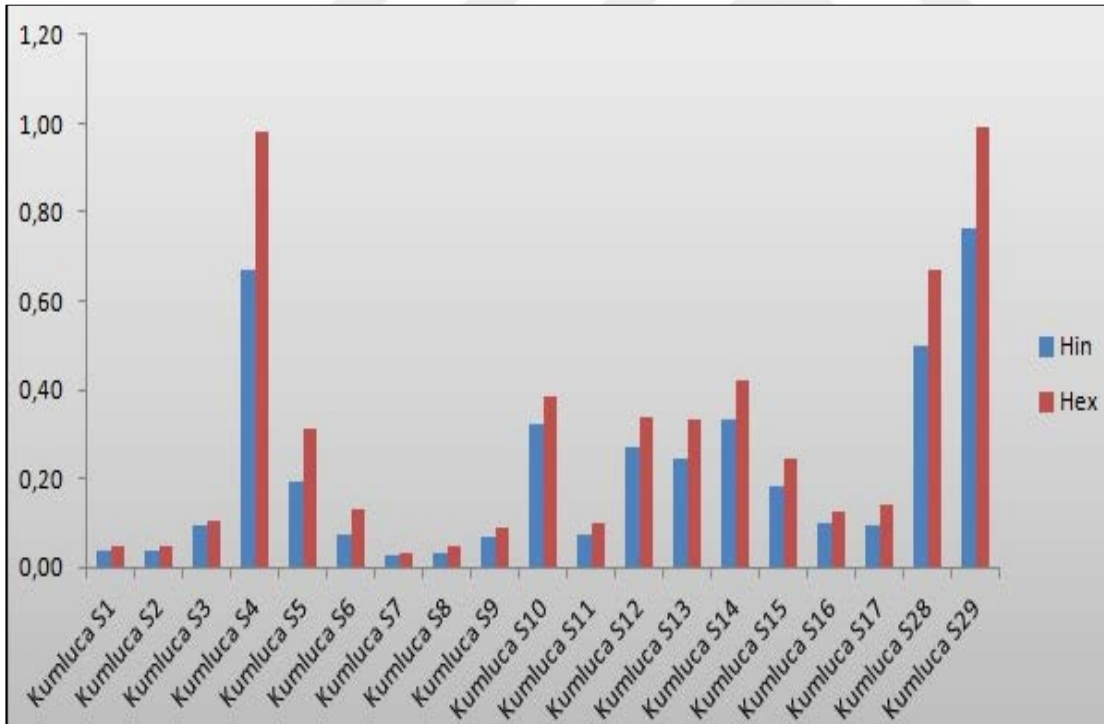
Çizelge 4.6 ve Şekil 4.8’de görüleceği üzere Kumluca bölgesine ait yapılan ölçümler sonucunda ofiyolit numunelerinin soğurulan toplam doz hızı değerleri 4,68 nGy/h ile 132,65 nGy/h aralığında olup normal değer sınırları içinde bulunmuştur. En düşük Raeq değerinin KumlucaS7 numunesi için 4,68 Bq/kg olduğu görülmekteyken, en yüksek değer ise KumlucaS29 numunesinde 282,96 Bq/kg olduğu görülmektedir. Çalışma sonunda elde edilen tüm Kumluca ofiyolit numunelerinin maksimum Raeq değeri olan 370 Bq/kg ve endüstriyel ürünler için limit değerler olan 370-740 Bq/kg’dan küçük olduğu görülmektedir. Şekil 4.9’da Hex ve Hin değerleri için; Kumluca ofiyolit numuneleri için sınır değer olan 1’den küçük çıkmıştır. Elde edilen AED değerleri ise 12,48 mSv/y ile 347,02 mSv/y aralığında bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Kumluca bölgesine ait D(nGy/h), Raeq(Bq/kg), Hin, Hex ve AED(mSv) değerleri

Örnek	D (nGy/h)	Ra (Bq/kg)	Hin	Hex	AED (mSv/y)
Kumluca S1	6,92	14,28	0,04	0,05	17,52
Kumluca S2	6,34	13,16	0,04	0,05	16,14
Kumluca S3	17,41	34,37	0,09	0,1	42,15
Kumluca S4	117,57	248,51	0,67	0,98	304,77
Kumluca S5	32,78	71,34	0,19	0,31	87,49
Kumluca S6	12,37	26,62	0,07	0,13	32,64
Kumluca S7	4,68	10,18	0,03	0,03	12,48
Kumluca S8	5,32	11,14	0,03	0,05	13,66
Kumluca S9	12,8	25,42	0,07	0,09	31,17
Kumluca S10	59,32	120,39	0,33	0,39	147,65
Kumluca S11	12,54	27,22	0,07	0,1	33,38
Kumluca S12	48,59	100,83	0,27	0,34	123,66
Kumluca S13	42,16	90	0,24	0,33	110,38
Kumluca S14	57,72	122,9	0,33	0,42	150,72
Kumluca S15	32,73	68,18	0,18	0,24	83,62
Kumluca S16	16,85	36,09	0,1	0,13	44,26
Kumluca S17	16,21	34,45	0,09	0,14	42,25
Kumluca S28	84,71	184,28	0,5	0,67	226
Kumluca S29	132,65	282,96	0,76	0,99	347,02



Şekil 4.8. Kumluca bölgesine ait; D(nGy/h), Raeq(Bq/kg) ve AED(mSv/y) değerleri



Şekil 4.9. Kumluca bölgesine ait; Hin ve Hex değerleri

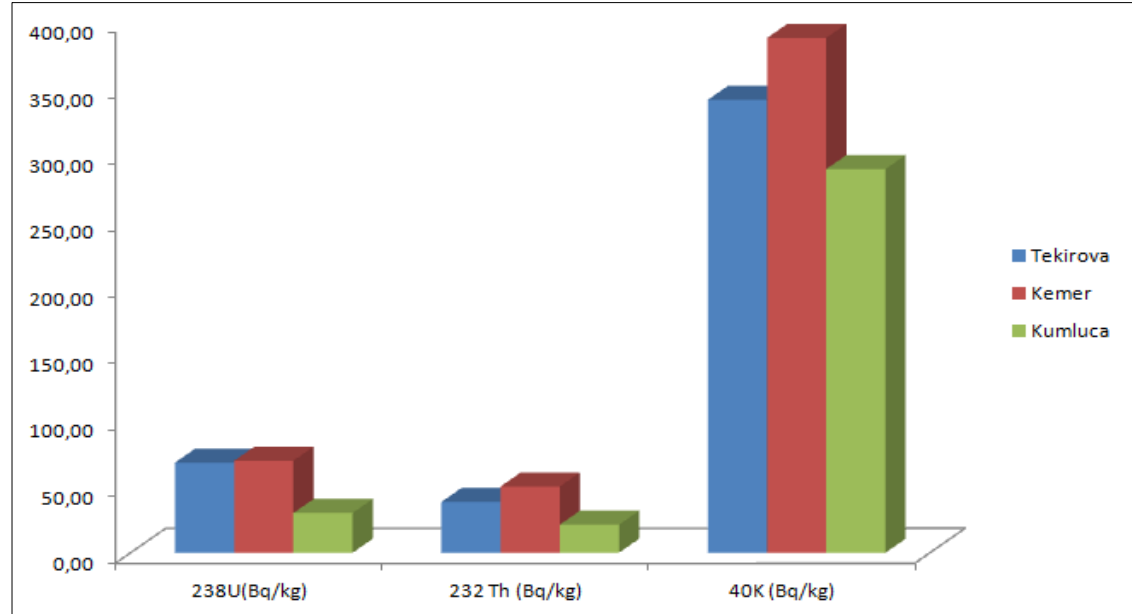
4.4 Tekirova, Kemer ve Kumluca Bölgesine Ait Ortalama Değerler

Tez çalışması kapsamında tüm bölgelere ait elde edilen K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivitelerinin ortalama değerleri çizelge 4.7.'de ve şekil 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.7. Tüm bölgelere ait ortalama K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri

	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
Tekirova	67,87	38,25	341,29
Kemer	69,29	49,90	387,87
Kumluca	29,93	21,10	289,04

Tüm bölgeler için elde edilen sonuçların ortalamasında görüldüğü gibi en yüksek değerler K-40 aktivitesinde, en düşük değerler Th-232 aktivitesindedir. K-40 aktivitesinin en düşük ortalama değeri Kumluca bölgesinde 289,04 Bq/kg ile en yüksek ortalama değeri 387,87 Bq/kg ile Kemer bölgesine aittir. U-238(Ra) aktivitesinin en düşük ortalama değeri 29,93 Bq/kg ile Kumluca bölgesinde ölçülmüş olup, en yüksek ortalama değeri 69,29 Bq/kg ile Kemer bölgesine aittir. Th-232 aktivitesinin en düşük ortalama değeri 21,10 Bq/kg ile Kumluca bölgesinde, en yüksek ortalama değeri ise 49,90 Bq/kg ile Kemer bölgesine aittir.

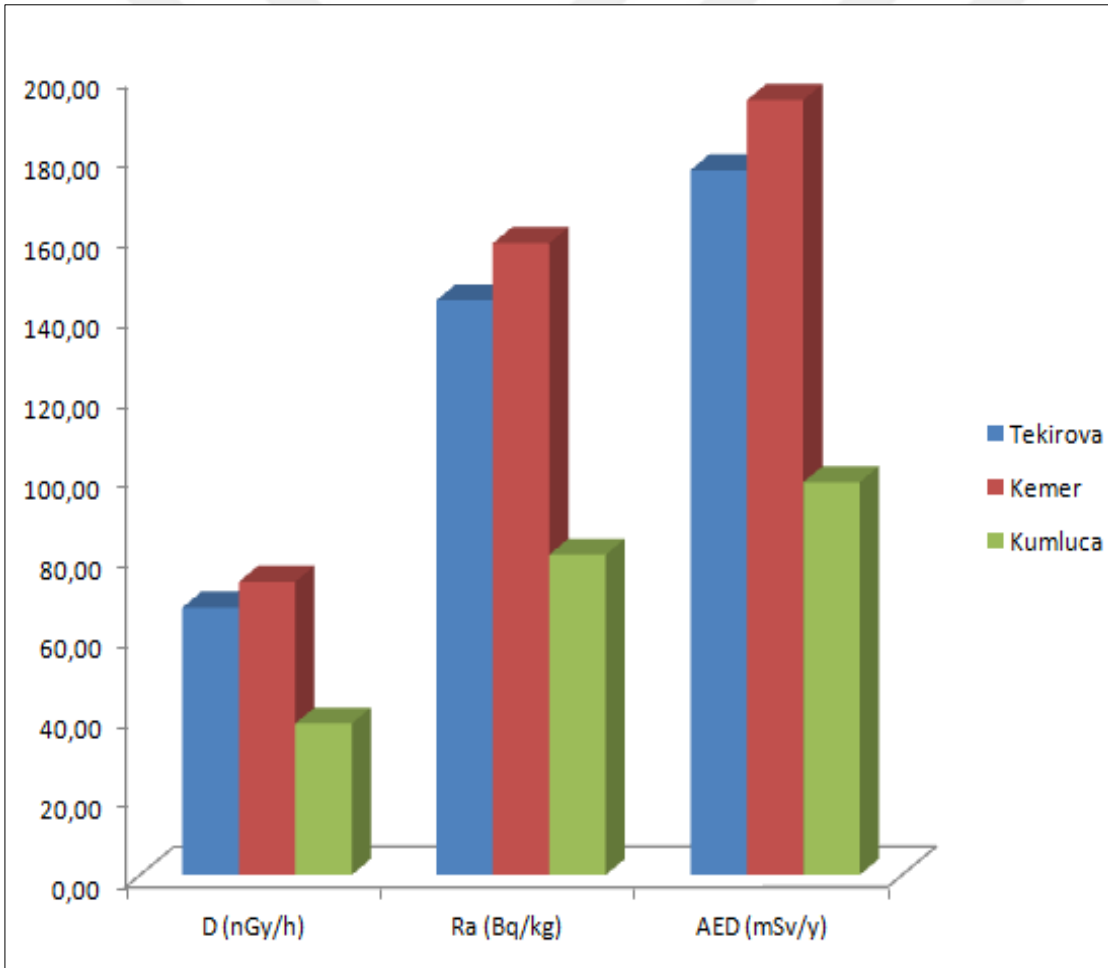


Şekil 4.10. Tüm bölgelere ait ortalama K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite değerleri

Tüm bölgelere ait elde edilen D(nGy/h), Raeq(Bq/kg) ve AED(mSv) ortalama değerleri çizelge 4.8.'de ve şekil 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Tüm bölgelere ait D(nGy/h), Raeq(Bq/kg) ve AED(mSv) ortalama Değerleri

	D (nGy/h)	Raeq (Bq/kg)	AED (mSv/y)
Tekirova	66,90	143,77	176,31
Kemer	73,35	158,06	193,85
Kumluca	37,88	80,12	98,26

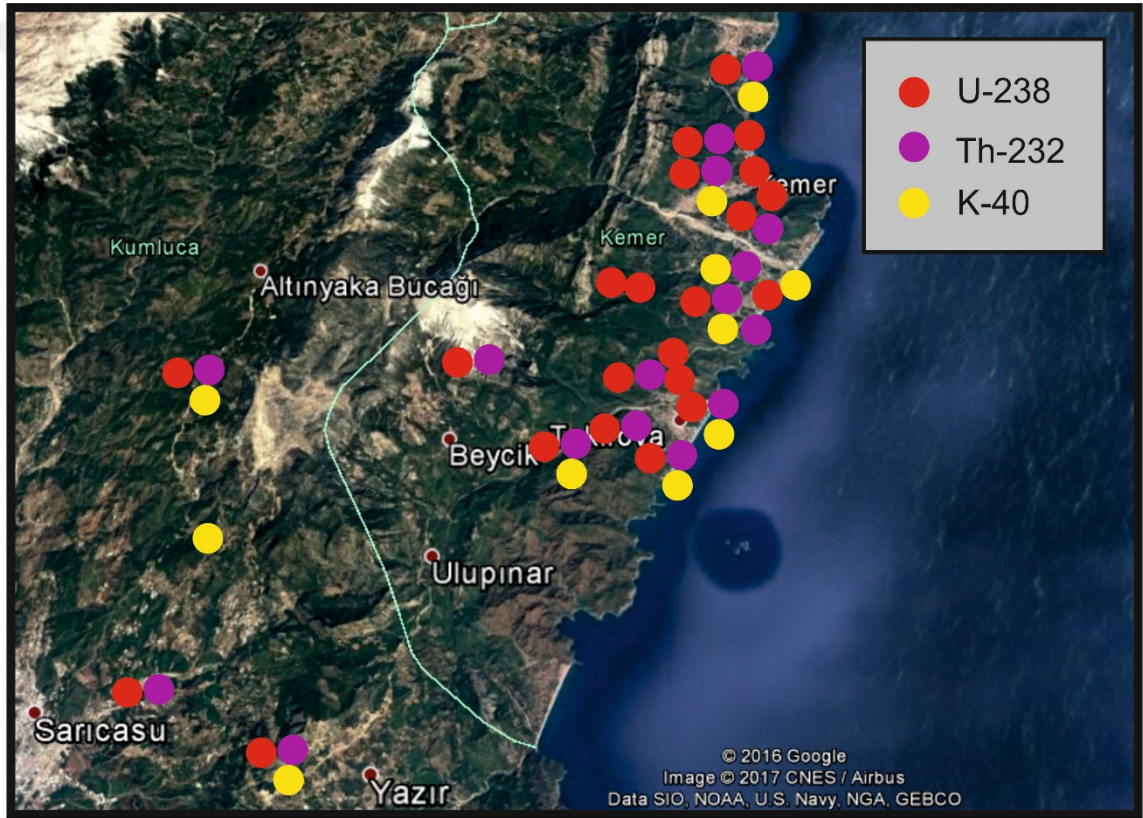


Şekil 4. 11. Tüm bölgelere ait D(nGy/h), Raeq(Bq/kg) ve AED(mSv) ortalama değerleri

Çizelge 4.8. ve Şekil 4.11.'de görüleceği üzere tüm bölgelere ait yapılan ölçümler sonucunda ofiyolit numunelerinin soğurulan ortalama doz hızı değerleri 37,88 nGy/h ile

73,55 nGy/h aralığında olup normal değer sınırları içinde bulunmuştur. Ortalama Raeq değerleri arasında en düşük Kumluca bölgesi için 80,12 Bq/kg olduğu görülmekteyken, en yüksek değer ise Kemer bölgesinde 158,06 Bq/kg olduğu görülmektedir. Elde edilen AED değerleri ise 98,26 mSv/y ile Kumluca bölgesine ait olup, en yüksek değer ise 193,85 mSv/y ile Kemer bölgesine aittir.

Şekil 4.12’de, Tekirova, Kemer ve Kumluca bölgesindeki numune örneklerin U-238, Th-232 ve K-40 aktivite değerleri herbiri için müsaade edilebilir limit değerlerinin üzerinde bulunan kayaçların (Unsear 1993) dünya ortalama değerleri sırasıyla 50, 50 ve 500 Bq/kg olduğu varsayılarak çalışma alanındaki radyasyon riskini oluşturan ofiyolitik kayaçların lokasyon yerlerini göstermektedir.



Şekil 4. 12. Tüm bölgelere ait radyasyon riski oluşturan ofiyolitik kayaçlar

Çalışma bulgularının literatürde Türkiye ve diğer ülkeler için yayınlanan, çizelge 4.9’a göre ^{226}Ra Bq/kg ortalama değerinin dünya ortalamasından yüksek olduğu ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri için dünya ortalamasının altında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.9. Ölçülen aktivite değerlerinin karşılaştırılması (UNSCEAR 2000)

Ülke	²²⁶ Ra(Bq/kg)	²³² Th(Bq/kg)	⁴⁰ K(Bq/kg)	Ref. No
Türkiye	23	15	149	Celik vd (2010)
Cezayir	23	12	310	Amrani vd (2001)
Ürdün	20.1	11.4	85	Ahmad vd (1997)
Kuveyt	3.9	0.22	3.7	Bou-Rabee ve Bem (1996)
Mısır (Qena)	205	115	865	Ahmed (2005)
Kamerun	8	0.35	19	Ngachin vd (2007)
İtalya	4	0.9	16	Rizzo vd (2001)
Suudi Arabistan	12.7	13.2	64	El-Taher (2012)
Pakistan	8	3	26	Khan vd (2002)
Nijerya	2	1	7	Ademola (2008)
Dünya Ortalaması	50	50	500	UNSCEAR (1993)
Mevcut çalışma	55,70	36,42	339,40	

4.5 Numune Örneklerinin Kimyasal Analiz Değerleri

Kimyasal analiz bulguları referans numarası ANK16000365 olan numune analizleri, ACME Analitik Laboratuvarı Ltd.'de yapılmıştır. Örneklerin element içerikleri ACME Analitik Laboratuvarı Ltd. tarafından Microsoft Excel formatında gönderilmiştir. Kayaç örneklerine ait kimyasal analiz sonuçlarına, SPSS yardımı ile çok değişkenli istatistik yöntemleri uygulanmıştır. Çok değişkenli istatistik yöntemlerin uygulanma gerekçesi, kayaçtaki verileri oluşturan ağır metallerin birbirleri ile olan ilişkileri, verilerin yeterliliği, metallerin köken ilişkisinin ortaya çıkarılmasıdır.

Kimyasal analiz yöntemi önceden belirlenmiş, örnekler yönteme uygun olarak 15 gr toz halinde hazırlanmış, sonra analize gönderilmiş ve ppm (milyonda bir) cinsinden

yazılmıştır. Kimyasal analizler, Dalgaboyu Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.10. Kimyasal elementlere ilişkin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri

	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama
SiO ₂	9,74	44,27
Al ₂ O ₃	6,62	8,41
Fe ₂ O ₃	2,34	7,99
CaO	9,63	8,78
MgO	14,95	17,17
Na ₂ O	1,95	1,66
K ₂ O	0,79	0,87
MnO	0,19	0,18
TiO ₂	0,79	0,80
P ₂ O ₅	0,43	0,60
Cr ₂ O ₃	0,29	0,25
Ba	0,39	0,82
LOI	7,45	9,67
SO ₃	0,61	0,30
Sr	0,97	0,77
Co	54,34	74,67
Cs	0,65	1,04
Ga	6,17	9,99
Hf	2,72	2,35
Nb	14,72	8,92
Rb	22,37	12,62
Th	2,70	2,99
U	0,95	1,11
V	119,04	157,54
Cu	55,44	47,75
Pb	76,75	19,42
Zn	24,93	38,68
Ni	102,10	77,32
As	2,92	4,46
Au	9,01	5,34

Verilerin bilgilendirici bir şekilde düzenlenmesi, özetlenmesi ve gösterimini sağlayan metotlara betimsel istatistik denilmektedir. Betimsel istatistik yöntemlerinde merkezi

eğilim ölçüleri (ortalama) ve merkezi dağılım ölçüleri (standart sapma) elde edilir (Durmuş vd 2011). Bu amaçla yapılan betimsel analizler arasında çizelge 4.10'da yansıtılan ve kimyasal elementlere ilişkin aritmetik ortalamaları ve standart sapma değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.11. Kayaç örneklerinin faktör analiz değerleri

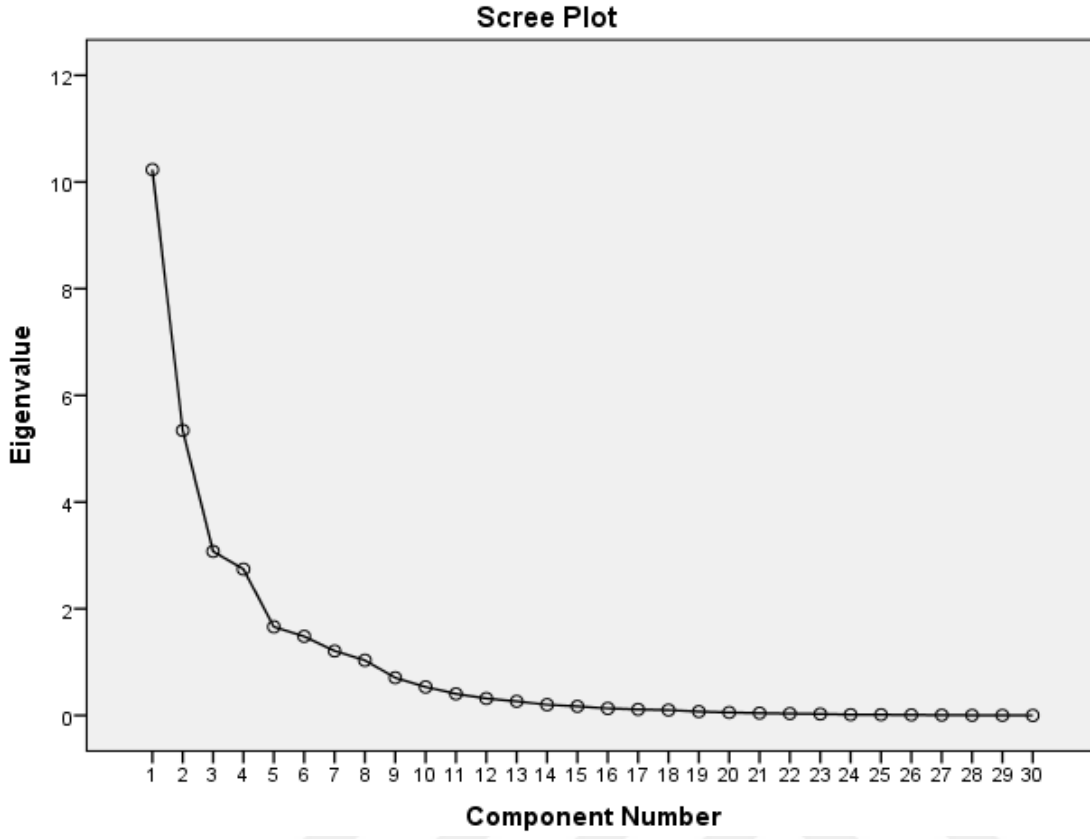
Toplam Varyans Açıklama Oranı			
Faktör	Özdeğer		
	Toplam	Varyans Açıklama Oranı	Kümülatif
1	10,231	34,103	34,103
2	5,343	17,81	51,913
3	3,075	10,249	62,162
4	2,742	9,138	71,3

Ofiyolit kayaç örneklerinin faktör analiz değerleri çizelge 4.11'de görüldüğü üzere; birinci faktör, 10,231'lik yüksek 'Eigenvalues' öz değer ile toplam varyansın %34,103'ni açıklamaktadır. İkinci faktör, 5,345'lik özdeğer ile toplam varyansın %17,81'ini temsil etmektedir. Üçüncü faktör, 3,075'lik özdeğer ile toplam varyansın %10,249'unu temsil etmektedir. Dördüncü faktör, 2,742'lik özdeğer ile toplam varyansın %9,138'ini temsil etmektedir.

Çizelge 4.12. Kimyasal elementlerin bileşen değerleri ilişkisi

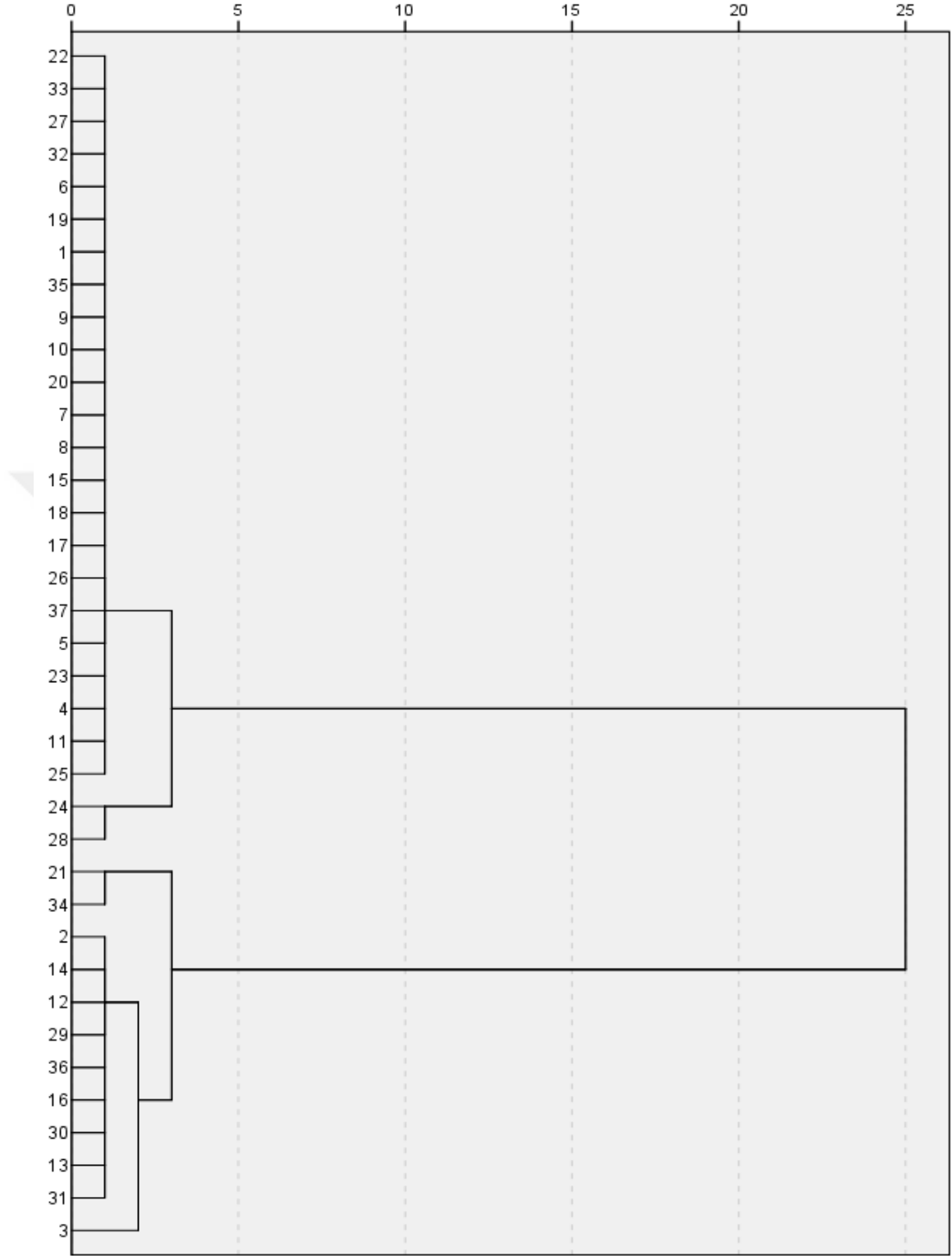
	Bileşen			
	1	2	3	4
Co	847	458	346	412
Ga	831	526	418	394
MgO	817	324	215	376
Sr	802	289	415	368
Al ₂ O ₃	798	346	375	429
Ni	788	512	384	297
Hf	778	185	419	378
P ₂ O ₅	761	211	415	514
Ba	759	345	198	217
Rb	758	413	319	419
Nb	689	384	115	192
Th	687	439	234	341
SiO ₂	626	247	189	306
TiO ₂	592	315	108	274
Na ₂ O	525	456	371	299
Cr ₂ O ₃	455	377	418	367
V	417	703	384	401
U	394	627	291	314
Fe ₂ O ₃	375	616	410	329
Cs	312	609	294	329
LOI	287	601	354	271
K ₂ O	215	583	418	397
Cu	198	483	310	295
CaO	175	259	867	318
MnO	154	317	693	417
Zn	112	289	501	179
Pb	85	165	377	216
As	17	28	37	56
SO ₃	10	59	81	362

Çizelge 4.12’de görüldüğü gibi; Tekirova Ofiyolit kayaçları genelinde bütün elementler dört faktör ile temsil edilmiştir. Dört faktörün kullanıldığı PCA analizi dikkate alındığında, birinci faktör; Co, Ga, MgO, Sr, Al₂O₃, Ni, Hf, P₂O₅, Ba, Rb, Nb, SiO₂, TiO₂, Na₂O ve Cr₂O₃ içermekte; ikinci faktör; V, U, Fe₂O₃, Cs, LoI, K₂O ve Cu içermekte, Üçüncü faktör; CaO, MnO, Zn ve Pb içermekte, dördüncü faktör ise; As ve SO₃ içermektedir.



Şekil 4. 13. Kayaç örneklerin özdeğerlerinin dağılımı (Scree Plot)

Şekil 4.13'de görüldüğü üzere elde edilen değerlerin Scree Plot grafiği incelendiğinde beşinci değerden sonra verilerde bir değişiklik olmadığı görülmüştür.



Şekil 4. 14. Kayaç örneklerinin dendogram değerleri

İstasyonlar arasında benzer olanları belirlemek için, Kümeleme analiz dendogramı yapılmıştır. Şekil 4.14’de görüldüğü gibi; dendogram değerlerine göre 22,

33, 27, 32, 6, 19, 1, 35, 9, 10, 20, 7, 8, 15, 18, 17 ve 26 kendi arasında benzerlik sunmaktadır. 37, 5, 23, 4, 11 ve 25 kendi arasında benzerlik sunmakta bunlar arasında 37 ve 24 ile 28 yüksek derecede benzerlik göstermektedir. 21 ile 34 arasında benzerlik olup bu değerler, 2, 4, 14, 12, 29, 36 ve 16 kendi arasında benzerlik göstermekte ve 21 ile 34 değerleri ile çok yüksek derecede benzerdir. 12, 29, 36, 16, 30, 13 ve 31 kendi aralarında benzer olup 3 ile yüksek derecede benzerlik göstermektedir. 37, 5, 23, 4, 11, 25 ve 24 ile 21, 34, 2, 4, 14, 12, 29, 36 ve 16 kendi aralarında çok yüksek derece benzerlik göstermektedir. İstasyonlardaki benzer gruplar, istasyonların kendileri arasındaki benzerliklerini ifade eder. Ancak, benzerliği olmayan istasyonların, kendine özgü durumu bulunmaktadır.

Çizelge 4.13. Kimyasal elementlerin model summary ve anova ilişkisi

Model Summary						
Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahmini Hata Oranı		
1	,997a	0,993	0,966	0,49928		
ANOVA						
Model		Kareler Toplamı	df	Ortalama	F	Sig.
1	Regresyon	260,883	29	8,996	36,088	,000b
	Kalan	1,745	7	0,249		
	Toplam	262,628	36			

a. Bağımlı Değişken: Th

b. Sabit Değerler: Au, Al₂O₃, Cs, Pb, MnO, SO₃, Cr₂O₃, As, Fe₂O₃, K₂O, Cu, Nb, Na₂O, P₂O₅, Co, U, Zn, TiO₂, Sr, SiO₂, Ni, Ba, CaO, Hf, Ga, V, Rb, LOI, MgO

XRF sonuçları, Model Summary ve Anova'ya göre hesaplanmıştır. Hesaplama, Th değerine göre Regresyon verilerine bakılmıştır. Çizelge 4.13'de görüldüğü üzere; regresyon denkleminin açıklayıcılık yüzdesi R²= % 99 olup, hata payı bulunmamaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında Antalya ili içerisinde yer alan Tekirova, Kemer ve Kumluca bölgelerinden toplam 50 adet ofiyolit kayaç numunesinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonu ölçülmüştür.

Ra-226 aktivite konsantrasyonun 0,26-212,07 Bq/kg değerleri arasında, Th-232 aktivite konsantrasyonun 1,06-104,30 Bq/kg değerleri arasında, K-40 aktivite konsantrasyonun ise 28,82-985,83 Bq/kg değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir.

En yüksek K-40 aktivite konsantrasyonu 985,83 Bq/kg ile KemerS35 numunesinde, en yüksek U-238 aktivite konsantrasyonu 212,07 Bq/kg ile KemerS41 numunesinde, en yüksek Th-232 aktivite konsantrasyonu 104,30 Bq/kg ile KemerS47 numunesinde ölçülmüştür.

Elde edilen sonuçlar Tekirova ofiyolit numuneleri için Hex değerleri sınır değer olan 1'den küçük çıkmıştır. Hin değerleri ise; ARa, ATh ve AK; 226Ra, 232Th ve 40K radyonüklidlerinin Bq/kg cinsinden aktivite konsantrasyonlarıdır. Elde edilen sonuçların Tekirova ofiyolit numuneleri için sınır değer olan 1'den küçük çıkmıştır. Elde edilen AED değerleri ise 23,83 mSv/y ile 325,56 mSv/y aralığında olup insan sağlığı açısından bir tehlike göstermemektedir (Bkz. Çizelge 4.2).

Çalışma sonunda elde edilen tüm Kemer ofiyolit numunelerinin maksimum Raeq değeri olan 370 Bq/kg ve endüstriyel ürünler için limit değerler olan 370-740 Bq/kg'dan küçük olduğu görülmektedir. Hex ve Hin değerleri ise; Kemer ofiyolit numuneleri için sınır değer olan 1'den küçük çıkmıştır. Elde edilen AED değerleri ise 19,96 mSv/y ile 327,77 mSv/y aralığında olup insan sağlığı açısından bir tehlike göstermemektedir (Bkz. Çizelge 4.4).

Kumluca ofiyolit numuneleri için Hex değerleri sınır değer olan 1'den küçük çıkmıştır. Hin değerleri ise; Kumluca ofiyolit numuneleri için sınır değer olan 1'den küçük çıkmıştır. Elde edilen AED değerleri ise 12,48 mSv/y ile 347,02 mSv/y aralığında olup insan sağlığı açısından bir tehlike göstermemektedir (Bkz. Çizelge 4.6).

Tekirova ofiyolit kayaç örnekleri için U-238 aktivite değerlerinin dünya ortalaması olan U-238 için 50 Bq/kg'den, daha yüksek olan Tekirova S19, Tekirova S20,

Tekirova S23, Tekirova S25, Tekirova S30, Tekirova S31, Tekirova S38, Tekirova S39, Tekirova S46a ve S46b kayaç örnekleri insan sağlığı açısından radyasyon riski oluşturabilir (Bkz. Çizelge 4.1).

Tekirova ofiyolit kayaç örnekleri için Th-232 aktivite değerlerinin dünya ortalaması olan Th-232 için 50 Bq/kg, daha yüksek olan Tekirova S19, Tekirova S23, Tekirova S25, Tekirova S30, Tekirova S31, Tekirova S39, kayaç örnekleri insan sağlığı açısından radyasyon riski oluşturabilir (Bkz. Çizelge 4.1).

Tekirova ofiyolit kayaç örnekleri için K-40 aktivite değerlerinin dünya ortalaması olan K-40 için 500 Bq/kg, daha yüksek olan Tekirova S25, Tekirova S30, Tekirova S31, kayaç örnekleri insan sağlığı açısından radyasyon riski oluşturabilir (Bkz. Çizelge 4.1).

Kemer ofiyolit kayaç örnekleri için U-238 aktivite değerlerinin dünya ortalaması olan U-238 için 50 Bq/kg'den, daha yüksek olan Kemer S33, Kemer S34, Kemer S35, Kemer S37, Kemer S40, Kemer S41, Kemer S42, Kemer S44, Kemer S45 kayaç örnekleri insan sağlığı açısından radyasyon riski oluşturabilir (Bkz. Çizelge 4.3).

Kemer ofiyolit kayaç örnekleri için Th-232 aktivite değerlerinin dünya ortalaması olan Th-232 için 50 Bq/kg'den, daha yüksek olan Kemer S33, Kemer S34, Kemer S35, Kemer S40, Kemer S45, Kemer S47b kayaç örnekleri insan sağlığı açısından radyasyon riski oluşturabilir (Bkz. Çizelge 4.3).

Kemer ofiyolit kayaç örnekleri için K-40 aktivite değerlerinin dünya ortalaması olan K-40 için 500 Bq/kg'den, daha yüksek olan Kemer S33, Kemer S35, Kemer S37, Kemer S40, Kemer S47b kayaç örnekleri insan sağlığı açısından radyasyon riski oluşturabilir (Bkz. Çizelge 4.3).

Kumluca ofiyolit kayaç örnekleri için U-238 aktivite değerlerinin dünya ortalaması olan U-238 için 50 Bq/kg'den, daha yüksek olan Kumluca S4, Kumluca S28, Kumluca S29 kayaç örnekleri insan sağlığı açısından radyasyon riski oluşturabilir (Bkz. Çizelge 4.5).

Kumluca ofiyolit kayaç örnekleri için Th-232 aktivite değerlerinin dünya ortalaması olan Th-232 için 50 Bq/kg'den, daha yüksek olan Kumluca S4, Kumluca S28, Kumluca S29 kayaç örnekleri insan sağlığı açısından radyasyon riski oluşturabilir (Bkz. Çizelge 4.5).

Kumluca ofiyolit kayaç örnekleri için K-40 aktivite değerlerinin dünya ortalaması olan K-40 için 500 Bq/kg'den, daha yüksek olan Kumluca S4, Kumluca S10, Kumluca S12, Kumluca S29 kayaç örnekleri insan sağlığı açısından radyasyon riski oluşturabilir (Bkz. Çizelge 4.5).

Sonuçları (Unsear 1993) raporunda verilen değerlerle (Ra-226 için 50 Bq/kg, Th-232 için 50 Bq/kg, K-40 için 500 Bq/kg) karşılaştırdığımızda **Tekirova S25, Tekirova S30, Tekirova S31, Kemer S33, Kemer S35, Kemer S40, Kumluca S4 ve Kumluca S29** numune örnekleri üç aktivite değeri içinde müsaade edilebilir doz seviyesinin üstünde olduğu belirlenmiştir. (Bkz. Şekil 4.12) bu bölgelerde yaşayan (belirtilen lokasyonlarda) insanların radyasyon açısından sağlığını tehdit etmektedir.

Çalışma bulgularının literatürde Türkiye ve diğer ülkeler için yayınlanan, (Bkz. Çizelge 4.9)'da verilen sonuçlara göre ^{226}Ra Bq/kg ortalama değerinin **55,70** Bq/kg dünya ortalamasından 50 Bq/kg'dan yüksek olduğu, ^{232}Th için ortalama değerinin **36,42** Bq/kg ile dünya ortalamasının 50 Bq/kg'ın altında olduğu, ^{40}K aktiviteleri için **339,40 Bq/kg ile** dünya ortalamasının 500 Bq/kg'ın altında olduğu belirlenmiştir.

- D (Toplam Doz Hızı): 37,88 – 73,35 nGy/h (Tekirova, Kemer ve Kumluca bölgeleri ortalaması) dünya ortalaması **10-200** nGy/h aralığında olduğuna göre bu değerler dünya radyasyon açısından bir tehlike göstermemektedir.
- AED (Yıllık Etkin Doz Hızı): 98,26-193,85 mSv/y aralığında olup müsaade edilebilir limit değerinin **460** mSv/y altında olup radyasyon açısından bir tehlike teşkil etmemektedir.
- Raeq (Radyuma Eşdeğer Aktivite): 80,12-158,06 Bq/kg aralığında olup müsaade edilebilir limit değerinin **370** Bq/kg altındadır.
- Hex (Harici Radyasyon Riski) ve Hin (Dahili Radyasyon Riski) değerleri 1'den küçük olup radyasyon açısından tehlike teşkil etmemektedir.

Kimyasal elementlere ait sonuçlar göz önüne alındığında en yüksek aritmetik ortalama değeri 157,54 ile Vanadyum elementine aittir, en düşük aritmetik ortalama değeri ise 0,25 ile Krom (III) Oksit elementine aittir. Standart sapma değerleri göz önüne alındığında en yüksek değer 119,04 ile Vanadyum elementinde, en düşük standart sapma değeri ise 0,19 ile Mangan oksit elementinde ölçülmüştür.

Ofiyolit kayaç örneklerinin kimyasal analiz verileri ile yapılan faktör analizleri sonuçlarına göre dört faktör ile temsil edilmektedir. Kayaç Örneklerin Özdeğerlerinin Dağılımı Dört faktör ile değişkenlik gösterip beşinci faktörden sonra değerlerinin değişmediği gösterilmiştir. PCA analizi sonucuna göre birinci faktörde; Co, Ga, MgO, Sr, Al₂O₃, Ni, Hf, P₂O₅, Ba, Rb, Nb, SiO₂, TiO₂, Na₂O ve Cr₂O₃ bulunmaktadır. İkinci faktörde; V, U, Fe₂O₃, Cs, LoI, K₂O ve Cu elementleri bulunmaktadır. Üçüncü faktörde ise; CaO, MnO, Zn ve Pb içermekte, dördüncü faktörde; As ve SO₃ elementlerini içermektedir.

Kümeleme analiz sonuçlarına göre; Kumluca **S4**, Kumluca **S11**, Tekirova **S25**, Tekirova **S24**, Kumluca **S28**, Kumluca **S12**, Kumluca **S14**, Kemer **S34**, Tekirova **S21** numune örnekleri kendi aralarında çok yüksek oranda benzerlik göstermektedir.

XRF sonuçları, çok önemli düzeyde doğruluk vermektedir. Th elementinin değişimini 29 (Au, Al₂O₃, Cs, Pb, MnO, SO₃, Cr₂O₃, As, Fe₂O₃, K₂O, Cu, Nb, Na₂O, P₂O₅, Co, U, Zn, TiO₂, Sr, SiO₂, Ni, Ba, CaO, Hf, Ga, V, Rb, LOI, MgO) açıklayıcı değişken, yüksek düzeyde açıklamaktadır.

Sonuç olarak Türkiye'nin en önemli turizm merkezlerinden birisi olan Antalya bölgesi göz önüne alındığında yapılan bu çalışmanın literatürde rastlanmayan çalışmaların başında yer alması bakımından oldukça önemlidir. İleride bu tür çalışmaların Türkiye'deki diğer turizm bölgelerine yönelik olarak geliştirilmesi ile daha büyük bir öneme sahip olacaktır.

Ülkemiz giderek artmakta olan enerji ihtiyacını, nükleer enerjiye yönelik çalışmalar yaparak, enerji ihtiyacını karşılayacağını düşünse de düzenli bir radyolojik çalışmalarla çok önemli bir sorun olan radyoaktif kirlenmenin de önüne geçilmiş olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- AARKROG, A. 1990. Environmental radiation and radioactive releases, *Int J Radiat Biol* 4: 619-631.
- ADEMOLA, J.A. 2008. Exposure to high background radiation level in the tin mining area of Jos Plateau, *Journal of radiological protection*, 28(1), 93, Nigeria.
- AHMED, N.K. 2005. Measurement of natural radioactivity in building materials in Qena city, *Journal of Environmental Radioactivity* 83, p. 91-99, Upper Egypt.
- AHMAD, N. and Khatibeh, A.H. 1997. Indoor radon levels and natural radioactivity in Jordanian soils, *Radiation Protection Dosimetry*, 71(3), 231-233.
- AHMED, N.S. 2015. Scintillation detectors and photodetectors, *Physics and Engineering of Radiation Detection (Second Edition)*, Pages 331-433.
- AJAYI, O.S. 2000. Distribution of natural radioactivity in rocks from Ikogosi-Ekiti, Southwestern Nigeria and its radiological implications, *Health Physics*, 79(2), p. 192-195.
- AKBULUT, A. 1980. Eğridir Gölü güneyinde Çandır (Sütçüler- Isparta) yöresindeki Batı Toroslar'ın jeolojisi: *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 23, 1, 1-10.
- AKHTAR, N., TUFAIL, M., ASHRAF, M. and IQBAL, M. 2005. Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahore, *Radiation Measurements Volume 39, Issue 1, January, Pages 11–14, Pakistan.*
- AKÖZCAN, S., YILMAZ, M. ve KÜLAHCI, F. 2014. Dose rates and seasonal variations of ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra ⁴⁰K and ¹³⁷Cs radionuclides in soils along Thrace, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299(1), 95-101, Turkey.
- AL-HAMARNEH, I.F. and AWADALLAH, M.I. 2009. Soil radioactivity levels and radiation hazard assessment in the highlands of northern Jordan, *Radiation Measurements*, 44(1), 102-110.
- AL-SHARİF, A.L. and ABDELRAHMAN, Y.S. 2001. Factors affecting radon concentration in houses, *Turkish Journal of Physics*, 25(2), 153-158.
- AMRANİ, D. and TAHTAT, M. 2001. Natural radioactivity in Algerian building materials, *Applied Radiation and Isotopes*, 54, p. 687-689.
- BAĞCI, U. ve PARLAK, O. 2009. Petrology of the Tekirova (Antalya) ophiolite (Southern Turkey): evidence for diverse magma generations and their tectonic implications during Neotethyan-subduction. *International Journal of Earth Sciences*, 98(2), 387-405.
- BALDIK, R., AYTEKIN, H. ve ERER, M. 2011. Radioactivity measurements and radiation dose assessments due to natural radiation in Karabük (Turkey), *Journal*

of Radioanalytical and Nuclear Chemistry August Volume 289, Issue 2, pp 297–302.

- BAYKARA, O., KARATEPE, Ş. ve DOĞRU, M. 2011. Assessments of natural radioactivity and radiological hazards in construction materials used in Elazığ, *Radiation Measurements* Volume 46, Issue 1, January, Pages 153–158, Turkey.
- BERETKA, J. and MATHEW, P.J. 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products, *Health Phys.* 48, 87-95.
- BEYZADEOĞLU, M., OZYİĞİT, G. ve EBRULİ, C. 2010. *Basic Radiation Oncology*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- BOLCA, M., SAC, M., ÇOKUYSAL, B., KARALI, T. ve EKDAL, E. 2007. Radioactivity in soils and various foodstuffs from the Gediz River Basin of Turkey, *Radiation Measurements* Volume 42, Issue 2, February, Pages 263–270.
- BOR, D. 2015. Radyasyon Nedir, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü, http://www.nukte.org/prof_dr_doganbor_radyasyon_nedir.
- BORA, H. 2001. Radyasyon Güvenliği, Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri, Meslek Yüksekokulu Yıllığı, Cilt 2, Sayı 1.
- BOU-RABEE, F. and BEM, H. 1996. Natural radioactivity in building materials utilized in the state of Kuwait. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 213(2), 143-149.
- BOZKURT, A., YORULMAZ, N., KAM, E., KARAHAN, G. ve OSMANLIOĞLU, A. 2007. Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey, *Radiation Measurements* Volume 42, Issue 8, September, Pages 1387–1391.
- BRAİ, M., BASİLE, S., BELLİA, S., HAUSER, S., PUCCİO, P., RİZZO, S., BARTOLOTTA, A. and LIÇCCIARDELLO, A. 2002. Environmental radioactivity at Stromboli (Aerolian Islands), *Applied Radiation and Isotopes*, Vol 57, Pages 99-107.
- BRUNN, J. H., ARGYRİADİS, I., MARCOUX, J., MONOD, O., POİSSON, A. and RİCOU, L.E. 1973. Antalya'nın ofiyolit naplarının orijini lehine ve aleyhindeki kanıtlar, *Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri kongresi tebliğleri*, 17–19 Aralık, sayfa: 58–69, Ankara.
- BRUZZİ, L., BARONİ, M., MELE, R. and NANNİ, E. 1997. Proposal for a method of certification of natural radioactivity in building materials, *Journal of Radiological Protection*, 17 (2), p. 85–94.
- CENGİZ, G.B. ve REŞİTOĞLU, S. 2014. Determination of natural radioactivity levels in Kars- city center, *Journal of Nuclear Sciences*, Volume: 1 Number: 2. Turkey.

- CHRİSTOFİDES, S. and CHRİSTODOULİDES, G. 2003. Gamma radiation measurements and dose rates in commercially-used natural tiling rocks(granites), UCY-PHY-02/03 physics/0212104.
- COLİN, H.J. 1962. Fethiye-Antalya-Kaş-Finike (Güneybatı Türkiye) bölgesinde yapılan jeolojik etütler, *MTA Enstitüsü Dergisi*, no: 59, Ankara, sayfa: 19–59.
- COLİNS, A.S. ve ROBERTSON, A.H.F. 1997. Lycian melange, southwestern Turkey: An emplaced Late Cretaceous accretionar complex, *Geology*, v. 25, no 3, 255-258.
- ÇELİK, N., DAMLA, N. ve ÇEVİK, U. 2010. Gamma ray concentrations in soil and building materials in Ordu, Turkey, *Journal Radiation Effects and Defects in Solids Incorporating Plasma Science and Plasma Technology*, Volume 165, Issue 1, p. 1-10.
- DAMLA, N., ÇEVİK, U., KOBYA, A., ÇELİK, N. ve YILDIRIM, I. 2011. Assessment of natural radioactivity and mass attenuation coefficients of brick and roofing tile used in Turkey, *Radiation Measurements* Volume 46, Issue 8, August, Pages 701–708.
- DEBERTIN, K. and HELMER, R.G. 1988. Spektrometry with semiconductor dedectors, North- Holland, Amsterdam.
- DIZMAN, S., GORUR, F., ve KESER, R. 2016. Determination of radioactivity levels of soil samples and the excess of lifetime cancer risk in Rize province, Turkey, *International Journal of Radiation Research*, July, Volume 14, No 3.
- DOUPLE, E.B., MABUCHI, K., CULLINGS, H.M., PRESTON, D.L., KODAMA, K., SHIMIZU, Y., FUJIWARA, S. and SHORE, R.E. 2011. Long-term radiation-related health effects in a unique human population: lessons learned from the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki. *Disaster Med Public Health Prep* 5: s.122–133.
- DUENAS, C., FERNANDEZ, M.C., CANETE, S. and PEREZ, M. 2010. Radiological impacts of natural radioactivity from phosphogypsum piles in Huelva (Spain), *Radiation Measurements* 45, p. 242–246.
- DURMUŞ, B., YURTKORU, S. E. ve ÇİNKO, M. 2011. Sosyal Bilimlerde Spss'le Veri Analizi, *Beta Basım Yayım Dağıtım*, 4. Baskı, İstanbul, Eylül.
- EISENBERG, R.L. 1992. Radiology, An Illustrated History, Mosby-Year Book.
- EL-KAMEESY, S.U., EI-GHANY, S.A., EI-MİNYAWİ, S.M., MİLİGY, Z. and EI-MABROUK, E.M. 2008. Natural radioactivity of beach sand samples in the Tripoli Region, Northwest Libya. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 32(4), 245-251.

- EL-TAHER, A. 2012. Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards for building materials used in Qassim area, Saudi Arabia. *Rom. J. Phys.*, 57(3–4), 726-735.
- ENGELKEMEİR, D.W., FLYNN, K.F. and GLENDENİN, L.E. 1962. Positron Emission in the Decay of K-40, *Physical Review*, 126,5.
- ENYINNA, I.P. 2016. Radiological risk assessment of cosmic radiation at aviation altitudes (a trip from Houston Intercontinental Airport to Lagos International Airport), *Journal of Medical Physics*, July 1.
- EREEŞ, F.S. 1998. Radon Kirliliği, Ege Üniversitesi, Çevre Sorunları Uygulama Sempozyumu ve Araştırma Merkezi, *Çevre Bilimi Bahar Okulu II*, Karaburun, Ders notları, İzmir, sayfa 30-46.
- ERSOY, Ş. 1990. Batı Toros (Likya) Naplarının Yapısal Ögelerinin ve Evriminin Analizi, *Jeoloji Mühendisliği*, 37, 5-16.
- EVANS, B.W., HATTORİ K. and BARRONET A. 2013. Serpentine: what, why, where? *Elements*, Vol. 9, No. 2, pp. 99–106.
- FERNANDEZ, A.T., VARGAS, J. and SANCHEZ, A.M. 2010. A method to Reproduce Alpha Particle Spectra Measured with Semiconductor Detectors, *Applied Radiation and Isotopes*, 68, 941-945.
- GARCÍA-LEÓN, M., GARCÍA-MONTAÑO, E. and MADURGA, G. 1984. Characterization of ⁹⁹Tc by shape of its plateau with a gas-flow proportional counter, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 35, pp.195- 200.
- GILMORE, R. G. 2008. *Practical Gamma-ray Spectrometry – 2nd Edition*, John Wiley and Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-86196-7.
- GUILLOT, S. and HATTORI, K. 2013. Serpentinites: Essential roles in geodynamics, arc volcanism, sustainable development, and the origin of life. *Elements*, Vol. 9, No. 2, pp. 95–98.
- GULER, Ç. ve ÇOBANOĞLU, Z. 1997. Elektromagnetik Radyasyon Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:32, Ankara, 30s.
- GUNOĞLU, K. 2008. Afyonkarahisar Yöresi Mermerlerinde Doğal Radyoaktivite Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- GUPTA, M., MAHUR, A., VARSHNEY, R., SONKAWADE, R. and VERMA, K. 2013. Measurement of natural radioactivity and radon exhalation rate in fly ash samples from a thermal power plant and estimation of radiation doses, *Radiation Measurements Volume 50*, March, Pages 160–165.

- GUTNÍC M., 1977. Geologiquedu Taurus PisidienauNord d'Isparta(Turquie). Trv. Lab., Geol. Hist. Univ., Paris XI, p.112.
- HUBER, K. D., FLYNN, J. J. and MANSFIELD, W.G. 2016. U.S. Patent No. 9, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, p.319-964.
- IAEA, 1996. Radiation Safety, International Atomic Energy Agency, IAEA Division of Public Information, pp. 96.
- IAEA, 2003. Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (Norm) and technological options for mitigation, Vienna, Technical Reports Series No. 419.
- IBRAHIM, F. and MOHAMMAD, I. 2009. Soil radioactivity levels and radiation hazard assessment in the highlands of northern Jordan, Radiation Measurements Volume 44, Issue 1, January, Pages 102–110.
- ICRP, 1993. International Commission on Radiological Protection, “Protection Against Rn-222 at Home and at Work”, Annals of the ICRP 65, Pergamon, Oxford.
- JAEGER, R.G. and HOUTERMANS, H. 1962. Comments on the definition of the curie, with special reference to natural radioactive materials, The International Journal of Applied Radiation and Isotopes, Volume 13, Issue 6, Pages 267-272.
- JUDITH, B.R.J. 2016. Encyclopedia of Global Resources (Online Edition), January.
- JUTEAU, T. 1975. Les ophiolites des nappes d'Antalya (Taurides occidentales, Turquie). These, Sc., Nancy, Mem., n.32, p. 692.
- JUTEAU, T. and WHITECHURCH, H. 1980. The magmatic cumulates of Antalya (Turkey): evidence of multiple intrusions in an ophiolitic magma chamber, In Proceedings of International Ophiolite Symposium, Panayiotou A (ed.). Geological Survey: Cyprus; 377–391.
- JUTEAU, T., NICOLAS, A., DUBESSY, J., FRUCHARD, J. C. and BOUCHEZ, J.L. 1977. Structural relationship in the Antalya ophiolite complex, Turkey: possible model for an oceanic ridge, Geological Society of America Bulletin 88: 1740–1748.
- KABADAYI, Ö. ve GUMUS, H. 2011. Natural Activity Concentrations in Bottled Drinking Water and Consequent Doses, Radiation Protection Dosimetry, 150,4, 532-535.
- KARAHAN, G. ve BAYULKEN, A. 2000. Assesment of Gamma Dose Rates Around İstanbul, Journal of Environmental Radioactivity, 47, p. 213-221.
- KHAN, K., ASLAM, M., ORFİ, S.D. and KHAN, H.M. 2002. Norm and associated radiation hazards in bricks fabricated in various localities of the North-West Frontier Province (Pakistan), *Journal of environmental radioactivity*, 58(1), 59-66.

- KOBEISSI, M.A., EL SAMAD, O., ZAHRAMAN, K., MILKY, S., BAHSOUN, F. and ABUMURAD, K.M. 2008. Natural radioactivity measurements in building materials in Southern Lebanon, *Journal of Environmental Radioactivity* 99, p. 1279–1288.
- KOBYA, Y., TAŞKIN, H., YEŞİLKANAT, C. M., VARİNLİOĞLU, A. ve KORCAK, S. 2015. Natural and artificial radioactivity assessment of dam lakes sediments in Çoruh River, Turkey, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 303(1), 287-295.
- KRIEGER, R. 1981. Radioactivity of construction materials BetonwerkCFertigteile-Techn, 47, 468-473.
- KRSTIC, D., NIKEZIC, D., STEVANOVIC, N. and VUCIC, D. 2007. Radioactivity of some domestic and imported building materials from South Eastern Europe, *Radiation Measurements* 42, p. 1731-1736.
- KULALI, F. 2009. Topraktaki Radon Konsantrasyonu Ölçümü ve Deprem İlişkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- KUMAR, A., KUMAR, M., SINGH, B. and SINGH, S. 2003. Natural activities of U-238, Th- 232 ve K-40 in some Indian building materials. *Radiation Measurements*; 36, p.465-469.
- L'ANNUNZIATA, M. 1998. *Radioactivity Analysis*, Academic Praess.
- L'ANNUNZIATA, M. 2012. *Radiation Physics and Radionuclide Decay*, Elsevier Science, 1 online resource, pages 1-162.
- LİDEN, K. 1974. Special Radiation Units and for SI Units, *Health Physics*, 26, 583- 584.
- LLOPE, W.J. 2011. Activity concentrations and dose rates from decorative granite countertops, *Journal of Environmental Radioactivity* 102, () p. 620-629.
- LOWDER W.M. and SOBON L.R. 1956. *Background Radiation*, Rep.NYO-4712, Washington.
- LYTLE, F.W., GREGOR, R.B., SANDSTROM, D.R., MARQUES, E.C., WONG, J., SPIRO, C.L., HUFFMAN, G.P. and HUGGİNS, F.E. 1984. Measurement of Soft X-ray Absorption Spectra with a Fluorescent ion Chamber Detector, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 226, 542-548.
- LEFEVRE, R. 1967. Un nouvel élément de la géologie du Taurus Lycien: Les nappes d'Antalya (Turquie). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences*, 7, série D, 265, 1365-8.
- MALCZEWSKI, D., TEPER, L. and DOARDA, J. 2004. Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in racks and soils in the environs of

- Swieradow Zdroj in Sudetes, Poland, by in situ gamma-ray spectrometry, Journal of Environmental Radioactivity, Vol 73, Pages 233-245.
- MARCOUX, J. 1974. Alpin type Triassic of the upper Antalya nappe (western Taurus, Turkey). In: Zapfe H (ed) Die Stratigraphie der Alpin-Mediterranean Trias, Wien, pp .145–146.
- MICHAEL, F., PARPOTTAS, Y. and TSERTOS, H. 2010. Gamma radiation measurements and dose rates in commercially-used building materials in cyprus, Radiation Protection Dosimetry, Volume 142 (2–4) p.282.
- MORSS, L.R., EDELSTEIN, N.M. and Fuger, J. 2006. The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements (3rd bas.). Netherlands: Springer. ISBN 9048131464.
- MURTY, V. and KARUNAKARA, N. 2008. Natural radioactivity in the soil samples of Botswana, Radiation Measurements Volume 43, Issues 9–10, October–November Pages 1541–1545.
- MUSTAPHA, A. O., NARAYANA, D. G. S., PATEL, J. P. and OTWOMA, D. 1997. Natural Radioactivity in Some Building Materials in Kenya And The Contributions to the indoor External Doses. Radiation Protection Dosimetry, 71(1), p. 65–69.
- NARSARIA, 2016. N. *Salem Press Encyclopedia of Science*, January.
- NAZAROFF, W.W. and NERO, A. V. 1988. “Radon and its Decay Products in Indoor Air”, A Wiley- Interscience Publication, New York.
- NGACHİN, M., GARAVAGLIA, M., GIOVANI, C., KWATO NJOCK, M. G. and NOURREDDİNE, A. 2007. Assessment of natural radioactivity and associated radiation hazards in some Cameroonian building materials, Radiation Measurements 42, p. 61 – 67.
- O’DONOGHUE, M. 2006. *Gems*, 6th ed. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
- ÖZMEN, S. F., BOZTOSUN, İ., YALÇIN, M. G., ÜNAL, S. ve YALÇIN, R. 2013. Burdur, Isparta, Antalya İllerinde Bulunan Mermerlerin Doğal ve Yapay Radyoaktivite Seviyeleri ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi, *2.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı*, 4-6 Aralık, 261-270, Antalya.
- PAPADOPOULOS, A., CHRİSTOFİDES, G., KORONEOS, A. and STOULOS, S. 2014. Natural radioactivity distribution and gamma radiation exposure of beach sands from Sithonia Peninsula. *Open Geosciences*, 6(2), 229-242.
- PAVLİDOU, S., KORONEOS, A., PAPASTEFANOU, C., CHRİSTOFODES, G., STOULOS, S. and VAVELİDES, M. 2006. Natural Radioactivity of granites used as building materials, *Journal of Environmental Radioactivity* 89, p. 48-60.
- POİSSON, A. 1977. *Recherchesgeologique dans les Taurides occidentales(Turquie): These, Univ. Paris-Sud, 795s., Orsay.*

- POÏSSON, A., AKAY, E., DUMONT, J. F. ve UYSAL, Ş. 1983. The Isparta angle: a Mesozoic Paleorift in the western Taurides; In Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C., (eds) *Geology of the Taurus Belt, International Sym. 26-29 Sep*, Ankara-Turkey, 11-26.
- REUBER, I. 1982. Generations successives de filons grenus dans le complexe ophioliteque d'Antalya (Turquie) origine, evolution et mecanismes d'injection des liquides, These U.E.R. des Sci. De la vie et de la terre Lab. Min. Et Petr, Strasbourg, 245 p.
- REVAN, M. 2010. Kuzey Ege Kaplıcalarının Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- RIZZO, S., BRAI, M., BASILE, S., BELLIA, S. and HAUSER, S. 2001. Gamma activity and geochemical features of building materials: estimation of gamma dose rate and indoor radon levels in Sicily, *Applied Radiation and Isotopes*, 55(2), 259-265.
- ROBERTSON, A. H. F. 1998. Mesozoic-Tertiary tectonic evolution of the easternmost Mediterranean area: integration of marine and land evidence. In: Robertson AHF, KC, Richter C, Camerlenghi A (eds) *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, vol 160, pp 723–782.
- ROBERTSON, A. H. F. and WOODCOCK, N. H. 1982. The SW segment of the Antalya Complex, Turkey as a Mesozoic-Tertiary Tethyan continental margin. In *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Dixon JA, Robertson AHF (eds). Special Publication 17. Geological Society: London; 251–271.
- ROBERTSON, A.H.F. and WOODCOCK, N.H. 1980. Strike-slip related sedimentation in the Antalya Complex, SW Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 54, 323-345.
- ROBERTSON, A.H.F. and WOODCOCK, N.H. 1981. Alakırçay Group, Antalya Complex, SW Turkey: A deformed Mesozoic carbonat magrin. *Sedimentary Geology*, 30, 95-131.
- ROGERS, V. C. and NIELSON K. 1991. "Correlations for Predicting Air Permeabilities and ²²²Rn Diffusion Coefficients of Soils", *Health Physics* 61, pp. 225-230.
- RUTH H. 2016. *Salem Press Encyclopedia of Science*, January.
- SAGAN, S. A., KULLAB M. K. ve İSMAİL A. M. 2001. Radionuclides in hot mineral spring waters in Jordan, *Journal of Environmental Radioactivity* 52; 99-107.
- SAHA, G.B. 1998. *Fundamentals of Nuclear Pharmacy*, Fourth edition, Springer.
- SAHİN, L. ve ÇAVAS, M. 2008. Natural radioactivity measurement in soil samples of the central "Kütahya, Turkey, *Radiat. Prot. Dosim*, 131(4), 526-530.

- SCOTT, M.R. 1982. The Chemistry of U and Th Series Nuclides in Rivers, In Ivanovich and R.S. Harmon U-series Disequilibrium: Applications to Enviromental Problems: Oxford University Prees, Oxford, 181-201.
- SEGOVIA, N., PENA, P. and TAMEZ, E. 1991. Radon survery in Mexico City, International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements Volume 19, Issues 1–4, Pages 405-408.
- SELVASEKARAPANDIAN,S.,SIVAKUMAR,R.,MANIKADAN,N.M.,MEENAKSHI SUNDARAM,V., RAGHUNATH,V. M. and GAJENDRAN,V. 2000. Natural radionuclide distrubition in soils of Gudalore, India, Applied Radiation and Isotopes, Vol 52, Pages 299-306.
- SEYREK, E. 2007. Radyoizotopların Üretimi ve Radyoterapide Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Ankara.
- SHENBER, M.A. 1997. Measurement of natural radioactivity levels in soil in Tropoli, Appl. Radiat. Isot, 48, 146-148.
- SPRADLEY, N. and JOSEPH, L. 2016. Radon Gas, *Salem Press Encyclopedia of Science*, January, 5p.
- STEINHAUSER, G. and BUCHTELA, K. 2012. Gas Ionization Detectors, Handbook of Radioactivity Analysis (Third Edition), Elsevier Science, Pages 191–231.
- ŞENEL, M. 1997. 1:100 000 ölçekli Türkiye jeoloji Haritaları, Antalya-L10, L11, L12 M10, M11 paftaları. MTA, Ankara.
- ŞENEL, M. 1999. Toros Kuşağındaki yapısal birimlerin stratigrafik ve yapısal özellikleri, bu birimlerin yeniden tanımlanması, *52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirleri*, 376-378 Ankara.
- ŞENEL, M., KENGİL R., ÜNVERDİ, M., SERDAROĞLU M. ve GÖZLER M.Z. 1981. Teke Toroslarının güneydoğusunun jeolojisi, *MTA Dergisi*, 95/96, 13-43.
- TAEK, 1988. Türkiye Çernobil Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri Türkiye *Atom Enerjisi Kurumu Yayınları*.
- TAEK, 2009. TAEK ile Üniversiteler Arasında Çevresel Radyoaktivitenin Belirlenmesi ve İzlenmesine Yönelik iş birliği Projesi, *Birinci Çalışmayı TAEKSANAEM*, Ankara.
- TAEK, 2010. Türkiye'deki Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesi, Teknik Rapor.
- TASKIN, H., KARAVUS, M., AY, P., TOPUZUĞLU, A., HIDİROĞLU, S. ve KARAHAN, G. 2009. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey, *Journal of Environmental Radioactivity* Volume 100, Issue 1, January, Pages 49–53.

- TEMUR, S. 2001. Endüstriyel Hammaddeler. Çizgi Kitabevi, Konya.
- TZORTZİS, M., TSERTOS, H., CHRİSTOFİDES, S. and CHRİSTODOULİDES, G. 2003. Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological rocks. *Radiation Measurements*, 37(3), 221-229.
- TUFAN, M.T. ve BOSTANCI, S. 2012. Radioactivity in soil and dose assesment for Samsun city center, *Turkey. Radiat. Prot. Dosim.* 15(3), 532-53.
- TURHAN, Ş., ARIKAN, H. İ., OGUZ, F., ÖZDEMİR, T., YUCEL, B., VARINLIOĞLU ve A., KOSE, A. 2010. Car-borne survey of natural background gamma dose rate in Çanakkale region, Turkey, *Oxford Journals Science & Mathematics Radiation Protection Dosimetry* Volume 148, Issue 1, pp. 45-50.
- UNSCEAR, 1982. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, New York, pp. 84-89.
- UNSCEAR, 1988. United Nations Sources Effects and Risks of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, with annexes, New York.
- UNSCEAR, 1993. Sources and effects of Ionizing Radiation Report to the General Assembly, with annexes, United Nations, New York, pp. 73-98.
- U.S.NRC, 2000. Units of Radiation Dose.
- UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, effects and risks of ionizing radiation. Report to the General Assembly with Annex B: Exposures from Natural Sources of Radiation, United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations Publication, New York, USA.
- VAUPOTIC, J., BARISIC, D., KOBAL, I. and LULIC, S. 2007. Radioactivity and Radon potential of the terra rossa soil, *Radiation Measurements* Volume 42, Issue 2, February, Pages 290-297.
- VERPLANCKE, J., FETTWEİS, F.P., VENKATARAMAN, R., YOUNG, M.B. and SCHWENN, H. 2012. Semiconductor Detectors, *Handbook of Radioactivity Analysis (Third Edition)*, Elsevier Science, Pages 299-362.
- WATANABE, T.A. 1999. computational analysis of intrinsic detection efficiencies of Geiger-Mueller tubes for photons, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Volume 438, Issues 2-3, 11 December, Pages 439-446.
- WHO, 2001. Depleted Uranium, Sources, Exposure and Health Effects.
- WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2003. Thorium, August.

- XINWEI, L. 2005. Natural radioactivity in some buildingmaterials of Xi'an, China, *Radiation Measurements* 40, p. 94 – 97.
- YALCIN, P., TASKIN, H., KAM, E., TERZI, M., VARINLIOĞLU, A., BOZKURT, A., BASTUĞ, A. ve TASDELEN, B. 2012. Investigation of radioactivity level in soil and drinking water samples collected from the city of Erzincan, Turkey, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry June*, Volume 292, Issue 3, pp 999–1006.
- YALCIN, R., AGAR O., OZMEN S.F., BOZTOSUN, I. ve YALCIN, M.G. 2014. “Assesement of Gamma Dose Rates Around Antalya, Turkey”, *Turkish Physical Society 31 th International Physics Congress*, 21-24 July, Bodrum, Turkey.
- YALÇIN, H., BOZKAYA, Ö. ve YILMAZ, C. 2015. Tekirova (Antalya) Ofiyolit Napı Kayaçlarının Alterasyon Mineralojisi ve Jeokimyası, *Geological Bulletin of Turkey*, 58(1).
- YEBOAH, J., BOADU, M. and DARKO, E.O. 2001. Natural radioactivity in soils and rocks within the greater accra region of Ghana, *Journal Of Radioanalytical And Nuclear Chemistry*, 249, 629-632.
- YILMAZ, P.O. 1981. Geology of the Antalya Complex, SW Turkey, Dissertation, Ph D, Univ. Microfilms Int. Michigan, 268.
- <https://sivilsavunma.afad.gov.tr/kategori-1212-radyasyon-olcum-birimleri>. 12.10.2015.
- www.kimyaevi.org/TR/Genel/BelgeGoster 05.11.2015.
- <http://www.chemicalelements.com>. 02.03.2016.
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Potasyum> 14.05.2016.
- <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> 12.07.2016.
- <http://nukleer.akdeniz.edu.tr/dinamik/135/38> 15.11.2016.
- <https://kurious.ku.edu.tr/tr/makaleler/superagir-elementler> 13.02.2017.
- <http://education.jlab.org/glossary/betadecay.html> 14.03.2017.

7. EKLER

Ek 1: Kimyasal Analiz Değerleri

Method	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	TC00C
Analyte	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	P2O5	Cr2O3	Ba	LOI	SO3	Sr	SUM	TOT/C		
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
MDL	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	
Sample	Type																		
Pulp Duplicates																			
S48	Soil Pulp	55,17	15,48	9,46	6,18	4,02	4,86	0,18	0,14	0,99	0,12 <0.01	<0.01	2,75	0,036	0,011	99,40	0,02		
S48	REP	55,07	15,48	9,46	6,17	4,03	4,85	0,18	0,14	0,99	0,12 <0.01	<0.01	2,75	0,037	0,011	99,28			
S19	Soil Pulp	52,51	15,47	7,94	8,73	7,72	2,56	0,59	0,11	0,39	0,02	0,03 <0.01	3,81	0,009	0,035	99,95	0,02		
S19	REP																		
S48	Soil Pulp	55,17	15,48	9,46	6,18	4,02	4,86	0,18	0,14	0,99	0,12 <0.01	<0.01	2,75	0,036	0,011	99,40	0,02		
S48	REP																		
S19	Soil Pulp	52,51	15,47	7,94	8,73	7,72	2,56	0,59	0,11	0,39	0,02	0,03 <0.01	3,81	0,009	0,035	99,95	0,02		
S19	RFP	52,20	15,47	7,86	8,66	7,65	2,56	0,60	0,11	0,39	0,02	0,03 <0.01	3,81	0,010	0,038	99,47			
S48	Soil Pulp	55,17	15,48	9,46	6,18	4,02	4,86	0,18	0,14	0,99	0,12 <0.01	<0.01	2,75	0,036	0,011	99,40	0,02		
S48	REP																		
S36	Soil Pulp	37,33	0,92	7,44	0,06	38,67 <0.01	<0.01	0,09 <0.01	<0.01	0,39 <0.01			14,71	0,281 <0.002		99,89	0,10		
S36	REP																		
S48	Soil Pulp	55,17	15,48	9,46	6,18	4,02	4,86	0,18	0,14	0,99	0,12 <0.01	<0.01	2,75	0,036	0,011	99,40	0,02		
S48	REP																		
S14	Soil Pulp	41,65	1,16	8,55	0,12	35,27	0,02	0,01	0,16	0,03 <0.01		0,35 <0.01	12,31	0,011 <0.002		99,63	0,04		
LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100
Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	1	0,5	0,1	0,2	0,1	8	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	0,3	0,05	0,02
<0.1	18,2	2,1	1,8	1,4 <1		137,7 <0.1		0,4	0,1	260	7,3	73,5	29,4	3,5	10,0	1,60	8,9	2,99	1,09
	0,1	11,7	0,7	0,6	4,6 <1	400,6 <0.1	<0.2	<0.1		207	48,4	18,0	10,9	1,1	2,5	0,36	1,7	0,78	0,30
<0.1	18,2	2,1	1,8	1,4 <1		137,7 <0.1		0,4	0,1	260	7,3	73,5	29,4	3,5	10,0	1,60	8,9	2,99	1,09
	0,1	11,7	0,7	0,6	4,6 <1	400,6 <0.1	<0.2	<0.1		207	48,4	18,0	10,9	1,1	2,5	0,36	1,7	0,78	0,30
<0.1	18,2	2,1	1,8	1,4 <1		137,7 <0.1		0,4	0,1	260	7,3	73,5	29,4	3,5	10,0	1,60	8,9	2,99	1,09
<0.1	19,3	2,3	1,6	1,2 <1		131,8 <0.1		0,4 <0.1		248	7,2	74,5	28,1	3,7	10,5	1,65	8,7	2,90	1,12
<0.1	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1 <1		0,9 <0.1		<0.2 <0.1		39	1,3	0,4	0,1	0,3 <0.1	<0.02	<0.3	<0.05	<0.02	
<0.1	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1 <1		<0.5 <0.1		<0.2 <0.1		39 <0.5		0,1	0,2 <0.1	<0.1	<0.02	<0.3	<0.05	<0.02	
<0.1	18,2	2,1	1,8	1,4 <1		137,7 <0.1		0,4	0,1	260	7,3	73,5	29,4	3,5	10,0	1,60	8,9	2,99	1,09
<0.1	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1 <1		3,1 <0.1		<0.2		0,4	68	0,9	0,6	0,5	0,2	0,3	0,03 <0.3	<0.05	<0.02
LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200
Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg
PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPB	PPM
0,05	0,01	0,05	0,02	0,03	0,01	0,05	0,01	0,1	0,1	0,1	1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,01
3,98	0,72	5,18	1,08	3,19	0,49	3,08	0,45	0,2	194,6	5,6	17	16,1 <0.5	<0.1		0,2 <0.1	<0.1		2,9 <0.01	
1,29	0,26	1,84	0,40	1,27	0,20	1,43	0,21	0,1	58,0	33,6	39	31,5 <0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		0,6 <0.01	
3,98	0,72	5,18	1,08	3,19	0,49	3,08	0,45	0,2	194,6	5,6	17	16,1 <0.5	<0.1		0,2 <0.1	<0.1		2,9 <0.01	
1,29	0,26	1,84	0,40	1,27	0,20	1,43	0,21	0,1	58,0	33,6	39	31,5 <0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		0,6 <0.01	
3,98	0,72	5,18	1,08	3,19	0,49	3,08	0,45	0,2	194,6	5,6	17	16,1 <0.5	<0.1		0,2 <0.1	<0.1		2,9 <0.01	
4,05	0,70	4,88	1,05	3,29	0,48	3,03	0,49												
<0.05	<0.01	<0.05	<0.02	<0.03	<0.01	0,05 <0.01	<0.1		21,1	0,8	23	2060,2 <0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		0,7 <0.01	
<0.05	<0.01	<0.05	<0.02	0,03 <0.01	<0.05	<0.01													
3,98	0,72	5,18	1,08	3,19	0,49	3,08	0,45	0,2	194,6	5,6	17	16,1 <0.5	<0.1		0,2 <0.1	<0.1		2,9 <0.01	
<0.05	0,01	0,06 <0.02		0,08	0,01	0,11	0,01 <0.1	0,1	189,4	5,7	16	15,9 <0.5	<0.1	<0.1	0,2 <0.1	<0.1		2,5 <0.01	
									11,3	2,8	37	2243,9	0,6 <0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.5	<0.01

Method	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	TC000
Analyte	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	P2O5	Cr2O3	Ba	LOI	SO3	Sr	SUM	TOT/C		
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MDL	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-5,11	0,002	0,002	0,01	0,02	
Type																			
Soil Pulp	57,27	15,77	8,98	6,37	2,63	3,78	1,96	0,17	1,26	0,40	0,01	0,03	1,02	0,016	0,022	99,69	0,43		
Soil Pulp	42,76	1,80	7,92	0,46	33,17	0,03	0,14	0,16	0,05	0,01	0,34	0,01	12,51	0,008	0,002	99,34	0,20		
Soil Pulp	40,26	0,88	8,26	0,11	36,57	0,01	0,01	0,14	0,01	0,01	0,44	0,01	12,88	0,080	0,002	99,63	0,05		
Soil Pulp	54,29	11,37	3,95	12,31	1,16	1,24	1,81	0,12	0,71	0,15	0,02	0,02	12,06	0,004	0,009	99,22	2,64		
Soil Pulp	61,18	10,67	3,85	8,40	1,58	1,31	2,21	0,15	0,77	0,13	0,02	0,02	8,45	0,236	0,014	99,00	1,92		
Soil Pulp	40,98	11,77	9,85	15,96	5,31	3,08	1,16	0,16	2,03	0,37	0,02	0,01	8,81	0,010	0,023	99,54	1,80		
Soil Pulp	45,43	13,27	10,73	9,87	6,57	2,27	3,17	0,18	2,76	0,42	0,01	0,03	4,32	0,262	0,054	99,35	0,63		
Soil Pulp	44,81	13,27	10,08	12,03	6,66	2,66	2,00	0,19	2,73	0,41	0,01	0,03	4,32	0,188	0,041	99,45	0,66		
Soil Pulp	43,91	12,27	10,02	13,30	6,42	1,69	2,66	0,17	2,23	0,35	0,02	0,02	6,31	0,003	0,033	99,42	1,13		
Soil Pulp	41,11	12,67	11,81	11,70	6,69	1,49	0,31	0,21	2,21	0,32	0,01	0,01	10,26	0,230	0,084	99,11	0,90		
Soil Pulp	46,42	21,77	4,11	3,03	2,63	10,50	0,35	0,04	1,27	0,05	0,01	0,01	8,71	0,006	0,003	98,90	0,20		
Soil Pulp	40,22	0,75	7,39	0,03	37,67	0,01	0,01	0,11	0,01	0,01	0,36	0,01	13,07	0,006	0,002	99,63	0,04		
Soil Pulp	41,33	0,55	7,31	0,09	37,17	0,01	0,01	0,13	0,01	0,01	0,36	0,01	12,76	0,013	0,002	99,73	0,06		
Soil Pulp	41,65	1,16	8,55	0,12	35,27	0,02	0,01	0,16	0,03	0,01	0,35	0,01	12,31	0,011	0,002	99,63	0,04		
Soil Pulp	47,74	9,51	10,11	10,01	15,87	1,30	0,11	0,18	0,22	0,01	0,15	0,01	4,72	0,002	0,009	99,93	0,31		
Soil Pulp	34,10	0,77	7,36	9,36	30,77	0,03	0,01	0,09	0,01	0,01	0,34	0,01	16,75	0,002	0,002	99,57	1,96		
Soil Pulp	46,11	16,97	12,06	12,63	6,49	1,89	0,15	0,17	1,58	0,15	0,01	0,01	1,33	0,031	0,014	99,59	0,03		
Soil Pulp	46,38	16,07	10,68	11,95	9,12	2,07	0,02	0,17	1,23	0,01	0,03	0,01	1,86	0,385	0,017	99,98	0,03		
Soil Pulp	52,51	15,47	7,94	8,73	7,72	2,56	0,59	0,11	0,39	0,02	0,03	0,01	3,81	0,009	0,035	99,95	0,06		
Soil Pulp	48,56	15,77	10,33	9,49	7,58	3,14	0,43	0,20	1,07	0,13	0,02	0,01	2,71	0,194	0,025	99,63	0,17		
Soil Pulp	38,18	1,31	10,01	2,44	34,17	0,02	0,01	0,12	0,02	0,01	0,47	0,01	12,62	0,005	0,003	99,36	0,52		
Soil Pulp	48,60	12,87	9,88	10,09	10,07	2,55	0,42	0,17	0,71	0,05	0,02	0,01	4,46	0,011	0,008	99,70	0,22		
Soil Pulp	53,31	10,07	4,13	13,20	1,74	1,28	1,78	0,09	0,62	0,13	0,01	0,02	12,91	0,300	0,032	99,64	3,40		
Soil Pulp	2,63	0,44	5,33	49,94	0,94	0,02	0,01	1,26	0,01	0,01	0,32	0,01	38,96	0,134	0,002	99,96	10,98		
Soil Pulp	33,47	3,39	2,15	31,70	0,91	0,48	0,63	0,20	0,24	0,06	0,01	0,01	25,90	0,400	0,043	99,62	7,30		
Soil Pulp	49,77	8,66	7,54	16,01	14,37	0,39	0,07	0,15	0,18	0,01	0,13	0,01	2,47	0,003	0,002	99,76	0,07		
Soil Pulp	50,70	9,29	8,58	11,95	14,27	1,25	0,11	0,12	0,24	0,01	0,07	0,01	2,57	0,002	0,008	99,15	-0,02		
Soil Pulp	38,69	0,96	6,34	0,27	38,37	0,02	0,01	0,13	0,03	0,01	0,46	0,01	14,42	0,034	0,002	99,71	0,11		
Soil Pulp	37,33	0,92	7,44	0,06	38,67	0,01	0,01	0,09	0,01	0,01	0,39	0,01	14,71	0,281	0,002	99,89	0,10		
Soil Pulp	37,90	0,75	7,64	0,06	38,87	0,01	0,01	0,13	0,02	0,01	0,39	0,01	14,34	0,107	0,002	100,19	0,19		
Soil Pulp	39,85	0,36	7,27	0,46	38,57	0,01	0,01	0,20	0,01	0,01	0,21	0,01	13,11	0,144	0,002	100,18	0,21		
Soil Pulp	53,61	14,97	9,17	9,02	7,59	1,25	0,38	0,14	0,32	0,02	0,01	0,01	3,46	0,002	0,007	99,94	0,03		
Soil Pulp	52,04	15,47	8,65	6,84	6,66	3,64	0,33	0,15	0,53	0,03	0,01	0,01	5,28	0,002	0,019	99,65	0,09		
Soil Pulp	41,36	0,74	8,08	0,25	35,97	0,02	0,01	0,13	0,01	0,01	0,45	0,01	12,69	0,007	0,002	99,73	0,18		
Soil Pulp	51,29	12,17	5,38	10,31	13,47	2,47	0,19	0,14	0,13	0,01	0,13	0,01	4,37	0,002	0,013	100,05	0,03		
Soil Pulp	37,23	0,77	7,33	0,13	39,67	0,01	0,01	0,11	0,02	0,01	0,69	0,01	13,71	0,056	0,002	99,70	0,12		
Soil Pulp	55,17	15,48	9,46	6,18	4,02	4,86	0,18	0,14	0,99	0,12	0,01	0,01	2,75	0,036	0,011	99,40	0,02		

LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	LF100	AQ200	AQ200	AQ200	
W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu						
PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	
0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	0,3	0,05	0,02	0,05	0,01	0,05	0,02	0,03	0,01	0,05	0,01			0,1	0,1	0,1	
0,6	212,5	38,6	21,0	46,4	5,43	22,3	5,07	1,34	6,01	1,04	6,57	1,45	4,13	0,61	4,10	0,68			1,3	30,2	11,6	
0,5	7,7	2,2	1,8	4,5	0,49	1,8	0,46	0,09	0,31	0,06	0,23	0,08	0,21	0,03	0,25	0,03			0,1	14,4	1,5	
24,4	0,4	0,2	0,1	0,2	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01			0,1	95,4	469,7	
13,3	444,4	28,3	41,4	82,9	9,23	34,9	6,09	1,11	5,50	0,90	5,27	1,00	2,99	0,43	3,14	0,47			1,3	18,6	16,7	
14,8	422,1	26,5	40,4	86,0	9,15	33,7	6,73	1,28	5,66	0,85	5,11	0,93	2,68	0,43	2,76	0,42			0,6	17,9	16,3	
2,6	151,0	23,3	21,8	43,4	5,41	23,0	5,26	1,76	5,17	0,81	4,47	0,83	2,10	0,31	1,89	0,26			0,6	43,5	4,1	
2,2	225,5	28,5	35,1	73,2	8,71	35,7	7,17	2,36	7,00	0,99	5,62	1,08	2,89	0,36	2,44	0,36			0,7	59,5	5,4	
3,4	226,1	27,6	40,5	83,6	9,59	38,5	6,94	2,17	6,65	1,02	5,78	1,08	2,77	0,38	2,33	0,33			0,5	85,6	54,1	
0,8	161,5	23,3	25,4	55,6	6,43	25,8	5,53	1,84	5,76	0,83	4,43	0,86	2,29	0,29	2,03	0,31			0,4	121,1	1,9	
3,7	154,2	19,9	23,1	48,3	5,70	24,1	5,11	1,58	4,97	0,68	4,06	0,72	2,10	0,25	1,70	0,26			0,4	95,5	6,5	
7,3	97,7	9,8	6,7	20,2	2,12	10,3	2,08	0,81	2,19	0,40	2,74	0,50	1,41	0,18	1,27	0,15			0,2	64,6	5,3	
1,8	0,9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	0,06	<0,01	<0,1			<0,1	5,2	3,9
0,5	0,6	0,2	<0,1	<0,1	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01	<0,1			<0,1	18,4	1,1
0,9	0,6	0,5	0,2	0,3	0,03	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05		0,01	0,06	<0,02		0,08	0,01	0,11	0,01	<0,1		11,3	2,8
3,5	13,2	6,1	2,4	3,5	0,36	1,0	0,29	0,08	0,48	0,11	0,86	0,22	0,69	0,12	0,88	0,13	<0,1				6,6	5,5
1,1	0,7	0,1	0,1	<0,1	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01			0,1		13,6	1,8

ÖZGEÇMİŞ



Sezer ÜNAL 1990 yılında Ankara'da doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2009 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden 2014 yılında bölüm üçüncüsü olarak mezun oldu. 2014 yılından beri Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimi yapmaktadır.

