

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

**ISPARTA - EĞİRDİR GÖLÜ'NDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE TAYİNİ VE YAŞAM
BOYU KANSER RİSKİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Alper ÖZSEVEN

**Danışman
Prof. Dr. İskender AKKURT**

**DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**

© 2019 [Alper ÖZSEVEN]

TEZ ONAYI

Alper ÖZSEVEN tarafından hazırlanan "**Isparta - Eğirdir Gölü' nde Doğal Radyoaktivite Tayini Ve Yaşam Boyu Kanser Riski Açısından Değerlendirilmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. İskender AKKURT
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa YILDIZ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Nurten Ayten UYANIK
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Hüseyin Ozan TEKİN
Üsküdar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNOĞLU
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

TAAHHÜTNAME

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

Alper ÖZSEVEN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Radyasyon ve Radyoaktivite.....	1
1.1.1. Yapay radyasyon kaynakları.....	2
1.1.2. Doğal radyasyon kaynakları.....	3
1.1.3. Doğal Radyonüklitler.....	5
1.1.3.1. Uranyum – 238 (²³⁸ U).....	6
1.1.3.2. Toryum – 232 (²³² Th).....	7
1.1.3.3. Potasyum – 40 (⁴⁰ K).....	8
1.2. Radyoaktif Bozunma Türleri.....	8
1.2.1. Alfa (α) ışınması.....	8
1.2.2. Beta (β) ışınması.....	9
1.2.2.1. β - ışınması.....	10
1.2.2.2. β + ışınması.....	10
1.2.2.3. Elektron yakalama olayı.....	11
1.2.3. Gama (γ) ışınması.....	12
1.3. Radyasyon Doz Birimleri.....	12
1.3.1. Aktivite birimi.....	12
1.3.2. Işınlama birimi.....	13
1.3.3. Soğurulan doz birimi.....	13
1.3.4. Eşdeğer doz birimi.....	13
1.3.5. Yıllık etkin doz eşdeğeri.....	14
1.4. Karasal Radyonüklit Konsantrasyon Birimleri ve Dönüşüm Bağlantıları.....	14
1.5. Radyasyonun Biyolojik Etkileri.....	15
1.5.1. Deterministik etki.....	15
1.5.2. Stokastik etki.....	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1. Doğal Radyoaktivite Ölçüm Alanı ve Özellikleri.....	26
3.2. Gama Spektrometrik Ölçüm Sistemi.....	29
3.2.1. NaI(Tl) detektörü.....	31
3.2.2. Önyükselteç ve yükselteç.....	32
3.2.3. Çok kanallı analizör sistemi.....	32
3.2.4. Enerji kalibrasyonu.....	33
3.3. Toplam Alfa – Toplam Beta Sayım Sistemleri.....	34
3.4. Van Veen Sediment Örnekleme Ekipmanı.....	36
3.5. Numunelerin Toplanması ve Analize Hazırlanması.....	37
3.6. Tez Çalışması İçin Yapılan Analizler ve Kullanılan Yöntemler.....	40
3.6.1. Sediment analizlerinde kullanılan yöntemler.....	40
3.6.2. Su analizlerinde kullanılan yöntemler.....	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	50

4.1. Sediment Numunelerinden Elde Edilen Araştırma Bulguları.....	50
4.1.1. Spesifik aktivite sonuçları.....	50
4.1.2. Soğurulan doz hızı sonuçları.....	54
4.1.3. Ev dışı ve ev içi yıllık etkin doz eşdeğerleri sonuçları	57
4.1.4. Ev dışı ve ev içi yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçları.....	61
4.1.5. Dış ortam tehlike indeksi ve iç ortam tehlike indeksi sonuçları	65
4.2. Su Numunelerinden Elde Edilen Araştırma Bulguları	68
4.2.1. Toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ölçüm sonuçları.....	68
4.2.2. Yıllık etkin doz eşdeğeri ölçüm sonuçları.....	72
4.2.3. Yaşam boyu kanser oluşturma riski sonuçları.....	76
5. TARTIşMA VE SONUÇLAR	78
KAYNAKLAR	81
ÖZGEçMİş.....	86

ÖZET

Doktora Tezi

ISPARTA - EĞİRDİR GÖLÜ'NDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE TAYİNİ VE YAŞAM BOYU KANSER RİSKİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Alper ÖZSEVEN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İskender AKKURT

Uzun yarı - ömürleri sebebiyle, dünyanın oluşumundan günümüze kadar ulaşmış olan, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyoaktif elementlerin analiz edilmesiyle; taş, toprak, sediment gibi maddelerden kaynaklanan doğal radyasyon seviyesi ölçülebilmektedir. Bu tez çalışmasında Göller Bölgesinin en büyük ikinci gölü olan Eğirdir Gölü' ndeki doğal radyoaktivite seviyesi, gama spektrometresi yöntemi ile belirlenmiştir. Buna ek olarak, Eğirdir Gölü'nden alınan su örneklerinin toplam alfa - toplam beta aktiviteleri ölçümleri gerçekleştirilerek, su kaynaklı doğal radyoaktivite seviyesi de belirlenmiştir. Bu analiz işlemleri, aynı numune alım noktaları için, Eğirdir Gölü' nün su bakımından en zengin olduğu dönem olan Haziran ayı ile su bakımından en fakir olduğu dönem olan Kasım ayında tekrarlanarak, mevsimsel değişimin etkileri araştırılmıştır.

Çalışmada elde edilen veriler ışığında, uygun dönüşüm faktörleri kullanılarak, bu doğal radyoaktivite seviyesinin; toplum bireyleri arasında yaşam boyu kanser oluşturma riski hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışma ile Isparta-Eğirdir Gölü çevresinde yaşayan kişilerin, ne kadar doğal radyoaktiviteye maruz kaldıkları belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, Isparta - Eğirdir Gölü' nden alınan sediment örneklerindeki ortalama spesifik aktivite konsantrasyonları; ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitleri için sırasıyla, 31.61, 28.98 ve 353.68 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu spesifik aktivite sonuçları, adı geçen radyonüklitler için sırasıyla, 28, 33 ve 440 Bq/kg olan Türkiye ortalamaları ile karşılaştırılabilir seviyede; 35, 30 ve 400 Bq/kg olan dünya ortalamalarından düşüktür. Su örnekleri için ortalama toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri sırasıyla, 0.021 Bq/litre ve 0.083 Bq/litre ölçülmüş olup; Türkiye ortalamaları olan 0.063 Bq/litre ve 0.098 Bq/litre değerlerinden düşüktür. Bu çalışma, Eğirdir Gölü'nde ki doğal radyoaktivite seviyesinin araştırıldığı ilk tez çalışması olması bakımından önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Eğirdir Gölü, Doğal radyoaktivite, Yaşam boyu kanser riski.

2019, 86 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DETERMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY IN ISPARTA – EĞİRDİR LAKE AND ASSESSMENT IN TERMS OF EXCESS LIFETIME CANCER RISK

Alper ÖZSEVEN

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

Supervisor: Prof. Dr. İskender AKKURT

By analyzing radioactive elements such as ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K , which have reached the present day since the formation of the world due to their long half-life; the levels of natural radioactivity originating from materials such as stone, soil, sediment can be measured. In this study, the natural radioactivity level in Eğirdir Lake, which is the second largest lake in the Lake District, was determined by using gamma spectrometry method. Also, by performing the gross alpha – gross beta activity measurements of the water samples taken from Eğirdir Lake; the level of natural radioactivity originating from water was determined. Moreover, the effects of seasonal change were investigated by repeating the analyzes for the same sampling points in June period and November period. The underlying cause of this approach is, the amount of water in Eğirdir Lake is highest in June and lowest in November.

In the light of the data obtained in this study, by using appropriate conversion factors, the excess lifetime cancer risk, among community members, due to level of natural radioactivity was calculated. With this study, the amount of terrestrial radiation was determined for the people living in the vicinity of Isparta-Eğirdir Lake who were exposed to natural radioactivity. According to the findings, in sediment samples taken from Isparta - Eğirdir Lake, average specific activity concentrations for the radionuclides of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K were measured as 31.61 Bq/kg, 28.98 Bq/kg and 353.68 Bq/kg, respectively. These results were comparable with Turkey averages, which were 28, 33 and 440 Bq/kg, respectively; and lower than the world averages of 35, 30 and 400 Bq/kg, respectively. The average gross alpha and gross beta activities for the water samples were 0.021 Bq/liter and 0.083 Bq/liter; which were lower than the Turkey averages of 0.063 Bq/liter and 0.098 Bq/liter, respectively. This study is also important in terms of being the first thesis study that investigates the natural radioactivity level in Eğirdir Lake.

Keywords: Eğirdir lake, Natural radioactivity, excess lifetime cancer risk.

2019, 86 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, tez çalışmam boyunca bana destek olan ve yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini her fırsatta aktaran değerli Danışman Hocam Prof. Dr. İskender Akkurt'a, doğal radyoaktivite ölçümlerinin gerçekleştirilmesinde destek ve ilgisinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Kadir Günoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin deneysel ölçümleri için numunelerin ölçüme hazır hale getirilmesi aşamasında yardımlarını esirgemeyen Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı'nda görevli arkadaşım Öğr. Gör. İbrahim Çobanbaş'a teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları öncesi, Eğirdir Gölü ve çevresi hakkında ki teknik bilgilerini benimle paylaşarak, örnek alım noktalarının şekillenmesinde yardımcı olan ve her türlü yardımı esirgemeyen, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'nde görevli Kemal Bakıcı'ya teşekkür ederim.

4800-D2-16 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan değerli eşim Semanur Özseven'e, biricik oğlum Aden Bertuğ Özseven'e, babam Ali Özseven'e, annem Nebahat Özseven'e, abim Bahri Özseven'e, kardeşim Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Özseven'e ve aramıza yeni katılan yeğenim Nebahat Ebrar Özseven'e sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Alper ÖZSEVEN
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları.....	2
Şekil 1.2. Elementlerin kararlılık eğrisi.....	6
Şekil 1.3. ²³⁸ U radyonüklitinin bozunma serisi.....	7
Şekil 1.4. ²³² Th radyonüklitinin bozunma serisi	7
Şekil 1.5. Alfa ışınması şematik gösterimi	9
Şekil 1.6. β ⁻ ışınması şematik gösterimi.....	10
Şekil 1.7. β ⁺ ışınması şematik gösterimi.....	11
Şekil 1.8. Elektron yakalama olayı şematik gösterimi	11
Şekil 1.9. Gama ışınması şematik gösterimi.....	12
Şekil 1.10. Deterministik etki	16
Şekil 1.11. Stokastik etki.....	17
Şekil 3.1. Isparta ilinin Türkiye haritasındaki yeri.....	27
Şekil 3.2. Çalışma alanı olan Eğirdir Gölü.....	27
Şekil 3.3. Eğirdir Gölü su hacminin aylara göre değişimi.....	29
Şekil 3.4. NaI(Tl) detektörlü gama spektrometrik analiz sisteminin şeması	30
Şekil 3.5. NaI(Tl) detektörü.....	31
Şekil 3.6. DSPEC LF ve yüksek gerilim modülü.....	33
Şekil 3.7. NaI(Tl) detektörü kalibrasyon grafiği.....	34
Şekil 3.8. Gaz akışlı orantılı sayaç düzeni.....	35
Şekil 3.9. Van Veen sediment toplama ekipmanı	36
Şekil 3.10. Eğirdir Gölü numune alım noktaları ve DSİ su pompaları.....	37
Şekil 3.11. Eğirdir Gölü'nden numunelerin alınmasında kullanılan tekne.....	39
Şekil 3.12. Sediment ve su numunelerin polietilen kaplara alınması	40
Şekil 3.13. Numunelerin oda sıcaklığında bekletilmesi	41
Şekil 3.14. Ağız kısmı kapatılmış ve ölçüme hazır hale getirilen numuneler	42
Şekil 3.15. İçme sularında radyoaktivite belirlenmesinde izlenen yol.....	46
Şekil 3.16. Berthold LB 770-PC 10-Kanal düşük seviye sayım sistemi	47
Şekil 4.1. Spesifik aktivite ölçümlerinde elde edilen gama spektrumu örneği	50
Şekil 4.2. ²³⁸ U için Haziran ve Kasım dönemleri spesifik aktivite ölçüm sonuçları.....	53
Şekil 4.3. ²³² Th için Haziran ve Kasım dönemleri spesifik aktivite ölçüm sonuçları.....	53
Şekil 4.4. ⁴⁰ K için Haziran ve Kasım dönemleri spesifik aktivite ölçüm sonuçları.....	54
Şekil 4.5. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı soğurulan doz hızı ölçüm sonuçları	55
Şekil 4.6. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı soğurulan doz hızı mevsimsel ortalama sonuçları.....	56
Şekil 4.7. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi soğurulan doz hızı ölçüm sonuçları	57
Şekil 4.8. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi soğurulan doz hızı mevsimsel ortalama sonuçları.....	57
Şekil 4.9. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçları.....	59
Şekil 4.10. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı yıllık etkin doz eşdeğeri mevsimsel ortalama sonuçları.....	59

Şekil 4.11. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçları	60
Şekil 4.12. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi yıllık etkin doz eşdeğeri mevsimsel ortalama sonuçları	61
Şekil 4.13. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev dışı yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçları.....	63
Şekil 4.14. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev dışı yaşam boyu kanser oluşma riski mevsimsel ortalama sonuçları	63
Şekil 4.15. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev içi yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçları	64
Şekil 4.16. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev içi yaşam boyu kanser oluşma riski mevsimsel ortalama sonuçları.	65
Şekil 4.17. Haziran ve Kasım dönemleri dış ortam tehlike indeksi sonuçları.....	66
Şekil 4.18. Haziran ve Kasım dönemleri dış ortam tehlike indeksi mevsimsel ortalama sonuçları	67
Şekil 4.19. Haziran ve Kasım dönemleri iç ortam tehlike indeksi sonuçları.....	68
Şekil 4.20. Haziran ve Kasım dönemleri iç ortam tehlike indeksi mevsimsel ortalama sonuçları	68
Şekil 4.21. Toplam alfa aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri karşılaştırmalı ölçüm sonuçları	70
Şekil 4.22. Toplam alfa aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri mevsimsel ortalama ölçüm sonuçları	71
Şekil 4.23. Toplam beta aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri karşılaştırmalı ölçüm sonuçları	72
Şekil 4.24. Toplam beta aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri mevsimsel ortalama ölçüm sonuçları	72
Şekil 4.25. Su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaşta kişiler için ^{226}Ra alfa ve ^{228}Ra beta aktiviteleri kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğerleri	74
Şekil 4.26. Su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaşta kişiler için toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	75
Şekil 4.27. Su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaşta kişiler için hesap edilen yaşam boyu kanser oluşma riski.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Yapay radyasyon kaynakları tarafından alınan yıllık ortalama doz değerleri ve değişim aralıkları.....	3
Çizelge 1.2. Doğal radyasyon kaynakları tarafından alınan yıllık ortalama doz değerleri ve değişim aralıkları.....	3
Çizelge 1.3. Sedimentteki radyonüklit konsantrasyonundan spesifik aktiviteye dönüşüm faktörleri	14
Çizelge 2.1. Topraktaki bazı karasal radyonüklit konsantrasyonlarından hesaplanan dış maruziyet oranları.....	19
Çizelge 3.1. Numune alım noktaları, yerleşim yerleri ve DSİ su pompaları	38
Çizelge 3.2. Yaş gruplarına göre yıllık tüketilen su miktarını litre cinsinden gösteren IR_w değerleri.....	49
Çizelge 3.3. Belirli bir radyonüklit için, değişik yaş gruplarına göre etkin doz dönüşüm katsayıları.....	49
Çizelge 4.1. Haziran – Kasım dönemleri spesifik aktivite sonuçları.....	51
Çizelge 4.2. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı soğurulan doz hızı sonuçları...	55
Çizelge 4.3. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi soğurulan doz hızı sonuçları.....	56
Çizelge 4.4. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçları.....	58
Çizelge 4.5. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçları.....	60
Çizelge 4.6. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev dışı yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçları	62
Çizelge 4.7. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev içi yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçları.....	64
Çizelge 4.8. Haziran ve Kasım dönemleri dış ortam tehlike indeksi sonuçları....	66
Çizelge 4.9. Haziran ve Kasım dönemleri iç ortam tehlike indeksi sonuçları.....	67
Çizelge 4.10. Toplam alfa aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri sonuçları.....	70
Çizelge 4.11. Toplam beta aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri sonuçları	71
Çizelge 4.12. Su içilmesine bağlı olarak farklı yaş grupları için ^{226}Ra alfa aktivitesi kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğeri	73
Çizelge 4.13. Su içilmesine bağlı olarak farklı yaş grupları için ^{228}Ra beta aktivitesi kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğeri.....	74
Çizelge 4.14. Su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaştakiler için ^{226}Ra alfa ve ^{228}Ra beta aktiviteleri kaynaklı toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri	75
Çizelge 4.15. Su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaştakiler için hesap edilen yaşam boyu kanser oluşma riski.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

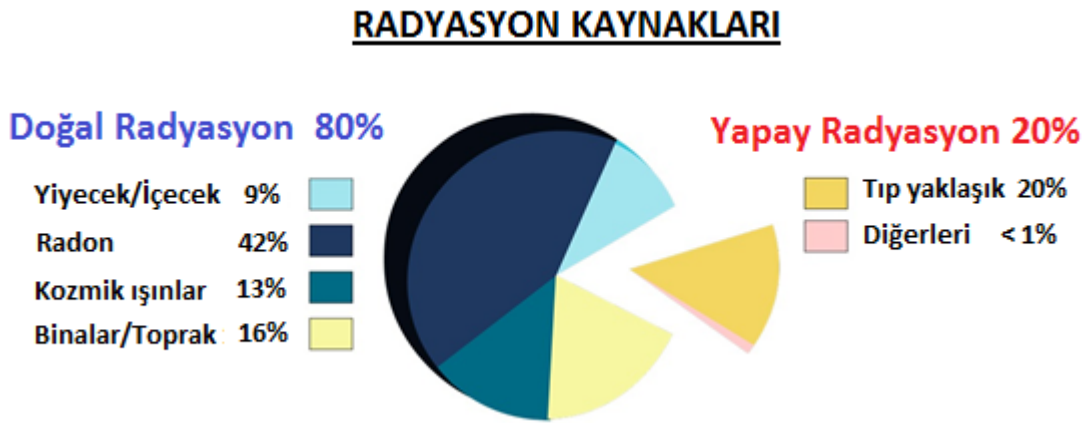
ADC	Analog dijital dönüştürücü
Bq, Ci	Becquerel, Curie
Bi	Bizmut
cm	santimetre
C/kg	Coulomb / kilogram
Co	Kobalt
Cs	Sezyum
ÇKA	Çok kanallı analizör
D _{in}	Ev içi soğurulan doz hızı
D _{out}	Ev dışı soğurulan doz hızı
EPA	Environmental Protection Agency
Gy	Gray
He	Helyum
H _{ex}	Dış ortam tehlike indeksi
H _{in}	İç ortam tehlike indeksi
HPGe	Yüksek saflıkta Germanyum
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
ICRP	International Commission on Radiological Protection
Joule	Enerji birimi
K	Potasyum
keV	Kilo elektron volt
km	kilometre
m ³	metreküp
mSv	miliSievert
mGy	miliGray
NaI(Tl)	Talyum aktive edilmiş Sodyum İyodür
NCRP	National Council on Radiation Protection & Measurements
nGy	nanoGray
Pb	Kurşun
Q	Kalite faktörü
R	Röntgen
Ra	Radyum
Rn	Radon
SI	Uluslararası Birim Sistemi
Sv	Sievert
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
Th	Toryum
Tl	Talyum
U	Uranyum
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
UV	Ultraviyole
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
YBKR	Yaşam Boyu Kanser Riski
YEDE	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri
°C	Santigrat derece
µSv	mikroSievert

1. GİRİŞ

1.1. Radyasyon ve Radyoaktivite

Kararsız çekirdeklerin kararlı hale geçmek için yaydıkları enerjiye radyasyon, bu olaya ise radyoaktivite denir. Radyasyon tanecik formunda veya elektromanyetik dalgalar şeklinde yayımlanan bir enerjidir. Radyasyon, evrenin oluşumundan itibaren yeryüzünde olmasına rağmen, insanoğlunun onu keşfetmesi uzun bir zaman almıştır. İlk olarak 1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen'in X - ışınlarını keşfi sonrasında hemen arkasından 1896 yılında Henry Becquerel'in radyoaktiviteyi keşfetti. 1902 yılında Pierre ve Marie Curie tarafından Radiumun keşfini takiben, birçok bilim insanının çalışmaları sonucunda, 1900'lerin ilk yıllarında uranyum, toryum, polonyum gibi bazı elementlerin ışınım yaptıkları belirlenmiştir (Mavi, 2010). Radyasyon olarak adlandırılan, bu enerji formuna hayatın her evresinde maruz kalmamız doğal bir süreçtir. Radyasyona, yeryüzündeki uzun yarı ömürlü radyonüklitler başta olmak üzere, güneş ışınları ve kozmik radyasyonlar gibi doğal ışınlar vasıtasıyla ya da günlük yaşamda kullandığımız teknolojik cihazlar ve yeryüzünde meydana gelmiş nükleer kazalar nedeniyle geniş bir çerçevede rastlamak mümkündür. Günlük yaşamımızda bu saydığımız doğal ve yapay yollarda; radyasyon, insanoğlunun yaşamının bir parçası haline gelmiştir. İnsanoğlunun radyasyon ile bu denli etkileşim içerisinde olması, bu etkileşim sonucunda kişinin ne kadar radyasyon dozuna maruz kaldığının bilinmesini önemli ve zorunlu hale getirmiştir. Kişinin medikal cihazlar gibi yapay radyasyon kaynakları tarafından kısa zaman süresince maruz kaldıkları yüksek doz radyasyonun yanı sıra, yaşadıkları bölge nedeniyle, uzun bir zaman boyunca maruz kaldıkları düşük doz radyasyonun miktarının bilinmesi de ayrıca önem arz etmektedir. Canlıların, yaşadıkları yer nedeniyle maruz kaldıkları karasal radyasyonun önemli bir kısmı, doğal radyonüklitlerden yayılan gama radyasyonudur. Canlıların kozmik ve doğal radyonüklitler tarafından yayılan gama radyasyonuna maruz kaldıkları dış ışınlamalara ek olarak, bu bölgelerde yaşayan canlıların solunan hava ve yetişen ürünlerin yenilmesi ve içilmesi sonucunda iç ışınlamalara da maruz kalmaları olasıdır. Yaşanılan bölgeden

bölgeye değişmekle birlikte, doğal radyasyon nedeniyle alınan yıllık etkin doz 2.4 mSv' dir. Buna ek olarak, yapay radyasyon kaynaklarından alınan yıllık doz 0.4 mSv' i bulmaktadır (UNSCEAR, 2008). Dünya üzerinde radyasyon kaynakları tarafından alınan dozların büyük bir oranı doğal radyasyon kaynaklı olup, azımsanmayacak miktarda küçük bir yüzdesi de yapay radyasyon kaynaklıdır (Şekil 1.1). Doğal radyasyon nedeniyle, yıllık 2.4 mSv değerinin üzerinde, doza maruz kalınan bölgeler de bulunmaktadır (TAEK, 2016)



Şekil 1.1. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları

1.1.1. Yapay radyasyon kaynakları

Yapay radyasyon kaynakları genel olarak, insanlar tarafından üretilmiş; tanı amaçlı medikal cihazlar, atmosferde gerçekleştirilen nükleer testler, endüstriyel uygulamalar için üretilen cihazlar (radyografik testler ve sterilizasyon), enerji elde edebilmek amacıyla kullanılan nükleer yakıtlar ve daha önce yaşanmış küresel nükleer kazalardır. Yapay radyasyon kaynakları tarafından alınan yıllık ortalama doz değerleri Çizelge 1.1'de görölmektedir. Bu çizelgeden görüleceği üzere, yapay kaynaklı radyasyonun büyük bir çoğunluğu tıbbi tanı ışınlamalarından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 1.1. Yapay radyasyon kaynakları tarafından alınan yıllık ortalama doz değerleri ve değişim aralıkları (UNSCEAR, 2008)

Yapay Radyasyon Kaynağı	Dünya Geneli Yıllık Ortalama Doz (mSv)	Değişim Aralığı (mSv)
Medikal Tanı Işınlamaları	0.6	0 – Daha yüksek dozlar
Atmosferik Nükleer Testler	0.005	0 – Daha yüksek dozlar
Mesleki Maruziyet	0.005	0 – 20
Chernobyl Kazası	0.002	0 – 10
Nükleer Yakıt Çevrimi	0.0002	0 – 0.02
Toplam	0.6	1 – 13

1.1.2. Doğal radyasyon kaynakları

İnsanlar doğal radyonüklitlerden kaynaklanan karasal ve kozmik radyasyon nedeniyle dış ışınlamalara maruz kalırlar. Buna ek olarak, özellikle radon kaynaklı solunum ve yeryüzündeki bitki, hava ve su gibi temel kaynakların tüketimine de bağlı olarak ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin sindirimi yoluyla vücuda alınmasıyla iç ışınlamaya maruz kalmaktadırlar (Mavi, 2010). Toplumdaki bireylerin ve o bölgede yaşayan canlıların bu doğal radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kaldıkları yıllık ortalama doz değerleri Çizelge 1.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.2. Doğal radyasyon kaynakları tarafından alınan yıllık ortalama doz değerleri ve değişim aralıkları (UNSCEAR, 2008)

Doğal Radyasyon Kaynağı	Dünya Geneli Yıllık Ortalama Doz (mSv)	Değişim Aralığı (mSv)
Radon Solunumu	1.26	0.2 – 10
Karasal Dış Işınlama	0.46	0.3 – 1
Sindirim	0.29	0.2 – 1
Kozmik Radyasyon	0.39	0.3 – 1
Toplam	2.40	1 – 13

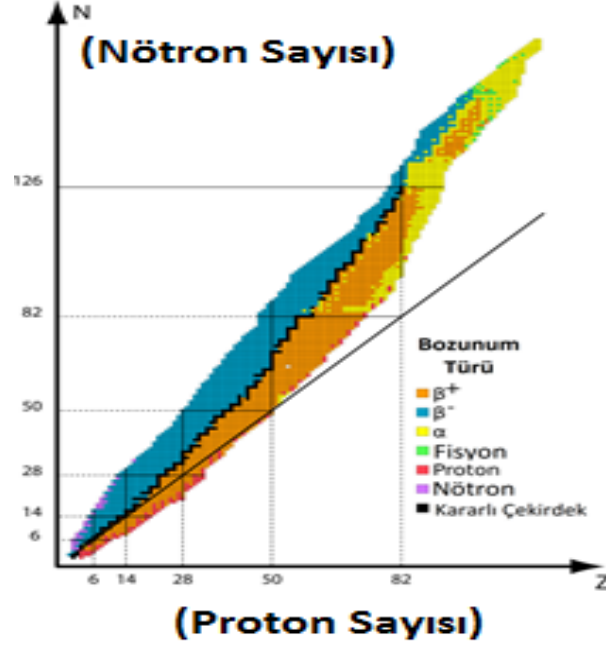
Çizelge 1.2'den görüleceği gibi doğal radyasyon kaynaklı radyasyonun büyük kısmı yıllık 1.26 mSv ile radon solunumundan gelmektedir. Kozmik radyasyon, birçok farklı kaynak türünden birçok farklı radyasyon türünün bir birikimidir. İnsanlar kozmik radyasyonu, genellikle kozmik mikrodalga doğal fon (background) radyasyonundan alırlar. Bu, spektrumun mikrodalga bölgesinde zirve yaptığı ve evrenin henüz çok genç olduğu zamandan kalma kalıntıları olan çok düşük enerjili fotonlardan oluşur. Bunların üzerine, evrendeki tüm ışıklı nesnelere tarafından sürekli olarak yaratılan daha yüksek enerji parçacıkları vardır. Yüksek enerjili kozmik ışınlar tarafından gerçekleştirilen bombardıman sonrasında, radyasyon kalkanı olarak hareket eden atmosferimiz sayesinde, dünyayı zararsız olarak etkileyen çok daha düşük enerjili parçacıklar üretilirler. Güneşimiz tarafından üretilen kozmik radyasyon bizi olumsuz etkilediği bilinen kozmik radyasyona iyi bir örnektir ve her yıl milyonlarca insanda cilt kanserine neden olan UV radyasyonu barındırmaktadır. Kozmik radyasyon nedeniyle maruz kalınan radyasyon dozu yıllık 0.39 mSv' dir (UNSCEAR, 2008).

Karasal ortamlardan kaynaklanan radyasyon, insan nüfusunun maruz kaldığı radyasyon kaynakları arasında başı çekmektedir. Dünyanın oluşumundan itibaren yeryüzünde bulunan radyonüklitler iç ve dış ışınlama şeklinde insan vücudunu iki şekilde ışınlamaya maruz bırakırlar. Dış kaynaklı ışınlamanın temel nedeni doğal olarak bulunan ^{40}K radyonüklitinden veya ^{232}Th ve ^{238}U serilerinden kaynaklanan gama ışınlamalarıdır. Topraktaki, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K karasal radyonüklitleri spesifik aktivitelerinin dünya ortalaması sırasıyla; 35, 30 ve 400 Bq/kg' dir (UNSCEAR, 2000). Diğer taraftan bu ortalama değerleri Türkiye için yaklaşık olarak sırasıyla; 28, 32 ve 440 Bq/kg şeklindedir (TAEK, 2013). Özellikle granit ve fosfat kayalarda, tortularda yüksek radyoaktivite bulunabilmektedir. Buna ek olarak, yapı malzemeleri de taş, toprak ve kayalardan üretilmiş olmaları nedeniyle az miktarda da olsa radyoaktivite içermektedirler. Bu nedenle, insanlar yeryüzü kaynaklı dış ışınlamaya ek olarak, oturdukları bina veya yapı nedeniyle de radyasyona maruz kalabilmektedir. Gama yayınlayan ^{238}U ve ^{232}Th serileri ile ^{40}K , dış kaynaklı radyasyonunun bilinen en önemli üç radyonüklitleridir. Özellikle, ^{238}U , ^{206}Pb ile sonlanan bozunma serisinin başlangıç kaynağıdır. ^{222}Rn da bu bozunma serisinde ara

radyonüklitlerden bir tanesi olarak, gaz halde bulunarak dış kaynaklı radyasyonun nedenlerinden bir tanesidir. Atmosfere yayılan ^{222}Rn , ışımaya devam ederek bozunmaya devam eder. Bu seriye benzer şekilde ^{232}Th de, başka bir bozunma serisinin kaynağı olup yeryüzünde farklı bölgelerde, farklı konsantrasyona sahip olarak yeryüzü kaynaklı doğal radyasyonun diğer bir nedenidir. ^{238}U ve ^{232}Th ye göre daha yüksek konsantrasyonda bulunan ^{40}K ise yeryüzünün yaklaşık olarak % 2.5 ini oluşturur (TAEK, 2016).

1.1.3. Doğal radyonüklitler

Radyoaktivite, çekirdek içindeki proton ve nötron sayılarıyla; dolayısıyla bu atom altı parçacıkların birbirlerine olan oranları ile oluşan fiziksel bir olaydır. Nötron - proton sayıları arasındaki bu denge ilişkisi, o radyonüklitin içindeki çekirdeğin kararlılığını belirler. Bir çekirdeğin kararlı olup olmadığının göstergelerinden biride, nötron proton oranıdır. Atom numarası 20 den küçük ve eşit olan elementler hafif elementlerdir ve çekirdeklerindeki nötron/proton 1:1 oranındadır. Bir başka deyişle, aynı miktarda proton ve nötrona sahiptirler. Ağır elementlerde protondan çok nötron bulunmaktadır ve kararlılık kuşağı sonuna doğru nötron/proton oranı 1.5'a kadar yükselmektedir (Şekil 1.2). Çok fazla nötronu olan çekirdekler, bu fazla nötronlarını protona dönüştürerek, çok fazla protonu olan çekirdekler ise fazla protonlarını nötrona dönüştürerek kendilerini daha kararlı bir yapıya geçirmeye çalışırlar. Bu dönüşümler sonucunda çekirdek fazla enerjisini yüksek enerjili fotonlar şeklinde kaybeder. Bu değişime uğrayan ve radyasyon yayınlayan çekirdeğe radyoaktif çekirdek (radyonüklit) denir.



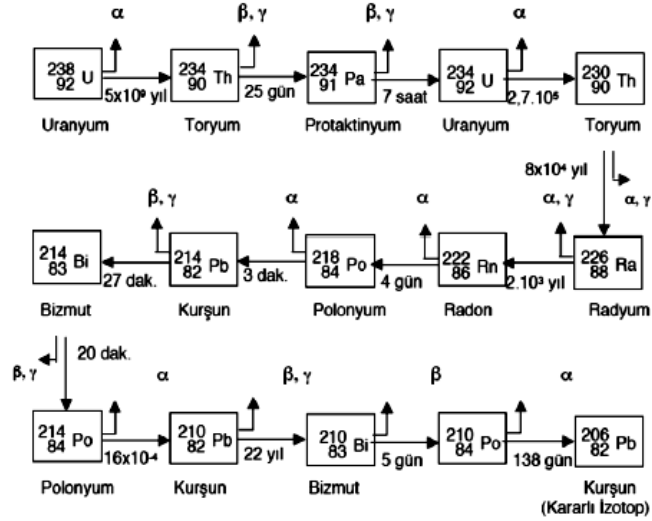
Şekil 1.2. Elementlerin kararlılık eğrisi

Radyonüklitler içerisinde, dünyanın başlangıcından itibaren oluşan ve hala yeryüzünde var olanları “primordial radyonüklitler” olarak adlandırılmakta ve doğal radyonüklitlerin en önemli basamağını oluşturmaktadır. Bu doğal radyonüklitlerin yarı ömürleri çok uzundur. Primordial doğal radyonüklitler bozunma serilerine sahip ^{238}U , ^{235}U ve ^{232}Th gibi radyonüklitlerin yanı sıra, doğal radyasyonun önemli bir miktarını oluşturan ^{40}K gibi radyonüklitleri içerir (Değerlier, 2007). Bu sayılan doğal radyonüklitlerden ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K , spektrometrik yöntemler kullanılarak, bir numunenin doğal radyoaktivitesinin ölçümlerinde kullanılabilir. Bu doğal radyonüklitler karasal kaynaklı dış ışınlamanın ana kaynaklarıdır. Buna ek olarak, canlıların buldukları yerlerdeki su kaynaklarını tüketmesi yoluyla karasal kaynaklı iç ışınlama da, canlıların doğal radyoaktiviteye maruziyetine neden olmaktadır. Bu nedenle; sulardaki toplam (gross) alfa ve toplam (gross) beta radyoaktivitesinin ölçülmesi önem arz etmektedir.

1.1.3.1. Uranyum - 238 (^{238}U)

^{238}U , ağır elementlerin oluşturduğu doğal radyoaktif izotopların bir seri halinde bozunuma uğradığı uranyum serisinin, baş izotopudur. ^{238}U ; ^{235}U ve ^{234}U gibi

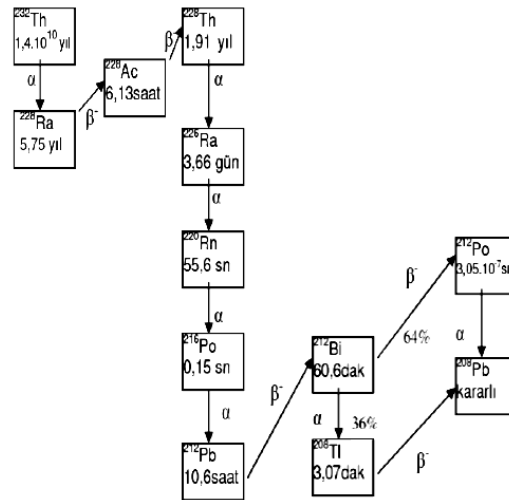
uranyum elementinin bir doğal izotopudur. Bu doğal izotoplar içerisinde ^{238}U , toplam uranyum ağırlığının % 99.2745' ini oluşturmaktadır. Yarı ömrü 4.5 milyar yıldır. ^{238}U ' e ait bozunma serisi Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. ^{238}U radyonüklitinin bozunma serisi (IAEA,1996)

1.1.3.2. Toryum - 232 (^{232}Th)

^{232}Th da aynı ^{238}U gibi doğal radyoaktif izotopların bir seri halinde bozunuma uğradığı, toryum serisinin baş izotopudur. Yeryüzünün kabuğunda toryumun, uranyuma göre üç kat fazla olduğu tahmin edilmektedir. Yarı ömrü 14 milyar yıldır. ^{232}Th ' a ait bozunma serisi Şekil 1.4'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. ^{232}Th radyonüklitinin bozunma serisi (IAEA,1996)

1.1.3.3. Potasyum - 40 (⁴⁰K)

⁴⁰K, potasyum elementinin doğal olarak oluşan radyoaktif bir izotopudur. Potasyum, yer kabuğunun ağırlıkça yaklaşık % 2.5'ini oluşturmaktadır. Toprak içerisinde bol bulunduğu için dış kaynaklı gama radyasyonunun büyük bir yüzdesini ⁴⁰K oluşturur. Yarı ömrü 1.28 milyar yıldır.

1.2 Radyoaktif Bozunma Türleri

Kararsız bir atom çekirdeğinin, fazla enerjisini alfa, beta (β^- , β^+ veya elektron yakalama) veya gama ışını yayınlarak, kaybetmesi olayına radyoaktif bozunma denir (TAEK, 2018). Radyoaktif bozunma kanunu, çok sayıda nüklitin istatistiksel davranışını tanımlayan evrensel bir yasadır. $t=0$ anında bir maddenin atom sayısı N_0 olarak düşünülürse radyoaktif bozunum denklemi, Denklem 1.1' deki şekliyle ifade edilebilir.

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

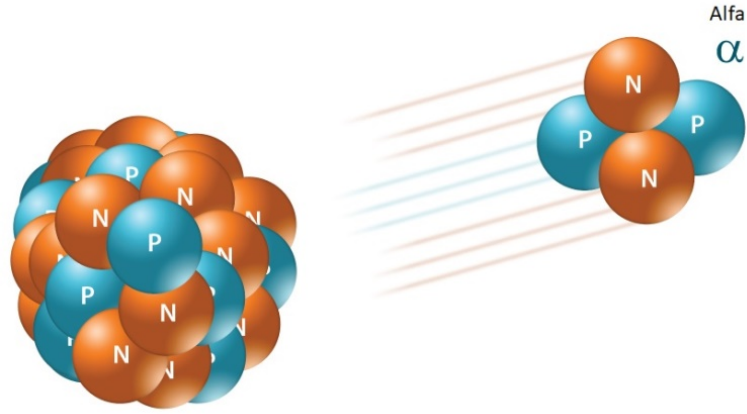
Denklem 1.1'de; $N(t)$, t anında mevcut radyoaktif atomların sayısını göstermektedir. λ ise bozunma sabitini göstermektedir.

1.2.1. Alfa (α) ışıması

Alfa bozunumu ya da ışıması, bir atom çekirdeğinin bir helyum çekirdeği yaydığı bir tür radyoaktif bozunumdur (Denklem 1.2). Rutherford tarafından keşfedilmiştir. Bir alfa parçacığı, birbirine bağlanan iki proton ve iki nötrondan oluşur (Şekil 1.5). Alfa parçacığı, helyum atomunun çekirdeği olarak da adlandırılabilir. Bu nedenle He^{2+} şeklinde de yazılabilir. Alfa parçacıkları giriciliği en zayıf olan ışımadır ve elektrik yükleri çok olmasından dolayı madde içinde yoğun bir iyonlaşma oluşturarak hızlı bir şekilde enerjilerini kaybederler. Bu yoğun iyonlaşma ve enerjilerini hemen kaybetmeleri nedeniyle, bir kâğıt parçasıyla dahi durdurulabilirler. Alfa parçacıklarının canlılar üzerinde en tehlikeli oldukları durum iç ışınlamayla olur. Sindirim ve solunum yolu ile vücuda girmesi, tehlikeli sonuçlar doğurabilir.



Bir çekirdeğin alfa ışması yapması sonucunda, 2 protonunu ve 2 nötronunu kaybeder.



Şekil 1.5. Alfa ışması şematik gösterimi

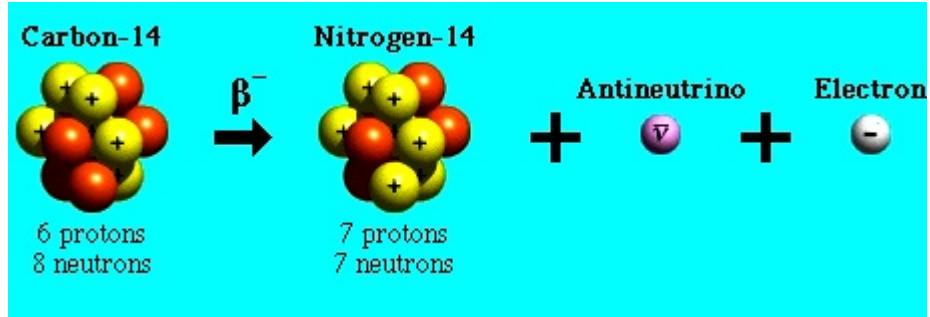
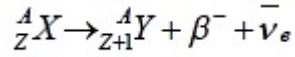
1.2.2. Beta (β) ışması

Alfa parçacıklarına nazaran daha hafif olan beta parçacıkları, yine de yüklü parçacıklar olmaları sebebiyle iyonlaşma nedeniyle enerjilerini kaybederek madde ile etkileşime girerler. Alfa parçacıklarına göre daha hafif olmaları, madde içinde kat ettikleri mesafeyi artırır. Beta parçacıklarının zırhlanması, alfa parçacıklarına göre biraz daha zordur. İnce alüminyum bir levha ile zırhlanabilirler. Havada kat ettikleri mesafe enerjilerine bağlı olarak 100 cm' ye kadar çıkabilir. Beta ışması için, çekirdek fazla protonu ya da nötronundan, bir protonunu nötrona veya bir nötronunu protona dönüştürerek kurtulabilir. Olası bu ışma reaksiyonları β^- , β^+ veya elektron yakalama olayı şeklinde gerçekleşebilir.

1.2.2.1. β^- ışınması

Nötron fazlalığı nedeniyle kararsız olan çekirdek, çekirdeğindeki fazla olan enerjiyi uzaklaştırmak için; nötronlardan birini, bir protona ve bir anti - nötrino' ya dönüştürür (Şekil 1.6). Bu olayın sonucunda bir elektron açığa çıkar ve bu elektron çekirdekten β^- ışınması olarak salınır (Denklem 1.3).

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \quad (1.3)$$

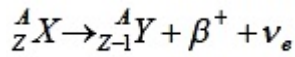


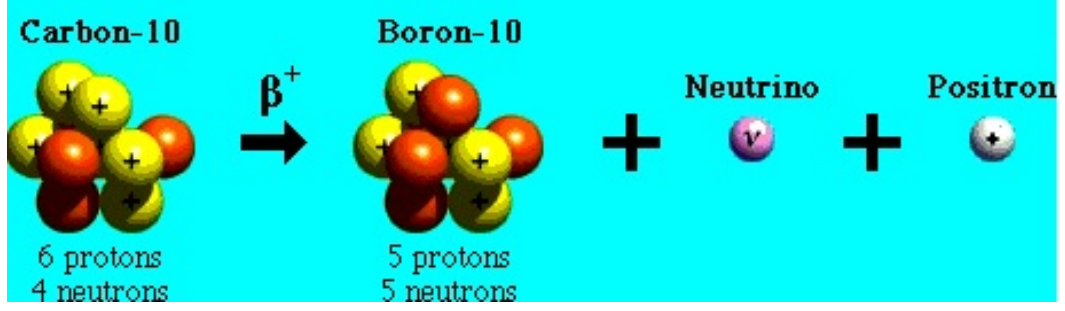
Şekil 1.6. β^- ışınması şematik gösterimi

1.2.2.2. β^+ ışınması

Proton fazlalığı nedeniyle kararsız olan çekirdek, çekirdeğindeki fazla olan enerjiyi uzaklaştırmak için; protonlardan birini, bir nötrona ve bir nötrino ' ya dönüştürür (Şekil 1.7). Bu olayın sonucunda pozitif yüklü bir elektron açığa çıkar ve bu elektron çekirdekten β^+ ışınması olarak salınır (Denklem 1.4).

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e \quad (1.4)$$

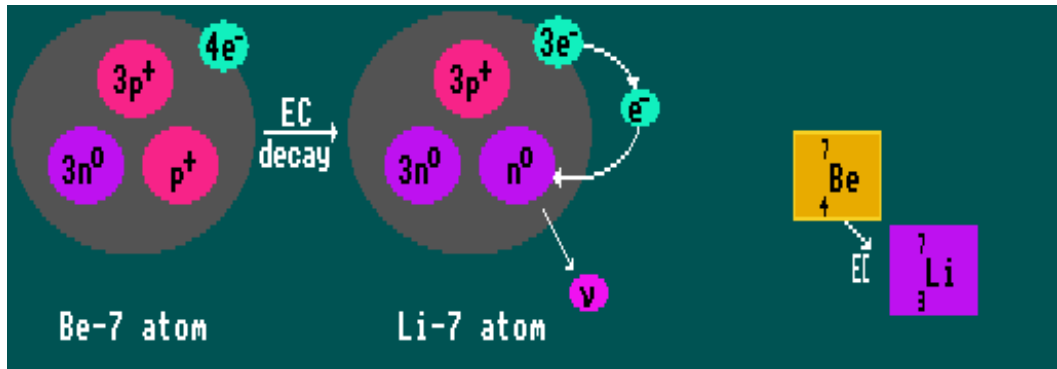
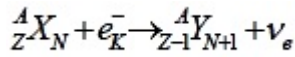




Şekil 1.7. β^+ ışıması şematik gösterimi

1.2.2.3. Elektron yakalama olayı

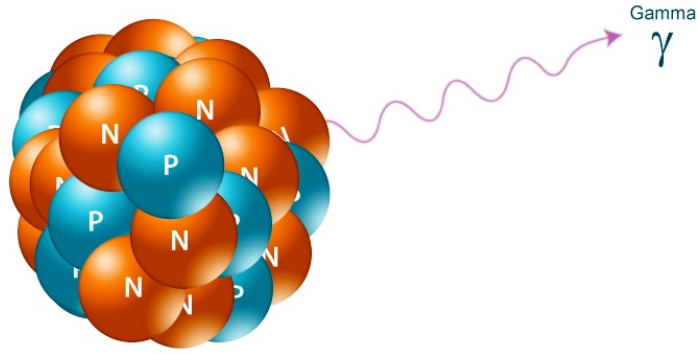
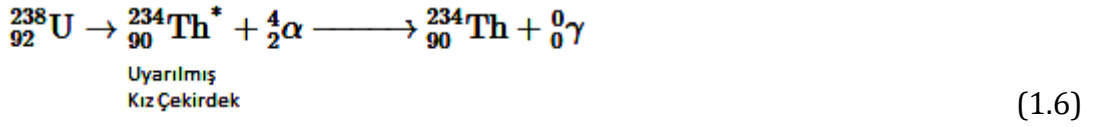
Proton fazlalığı nedeniyle kararsız durumda olan çekirdek, bazı durumlarda β^+ ışıması yapamayabilir. Bu durumlarda, genellikle enerji fazlalığının β^+ yaymaya yetmeyecek seviyede olduğu durumlarda; atomun çekirdeğe yakın yörüngelerinden (K veya L yörüngesi) bir elektron, çekirdek tarafından yakalanır (Şekil 1.8). Çekirdekteki proton ve elektron birleşerek, nötrona ve nötrino'ya dönüşür (Denklem 1.5). Bu olay sonucunda, üst yörüngeden, boşalan alt yörüngeye bir elektron geçişi olur.



Şekil 1.8. Elektron yakalama olayı şematik gösterimi

1.2.3. Gama (γ) ışıması

Çekirdeğin alfa ve beta ışıması sonrası halen uyarılmış bir şekilde, kararlı durumda olmayabilir. Bu gibi durumlarda, kararsız olan çekirdek, kararlı duruma geçebilmek için, elektromanyetik formda bir ışın yayılımı yaparlar (Şekil 1.9). Bu ışınlara gama ışını denir. Örnek olarak ^{238}U , ^{234}Th 'a dönüşümü sırasında yayınladığı alfa parçacığı sonrası, uyarılmış durumda bulunan $^{234}\text{Th}^*$ 'un gama ışınımı yaparak ^{234}Th 'a dönüşümü buna örnektir (Denklem 1.6). Bunlara ek olarak, anihilasyon fotonu oluşumu ile de gama ışını oluşabilir.



Şekil 1.9. Gama ışıması şematik gösterimi

1.3. Radyasyon Doz Birimleri

Günümüzde, tüm dünyada bilimsel ve teknik çalışmalar için kullanılan ölçü birimi sistemi SI dır. Diğer tüm teknik ve bilimsel çalışmalar için olduğu gibi, radyasyon terimleri için de, uygun birimler SI' da kullanılmaktadır.

1.3.1 Aktivite birimi

SI birim sisteminde radyoaktif bir maddenin aktivitesi için standart birim olarak Becquerel (Bq) kullanılır. Saniyedeki bozunum sayısıdır. $1 \text{ Bq} = 1$ saniyedeki

parçalanma sayısı olarak tanımlanır. Eski radyoaktivite birimi Curie ve Becquerel arasında şu şekilde bir dönüşüm katsayısı vardır. 1 Ci (Curie)= 3.7×10^{10} Bq. Benzer şekilde 1 gr. ^{226}Ra 3.7×10^{10} Bq'lık bir aktiviteye sahiptir.

Genel aktivite birimine ek olarak, radyoaktif bir maddenin kilogram (kg) başına düşen aktivitesinin belirtildiği *spesifik aktivite* adında ayrı bir birim daha vardır. Birim kütledeki becquerel (Bq/kg) olarak gösterilen spesifik aktivite, diğer bir ifadeyle birim kütlede birim zamanda bozulan atom sayısıdır.

1.3.2 Işınlama birimi

Işınlama SI sisteminde kullanılan birimi C/kg' dir. 1kg kuru havanın iyonlaşmasını sağlayan Coulomb (C) yükü miktarına verilen addır. SI birimi dışında, özel olarak kullanılan birimi Röntgen (R) olarak adlandırılır. İki birim arasındaki dönüşüm bağıntısı $1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ dır.

1.3.3 Soğurulan doz birimi

Işınlanan maddenin birim kütledeki soğurulan enerji miktarı olarak tanımlanır. SI sisteminde birimi Gray (Gy)' dir. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kg}$ dir.

1.3.4 Eşdeğer doz birimi

Radyasyonun dokudaki biyolojik etkilerini ifade etmek için kullanılan ve SI sisteminde birimi Sievert (Sv) olan doz birimidir. Radyasyon türüne bağlı olarak değişen kalite faktörü (Q) ile soğurulan dozun çarpımına eşittir (Denklem 1.7).

$$\text{Eşdeğer Doz (Sv)} = \text{Soğurulan Doz (Gy)} \times \text{Kalite Faktörü (Q)} \quad (1.7)$$

Gama ışınları, X-ışınları ve elektronlar için $Q=1$; nötron ve protonlar için $Q=10$; alfa parçacıkları için $Q=20$ ' dir.

1.3.5 Yıllık etkin doz eşdeğeri

Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE), insanların çevresinden kaynaklanan iç ve dış ışınlamalara maruziyetleri sonucunda bir yılda aldıkları radyasyon dozu olarak tanımlanır. SI sisteminde birimi Sievert (Sv)' dir. Karasal gama radyasyonu için dış kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğeri Denklem 1.8 kullanılarak şu şekilde hesap edilir.

$$YEDE = \text{Soğurulan Doz Hızı} \times \text{Dönüşüm Faktörleri} \quad (1.8)$$

1.4. Karasal Radyonüklit Konsantrasyon Birimleri ve Dönüşüm Bağlıları

Karasal dış ve iç ışınlamanın en önemli doğal radyoizotoplarından olan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ' nin, havada, suda, toprakta, sedimentlerde ve kayalarda ki konsantrasyonları; ^{238}U ve ^{232}Th için ppm (particle per million /milyonda parçacık sayısı) şeklinde ifade edilirken, ^{40}K için yüzde ile ifade edilir. Bu konsantrasyonların spesifik aktiviteye dönüşüm faktörleri Çizelge 1.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Sedimentteki radyonüklit konsantrasyonundan, spesifik aktiviteye dönüşüm faktörleri (IAEA, 2003)

Radyonüklit	Spesifik Aktivite Dönüşüm Faktörü (Bq/kg)	Konsantrasyon Miktarı
^{238}U	12.35	1 ppm ^{238}U
^{232}Th	4.06	1 ppm ^{232}Th
^{40}K	313	1% K

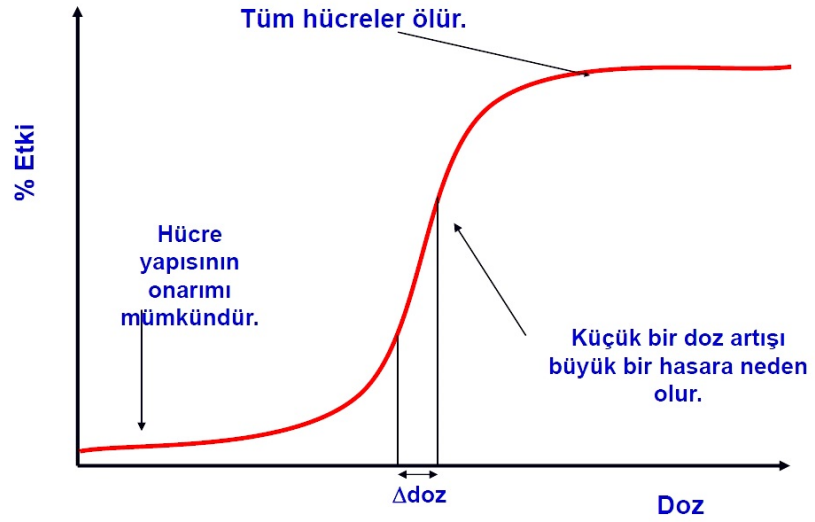
Sedimentlerdeki konsantrasyon aktivitesinden farklı olarak, sularadaki konsantrasyon aktiviteleri Bq/litre veya Bq/m³ şeklinde ifade edilir. Özellikle, göl ve yer altı suları ile ilgili doğal radyoaktivite çalışmalarında, toplam alfa - beta dozunun hesaplamalarında Bq/litre kullanılmaktadır.

1.5. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Radyasyonun biyolojik etkilerini belirleyen faktörlerin başında; radyasyonun türü ve enerjisi, maruz kalınan doz, maruz kalınan süre, maruz kalınma şekli (iç veya dış ışınlama) ve hangi sıklıkta maruz kalındığı sayılabilir. Bunlara ek olarak, biyolojik faktörler olarak adlandırabileceğimiz; maruz kalan dokunun radyasyona duyarlılık farkı, yaş, cinsiyet ve hormonal farklılıklarda; biyolojik etkiyi değiştiren etkenlerdir. Radyasyon biyolojik ortamla, direkt ya da indirekt yolla etkileşime girer. Direkt etki, hücrenin hayati organelleri ile doğrudan etkiyi içerir ve moleküler yapının bozunmasına neden olur; indirekt etki iyonize radyasyon sonucunda doku içerisinde oluşan bazı ara ürünler, başka bir dizi kimyasal reaksiyona girerek, diğer moleküllerin değişmesine neden olurlar. Sonuç olarak, radyasyon hücrede bol miktarda bulunan su veya genel organik moleküller çok fazla aktif radikallere ayrılır, bunlar, hücrenin yapısını bozar. Bu anlatılanlardan başka, radyasyonun biyolojik ortam ile etkileşimi sınıflandıran iki farklı etki vardır: Bunlar deterministik etki ve stokastik etkidir (ICRP, 2007).

1.5.1. Deterministik etki

Deterministik etkide, radyasyonun biyolojik etkileşim sonrasında, doku veya canlı üzerinde belirli bir etki oluşturabilmesi için belirli bir *eşik doz vardır*. Bu eşik doz değeri, olası etkinin görülmesi için gerekli minimum doz değeridir. Örnek vermek gerekirse, gözlerde katarakt oluşumu için tek bir ışınlamada 5 Sv, ya da uzun yıllar doza maruz kalınması durumunda yıllık 0.15 Sv doz alınmasıdır. Deterministik etkide, *etkinin şiddeti* doz ile artar (Şekil 1.10). Örnek olarak, belli bir eşik doz sonrası artan doz değerleri ile radyasyona bağlı cilt kızarmasının artmasıdır (NCRP, 2001).



Şekil 1.10. Deterministik etki

1.5.2. Stokastik etki

Stokastik etkide, deterministik etkiden farklı olarak, radyasyonun biyolojik etkileşimi sonrasında, doku veya canlı üzerinde herhangi bir etki oluşturması için belirli bir eşik doz değeri yoktur. Etkinin ortaya çıkması dozun az veya çok olmasından bağımsızdır, ancak stokastik etkide etkinin olasılığı doz ile artar (Şekil 1.11). Örnek olarak, düşük doz radyasyona uzun süre maruz kalınarak, ilerleyen yıllarda kanser oluşması ya da kalıtsal etkiler ortaya çıkması verilebilir (NCRP, 2001). Bu nedendir ki; her ne kadar doz seviyesi diğer radyasyon kaynaklarına göre düşük olsa da, çevresel doğal radyasyon seviyesinin takibi, özellikle stokastik etkilerin araştırılması ve önlenmesi olasılığı bakımından önemlidir.



Şekil 1.11. Stokastik etki

Şekil 1.11'den görüldüğü gibi, düşük doz radyasyonun çocuklar için yüksek risk oluşturma ihtimali vardır. Yaşlılar artan radyasyon dozu ile stoakstik etkinin görülme olasılığının en düşük olduğu yaş grubudur. Yetişkin erkek ve yetişkin kadın bireylerde ise, stokastik etkinin görülme olasılığı, bu iki yaş grubunun arasındadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Gerek iç gerekse dış kaynaklı doğal fon (background) karasal radyoaktivite, görevi gereği radyasyon ile çalışmayan toplum bireylerinin aldığı yıllık radyasyon dozunun büyük bir yüzdesini oluşturmaktadır. Karasal radyoaktivitenin en büyük kaynağı Uranyum, Toryum ve Aktinyum serileri ve bunların bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Yaşanılan çevrede, doğal radyoaktivite seviyesi tespit edilerek, bu radyoaktivitenin insan sağlığı üzerine olması muhtemel zararları hakkında istatistiksel tahminler yapmak mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, özellikle son yıllarda olmak üzere, geçmiş yıllardan günümüze kadar birçok bilim insanı; bu doğal radyoaktivite seviyesinin araştırılmasına büyük önem vermişlerdir.

Atom ve atom altı parçacıklardan kaynaklanan radyasyonun canlılar üzerine etkisini araştıran en yetkili kuruluşlardan bir tanesi UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), Türkçe ifade ile Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi' dir. 1955 yılında kurulan ve kurulduğu tarihten günümüze kadar geçen sürede doğal radyasyon ve etkileri üzerine raporlar yayınlayan UNSCEAR, birçok bilim insanı ve araştırmacıdan oluşmaktadır. UNSCEAR, doğal radyasyonun canlılar üzerine etkisini araştıran en kapsamlı raporlarından bir tanesini 2000 yılında "Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume 1 Sources, Annex B-Exposures from natural radiation sources." adında yayınlamıştır (UNSCEAR, 2000).

Canlıların karasal ışınlama nedeniyle maruz kaldıkları radyasyonun büyük çoğunluğu ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K kaynaklıdır. Yayımlanan bu raporda, topraklardaki, adı geçen doğal radyonüklit içeriği hakkında da bilgiler verilmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Topraktaki bazı karasal radyonüklit konsantrasyonlarından hesaplanan dış maruziyet oranları (UNSCEAR, 2000).

<i>Radyonüklit</i>	<i>Topraktaki Yoğunluk (Bq/kg)</i>		<i>Doz sabiti (nGy/s 'den Bq/kg' a)</i>	<i>Havada soğurulan doz hızı (nGy/s)</i>	
	<i>Medyan Değer</i>	<i>Nüfus Ağırlıklı Değer</i>		<i>Medyan Değer</i>	<i>Nüfus Ağırlıklı Değer</i>
⁴⁰ K	400	420	0.0417	17	18
²³⁸ U	35	33	0.462	16	15
²³² Th	30	45	0.604	18	27
Toplam				51	60

Sediment, kayaç, su ve topraktaki doğal radyoaktivitenin belirlenmesi çalışmalarında; ölçüm sonuçları içerisinde ilk bakılacak basamak, bu numunelerdeki radyonüklitlerin spesifik aktivitelerinin ölçülmesidir.

Ghiassi-Nejad vd. (2002), tarafından yapılan çalışmada doğal fon radyasyonun çok yüksek olduğu, İran'ın Ramsar bölgesinde yaşayan insanlarda bu radyasyon miktarının sağlık üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ramsar'ın bazı bölgelerinde yaşayan insanların, doğal radyasyon nedeniyle yıllık 260 mSv doza maruz kaldıkları tespit edilmiştir. Bu çalışmada, nesiller boyu bu denli yüksek doza maruz kalan insanlar ile normal seviyede doğal fon radyasyona maruz kalan insanlar, genetik çalışmalar ile kıyaslanmış ve belirgin bir fark olmadığı bildirilmiştir.

Tzortzis vd. (2003) tarafından Kıbrıs'ta doğal granitlerde yapılan çalışmada HPGe detektörlü gama spektrometresi kullanılarak spesifik aktivite ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu spesifik aktivite değerleri; ²³²Th için 1 – 906 Bq/kg aralığında, ²³⁸U için 1 – 588 Bq/kg aralığında ve ⁴⁰K için 50 – 1606 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Benzer şekilde soğurulan doz hızı ise; ²³²Th için 7 – 1209 nGy/h aralığında, ²³⁸U için 4 – 605 nGy/h aralığında, ⁴⁰K için 2 – 302 nGy/h aralığında bildirilmiştir.

Özmen vd. (2004) Hazar Gölü'nde (Elazığ) yaptıkları çalışmada, göl suyundaki toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyelerini araştırmışlardır. Yapılan

ölçümler sonucunda; ortalama toplam alfa aktivitesini 1.19 ± 0.04 Bq/litre, ortalama toplam beta aktivitesini ise 0.08 ± 0.01 Bq/litre olarak ölçmüşlerdir. Külahçı ve Doğru (2006) yaptıkları çalışmada, Keban Baraj Gölü'nde ki su örneklerinde ortalama toplam alfa ve ortalama toplam beta aktivitelerini sırasıyla, 0.0605 Bq/litre ve 0.055 Bq/litre olarak ölçmüşlerdir.

Veiga vd. (2006) yaptıkları çalışmada, Brezilya'nın Atlantik'e komşu olan dört farklı eyaletinin kıyılarındaki kum örneklerini doğal radyoaktivite açısından, NaI(Tl) ve HpGe detektörlerini kullanarak, gama spektrometresi yöntemiyle ölçmüşlerdir. Adı geçen bölgenin, doğal fon radyoaktivitesi bakımından yüksek olarak bilinmesi, bu çalışmayı daha da önemli kılmıştır. Elde edilen verilerle, bu bölgelerde ki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin spesifik aktivitelerini ve dış ortam tehlike indekslerini (external hazard indices) hesaplamışlardır. Dış ortam tehlike indeksi (H_{ex}) limit değer olan 1 den çok yüksek yüksek olduğu sahiller, Mambucaba, Jeribucaçu, Camburí ve Buena olarak bildirilmiştir. Buna ek olarak, en yüksek dış ortam tehlike indeksi, önerilen limit değerinin 350 katı ile Areia Preta sahilinde ölçülmüştür.

Değerliğer (2007) yapmış olduğu tez çalışmasında Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivite seviyesini araştırmıştır. Bu çalışma kapsamında, Seyhan Gölü'nden aldığı su numunelerinin ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite değerlerini sırasıyla, 0.012 ± 0.0061 Bq/litre ve 0.0426 ± 0.008 Bq/litre olarak ölçmüştür.

Turhan vd. (2007) Türkiye'deki pomzalar ile ilgili yaptıkları çalışmada, HPGe detektörlü gama spektrometresi kullanarak spesifik aktivite değerlerini; Göller Bölgesinde ^{40}K için 1325.8 Bq/kg, ^{232}Th için 232.4 Bq/kg ve ^{226}Ra için 196.9 Bq/kg; Çukurova Bölgesinde ise ^{40}K için 479.7 Bq/kg, ^{232}Th için 16.3 Bq/kg ve ^{226}Ra için 16.1 Bq/kg olarak raporlamışlardır.

Osmanlıoğlu vd. (2007), Gaziantep bölgesindeki toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ' in spesifik aktivite ölçümlerine ek olarak içme sularında toplam alfa ve toplam beta ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için ölçülen

ortalama değerler sırasıyla; 25.2, 23.7 and 289.2 Bq/kg' dir. İçme sularında ölçülen ortalama toplam alfa ve toplam beta değerleri sırasıyla; 0.0493 Bq/litre ve 0.1284 Bq/litre' dir. Hem toprak, hem de içme sularındaki doğal radyoaktivite ölçümleri uluslararası limitlerin altındadır.

Değerlier vd. (2008), Adana ili ve çevresindeki toprak numunelerini HPGe detektörü kullanarak gama spektrometresi yöntemiyle incelemiş ve ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K ' nin spesifik aktivite ortalamalarını sırasıyla; 17.6, 21.1 and 297.5 Bq/kg olarak uluslararası limitlerin altında ölçülmüştür.

Akyıl vd. (2009) İzmir de bulunan akalboğaz, Karagl ve Gölcük göllerindeki yüzey sularında doğal radyoaktivite seviyesini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada; ortalama toplam alfa aktivitesi akalboğaz, Karagl ve Gölcük glleri için sırasıyla, 0.03 ± 0.02 Bq/litre, 0.03 ± 0.01 Bq/litre ve 0.75 ± 0.14 Bq/litre olarak raporlamışlardır. Ayrıca adı geçen gller için ortalama toplam beta aktivitesini ise sırasıyla, 1.77 ± 0.09 Bq/litre, 2.6 ± 0.7 Bq/litre ve 2.35 ± 0.38 Bq/litre olarak raporlamışlardır.

Taşkın vd. (2009) Türkiye' nin Kırklareli ilinde, 177 lokasyondan toplam 230 toprak rneği ile yaptıkları çalışmayla, ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs , and ^{40}K doğal radyonüklitlerinin spesifik aktiviteleri gama spektrometresi yöntemiyle ölçülmüştür. Buna ek olarak, ev dışı gama doz hızlarını (karasal ve kozmik) Eberline marka taşınabilir ölçüm cihazıyla yerden 1 m yükseklikte toplam 2 dakika ölçüm olarak analiz etmişlerdir. ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs , and ^{40}K için ölçülen spesifik aktivite ortalama değerleri sırasıyla; 37 ± 18 Bq/kg, 28 ± 13 Bq/kg, 40 ± 18 Bq/kg, 8 ± 5 Bq/kg ve 667 ± 282 Bq/kg olarak belirtilmiştir. Ev dışı gama dozu kullanılarak hesaplanan yaşam boyu kanser oluşturma riski, dünya ortalamasının üzerinde bir değer olarak 0.5×10^{-3} olarak bildirilmiştir.

Mavi ve Akkurt (2010) yaptıkları çalışmada, Isparta ilinde, sekiz farklı bina yapı malzemesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin spesifik aktivitelerini, yıllık etkin doz eşdeğerini ve dış ortam tehlike indekslerini, NaI(Tl) detektörü kullanarak gama spektrometresi yöntemiyle araştırmışlardır. Tuğla haricindeki

tüm yapı malzemelerinin spesifik aktivite ortalama değerleri, dünya ortalamasından düşük bulunurken, sadece tuğlanın ²²⁶Ra spesifik aktivite ortalama değeri 58.9 Bq/kg değeri ile dünya ortalamasının üstünde olduğu görülmüştür. Yıllık eşdeğer doz eşdeğeri 0.13 ile 0.42 mSv aralığında gösterilmiş olup, dünya ortalaması olan 0.46 mSv' den düşük gerçekleşmiştir. Buna ek olarak, tüm yapı malzemelerinin dış ortam tehlike indekslerinin, uluslararası limitten düşük olduğu gösterilmiştir.

Zorer ve Şahan (2011) Van Gölü'nde yaptıkları çalışmada, göldeki su numunelerindeki ortalama toplam alfa aktivitesini 0.009 ± 0.004 Bq/litre olarak ölçmüşlerdir. Buna ek olarak, ortalama toplam beta aktivitesini ise 0.912 ± 0.413 Bq/litre olarak ölçmüşlerdir.

Otansev vd. (2012) yaptıkları çalışmada, HPGe detektörü kullanarak ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K radyonüklit kaynaklı, Kayseri ili ve çevresindeki doğal fon radyoaktivite analizleri gerçekleştirilmiştir. ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K için ölçülen ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla; 35.51, 37.27 and 429.66 Bq/kg bulunmuştur. Buna ek olarak, havada 1m yükseklikteki gama dozu ölçümleri için taşınabilir sintilatör detektörü kullanılarak, ölçümler yapılmıştır. Elde edilen verilerle, yıllık etkin doz eşdeğeri 73 µSv hesap edilmiş olup, bu değer dünya ortalama değeri olan 70 µSv' nin biraz üzerindedir.

Thabayneh vd. (2012) yılında yayınladıkları çalışmada, batı Filistin' in Tulkarem ilinde 72 farklı toprak örneğinde spesifik aktivite ölçüm sonuçlarını raporlamışlardır. ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs radyonüklitlerin spesifik aktivite ortalamaları sırasıyla; 34.5, 23.8, 120.8 ve 7.8 Bq/kg olarak bildirilmiştir. Bu değerlerden sadece ²³⁸U' in aktivitesi dünya ortalamasına yakinken, diğer üçü dünya ortalamalarının çok altında gerçekleşmiştir. Buna ölçümlere ek olarak, toprak örneklerinde radyolojik risk hesaplamaları da gerçekleştirilmiş olup, bu doğal radyoaktivitenin toplum sağlığı üzerine etkisi araştırılmıştır. Yaşam boyu kanser oluşturma riski ortalaması 0.95×10^{-3} olarak hesap edilmiştir.

Malain vd. (2012), 2004 yılında gerçekleşen tsunami sonrasında, Thai yarımadasındaki Andaman kıyılarındaki doğal radyoaktivite seviyesini HPGe detektörlü gama spektrometresi yöntemiyle incelemiştir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin spesifik aktivitelerini ölçmüş ve bu değerlere bağlı olarak yıllık etkin doz eşdeğerini hesap etmiştir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitleri için ölçülen ortalama değerler sırasıyla; 22.67 ± 0.1 , 26.47 ± 0.1 ve 523.07 ± 6.6 Bq/kg olarak bildirilmiştir. Yıllık etkin doz eşdeğeri ise ortalama olarak 59.17 ± 0.3 μSv olarak, dünya ortalaması değerinden düşük bildirilmiştir.

Tari vd. (2013), doğal fon radyasyonun yüksek olduğu bilinen Ramsar bölgesi kıyısında ve sahilindeki kum örneklerinde, sekiz farklı noktadan alınan numunelerden, HPGe detektörlü gama spektrometresi yöntemiyle ^{226}Ra , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin spesifik aktivitesini altı farklı derinlik boyunca ölçmüştür. Bu beş radyonüklit için ölçülen ortalama değerler sırasıyla; 19.2 ± 0.04 , 2.67 ± 0.17 , 17.9 ± 0.06 , 337.5 ± 0.61 and 3.35 ± 0.12 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bilinenin aksine, bu çalışmada ^{226}Ra , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K radyonüklitleri için elde edilen sonuçlar, dünya ortalamalarının altında bulunmuşken, ^{137}Cs radyonükliti için elde edilen değer, Chernobyl ve nükleer silah testleri ile ilişkilendirilmiştir.

Qureshi vd. (2014) Kuzey Pakistan' da Himalaya Dağlarının uzantılarının olduğu bölgede 6500 metre rakımda; Hunza, Gilgit ve Indus akarsularındaki sediment örneklerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma ile akarsulardaki sedimentlerde bulunan doğal radyonüklitlerden ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın spesifik aktivitelerini ve bu aktivitelerden uygun dönüşüm faktörlerini kullanarak, bu doğal fon radyoaktivitenin yaşam boyu kanser oluşturma riskini hesaplamışlardır. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın spesifik aktivite ortalamaları sırasıyla; 50.66 ± 1.29 , 70.15 ± 1.45 ve 531.70 ± 5.45 Bq/kg olarak dünya ortalamalarının üstünde raporlanmıştır. Bu doğal radyoaktivitenin yaşam boyu kanser oluşturma riski 3.21×10^{-3} olarak hesap edilmiş olup bu değer dünya ortalamasının üstündedir.

Akkurt ve Günoğlu (2014) yaptıkları çalışmada, Türkiye' nin farklı bölgelerinden toplam on dokuz sedimenter kayaç örneğini, ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K doğal radyonüklitlerinin spesifik aktivitesi açısından, NaI(Tl) detektörü kullanarak gama spektrometresi yöntemiyle incelemişlerdir. Buna ek olarak, bu örnekler için iç ve dış ortam tehlike indekslerini hesaplamışlardır. Ölçümlerin ortalama değerlerinin; ^{226}Ra için 12.01 ile 48.95 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 8.2 ile 53.27 Bq/kg aralığında, ^{40}K için 143.97 ile 452.34 Bq/kg aralığında olduğu raporlanmıştır. Bahsi geçen tüm radyonüklitler için en yüksek aktivite değerlerinin Afyon ilinden alınan örneklerde olduğu bildirilmiştir. Tüm örneklerin iç ve dış ortam tehlike indekslerinin uluslararası limit değeri olan 1' den küçük olduğu belirtilmiştir.

Erentürk vd. (2014) yaptıkları çalışmada Van Gölü su numunelerinde ki doğal radyoaktivite seviyesini araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre, Van Gölü'nün ortalama toplam alfa aktivitesini 0.74 ± 0.01 Bq/litre, ortalama toplam beta aktivitesini ise 0.020 ± 0.004 Bq/litre olarak raporlamışlardır.

Isinkaye ve Emelue (2015), yaptıkları çalışmada Nijerya' da bulunan Oguta gölünde sediment örneklerinde ki; ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinin spesifik aktivitelerini araştırmıştır. Çalışma yapılan araziden elde edilen sedimentlerin, bölge için binalarda yapı malzemesi olarak kullanılması ve bölge halkı için balıkçılık açısından kullanılıyor olması; bu bölgedeki doğal fon radyasyonun ölçülmesini daha kritik hale getirmiştir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinin spesifik aktivite ortalama değerlerinin, dünya ortalamasının üstünde olduklarını, sırasıyla; 47.89 ± 18.67 , 55.37 ± 32.74 ve 1023 ± 474 Bq/kg olarak bildirmişlerdir. Buna ek olarak, ev içi (indoor) radyasyon seviyesi nedeniyle, yaşam boyu kanser oluşturma riskini, 3.21×10^{-3} olarak hesap etmişlerdir. Elde edilen bu değer, dünya ortalamasından 2.2 kat fazla olduğu bildirilmiştir.

Shuaibu vd. (2017), Malezya' nın Penang adasında sahil kumları üzerinde yaptığı çalışmada, otuz dört farklı noktadan aldığı kum örnekleri içerisindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinin spesifik aktivitelerini gama

spektrometresi yöntemiyle incelemiştir. Miami Körfezi dışındaki tüm yerlerde, spesifik aktivite değerleri dünya ortalamalarından düşük iken, Miami Körfezinde özellikle ^{226}Ra , ve ^{232}Th için spesifik aktivite ortalama değerleri sırasıyla; 1023 ± 47 ve 2086 ± 96 Bq/kg ile dünya ortalamalarının çok üstünde ölçülmüştür. Miami Körfezi' nde bu denli yüksek aktivitenin oluşmasına, bölgenin monazit yönünden zengin siyah kumlara sahip olması bildirilmiştir.

Koray vd. (2017) Zonguldak ilindeki doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, yirmi iki noktadan alınan toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs doğal radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonlarını incelemiştir. Bu radyonüklitlerin spesifik aktivite ortalamaları sırasıyla 28.8 ± 4 Bq/kg, 29.6 ± 3 Bq/kg, 395 ± 31 Bq/kg ve 12.5 ± 2 Bq/kg olarak bildirilmiştir. Ayrıca, bu doğal fon radyoaktivite seviyesinin oluşturma ihtimali bulunan radyasyon risk değerleri hesap edilmiş olup; ev dışı radyoaktivitenin yaşam boyu kanser oluşturma riski ortalama değeri 0.2×10^{-3} olarak dünya ortalamasından düşük raporlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Karasal radyasyonun nüfus üzerine etkisi, sadece bu radyonüklitlerin doğal ışınması yolu ile dış kaynaklı değildir. Canlılar için yaşam kaynağı olan suyun tüketilmesi yolu ile de, iç ışınlama şeklinde doğal radyoaktiviteye maruziyet olabilmektedir. Suyun doğrudan tüketilmesinin yanı sıra; bu suların kırsal kesimlerde tarla ve bahçe sulamalarında kullanılması dolayısıyla, bitki, sebze ve meyve aracılığıyla iç ışınlamaya maruziyet oluşabilmektedir. Bu nedenle, canlıların yaşadığı bölgelerde ki su kaynaklarının doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi, bölge yaşayanları açısından önemlidir. Göller bölgesinde yer alan Isparta ili doğal radyoaktivite seviyesinin yüksek olduğu illerin başında gelmektedir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından yayınlanan radyoaktivite atlası raporunda, Isparta ilindeki bazı bölgelerde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K kaynaklı doğal radyoaktivite seviyesinin yüksek olduğu belirtilmektedir (TAEK, 2013). Buna ek olarak, Isparta ilinde kanser insidansının yüksek olması ve halk arasında yaygın bir inanış olarak, bu kanser insidanslarına gerekçe olarak Eğirdir Gölü' nün gösterilmesi nedeniyle; Eğirdir Gölü' nün doğal radyoaktivite seviyesinin ölçülmesi ve bu radyoaktivite seviyesinin yaşam boyu kanser oluşturma riskinin (YBKR) belirlenmesi amacıyla bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

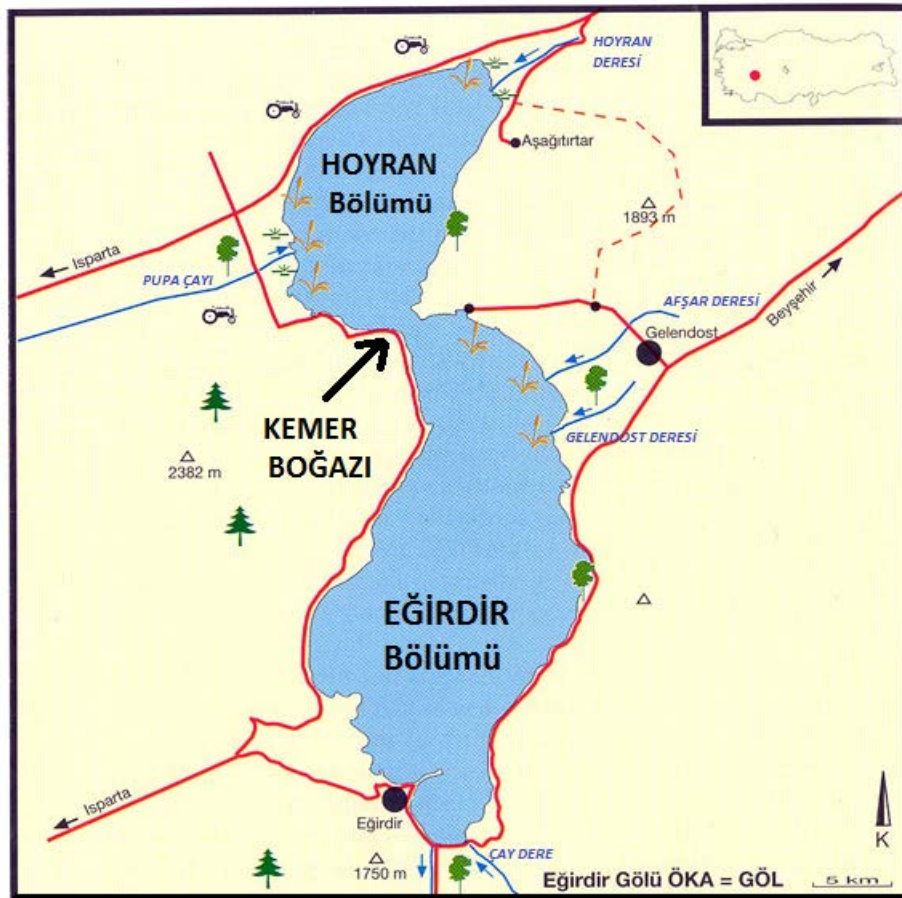
3.1. Doğal Radyoaktivite Ölçüm Alanı ve Özellikleri

Eğirdir Gölü, Isparta ili sınırları içinde (Şekil 3.1) yer almakta ve Göller Bölgesinin en büyük doğal zenginliklerinin başında gelmekte olup Türkiye'nin 4. büyük gölüdür (468 km² yüzölçümü). Kuzey-güney uzanımlı büyük bir çöküntü alanının kuzey sınırında oluşmuş tektonik bir göldür. Coğrafi koordinat sistemine göre 37° 50' 41" – 38° 16' 55" kuzey enlemleri ile 30° 57' 43" – 30° 44' 39" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Deniz seviyesinden yaklaşık 917 metre yükseklikte bulunan göl, ortalama 14 metre derinliğe sahiptir. Kuzey-güney uzunluğu 50 km iken, doğu-batı genişliği 3-15 km arasında değişmektedir. Kıyı uzunluğu yaklaşık 150 kilometredir.



Şekil 3.1. Isparta ilinin Türkiye haritasındaki yeri

Eğirdir Gölü'nde Kemer Boğazın Kuzeyinde yer alan bölümü Hoyran, Güneyinde yer alan bölümü Eğirdir bölümü olarak bilinmektedir (Şekil 3.2). Eğirdir Gölü'nün yüzey alanı insanların su kullanımına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Karstik yapıdaki gölün özellikle batı kesimlerinde yer alan düdenlerin bir kısmı kapatılmıştır.



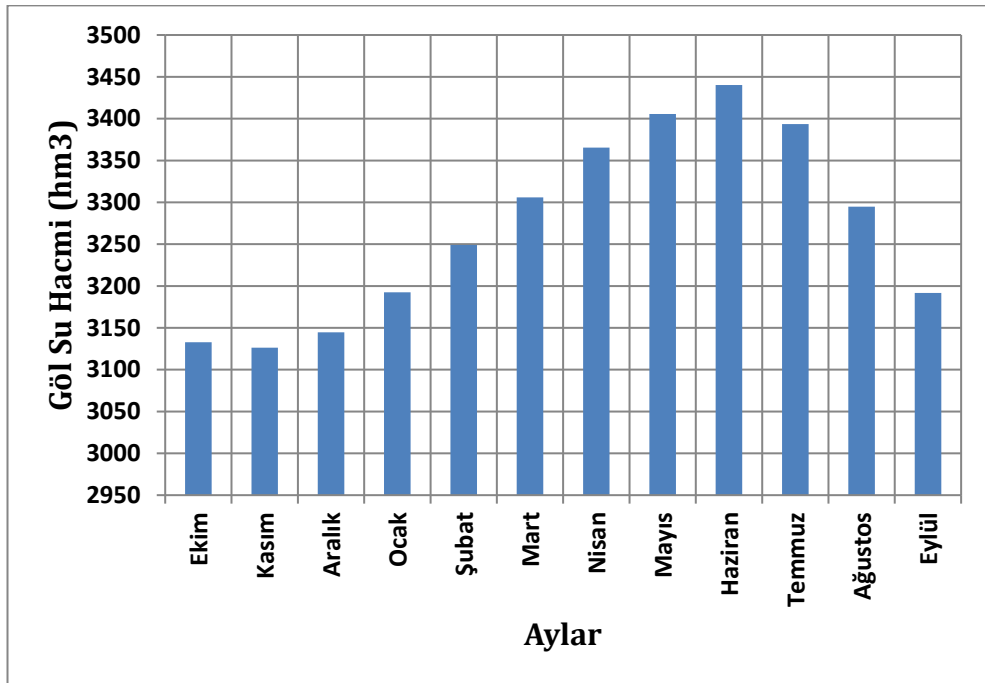
Şekil 3.2. Çalışma alanı olan Eğirdir Gölü

Farklı amaçlarla kullanılmak üzere (içme suyu, tarım vb.) gölde DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından çok sayıda pompa istasyonları kurulmuştur. Eğirdir Gölü'nün en önemli özelliklerinden bir tanesi de denizle olan bağlantısıdır. Kovada kanalı ile Kovada Gölü'ne gelen sular Kovada Vadisi'nden, Aksu Çayı'na oradan da karstik yollarla Akdeniz'e boşalmakta iken, son yirmi yıldır gölün suları Çandır Ovası'nda yaptırılan Karacaören I ve II Barajlarına gelmektedir. Eğirdir Gölü ile Kovada Gölü arasında doğal bağlantıyı oluşturan 22 km'lik Kovada Kanal'ın yer almaktadır. Kemer Boğazı; Doğu-Batı doğrultusunda daralma göstererek yaklaşık (göldeki su sevişine bağılı olarak farklılık arz etmekte) 1.8 km'lik mesafe ile gölün iki bölümlü görünüm almasına neden olmaktadır. Eğirdir göl çukurluğunun plüvyal dönemlerdeki karstik olaylar sonucu oluştuğı ve yine bu dönemde su ile dolduğı belirtilmiştir. Göl çukurluğunun tektonik kökenli, su birikiminin Neojen sonrasında geliştiğini, Holosen'de büyük bir polyenin çökmesi sonucu ortaya çıktığını, göl içindeki küçük adaların da bunun delili, olduğunu, söylemektedir. Tektonik kökenli çukurluğun karstik olaylarla mevcut şeklini kazandığını gölün plüvyal dönemde geliştiğini belirtmiştir. Gölü besleyen en önemli su girdileri; gölün tabanından kaynaklanan su kaynaklarıdır. Aynı zamanda çevre dağlardan inen ve yağış suları ile beslenen irili ufaklı çok sayıda dere ve çay vardır. Bunlardan en önemlileri; Yalvaç Deresinin iki önemli kolu olan Afşar Çayı ve Gelendost-Akçay çayı, Uluborlu ve Senirkent ilçelerinden geçerek göle inen Pupa Çayı, Hoyran ovasından inen Değirmen Çayı (Hoyran Deresi) ve Aksu çayından bir kanalla göle bağlanan Aksu Deresi'dir. Eğirdir Gölü, Isparta ilinin ve çevresindeki yerleşim birimlerinin içme suyu ihtiyacını karşılar. Aynı zamanda Isparta, Gönen, Uluborlu, Senirkent, Yalvaç, Gelendost ve Eğirdir ovalarında sulama suyu olarak kullanılır. Ovaların göl kıyılarına açıldığı gölün sığ kısımları tamamen saz ve kamışlarla kaplıdır. Göl, kapalı havzaya sahip olduğu halde tabanından bol miktarda kaynak suları ile beslenmekte ve göl suyunun 1/3'ü her yıl yenilenmektedir. Gölün giderleri, bilinçsiz su kullanımı, DSİ pompa istasyonları, Kovada Kanalı ve yazları aşırı buharlaşmadır (Kesici ve Kesici, 2006).

Isparta ilinin içme ve kullanma suyu ihtiyacı öncelikle tabii kaynaklar sağlanmaktadır. 2010 yılı raporlarına göre; tabii kaynaklara takviye olarak

Eğirdir gölünden içme ve kullanma suyu alınmaktadır. Isparta'nın yıllık ihtiyacı olan su miktarı yaklaşık olarak yılda 18,250,000 m³, ayda 1,520,833 m³, günde 50,000 m³ tür. Bu miktarın yaklaşık 6,000,000 m³ 'ü tabi kaynaklardan, 12,250,000 m³ ' de Eğirdir Gölü' nden pompa istasyonları sayesinde İçme Suyu Arıtma tesisine getirilmekte burada arıtılarak halkın kullanımına sunulmak üzere şebekeye verilmektedir (Isparta Belediye Başkanlığı, 2010).

Eğirdir Gölü' nün su hacmi mevsimsellik göstererek; sonbahar – kış aylarında (Ekim – Kasım) en düşük seviyeye; ilkbahar – yaz aylarında (Mayıs-Haziran) da en yüksek seviyeye gelmektedir (Şekil 3.3).

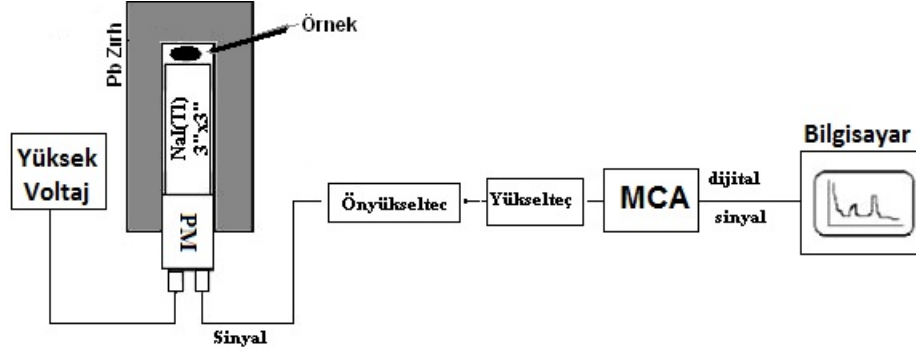


Şekil 3.3. Eğirdir Gölü su hacminin aylara göre değişimi (Keskin vd., 2017).

3.2. Gama Spektrometrik Ölçüm Sistemi

Gama spektrometresi herhangi bir maddenin radyoaktif olup olmadığını; eğer radyoaktiflik söz konusu ise bunun hangi radyonüklitlerden kaynaklandığını tanımlanmasına yarayan bir sistemdir. Bu sistemde ana mantık, bir detektör yardımıyla, radyonüklit tarafından yayınlanan gama enerjisinin oluşturduğu spektrometreyi analiz ederek, bunun hangi radyonüklitler nedeniyle oluştuğunu belirlemektir. Aynı numunede farklı radyoaktif nüklitler, ayrı ayrı tek ölçümde

analiz edilebilir. Tipik bir gama spektrometrik ölçüm sistemi; detektör (NaI(Tl) gibi sintilasyon), önyükselteç ve yükselteç, yüksek voltaj kaynağı, çok kanallı analizör, analog – dijital dönüştürücü ve bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. NaI(Tl) detektörlü gama spektrometrik analiz sisteminin şeması

Ölçülmesi planlanan radyonüklitten yayınlanan radyasyon sintilasyon detektörü ile etkileşerek soğurulan enerji ile doğru orantılı bir akım darbesi meydana getirir. Bu akım darbesi, yükselteçler yardımıyla voltaj darbesine çevrilir, yükseltilir, şekillendirilir ve çok kanallı analizöre (ÇKA) gelir. Çok kanallı analizörden sayısal hale çevrilen bilgiler, ekranda gama spektrumu olarak gözlenir. Bu spektrum veya spektrumla ilgili bilgiler ÇKA'ya bağlı uygun bir giriş/çıkışla (I/O), değerlendirilmek üzere dışarı aktarılır.

IAEA (2004) tarafından da vurgulandığı üzere, gama spektrometresi ile ölçüm yapılmadan önce; ölçümü yapılacak numunenin, ürünleriyle radyoaktif denge içinde olması çok önemlidir. Eğer bu radyoaktif denge olduğu takdirde; ürün radyonüklitin aktivitesi yardımıyla, ölçülmesi planlanan ana radyonüklitin aktivitesi belirlenebilir. Radyoaktif denge, ürün nüklitlerin yarı-ömrünün ana nüklide göre çok daha kısa olduğu durumlar için belli bir süre sonunda ürün aktivitesinin ana aktiviteye eşit olma durumudur. Bu sebeple hazırlanan numunelerin dengeye gelmesi için belirli bir süre beklenmesi gerekir. Bu süre, ^{238}U bozunma zincirinde; ^{226}Ra ile ^{222}Rn arasındaki radyoaktif dengenin sağlanabilmesi, örneklerin 1 ay süreyle bekletilmesi ile sağlanır (Mavi, 2010).

3.2.1. NaI(Tl) detektörü

NaI(Tl) detektörü, sintilasyon kristalinin detekte edici madde olarak kullanıldığı bir radyasyon detektörüdür. Sintilasyon kelime anlamı olarak; ışıltama, parıldama demektir. Sintilasyon olayı, sintilasyon maddesine radyasyon enerjisinin nakli ile bu maddenin görünen ışık veya görünen ışığa yakın dalga boyunda bir radyasyonu yayınlaması prensibine dayanır. Diğer bir ifadeyle, fotoluminesans veya fosferesans vasıtasıyla parçacık deteksiyonu yapılır. Kullanılan katı kristallere foton yayınlanmasını arttırmak için bazı maddeler aktive edilir. Örneğin, NaI(Tl) detektöründe; NaI kristaline, Talyum aktive edilmesi gibi. NaI(Tl) inorganik bir sintilasyon detektörüdür. Detektör sisteminde kullanılan iyot gibi, ana kristal malzemesinin atom numarasının yüksek olması, gama ışınlarının deteksiyon oranını artırır. Tl gibi aktive edilen safsızlıklarda sintilasyon işleminin gerçekleşmesine ve verimin artmasına olanak sağlar. Sintilasyon olayının oluşmasından sonra, foto duyarlı kısma (foto katot) çarpan foton, foto elektronların oluşmasına neden olur. Kristalin hemen arkasında bulunan foto çoğaltıcı tüp, yüksek gerilim kaynağı ile beslenmektedir ve sintilasyon fosforları sonucu oluşan foto elektronları toplayıp, bunların çoğaltılmasını sağlar. Sonrasında bu çoğalan foto elektronlar gerilim darbelerine dönüştürülür. Oluşan gerilim darbesinin genliği, gelen radyasyonun enerjisi ile doğru orantılıdır. Doğal radyoaktivite ölçümleri için kullanılan 3" x 3" boyutlarındaki ORTEC marka NaI(Tl) detektörü Şekil 3.5'de görülmektedir. Detektör, doğal fon radyasyonun, ölçüm sonuçlarını etkilememesi amacıyla 3 cm kurşun kalınlık ile kaplanmıştır.



Şekil 3.5. NaI(Tl) detektörü

3.2.2. Önyükselteç ve yükselteç

NaI(Tl) detektörü ile etkileşen gama radyasyonunun oluşturduğu etkileşmelerin sayısal sinyallere dönüşmesi için elektronik cihazlara ve sinyallerin analizi için de bu cihazlarla uyumlu yazılımlara ihtiyaç vardır. NaI(Tl) detektör sisteminde foto çoğaltıcı tüpün hemen çıkışında önyükselteç (pre-amplifier) bulunur. Önyükselteçin ana görevi, sinyal bozulmasını en aza indirip, sinyal/gürültü oranının azalmasını engelleyerek, gelen sinyalin yükselteçe ulaştırılmasını sağlamaktır.

Yükselteçin görevi ise; ön yükselteçten gelen pulsları büyütüp, sinyallere ayırarak, puls yüksekliğini ayarlamaktır. Gelen pulsların sinyallerini analizin yapılabileceği kadar yükseltilir ve en iyi enerji ayrılmasını sağlayacak şekillendirmeyi yapmaktır.

3.2.3. Çok kanallı analizör sistemi

Foton enerjisi ile orantılı olarak detektörde elde edilen her puls, yükselteç ile işlendikten sonra, yüksekliklerine göre analog-dijital dönüştürücü (ADC) aracılığıyla sıralanarak çok kanallı analizörün (MCA) hafızasında seçilen bir kanalda sayım olarak kaydedilir. Bu çalışmada içerisinde çok kanallı analizöre sahip DSPEC LF' e bulunmaktadır. 16384 kanala sahip DSPEC LF ile sayısal hale çevrilen bilgiler MAESTRO-32 yazılımı yardımı ile ekranda spektrum olarak gözlenir. Fotoelektrik olay sonucu oluşan her puls idealde düz yükselen bir çizgi olarak beklenenden farklı olarak, belirli bir genişliğe sahip olarak hemen hemen gauss eğrisine benzer bir şekilde foto pik olarak MCA ekranında gözlenir. Pulsun MCA hafızasındaki yeri, puls yüksekliğine göre belirir. Çalışmada kullanılan sistem bir yüksek gerilim birimi ile beslenmektedir. Detektörün çalışma gerilimi olan 800 V değeri, bu birim tarafından sağlanmaktadır. Şekil 3.6'da DSPEC LF ve yüksek gerilim modülü gösterilmektedir.



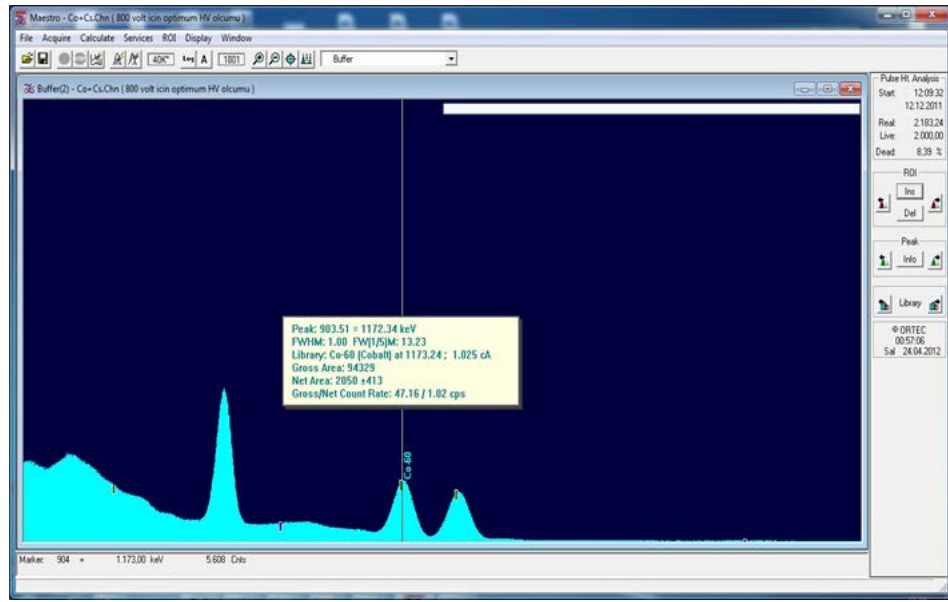
Şekil 3.6. DSPEC LF (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta)

3.2.4. Enerji kalibrasyonu

Gama spektrometre sistemindeki yükseltecin kazanç ayarı ve foto çoğaltıcı tüpe uygulanan yüksek gerilim; puls yüksekliği üzerinde bir miktar etkilidir ve farklı kazanç ayarı ve farklı gerilimlerle değişir. Bu değişimlerin toplam etkisi, her bir kanala karşı gelen enerji değerini değiştirmektedir. Bu nedenle gama sayımı sabit bir çalışma geriliminde iken, bir enerji kalibrasyonu yapılması gereklidir. Uygulamada enerji kalibrasyonu, bilinen gama ışını enerjilerinden spektrumda bilinmeyen başka gama foto piklerinin tanımlanabilmesi için de bir zorunluluktur.

Kalibrasyon iki şekilde yapılabilir. Birinci yöntemde her kanalın bir (veya birkaç) keV'lik enerjeye karşı geldiği kabul edilir. Enerjisi bilinen bir kaynak detektör karşısına yerleştirilir ve spektrum toplanmaya başlanır. Spektrum elde edilirken yükseltecin kazancının değiştirilmesi suretiyle foto pikin merkezi istenilen kanal numarasına getirilir ve böylece kalibrasyon gerçekleştirilmiş olunur. İkinci yöntemde, yükseltecin kazancı herhangi bir değere ayarlanır. Ve aynı zamanda çalışma gerilimi belirli olduğu için bu değer değiştirilemez. Daha sonra standart kaynaklar detektör karşısına belirli bir uzaklıkta yerleştirilir ve belirli bir süre spektrum biriktirilir. Elde edilen spektrumda foto piklerin sayımın en yüksek değerde olduğu tepe noktalarına karşı geldiği kanal numaraları not edilir. Bu tespit edilen kanal numaralarına karşı gelen enerji

değerleri bir grafik üzerinde çizilir. Enerji kalibrasyonu için elde edilecek eğri genelde $y=mx+n$ şeklinde doğrusal bir davranış sergiler. Bu tez çalışmasında kullanılan NaI(Tl) detektörünün kalibrasyonu, ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1173 keV- 1332 keV) standart radyoaktif kaynakları kullanılarak yapılmıştır. Bunun için her iki kaynak için eşit sürelerde spektrumlar alınarak bu spektrumlardaki ilgili gama enerjilerinin karşılık geldiği kanal numarası detektöre MAESTRO-32 yazılımıyla tanıtılmıştır (Şekil 3.7).



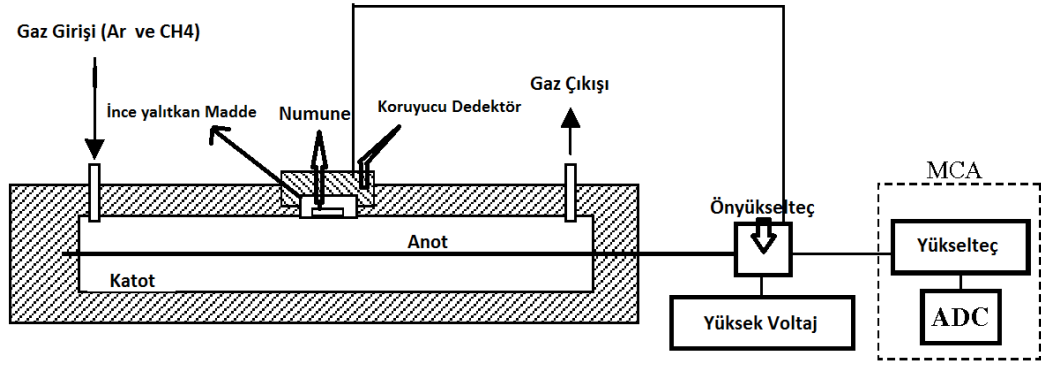
Şekil 3.7. NaI(Tl) detektörü kalibrasyon grafiği

3.3. Toplam Alfa – Toplam Beta Sayım Sistemleri

Düşük seviyedeki alfa – beta radyoaktivite ölçümleri için, bu parçacıkların etkileşime girdikleri maddede oluşturdukları iyonizasyondan faydalanılabilir. Bu tip işlemler için içi gaz dolu orantılı sayaçlar ideal ve uygun maliyetli sistemlerdir. Bu nedenle, gaz akışlı orantılı sayaç sistemleri, alfa – beta radyoaktivite ölçümleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.8).

Bu sistemlerde, genellikle esas gaz olarak argon (%90 oranında) ve söndürücü gaz olarak metan (%10) kullanılır. Ölçüm sistemindeki nötral gaz atomları ile elektronlar arasındaki etkileşimler sonucunda, elektron üretiminin olmadığı, gaz moleküllerinde uyarılmalar meydana gelebilir. Bu uyarılmalar sonucu,

uyarılmış gaz molekülleri, kararsız seviyeden kararlı seviyeye geçerken, görünür ya da ultraviyole bölgede ışık salınımı (foton) yaparlar. Bu fotonlar sistemimiz için, detekte edeceğimiz kaynak bilgisi içermeyen, ilave iyonizasyon yaratabilir veya odanın duvarından fotoelektrik olay ile elektron söküp; sahte puls oluşturabilirler. Bunun önlenmesi amacıyla, metan gibi, fotonlarla aynı enerji bandında soğurulan bir gaz kullanılmaktadır. Bu sayede foton kaynaklı sahte pulsların oluşması engellenmektedir (Bor, 2019).



Şekil 3.8. Gaz akışlı orantılı sayaç düzeni

Sistem değişik radyasyonlara karşı farklı cevap verir. Örnek tepsisine yerleştirilmiş olan radyoaktif kaynaktan çıkan parçacıklar öncelikle numune (sample) detektörü tarafından görülür. *Numune* ve *koruyucu detektör* arasında ince bir alüminyum duvar vardır. Bu sebeple, numune detektörünün penceresinin altına yerleştirilen kaynaktan çıkan alfa ve beta parçacıkları koruyucu detektöre ulaşamaz. Sistemdeki ön yükselteç numune detektörü hacminde soğurulan alfa ya da beta etkileşmesinden sonra oluşan yük pulsunun genliğini yükseltir. Daha sonra esas yükselteç ile ön yükselteçten çıkan uzun kuyruklu puls Gauss şekilli dar bir pulsa çevrilir.

Ne zaman bir kozmik ya da destekte edilebilecek bir γ ışını her iki detektörü de geçse sistem “eş zamanlı olmayan” moduna girer ve alfa ya da beta sayıcılarından hiç biri çalışmaz. Bu olaylar da koruyucu detektörün sisteme neden ilave edildiğini açıklar.

Numune detektörü tarafından görülen doğal fon ışınlarının çoğu onu kaplayan koruyucu detektör tarafından da görülür. Koruyucu detektöre, ön yükselteç, yükselteç, tek kanallı analizör, mantık şekillendirme ve geciktirme komponentleri bağlıdır. Böylece sistem alfa ve beta kanallarındaki doğal fon sayımlarını önlemiş olur.

3.4. Van Veen Sediment Örnekleme Ekipmanı

Van Veen sediment toplama ekipmanı, yumuşak veya orta sert zemine sahip su kaynaklarının tabanından, tortu örnekleri elde etmek için kullanılan paslanmaz çelikten üretilmiş bir numune toplama ekipmanıdır. 20 x 30 x 60 cm boyutlarında, yaklaşık 250 cm² kavrama alanına sahiptir ve 5.5 kg ağırlığındadır. Bir menteşe ile bağlanmış iki kapaklı çeneden oluşur (Şekil 3.9). Suya iniş öncesinde, her iki kol geniş bir şekilde kilitlenir ve çeneler açıktır. Bu şekilde suya daldırılan ekipman su yatağında zemine dokunduktan sonra kilitleme mekanizması serbest kalır. Çelik ip, örnekleme ekipmanı yuları çekilmek için gergin çekildiğinde çeneler kapanır ve bu şekilde numune ekipman içerisinde hapsolünür. Ekipmanın sağ ve sol üst kısımlarındaki tahliye deliklerinden, çeneler içindeki istenmeyen fazla su dışarıya atılır.



Şekil 3.9. Van Veen sediment toplama ekipmanı

3.5. Numunelerin Toplanması ve Analize Hazırlanması

Tez çalışmasında Eğirdir Gölü'nden belirlenen noktalardan su ve sediment numuneleri alınmıştır. Öncelikle, numune alınacak noktaların, Eğirdir Gölü üzerinde homojen bir şekilde dağıtılması amacıyla arazi keşif çalışmaları yapılmıştır. Eğirdir Gölü'nün, çevre bölgelerde yapılan tarım faaliyetlerinde su kaynağı olarak kullanılması, buna ek olarak aşırı kurak geçen dönemlerde Isparta iline de su sağlaması sebebiyle, DSİ'ye ait su pompa istasyonları da dikkate alınarak, numune alınacak 12 noktanın lokasyonları belirlenmiştir. Bu 12 nokta içerisinde, pompa istasyonlarının yanı sıra; gölü besleyen ve ana su kaynaklarından olan, Yalvaç Deresinin iki önemli kolu olan Afşar Çayı ve Gelendost-Akçay, Pupa Çayı, Hoyran Deresi olarak da bilinen Değirmen Çayı ve Çay Dere gibi akarsular da göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Eğirdir Gölü numune alım noktaları ve DSİ su pompaları (kırmızı: örnek alım noktaları, sarı: DSİ su pompaları)

Eğirdir Gölü'nden numune alınan tüm noktaların ve bu noktalara yakın önemli su kaynakları, yerleşim yeri ve DSİ su pompalarının isimleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Numune alım noktaları, yerleşim yerleri ve DSİ su pompaları

Numune Alım Noktaları	Yerleşim Yeri	Çevresinde Bulunan Su Pompası
S1	Çay Dere Ağızı	Eğirdir – Boğazova DSİ SU Pompası
S2	Yeşilköy-Sarıidris	-
S3	Barla	Barla DSİ Su Pompası
S4	Hacılar-Gelendost	Gelendost-Bölgetrafik DSİ Su Pompası
S5	Afşar Çayı-Gelendost	Afşar DSİ SU Pompası
S6	Bedre Plajı	Isparta DSİ SU Pompası
S7	Derin Bölge	-
S8	Altinkum Plajı	-
S9	Taşevi	Hoyran DSİ Su Pompası
S10	Senirkent	Senirkent DSİ Su Pompası
S11	Pupa Çayı Ağızı	-
S12	Hoyran Deresi Ağızı	-

Bu çalışmada, Eğirdir Gölünün doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi sürecinde; Eğirdir Gölündeki su miktarının ve tabanında bulunan sedimentlerin mevsimsel değişimlere uğrayabileceği düşüncesiyle, doğal radyoaktivite ölçümleri iki farklı dönemde gerçekleştirilmiştir. Eğirdir Gölü' nün su bakımından en zengin olduğu bilinen Mayıs – Haziran 2017 dönemi (*Bu tez çalışmasında Haziran dönemi olarak adlandırılacaktır*) ve en kurak olduğu zaman olarak bilinen Ekim – Kasım 2017 (*Bu tez çalışmasında Kasım dönemi olarak adlandırılacaktır*) dönemlerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Numune alım işlemleri gölün dalgalı olmadığı günlerde, su örnekleri için numune alınacak kaplar üçer kez örnek suyu ile çalkalandıktan sonra, içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sediment örneklerinde, Van Veen sediment kepçesiyle, her numune alım sonrası sediment kepçesi temizlendikten sonra diğer lokasyonlardan numuneler alınmıştır. Sediment numuneleri alım sonrası, tekne yüzeyine boşaltılmış ve numunelerin tekne ile temas etmeyen bölgelerinden her ölçüm noktası için örnekleme yapılmıştır. Bu işlemlerde titizlik gösterilmesindeki amaç; farklı lokasyonlardan alınan numunelerin birbiri ile karışmasını engellemektir. Tüm lokasyonlardan alınan numuneler, teker teker

etiketlenilerek 6rnek numarası verilmiştir. 15 Mart-15 Haziran tarihleri arasındaki 6nemin av yasağını kapsaması nedeniyle, Eğildir G6l6ndeki arazi 6alışmaları i6in T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığından gerekli izinler alınmıştır. Alınan izin sonrası, Haziran 2017 d6nemi numune alımı i6in, 1-2 Haziran 2017 tarihlerinde; Kasım 2017 d6nemi i6in ise 9-10 Kasım 2017 tarihlerinde g6l 6zerinde tekne (şekil 3.11) ile ulaşım sağlanarak, numune alımları ger6ekleştirilmiştir.



şekil 3.11. Eğildir G6l6'nden numunelerin alınmasında kullanılan tekne

Doğal radyoaktivite analizi yapılacak olan sular ve g6l dibinden alınan sedimentler 2000 mL' lik 6ift kapaklı sızdırmaz polietilen kaplara konularak muhafaza edilmiştir (şekil 3.12).



Şekil 3.12. Sediment ve su numunelerin polietilen kaplara alınması

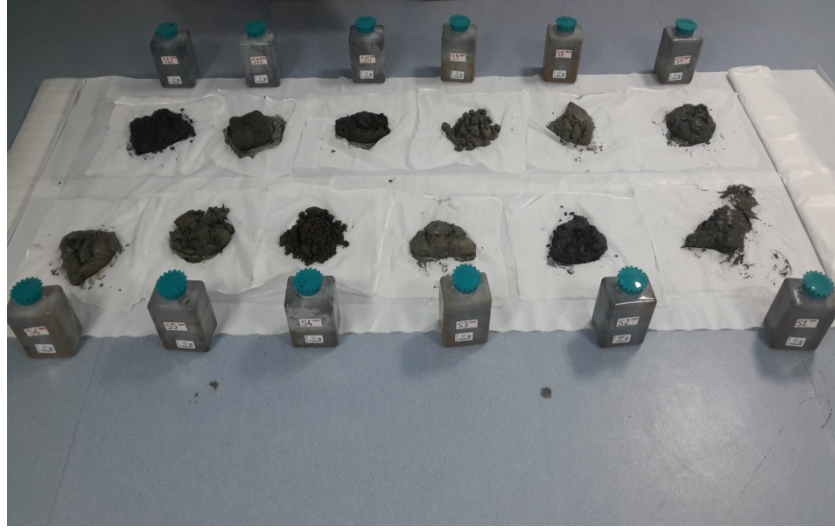
3.6. Tez Çalışması İçin Yapılan Analizler ve Kullanılan Yöntemler

3.6.1. Sediment analizlerinde kullanılan yöntemler

Eğirdir Gölü' nün dibinden alınan sediment numuneleri, analiz işlemlerine geçilmeden önce, numunelerdeki nemin içerisinden uzaklaştırılması amacıyla, çevresel faktörlerden etkilenmeyeceği bir ortamda, oda sıcaklığında bekletilmiştir (Şekil 3.13). Sonrasında numunelerin içerisindeki nemin tamamen uzaklaştırıldığından emin olmak amacıyla, etüv içerisinde 100°C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan numuneler darası alınmış ölçüm kaplarına konularak ağırlıkları tartılmıştır ve etiketlenerek kabın ağzı hava almayacak şekilde kapatılmıştır.

Gama spektrometresi ile ölçümü yapılacak numunelerin aktivite konsantrasyonlarının gerçek konsantrasyonları vermesi, örneklerin radyoaktif dengeye ulaşmasına bağlıdır. Ana nüklit ile ürün nüklit arasında bir radyoaktif denge varsa, ana nüklitin aktivitesi ürün nüklitin spesifik aktivitesi kullanılarak ölçülebilir. Böyle bir durumda radyoaktif denge, ürün nüklitlerin yarı-ömrünün ana nüklide göre çok daha kısa olduğu durumlar için belli bir süre sonunda ürün aktivitesinin ana aktiviteye eşit olma durumudur. Bu sebeple hazırlanan numunelerin radyoaktif dengeye gelmesi için belirli bir süre beklenmesi gerekir. Bu süre, ^{238}U bozunma zincirinde ^{226}Ra ile ^{222}Rn arasındaki radyoaktif dengenin

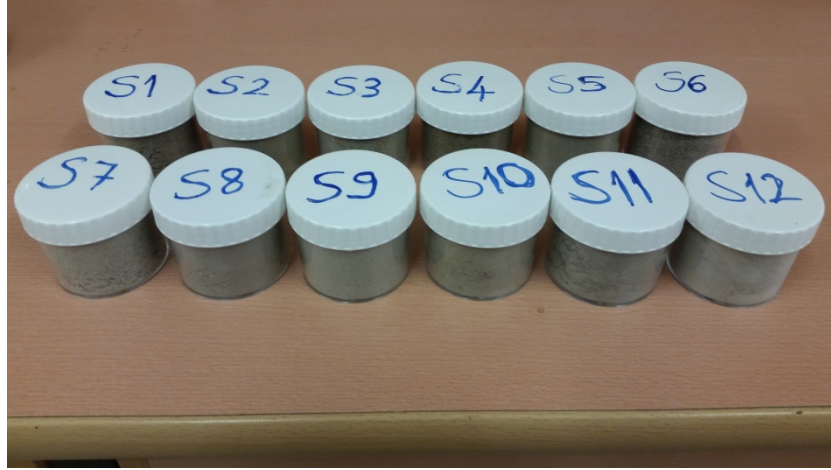
sağlanabilmesi için, örneklerin 30 gün süreyle kapatılması ile sağlanır (Akkurt vd., 2010) (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. Numunelerin oda sıcaklığında bekletilmesi

Eğirdir Gölü' nden alınan sedimentlerde doğal radyoaktivitenin belirlenebilmesi amacıyla, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Gama Spektroskopi Laboratuvarında bulunan NaI(Tl) detektörüne bağlı gama spektrometresi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir (Akkurt vd., 2009). Bu yöntem kullanılarak, ölçümlerde ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyoaktif kaynaklarından yayınlanan, sırasıyla; 1760 keV (^{214}Bi), 2610 keV (^{208}Tl) ve 1461 keV (^{40}K kendi piki) gama enerjileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm öncesi sistem ^{137}Cs ve ^{60}Co kaynakları kullanılarak kalibre edilmiştir.

Her numune ayrı ayrı 86400 saniye sayılarak elde edilen gama ışın spektrumu analiz edilmiştir. Ölçüm sırasındaki, doğal fon radyasyonun ölçüm sonuçlarını pertürbe etmemesi bakımından; her numune kabı boş şekilde numune olmadan aynı ölçüm geometrisinde sayılmıştır.



Şekil 3.14. Ağız kısmı kapatılmış ve ölçüme hazır hale getirilen numuneler

Gama ışın spektrumlarının analiz edilmesi sonucunda ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin her biri için ayrı ayrı spesifik aktivite değerleri Denklem 3.1 kullanılarak hesap edilmiştir.

$$A = \frac{N}{\epsilon \cdot P \cdot M \cdot t} \quad (3.1)$$

Burada; A, Bq/kg biriminde aktiviteyi; N, ilgili radyonüklite ait net pik alanını; ϵ , detektör verimini; P, ilgili radyonüklitin gama yayınlama olasılığını; M, kg biriminde numunenin kütlesini; t, ise saniye biriminde sayım süresini belirtmektedir.

Elde edilen spesifik aktivite değerleri kullanılarak ev dışı (outdoor) soğurulan doz hızı nGy/saat biriminde, Denklem 3.2 kullanılarak hesap edilmiştir (Saito ve Jacob, 1995). Buna ek olarak, bu göldeki sedimentlerin yapı malzemesi olarak da kullanılabilecekleri düşünülerek ev içi(indoor) soğurulan doz hızı nGy/saat biriminde, Denklem 3.3 kullanılarak hesap edilmiştir (European Commission, 1999).

$$D_{\text{out}} = 0.462A_{\text{U}} + 0.604A_{\text{Th}} + 0.0417A_{\text{K}} \quad (3.2)$$

$$D_{\text{in}} = 0.92A_{\text{U}} + 1.1A_{\text{Th}} + 0.08A_{\text{K}} \quad (3.3)$$

Burada; A_U , A_{Th} ve A_K sırasıyla; ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ' in Bq/kg biriminde spesifik aktivitelerini belirtmektedir.

Gama radyasyonu kaynaklı soğurulan doz hızı hesaplaması sonrasında; yıllık etkin doz eşdeğeri mSv/yıl biriminde Denklem 3.4 kullanılarak hesap edilmiştir. Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) hesap edilirken, soğurulan doz hızı ölçümüne benzer şekilde; Eğirdir Gölü' nün çevresinde yaşayan nüfusun ve canlıların maruz kalabilecekleri ev dışı yıllık etkin doz eşdeğeri ile göldeki sedimentlerin yapı malzemesinde kullanılacakları de düşünülerek ev içi yıllık etkin doz eşdeğeri ayrı ayrı hesap edilmiştir (UNSCEAR, 2000).

$$YEDE = D (nGy/saat) \times DCF (Sv/Gy) \times OF \times T (saat/yıl) \times 10^{-6} \quad (3.4)$$

Burada; D, havadaki soğurulan doz hızını; DCF, yetişkinler için havadaki soğurulan dozdan, etkin doz eşdeğerine dönüşüm faktörünü; OF, meşguliyet faktörünü; T, zaman faktörünü; 10^{-6} , ise Sv' in mSv'e ve Gy' in nGy'e dönüşümünde matematiksel işlemde elde edilen dönüşüm katsayısını belirtmektedir.

UNSCEAR' ın 2000 yılında yayınlamış olduğu raporda DCF için önerilen değer 0.7 olarak belirtilmiştir. T değeri ise, bir yıldaki toplam saat sayısı olan 8760 olarak hesaplamaya katılır. Bu formülde en önemli parametrelerden bir tanesi meşguliyet faktörüdür, çünkü kişinin yıl içerisinde ev içinde ve ev dışında geçirdiği süreler farklıdır. Kısaca meşguliyet faktörü, insanların bir yıl içerisinde hayatlarının ne kadarlık bir kısmını ev içinde, ne kadarlık bir kısmını ise ev dışında geçirdiklerinin oransal bir ifadesidir. Bu nedenle kişinin gama radyasyonu nedeniyle alacağı yıllık etkin doz eşdeğeri; bir yılda ev dışında (outdoor) geçirilen süre ve ev içinde (indoor) geçirilen süre temel alınarak ayrı ayrı hesap edilmelidir. Bu iki hesaplama sonucunun toplamı, dış kaynaklı gama radyasyon nedeniyle alınan yıllık etkin doz eşdeğerini verecektir. Meşguliyet faktörleri için önerilen oranlar ise; ev içi meşguliyet faktörü olarak 0.8, ev dışı meşguliyet faktörü olarak 0.2 olarak belirlenmiştir (UNSCEAR, 2000). Farklı meşguliyet faktörleri için Denklem 3.4; ev içi (indoor) ışınlama için Denklem 3.5

şeklinde, ev dışı (outdoor) ışınlama için ise Denklem 3.6 şeklinde tekrar yazılabilir.

$$YEDE_{ev\ i\c{c}i} = D_{in} (nGy/saat) \times 0.7 (Sv/Gy) \times 0.8 \times 8760 (saat/yıl) \times 10^{-6} \quad (3.5)$$

$$YEDE_{ev\ dı\ş}i = D_{out} (nGy/saat) \times 0.7 (Sv/Gy) \times 0.2 \times 8760 (saat/yıl) \times 10^{-6} \quad (3.6)$$

Yıllık etkin doz eşdeğerlerinin hesaplanması sonrasında; son olarak da bu doğal radyoaktivitenin yaşam boyu kanser oluşturma riski (YBKR) ev içi ve ev dışı radyasyon için sırasıyla ayrı ayrı hesaplanmıştır (Denklem 3.7 ve Denklem 3.8).

$$YBKRE_{ev\ i\c{c}i} = YEDE_{ev\ i\c{c}i} (mSv/yıl) \times DL (yıl) \times 0.05 (Sv^{-1}) \times 10^{-3} \quad (3.7)$$

$$YBKRE_{ev\ dı\ş}i = YEDE_{ev\ dı\ş}i (mSv/yıl) \times DL (yıl) \times 0.05 (Sv^{-1}) \times 10^{-3} \quad (3.8)$$

Burada; YEDE, yıllık etkin doz eşdeğerini; DL, insanın yaşam süresini; 0.05, ICRP (International Commission on Radiological Protection) tarafından önerilen kanser risk faktörünü; 10^{-3} ise Sv' den miliSievert' e dönüşüm katsayısıdır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından Türkiye' de kadın ve erkek için yaşam süresi tahmini 75 yıl olarak verilmiştir (WHO, 2015).

Bu hesaplamalara ek olarak, sediment örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerden yayınlanan gama radyasyonunun, tehlike seviyesinin belirlenmesi amacıyla dış ortam tehlike indeksi ve iç ortam tehlike indeksi hesap edilmiştir. Dış ortam tehlike indeksi (H_{ex}), ölçümleri yapılan sediment örneklerinin yapı malzemesi olarak kullanımı durumunda karasal gama ışını kaynaklı dış ışınlama radyasyon dozunun tehlike seviyesi hakkında bilgi verir. H_{ex} , Denklem 3.9 kullanılarak hesap edilir. Diğer taraftan iç ortam tehlike indeksi (H_{in}) ise, ölçümleri yapılan sediment örneklerinden kaynaklı radon ve kısa yarı ömürlü ürünler nedeniyle oluşan iç ışınlama kaynaklı radyasyon dozunun tehlike seviyesi hakkında bilgi vermektedir; Denklem 3.10 kullanılarak hesap edilir (Beretka ve Matthew, 1985).

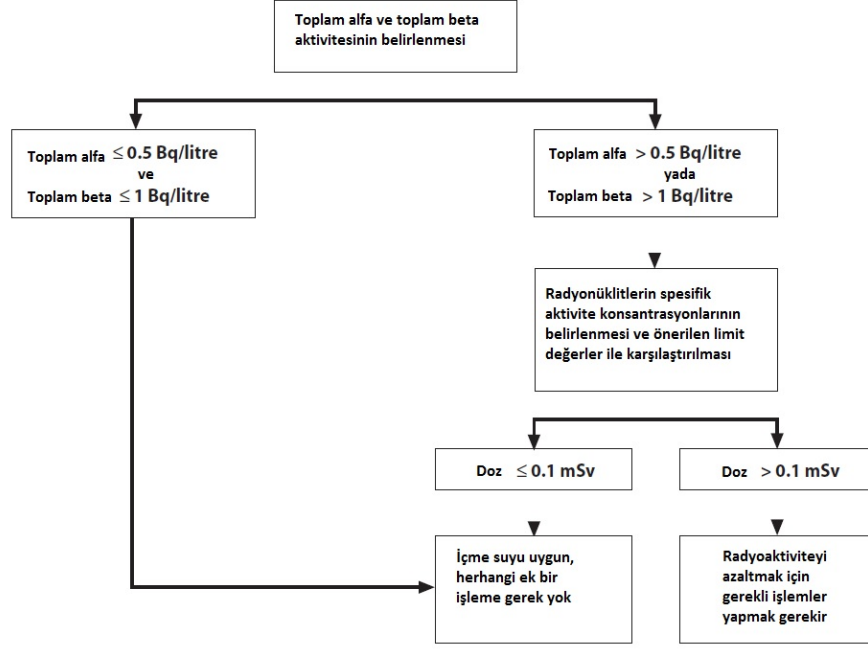
$$Hex = \frac{ARa}{370} + \frac{ATh}{259} + \frac{AK}{4810} \quad (3.9)$$

$$H_{in} = \frac{ARa}{185} + \frac{ATh}{259} + \frac{AK}{4810} \quad (3.10)$$

Burada H_{ex} , dış ortam tehlike indeksini; H_{in} ise iç ortam tehlike indeksini; A_{Ra} , ^{226}Ra (^{238}U) için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu; A_{Th} , ^{232}Th için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu ve A_K , ^{40}K için deneysel olarak bulunan spesifik aktivite konsantrasyonunu göstermektedir. H_{ex} ve H_{in} için hesaplanan değerlerin 1' den küçük olması, radyasyon etkin doz limiti olan 1 mSv/yıl dan düşük olduğunu belirtmektedir (ICRP, 1993).

3.6.2. Su analizlerinde kullanılan yöntemler

Sularda radyoaktivitenin belirlenmesi iki basamaklı yaklaşımı içeren işlemler zinciridir. İlk olarak; tarama prosedürü (screening procedure) olarak adlandırılan; toplam (gross) alfa ve toplam (gross) beta radyoaktivite konsantrasyonlarına bakılmakta, eğer bu değerler toplam alfa radyoaktivitesi için 0.5 Bq/litre, toplam beta radyoaktivitesi için 1 Bq/litre sınır değerlerini geçiyorsa ikinci ölçüm basamağına geçilmektedir. İkinci basamak olarak, bu radyoaktiviteye sebep olabilecek radyonüklitlerin spesifik aktiviteleri ve bu aktivite nedeniyle her bir radyonüklitin oluşturacağı etkin doz ölçülür (Şekil 3.15) (WHO, 2004).



Şekil 3.15. İçme sularında radyoaktivite belirlenmesinde izlenen yol (WHO, 2004)

Eğirdir Gölü' nden alınan sular, bir gün içerisinde, toplam alfa ve toplam beta ölçümlerinin yaptırılması amacıyla Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı' na bağlı İzotop Laboratuvarı Şube Müdürlüğü' ne gönderilmiştir (DSİ, 2019). Burada EPA 900 standartları takip edilerek, suların polietilen saklama kaplarının duvarlarında birikme yapmaması için (aktivite azalımının önlenmesi amacıyla) asitlendirme işlemleri yapılmış, sonrasında ise suların kaynatılmadan buharlaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında infrared lambalar kullanılarak kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemler sonrasında, sayım planşetlerinde biriken tortular, Berthold marka LB 770 model 10 kanallı düşük seviye planşet sayıcı sisteminde analiz edilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Berthold LB 770-PC 10-Kanal düşük seviye sayım sistemi

Toplam alfa ve toplam beta aktivite değerlerinin hesaplanması sonrasında, uygun doz dönüşüm faktörleri kullanılarak bu sulara ait iç ışınlama ile alınan doz (intake dose) hesaplanmıştır. Doğal sularda toplam alfa dozuna en büyük katkı uranyum ve radyumun izotoplarından gelmektedir, toryumun suda ki çözünürlüğünün az olması sebebiyle toplam alfa aktivitesine katkısının az olduğu belirtilmiştir (Osmond ve Ivanovic, 1992). Yapılan çalışmalarda, su içilmesine bağlı olarak alınan yıllık dozun % 50' den fazlasının radyum (toplam alfa radyum) dozu ile ilişkilendirildiği belirtilmiştir (Fernandez vd., 1992; Damla vd., 2006). UNSCEAR' ın 2000 yılında yayınladığı rapora göre; insanların içtikleri su ve yedikleri yiyeceklerdeki radyonüklit aktivite oranlarının bilinmesi durumunda; uygun doz dönüşüm faktörleri kullanılarak bu yiyecek ve içeceklerin tüketilmesi nedeniyle alınacak yıllık dozun hesap edilmesi mümkün olabilmektedir (UNSCEAR, 2000). Buna ek olarak, IAEA (1995) yayınladığı Uluslararası Temel Güvenlik Standartları raporunda; uygun doz dönüşüm faktörleri kullanılarak, farklı yaş grupları için tüketilen yiyecek ve içecekler ile alınan yıllık dozun hesaplanabileceğini belirtmiştir (Jankovic vd, 2012)

Sularda radyoaktivitenin belirlenmesi işlemlerinde ilk basamak olan tarama prosedürü olan toplam alfa ve toplam beta sonuçları ölçülmüştür. Elde edilen değerlere göre, toplam alfa ve toplam beta aktivite değerleri; WHO (2004)

tarafından belirlenen limit değerleri olan, toplam alfa için 0.5 Bq/litre ve toplam beta için 1 Bq/litre değerlerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite analizleri sonucunda elde edilen değerlerin limit değerlerden düşük olması; su tüketimine bağlı olarak iç işınlama nedeniyle alınan dozun (intake dose) 0.1 mSv' den düşük olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara göre, sularda radyoaktivite ölçümünün ikinci basamağı olan, sulardaki radyoaktiviteye neden olan radyonüklitlerin spesifik aktivitesinin ölçümleri gerçekleştirilmesine gerek kalmamıştır. Diğer taraftan, sulardaki radyoaktivitenin seviyesinin ölçülmesi için; uluslararası kuruluşların ve önceki yıllarda bu konu hakkında çalışmalarında bulunmuş bilim insanlarının önerileri göz önünde bulundurularak, farklı yaş aralıklarında bulunan kişilerin alacakları yıllık etkin doz (intake dose) hesap edilmiştir. Su örnekleri içerisinde toplam alfa ve toplam beta aktivitesine neden olan radyonüklitlerin spesifik aktivitelerinin kesin ve tam olarak bilinmediği durumlarda uygun doz dönüşüm faktörlerinin kullanılarak hesaplama yapılması yanlış sonuçlar verebilecektir (DMP, 2010). Bu nedenle bu tez çalışmasında Fernandez vd. 'nin (1992) belirttiği gibi toplam alfa aktivitesinin %50' sinden fazlasının radyum ile ilişkilendirilmesi neticesinde; toplam alfa aktivitesinin ²²⁶Ra' dan kaynaklandığı, benzer şekilde toplam beta aktivitesinin de tamamının ²²⁸Ra' dan kaynaklandığı varsayımı yapılarak iç işınlama kaynaklı alınan yıllık etkin doz değerleri; toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin her ikisi için Denklem 3.11 kullanılarak hesap edilmiştir (USA-EPA, 1988).

$$D_{ing} = A \times IR_w \times EDC_{ing} \quad (3.11)$$

Burada; A, toplam alfa veya toplam beta aktivitesinin Bq/litre cinsinden değerini; IR_w , değişik yaş gruplarına göre 1 yılda tüketilen su miktarını litre cinsinden değerini; EDC_{ing} ise aynı şekilde belirli radyonüklit için, değişik yaş gruplarına göre etkin doz dönüşüm katsayısının Sv/Bq cinsinden değerini belirtmektedir.

Değişik yaş gruplarına göre tüketilen su miktarını simgeleyen IR_w değerleri IAEA' nın (1995) yayınlamış olduğu rapora göre Çizelge 3.2' de görölmektedir.

Belirli bir radyonüklit için, değişik yaş gruplarına göre etkin doz dönüşüm katsayıları (^{226}Ra ve ^{228}Ra için) Çizelge 3.3.' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Yaş gruplarına göre yıllık tüketilen su miktarını litre cinsinden gösteren IR_w değerleri (IAEA, 1995)

0-1 yaş	1-2 yaş	2-7 yaş	7-12 yaş	12-17 yaş	>17 yaş
250	350	350	350	550	730

Çizelge 3.3. Belirli bir radyonüklit için, değişik yaş gruplarına göre etkin doz dönüşüm katsayıları (Sv/Bq) (ICRP, 2012)

	0-1 yaş	1 yaş	5 yaş	10 yaş	15 yaş	Yetişkin
^{226}Ra	5.7×10^{-6}	9.6×10^{-7}	6.2×10^{-7}	8.0×10^{-7}	1.5×10^{-6}	2.8×10^{-7}
^{228}Ra	3.0×10^{-5}	5.7×10^{-6}	3.4×10^{-6}	3.9×10^{-6}	5.3×10^{-6}	6.9×10^{-7}

Bu hesaplamalar sonucunda toplam alfa ve toplam beta aktivitesi nedeniyle iç ışınlama yoluyla alınan yıllık etkin doz değerleri toplanmış olup, uygun dönüşüm faktörleri kullanılarak, *yetişkin* kişiler için bu suların tüketiminin yaşam boyu kanser oluşturma riski, Denklem 3.12 kullanılarak hesap edilmiştir.

$$\text{YBKR}_{\text{ing}} = D_{\text{ing}} (\text{Sv/yıl}) \times \text{DL} (\text{yıl}) \times 0.05 (\text{Sv}^{-1}) \times 10^{-3} \quad (3.12)$$

Sediment numunelerindeki hesaplamaya benzer şekilde; Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından Türkiye' de kadın ve erkek için yaşam süresi tahmini 75 yıl olarak verilmiştir (WHO, 2015).

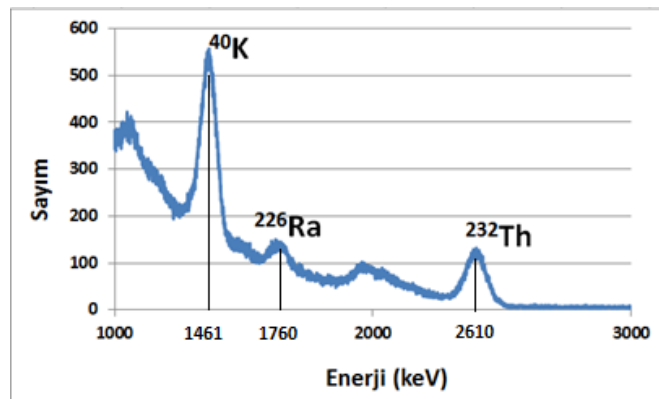
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında, Eğirdir Gölü' nün doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi ve sonrasında bu doğal radyoaktivite seviyesinin, yaşam boyu kanser oluşturma riski açısından analizler gerçekleştirilmiştir. Eğirdir Gölü, bölgede yaşayan nüfus dışında, sahip olduğu sebze ve meyve üretimi (özellikle elma) nedeniyle tüm bölge halkına dolaylı olarak etki etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada; Eğirdir Gölü' nden alınan sediment ve su numuneleri doğal radyoaktivite analizleri bakımından ayrı ayrı incelenmiştir. Bu bölümde bu incelemelere ve analizlere ait bulgular sunulacaktır.

4.1. Sediment Numunelerinden Elde Edilen Araştırma Bulguları

4.1.1. Spesifik aktivite sonuçları

Isparta Eğirdir Gölü'nden Haziran – Kasım 2017 dönemlerinde alınan sediment numunelerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K spesifik aktivite ölçüm sonuçları her numune için elde edilen gama spektrumları analiz edilerek hesap edilmiştir. Şekil 4.1 örneğindeki gama spektrumundan görülebileceği üzere ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyoaktif kaynaklarından yayınlanan, sırasıyla; 1760 keV (^{214}Bi), 2610 keV (^{208}Tl) ve 1461 keV (^{40}K kendi piki) gama enerjilerinin kullanılarak spesifik aktivite ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Haziran ve Kasım dönemlerine ait tüm numunelerin ölçüm sonuçları Çizelge 4.1'de ve Şekil 4.1 – Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Spesifik aktivite ölçümlerinde elde edilen gama spektrumu örneği

Çizelge 4.1. Haziran – Kasım dönemleri spesifik aktivite sonuçları (Bq/kg)

Spesifik Aktivite (Bq/kg)									
	Haziran			Kasım			Mevsimsel Ort.		
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
S1	23.24	21.79	367.49	29.15	36.24	456.54	26.19	29.01	412.02
S2	35.68	29.25	316.53	24.94	27.51	204.76	30.31	28.38	260.64
S3	38.48	30.10	297.25	15.49	17.72	377.47	26.98	23.91	337.36
S4	29.77	45.57	394.89	24.00	29.88	420.68	26.89	37.72	407.79
S5	27.52	16.95	435.20	18.90	30.32	471.35	23.21	23.64	453.28
S6	25.69	30.53	365.13	36.66	22.71	313.72	31.18	26.62	339.42
S7	33.37	23.61	404.34	30.85	40.54	469.24	32.11	32.07	436.79
S8	34.90	16.32	359.05	38.85	21.11	349.90	36.88	18.72	354.47
S9	46.92	22.82	341.64	42.61	45.62	224.06	44.76	34.22	282.85
S10	44.97	26.12	406.06	33.87	36.48	385.97	39.42	31.30	396.02
S11	38.57	31.69	356.51	30.91	21.49	136.39	34.74	26.59	246.45
S12	30.45	33.09	315.29	22.89	38.01	318.90	26.67	35.55	317.10
Ort.	34.13	27.32	363.28	29.09	30.63	344.08	31.61	28.98	353.68

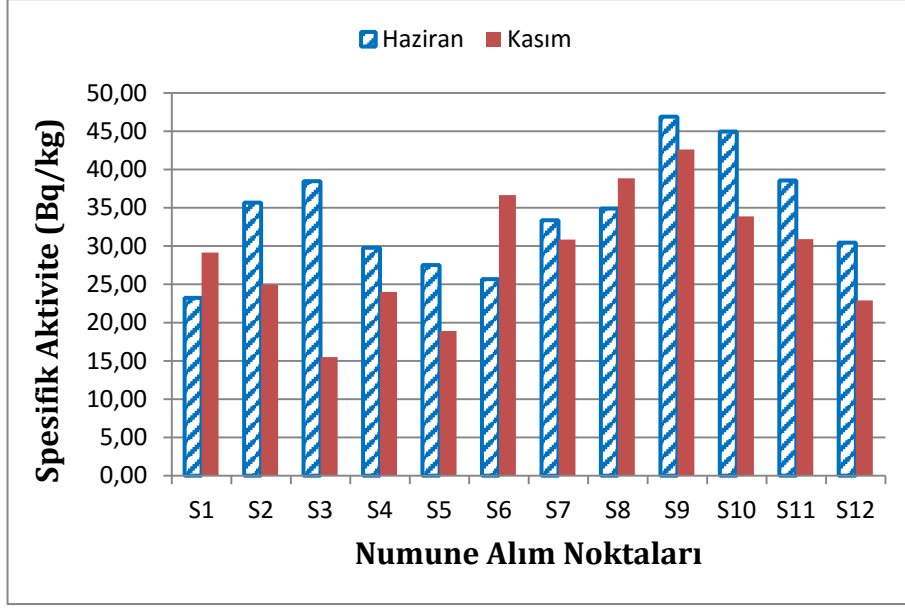
Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2 – Şekil 4.4'den görülebileceği üzere, sediment örneklerinin alındığı noktalardaki spesifik aktivite değerlerinin, göldeki su seviyesinin maksimum ve minimum olduğu bu iki dönemde, farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Haziran döneminde alınan numunelerdeki ortalama ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite değerleri sırasıyla; 34.13, 27.32 ve 363.28 Bq/kg iken; Kasım döneminde alınan numunelerdeki ortalama ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite değerleri sırasıyla; 29.09, 30.63 ve 344.08 Bq/kg olarak ölçülmüştür.

İki dönemin ortalamaları alınarak elde edilen mevsimsel ortalama sonuçlarına bakıldığında, numune alınan noktalar içerisinde, ²³⁸U aktivitesinin en yüksek olduğu yer S9 noktası (Taşevi) 44.76 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu değer, TAEK tarafından 2013 yılında yayınlanan Türkiye ortalaması değeri olan 27.56 Bq/kg' den ve UNSCEAR' ın 2000 yılında yayınlamış olduğu 35 Bq/kg dünya ortalaması değerinden yüksektir. ²³⁸U aktivitesinin en düşük olduğu yer S5 noktası (Afşar

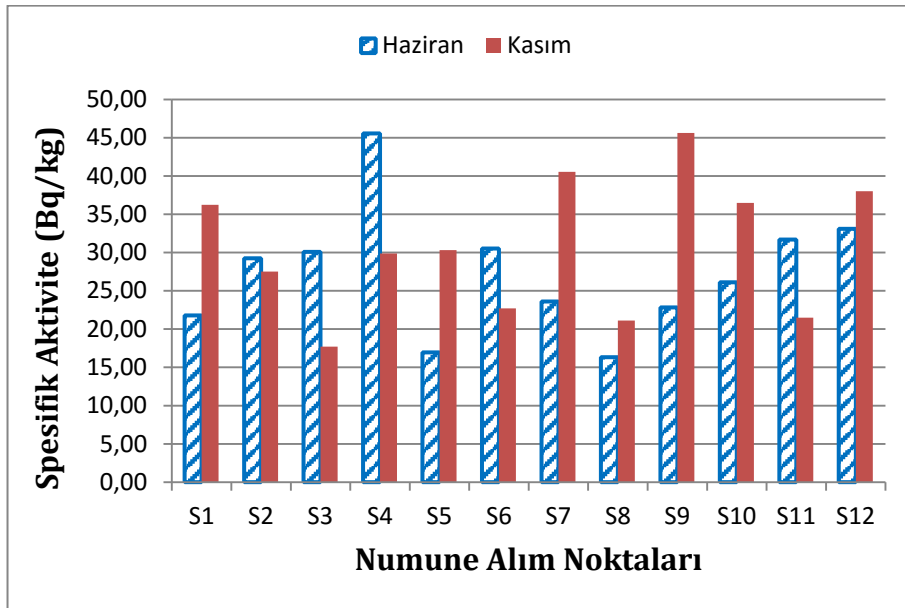
Çayı Ağzı – Gelendost) 23.21 Bq/kg olarak ölçülmüştür. ²³⁸U aktivitesi açısından, tüm numune alım noktalarının mevsimsel ortalaması 31.61 Bq/kg olarak ölçülmüş olup, Türkiye ortalamasından yüksek, dünya ortalamasından düşüktür.

İki dönemin ortalamaları alınarak elde edilen mevsimsel ortalama sonuçlarına bakıldığında, numune alınan noktalar içerisinde, ²³²Th aktivitesinin en yüksek olduğu yer S4 noktası (Hacılar – Gelendost) 37.72 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu değer, TAEK tarafından 2013 yılında yayınlanan Türkiye ortalaması değeri olan 32.65 Bq/kg' den ve UNSCEAR' ın 2000 yılında yayınlamış olduğu 30 Bq/kg dünya ortalaması değerinden yüksektir. ²³²Th aktivitesinin en düşük olduğu yer S8 noktası (Altinkum Plajı) 18.72 Bq/kg olarak ölçülmüştür. ²³²Th aktivitesi açısından, tüm numune alım noktalarının mevsimsel ortalaması 28.98 Bq/kg olarak ölçülmüş olup, Türkiye ve dünya ortalamasından düşüktür.

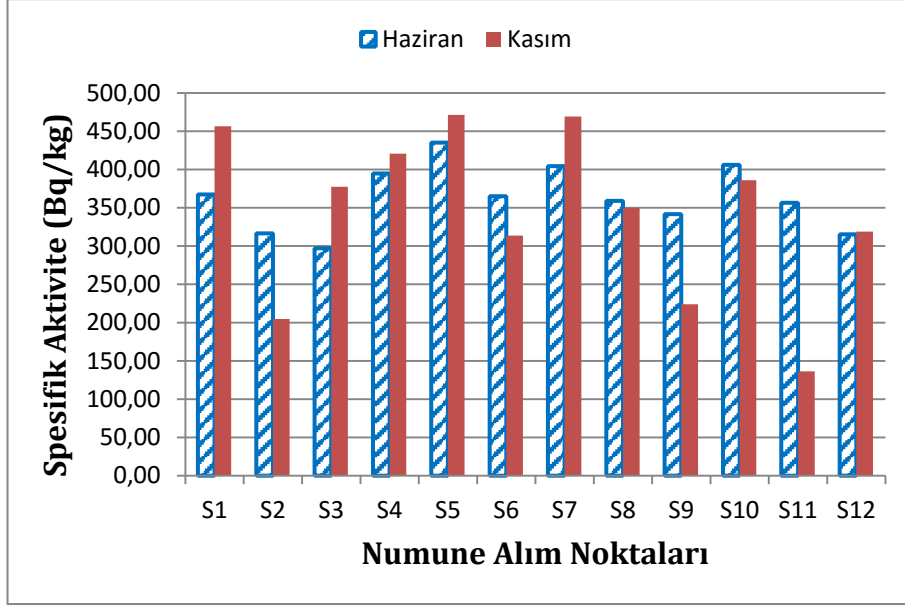
Çizelge 4.1'den de görülebileceği üzere, iki dönemin ortalamaları alınarak elde edilen mevsimsel ortalama sonuçlarına bakıldığında, numune alınan noktalar içerisinde, ⁴⁰K aktivitesinin en yüksek olduğu yer S5 noktası (Afşar Çayı Ağzı – Gelendost) 453.28 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu değer, TAEK tarafından 2013 yılında yayınlanan Türkiye ortalaması değeri olan 439.93 Bq/kg' den ve UNSCEAR' ın 2000 yılında yayınlamış olduğu 400 Bq/kg dünya ortalaması değerinden yüksektir. ⁴⁰K aktivitesinin en düşük olduğu yer S11 noktası (Pupa Çayı Ağzı) 246.45 Bq/kg olarak ölçülmüştür. ⁴⁰K aktivitesi açısından, tüm numune alım noktalarının mevsimsel ortalaması 353.68 Bq/kg olarak ölçülmüş olup, Türkiye ve dünya ortalamasından düşüktür.



Şekil 4.2. ²³⁸U için Haziran ve Kasım dönemleri spesifik aktivite ölçüm sonuçları



Şekil 4.3. ²³²Th için Haziran ve Kasım dönemleri spesifik aktivite ölçüm sonuçları



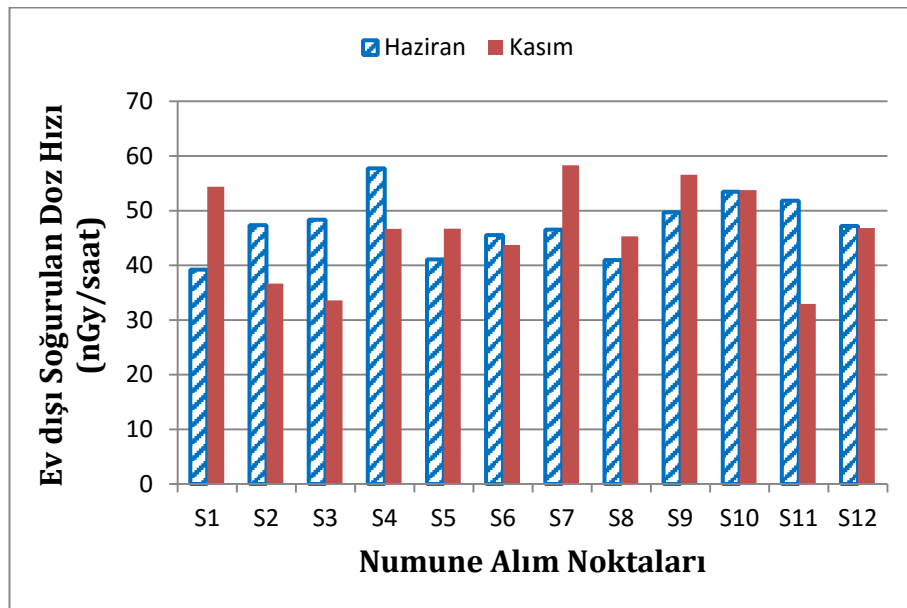
Şekil 4.4. ^{40}K için Haziran ve Kasım dönemleri spesifik aktivite ölçüm sonuçları

4.1.2. Soğurulan doz hızı sonuçları

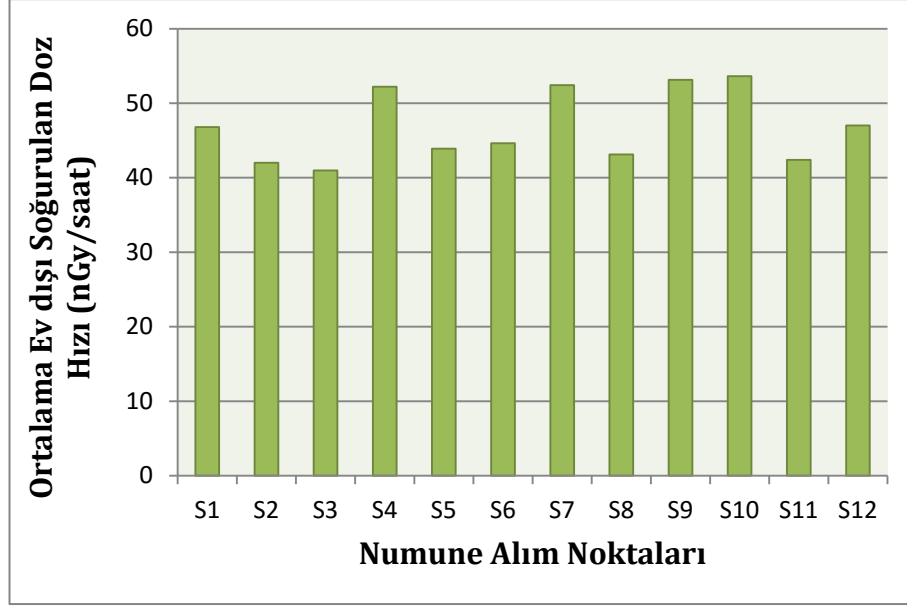
Spesifik aktivite ölçüm sonuçları sonrasında, uygun dönüşüm faktörleri kullanılarak ev dışı ve ev içi soğurulan doz hızları hesap edilmiştir. Ev dışı soğurulan doz hızı sonuçları Çizelge 4.2 ve Şekil 4.5 – Şekil 4.6 da gösterilmiştir. Ev içi soğurulan doz hızı sonuçları Çizelge 4.3 ve Şekil 4.7 – Şekil 4.8 de gösterilmiştir. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’ den görülebileceği üzere, mevsimsel ortalama sonuçlarına bakıldığında, ev dışı ve ev içi soğurulan doz hızı sonucunun en yüksek olduğu yer S10 noktası (Senirkent); en düşük olduğu yer ise S3 noktası (Barla) olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.2. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı soğurulan doz hızı sonuçları (nGy/saat)

Ev dışı Soğurulan Doz Hızı (nGy/saat)			
	Haziran	Kasım	Mevsimsel Ort.
S1	39	54	47
S2	47	37	42
S3	48	34	41
S4	58	47	52
S5	41	47	44
S6	46	44	45
S7	47	58	52
S8	41	45	43
S9	50	57	53
S10	53	54	54
S11	52	33	42
S12	47	47	47
Ortalama	47.42	46.29	46.86



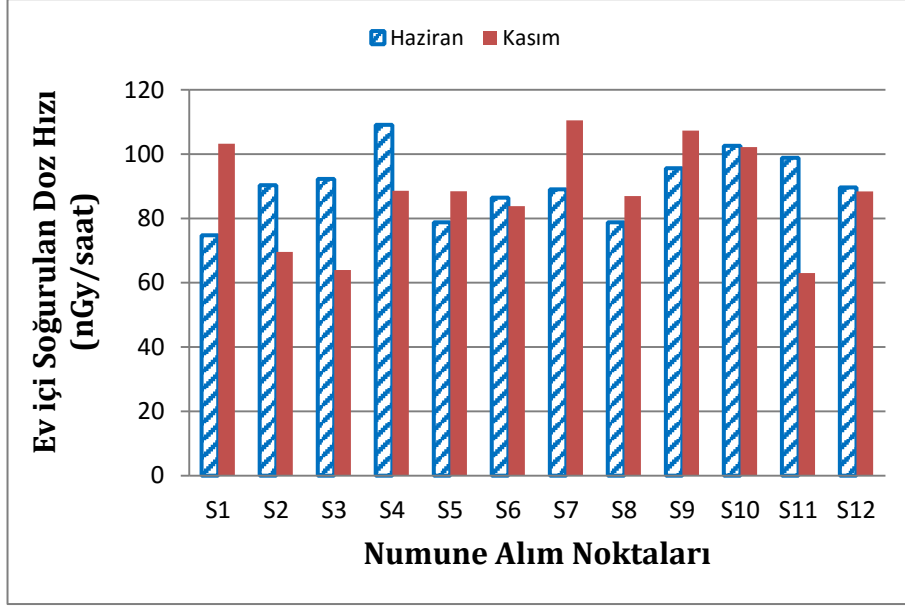
Şekil 4.5. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı soğurulan doz hızı ölçüm sonuçları



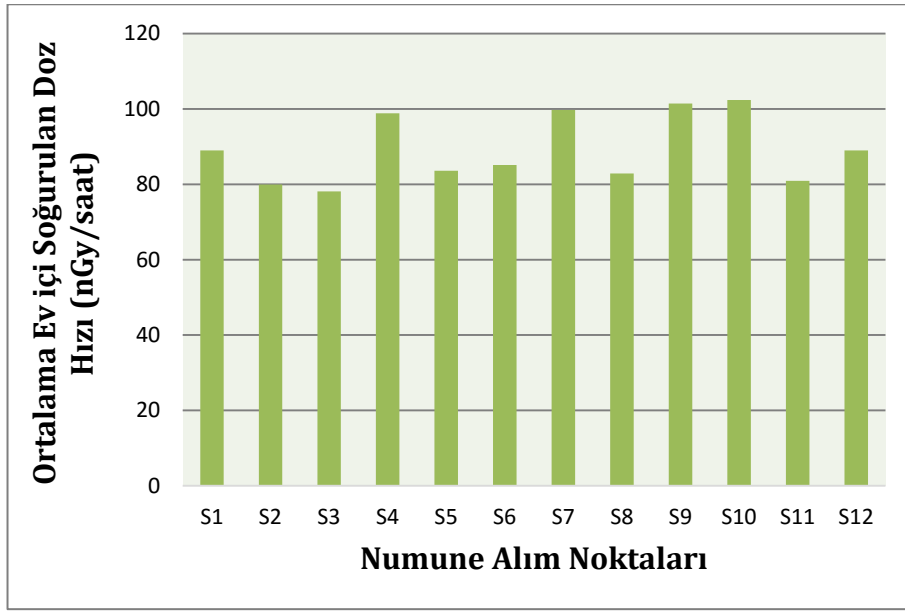
Şekil 4.6. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı soğurulan doz hızı mevsimsel ortalama sonuçları (nGy/saat)

Çizelge 4.3. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi soğurulan doz hızı sonuçları (nGy/saat)

Ev içi Soğurulan Doz Hızı (nGy/saat)			
	Haziran	Kasım	Mevsimsel Ort.
S1	75	103	89
S2	90	70	80
S3	92	64	78
S4	109	89	99
S5	79	88	84
S6	86	84	85
S7	89	111	100
S8	79	87	83
S9	96	107	101
S10	103	102	102
S11	99	63	81
S12	90	88	89
Ortalama	90.51	87.99	89.25



Şekil 4.7. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi soğurulan doz hızı ölçüm sonuçları



Şekil 4.8. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi soğurulan doz hızı mevsimsel ortalama sonuçları (nGy/saat)

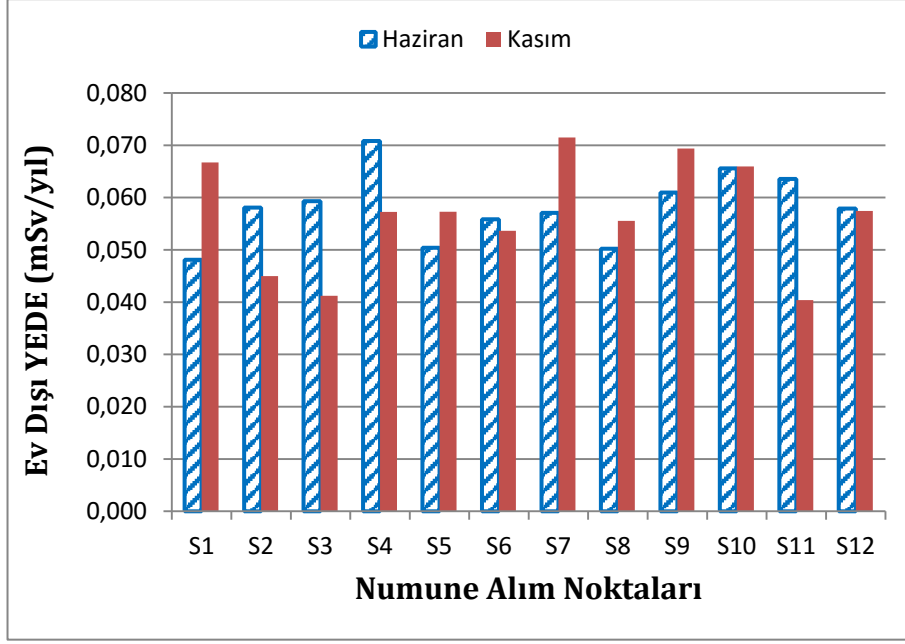
4.1.3. Ev dışı ve ev içi yıllık etkin doz eşdeğerleri sonuçları

Ev dışı ve ev içi soğurulan doz hızı ölçüm sonuçları sonrasında, uygun dönüşüm faktörleri kullanılarak ev dışı ve ev içi yıllık etkin doz eşdeğerleri hesap edilmiş olup Çizelge 4.4 – Çizelge 4.5 ve Şekil 4.9 – Şekil 4.12 da gösterilmiştir.

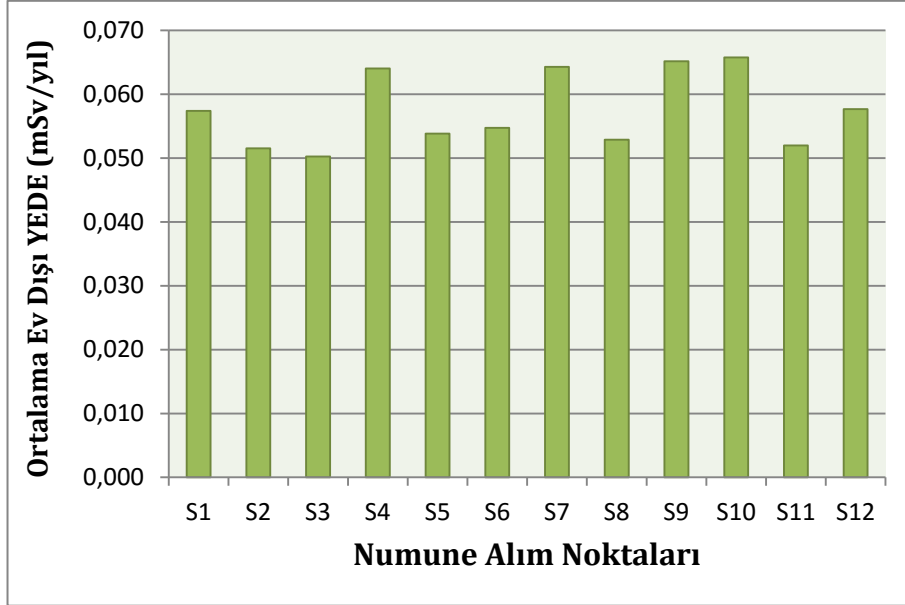
Mevsimsel ortalama sonuçlarına bakıldığında, ev dışı yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması 0.057 mSv/yıl; ev içi yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması ise 0.438 mSv/yıl olarak ölçülmüştür. Mevsimsel ortalama sonuçlarına bakıldığında, ev dışı ve ev içi yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçlarının en yüksek olduğu yer S10 noktası (Senirkent); en düşük olduğu yer ise S3 noktası (Barla) olarak hesap edilmiştir.

Çizelge 4.4. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçları (mSv/yıl)

Ev dışı Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)			
	Haziran	Kasım	Mevsimsel Ort.
S1	0.048	0.067	0.057
S2	0.058	0.045	0.052
S3	0.059	0.041	0.050
S4	0.071	0.057	0.064
S5	0.050	0.057	0.054
S6	0.056	0.054	0.055
S7	0.057	0.072	0.064
S8	0.050	0.056	0.053
S9	0.061	0.069	0.065
S10	0.066	0.066	0.066
S11	0.064	0.040	0.052
S12	0.058	0.057	0.058
Ortalama	0.058	0.057	0.057



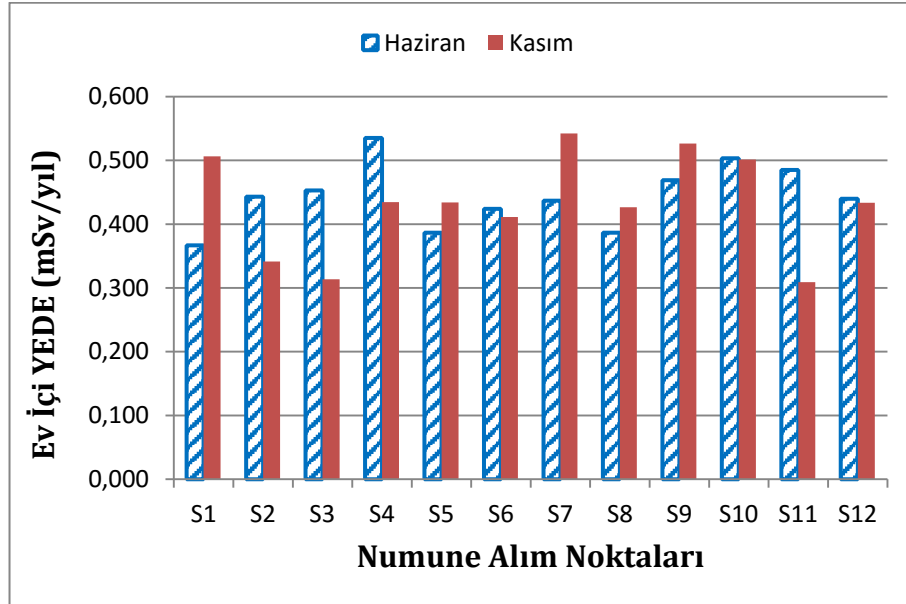
Şekil 4.9. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçları (mSv/yıl)



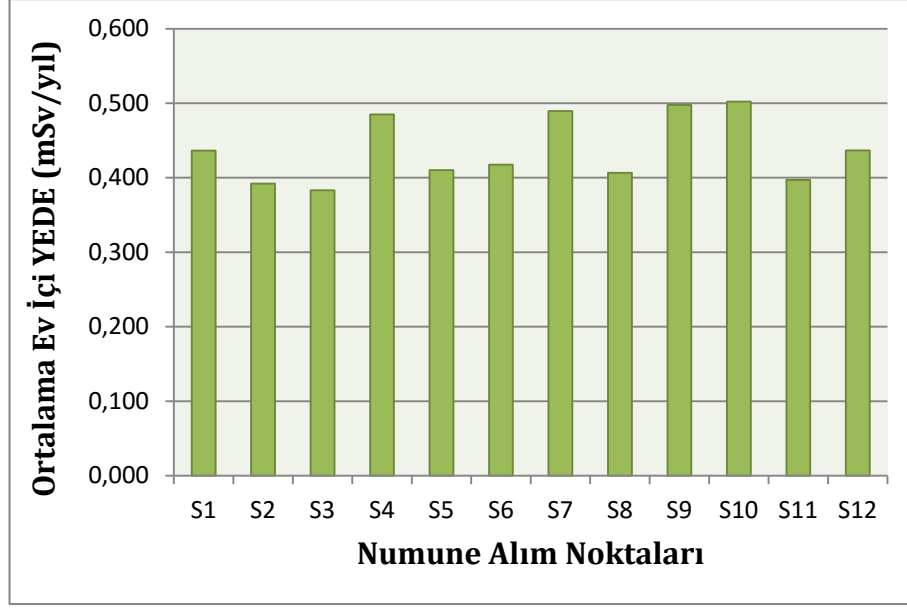
Şekil 4.10. Haziran ve Kasım dönemleri ev dışı yıllık etkin doz eşdeğeri mevsimsel ortalama sonuçları (mSv/yıl)

Çizelge 4.5. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçları (mSv/yıl)

Ev İçi Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)			
	Haziran	Kasım	Mevsimsel Ort.
S1	0.367	0.506	0.436
S2	0.443	0.341	0.392
S3	0.453	0.314	0.383
S4	0.535	0.435	0.485
S5	0.386	0.434	0.410
S6	0.424	0.411	0.418
S7	0.437	0.542	0.489
S8	0.386	0.427	0.407
S9	0.469	0.526	0.498
S10	0.503	0.501	0.502
S11	0.485	0.309	0.397
S12	0.440	0.434	0.437
Ortalama	0.444	0.432	0.438



Şekil 4.11. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçları (mSv/yıl)



Şekil 4.12. Haziran ve Kasım dönemleri ev içi yıllık etkin doz eşdeğeri mevsimsel ortalama sonuçları (mSv/yıl)

4.1.4. Ev dışı ve ev içi yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçları

Ev dışı ve ev içi yaşam boyu kanser oluşturma riskleri Çizelge 4.6 – Çizelge 4.7 ve Şekil 4.13 – Şekil 4.16’de gösterilmiştir.

Elde edilen spesifik aktivite ölçüm sonuçları ve başta UNSCEAR, IAEA, ICRP, European Commission ve WHO olmak üzere, uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen dönüşüm katsayıları kullanılarak, bu doğal radyoaktivite seviyesinin ev dışı ve ev içi yaşam boyu kanser oluşturma riskleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.6’den görülebileceği üzere, Haziran ve Kasım dönemleri ortalama sonuçları birbirine yakındır. Haziran dönemi ev dışı YBKR % 0.022 olarak hesap edilirken, Kasım dönemi için bu değer % 0.021 olarak hesap edilmiştir. Haziran ve Kasım dönemlerinin her biri için ortalama ev dışı YBKR değerleri, dünya ortalaması olan % 0.022 değerine oldukça yakın bulunmuştur.

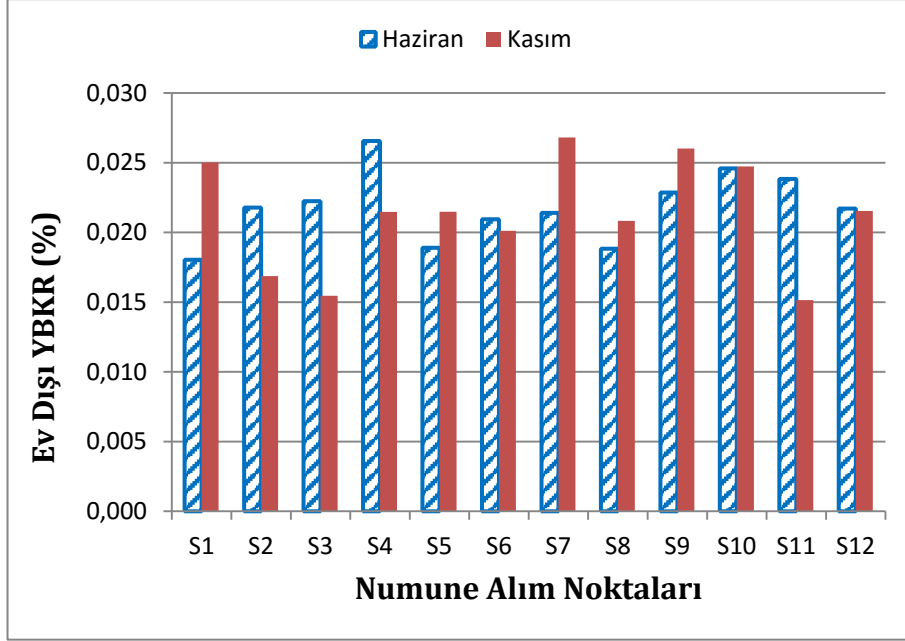
Çizelge 4.7’den görülebileceği üzere, ev içi YBKR sonuçları iki farklı dönem için birbirine yakın ölçülmüştür. Haziran dönemi için ev içi YBKR % 0.167 olarak hesap edilirken, Kasım dönemi için bu sayı % 0.162 olarak hesap edilmiştir.

Haziran ve Kasım dönemlerinin her biri için ortalama ev içi YBKR değerleri, dünya ortalaması olan % 0.169 değerinden düşük bulunmuştur.

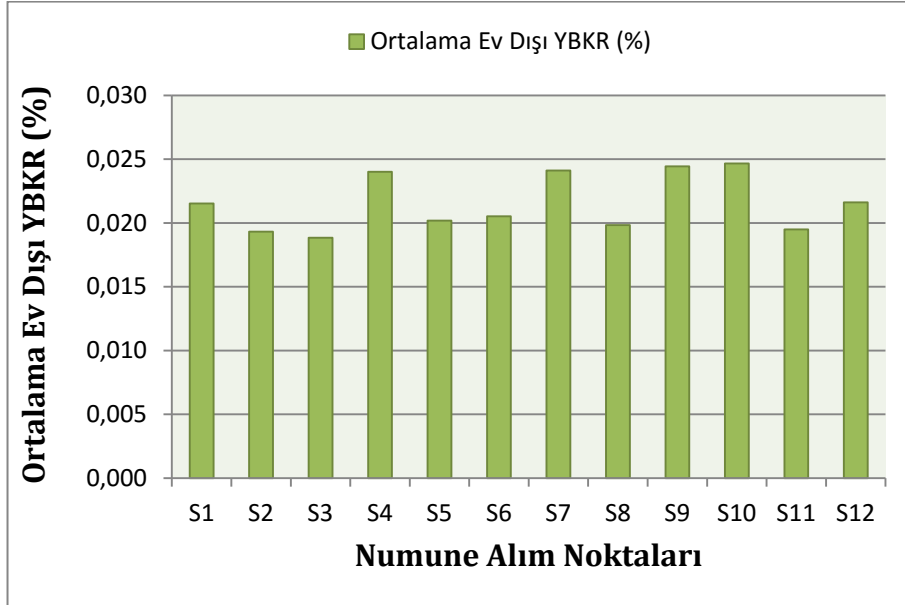
Gerek ev dışı gerekse ev içi YBKR sonuçlarına bakıldığında, Eğirdir Gölü ve çevresinde YBKR olasılığının en yüksek olduğu yer S10 noktası (Senirkent) olarak hesap edilmiştir. S10 (Senirkent) için ev dışı YBKR ve ev içi YBKR değerleri sırasıyla; % 0.025 ve % 0.188 olarak ölçülmüştür. Eğirdir Gölü ve çevresinde YBKR olasılığının en düşük olduğu yer S3 noktası (Barla) olarak hesap edilmiştir. S3 (Barla) için ev dışı YBKR ve ev içi YBKR değerleri sırasıyla; % 0.019 ve % 0.144 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.6. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev dışı yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçları

Ev dışı Yaşam Boyu Kanser oluşma Riski (%)			
	Haziran	Kasım	Mevsimsel Ort.
S1	0.018	0.025	0.022
S2	0.022	0.017	0.019
S3	0.022	0.015	0.019
S4	0.027	0.021	0.024
S5	0.019	0.021	0.020
S6	0.021	0.020	0.021
S7	0.021	0.027	0.024
S8	0.019	0.021	0.020
S9	0.023	0.026	0.024
S10	0.025	0.025	0.025
S11	0.024	0.015	0.019
S12	0.022	0.022	0.022
Ortalama	0.022	0.021	0.022



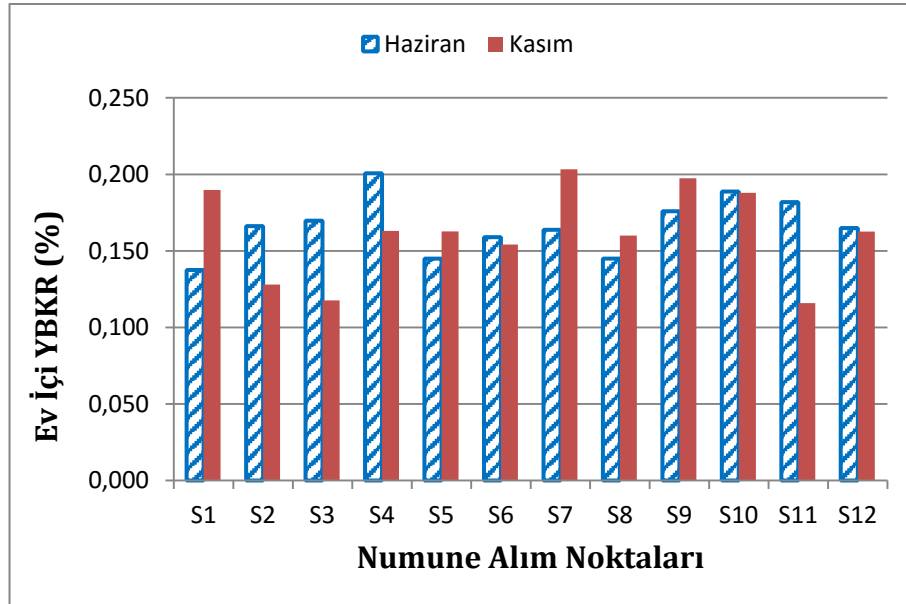
Şekil 4.13. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev dışı yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçları



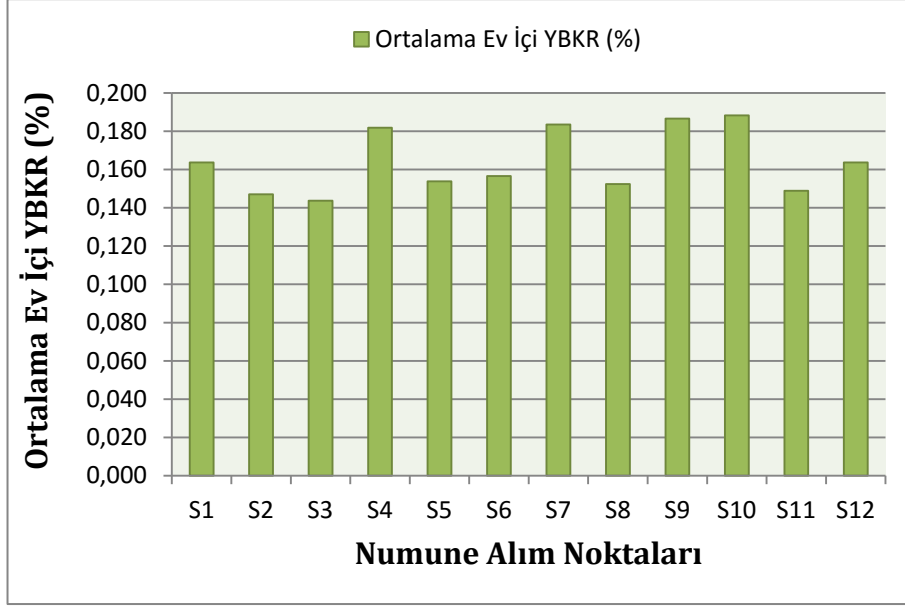
Şekil 4.14. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev dışı yaşam boyu kanser oluşma riski mevsimsel ortalama sonuçları

Çizelge 4.7. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev içi yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçları

Ev İçi Yaşam Boyu Kanser oluşma Riski (%)			
	Haziran	Kasım	Mevsimsel Ort.
S1	0.138	0.190	0.164
S2	0.166	0.128	0.147
S3	0.170	0.118	0.144
S4	0.201	0.163	0.182
S5	0.145	0.163	0.154
S6	0.159	0.154	0.157
S7	0.164	0.203	0.184
S8	0.145	0.160	0.152
S9	0.176	0.197	0.187
S10	0.189	0.188	0.188
S11	0.182	0.116	0.149
S12	0.165	0.163	0.164
Ortalama	0.167	0.162	0.164



Şekil 4.15. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev içi yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçları



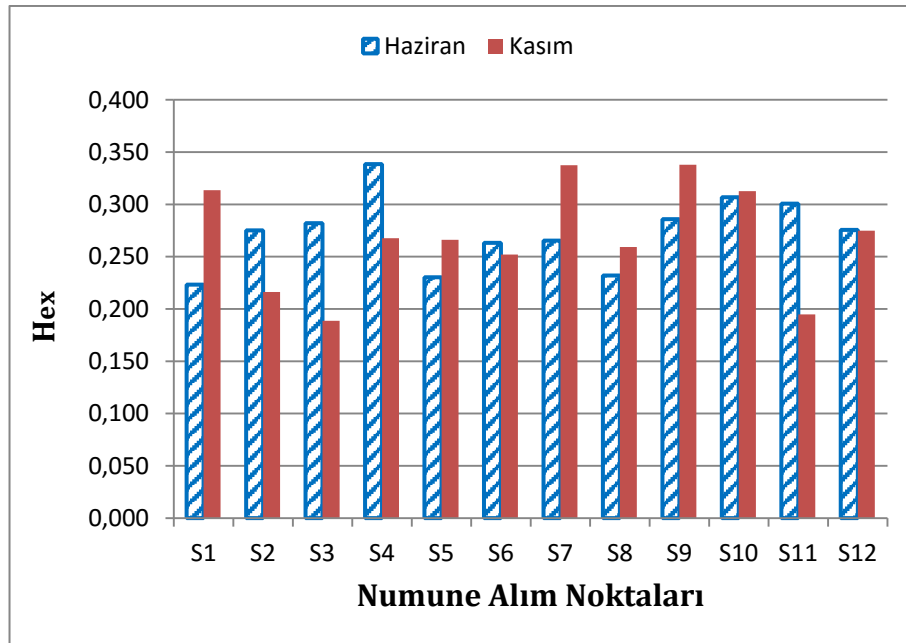
Şekil 4.16. Haziran ve Kasım dönemleri karasal gama radyasyonu kaynaklı ev içi yaşam boyu kanser oluşma riski mevsimsel ortalama sonuçları

4.1.5. Dış ortam tehlike indeksi ve iç ortam tehlike indeksi sonuçları

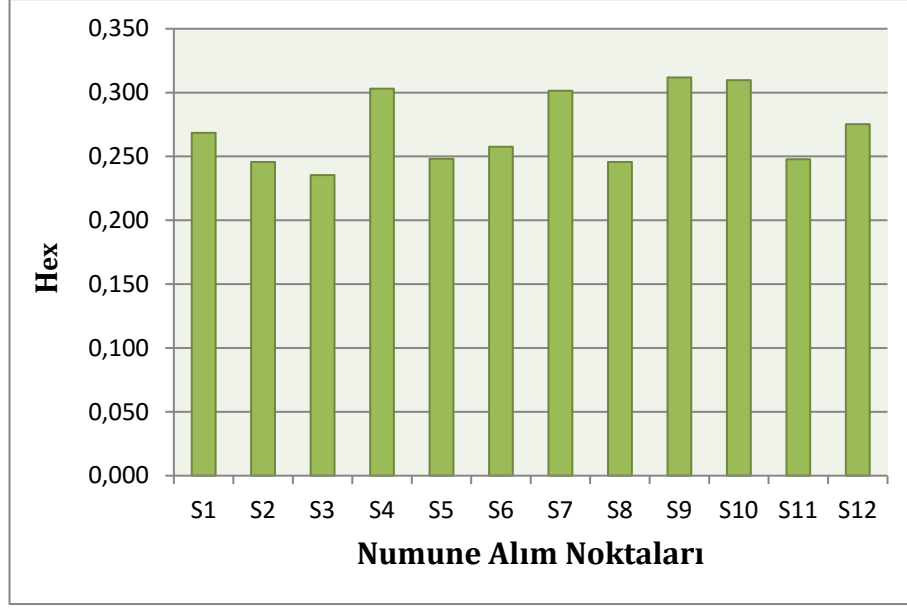
Dış ortam tehlike indeksi ve iç ortam tehlike indeksi hesaplamalarına ait sonuçlar Çizelge 4.8 – Çizelge 4.9 ve Şekil 4.17 – Şekil 4.20 de gösterilmiştir. Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’ dan görülebileceği üzere, sediment numunelerindeki, dış ortam ve iç ortam tehlike indeksi mevsimsel ortalama sonuçlarına göre, tüm ölçüm noktalarının sonuç değerleri, tehlike limit değeri olan 1’ den küçük bulunmuş olup, belirgin bir tehlike seviyesine rastlanmamıştır. Analiz edilen on iki numune içinde Haziran ve Kasım dönemleri ortalamasının alındığı, mevsimsel ortalama sonuçlarına göre; dış ortam ve iç ortam tehlike indeksinin en yüksek olduğu yer S9 noktası (Taşevi) olup sırasıyla, 0.312 ve 0.433 olarak hesap edilmiştir.

Çizelge 4.8. Haziran ve Kasım dönemleri dış ortam tehlike indeksi sonuçları

Dış Ortam Tehlike İndeksi (Hex)			
	Haziran	Kasım	Mevsimsel Ort.
S1	0.223	0.314	0.268
S2	0.275	0.216	0.246
S3	0.282	0.189	0.235
S4	0.339	0.268	0.303
S5	0.230	0.266	0.248
S6	0.263	0.252	0.258
S7	0.265	0.337	0.301
S8	0.232	0.259	0.246
S9	0.286	0.338	0.312
S10	0.307	0.313	0.310
S11	0.301	0.195	0.248
S12	0.276	0.275	0.275
Ortalama	0.273	0.268	0.271



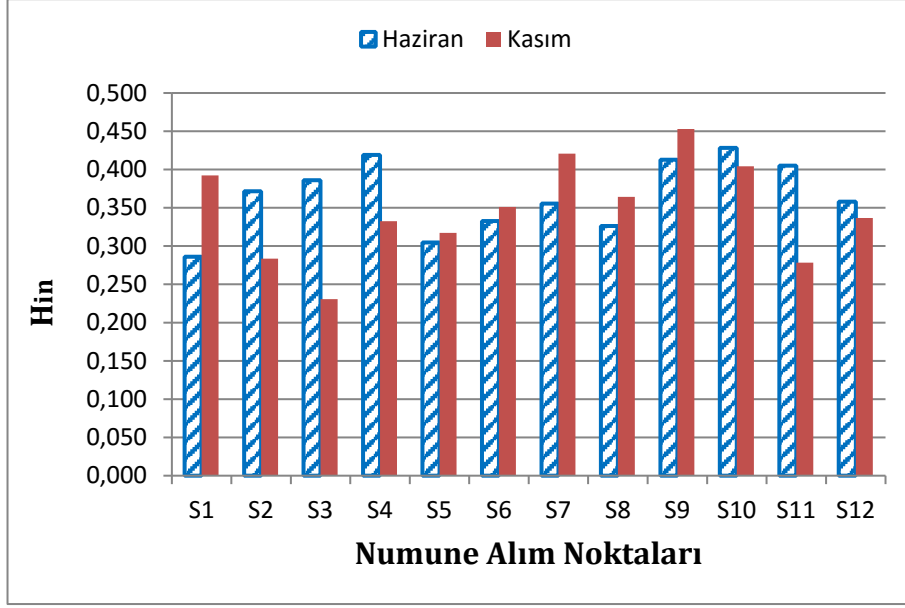
Şekil 4.17. Haziran ve Kasım dönemleri dış ortam tehlike indeksi sonuçları



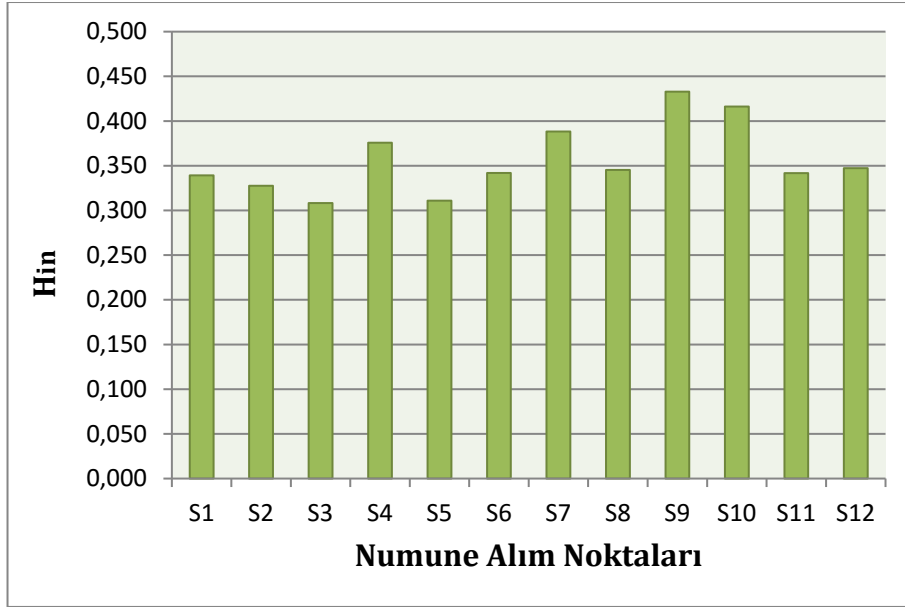
Şekil 4.18. Haziran ve Kasım dönemleri dış ortam tehlike indeksi mevsimsel ortalama sonuçları

Çizelge 4.9. Haziran ve Kasım dönemleri iç ortam tehlike indeksi sonuçları

İç Ortam Tehlike İndeksi (H_{in})			
	Haziran	Kasım	Mevsimsel Ort.
S1	0.286	0.392	0.339
S2	0.372	0.284	0.328
S3	0.386	0.231	0.308
S4	0.419	0.333	0.376
S5	0.305	0.317	0.311
S6	0.333	0.351	0.342
S7	0.356	0.421	0.388
S8	0.326	0.364	0.345
S9	0.413	0.453	0.433
S10	0.428	0.404	0.416
S11	0.405	0.278	0.342
S12	0.358	0.337	0.347
Ortalama	0.365	0.347	0.356



Şekil 4.19. Haziran ve Kasım dönemleri iç ortam tehlike indeksi sonuçları



Şekil 4.20. Haziran ve Kasım dönemleri iç ortam tehlike indeksi mevsimsel ortalama sonuçları

4.2. Su Numunelerinden Elde Edilen Araştırma Bulguları

4.2.1. Toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ölçüm sonuçları

İsparta Eğirdir Gölü'ndeki sulara toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin ölçüm sonuçları Çizelge 4.10 – Çizelge 4.11'da ve Şekil 4.21 – Şekil 4.24'de

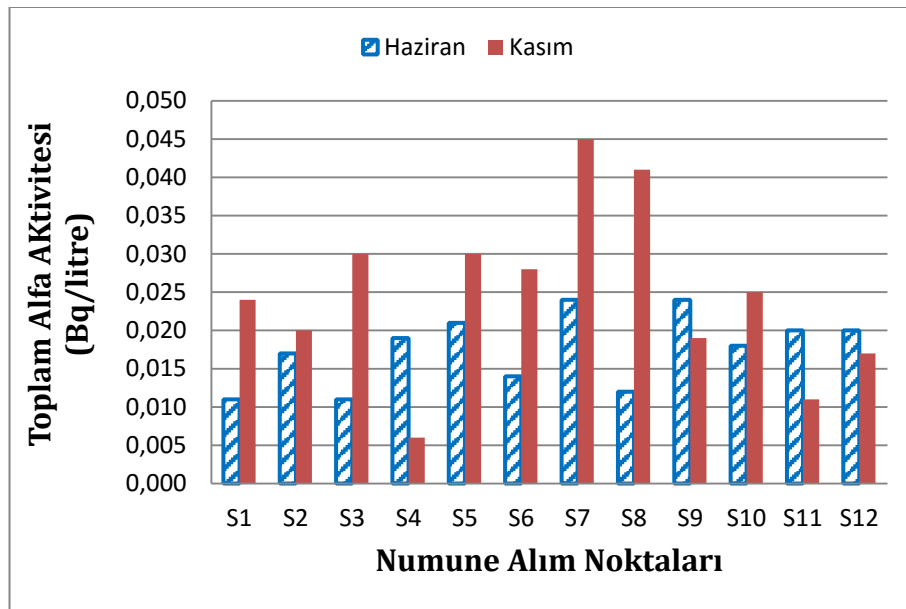
görülmektedir. Su numunelerindeki toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ölçüm sonuçları incelendiğinde, sediment örneklerindeki benzer şekilde, Haziran ve Kasım dönemi sonuçlarında farklılıklar gözlenmiştir. Tüm numune alım noktalarının ortalama sonuçlarına bakıldığında; ortalama toplam alfa aktivitesi Haziran ve Kasım dönemlerinde sırasıyla; 0.018 ve 0.025 Bq/litre olarak ölçülürken, ortalama toplam beta aktivitesi için bu değerler Haziran ve Kasım dönemi için sırasıyla; 0.074 ve 0.093 Bq/litre olarak ölçülmüştür.

İki dönemin ortalamaları alınarak yapılan hesaplamalarda, toplam alfa aktivitesinin en yüksek olduğu yer S7 noktası (Gölün Derin Bölgesi) 0.035 Bq/litre olarak ölçülmüştür. Bu değer, TAEK tarafından 2013 yılında yayınlanan Türkiye ortalaması değeri olan 0.063 Bq/litre değerinden düşüktür. Buna ek olarak, WHO tarafından 2004 yılında yayımlanan raporda içme suları için belirlenmiş olan limit değer olarak belirtilen 0.5 Bq/litre değerinden oldukça düşüktür. Numune alım noktaları içerisinde toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu yer S4 noktası (Hacılar – Gelendost) 0.013 Bq/litre olarak ölçülmüştür. Toplam alfa aktivitesi açısından, tüm numune alım noktalarının mevsimsel ortalaması 0.021 Bq/litre olarak ölçülmüş olup, Türkiye ortalamasından ve uluslararası limit değerinden düşüktür.

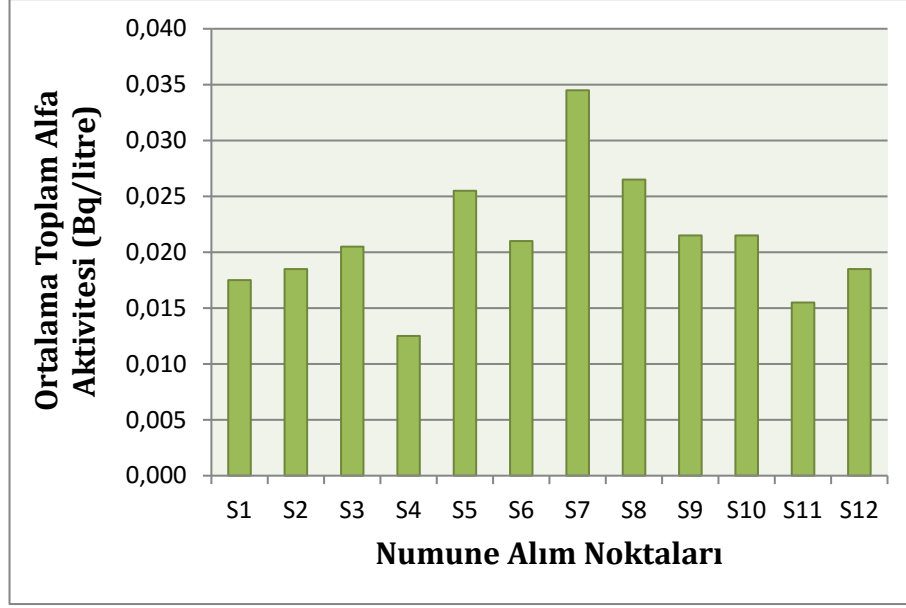
İki dönemin ortalamaları alınarak yapılan hesaplamalarda, toplam beta aktivitesinin en yüksek olduğu yer S1 noktası (Çay Dere Ağzı) 0.1 Bq/litre olarak ölçülmüştür. Bu değer, TAEK tarafından 2013 yılında yayınlanan Türkiye ortalaması değeri olan 0.098 Bq/litre değerinden yüksektir. Buna ek olarak, WHO tarafından 2004 yılında yayımlanan raporda içme suları için belirlenmiş olan limit değer olarak belirtilen 1 Bq/litre değerinden oldukça düşüktür. Numune alım noktaları içerisinde toplam beta aktivitesinin en düşük olduğu yerler S6 noktası (Bedre Plajı), S8 noktası (Altinkum Plajı) ve S10 noktası (Senirkent) 0.075 Bq/litre olarak ölçülmüştür. Toplam beta aktivitesi açısından, tüm numune alım noktalarının mevsimsel ortalaması 0.083 Bq/litre olarak ölçülmüş olup, Türkiye ortalaması olan 0.098 Bq/litre değerinden ve WHO limit değeri olan 1 Bq/litre den düşüktür.

Çizelge 4.10. Toplam alfa aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri sonuçları (Bq/litre)

Numune Alım Noktaları	Haziran	Kasım	Mevsimsel Ortalama
S1	0.011	0.024	0.018
S2	0.017	0.020	0.019
S3	0.011	0.030	0.021
S4	0.019	0.006	0.013
S5	0.021	0.030	0.026
S6	0.014	0.028	0.021
S7	0.024	0.045	0.035
S8	0.012	0.041	0.027
S9	0.024	0.019	0.022
S10	0.018	0.025	0.022
S11	0.020	0.011	0.016
S12	0.020	0.017	0.019
Ortalama	0.018	0.025	0.021



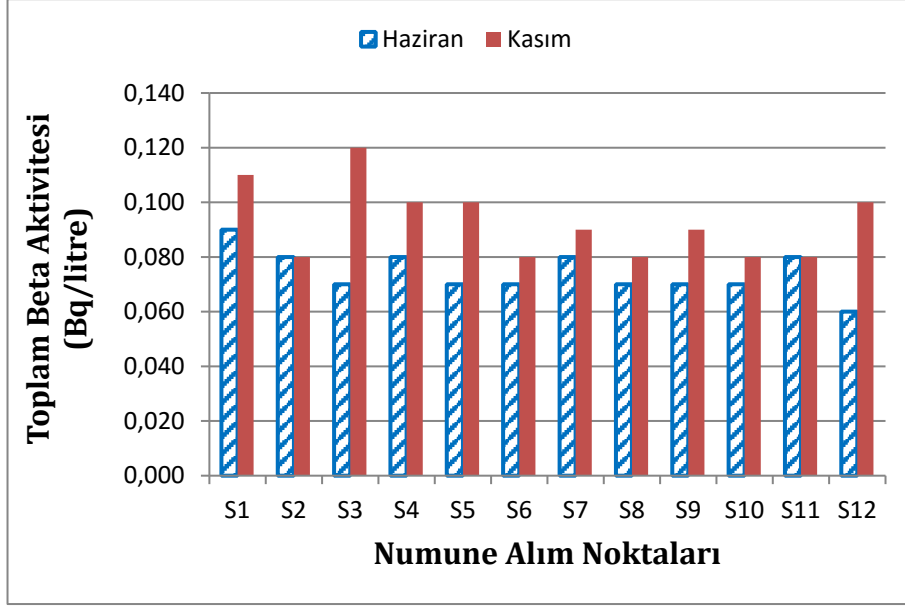
Şekil 4.21. Toplam alfa aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri karşılaştırmalı ölçüm sonuçları



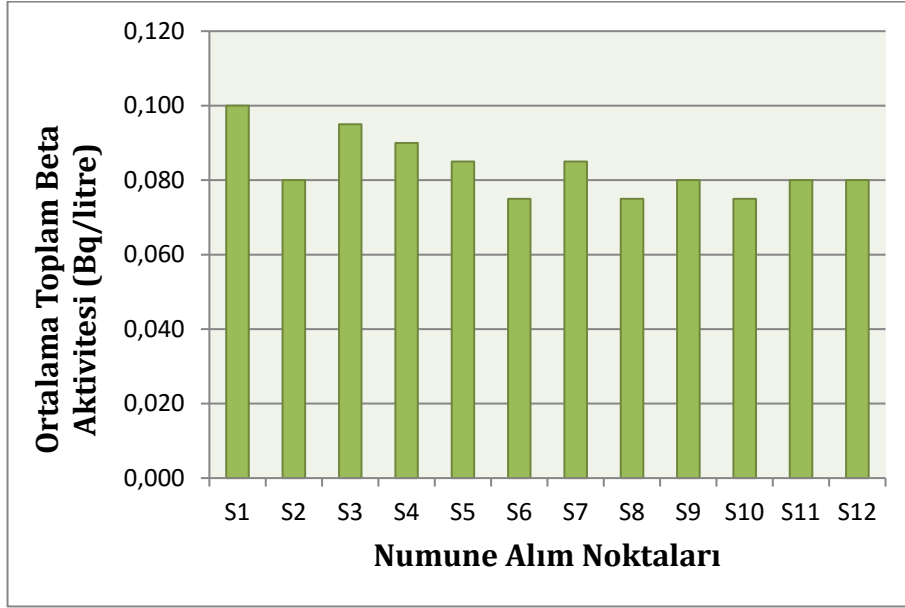
Şekil 4.22. Toplam alfa aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri mevsimsel ortalama ölçüm sonuçları

Çizelge 4.11. Toplam beta aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri sonuçları (Bq/litre)

Numune Alım Noktası	Haziran	Kasım	Mevsimsel Ortalama
S1	0.090	0.110	0.100
S2	0.080	0.080	0.080
S3	0.070	0.120	0.095
S4	0.080	0.100	0.090
S5	0.070	0.100	0.085
S6	0.070	0.080	0.075
S7	0.080	0.090	0.085
S8	0.070	0.080	0.075
S9	0.070	0.090	0.080
S10	0.070	0.080	0.075
S11	0.080	0.080	0.080
S12	0.060	0.100	0.080
Ortalama	0,074	0,093	0,083



Şekil 4.23. Toplam beta aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri karşılaştırmalı ölçüm sonuçları



Şekil 4.24. Toplam beta aktivitesi Haziran ve Kasım dönemleri mevsimsel ortalama ölçüm sonuçları

4.2.2. Yıllık etkin doz eşdeğeri ölçüm sonuçları

Sularda toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin ölçülmesi sonrasında, uygun dönüşüm faktörleri kullanılarak; su içilmesine bağlı olarak iç ışınlama kaynaklı, değişik yaş grupları için yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Bu

hesaplamalara ait sonuçlar Çizelge 4.12 – Çizelge 4.14 de ve Şekil 4.25 – Şekil 4.26 de görülmektedir.

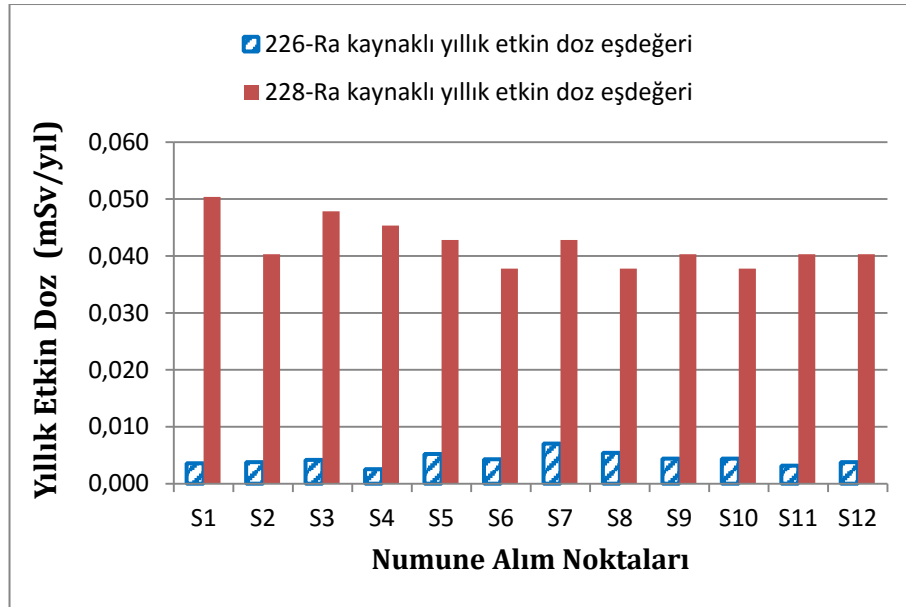
Çizelge 4.14’ den görülebileceği üzere, yetişkin yaştakiler için yıllık etkin doz eşdeğerinin büyük bir kısmının beta aktivitesi kaynaklı olduğu görülmüştür. Hem toplam alfa aktivitesi hem de toplam beta aktivitesi kaynaklı, Eğirdir Gölü sularında ölçülen toplam yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçlarına göre; Eğirdir Gölü ve çevresinde yıllık etkin doz eşdeğerinin en yüksek olduğu yer S1 noktası (Çay Dere Ağzı) 0.054 mSv/yıl olarak hesap edilmiştir. Yıllık etkin doz eşdeğerinin en düşük olduğu yerler ise S6 (Bedre Plajı) ve S10 (Senirkent) 0.042 mSv/yıl olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.12. Su içilmesine bağlı olarak farklı yaş grupları için ²²⁶Ra alfa aktivitesi kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğeri (mSv/yıl)

Numune Alım Noktaları	0-1 yaş	1 yaş	5 yaş	10 yaş	15 yaş	Yetişkin
S1	0.025	0.006	0.004	0.005	0.014	0.004
S2	0.026	0.006	0.004	0.005	0.015	0.004
S3	0.029	0.007	0.004	0.006	0.017	0.004
S4	0.018	0.004	0.003	0.004	0.010	0.003
S5	0.036	0.009	0.006	0.007	0.021	0.005
S6	0.030	0.007	0.005	0.006	0.017	0.004
S7	0.049	0.012	0.007	0.010	0.028	0.007
S8	0.038	0.009	0.006	0.007	0.022	0.005
S9	0.031	0.007	0.005	0.006	0.018	0.004
S10	0.031	0.007	0.005	0.006	0.018	0.004
S11	0.022	0.005	0.003	0.004	0.013	0.003
S12	0.026	0.006	0.004	0.005	0.015	0.004
Ortalama	0.030	0.007	0.005	0.006	0.017	0.004

Çizelge 4.13. Su içilmesine bağlı olarak farklı yaş grupları için ^{228}Ra beta aktivitesi kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğeri (mSv/yıl)

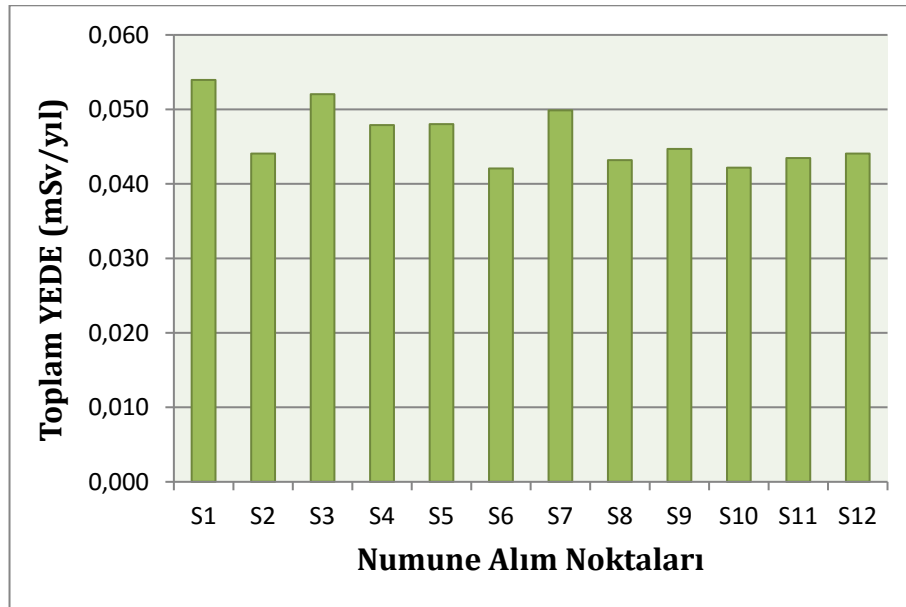
Numune Alım Noktaları	0-1 yaş	1 yaş	5 yaş	10 yaş	15 yaş	Yetişkin
S1	0.750	0.200	0.119	0.137	0.292	0.050
S2	0.600	0.160	0.095	0.109	0.233	0.040
S3	0.713	0.190	0.113	0.130	0.277	0.048
S4	0.675	0.180	0.107	0.123	0.262	0.045
S5	0.638	0.170	0.101	0.116	0.248	0.043
S6	0.563	0.150	0.089	0.102	0.219	0.038
S7	0.638	0.170	0.101	0.116	0.248	0.043
S8	0.563	0.150	0.089	0.102	0.219	0.038
S9	0.600	0.160	0.095	0.109	0.233	0.040
S10	0.563	0.150	0.089	0.102	0.219	0.038
S11	0.600	0.160	0.095	0.109	0.233	0.040
S12	0.600	0.160	0.095	0.109	0.233	0.040
Ortalama	0.625	0.166	0.099	0.114	0.243	0.042



Şekil 4.25. Su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaştakiler için ^{226}Ra alfa ve ^{228}Ra beta aktiviteleri kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğerleri (mSv/yıl)

Çizelge 4.14. Su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaştakiler için ^{226}Ra alfa ve ^{228}Ra beta aktiviteleri kaynaklı toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri (mSv/yıl)

Yetişkin Yaştakiler için Toplam Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)	
S1	0.054
S2	0.044
S3	0.052
S4	0.048
S5	0.048
S6	0.042
S7	0.050
S8	0.043
S9	0.045
S10	0.042
S11	0.043
S12	0.044
Ortalama	0.046



Şekil 4.26. Su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaştakiler için toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri (mSv/yıl)

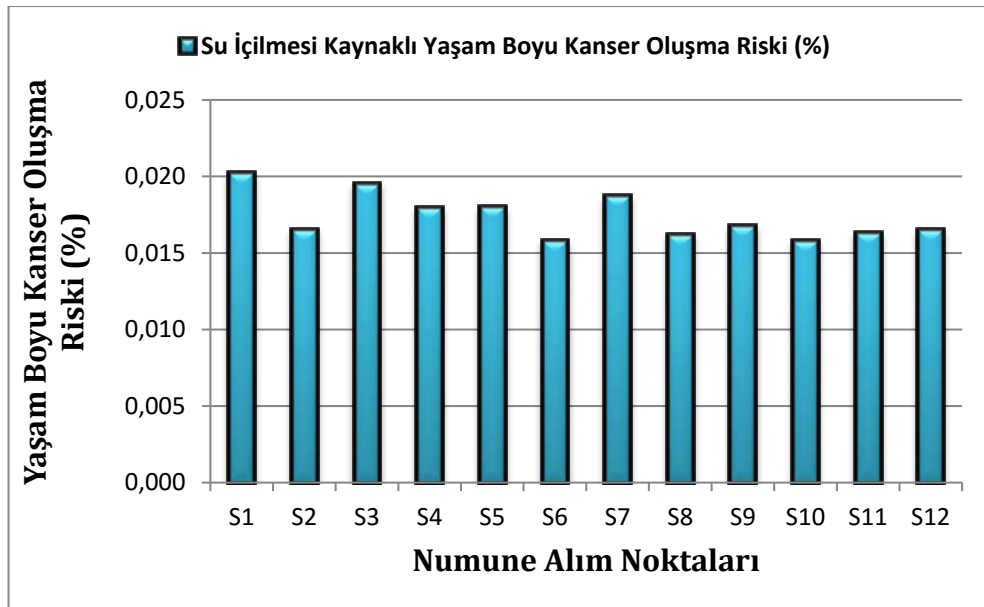
4.2.3. Yaşam boyu kanser oluşturma riski sonuçları

Yıllık etkin doz eşdeğerinin hesaplanması sonrasında, WHO ve IAEA tarafından önerilen uygun dönüşüm katsayıları kullanılarak yetişkin yaştakiler için yaşam boyu kanser oluşturma riski hesap edilmiştir. Bu hesaplamalara ait sonuçlar, Çizelge 4.15 ve Şekil 4.27'de görölmektedir.

Çizelge 4.15'den de görölebileceği üzere, Eğirdir Gölü'ndeki su numunelerinde gerçekleştirilen ölçümlerde, su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaştakiler için hesap edilen yaşam boyu kanser oluşma riski sonuçlarının, tüm ölçüm noktalarında birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Haziran ve Kasım dönemleri ortalamaları alınarak, yetişkin yaştakiler için hesap edilen yaşam boyu kanser oluşma riski % 0.017 olarak hesap edilmiştir. Eğirdir Gölü ve çevresinde su içilmesine bağlı olarak yaşam boyu kanser oluşma riskinin en yüksek olduğu yerler, S1 (Çay Dere Ağzı) ve S3 (Barla) % 0.020 olarak hesap edilmiştir. S6 (Bedre Plajı), S8 (Altinkum Plajı), S10 (Senirkent) ve S11 (Pupa Çayı Ağzı) ise, % 0.016 değeri ile su içilmesine bağlı olarak yaşam boyu kanser oluşma riskinin en düşük olduğu noktalar olarak hesap edilmiştir.

Çizelge 4.15. Su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaştakiler için hesap edilen yaşam boyu kanser oluşma riski

Yetişkin Yaştakiler için Yaşam Boyu Kanser oluşma Riski (%)	
S1	0.020
S2	0.017
S3	0.020
S4	0.018
S5	0.018
S6	0.016
S7	0.019
S8	0.016
S9	0.017
S10	0.016
S11	0.016
S12	0.017
Ortalama	0.017



Şekil 4.27. Su içilmesine bağlı olarak yetişkin yaştakiler için hesap edilen yaşam boyu kanser oluşma riski

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

İnsanların, yaşamış oldukları coğrafya nedeniyle, yaşamları boyunca maruz kaldıkları doğal radyoaktivite miktarının bilinmesi; olası sağlık riskleri açısından önemlidir. Düşük doz radyasyona uzun süre maruz kalınması, özellikle kanser epidemiyolojisi açısından araştırılması gereken konuların başında gelmektedir. Bu nedenle, Isparta ili sınırları içerisinde yer alan ve Türkiye' nin ikinci büyük tatlı su gölü olan Isparta – Eğirdir Gölü' nün doğal radyoaktivite seviyesi belirlenmiştir. Haziran ve Kasım olarak iki farklı dönemde, on iki farklı noktadan alınan sediment numunelerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları; su numunelerinde ise toplam alfa – toplam beta aktiviteleri ölçülmüştür. Buna ek olarak, sediment ve su numuneleri için yaşam boyu kanser oluşturma riskleri hesap edilmiştir.

Sediment numunelerinden elde edilen ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla 32, 29 ve 354 Bq/kg olarak ölçülmüş olup, bu sonuç değerleri, TAEK tarafından 2013 yılında yayımlanan 27.56, 32.65 ve 439.93 Bq/kg Türkiye ortalama değerleri ile karşılaştırılabilir seviyededir. ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları Türkiye ortalamasından düşük elde edilirken, ^{238}U aktivite konsantrasyonu daha yüksek ölçülmüştür. Buna ek olarak, UNSCEAR tarafından 2000 yılında yayımlanan raporda bu radyonüklitler için belirtilen sırasıyla 35, 30 ve 400 Bq/kg dünya ortalama değerlerinden düşüktür. Diğer taraftan, bu çalışmada ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için elde edilen spesifik aktivite konsantrasyonlarının; Turhan vd. (2007) Göller Bölgesi için yapmış olduğu çalışmanın ortalama spesifik aktivite konsantrasyonları olan sırasıyla, 196.9, 232.4 ve 1325.8 Bq/kg değerlerinden oldukça düşük olduğu görülmektedir. Buna ek olarak; Osmanlıoğlu vd. (2007) Gaziantep ili için yaptıkları doğal radyoaktivite çalışmasında belirtilen ortalama değerler olan sırasıyla, 25.2, 23.7 ve 289.2 Bq/kg den yüksektir. Diğer taraftan, Koray vd. (2017) tarafından Zonguldak ilinin doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmanın ortalama değerleri olan sırasıyla, 28.8, 29.3 ve 395 Bq/kg ye oldukça yakındır. Bu çalışmada, Isparta – Eğirdir Gölü'nden alınan sediment numuneleri için hesap edilen ortalama ev dışı YBKR ve ev içi YBKR değerleri sırasıyla, %

0.022 ve % 0.164 olup; bu değer Türkiye ortalaması olan % 0.024 den düşük, dünya ortalaması olan % 0.022 ile eşittir.

Su numunelerinde bu çalışmada elde edilen ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite değerleri sırasıyla, 0.021 Bq/litre ve 0.083 Bq/litre olarak ölçülmüş olup; TAEK tarafından 2013 yılında yayımlanan 0.063 Bq/litre ve 0.098 Bq/litre Türkiye ortalama değerlerinden düşüktür. Buna ek olarak, WHO tarafından 2004 yılında yayımlanan, toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri için limit değerleri olan sırasıyla, 0.5 Bq/litre ve 1 Bq/litre den oldukça düşük olup; WHO (2004) raporu tavsiyelerine göre herhangi bir ek işleme gerek olmadığı belirtilmiştir. Diğer taraftan, bu çalışmada toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri için elde edilen ortalama değerler; Değerlier'in (2007) Seyhan Gölü su numunelerinde elde ettiği ortalama toplam alfa ve ortalama toplam beta aktiviteleri için sırasıyla, 0.012 Bq/litre ve 0.055 Bq/litre değerlerinden yüksektir. Öte yandan, bu çalışmada 0.021 Bq/litre ortalama toplam alfa aktivitesi; Külahçı ve Doğru'nun (2006) Keban Baraj Gölü'ndeki, Özmen vd. (2004) Hazar Gölü'ndeki ve Erentürk'ün (2014) Van Gölü'ndeki su numunelerinden elde ettiği ortalama toplam alfa aktiviteleri olan sırasıyla, 0.0605 Bq/litre, 1.19 Bq/litre ve 0.74 Bq/litre değerlerinden düşüktür. Buna ek olarak, bu çalışmada elde edilen 0.083 Bq/litre ortalama toplam beta aktivitesi; Külahçı ve Doğru'nun (2006) Keban Baraj Gölü'ndeki, Özmen vd. (2004) Hazar Gölü'ndeki ve Erentürk'ün (2014) Van Gölü'ndeki su numunelerinden elde ettiği ortalama toplam beta aktiviteleri olan sırasıyla, 0.055 Bq/litre, 0.080 Bq/litre ve 0.020 Bq/litre değerlerinden yüksektir. Bu çalışmada, Isparta - Eğirdir Gölü'nden alınan su numuneleri için hesap edilen ortalama YBKR % 0.017 olup; bu değer Türkiye ortalaması olan % 0.023 den düşüktür.

Sediment numunelerinde dönemler arasındaki aktivite konsantrasyonları farklılığı, ortalama göl derinliğinin düşük olması ve dolayısıyla rüzgâr kaynaklı akıntıların dip sedimenti içeriğinin yıl içinde değişimine neden olması ile ilişkilendirilebilir. Su numunelerinde iki farklı dönemde ki gerek toplam alfa gerekse toplam beta aktivitesindeki artış; sediment örneklerindeki benzer şekilde rüzgâr kaynaklı akıntıyla, gölü besleyen yer altı su kaynakları ve

akarsuların yıl içinde değişiklik göstermesi ile ilişkilendirilebilir. Buna ek olarak; Kesici vd. (2017) belirttiği gibi, Eğirdir Gölü'nün tabanından bol miktarda kaynak suları ile beslenmesi ve göl suyunun 1/3'ünün her yıl yenilenmesinin de, toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin dönemler içerisinde farklılık göstermesine neden olabileceği düşünülmektedir.

Numune alınan on iki noktanın ve mevsimsel ortalama sonuçlarının, spesifik aktivite ve yaşam boyu kanser oluşturma riski değerleri açısından Türkiye ve dünya ortalamaları seviyesine yakın olduğu görülmüştür. Hesaplanan radyasyon tehlike indeksi değerlerinin, limit değerlerin altında olması, Eğirdir Gölü ve çevresinde yaşayanların belirgin bir risk altında olmadıklarını göstermektedir. Ölçüm sonuçlarındaki kesinlik ve doğruluğun artırılması için, numune alım noktalarının sayısının artırılması faydalı olabilecektir.

Bunlara ek olarak, numune alımları sırasında Eğirdir Gölü tabanında yosunlanma miktarının ciddi boyutlarda olduğu dikkat çekmiştir. Özellikle Hoyran bölgesindeki yosunlanmanın numune alım işlemlerini oldukça zorladığını belirtmek gerekmektedir. Sadece Eğirdir bölgesi için değil, aynı zamanda Isparta ve çevresi için çok önemli bir tatlı su kaynağı olan, Eğirdir Gölü'nde ki su miktarının özellikle Kasım döneminde çok büyük düşüşler gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca, özellikle Hoyran bölgesinde, Pupa Çayı Ağzı kısmında evsel atıkların yoğunluğu dikkat çekmiştir. Meyve bahçelerinin yoğun olduğu Gelendost bölgesinde, zirai tarım ilacı atıklarının gölde büyük çaplı kirliliğe neden olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, İ., Mavi, B., Akyıldırım, H., Günoğlu, K., 2009. Natural radioactivity of coals and its risk assessment. *International Journal of Physical Sciences* Vol. 4 (7), p:403-406
- Akkurt, İ., Oruncak, B. ve Günoğlu, K., 2010. Natural radioactivity and dose rates in commercially used marble from Afyonkarahisar – Turkey. *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 5 (2), 170-173.
- Akkurt, İ. ve Günoğlu, K., 2014. Natural Radioactivity Measurements and Radiation Dose Estimation in Some Sedimentary Rock Samples in Turkey. Hindawi Publishing Corporation Science and Technology of Nuclear Installations Volume 2014.
- Akyıl, S., Aytas, S., Türközü D.A., Aslani M.A.A., Yusan, S., Eral, M., 2009. Radioactivity levels in surface water of lakes around Izmir/Turkey. *Radiation Measurements*, 44, 390–395.
- Beretka, J. ve Matthew, P. J., 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Physics*, 48, 87–95.
- Bor, D., 2019. Radyasyon Ölçüm Yöntemleri Erişim Tarihi: 09.07.2019. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/59937/mod_resource/content/0/Konu%20%20Orant%C4%B1%C4%B1%20saya%C3%A7lar.pdf
- Damla, N., Cevik, U., Karahan, G., Kobya, A.I., 2006. Gross alfa and beta activities in tap waters in Eastern Black Sea Region of Turkey. *Chemosphere* 62, 957–960.
- Değerlier, M., 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 175s, Adana.
- Değerlier, M., Karahan, G., Ozger, G., 2008. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity* 99, 1018-1025.
- Department of Mines and Petroleum, 2010. Managing naturally occurring radioactive material (NORM) in mining and mineral processing guideline. NORM 5 Dose assessment: Resources Safety, Department of Mines and Petroleum, Western Australia.

- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarı Şube Müdürlüğü, 2019. Erişim Tarihi: 09.07.2019 <http://takk.dsi.gov.tr/laboratuvarlar>
- Erentürk, S., Yusan, S., Türközü, D.A., Camtakan, Z., Ölgen, M.K., Aslani, M.A.A., Aytaş, Ş., Işık, M.A., 2014. Spatial distribution and risk assessment of radioactivity and heavy metal levels of sediment, surface water and fish samples from Lake Van, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 300, 919-931.
- European Commission, 1999. Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. Rapor No: Radiation protection, 112, 16s.
- Fernández, F., Lozano, J.C., Gómez, J.M.G., 1992. Natural Radionuclides in Ground Water in Western Spain. *Radiation Protection Dosimetry*, 45(1-4), 227-229.
- Ghiassi-nejad, M., Mortazavi, S. M. J., Cameron, J. R., Niroomand-rad, A., Karam, P. A., 2002, Very High Background Radiation Areas of Ramsar, Iran Preliminary Biological Studies. *Health Physics*, 82(1), 87-93.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) No:115, 1995. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 1996. Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725, IAEA/PI/A47E.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) TECDOC-1363, 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. 173s.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) TECDOC-1472, 2004. Naturally occurring radioactive materials (NORM IV), 574s.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP) Publication 65, 1993. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23, 45s.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP) Publication 103, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 323s.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.)

- Isinkaye ve Emelue, 2015. Natural Radioactivity Measurements and Evaluation of Radiological Hazard Oguta Kale, Nigeria. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 8, 459-469.
- Isparta Belediye Başkanlığı, 2010. 2010 Yılı Faaliyet Raporu, 227s.
- Jankovic, M.M., Todorovic, D.J., Todorovic, N.A., Nikolov, J., 2012. Natural radionuclides in drinking waters in Serbia. *Applied Radiation and Isotopes* 70(12), 2703-2710.
- Kesici, E. ve Kesici, C., 2006. Eğirdir Gölü (Isparta)'nın Doğal Yapısına Yapılan Müdahalelerin Gölün Ekolojik Yapısına Etkileri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi* Cilt 23, Ek/Suppl. (1/1): 99-103.
- Keskin, M. E., Aksoy, Y. R., Aksoy, A. S., Yılmazkoç, B., 2017. Göl Seviye Tahmini: Eğirdir Gölü. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 5(3), 601 - 608.
- Koray, A., Akkaya, G., Kahraman, A., Kaynak, G., Baldık, R., 2017. The Investigation of Radionuclide Concentrations in Soil and Lifetime Cancer Risk Due to Gamma Radioactivity in Zonguldak, Turkey. *Acta Physica Polonica A*, Vol 132, 1122-1125. DOI: 10.12693/APhysPolA.132.1122
- Külahçı, F. ve Doğru, M., 2006. Physical and chemical investigation of water and sediment of the Keban Dam Lake, Elazığ, Turkey: Part 2: distribution of radioactivity, heavy metals and major elements. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 268, 529-537.
- Malain, D., Regan, P. H., Bradley, D. A., Matthews, M., Al-Sulaiti, H. A., Santawamaitre, T., 2012. An Evaluation of the Natural Radioactivity in Andaman Beach Sand Samples of Thailand After the 2004 Tsunami. *Applied Radiation and Isotopes* 70, 1467-1474.
- Mavi, B., 2010. Isparta'daki Bazı Yapı Malzemelerinde Doğal Radyoaktivite Tayini. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 93s, Isparta
- Mavi, B. ve Akkurt, İ., 2010. Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta, Turkey. *Radiation Physics and Chemistry* 79, 933-937.
- National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) Report No:136, 2001. Evaluation of the Linear-Nonthreshold Dose-Response Model for Ionizing Radiation, 283s.
- Osmanlioğlu, A. E., Kam, E., Bozkurt, A., 2007. Assessment Of Background Radioactivity Level For Gaziantep Region Of Southeastern Turkey. *Radiation Protection Dosimetry* (2007), Vol. 124, No. 4, 407-410.

- Osmond, J.K ve Ivanoich, M., 1992. Equilibrium-series disequilibrium, in: M. Ivanovich, ed. Application to Earth Marine and Environmental Sciences, Clarendon Press, Oxford
- Otansev, P., Karahan, G., Kam, E., Barut, İ., Taşkın, H., 2012. Assesment of Natural Radioactivity Concentrations and Gamma Dose Rate Levels in Kayseri, Turkey . Radiation Protection Dosimetry, Vol. 148, No. 2, 227–236.
- Özmen, H., Külahçı, F., Çukurovalı, A., Doğru, M., 2004. Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey). Chemosphere, 55, 401–408.
- Qureshi, A. A., Tariq, S., Din, K. U., Manzoor, S., Calligaris, C., Waheed, A., 2014. Evaluation of Excessive Lifetime Cancer Risk Due to Natural Radioactivity in the Rivers Sediments of Northern Pakistan. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 7, 438-447.
- Rutherford, E. ve Soddy, F., 1902. The Cause and Nature of Radioactivity I, II. Philosophical Magazine IV, 370–96, 569–85.
- Saito, K. ve Jacob, P., 1995. Gamma ray fields in the air due to sources in the ground. Radiat. Prot. Dosim. 58(1): 29-45.
- Shuaibu, H. K., Khandaker, M. U., Alrefae, T., Bradley, D.A., 2017. Assessment of Natural Radioactivity and Gamma-Ray Dose in Monazite Rich Black Sand Beach of Penang Island, Malaysia. Marine Pollution Bulletin 119, 423–428.
- TAEK Bilgi Köşesi, 2016. Doğal Radyasyon Kaynakları Erişim Tarihi: 10.10.2018. <http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html>
- TAEK Bilgi Köşesi, 2018. Öğrenciler İçin, Radyasyon Erişim Tarihi: 14.10.2018. http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_03.html#2
- Tari, M., Zarandi, S. A. M., Mohammadi, K., Zare, M. R., 2013. The Measurement of Gamma-Emitting Radionuclides in Beach Sand Cores of Coastal Regions of Ramsar, Iran Using HPGe Detectors. Marine Pollution Bulletin 74, 425–434.
- Taşkın, H., Karavus, M. Ayb, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S., Karahan, G., 2009. Radionuclide Concentrations in Soil and Lifetime Cancer Risk Due to Gamma Radioactivity in Kırklareli Turkey. Journal of Environmental Radioactivity 100, 49–53.
- Thabayneh, K. M. ve Jazzar, M. M., 2012. Natural Radioactivity Levels and Estimation of Radiation Exposure in Environmental Soil Samples from Tulkarem Province-Palestine. Open Journal of Soil Science 2, 7-16.

- Turhan, Ş., Yücel, H., Gündüz, L., Şahin, Ş., Vural, M., Parmaksız, A., Demircioğlu, B., 2007. Natural radioactivity measurement in pumice samples used raw materials in Turkey. *Applied Radiation and Isotopes* 65, 350–354.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), 2013. Türkiye Çevresel Radyoaktivite Atlası. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 29s, Ankara.
- Tzortzis, M., Tsertos, H., Christofides, S., Christodoulides, G., 2003. Gamma radiation measurements and dose rates in commercially-used natural tiling rocks (granites). *Journal of Environmental Radioactivity*, 70(3), 223- 235.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Unscear 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, 654s.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Unscear 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, 683s.
- United States Environmental Protection Agency (USA-EPA), 1988. Federal Guideline Report No. 11. Limiting values of radionuclide intake and air concentration and dose conversion factors for inhalation, submersion and ingestion. EPA 520/1-88-020. Washington, DC, USA.
- Veiga, R., Sanches, N., Anjos, R.M., Macario, K., Bastos, J., Iguatemy, M., Aguiar, J.G., Santos, A.M.A., Mosquera, B., Carvalho, C., Baptista Filho, M., Umisedo, N.K., 2006. Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands. *Radiation Measurements*, 41 (2006) 189–196.
- World Health Organization, 2004. Guidelines for Drinking-water Quality 3rd Edition. World Health Organization, 515s, Geneva.
- World Health Organization (WHO), 2015. World Health Statistics 2015. World Health Organization, 162s, Luxemburg.
- Zorer, O.S. ve Şahan, T., 2011. The concentration of ^{238}U and the levels of gross radioactivity in surface waters of the Lake Van (Turkey). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 288, 417–421.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Alper ÖZSEVEN

Doğum Yeri ve Yılı : Adana, 1983

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : alperozseven@sdu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Adana Ticaret Odası Anadolu Lisesi, 2001

Lisans : ODTÜ, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 2007

Yüksek Lisans : Ankara Üniv., Nükleer Bilimler Enst., Medikal Fizik 2010

Mesleki Deneyim

Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi Radyasyon
Onkolojisi Ana Bilim Dalı 2011-..... (halen)