

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VAN GÖLÜ BATI VE KUZAY KIYISINDA RADYOAKTİVİTE, RADON VE
AĞIR ELEMENTLERİN ANALİZİ



DOKTORA TEZİ
Halime KAYAKÖKÜ

Anabilim Dalı: Fizik
Programı: Nükleer Fizik

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut DOĞRU

NİSAN - 2018

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

**VAN GÖLÜ BATI VE KUZAY KIYISINDA RADYOAKTİVİTE, RADON VE
AĞIR ELEMENTLERİN ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ
Halime KAYAKÖKÜ
(102114201)**

**Anabilim Dalı: Fizik
Programı: Nükleer Fizik**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut DOĞRU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 27.03.2018

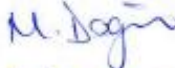


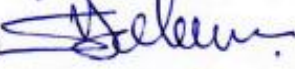

NİSAN-2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VAN GÖLÜ BATI VE KUZAY KIYISINDA RADYOAKTİVİTE, RADON VE AĞIR
ELEMENTLERİN ANALİZİ

DOKTORA TEZİ
Halime KAYAKÖKÜ
(102114201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Mart 2018
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Nisan 2018

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mahmut DOĞRU (F.Ü) 
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ercan AKSOY (F.Ü) 
Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN (A.Ü) 
Prof. Dr. Sezai YALÇIN (B.E.Ü) 
Prof. Dr. Soner ÖZGEN (F.Ü) 

NİSAN-2018

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında teorik ve deneysel bilgi ve tecrübeleri ile değerli görüşlerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mahmut DOĞRU'ya sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Zorlu arazi ve laboratuvar çalışmaları esnasında hep yanımda olan, en büyük destekçim eşim Oğuzhan Hakan KAYAKÖKÜ'ne çok teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen aileme ve moral kaynağım canım oğlum ÇINAR'ıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Radyoaktivite analizlerinin yapılması esnasında yardımlarını esirgemeyen Akdeniz Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN'a ve Öğr.Gör. Dr. S. Fatih ÖZMEN'e, toplam alfa ve beta analizlerini gerçekleştiren Yüzüncü Yıl Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Özlem Selçuk ZORER'e, metal analizlerinin gerçekleştirilmesine katkıda bulunan Bitlis Eren Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Şükrü HAYTA'ya, radon analizlerinin yapılmasında emeği geçen Bitlis Eren Üniversitesi Dr. Öğretim Üyesi M. Fatih KULUÖZTÜRK'e ve laboratuvardaki çalışmalar sırasında bize yardımcı olan Uzman Ercan ERCAN'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde **FÜBAP-FF.14.22** nolu proje ile destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi (FÜBAP)'ne de çok teşekkür ederim.

Halime KAYAKÖKÜ
ELAZIĞ-2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ	XIII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XVII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XIX
1. GİRİŞ.....	1
2. RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE	3
2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	4
2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları	4
2.3. Radyasyon Birimleri.....	8
2.4. Topraktaki Doğal Radyoaktivite	9
2.5. Sularda Doğal Radyoaktivite.....	9
2.6. Yapay Radyoçekirdekler	11
2.6.1. ¹³⁷ Cs (Sezyum-137).....	11
2.6.2. ⁹⁰ Sr (Stronsiyum-90)	12
2.6.3. ¹²⁹ I (İyot-129)	12
2.7. Radyoçekirdeklerin Taşınması	13
2.8. Radon.....	15
2.8.1. Radonun Oluşumu ve Özellikleri	15
2.8.2. Radon ve Deprem İlişkisi	15
2.8.3. Radon Ölçüm Yöntemleri.....	16
3. AĞIR METALLER VE ANA ELEMENTLER	17
3.1. Ağır Metal Kirliliğine Yol Açan Kaynaklar.....	17
3.1.1. Demir (Fe)	17
3.1.2. Bakır (Cu).....	18

3.1.3. Çinko (Zn)	18
3.1.4. Mangan (Mn).....	18
3.1.5. Kurşun (Pb)	19
3.1.6. Nikel (Ni).....	19
3.1.7. Krom (Cr)	19
3.1.8. Kobalt (Co).....	19
3.1.9. Magnezyum (Mg).....	20
3.1.10. Kalsiyum (Ca)	20
3.1.11. Sodyum (Na)	20
3.1.12. Potasyum (K).....	20
4. MATERYAL VE METOT	21
4.1. Çalışma Sahası ve Özellikleri.....	21
4.1.1. Göllerde Sedimentasyon Olayı.....	21
4.1.2. Gölün Kimyası.....	22
4.1.3. Bölgenin Genel Jeolojisi ve Tektonik Evrimi	22
4.2. Örnek Alma Dönemleri ve Noktalarının Belirlenmesi.....	24
4.3. Van Gölü Batı ve Kuzey Kıyısından Alınan Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin Alınması ve Gama Spektrometrik Analizler İçin Hazırlanması	25
4.3.1. Toprak Örneklerinin Alınması ve Hazırlanması	26
4.3.2. Su Örneklerinin Alınması ve Hazırlanması.....	26
4.3.3. Dip Çamuru Örneklerinin Alınması ve Hazırlanması	27
4.4. Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin ⁹⁰ Sr ve ¹²⁹ I Analizleri.....	29
4.4.1. Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin ⁹⁰ Sr ve ¹²⁹ I Analizleri İçin Hazırlanması	29
4.5. Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Analizleri	30
4.5.1. Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Analizleri İçin Hazırlanması.....	30
4.5.2. Toplam Alfa ve Toplam Beta Sayım Sistemi.....	31
4.5.3. Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivitelerinin Hesaplanması	32

4.6.	Toprak, Dip Çamuru ve Su Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizi	33
4.6.1.	Gama Spektrometrik Analizlerde Kullanılan HPGe Detektör Sistemi	33
4.6.1.1.	HPGe Detektör Sisteminin Enerji ve Verim Kalibrasyonu	34
4.6.1.2.	Minimum Dedekte Edilebilen Aktivite (MDA)	36
4.6.1.3.	Spektrum Analizi	37
4.7.	Doğal Gama Işınlama Doz Hızlarının Belirlenmesi	37
4.8.	Gama Işınlama Doz Hesaplamaları	38
4.8.1.	Havada Soğurulmuş Doz Oranı (D)	38
4.8.2.	Ra Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})	39
4.8.3.	Yıllık Etkin Doz Oranı (YEDO)	39
4.8.4.	İç ve Dış Tehlike İndeksleri (H_{in} , H_{ex})	39
4.8.5.	Ömür Boyu Kanser Riski (ÖBKR)	40
4.9.	Radon Analizi ve Doz Hesaplamaları	40
4.9.1.	CR-39 Pasif Nükleer İz Dedektörleri	40
4.9.2.	Kimyasal İz Kazıma İşlemi	41
4.9.3.	Radon İz Okuma Sistemi	42
4.9.4.	Radon Konsantrasyon Hesaplamaları	43
4.9.5.	Efektif Radyum İçeriği (EC_{Ra})	43
4.9.6.	Radon Yüzeysel Yayılım Oranları (E_s) ve Kütle Yayılım Oranları (E_m)	44
4.10.	Ağır Metal ve Ana Element Analizleri	44
4.10.1.	Ağır Metal ve Ana Element Analizleri İçin Örnek Hazırlama ve Sayım Sistemi	44
4.10.2.	Ağır Metal ve Ana Element Analizleri İçin Kullanılan Sistem ve Analiz İşlemleri	45
5.	BULGULAR	47
5.1.	Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Analiz Sonuçları	47
5.1.1.	İlkbahar ve Sonbahar Döneminde Alınan Yüzeysel Su Örnekleri ile İlkbahar Döneminde Alınan Orta ve Dip Su Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Analiz Sonuçları	47
5.1.2.	İlkbahar Döneminde Alınan Dip Çamuru Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Analiz Sonuçları	60

5.1.3.	İlkbahar Döneminde Alınan Toprak Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Analiz Sonuçları	64
5.1.4.	Sonbahar Döneminde Alınan Toprak Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Analiz Sonuçları	65
5.2.	Radyoçekerdek Aktivite Analiz Sonuçları	68
5.2.1.	İlkbahar ve Sonbahar Döneminde Van Gölü'nden Alınan Su Örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I Radyoaktivite Konsantrasyonları	68
5.2.1.1.	İlkbahar ve Sonbahar Döneminde Van Gölü'nden Alınan Yüzey, Orta ve Dip Su Örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs Radyoaktivite Konsantrasyonları..	68
5.2.1.2.	İlkbahar ve Sonbahar Döneminde Van Gölü'nden Alınan Yüzey Su Örnekleri ile İlkbahar Döneminde Alınan Orta ve Dip Su Örneklerinin ^{90}Sr ve ^{129}I Radyoaktivite Konsantrasyonları.....	71
5.2.2.	İlkbahar Dönemi Dip Çamuru Örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I Radyoaktivite Konsantrasyonları	76
5.2.3.	İlkbahar Dönemi Toprak Örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I Radyoaktivite Konsantrasyonları	81
5.2.4.	Sonbahar Dönemi Toprak Örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I Radyoaktivite Konsantrasyonları	84
5.3.	Açık Havada Ölçülen Soğurulmuş Gama Doz Hızı (D) Değerleri	86
5.4.	Doz Hesaplamaları	89
5.4.1.	İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Su Örnekleri İçin Doz Hesaplamaları.....	89
5.4.1.1.	İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Yüzey, Orta ve Dip Su Örnekleri İçin Doz Hesaplamaları	89
5.4.2.	İlkbahar Dönemi Dip Çamuru Örnekleri İçin Doz Hesaplamaları.....	89
5.4.3.	İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Toprak Örnekleri İçin Doz Hesaplamaları .	92
5.5.	Radon Analizi ve Doz Hesaplamaları	97
5.5.1.	İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Su Örnekleri İçin Radon Doz Hesaplama Değerleri	97
5.5.1.1.	İlkbahar Dönemi Yüzey, Orta ve Dip Su Örnekleri İçin Radon Doz Hesaplama Değerleri	97

5.5.1.2. Sonbahar Dönemi Yüzey Su Örnekleri İçin Radon Doz Hesaplama Değerleri	100
5.5.2. İlkbahar Dönemi Dip Çamuru Örnekleri İçin Radon Doz Hesaplama Değerleri	103
5.5.3. İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Toprak Örnekleri İçin Radon Doz Hesaplama Değerleri	105
5.6. Su, Dip Çamuru ve Toprak Örnekleri İçin Ağır Metal ve Ana Element Konsantrasyonları.....	108
5.6.1. İlkbahar Dönemi Yüzey, Orta ve Dip Su Örnekleri İçin Ağır Metal ve Ana Element Konsantrasyonları	109
5.6.2. Sonbahar Dönemi Yüzey Su Örnekleri İçin Ağır Metal ve Ana Element Konsantrasyonları.....	114
5.6.3. İlkbahar Dönemi Dip Çamuru Örnekleri İçin Ağır Metal ve Ana Element Konsantrasyonları.....	116
5.6.4. İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Toprak Örnekleri İçin Ağır Metal ve Ana Element Konsantrasyonları	119
5.6.5. Korelasyon Katsayılar Matrisi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	125
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	129
7. ÖNERİLER.....	141
KAYNAKLAR.....	142
EKLER	154
ÖZGEÇMİŞ	167

ÖZET

Bu çalışmada, aktif fay hatlarının geçtiği Tatvan, Ahlat, Adilcevaz ve Erciş ilçelerinin bulunduğu Van Gölü batı ve kuzey kıyısında belli mesafelerde ve derinliklerde alınan su, dip çamuru ve toprak örneklerinde, doğal radyoaktif (^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th ve ^{40}K) analizler gerçekleştirildi. Bunun yanı sıra, örneklerin tamamında radon konsantrasyonları ve radon yayılım parametreleri ile komşu ülkelerde enerji üretiminde kullanılmakta olan güç reaktörlerinden kaynaklanan herhangi bir radyoaktif bulaşmanın olup olmadığını belirlemek amacıyla, ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoizotop analizleri de yapıldı. Ayrıca, ağır metal kirliliğinin olup olmadığını tespit etmek için, örneklerin tamamında ağır metal (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr ve Co) konsantrasyonları ile birlikte, ana element (Mg, Ca, Na ve K) konsantrasyonları belirlendi. Sonuçlar; bölgelerin jeolojik, coğrafik ve iklimsel özelliklerin yanı sıra mevsimsel özellikleri de dikkate alınarak uygun istatistiksel analizlerin yardımıyla yorumlandı.

Anahtar Kelimeler: Doğal Radyoaktivite, Yapay Radyoaktivite, Radon, Ağır Metal, Doz Hızı, Van Gölü.

SUMMARY

Radioactivity, Radon and Heavy Elements Analysis on the Western and Northern Shores of Lake Van

In this study, analyses of natural radioactivity (^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th and ^{40}K) were performed in water, deep mud and soil samples taken from specific locations and depths on the western and northern shores of Lake Van in Tatvan, Ahlat, Adilcevaz and Erciş districts, through which active earthquake fault lines pass. Additionally, the concentrations of radon and radon diffusion parameters and in order to determine whether any radioactive contamination from the power reactor is used for energy production in neighbouring countries ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{129}I radioisotope analyses were performed in all samples. In addition, to determine whether heavy metal pollution, the concentrations of main element (Mg, Ca, Na and K) together with the heavy metal concentrations (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr and Co) were performed in all the samples. The results were interpreted by using statistical analyses considering the geological, geographical and climatic features of the regions as well as their seasonal features.

Key Words: Natural Radioactivity, Artificial Radioactivity, Radon, Heavy Metal, Dose Rate, Lake Van.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Çeşitli doğal kaynaklardan maruz kalınan radyasyon doz oranları.....	3
Şekil 2.2. Nükleer kararlılık grafiği.....	5
Şekil 2.3. Uranyum bozunum zinciri.....	7
Şekil 2.4. Toryum bozunum zinciri.....	8
Şekil 2.5. Çevreye yayılmış radyoaktif kaynaklar ve sağlık etkileri arasındaki temel yollar.....	13
Şekil 2.6. Yüzey ve yer altı sularına geçmiş radyoaktif maddeler ile insanlar arasındaki yollar.....	14
Şekil 2.7. Radyoaktif maddelerin hava ile insanlara geçiş yolları.....	14
Şekil 4.1. a) Çalışma sahasının lokasyonu, b) Bölgenin genel jeolojik birimleri...	23
Şekil 4.2. Doğu Anadolu genel tektonik haritası.....	23
Şekil 4.3. Van Gölü ve çevresinin jeolojik yapısı.....	24
Şekil 4.4. Van Gölü'nde ve kıyısındaki örnek toplama noktaları.....	25
Şekil 4.5. (a) Ekman Birge dip çamuru alma kepçesi, (b) Hydro bios su örneği alma tüpü.....	28
Şekil 4.6. Van Gölü ve kıyısından alınan toprak, su ve dip çamuru örnekleri.....	28
Şekil 4.7. Toplam alfa ve beta sayım sistemi.....	31
Şekil 4.8. Gama spektrometre sistemi.....	33
Şekil 4.9. Enerji kalibrasyon eğrisi.....	35
Şekil 4.10. Verim kalibrasyon eğrisi.....	36
Şekil 4.11. Taşınabilir gama radyasyonu ölçüm cihazı.....	38
Şekil 4.12. İçerisine örnek ve CR-39 pasif iz dedektörü yerleştirilmiş silindirik örnek kabı.....	41

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.13. Radon iz okuma sistemi	42
Şekil 4.14. CR-39 dedektörüne çarpan alfa parçacıklarının bıraktıkları izler	43
Şekil 4.15. Ağır metal ve ana element analiz sistemi için örnek kalibrasyon eğrisi (Cr ve Na için)	45
Şekil 4.16. Ağır metal ve ana element analizleri için kullanılan sistem.....	46
Şekil 4.17. ICP-OES Spektrometresi.....	46
Şekil 5.1. İlkbahar dönemi yüzey su örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi	49
Şekil 5.2. Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinde toplam alfa radyoaktivitesinin mevsimsel olarak değişimi	51
Şekil 5.3. Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinde toplam beta radyoaktivitesinin mevsimsel olarak değişimi.....	51
Şekil 5.4. Sonbahar dönemi yüzey su örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi	52
Şekil 5.5. Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite ortalamalarının mevsimsel olarak değişimi	53
Şekil 5.6. İlkbahar dönemi orta su örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi.....	56
Şekil 5.7. İlkbahar dönemi dip su örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi	57
Şekil 5.8. Van Gölü'nden alınan yüzey, orta ve dip su örneklerinin ortalama toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri	57
Şekil 5.9. İlkbahar dönemi orta su örneklerinde toplam alfa radyoaktivitesinin derinliğe bağlı olarak değişimi	59
Şekil 5.10. İlkbahar dönemi orta su örneklerinde toplam beta radyoaktivitesinin derinliğe bağlı olarak değişimi	59
Şekil 5.11. İlkbahar dönemi dip su örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesinin derinliğe bağlı olarak değişimi	60
Şekil 5.12. İlkbahar dönemi dip çamuru örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesinin derinliğe bağlı olarak değişimi.....	62

Şekil 5.13. Van Gölü dip çamuru örneklerinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması	63
Şekil 5.14. İlkbahar dönemi toprak örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi.....	65
Şekil 5.15. Sonbahar dönemi toprak örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi	67
Şekil 5.16. İlkbahar dönemi Y.S-3 yüzey su örneği için gama spektrumu	68
Şekil 5.17. İlkbahar dönemi Y.S-8 yüzey su örneği için gama spektrumu	69
Şekil 5.18. İlkbahar dönemi O.S-1 orta su örneği için gama spektrumu.....	69
Şekil 5.19. İlkbahar dönemi D.S-19 dip su örneği için gama spektrumu.....	70
Şekil 5.20. Background için gama spektrumu	70
Şekil 5.21. Van Gölü'nden alınan yüzey, orta ve dip sularının ortalama ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktiviteleri	76
Şekil 5.22. Van Gölü dip çamuru örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K (A, B, C) aktivite konsantrasyonları	78
Şekil 5.23. İlkbahar dönemi D.Ç-10 dip çamuru örneği için gama spektrumu.....	80
Şekil 5.24. İlkbahar dönemi T-11 toprak örneği için gama spektrumu	83
Şekil 5.25. İlkbahar dönemi toprak örneklerine ait ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon	83
Şekil 5.26. Sonbahar dönemi toprak örneklerine ait ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon	84
Şekil 5.27. İlkbahar ve sonbahar döneminde açık havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızı izo-doz haritaları (nGy/saat)	88
Şekil 5.28. İlkbahar dönemi dip çamuru örneklerinde $D_{\text{hesaplanan}}$ ve YEDO değerlerinin karşılaştırılması	89
Şekil 5.29. İlkbahar dönemi dip çamuru örneklerinde H_{in} ve H_{ex} değerlerinin karşılaştırılması	91
Şekil 5.30. İlkbahar dönemi toprak örneklerinde $D_{\text{hesaplanan}}$ ve YEDO değerlerinin karşılaştırılması	93

Şekil 5.31. İlkbahar dönemi toprak örneklerinde H_{in} ve H_{ex} değerlerinin karşılaştırılması	94
Şekil 5.32. Sonbahar dönemi toprak örneklerinde $D_{hesaplanan}$ ve YEDO değerlerinin karşılaştırılması	96
Şekil 5.33. Sonbahar dönemi toprak örneklerinde H_{in} ve H_{ex} değerlerinin karşılaştırılması	96
Şekil 5.34. Yüzey su örneklerinde radon konsantrasyonunun (C_{Rn}) mevsimsel değişimi.....	102
Şekil 5.35. Toprak örneklerinde radon konsantrasyonunun (C_{Rn}) mevsimsel değişimi	108
Şekil 6.1. İlkbahar ve sonbahar dönemi toprak örneklerinde ortalama toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi.....	131
Şekil 6.2. Van Gölü yüzey su örneklerinde ağır metal konsantrasyon ortalamalarının mevsimsel değişimi (ppm)	135
Şekil 6.3. Van Gölü yüzey su örneklerinde ana element konsantrasyon ortalamalarının mevsimsel değişimi (ppm)	135
Şekil 6.4. Van Gölü'nün kıyısından alınan toprak örneklerinde ağır metal konsantrasyon ortalamalarının mevsimsel değişimi (ppm).....	139
Şekil 6.5. Van Gölü'nün kıyısından alınan toprak örneklerinde ana element konsantrasyon ortalamalarının mevsimsel değişimi (ppm)	139

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Bireylerin değişik kaynaklardan maruz kaldıkları ortalama radyasyon dozları.....	4
Tablo 2.2. Yapay radyasyon kaynakları ve maruz kalınan yıllık ortalama etkin doz değerleri	5
Tablo 2.3. Radyoaktif seriler	6
Tablo 2.4. Eski ve yeni radyasyon birimleri ile dönüşüm faktörleri	8
Tablo 4.1. Kalibrasyon kaynağının karakteristik özellikleri	34
Tablo 4.2. HPGe gama spektrometre sisteminin MDA değerleri (t=50.000 s).....	36
Tablo 5.1. İlkbahar dönemi yüzey su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/L)	48
Tablo 5.2. Sonbahar dönemi yüzey su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/L)	50
Tablo 5.3. İlkbahar dönemi orta su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/L)	54
Tablo 5.4. İlkbahar dönemi dip su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/L)	55
Tablo 5.5. İlkbahar dönemi dip çamuru örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/kg).....	61
Tablo 5.6. Van Gölü dip çamuru örneklerinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması	63
Tablo 5.7. İlkbahar dönemi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/kg).....	64
Tablo 5.8. Sonbahar dönemi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/kg).....	66
Tablo 5.9. İlkbahar ve sonbahar dönemi yüzey su örneklerinin ⁹⁰ Sr ve ¹²⁹ I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/L)	71
Tablo 5.10. EPA içme suyu standardı	72

Tablo 5.11. İlkbahar dönemi orta su örneklerinin ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/L)	73
Tablo 5.12. İlkbahar dönemi dip su örneklerinin ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/L).....	75
Tablo 5.13. İlkbahar dönemi dip çamuru örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg).....	77
Tablo 5.14. Van Gölü dip çamuru örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması ...	80
Tablo 5.15. İlkbahar dönemi toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg)	82
Tablo 5.16. Sonbahar dönemi toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg).....	85
Tablo 5.17. Toprak alım istasyonlarının bulunduğu bölgelerde açık havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızı ($D_{\text{ölçülen}}$) değerleri (nGy/saat) (İlkbahar ve sonbahar dönemi)	87
Tablo 5.18. İlkbahar dönemi dip çamuru örnekleri için R_{aeq} , $D_{\text{hesaplanan}}$, YEDO, H_{in} , H_{ex} ve ÖBKR değerleri.....	90
Tablo 5.19. İlkbahar dönemi toprak örnekleri için R_{aeq} , $D_{\text{hesaplanan}}$, YEDO, H_{in} , H_{ex} ve ÖBKR değerleri	92
Tablo 5.20. Sonbahar dönemi toprak örnekleri için R_{aeq} , $D_{\text{hesaplanan}}$, YEDO, H_{in} , H_{ex} ve ÖBKR değerleri	95
Tablo 5.21. İlkbahar dönemi yüzey su örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri	98
Tablo 5.22. İlkbahar dönemi orta su örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri..	99
Tablo 5.23. İlkbahar dönemi dip su örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri...	100
Tablo 5.24. Sonbahar dönemi yüzey su örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri.....	101
Tablo 5.25. İlkbahar dönemi dip çamuru örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri.....	104
Tablo 5.26. İlkbahar dönemi toprak örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri....	106

Sayfa No

Tablo 5.27. Sonbahar dönemi toprak örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri.	107
Tablo 5.28. İlkbahar dönemi yüzey su örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları	109
Tablo 5.29. Ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir ağır metal konsantrasyonları (mg/L).....	110
Tablo 5.30. İlkbahar dönemi orta su örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları	111
Tablo 5.31. Ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir makro (ana) element konsantrasyonları (mg/L).....	112
Tablo 5.32. İlkbahar dönemi dip su örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları	113
Tablo 5.33. Sonbahar dönemi yüzey su örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları	115
Tablo 5.34. İlkbahar dönemi dip çamuru örnekleri için ağır metal konsantrasyonları.....	116
Tablo 5.35. İlkbahar dönemi dip çamuru örnekleri için ana element konsantrasyonları.....	117
Tablo 5.36. Sedimentte ağır metal konsantrasyonları için kabul edilebilir değerler (mg/kg)	118
Tablo 5.37. İlkbahar dönemi toprak örnekleri için ağır metal konsantrasyonları ...	119
Tablo 5.38. Toprak içerisindeki ağır metal sınır değerleri	120
Tablo 5.39. İlkbahar dönemi toprak örnekleri için ana element konsantrasyonları..	121
Tablo 5.40. Sonbahar dönemi toprak örnekleri için ağır metal konsantrasyonları..	123
Tablo 5.41. Sonbahar dönemi toprak örnekleri için ana element konsantrasyonları.....	124
Tablo 6.1. Su örneklerinde ağır ve ana element konsantrasyon ortalamaları (ppm).	136
Tablo 6.2. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre ağır metallerin kalite kriterlerine göre sınır değerleri	137

Tablo 6.3. Toprak ve dip çamuru örneklerinde ağır metal ve ana element konsantrasyon ortalamaları (ppm)	138
Ek 1 Tablo 1.1. Van Gölü su örnekleri için elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması.....	156
Ek 1 Tablo 1.2. Van Gölü dip çamuru örnekleri için elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının, yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması	157
Ek 1 Tablo 1.3. Van Gölü kıyısı toprak örnekleri için elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının, yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması	158
Ek 2 Tablo 1.1. İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.....	160
Ek 2 Tablo 1.2. Sonbahar döneminde Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.....	161
Ek 2 Tablo 1.3. İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan orta su örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.....	162
Ek 2 Tablo 1.4. İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan dip su örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.....	163
Ek 2 Tablo 1.5. İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan dip çamuru örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.....	164
Ek 2 Tablo 1.6. İlkbahar döneminde Van Gölü'nün kıyısından alınan toprak örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.....	165
Ek 2 Tablo 1.7. Sonbahar döneminde Van Gölü'nün kıyısından alınan toprak örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.....	166

KISALTMALAR LİSTESİ

SI	: Uluslararası Birim Sistemi
IAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
ICRU	: Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
NCRP	: Radyasyondan Korunma ve Radyasyon Ölçümleri Ulusal Konseyi
EPA	: Çevresel Koruma Ajansı
USEPA	: Birleşik Devletler Çevresel Koruma Ajansı
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
EC	: Avrupa Topluluğu
HPGe	: Yüksek çözünürlüklü Germanyum radyasyon detektörü
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma- Optik Emisyon Spektrometre
KB-GD	: Kuzeybatı-Güneydoğu
KD-GD	: Kuzeydoğu- Güneybatı
D-B	: Doğu-batı
GPS	: The Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
MDA	: Minimum dedekte edilebilen aktivite
DLA	: Dedeksiyon limitinin altında
ÖA	: Örnek alınamadı
N.D	: Algılanamadı
G.M	: Geiger Müller
NaI (TI)	: Talyum katkılı Sodyum İyodür
NaOH	: Sodyum Hidroksit
D	: Soğurulmuş gama doz hızı
YEDO	: Yıllık Etkin Doz Oranı
ÖBKR	: Ömür Boyu Kanser Riski
H _{in}	: İç tehlike indeksi
H _{ex}	: Dış tehlike indeksi
Raeq	: Radyum eşdeğer aktivitesi

C_{Rn}	: Radon konsantrasyonu
E_s	: Yüzey yayılım oranları
E_m	: Radon kütle yayılım oranları
EC_{Ra}	: Efektif radyum içeriği
NOAA	: Ulusal Okyanus ve Atmosfer Teşkilatı
Ort.	: Ortalama
CCD	: Charge-Couple Device



SEMBOLLER LİSTESİ

α	: Alfa
β^-	: Beta
β^+	: Pozitron
Bq	: Becquerel
Ca	: Kalsiyum
Ci	: Curie
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Gy	: Grey
γ	: Gama
K	: Potasyum
$^{\circ}\text{K}$: Kelvin
kg	: Kilogram
L	: Litre
Mg	: Magnezyum
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
Mn	: Mangan
mSv	: Milisievert
Na	: Sodyum
nGy	: Nanogrey
Ni	: Nikel
nm	: Nanometre
ppm	: Milyonda bir
R	: Röntgen
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
Sv	: Sievert
Zn	: Çinko

1. GİRİŞ

Radyoaktif elementler dünyanın oluşumuyla birlikte doğada yer almış ve çevrede doğal radyasyon seviyesi oluşturmuşlardır. Karasal kaynaklı doğal radyoaktivite düzeyi; bölgenin radyokimyasal durumu, coğrafi konumu, jeolojik yapısı ve radyoaktif çekirdeklerin yeryüzündeki dağılımına göre değişiklikler göstermektedir. Çevrede radyoçekirdeklerin dağılımı ve radyasyon seviyesi bilgisi, karasal ve kozmojenik kaynaklar nedeniyle çevrenin radyasyona ne derece maruz kaldığını değerlendirmek açısından önemlidir.

Radyoaktif kirlilik, sağlığı tehdit eden önemli bir etken olup, çıplak gözle görülemediği için farkına varılamamaktadır. İnsanlar, etkileştikleri çevrede çeşitli kaynaklardan gelen radyasyona maruz kalmaktadırlar. Bu kaynaklardan bazıları, çevrenin doğal yapısında yer almaktadır. Toprak, sediment, hava, su, bitki ve yaşayan organizmalardaki önemli radyoçekirdekler ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th bozunma zincirinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yapay radyoaktivitenin keşfi, atom bombasının geliştirilmesi, nükleer silah denemeleri, nükleer güç reaktörlerinin kullanılması ve nükleer kazalar, background (temel seviye ışınımı, doğal ışınım, çevre radyasyonu, arka plan veya fon radyasyonu) seviyesinde artışa sebep olmaktadır. Çernobil nükleer güç santrali kazası sonrasında, ülkemizin çeşitli bölgelerinde radyoaktif kirlenme tespit edilmiştir.

Bir bölgede radyoaktif kirlenmenin derecesini belirleyebilmek için düzenli ölçümler yapılması gerekmektedir (Yalçın, 1992). Böylece gerekli önlemler alınarak, halk sağlığı da korunmuş olacaktır.

Dünyada nüfusun hızla artması ve son yıllarda teknolojinin gelişmesine bağlı olarak sanayi atıkları çevresel kirlilik sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle kentsel atıkların bulunduğu kanalizasyon sularının nehir ve göllere akıtılması bu bölgelerde kirliliğe sebep olmakta ve sucul ortamlarda yaşayan canlı organizmaları da tehdit etmektedir. Atık sularda bulunan eser elementler, bu suların sulamada kullanılması ve bunun sonucunda besin zincirine girmesiyle halk sağlığı yönünden önem taşımaktadır. Toksik organik atıkların metallerle birleşerek daha toksik hale geçmesi sonucunda büyük sorunlar oluşmaktadır (Sarreyüpoğlu ve Say, 1991).

Su, toprak ve hava yeryüzünde denge halinde olup, birinde kirlilik görüldüğü takdirde, diğerini etkilemekte ve denge bozulmaktadır. Kirliliğin sebepleri, boyutu, kaynakları, engellenebilmesi için neler yapılması gerektiği, yapılan çalışmalarla ortaya konmaktadır (Kor, 1974).

Toprak, suda kirlilik oluşturan metallerin bir bölümünün kaynağı olup (Na, K, Ca, Mg, Bi, Sb, Fe gibi), toksik olan birçok metal ise (Pb, Cd, Ni, Cu, Hg, As, Co, Mn, Zn gibi) çeşitli yollarla (evsel ve endüstriyel atıklar, yakıtlar vb.) suları kirletmektedirler.

Bu çalışmanın temel amacı; aktif fay hatlarının geçtiği Tatvan, Ahlat, Adilceviz ve Erciş ilçelerinin bulunduğu Van Gölü batı ve kuzey kıyısında belli mesafelerde ve derinliklerde alınan su, dip çamuru ve toprak örneklerinde, doğal radyoaktivite (^{226}Ra (^{238}U), ^{232}Th ve ^{40}K) analizleri gerçekleştirmektir. Bunun yanı sıra, örneklerin tamamında radon konsantrasyonları ve radon yayılım parametreleri ile özellikle komşu ülkelerde enerji üretiminde kullanılmakta olan güç reaktörlerinden kaynaklanan herhangi bir radyoaktif bulaşmanın olup olmadığını belirlemek amacıyla, ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoizotop analizlerini de yapmaktır. Ayrıca, ağır metal kirliliğinin olup olmadığını tespit etmek için, örneklerin tamamında ağır metal (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr ve Co) konsantrasyonları ile birlikte, ana element (Mg, Ca, Na ve K) konsantrasyonlarını belirlemektir. Çalışma alanı (örneklem) içerisinde, örnekler ilkbahar (Mayıs) ve sonbahar (Eylül) dönemlerinde alınmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler; bölgenin jeolojik, coğrafik ve iklimsel özelliklerin yanı sıra mevsimsel özellikleri de dikkate alınarak, uygun istatistiksel analizler yapılarak değerlendirilmiştir.

“Van Gölü Batı ve Kuzey Kıyısında Radyoaktivite, Radon ve Ağır Elementlerin Analizi” başlıklı bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi kapsamında **FÜBAP-FF.14.22** nolu proje ile desteklenmiştir.

2. RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE

Radyasyon, diğer adıyla ışınım, parçacıklar halinde ya da elektromanyetik dalgalar şeklindeki enerji yayımını ifade eder. Radyasyon, "parçacık" ve "dalga" olmak üzere iki formdadır.

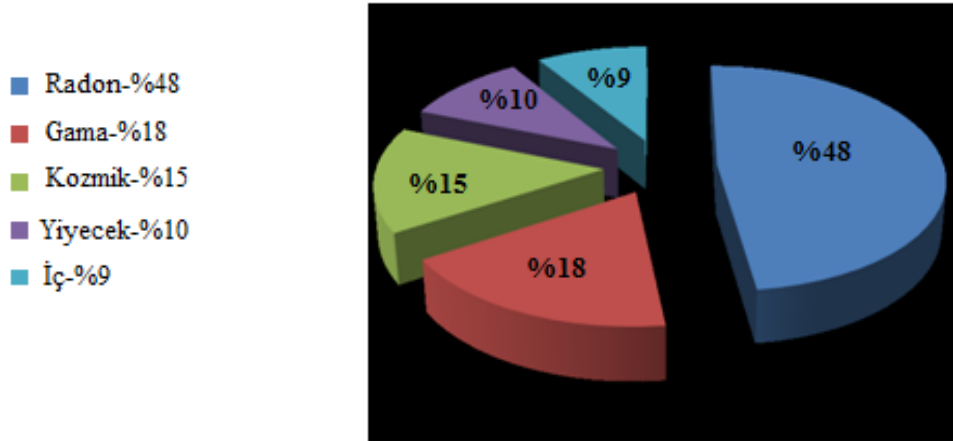
Parçacık ve dalga tipi radyasyonları da kendi içinde ikiye ayrılırlar:

i. İyonlaştırıcı radyasyonlar: Radyasyon madde içinden geçerken ortamdaki atomlar ve moleküller ile etkileşir. Böylece, geçtiği ortama enerji aktarır. Radyasyon ile maddenin etkileşmesi sonucunda, eğer iyonlaşma meydana geliyorsa, bu tür yüksek enerjili radyasyonlara iyonlaştırıcı radyasyonlar denir. Beta parçacıkları, alfa parçacıkları, X-ışınları, gama ışınları ve nötronlar iyonlaştırıcı radyasyonlardır.

ii. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar: Mikrodalgalar, kızılötesi, ultraviyole ve radyo dalgalarıdır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarına örnek olarak, hava durumu radarları, uydu iletişimi, navigasyon sistemleri, cep telefonları, mikrodalga fırınları vs. verilebilir.

İnsanlar ömrü boyunca doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından etkilenmekte olup, yaşanan bölge, bu bölgelerin coğrafik yapısı, binaların yapımında kullanılan malzemeler, mevsimler, yağmur, kar, rüzgâr gibi doğal faktörler, teknolojik gelişmeler, nükleer güç santralleri, nükleer silah denemeleri gibi birçok faktör radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadır.

Şekil 2.1'de çeşitli doğal kaynaklardan maruz kalınan radyasyon dozlarının oranları verilmiştir.



Şekil 2.1. Çeşitli doğal kaynaklardan maruz kalınan radyasyon doz oranları (IAEA, 1996).

2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyon, dünyanın oluşumundan beri var olan ve doğal radyoaktif maddelerden kaynaklanan kozmik, karasal ve içsel radyasyonlardır. Kozmik ışınlar, doğal radyasyonun önemli bir bölümünü oluşturmaktadırlar. Bu ışınların önemli bir bölümü, atmosferden geçerken tutulur ve az bir kısmı ise, yeryüzüne ulaşır. Etki noktasında incelenirse, deniz seviyesinde bulunan bir kişi, deniz seviyesine göre daha yüksekte bulunan veya uçakta yolculuk yapan bir kişiye oranla daha az kozmik radyasyonla etkileşir. Yer kabuğunda yer alan radyoaktif radyum (^{226}Ra) elementinin bozunması sonucunda açığa çıkan radon gazı, doğal radyasyon seviyesini arttıran en önemli etkenlerden biridir. Kapalı ortamlarda radondan gelen doz, binalarda kullanılan yapı malzemelerine, ortamın havalandırılmasına ve jeolojik yapıya bağlıdır (UNSCEAR, 1993). Tablo 2.1 bireylerin değişik kaynaklardan maruz kaldıkları ortalama radyasyon dozlarını göstermektedir (UNSCEAR, 1993).

Tablo 2.1. Bireylerin değişik kaynaklardan maruz kaldıkları ortalama radyasyon dozları

	Radyasyon kaynakları	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (mSv)
Doğal	Deniz seviyesindeki kozmik ışınlar	0,37
	Radon (^{222}Rn ve ^{220}Rn)	1,30
	Potasyum (^{40}K)	0,30
	Diğer doğal kaynaklar	0,40
Yapay	Radyasyonun medikal kullanımı	0,4-1,0
	Nükleer Denemeler	0,01
	Nükleer Güç Üretimi	0,002

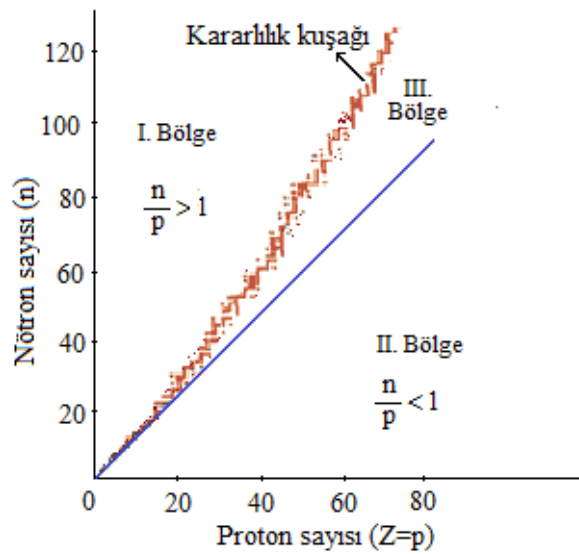
2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Nükleer silahların ve teknolojinin kullanılması, nükleer silah denemeleri ve nükleer güç santrallerindeki kazalardan kaynaklanmaktadır. Örneğin, Çernobil nükleer güç santrali kazası (1986) sonrasında oluşan radyoaktif maddeler bütün Avrupa'ya yayılmıştır. Yapay radyasyon kaynakları ve maruz kalınan yıllık ortalama etkin doz değerleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Yapay radyasyon kaynakları ve maruz kalınan yıllık ortalama etkin doz değerleri (UNSCEAR, 2008).

Kaynak	Yıllık ortalama etkin doz (mSv)	Açıklama
Tıbbi teşhis (terapi hariç)	0,6	Farklı değerler alabilmektedir.
Atmosferik nükleer testler	0,005	Bazı yüksek dozlar hala ölçülmektedir. 1963 yılında 0,11 mSv'lik en yüksek değer ölçülmüştür.
Mesleki ışınlama	0,005	Tüm işçilerin maruz kaldığı yıllık doz 0,7 mSv olmakla birlikte, 0-20 mSv arasında değişebilmektedir (Özellikle maden ocaklarındaki radon nedeniyle).
Çernobil kazası	0,002	1986'da 300 000'den fazla işçinin aldığı doz ortalama 150 mSv'tir. 350 000'den fazla işçi ise, 10 mSv ve yukarı değerlerde doz almışlardır.
Nükleer güç santralleri	0,0002	Güç santrallerinin artmasıyla yükselmekle birlikte, iyileştirme çalışmalarıyla düşürülebilmektedir. Bazı güç santrallerinin 1 km yakınındaki doz 0,02 mSv'ten daha fazladır.
Toplam	0,6	Bireysel dozlar; başlıca tıbbi tedavi, kaza alanları veya testlere yakınlık, meslek nedeniyle ışınlama

Radyoaktiflik (radyoaktivite), kararsız atom çekirdeklerinin atom altı parçacık yayımlama eğilimidir. Olay ilk defa, 1896'da Henry Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Radyoaktif atomların çekirdekleri kararsız olup, kararlılık, atom çekirdeklerinde bulunan nötron ve proton sayılarının oranına bağlıdır. Şekil 2.2'de nükleer kararlılık grafiği gösterilmiştir (Nucleonica, 2010).



Şekil 2.2. Nükleer kararlılık grafiği

Nükleer kararlılık grafiğinde, kırmızı bölge kararlılık kuşağını göstermekte olup, bunun dışındaki yerlerde kararsız çekirdekler bulunmaktadır. Nötron sayısının proton sayısına oranı 1'e yaklaştıkça kararlılık artar. I. bölgede bulunan çekirdekler kararlı hale gelebilmek için β^- bozunumu yaparken, II. bölgede bulunanlar β^+ bozunumu ve III. bölgede bulunan çekirdekler ise, alfa ışınması yapmaktadırlar.

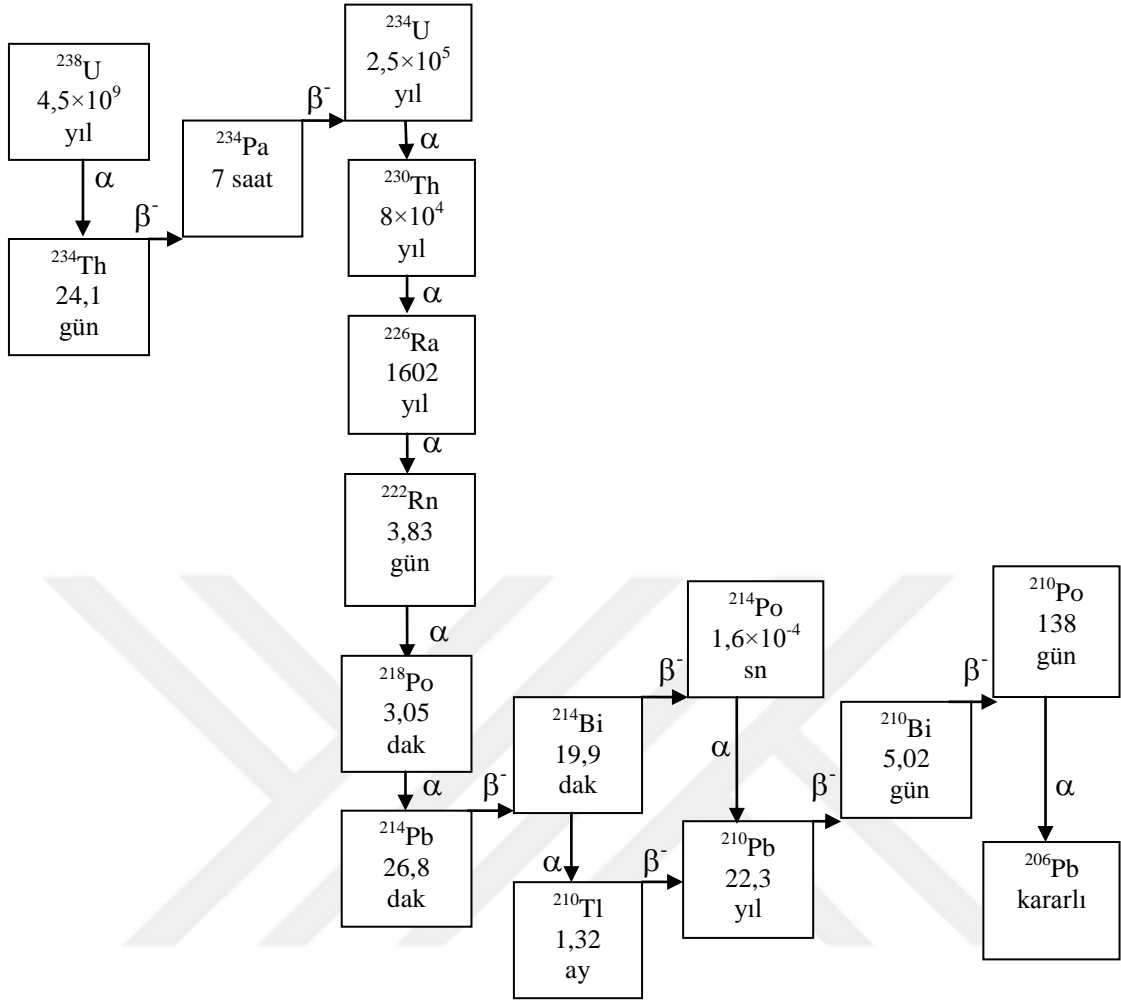
Atom numarası $Z=82$ 'den büyük ağır çekirdekler oldukça kararsız bir yapıya sahiptir ve hemen hemen hepsi kararsızdır. Proton sayısı nötron sayısından fazla olan radyoaktif atomlar, proton sayılarını azaltmak için çekirdeklerindeki bir protonu nötrona çevirirler (β^+ bozunumu). Proton sayısı nötron sayısından az olan radyoaktif atomlar ise, proton sayılarını artırmak için, çekirdeklerindeki bir nötronu, bir proton bir elektrona çevirirler (β^- bozunumu). Alfa ışınması yapan bir çekirdek, atom numarası 2, kütle numarası 4 birim daha düşük olan bir başka elementin çekirdeğine dönüşür ve bu sırada enerji açığa çıkar. Elektron yakalama olayında, iç kabuklardaki elektronlardan biri, radyoaktif elementin çekirdeği tarafından yakalanır, hemen ardından yüksüz bir tanecik (nötrino) yayınlayarak atom numarası bir altta olan elementin çekirdeğine dönüşür. Kendiliğinden fizyonda ise, çekirdek kaçak tanecikler yayınlamaksızın, iki ayrı çekirdeğe bölünmek üzere parçalanır (Külahcı, 2000).

Radyoaktif bozunum olayı, çekirdek kararlı hale geldiğinde son bulur. Radyoizotop, tabiatta kendiliğinden varsa veya radyoaktif bir elementin bozulması sonucu oluşuyorsa, buna **doğal radyoaktivite** denir. **Yapay radyoaktivite** ise, radyoizotopların reaktörlerde veya parçacık hızlandırıcılarında oluşturulmasıdır (Canbazoğlu, 1998).

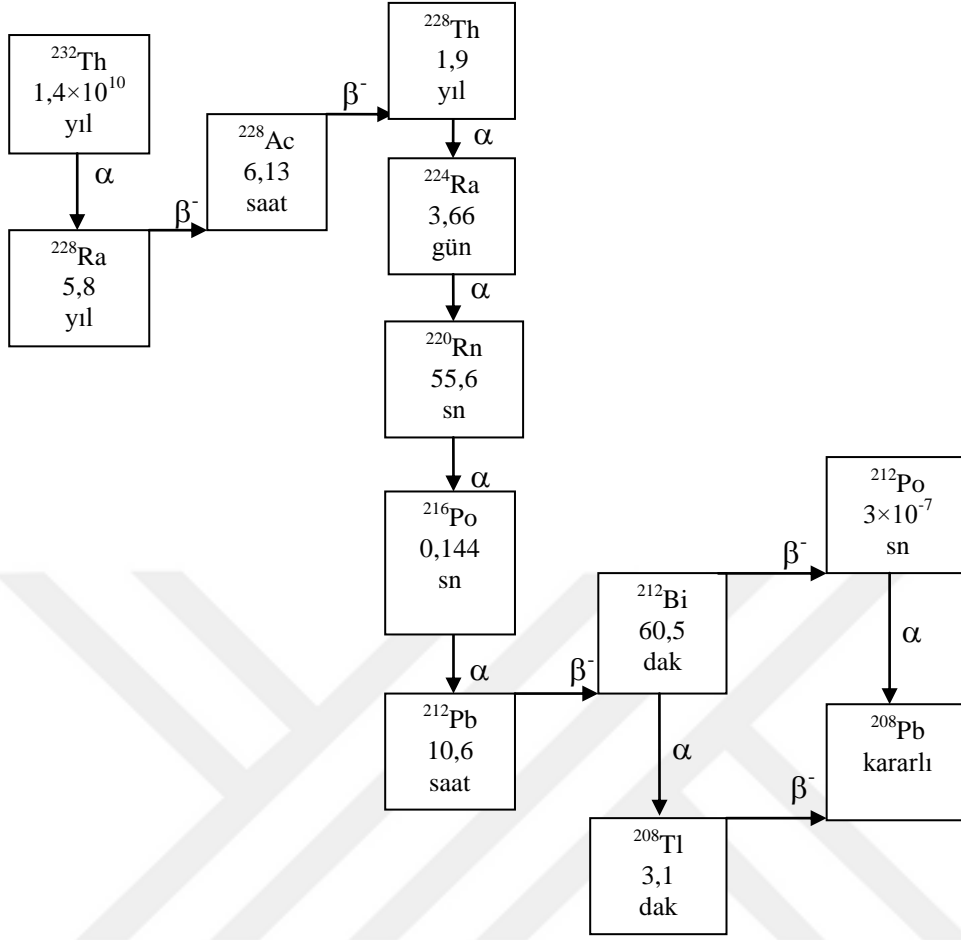
Doğada kendiliğinden radyoaktif olan 4 grup element vardır. Bu radyoaktif seriler Tablo 2.3'te, serilerin bozunma şemaları da Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Radyoaktif seriler (Henriksen ve Maillie, 2003).

Seri adı	İlk çekirdek	Son çekirdek	Yarı-ömrü
Uranyum-Radyum	^{238}U	^{206}Pb	$4,47 \times 10^9$ yıl
Uranyum-Aktinyum	^{235}U	^{207}Pb	$7,038 \times 10^8$ yıl
Toryum	^{232}Th	^{208}Pb	$1,405 \times 10^{10}$ yıl
Neptünyum	^{237}Np	^{209}Bi	$2,14 \times 10^6$ yıl



Şekil 2.3. Uranyum bozunum zinciri (Valkovic, 2000).



Şekil 2.4. Toryum bozunum zinciri (Valkovic, 2000).

2.3. Radyasyon Birimleri

SI birimleri, 1971 yılında Uluslararası Birimler Sistemi (International System of Unit, SI)'nın kabul edilmesiyle, ICRU tarafından tanımlanarak kullanılmaya başlanılmıştır. Tablo 2.4'te daha önceden kullanılan birimler ve yeni birimler ile dönüşüm faktörleri verilmiştir.

Tablo 2.4. Eski ve yeni radyasyon birimleri ile dönüşüm faktörleri

Büyüklik	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birimler ve Sembolü	Dönüşüm Faktörleri
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq
Işınlama	Coulomb/kg (C/kg)	Röntgen (R)	1 C/kg = 3876 R
Absorblanan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	1 Sv = 100 rem

Tablo 2.4'teki radyasyon birimleri, aktivite ve doz birimleri olmak üzere ikiye ayrılır. Aktivite birimi olan Becquerel, saniyede 1 parçalanmayı gösteren radyoaktif madde miktarının ölçüsüdür. Işınlanma birimi, C/kg cinsinden, normal şartlarda 1 kg havada 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X-ışını veya gama radyasyonu miktarıdır. Soğurulmuş doz için kullanılan Gray, 1 kilogram ışınlanan maddeye 1 Joule enerji veren radyasyon miktarıdır. Doz eşdeğeri birimi olan Sievert ise, 1 Gy'lik gama (veya X) ışınına eşit düzeyde biyolojik etki oluşturabilen radyasyon miktarı olarak tanımlanmaktadır.

2.4. Toprakta Doğal Radyoaktivite

Toprak, doğal radyasyonun en önemli kaynağı olup, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyoaktif elementleri içerir. Toprakta bulunan radyoçekirdeklerin havaya geçmesi ve besin zinciri ile popülasyonun içsel radyasyon dozu almasına neden olur (Montes vd., 2012). Topraktaki radyoçekirdek konsantrasyonu ile karasal gama radyasyonu arasında doğrudan bir ilişki mevcuttur (UNSCEAR, 2000).

Ağır elementler olan uranyum ve toryum üç radyoaktif serinin çekirdeğidir. Bu üç radyoaktif seri, doğal olarak tabiatta bulunan kararsız ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th radyoaktif çekirdekleri ile başlar (Tykva, 1995). Karasal radyasyona katkı sağlayan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyoçekirdekler kaya ve toprak yapısına bağlı olarak, toprakta farklı yoğunluklarda bulunabilirler. Literatürde bu radyoçekirdeklerin ortalama aktiviteleri, sırası ile 35 Bq/kg, 35 Bq/kg, 370 Bq/kg olarak verilir (Holm vd., 1981). Granit, fosfat gibi volkanik kökenli kayalar ile tuz kayalarındaki radyasyon seviyelerinin, tortul kayalardaki radyasyon seviyelerine göre daha yüksek olduğu görülür (Özger, 2005; Kayakökü ve Doğru, 2017).

2.5. Sularda Doğal Radyoaktivite

Radyoçekirdekler, toprak ve kayalarda mevcut olup, sular içinden geçtikleri kütlelerde mevcut olan radyoaktif maddeleri bünyelerine alırlar. Bundan dolayı, yeraltı suyu ve yüzey sularında bu radyoçekirdekler bulunabilirler. Radyum, uranyum ve radon, içme suyu kaynaklarında bulunan tipik radyoaktif izotoplardır. Radon gazının kaynağı da radyum

tuzlarıdır. Sularda bulunan ^{226}Ra ve ^{225}Ra miktarı, su içerisindeki uranyum ve toryum dağılımına, radyoizotopların yarı ömrüne ve suyun bulunduğu ortamın jeokimyasal yapısına bağlıdır (UNSCEAR, 1993). Yüzey sularında radon konsantrasyonu ihmal edilebilir seviyede ise de, yeraltı suları her zaman belli bir miktarda radon içerirler. Radon, suya uranyum ve radyum içeren kayalardan geçer ve radon su ile birlikte evlerimize girer. Radonun diğer kaynaklarından gelen etkilerle kıyaslanacak olunursa, içme suları daha az önem arz etmektedir.

Toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonu ölçümleri, belirli bir radyoçirdek ile ilgili daha fazla analizin gerekli olup olmadığını belirlemek için bir ön tarama yöntemi olarak uygundur. Özellikle, sularda toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonlarının yüksek çıkması durumunda, radyoçirdek konsantrasyon analizleri yapılır.

Eğer toprakta beta yayıcı radyoaktif elementler varsa, topraktan suya bu elementlerin yaklaşık %7-9'nun geçtiği görülmektedir. Sularda bulunan alfa yayıcılar ise, geçtikleri volkanik ve tortul kayalardan kaynaklanmaktadır (WHO, 2001).

Toryum, nehir ve okyanus sularında bol miktarda bulunmakta olup, nehirler tarafından taşınarak, denizlerde veya göllerin diplerinde depolanabilir (Cochran, 1992).

Sulardaki radyoaktivitenin diğer bir kaynağı da yapay radyoçirdeklerdir. Bu radyoçirdekler, nükleer silahlar, nükleer tesisler ve nükleer güç reaktörleri ile nükleer kazalar sonucunda oluşarak, atmosferden yeryüzüne inerler ve su kaynaklarını kirletirler. Örneğin, Çernobil nükleer güç santrali kazasından sonra, özellikle Türkiye'nin kuzey bölgelerinde ve göllerinde çevresel radyoaktivite araştırmaları yapılmıştır (Özmen vd., 2004; Kulahcı ve Doğru, 2006; Zorer vd., 2013; Baltas vd., 2018 vs. gibi).

Özmen vd. (2004), Hazar Gölü'nden (Elazığ) aldıkları yüzey suları ve dip sediment örneklerinde doğal radyoaktivite ile ağır ve ana element konsantrasyonlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, dip sediment örneklerinde ağır ve ana metal konsantrasyonları arasında $\text{Fe} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Pb}$ şeklinde bir sıralama gözlemlenirken, yüzey sularında ise, ^{226}Ra konsantrasyonu ile toplam alfa ve beta radyoaktivitesinin, sırasıyla, $0,52 \pm 0,02 - 2,02 \pm 0,06$ Bq/L, $0,65 \pm 0,03 - 2,52 \pm 0,07$ Bq/L ve $0,01 \pm 0,01 - 0,14 \pm 0,01$ Bq/L aralığında değiştiği görülmektedir.

Kulahcı ve Doğru (2006), Elazığ'da Keban Baraj Gölü'nden 39 adet yüzey suyu, 20 adet dip sediment örneği almışlar ve bu örneklerde ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde, toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonlarını, ^{137}Cs ve ^{90}Sr konsantrasyonlarını, ağır metal (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr ve Co) ve ana element (Mg, Ca, Na ve K)

konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Çalışmada, ilkbahar dönemine ait yüzey suları ve dip sediment örneklerinde ^{137}Cs konsantrasyonu 0,001 ve 0,01 Bq/L ile 0,4 ve 2,5 Bq/kg aralıklarında değişirken, ^{90}Sr konsantrasyonu ise, 0,0001 ve 0,009 Bq/L ile 0,1 ve 9 Bq/kg aralıklarında değişmektedir. Sonbahar dönemine ait yüzey suları ve dip sediment örneklerinde ise, ^{137}Cs konsantrasyonu 0,0001 ve 0,009 Bq/L ile 0,4 ve 8 Bq/kg aralıklarında değişirken, ^{90}Sr konsantrasyonu ise, 0,0002 ve 0,005 Bq/L ile 0,6 ve 4 Bq/kg aralıklarında değişmektedir.

Zorer vd. (2013), Van çevresindeki farklı 6 gölden topladıkları sularda, ^{238}U ve ^{222}Rn konsantrasyonları ile toplam radyoaktivite seviyelerini tespit etmişlerdir. Çalışmada toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri sırasıyla, ND (Algılanamadı) ile 0,039 Bq/L ve 0,026 ile 3,728 Bq/L arasında değişmiştir. Sularda radon konsantrasyonu ise, 47,80 ile 354,86 Bq/m³ arasında değerler almıştır.

Baltaş vd. (2018), Çernobil nükleer güç rektöründe meydana gelen patlamanın etkilerini incelemek amacıyla, Doğu Karadeniz Bölgesi kıyılarından aldıkları sediment örneklerinde, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarını incelemişlerdir ve konsantrasyonların sırasıyla 10,94–25,95 Bq/kg, 12,14–33,05 Bq/kg, 265,74–45,89 Bq/kg ve 2,08–37,45 Bq/kg aralıklarında değiştiklerini bulmuşlardır. Sonuçlar, sediment örneklerinin bölgede yaşayan insanlar için önemli bir sağlık riski oluşturmadığını göstermektedir.

2.6. Yapay Radyoçekirdekler

2.6.1. ^{137}Cs (Sezyum-137)

En yaygın fisyon ürünlerinden biri olup, Uranyum-235 nükleer fisyon sonucunda nükleer reaktörlerde ve 1970'li yıllarda nükleer silah denemeleri sonucunda oluşmuştur. 30,17 yıllık yarılanma ömrüne sahiptir. ^{137}Cs bir gama kaynağıdır ve β bozunumu yaparak 661,66 keV enerjili gamalar yayınlar.

^{137}Cs , topraktaki radyasyon tespitinde önemli bir rol oynar. Organik madde açısından zengin ormanlık alanlarda, ^{137}Cs 'nin toprağın derinlerine doğru düşey olarak yer değiştirme karakteri yavaş olup, çoğunlukla bu toprakların üst katmanlarında

birikmektedirler (Karadeniz ve Yaprak, 2008). ^{137}Cs 'nin yayılımı, çevresel faktörlere bağlıdır (yerel hidrodinamik, sediment gözenekliliği, tane büyüklüğü ve dağılımı vs.).

2.6.2. ^{90}Sr (Stronsiyum-90)

Doğal olarak oluşan Stronsiyum radyoaktif değildir. Stronsiyumun en yaygın yapay radyoaktif formu ^{90}Sr (Stronsiyum-90)'dır. Yarılanma ömrü 29 yıldır. ^{90}Sr , tıp ve endüstride kullanılmak için genellikle nükleer fisyon yoluyla üretilmektedir. 1950'li ve 1960'lı yıllarda yapılan nükleer silah denemeleri sonrasında çevreye yayılmıştır. Ayrıca, ^{90}Sr nükleer reaktörlerin atıklarında da bulunmaktadır. Özellikle, 1986'da meydana gelen Çernobil nükleer güç santrali ve 2011 yılında Fukushima Daiichi nükleer tesisinde meydana gelen kaza sonrasında çevreye önemli miktarda ^{90}Sr radyoçekirdeği yayılmıştır (Wright vd., 1999; TAEK, 2007; Povinec vd., 2012). ^{90}Sr teneffüs edilebilir, ama yiyecek ve içeceklerle alınması ciddi sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Vücuda girdikten sonra, Ca gibi davranır ve kemikler ile dişlerde depolanır. Bunun sonucunda da, kemik, kemik iliği ve kemiklerin etrafında yumuşak doku kanserlerine sebep olur (Tykva ve Sabol, 1995; IAEA, 2003).

2.6.3. ^{129}I (İyot-129)

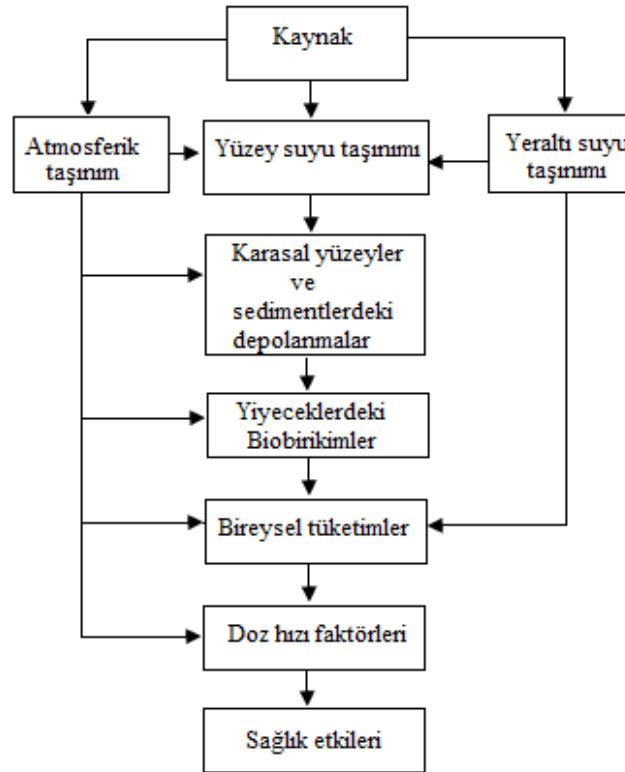
Yarılanma ömrü 15,7 milyon yıl olup, bozunurken beta parçacıkları yayınlamaktadır. Eğer nükleer tesislerde bir sızıntı varsa, ^{129}I ortamda milyonlarca yıl boyunca kalabilmektedir. ^{129}I , 1950'li ve 1960'lı yıllardaki nükleer silah denemeleri ve 1986'da meydana gelen Çernobil nükleer güç santrali kazası sonrasında atmosfere yayılmış olup, günümüzde çevrede çok düşük seviyelerde bulunmaktadır. Atmosferde bekleme süresi 2 hafta, okyanuslarda ise, 40 bin yıldır. Dışarıdan çok fazla miktarda maruz kalındığında, gözde ve ciltte yanıklara neden olurken, içten maruz kalınması durumunda ise, tiroid bezini etkileyebilmektedir. Eğer atmosfere yayılmış ise, solunumla, su ya da gıda ürünleriyle birlikte insan vücuduna alınır ve tiroid bezi tarafından emilir. Bu durumda, tiroid kanseri ve diğer tiroid hastalıkları riskini artırmaktadır.

2.7. Radyoçekirdeklerin Taşınması

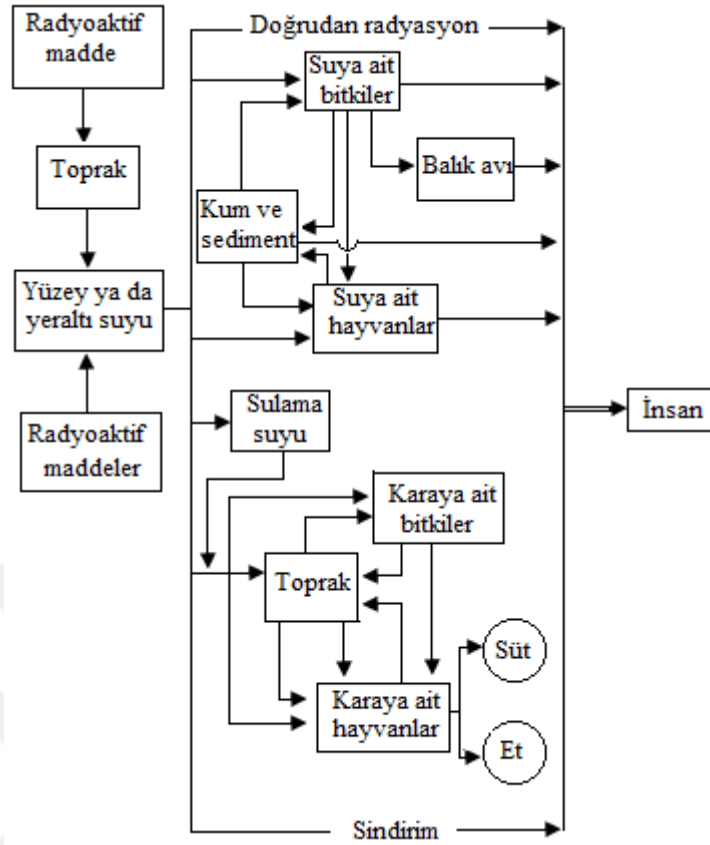
Nükleer güç santralleri, reaktörler, nükleer silah denemeleri, bilim, sanayi, teknoloji vb. faaliyetler sonrasında çeşitli radyoaktif maddeler çevreye yayılır ve sonrasında havaya, suya karışıp, toprakta birikirler. Çevreye yayılmış olan radyoaktif materyallerin etkisindeki başlıca adımlar, aşağıdaki şekillerde (Şekil 2.5, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7) gösterilmektedir. Şekillerdeki oklar, bölümler arasındaki bağlantıları gösterir. Bütün süreç, kaynak teriminde başlar ve radyoçekirdeklerin canlı vücutlarına girmesiyle alakalı yollar boyunca gider.

Sağlık etkileri ile ilgili önemli sonuçların değerlendirilmesini içeren bu yolların tanımlanması, prensipte uygun matematik modellerin uygulanması ile mümkündür. Bu işlem yapılırken radyoçekirdeklerin davranışı ve onların bir bölümden diğerine hareketlerini yöneten temel faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekir (Tyka, 1995).

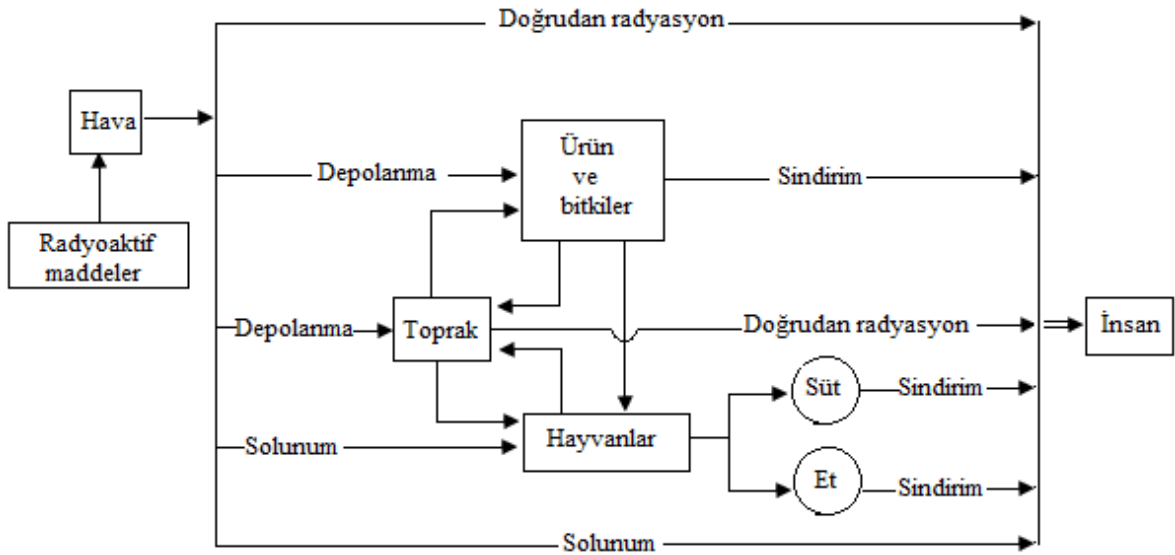
Gerçek yollar oldukça karmaşıktır ve radyoaktif materyallerin taşınma mekanizmaları, ayrıntılı bir şekilde tam olarak anlaşılammaktadır. Bu sebeple, radyoaktif maddelerin yayılmasını, taşınmasını ve canlı vücudunda birikmesini tahmin eden matematiksel modeller geliştirilmiştir. Radyoaktif maddelerin taşınma yollarını ve etkilerini gösteren diyagramlar Şekil 2.5'te, Şekil 2.6'da ve Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Çevreye yayılmış radyoaktif kaynaklar ve sağlık etkileri arasındaki temel yollar (Tyka, 1995).



Şekil 2.6. Yüze ve yer altı sularına geçmiş radyoaktif maddeler ile insanlar arasındaki yollar (Kathren, 1984).



Şekil 2.7. Radyoaktif maddelerin hava ile insanlara geçiş yolları (Kathren, 1984).

2.8. Radon

2.8.1. Radon'un Oluşumu ve Özellikleri

^{222}Rn , ^{238}U serisinin bir elemanı olup, ^{226}Ra radyoçekerdeğinin ^{206}Pb 'ya dönüşümü sırasında meydana gelir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Donma noktası $-71\text{ }^\circ\text{C}$, kaynama noktası ise, $-61,8\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Yoğunluğu $0\text{ }^\circ\text{C}$ 'de $9,72\text{ g/L}$ 'dir. Radon, tatsız, kokusuz ve havadan 7,5 kat daha ağır, görünmez bir gazdır. Diğer elementlerle kimyasal tepkimeye girmez.

^{226}Ra , uranyum serisinin bir elemanı olup, radon oluşumunda bir üreteç görevi görmektedir. ^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn radon ailesinin üç ana izotopudur. Radon, toron ve aktinon olarak adlandırılan bu yapılar, aynı zamanda radyoaktif soygazlardır (Durrani ve İliç, 1997).

Radon, toron ve aktinona oranla çok daha uzun ömürlü olmasından dolayı, radyoaktivite ölçümlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Radonun diğer izotoplara oranla daha yüksek konsantrasyonlarda olmasının sebebi, ^{238}U radyoçekerdeğinin doğadaki izotopik bolluğunun diğer izotoplara oranla daha yüksek olmasıdır (Evans, 1968).

Radonun kaynağı, yer kabuğu, toprak ve kayalardır. Radon, sularda kolaylıkla çözünebilmekte olup, özellikle yeraltı sularının temas ettiği toprak ve kayaçlardan suya geçmektedir. Radon konsantrasyonu yeraltı sularında, deniz sularına oranla daha yüksek olup, dip çamuru ve sedimentlerinde ise, sulara oranla daha yüksek konsantrasyonlardadırlar. Deprem fay hatlarının geçtiği bölgelerdeki çatlaklardan toprağa geçen radon, toprağın gözenekli yapısı içine girdikten sonra, atmosfere doğru göç etmektedir.

2.8.2. Radon ve Deprem İlişkisi

Depremlerin önceden saptanması konusunda yapılan çalışmaların çoğu, depremlerden önce oluşan bazı fiziksel olayların ölçümüne dayanmaktadır. Bu tür fiziksel olaylar çok çeşitli olduğu gibi, sayıca da oldukça fazladır (Cohen, 1980).

Bilim ve mühendislik alanlarındaki son ilerlemeler, dünyamızın birçok fiziksel karakteristiklerinin duyarlılıkla ölçülmesine olanak vermekte ve bu ölçümler sayesinde

depremlerin önceden saptanmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Depremlerden önce düzgün değişiklikler gösteren bazı yeryüzü karakteristiklerine "deprem öncü işaretleri" adı verilmektedir. Derin yeraltı kuyu sularındaki radon konsantrasyonu ve yeryüzü radon sızıntısında gözlenen değişimler, bu tür deprem öncü işaretleri arasında, üzerinde önemle durulan belirtkenlerdir (Press, 1975).

Sularda sürekli radon izlenmesi için geliştirilen gama spektrometrik sistem ile yapılan ölçümler ve ayrıca sürekli izleme alanları çevresinden alınan su örneklerinin laboratuvar analizlerinin ilk sonuçları, sismik etkinlik ile sularda radon konsantrasyonu arasında karşılıklı bir ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur (King, 1978; Smith vd., 1975; İnan vd., 2005; İnceöz vd., 2006; Baykara vd., 2008; Baykara vd., 2009; Bodur vd., 2009; Şahin, 2009; Seyis, 2015).

2.8.3. Radon Ölçüm Yöntemleri

Radon ve radonun bozunum ürünlerini ölçmek amacıyla aktif ve pasif iki yöntem geliştirilmiştir (Urban ve Piesch, 1981). Aktif yöntemde iyon odaları, sintilasyon hücreleri veya spektroskopik sayım cihazları, pasif ölçüm yönteminde ise, termoluminesans detektörler veya pasif nükleer iz detektörleri, selüloz nitrat (LR-115) veya alil diglikol karbonat (CR- 39) kullanılmaktadır.

3. AĞIR METALLER VE ANA ELEMENTLER

Kütle numaraları 92 ile 222 arasında olan ve yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten yüksek metaller, ağır metaller olarak adlandırılmaktadırlar. Eser miktarda bile sakıncalı olabilen bu metaller arasında en önemlileri; kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, mangan, arsenik, civa ve çinkodur. Bunların bir bölümü yaşamı destekleyen, diğer bir bölümü ise toksik sayılabilecek ağır metallerdir.

3.1. Ağır Metal Kirliliğine Yol Açan Kaynaklar

Bu kaynaklar arasında, madenler, sanayi kuruluşları, gübreleme, tarım ilaçları, pestisitler, nükleer güç santrallerinden çıkan atık sular, kâğıt, tekstil, plastik, kristal cam, petrol gibi çeşitli endüstriler yer almaktadır (Tunçer ve Uysal, 1988). Metal endüstrilerinden alıcı ortama bırakılan metallerin başlıcaları arasında Cu, Cd, Fe, Hg, Zn, Cr, Ni ve Pb sayılabilir (Şeker vd., 1999).

Van Gölü kıyısında Tatvan'dan Erciş'e kadar uzanan araştırma alanı, yerleşimin yoğun olduğu (özellikle Tatvan) bölgeler olup, arıtma tesisleri de her kentte bulunmamaktadır. Var olan arıtma tesisleri de bölgeler için yetersizdir. Dolayısıyla, göl suyu kanalizasyon, evsel ve endüstriyel atıklarla kirlenmektedir. Bu nedenle, gölde kirlilik olup olmadığını belirlemek amacıyla, gölden alınan su ve dip çamuru örnekleri ile gölün kıyısından alınan toprak örneklerinde Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr ve Co konsantrasyon analizlerinin yanı sıra, ana element (Mg, Ca, Na ve K) konsantrasyon analizleri de yapılmıştır. Bu amaçla, ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) cihazı kullanılmıştır.

3.1.1. Demir (Fe)

Ağır metallerin en önemlisidir. Metalik parlaklığındadır. Ağır metaller içinde en zararsız metal sayılır. Meteor kaynaklı oluşu dışında, serbest halde bulunmaz (Erdik, 1993). Demir cevherleri doğada Hematit (Fe_2O_3), Götit ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$), Limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$),

Manyetit (Fe_3O_4), Siderit (FeCO_3) ve Pirit (FeS_2) mineralleri şeklinde bulunmaktadır (URL-1). Sularda yüksek konsantrasyonlarda bulunması, mikro floranın değişmesine sebep olur.

3.1.2. Bakır (Cu)

Atom numarası 29, erime noktası $1083,4\text{ }^\circ\text{C}$, kaynama noktası ise $2567\text{ }^\circ\text{C}$ olup, geçiş elementleri sınıfındadır. Bakır turuncu renktedir. Çevrede, kaya, toprak, su ve havada doğal olarak bulunan ağır bir metaldir. Bakır, yaşamak için bize gerekli olduğu kadar, bitkiler ve hayvanlarda için de önemli bir unsurdur. Bakır, tel, sıhhi tesisat boruları, madeni para, silah ve sac gibi çok farklı türde ürünler yapmak için kullanılır (URL-2).

3.1.3. Çinko (Zn)

Atom numarası 30, erime noktası $419,5\text{ }^\circ\text{C}$ ve kaynama noktası $907,0\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Mavimsi beyaz renkte parlak bir metaldir. Çinko mineralleri genellikle kurşun mineralleriyle birlikte bulunurlar. Özel döküm alaşımlarının hazırlanmasında, kozmetik ürünlerde, boya ve sabun yapımında, tekstilde, flüoresan lambalar, X-ışını ve televizyon ekranlarının yapımında kullanılır (URL-3). Çinko protein sentezi ve büyümede önemli rol oynamaktadır. Yetersizliği durumunda, bağışıklık sisteminde zayıflama, büyümenin yavaşlaması, anemi vb. sorunlara sebep olabilmektedir (URL-4).

3.1.4. Mangan (Mn)

Mangan (veya Manganez) atom numarası 25 olup, 1774 yılında keşfedilmiştir. Saf mangan gümüş renginde olup, katı bir metaldir. Mangan, önemli bir iz elementtir ve yaşam için gereklidir. Tahıllarda ve tahıl gibi çeşitli gıda maddelerinde ve özellikle de çayda yüksek miktarlarda bulunur. Atıkların deşarjıyla ve atmosferik taşınımına suya ve toprağa karışır. Su bitkileri tarafından alınarak birikebilir (URL-5). Daha çok endüstride manganlı demir cevheri olarak kullanılmaktadır.

3.1.5. Kurşun (Pb)

Atom numarası 82, atom ağırlığı 201,19'dur. Erime noktası 327,4°C ve kaynama noktası 1750°C'dir. Yer kabuğunda düşük miktarlarda bulunur ve doğal olarak mavimsi-gri bir metaldir. Kurşun, çevrede her yerde bulunabilen önemli bir kirleticidir. Özellikle, endüstriyel faaliyetler neticesinde çevreye yayılmakta olup, su, toprak ve sedimentte birikmektedir. Düşük düzeyleri bile, beynin büyümesini ve gelişimini kısıtladığı için, kurşun, Dünya Sağlık Örgütü tarafından II. sınıf kanserojen grubuna girmektedir (URL-6).

3.1.6. Nikel (Ni)

Saf nikel sert, gümüş-beyaz renkte olup, doğada, ayrıca, göktaşlarında, okyanus zemininde ve su kaynaklarında bulunur. Volkanlarla çevreye yayılır. Alaşım oluşturmak üzere, demir, bakır, krom, demir ve çinko gibi diğer metaller ile birleştirilebilir. Nikelin çoğu, paslanmaz çelik yapımında kullanılır (URL-7). Zararları çok fazla olup, insanlar açısından kanserojen bir etkiye sahiptir.

3.1.7. Krom (Cr)

Krom, cilalı parlaklığı ile beyaz-mavi renkte olup, yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biridir. Ekonomik olarak üretilebildiği tek mineral kromittir (FeOCr_2O_3). Daha çok endüstride tercih edilmekte olup, gelişen teknolojiyle birlikte kullanım alanı da giderek artmaktadır (URL-8).

3.1.8. Kobalt (Co)

Atom numarası 27 olup, metalik gri renklidir. Aynı zamanda, nikel ve demir ile benzer özellikler göstermektedir. Kobalt, kaya, toprak, su, bitki ve hayvanlarda doğal olarak bulunan bir elementtir (URL-9). Cam, porselen sanayilerinde, elektrolizle kaplama işlerinde, jeneratörlerde ve kanser tedavisinde (Co-60) kullanılmaktadır. Ayrıca, canlıların beslenmesinde önemli yer tutmaktadır.

3.1.9. Magnezyum (Mg)

Atom numarası 12 olup, gümüş beyazlığında bir metaldir. Kaynama noktası 1090 °C, erime noktası ise 650 °C'dir. Nispeten tepkin bir metal olup, doğada serbest olarak bulunmaz. Başlıca iki mineral halinde bulunur; magnezit ve dolomit. Deniz suyunda bol miktarda magnezyum klorür ve magnezyum sülfat bulunur. Magnezyum özellikle, endüstride çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (URL-10).

3.1.10. Kalsiyum (Ca)

Periyodik cetvelde II A grubunda olup ve gümüşümsü beyaz renkte alkali toprak grubundandır. Yoğunluğu 1,550 gr/cm³, erime noktası 842 °C ve kaynama noktası 1484 °C'dir. Doğada saf olarak bulunmaz. En fazla kireçtaşında (CaCO₃) bulunur. En önemli mineralleri dolomit, apatit ve gibstir. Kalsiyum biyolojik bir öneme sahip olup, insan vücudunda önemli bir yer tutmaktadır (URL-11).

3.1.11. Sodyum (Na)

Atom numarası 11 olup, alkali metaller sınıfındadır. Dünyada en çok bulunan element olup, kuru sodyum klorit'in (NaCl) elektrolizi sonucu elde edilir. En iyi bilinen bileşiği NaCl olup, denizlerde ve denizlerden uzak göllerde bol miktarda bulunur. En önemli mineralleri; kriyolit, boraks ve sodyum sülfattır. Eczacılık, tarım ve fotoğrafçılık alanlarında pillerde kullanılmasının yanı sıra, nükleer güç santrallerinde soğutucu olarak sıvı sodyum kullanılmaktadır (URL-12).

3.1.12. Potasyum (K)

Atom numarası 19 olup, alkali metaller sınıfındadır. Doğada çok yaygın olarak bulunur. Pek çok özelliği bakımından Sodyuma benzemektedir. Potasyumun; potasyum nitrat, potasyum karbonat ve potasyum sülfat tuzları mevcuttur. Okyanuslarda sodyuma göre, oldukça az miktarda bulunur. Tarımda, mermercilikte, cam endüstrisinde, yanıcı ve patlayıcı maddelerin bileşiminde yaygın olarak kullanılır (URL-13).

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Çalışma Sahası ve Özellikleri

Van Gölü volkanik set göllerden olup, kapalı göl olarak 3790 km² yüzölçümü ile Türkiye'de birinci, dünyada 13. sıradadır. Derinliği en fazla 451 m'ye kadar ulaşmaktadır. Van Gölü dip çamurlarının H₂S ve organik maddelerce zengin olması, göl suyunu karbonat konsantrasyonu bakımından zenginleştirmektedir (Öztürk, 2002).

Bölgede kış mevsimi çok uzun sürmekte olup, kar yağışının çok yoğun olduğu yükseltilerin zirvelerinde Ağustos ayı sonuna kadar kar ve buz bulunmaktadır. Eriyen kar suları akarsular ve yeraltı sularına karışarak göle dökülmektedirler. Van Gölü ve kıyısında incelenen alan, batıda Bitlis Tatvan Yassıca Köyü'nden, kuzeyde Van Erciş'e kadar uzanmaktadır.

4.1.1. Göllerde Sedimentasyon Olayı

Göller, hem buldukları havzadaki hem de kendi tabanındaki sedimentleri çoğunlukla düşük oksijen ve sıcaklık koşulları altında muhafaza ederler (Schindler, 1987). Göller kapalı sistemler olup, akıntı daha azdır ve geçmiş kayıtları çok iyi muhafaza edebilmektedirler. Göllerde sediment yapısı, radyoçekerdek çökmesini sağlayan askıdaki materyaller, biyolojik aktivite, sıcaklık, kimyasal özellikler denizlerden çok farklıdır ve sedimentasyon hızını etkileyen önemli parametrelerdir.

Göllerde radyoçekerdek girişini ve dağılımını etkileyen faktörler şunlardır:

1. Atmosferden gelen katkılar
2. Toprak erozyonu sonucu gölde oluşan birikimler
3. Hidrotermal çıkışlar
4. Yerel veya küresel iklim değişimleri
5. Sismik aktiviteler
6. Göl tabanını oluşturan kayaç türleri
7. Göldeki biyolojik çeşitlilik ve döngü
8. Göl çevresindeki tarımsal, endüstriyel ve diğer katkılar (Pişkin, 2009).

4.1.2. Gölün Kimyası

Van Gölü suyu sodalı ve tuzlu olup, göl suyunun tuzluluk oranı %0,19, pH'ı ortalama 9,8'dir. Bu sebepten göl suyu alkali sular sınıfına girmektedir. Sudaki tuz bileşenlerinin oranları ise; %42 NaCl, %34 NaCO₃, %16 Na₂SO₄, %3 KSO₄ ve %2,5 MgCO₃ şeklindedir. Göl suyunun sıcaklıkları 15-26,3 °C arasında değişmekte olup, tuzluluk oranından dolayı, yüksek rakıma ve sert kışlara rağmen donmaz.

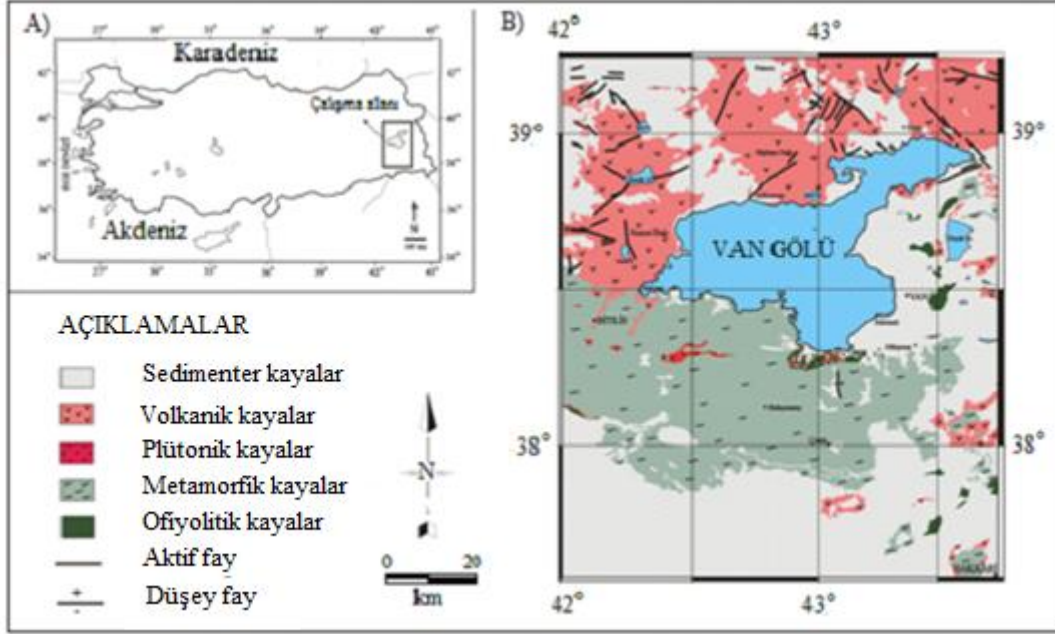
4.1.3. Bölgenin Genel Jeolojisi ve Tektonik Evrimi

Van Gölü, coğrafi özellikler bakımından bir iç deniz karakterindedir. Yaklaşık 3600 km²'lik bir alan ve 607 km³'lük bir su hacmi ile dünyanın dördüncü büyük kapalı gölüdür. Jeolojik olarak dört ana birim tarafından çevrelenmiştir. Güneyde metaforfikler ile kireçtaşı ve killi şistler, doğuda denizel, karasal ve kimyasal çökeller, kuzeyde ve batıda ise volkanikler yer alır. Volkanikler, Nemrut Dağı güneyinden başlayarak Süphan Dağı üzerinden Ağrı Dağı'na kadar geniş bir yayılım gösterirler. Çalışma bölgesinin lokalizasyonu ve genel jeolojik birimleri haritası, bölgenin Türkiye tektoniği içerisindeki konumu ile Van Gölü ve çevresinin jeolojik yapısı, sırasıyla, Şekil 4.1'de, Şekil 4.2'de ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

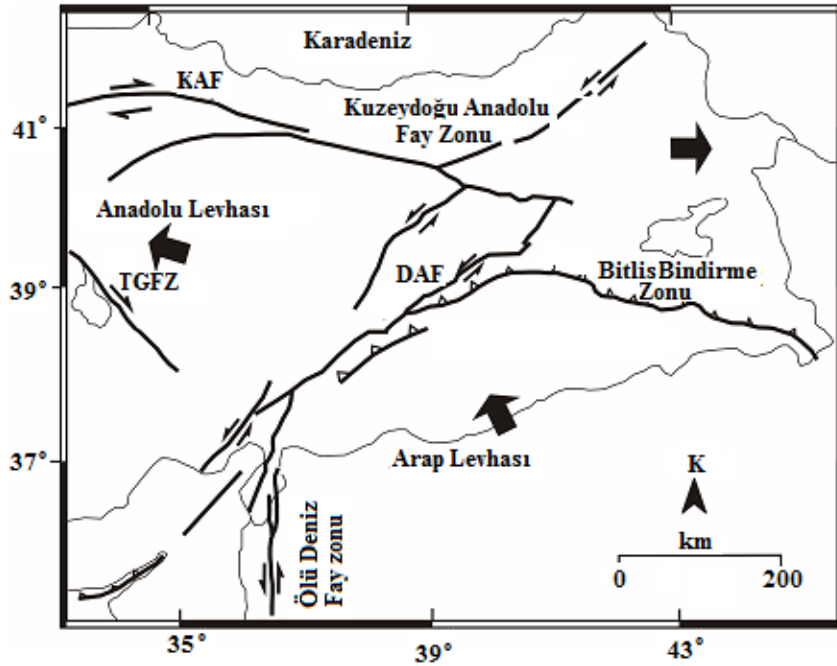
Van Gölü Havzası, gölün kenarları boyunca yüzeylenen heterojen bir stratigrafik temele sahiptir. Kuzey ve batı kenarlarında çoğunlukla Neojen ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalar ve bazı yerlerde ise kırıntılı ve karbonatlı Miyosen sedimanları yer almaktadır. Doğu kenarında, baskın olarak, Doğu Anadolu Birikim Karmaşığ'ını oluşturan Üst Kretase-Oligosen ofiyolitik melanj ve fliş birimleri görülmektedir. Güney kenarı, çoğunlukla Bitlis masifinin Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaları ile temsil edilir. Bütün bu kayalar, günümüzden 600 bin yıl önceki oluşumundan beri Van Gölü'nde biriken 700 m kalınlığındaki sedimanların kaynak alanlarını oluşturmaktadır. Faylar ve kıvrımlar Van Gölü Havzası'ndaki jeolojik yapıları karakterize etmektedirler.

Fayların büyük bölümü, kısa ve sürekli olmayan, düzensiz bir dağılım gösteren doğrultu-atımlı faylar ile temsil edilirler. Bunlar KB-GD, KD-GB ve D-B uzanımlı olarak gölün kuzeyinde ve doğusunda yaygındırlar. KB-GD ve D-B uzanımlı faylar çoğunlukla sağ-yanal, KD-GB uzanımlı olanlar ise genel olarak sol-yanal atımlıdırlar. Doğrultu-atımlı

fauların pek çoğunun aktif olduğu ve bölgenin sismo-tektonik özelliklerini belirlediği görölmektedir (Örneğin Van Gölü'nün batı kenarındaki Kuzey Sırtı'nı çevreleyen faylar) (Şengör vd., 2008; Görür vd., 2015).

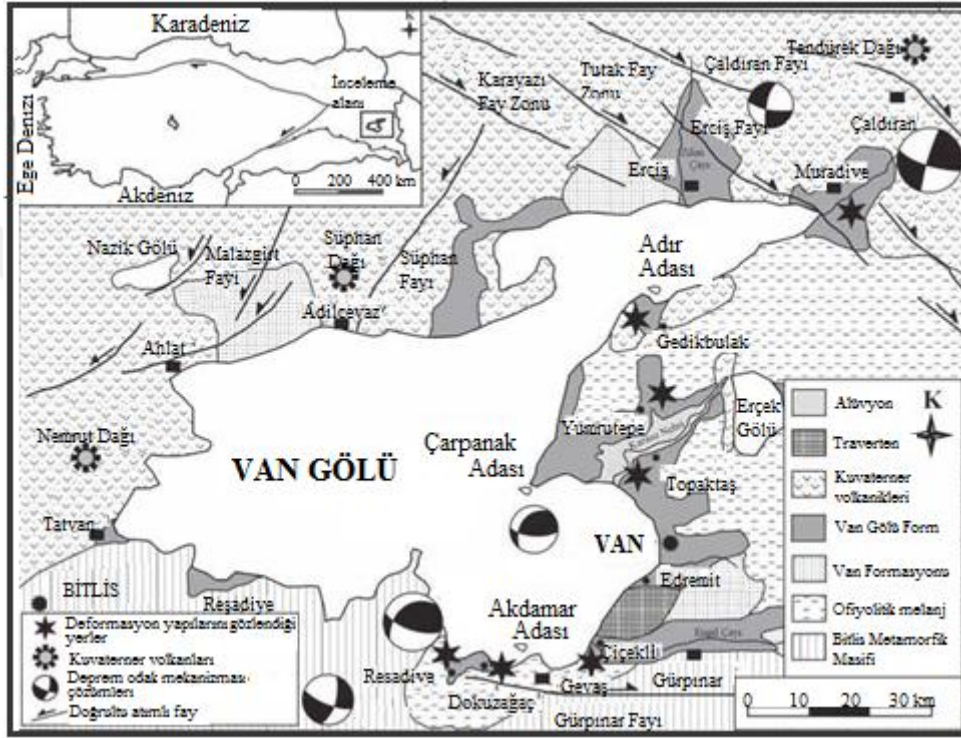


Şekil 4.1. a) Çalışma sahasının lokasyonu, b) Bölgenin genel jeolojik birimleri (MTA 1:500 000'lik haritadan sadeleştirilmiştir)



Şekil 4.2. Doğu Anadolu genel tektonik haritası (Barka ve Kandisky-Cade, 1988'den çizilmiştir).

Bölgenin jeolojik evriminde dört yapısal dönem ayırt edilebilmektedir (Şaroğlu ve Güner, 1981; Şaroğlu ve Yılmaz, 1984). Bunlar (a) ofiyolit topluluğu, (b) Bitlis masifinin dış zonunu oluşturan metamorfik kayalar (c) ofiyolit ile metamorfik kayalar arasında yer alan geçiş zonu ve (d) öncekileri örten çökel kayalarıdır. Günümüzdeki sıralamada, ofiyolit topluluğu kayaları en altta yer almaktadır.



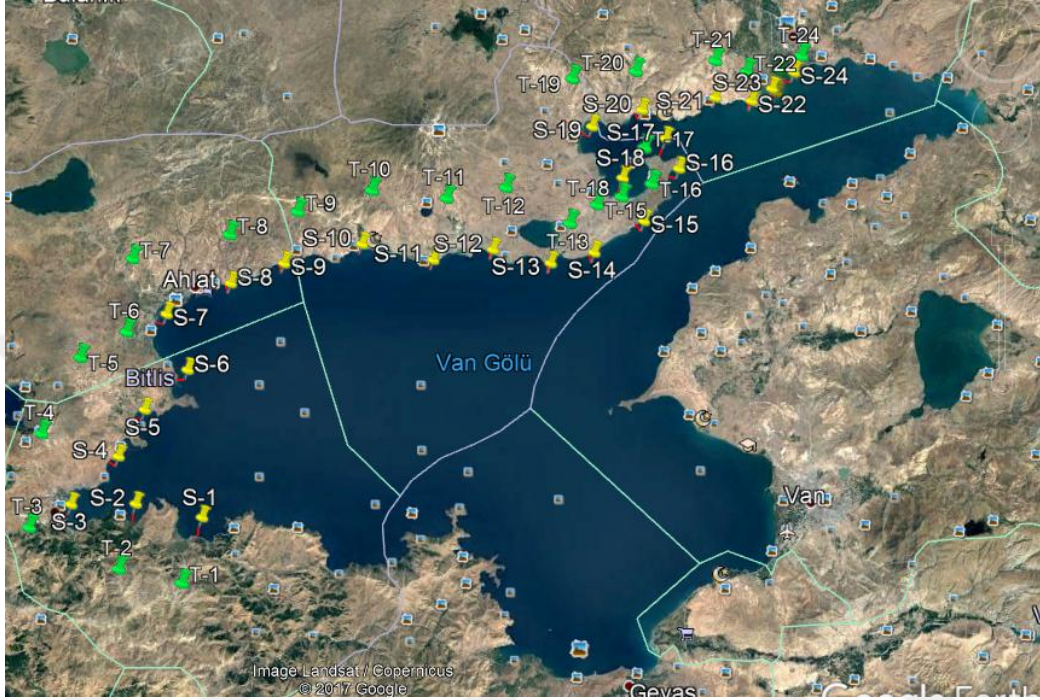
Şekil 4.3. Van Gölü ve çevresinin jeolojik yapısı (Üner vd., 2010).

4.2. Örnek Alma Dönemleri ve Noktalarının Belirlenmesi

Gölün jeolojik ve tektonik yapısı ile yerleşim vs. gibi etkenler göz önünde bulundurularak toplam 24 noktanın koordinatları belirlenmiştir. Koordinatları belirlenen istasyonların pozisyon tespitleri, Garmin marka Etrex 30 model GPS coğrafik konum belirleme cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Gölün hidrolik yapısı ve daha önce gölde yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak; örnekler yılın iki döneminde mevsimsel olarak toplanmıştır. Bu sayede, mevsimsel olarak meydana gelen değişiklikler de belirlenmiş olacaktır. İlk örnekler, yağışların bittiği ve karların eridiği 2015 yılı Mayıs ayı içerisinde, ikinci örnekler ise, 2015 yılı Eylül ayı içerisinde alınmıştır. Gölün kıyısından toprak ve gölün içerisinden de dip

çamuru ve su örnekleri toplanmıştır (Al-Masri ve Blackburn, 1999; K lahc , 2000; Buraglio vd., 2001; Akyil vd., 2009; Agbalagba ve Onoja, 2011).  rnek alım istasyonlarını gösteren harita, Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Van Gölü'nde ve kıyısındaki örnek toplama noktaları

4.3. Van Gölü Batı ve Kuzey Kıyısından Alınan Su, Toprak ve Dip  amuru  rneklerinin Alınması ve Gama Spektrometrik Analizler İçin Hazırlanması

Bu alıŐmada, GPS cihazıyla koordinatları belirlenen 24 istasyondan su (yüzey, orta, dip) ve dip çamuru örnekleri ve bu istasyona karşılık gelen kıyı kesiminden de toprak örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde bulunan doğal ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyoçekirdeklerin aktivitelerinin tespit edilebilmesi için, gama spektrometrik analizler yapılmıştır. Bu analizlere ek olarak, radyoaktif kirliliğin bir göstergesi olan ^{137}Cs radyoekirdeği için de aktivite ölçümleri yapılmıştır. Bu amaçla, AMATEK-ORTEC yüksek saflıkta Germanyum detektörü kullanılmıştır.

4.3.1. Toprak Örneklerinin Alınması ve Hazırlanması

Tatvan'dan başlayarak Erciş'e kadar uzanan kıyı kesiminden su alım istasyonlarına karşılık gelen noktalardan ve kıyıya ortalama olarak 50 m uzaklıktan toprak örnekleri alınmıştır. Mümkün olduğunca ekim yeri olmayan, işlenmemiş, otsuz, açık, düz ve su geçirgenliği iyi arazilerden yaklaşık 0-10 cm derinlikten alınmıştır. İçerisinde bulunan yabancı maddeler çıkartıldıktan sonra, topraklar örnek poşetlerine aktarılmıştır. Poşetlerin üzerine, örneklerin alınma tarihi, örnek numarası, konumu vs. gibi bilgiler yazılmıştır. Bitlis Eren Üniversitesi İleri Araştırma Laboratuvarı'na getirilen toprak örnekleri, temiz bir ortamda oda koşullarında 10 gün süreyle kurutulmuştur. Kuruyan örnekler havan ve öğütücü kullanılarak homojen hale getirildikten sonra, 3 mm gözenekli bir elek kullanılarak elenmiştir. Eleme işleminden sonra, örnekler, boş ağırlığı alınmış 1 L'lik marinelli sayım kaplarına konulmuştur. Örneklerin her biri ayrı ayrı tartıldıktan sonra, kapların ağzı kaba hava girişini engelleyecek şekilde sıkıca kapatılmıştır. Bu şekilde, kargo ile A.Ü. (Akdeniz Üniversitesi) Fen Fakültesi Fizik Bölümü Gama Spektroskopi Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Marinelli kaplarındaki toprak örnekleri, toryum, radyum ve onların bozunma ürünlerinin dengeye gelebilmeleri için, 4 hafta süreyle bekletilmişlerdir. Böylece örnekler, radyoçekirdek konsantrasyon analizleri için hazır hale getirilmiş olur.

4.3.2. Su örneklerinin Alınması ve Hazırlanması

Su ve dip çamuru örneklerini alabilmek için öncelikle gerekli yasal izinler alınmış ve daha sonra bir tekne kiralanmıştır. Şekil 4.4'te görülen ölçüm istasyonlarından (yüzey, orta ve dip dâhil), Hydro bios Ruttner marka su örneği alma tüpü (Şekil 4.5) kullanılarak, yaklaşık 2 L su alınmış ve polietilen su şişelerine aktarılmıştır. Gölün en derin yeri 450 m ve ortalama derinliği 170 m olup, en fazla 90 m derinlikten su örneği alınmıştır. Her istasyondan yüzey, orta ve dip olmak üzere 3 su örneği, toplamda da 72 adet su örneği alınmıştır. Alınan örnekleri uzun süre saklayabilmek için, örneklerin her 1 litresine HNO₃ (nitrik asit) çözeltisinden 15 ml ilave edilmiştir. Bu şekilde, su örnekleri için pH \leq 2 haline getirilerek, örneklerde bulunan elementlerin çökelek oluşturmaması ve örnek kabının yüzeylerine yapışmaması sağlanmıştır (Bohus-Saja vd., 1997). Örneklerin ve alındığı yerin adı, alınma tarihi bir etiket üzerine yazılarak su şişelerinin üzerine yapıştırılmıştır.

Örnekler, soğuk taşıma çantaları kullanılarak, Bitlis Eren Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'na götürülmüştür. Daha sonra, su örnekleri kargo ile A.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümü Gama Spektroskopi Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Burada, su örnekleri 1 L'lik marinelli kaplarına konularak, kapların ağzı hava girişi engellenecek şekilde sıkıca kapatılmıştır. Örnekler, toryum, radyum ve onların bozunma ürünleri arasındaki dengenin sağlanabilmesi amacıyla 4 hafta süreyle bekletilmiş ve böylece örnekler radyoaktivite ölçme işlemleri için hazır hale getirilmiştir.

4.3.3. Dip Çamuru Örneklerinin Alınması ve Hazırlanması

Su örneklerinin alındığı 24 istasyondan, aynı zamanda dip çamuru örnekleri alınmıştır. Alım işlemleri (derinlik en fazla 90 m) gölün zemininde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Ekman Birge dip çamuru alma kepçesi (Şekil 4.5) kullanılmıştır. Alınan çamur örnekleri 2 L'lik plastik kavanozlara aktarılmıştır. Örnek kaplarının üzerine, örneğin adı ile alındığı yerin adının ve alınma tarihinin yazıldığı bir etiket yapıştırılmıştır. Örnek alım işlemleri tamamlandıktan sonra, örnekler Bitlis Eren Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'na götürülmüştür. Örnekler, içerdiği nemin uzaklaştırılması için 60 °C'deki etüvlerde kurutulmuştur. Kurutulan örnekler havan ve öğütücü kullanılarak homojen hale getirilmiş ve daha sonra elek açıklığı 3 mm olan bir elek yardımıyla elenmiştir. Örnekler, darası alınmış 0,5 litrelik marinelli sayım kaplarına konulmuştur. Örneklerin her biri ayrı ayrı tartılıp, ağırlıkları kaydedildikten sonra, kapların ağız kısmı, hava girişini engelleyecek şekilde kapatılmıştır. Elde edilen örnekler, kargo ile A.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümü Gama Spektroskopi Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Örnekler, toryum, radyum ve onların bozunma ürünleri arasındaki dengenin sağlanabilmesi amacıyla 4 hafta süreyle bekletilmiş ve böylece örnekler radyoaktivite ölçme işlemleri için hazır hale getirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.5. (a) Ekman Birge dip çamuru alma kepçesi

(b) Hydro bios su örneksi alma tüpü



Şekil 4.6. Van Gölü ve kıyısından alınan toprak, su ve dip çamuru örnekleri

4.4. Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I Analizleri

4.4.1. Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I Analizleri İçin Hazırlanması

Su örnekleri laboratuvara getirildikten sonra, Whatman No:42 filtre kâğıdı kullanılarak süzülmüştür. Daha sonra, beherlere göl suyundan 25 ml konularak, ısısı 60 °C'ye ayarlanmış etüvde kaynatmadan buharlaştırma tekniği ile buharlaştırılmıştır. Buharlaştırma sonucunda, beherde kalan tortu saf su kullanılarak kazınmış ve elde edilen tortu, alt yüzüne örnek kodu yazılmış ve darası alınmış yüzey alanı 11,34 cm² ve derinliği 4-5 mm olan alimünyum planşetlere azar azar taşmayacak şekilde aktarılmıştır. Daha önceden öğütülerek toz haline getirilen toprak ve dip çamuru örnekleri ise, elendikten sonra yüzey alanı 11,34 cm² ve derinliği 4-5 mm olan alimünyum planşetlere aktarılmıştır. Üzerine saf su eklenen örnekler, karıştırılarak planşetin yüzeyine homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Planşetlerin tamamı 60 °C ısıya ayarlanmış bir etüve atılarak, su tamamen buharlaşınca kadar bekletilmiş ve kuruyan planşetler etüvden alınmıştır. Planşetler, oda ısısına ulaştıktan sonra, hassas terazi kullanılarak, rezidü miktarları tespit edilmiş ve kaydedilmiştir.

⁹⁰Sr ve ¹²⁹I aktivite konsantrasyon ölçümleri beta ve gama algılayıcı sayım sistemi (ST7 sintilasyon sayım sistemi) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ne Technology Limited, 1994). Her örnek, en az üç defa sayım işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Aktivite konsantrasyon hesaplamaları ise, aşağıdaki formüller kullanılarak yapılmıştır.

$$A = \frac{C}{\varepsilon \times P \times M_s} \quad (\text{Bq/kg}) \quad (4.1)$$

$$A = \frac{C}{\varepsilon \times P \times V_s} \quad (\text{Bq/L}) \quad (4.2)$$

Burada C ; birim zamandaki sayımı, ε ; detektör verimini, P ; karakteristik gama veya beta ışınının yayınlanma olasılığını, V_s ; örneğin hacmini, M_s ; örnek miktarını ve A ise; Bq cinsinden gama veya beta aktivitesini ifade etmektedir.

4.5. Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Analizleri

4.5.1. Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Analizleri İçin Hazırlanması

Laboratuvara getirilen su örnekleri, Whatman No:42 filtre kağıdı kullanılarak süzülmüştür. Daha sonra, Van Gölü'nün suyu sodalı olduğu için, buharlaştırma sonucu bırakacağı tortu miktarının fazla olacağı göz önünde bulundurularak beherlere 50 ml göl suyu konulmuştur. Beherler, ısısı 60 °C'ye ayarlanmış etüvlerde kaynatmadan buharlaştırma tekniği ile buharlaştırılmıştır. Buharlaştırma sonucu beherde kalan tortu, saf su kullanılarak kazınmıştır. Kazıma işlemi sonucunda elde edilen tortu, alt yüzüne örnek kodu yazılmış ve darası alınmış 5 cm çaplı alimünyum planşetlere (aktif alanı 19,63 cm²) azar azar taşmayacak şekilde aktarılmıştır. Planşetler, 60 °C ısıya ayarlanmış bir etüve atılarak su tamamen buharlaşınca kadar bekletilmiştir. Kuruyan planşetler etüvden alınarak oda ısısına gelene kadar bekletilmiş ve hassas terazi kullanılarak rezidü miktarı tayin edilmiştir.

Daha önceden, gama spektrometrik analizler için toprak ve dip çamuru örnekleri kurutularak öğütülmüştü. Toz haline getirilen örnekler, elekten geçirilerek homojen hale getirilmişti. Bu şekilde elde edilen homojen toprak ve dip çamuru örnekleri, alt yüzüne örnek kodu yazılmış ve darası alınmış 5 cm çaplı alimünyum planşetlere aktarılmıştır. Aktarma işlemi yapılırken, örnek miktarının, daha önceden hesaplanmış olduğumuz maksimum değeri geçmemesine dikkat edilmiştir. Üzerine saf su eklenen örnekler, karıştırılarak planşetin yüzeyine homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Planşetler 60 °C ısıya ayarlanmış bir etüve atılarak, su tamamen buharlaşınca kadar bekletilmiş ve kuruyan planşetler etüvden alınmıştır. Son olarak planşetler, hassas terazi kullanılarak tartılmış ve rezidü miktarları tayin edilmiştir. Özellikle, alfa sayımlarında rezidü miktarı 400 mg'ı geçmemelidir. Eğer geçerse, alfa partiküllerinde self-absorpsiyon meydana gelmekte ve bu durum ölçüm sonuçlarında hatalara sebep olmaktadır. Yapılan işlemler sonucunda, su örnekleri toplam alfa ve beta analizleri için hazır hale getirilmiştir.

Toplam alfa ve beta sayımlarının alınmasında, ayrıntıları aşağıda verilmiş olan Ultra Low Level α/β counter (Protean Instruments Corporation (PIC)-MPC 9604) sistemi kullanılmıştır. Her bir sayım 1000 dk'lık zaman aralığında yapılmıştır.

4.5.2. Toplam Alfa ve Toplam Beta Sayım Sistemi

Tüm örneklerde, radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi toplam alfa ve toplam beta sayım sistemi kullanılarak yapılmıştır. Bu sayım sistemi, 4 bağımsız bölmede aynı anda sayım yapabilen 4 detektör, deteksiyon için gerekli P-10 gaz tüpü ve PC'den oluşmaktadır (Şekil 4.6). Gaz akış orantılı sayıcı içeren nükleer spektroskopik sistemli Multi Detector Alpha/Beta Counter cihazı PIC isimli bir firmadan temin edilmiştir ve background radyasyonuna karşı zırlama için kurşun bloklar içermektedir (PIC-MPC 9604, UK). Bu sistem ile toprak, su ve gıda örneklerinde toplam alfa ve beta analizleri hassas olarak yapılabilmektedir.

Detektör ince pencereci gaz akışlı pencere tipi sayıcıdır. Deteksiyon için kullanılan gaz karışımı %90 argon ve %10 metandan oluşmaktadır. Cihazın çalışma voltajı 1515 Volt'tur. Sistem, alfa ve beta enerjileri için eşit konsantrasyonlar içeren standart örnekler hazırlanarak kalibre edilmiştir. Alfa enerjisi için ^{241}Am (3780 Bq), beta enerjisi için ^{90}Sr (3760 Bq) kullanılarak sistem kalibre edilmiştir. Sistem için ortalama sayım verimliliği alfa konsantrasyonları için %33-40, beta konsantrasyonları için %95-98 olarak bulunmuştur (Zorer vd., 2009).

Şekil 4.7'de çalışmada kullanılan toplam alfa ve beta sayım sistemi görülmektedir.



Şekil 4.7. Toplam alfa ve beta sayım sistemi

i. Sayım sisteminin kalibrasyonu: Belirlenmiş koşullar altında, doğruluğu bilinen bir referans ölçüm standardı veya ölçüm sistemi kullanılarak, doğruluğu aranan diğer bir

standartın, test/ölçü aletinin ya da sistemin doğruluğunun ölçülmesi, sapmalarının belirlenmesi ve rapor edilme işlemine **kalibrasyon** denir.

Sistemin kalibrasyonu yapılırken, alfa için ^{241}Am ve beta için ^{90}Sr kaynakları kullanılmıştır. Kütlesi 0-100 mg arasında değişen 10 alfa ve 10 beta kaynağı hazırlanarak cihaza tanıtılmıştır. Alfa ve beta için ayrı ayrı 10.000 sayımın yapıldığı süreler belirlendikten sonra, değişik matematiksel denklemlere ait eğriler incelenerek, en uygun eğri seçilmiştir (Öter, 2013).

4.5.3. Su, Toprak ve Dip Çamuru Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivitelerinin Hesaplanması

Toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonlarının hesaplanmasında Curie Metodu kullanılmıştır. Net aktivite hesaplamaları yapılırken, aşağıdaki denklemler kullanılmıştır:

$$A_A = \frac{NR_A}{F_A \times AF_A \times EFF_A / 100} \quad (4.3)$$

$$A_B = \frac{NR_B}{F_B \times AF_B \times EFF_B / 100} \quad (4.4)$$

Burada A_A ; toplam alfa sayımları için, A_B ; toplam beta sayımları için net aktiviteyi (dpm), NR ; dakikadaki net alfa/beta sayımını (cpm), F ; alfa ve beta sayımları için aktivite katsayısını, AF ; alfa ve beta sayımları için kalibrasyon eğrisindeki verim zayıflatma faktörünü, EFF ; alfa ve beta sayımları için % verimi göstermektedir.

Toplam alfa ve beta için net aktivite konsantrasyonları aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Conc_A = \frac{A_A}{\frac{Qty_{Sam}}{QCF} \times ACF} \quad (4.5)$$

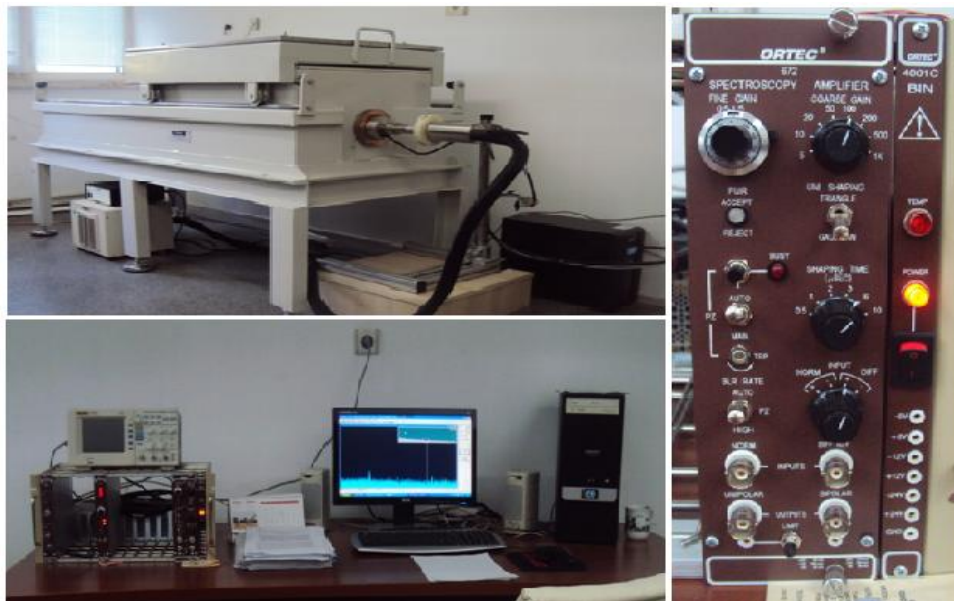
$$Conc_B = \frac{A_B}{\frac{Qty_{Sam}}{QCF} \times ACF} \quad (4.6)$$

Denklemlerdeki $Conc_A$ ile $Conc_B$; sırasıyla, toplam alfa ve beta aktiviteleri için net aktivite konsantrasyonlarını, A_A ve A_B ; net aktivite değerlerini (dpm), Qty_{sam} ; örnek miktarını (kütle veya hacim), QCF ; nicelik dönüşüm faktörünü, ACF ; aktivite dönüşüm faktörünü göstermektedir (Protean Instrument Corporation, 2000).

4.6. Toprak, Dip çamuru ve Su Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizi

4.6.1. Gama Spektrometrik Analizlerde Kullanılan HPGe Detektör Sistemi

Bir aylık süre sonunda dengeye gelen toprak, dip çamuru ve su örnekleri HPGe detektör sistemi kullanılarak 50.000 saniye sayılmıştır. Ölçüm ve analizler, A.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümü Gama Spektroskopi Laboratuvarı'nda bulunan p-tipi, koaksiyel, elektrik soğutmalı, bağıl verimi %40 ve ^{57}Co için 122 keV'de 768 eV FWHM ve ^{60}Co için 1332 keV'de 1,85 keV FWHM değerlerine sahip, AMETEK-ORTEC GEM40P4 model yüksek saflıkta Germanyum detektörü ile MAESTRO32 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (MAESTRO, 2012). Gama spektrometre sistemi, detektör, ön yükselteç, spektroskopi yükselteci, analog dijital dönüştürücü (ADC) sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) meydana gelmektedir. Şekil 4.8'de çalışmada kullanılan gama spektrometre sistemi verilmiştir.



Şekil 4.8. Gama spektrometre sistemi

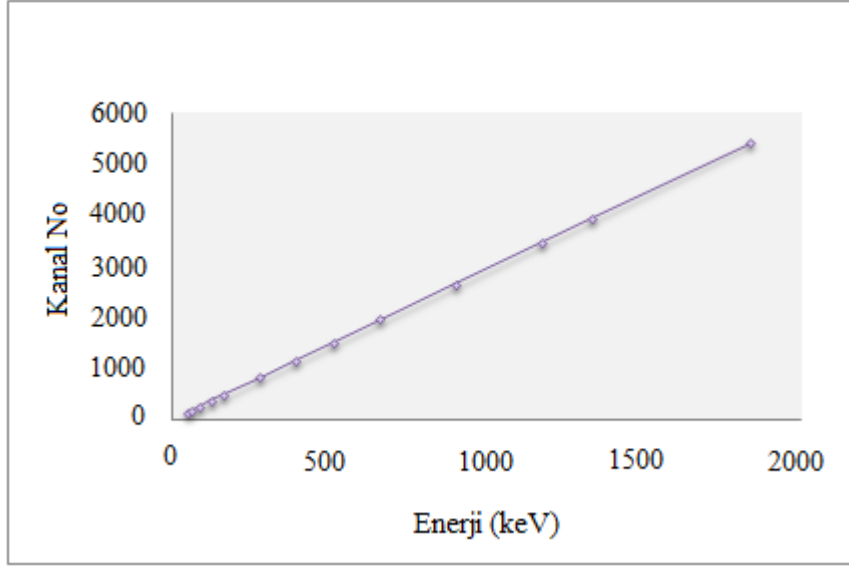
Detektör, iç kısmı 2 mm'lik bakır folyo ile kaplı olan 10 cm kalınlığında kurşun bir zırhın içerisinde muhafaza edilmektedir. Bu sayede, detektör, kurşunda oluşacak X-ışınlarından korunmaktadır. Veri alımı MAESTRO32 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

4.6.1.1. HPGe Detektör Sisteminin Enerji ve Verim Kalibrasyonu

Enerji ve verim kalibrasyonu yapılarak, ölçümler sonucunda elde edilen spektrumların analizleri yapılmıştır. Söz konusu kalibrasyon, ilgili gama enerjilerini kapsayacak şekilde, enerjileri ve aktiviteleri bilinen radyoçekirdekleri içeren standart referans kaynaklar kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada, gama spektrometre sisteminin enerji ve verim kalibrasyonu, TAEK-ÇNAEM'den tedarik edilen enerjileri 47–1836 keV arasında değişen (^{109}Cd , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn ve ^{60}Co) radyoizotopları içeren UAEA 1364-43-2 kodlu (Marinelli geometrisinde) karma kaynak kullanılarak yapılmıştır (Tablo 4.1). HPGe gama spektrometre sistemi için elde edilen enerji ve verim kalibrasyon eğrileri, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.1. Kalibrasyon kaynağının karakteristik özellikleri

Radyoizotoplar	Enerji (keV)	Yarı ömür (gün)	Yayınlanma olasılığı (%)
^{210}Pb	47	8139,5	4,18
^{241}Am	60	157742,1	36
^{109}Cd	88	462,6	3,63
^{57}Co	122	271,8	85,6
^{139}Ce	166	137,7	79,9
^{203}Hg	279	46,6	81,5
^{113}Sn	392	115,1	64,9
^{85}Sr	514	64,8	98,4
^{137}Cs	662	11012,1	85,1
^{88}Y	898	38919,9	94
^{60}Co	1173	1923,6	99,86
^{60}Co	1332	1923,6	99,98
^{88}Y	1836	38919,9	99,4

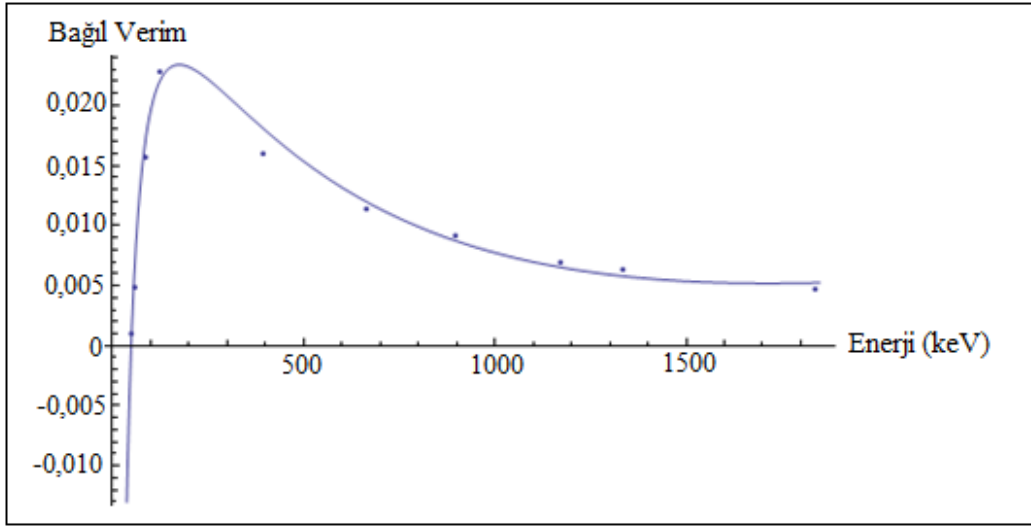


Şekil 4.9. Enerji kalibrasyon eğrisi

Verim kalibrasyonu; verim, detektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olup, detektörün saydığı gama ışınlarının gerçek değerini bulabilmek için, detektöre ait verim kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Detektörün verimi ölçüm geometrisine bağlıdır. Bu nedenle, aynı geometride tek enerjili çoklu radyoçekerdek içeren standart kaynaklar kullanılmaktadır. Belirli enerjilerdeki detektör verimleri, Denklem (4.7) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Verim(\varepsilon) = \frac{N}{A \times P_{\gamma} \times t} \quad (4.7)$$

Burada ε ; HPGe detektörünün verimi, N ; toplam sayım (sayım), t ; sayım süresi (saniye), A ; kalibrasyonda kullanılan kaynağın aktivitesi (bozunum/s), P_{γ} ; gama ışınının yayınlanma olasılığıdır.



Şekil 4.10. Verim kalibrasyon eğrisi

4.6.1.2. Minimum Dedekte Edilebilen Aktivite (MDA)

Minimum dedekte edilebilen aktivite (MDA) terimi, belli şartlar altında ölçüm sisteminin algılama kapasitesini ifade etmek için kullanılmaktadır. MDA değerleri, Denklem (4.8) (Beretka ve Mathew 1985) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MDA = \frac{2,71 + 4,65 \times \sqrt{N_B}}{\varepsilon \times P_\gamma \times t} \quad (4.8)$$

Burada N_B ; background sayımı, ε ; tam enerji pik verimi, P_γ ; gama ışınının yayınlanma olasılığı ve t ; sayım zamanıdır.

Tablo 4.2. HPGe gama spektrometre sisteminin MDA değerleri ($t= 50.000$ s)

Ana Çekirdek	Ürün Çekirdek	Enerji (keV)	MDA (Bq/kg)
^{226}Ra	^{214}Pb	351,9	0,36
^{226}Ra	^{214}Bi	609,3	0,41
^{232}Th	^{208}Tl	583,8	0,35
^{232}Th	^{228}Ac	911,2	0,36
^{40}K		1461,0	4,61
^{137}Cs		661,6	0,04

4.6.1.3. Spektrum Analizi

Örneklerin gama spektrumlarında, ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları ^{238}U ve ^{232}Th bozunum serilerindeki ürün radyoçekirdeklerden yayımlanan ^{214}Pb ; 351,9 keV, ^{214}Bi ; 609,3 keV, ^{228}Ac ; 911,2 keV enerjili pikler, ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları ise, sırasıyla 661,6 keV ve 1461,0 keV enerjili pikler kullanılarak belirlenmiştir. Radyoçekirdek aktivite konsantrasyonları Denklem (4.9) kullanılarak tayin edilmiştir.

$$A = \frac{N/t}{\varepsilon \times P_\gamma \times m} K \quad (4.9)$$

Burada A ; ilgilenilen radyoçekirdeğin aktivitesi (Bq/kg), N ; ilgilenilen enerjideki toplam net sayım (Fotopik net alanları, toplam alandan background alanı çıkarılarak elde edilmiştir), t ; sayım süresi (saniye), ε ; HPGe dedektörünün verimi, P_γ ; gama ışınının yayınlanma olasılığı ve m ; örnek kütlesidir. K ise; öz soğurma (K_o), doğru zamanlı çakışma (K_k), radyoaktif bozunma (K_b), ölçüm süresi (K_c) ve rastgele yığılma (K_r) düzeltme faktörlerini içeren düzeltme katsayısıdır. K ; K_o ve K_k ile doğru K_b , K_c ve K_r ile ters orantılıdır (Özmen, 2014).

4.7. Doğal Gama Işınlama Doz Hızlarının Belirlenmesi

Belirlenen bölgede, toplam 24 istasyonda ölçüm yapılmıştır. GPS aygıtının yardımıyla, ölçüm yapılacak istasyonların koordinatları belirlenmiş ve kaydedilmiştir. Ölçümler, Şekil 4.11'de verilen Ludlum survey meter marka 2241 Model 2"x2" NaI (TI) kristaline sahip sintilasyon detektörü içeren taşınabilir bir cihaz yardımıyla gerçekleştirilmiştir (LM, INC., 2007). 2241-3 Model taşınabilir mikroişlemci tabanlı dijital scaler ratemeter, iyonize radyasyonu ölçmek için sintilatör, Geiger Müller (G-M) ve orantılı tip detektörler ile kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen doz hızlarının birimi $\mu\text{Sv/saat}$ 'tir. Kozmik ve karasal radyasyonlar, ölçülen doğal gama radyasyon doz hızlarının kaynağını oluşturmaktadırlar. Bundan dolayı, gama radyasyon şiddeti bölgeden bölgeye farklılık gösterebilmektedir. Çoğunlukla, karasal kaynaklı olan dış gama radyasyonları, toprağın yapısında yer alan radyoçekirdek konsantrasyonuna bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kütle aktivite konsantrasyonu, 1 m yükseklikte havadaki soğurulmuş doza

karşılık gelen radyasyon şiddetidir (NCRP, 1977). Bundan dolayı, ölçümler açık havada, toprak yüzeyinden 1 m yükseklikte, 2 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda, birimi $\mu\text{Sv/saat}$ olacak şekilde ölçülen doz hızı değerlerinin ortalaması alınmış ve sonuçlar nGy/saat 'e dönüştürülerek, Tablo 5.17'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Taşınabilir gama radyasyonu ölçüm cihazı

4.8. Gama Işınlama Doz Hesaplamaları

4.8.1. Havada Soğurulmuş Doz Oranı (D)

Soğurulmuş doz oranı, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K gibi doğal radyoçirdeklerin radyoaktivite konsantrasyonlarına bağlıdır. Gama radyasyonunun önemli bir kısmı, karasal radyoçirdeklerden kaynaklanmaktadır. Karasal gama radyasyonu ile radyoçirdek konsantrasyonları arasında doğrudan bir ilişki mevcuttur. Bir radyoçirdeğin radyoaktivitesi biliniyorsa, yerden 1 m yükseklikteki maruziyet doz oranı UNSCEAR, (1993, 2000) tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$D(\text{nGy/saat}) = 0,462 \times A_{\text{Ra}} + 0,621 \times A_{\text{Th}} + 0,0417 \times A_{\text{K}} \quad (4.10)$$

Burada D ; yerden 1 m yükseklikteki doz oranı, A_{Ra} , A_{Th} ve A_{K} ise; sırasıyla örneklerdeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarıdır. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için dönüşüm

katsayıları sırasıyla 0,462, 0,621 ve 0,0417 nGy/saat'tir. UNSCEAR (2000) raporuna göre, havada soğurulmuş doz oranı seviyesi dünyada 10–200 nGy/saat aralığındadır.

4.8.2. Ra Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})

Radyasyona maruz kalan kişi ve çevrenin sağlık durumu yönünden incelenmesi amacıyla çok fazla kullanılan bir indekstir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonlarını karşılaştırmak için kullanılır.

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1,43 \times A_{Th} + 0,077 \times A_K \quad (4.11)$$

Burada A_K , A_{Ra} ve A_{Th} ; sırasıyla ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarıdır. İzin verilen maksimum Ra_{eq} aktivite değeri 370 Bq/kg'dır (UNSCEAR, 2000).

4.8.3. Yıllık Etkin Doz Oranı (YEDO)

Yıllık etkin doz oranı hesaplamaları için, havada soğurulmuş dozun dönüşüm katsayısı 0,7 Sv/Gy ve bina dışı meşguliyet faktörü (0,2) kullanılmaktadır (UNSCEAR, 2000).

$$YEDO(\mu\text{Sv/yıl}) = D(\text{nGy/saat}) \times 8760(\text{saat/yıl}) \times 0,2 \times 0,7(\text{Sv/Gy}) \times 10^{-3} \quad (4.12)$$

Dünya ortalama yıllık etkin doz oranı (dış karasal gama radyasyonundan) 0,460 mSv/yıl'dır (UNSCEAR, 2000).

4.8.4. İç ve Dış Tehlike İndeksleri (H_{in} , H_{ex})

Tehlike indeksleri hem iç hem de dış maruziyeti yansıtmak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Krieger, 1981):

$$H_{in} = A_{Ra}/185 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1 \quad (4.13)$$

$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1$$

Denklemlerde A_{Ra} , A_{Th} ve A_K ; sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın Bq/kg olarak aktivite konsantrasyonlarıdır. Radyasyon tehlikelerinin önemsiz sayılabilmesi için, bu indekslerin 1'e eşit ya da 1'den küçük olması gerekmektedir.

4.8.5. Ömür Boyu Kanser Riski (ÖBKR)

Ömür boyu kanser riski (ÖBKR) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Thabayneh ve Jazzar, 2013):

$$\text{ÖBKR} = YEDO \times YS \times RF \quad (4.14)$$

Burada $YEDO$, YS ve RF ; sırasıyla yıllık efektif doz oranı (mSv/yıl), yaşam süresi (ortalama 70 yıl) ve risk faktörü (1/Sv) (Sievert başına ölümcül kanser riski) olup, RF için ICRP-60, 0,05 değerlerini kullanmaktadır (Thabayneh ve Jazzar, 2013; ICRP, 1990).

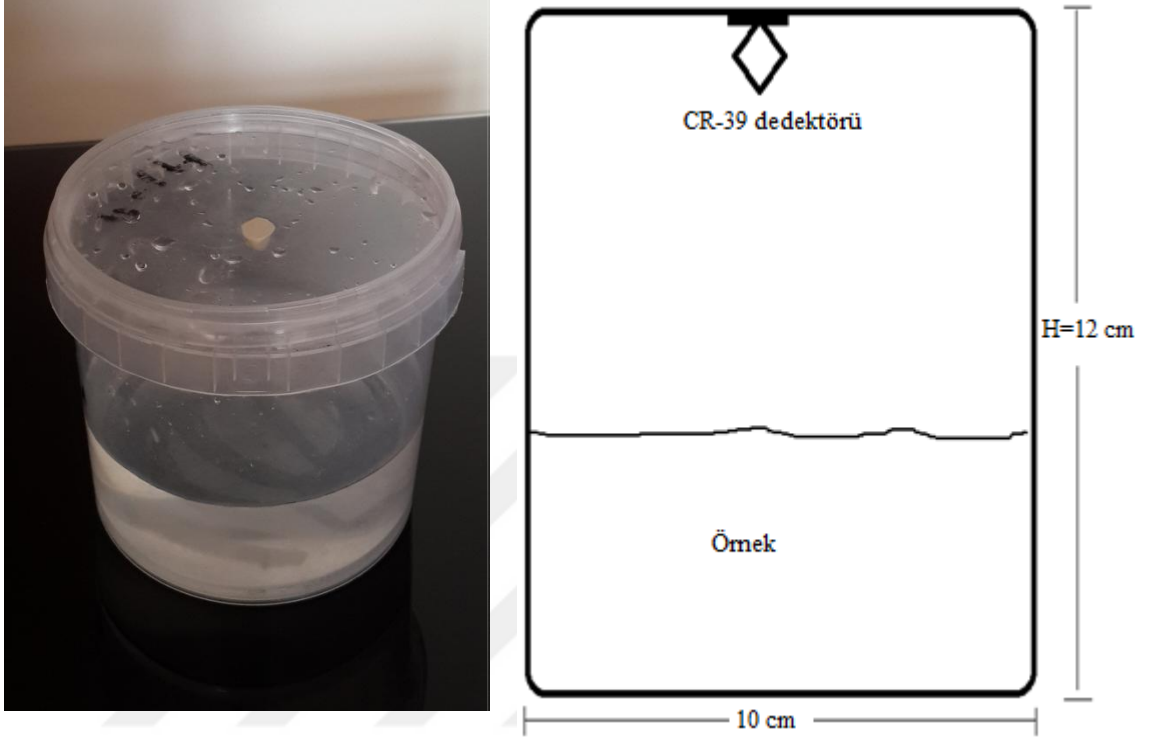
4.9. Radon Analizi ve Doz Hesaplamaları

Radon analiz işlemleri, Bitlis Eren Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı bünyesindeki Pasif Radon Dedektörü Sistemi (Radosys sistemi) cihazı kullanılarak yapılmıştır.

4.9.1. CR-39 Pasif Nükleer İz Dedektörleri

Radon analizlerinde, yapısı "allil diglikol karbonat" ve ticari adı CR-39 olan plastik iz dedektörleri tercih edilmiştir. Radon dedektörleri ve değerlendirme sistemi RADOSYS firmasından temin edilmiştir. Toprak ve dip çamuru örneklerinden 0,5 kg ve su örneklerinden de 0,5 L olacak şekilde, toplamda 154 tane örnek, silindir şeklindeki örnek kaplarına konulmuştur (Şekil 4.12). Ağzuları iyice kapatıldıktan sonra, ışık almayacak şekilde kapalı bir yerde 1 ay boyunca bekletilmiştir. Bekletmedeki amaç, radon ve bozunma ürünlerinin dengeye ulaşabilmesini sağlamaktır. Bir aylık beklemeden sonra, kaplar açılarak içerisine 1×1 cm boyutlarında kesilmiş olan CR-39 dedektörleri yerleştirilmiştir. Kapların ağzı tekrar kapatılarak ışık almayan bir ortamda, yine 1 ay boyunca bekletilmiştir. Bu süre zarfında, radon ve bozunma ürünlerinin yayınladıkları alfa

parçacıklarının dedektörlere çarpması sonucunda, dedektör yüzeyinde izler meydana gelmektedir.



Şekil 4.12. İçerisine örnek ve CR-39 pasif iz dedektörü yerleştirilen silindirik şeklindeki örnek kabı

4.9.2. Kimyasal İz Kazıma İşlemi

Bir aylık bekleme süresinin dolmasının ardından kaplar açılarak dedektörler kaplardan çıkartılmıştır. Bu süre zarfında, alfa parçacıklarının dedektörler üzerinde bıraktıkları izleri belirgin hale getirebilmek için, kimyasal iz kazıma yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla, %30'luk NaOH çözeltisi hazırlanarak, beherlere eşit bir şekilde aktarılmıştır. Dedektörler çözelti içerisine yerleştirildikten sonra, beherler 60 °C sıcaklıktaki etüvde 18 saat bekletilmiştir. Daha sonra, etüvden çıkarılan beherlerden dedektörler alınarak, saf suyla yıkanmıştır. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra, kuruyabilmeleri için dedektörler yaklaşık 1 saat bekletilmiştir. Dedektörler, kuruduktan sonra okuma işlemi için hazır hale getirilmiştir.

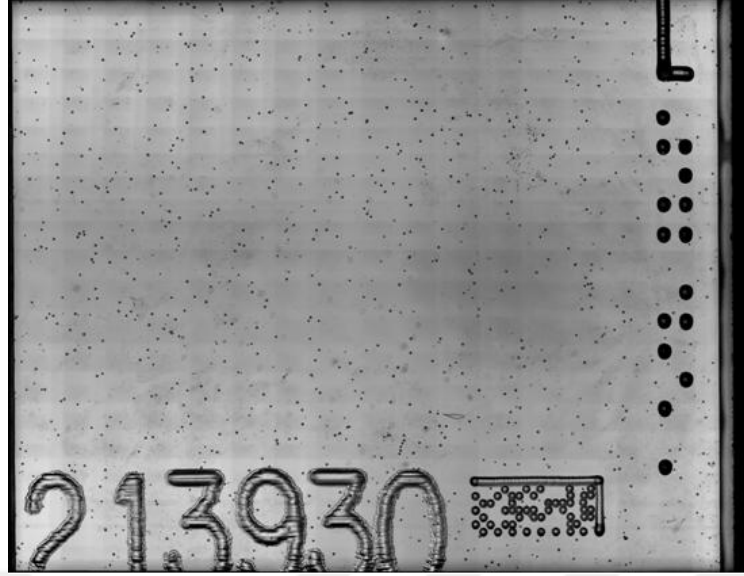
4.9.3. Radon İz Okuma Sistemi

Radon iz okuma sistemi (Şekil 4.13), bilgisayara bağlı 500 büyütmeli bir mikroskop ve yazılımdan oluşmaktadır. Program LINUX işletim sistemi ile çalışmaktadır. İlk olarak CR-39 dedektörleri slaytlara yerleştirilmektedir. Slaytlardaki dedektörler, optik okuyucu sistem tarafından 144 eşit parçaya ayrıldıktan sonra, dedektörler üzerindeki izler sayılmıştır. Dedektörlerin, örneklerin bulunduğu kaplarda bekletilme süreleri programa girildikten sonra, örneklerin her biri için ayrı ayrı radon yoğunluğu ve radon aktivite konsantrasyonu program tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 4.13. Radon iz okuma sistemi

Şekil 4.14'te CR-39 dedektörüne çarpan alfa parçacıklarının bıraktıkları izler görülmektedir. Radon konsantrasyonları hesaplanırken, herhangi bir örnek yok iken, kaba yerleştirilen dedektörün background değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için de, örnek bulunan kaplardaki dedektörler ile boş kaptaki dedektör iz okuma sisteminde aynı şekilde okutulmuş ve elde edilen iz yoğunluklarının farkı alınarak net iz yoğunlukları tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. CR-39 dedektörüne çarpan alfa parçacıklarının bıraktıkları izler (URL-14).

4.9.4. Radon Konsantrasyon Hesaplamaları

Pasif iz dedektörleri üzerinde oluşan net iz yoğunlukları tespit edildikten sonra elde edilen net iz yoğunlukları dedektörlerin örnek kaplarında kalma süreleri ile kalibrasyon faktörü kullanılarak radon aktivite konsantrasyonları Denklem (4.15) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_{Rn} = \rho f / \Delta t \quad (4.15)$$

Burada C_{Rn} ; radon konsantrasyonu (Bq/m^3), ρ ; net iz yoğunluğu (iz/mm^2), f ; kalibrasyon faktörü ve Δt ; ise dedektörün pozlanma zamanı (saat)'dır (Tokonami vd., 2005). Pasif nükleer iz dedektörleri için kalibrasyon faktörü, $44,47 (kBq/m^3)/(iz/mm^2)$.

4.9.5. Efektif Radyum İçeriği (EC_{Ra})

Efektif radyum içeriği (EC_{Ra}) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplandı:

$$EC_{Ra} = \frac{\rho \times h \times A \times f}{M \times T_{eff}} \quad (4.16)$$

Burada h ; dedektör ile örnek arasındaki uzaklık (m), A ; radonun yayınlandığı yüzey alanı (m^2), T ; toplam pozlanma süresi (saat), T_{eff} ; efektif pozlanma zamanı [$T_{eff} = T + 1/\lambda \cdot (e^{\lambda T} - 1)$], M ise; örnek kütlesi (kg)'dir (Jönsson vd., 1999).

4.9.6. Radon Yüzey Yayılım Oranları (E_s) ve Kütle Yayılım Oranları (E_m)

Radon yüzey yayılım oranları (E_s) ve radon kütle yayılım oranları (E_m) ise, sırasıyla Denklem (4.17) ve Denklem (4.18) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_s = \frac{\rho \times f \times h \times \lambda}{T_{eff}} \quad (4.17)$$

$$E_m = E_s \times \frac{A}{M} \quad (4.18)$$

Burada λ ($2,1 \times 10^{-6}$); ^{222}Rn bozunma sabiti, h ; silindirik polietilen kabın yüksekliği (m), A ; silindirik polietilen kabın radon yayınlanan yüzey alanı (m^2) ve M ise; kaptaki örneğin kütlesidir (kg).

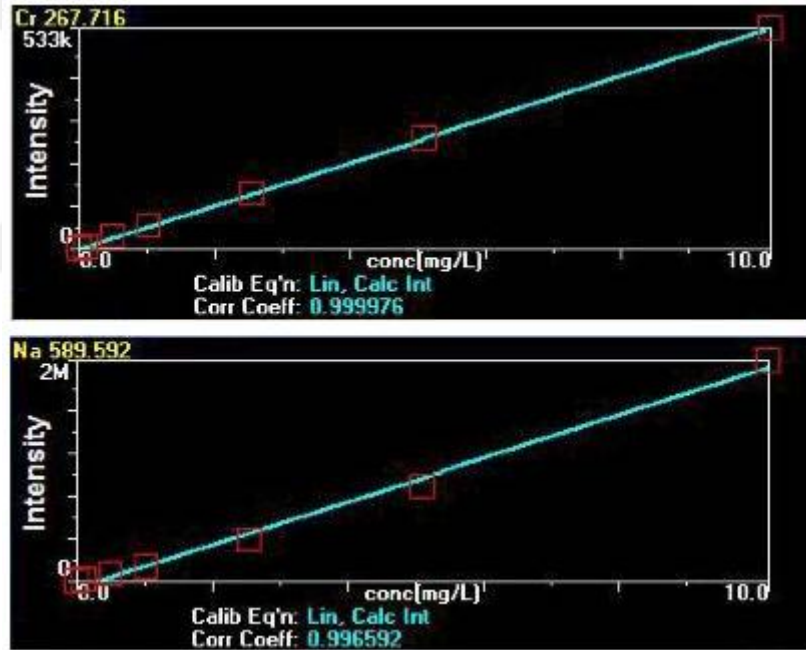
4.10. Ağır Metal ve Ana Element Analizleri

4.10.1. Ağır Metal ve Ana Element Analizleri İçin Örnek Hazırlama ve Sayım Sistemi

Daha önceden alınan su örneklerinin içerisine NHNO_3 (nitrik asit) çözeltisi ilave edilerek $\text{pH} \leq 2$ 'ye olması sağlanmıştır. Bu su örneklerinden yaklaşık 5 ml kadarı 0,45 μm 'lik filtrelerden süzülerek ucu delik şırıngalara aktarılarak analiz işlemleri için hazır hale getirilmiştir.

Kurutulup öğütülerek toz haline getirilen toprak ve dip çamuru örnekleri ise, 65 μm göz açıklığı olan elekten geçirilerek homojen hale getirilmiştir. Çözünürleştirme için, toprak ve çamur örneklerinden $1 \pm 0,1$ gr alınmıştır ve 12 ml Aqua Regia (3:1 Hydrochloric Acid:Nitric Acid) 55 ml'lik teflon mikrodalga çözünürleştirme tüplerine konulmuştur. CEM CORPORATION Mars 5 (SR MD2829) marka Mikro Dalga cihazında, (Max.Power 1800 W, %Power 100, Ramp (min) 10:00, Temperature 160 $^{\circ}\text{C}$, Hold (min) 15:00)

çözünürleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çözünürleşen örnekler, Macherey-Nagel marka (MN616 md Ø110 mm) filtre kâğıtlarıyla plastik kaplarda süzöldükten sonra, Millipore Marka, Milli-Q (SR F7MN72537A) ultra gradient saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Merck Marka (HC895244) 23 elementli standart kullanılarak, 0,1ppm, 0,5 ppm, 1 ppm, 2,5 ppm, 5 ppm, 10 ppm'lik, Milli-Q ultra gradient saf su ile 50 ml tamamlanarak kalibrasyon standartları hazırlanmıştır. Proje bütçesi kullanılarak, İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan Varian 725-ES ICP-OES (IP 0801 M034) cihazında (Şekil 4.16) kalibrasyon eğrisi çizildikten sonra (Şekil 4.15), hazırlanan örnekler için, 3 tekrarlı olacak şekilde ve her element için uygun dalga boyunda, çoklu element analizleri (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Co, Mg, Ca, Na ve K) gerçekleştirilmiştir. Sıvılar için mg/L ve katılar için mg/kg, ppm olarak alınmıştır.



Şekil 4.15. Ağır metal ve ana element analiz sistemi için örnek kalibrasyon eğrisi (Cr ve Na için)

4.10.2. Ağır Metal ve Ana Element Analizleri İçin Kullanılan Sistem ve Analiz İşlemleri

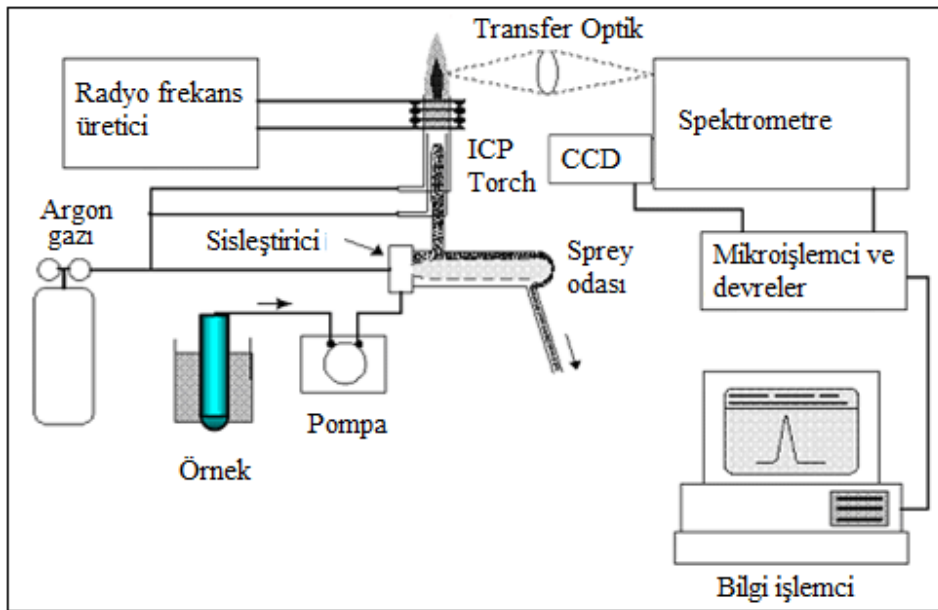
ICP-OES elementlerin çoklu, hızlı ve güvenilir bir şekilde analiz edilmesini sağlayan bir metottür. Argon gazı sayesinde, örneklerdeki atomlar 4000-8000 °K sıcaklığındaki bölgeye ulaşmaktadırlar. ICP-OES cihazı kullanılarak metal analizi yapılırken, her element

için uygun dalga boyu kullanılmıştır. Bu dalga boyları; Cr için 267,716 nm, Mn için 257,610 nm, Fe için 238,204 nm, Co için 228,616 nm, Ni için 231,604 nm, Cu için 327,393 nm, Zn için 206,200 nm, Na için 589,592 nm, Mg için 285,213 nm, K için 766,490 nm ve Ca için 31,933 nm şeklindedir.



Şekil 4.16. Ağır metal ve ana element analizleri için kullanılan sistem

ICP-OES cihazının şematik gösterimi Şekil 4.17'de verilmiştir (Yeşil, 2007).



Şekil 4.17. ICP-OES Spektrometresi

5. BULGULAR

5.1. Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Analiz Sonuçları

5.1.1. İlkbahar ve Sonbahar Döneminde Alınan Yüzey Su Örnekleri ile İlkbahar Döneminde Alınan Orta ve Dip Su Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Analiz Sonuçları

İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite düzeyleri Tablo 5.1'de verilirken, sonbahar döneminde alınan yüzey su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite düzeyleri ise Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1. İlkbahar dönemi yüzey su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/L)

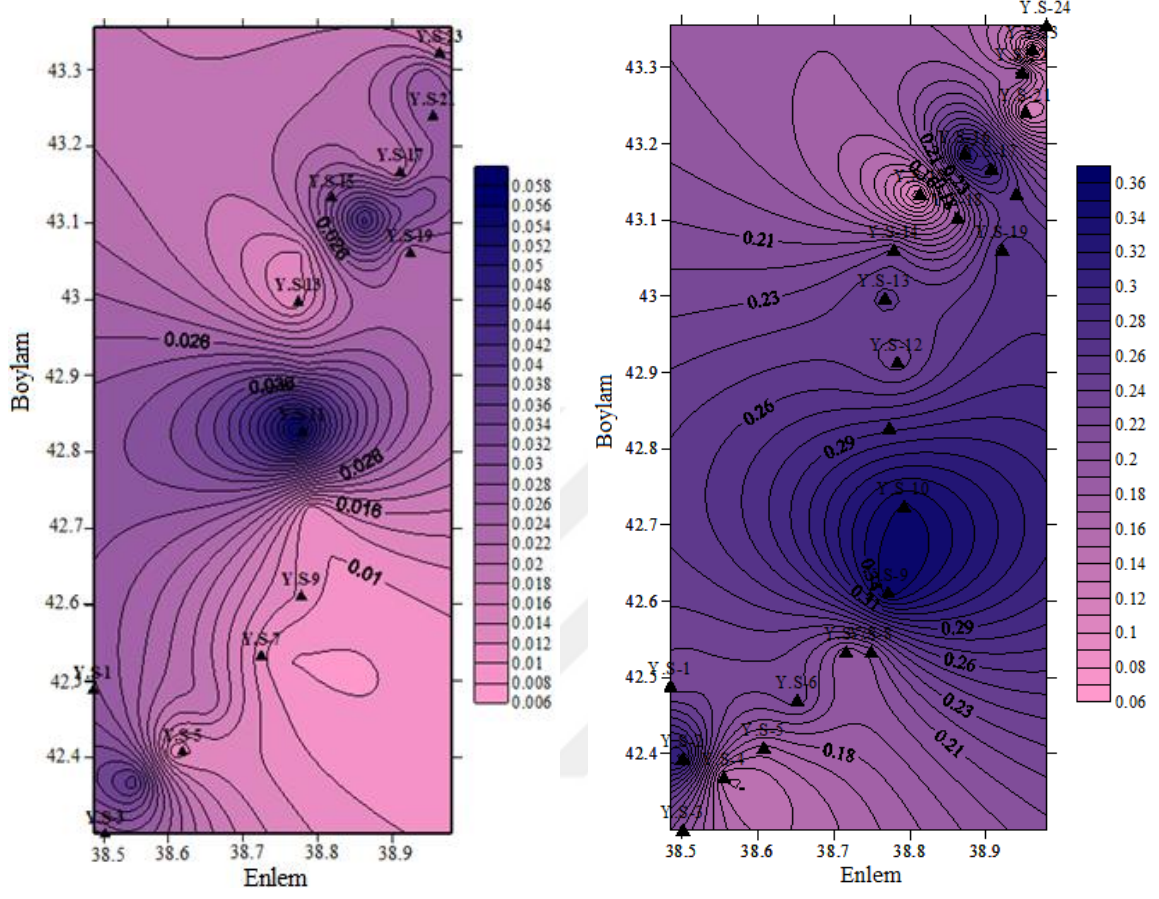
Örnek No	Koordinatlar		Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L) $\times 10^{-1}$	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/L) $\times 10^{-1}$
	Enlem	Boylam		
Y.S-1	38° 29' 04,3"	42° 29' 22,5"	N.D	2,22 \pm 0,57
Y.S-2	38° 30' 02,8"	42° 23' 39,8"	N.D	3,16 \pm 0,66
Y.S-3	38° 30' 03,1"	42° 18' 03,4"	0,25 \pm 0,03	1,98 \pm 0,40
Y.S-4	38° 33' 17,7"	42° 22' 11,4"	0,40 \pm 0,16	1,38 \pm 0,35
Y.S-5	38° 36' 26,5"	42° 24' 30,9"	0,10 \pm 0,04	1,67 \pm 0,17
Y.S-6	38° 39' 05,3"	42° 28' 14,7"	0,20 \pm 0,06	2,28 \pm 0,42
Y.S-7	38° 42' 56,9"	42° 26' 29,8"	N.D	1,92 \pm 0,53
Y.S-8	38° 44' 55,7"	42° 32' 03,1"	0,08 \pm 0,02	2,04 \pm 0,38
Y.S-9	38° 46' 15,3"	42° 36' 44,6"	0,12 \pm 0,04	3,60 \pm 0,40
Y.S-10	38° 47' 31,5"	42° 43' 30,5"	0,10 \pm 0,03	3,52 \pm 0,35
Y.S-11	38° 46' 22,4"	42° 49' 41,6"	0,58 \pm 0,24	N.D
Y.S-12	38° 47' 00,4"	42° 54' 52,7"	0,28 \pm 0,03	2,32 \pm 0,46
Y.S-13	38° 46' 01,1"	42° 59' 53,7"	0,12 \pm 0,04	2,54 \pm 0,38
Y.S-14	38° 46' 43,2"	43° 03' 41,9"	0,14 \pm 0,05	2,32 \pm 0,40
Y.S-15	38° 48' 47,6"	43° 08' 04,7"	0,28 \pm 0,09	0,84 \pm 0,28
Y.S-16	38° 52' 19,1"	43° 11' 12,9"	0,20 \pm 0,06	3,20 \pm 0,43
Y.S-17	38° 54' 24,9"	43° 10' 04,9"	0,20 \pm 0,05	2,92 \pm 0,44
Y.S-18	38° 51' 45,3"	43° 06' 14,9"	0,44 \pm 0,08	1,82 \pm 0,44
Y.S-19	38° 55' 16,7"	43° 03' 42,0"	0,22 \pm 0,05	2,66 \pm 0,43
Y.S-20	38° 56' 23,5"	43° 08' 05,3"	0,32 \pm 0,16	N.D
Y.S-21	38° 57' 08,6"	43° 14' 30,1"	0,28 \pm 0,07	1,02 \pm 0,42
Y.S-22	38° 56' 50,8"	43° 17' 39,1"	0,28 \pm 0,07	1,88 \pm 0,44
Y.S-23	38° 57' 41,5"	43° 19' 27,5"	0,18 \pm 0,08	0,50 \pm 0,21
Y.S-24	38° 58' 46,7"	43° 21' 23,8"	0,12 \pm 0,05	1,88 \pm 0,40
Ort.			0,23\pm0,07	1,78\pm0,41

N.D : Algılanamadı

Ort. : Ortalama

Tablo 5.1'e, Şekil 5.1'e, Şekil 5.2'ye ve Şekil 5.3'e göre, ilkbaharda Van Gölü'nün yüzeyinden alınan su örneklerinde, toplam alfa radyoaktivitesinin en düşük değeri $(0,08\pm 0,02)\times 10^{-1}$ Bq/L ile Y.S-8 istasyonunda, en yüksek değeri ise, $(0,58\pm 0,24)\times 10^{-1}$ Bq/L ile Y.S-11 istasyonunda belirlenmiştir. Toplam beta radyoaktivitesi ise, en düşük

$(0,50\pm 0,21)\times 10^{-1}$ Bq/L ile Y.S-23 istasyonunda belirlenirken, en yüksek $(3,60\pm 0,40)\times 10^{-1}$ Bq/L ile Y.S-9 istasyonunda belirlenmiştir.

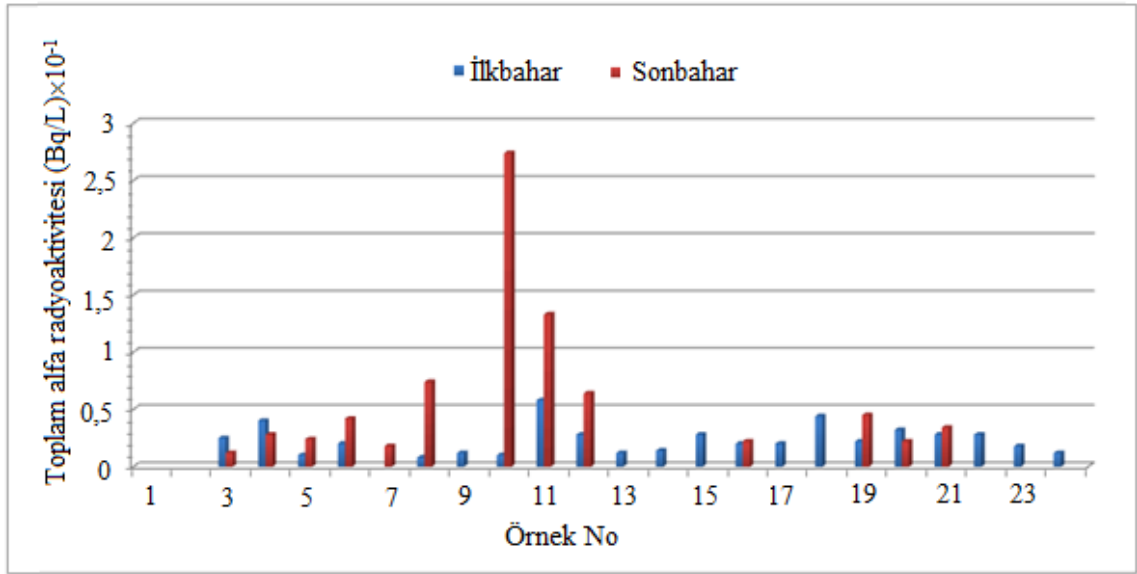


Şekil 5.1. İlkbahar dönemi yüzey su örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi

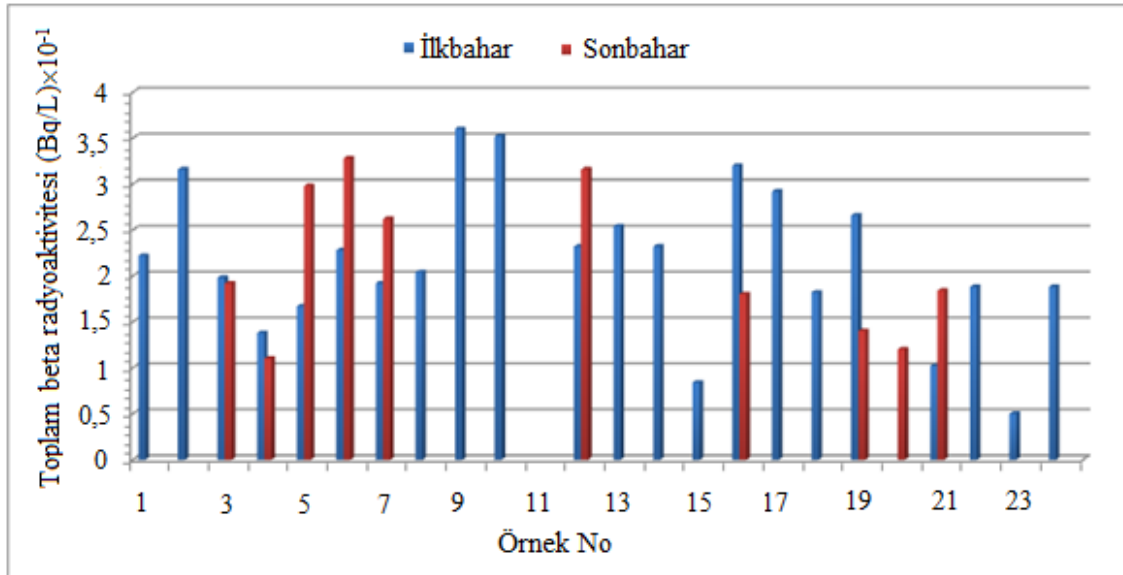
Tablo 5.2. Sonbahar dönemi yüzey su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/L)

Örnek No	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L) $\times 10^{-1}$	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/L) $\times 10^{-1}$
Y.S-1	ÖA	ÖA
Y.S-2	ÖA	ÖA
Y.S-3	0,12 \pm 0,03	1,92 \pm 0,38
Y.S-4	0,28 \pm 0,07	1,10 \pm 0,43
Y.S-5	0,24 \pm 0,05	2,98 \pm 0,40
Y.S-6	0,42 \pm 0,07	3,28 \pm 0,45
Y.S-7	0,18 \pm 0,05	2,62 \pm 0,44
Y.S-8	0,74 \pm 0,21	N.D
Y.S-9	ÖA	ÖA
Y.S-10	2,74 \pm 0,24	N.D
Y.S-11	1,33 \pm 0,28	N.D
Y.S-12	0,64 \pm 0,15	3,16 \pm 0,42
Y.S-13	N.D	N.D
Y.S-14	ÖA	ÖA
Y.S-15	ÖA	ÖA
Y.S-16	0,22 \pm 0,04	1,80 \pm 0,38
Y.S-17	ÖA	ÖA
Y.S-18	N.D	N.D
Y.S-19	0,45 \pm 0,12	1,40 \pm 0,34
Y.S-20	0,22 \pm 0,06	1,20 \pm 0,34
Y.S-21	0,34 \pm 0,05	1,84 \pm 0,38
Y.S-22	ÖA	ÖA
Y.S-23	ÖA	ÖA
Y.S-24	ÖA	ÖA
Ort.	0,61 \pm 0,11	2,13 \pm 0,40

ÖA: Örnek alınmadı
N.D: Algılanamadı



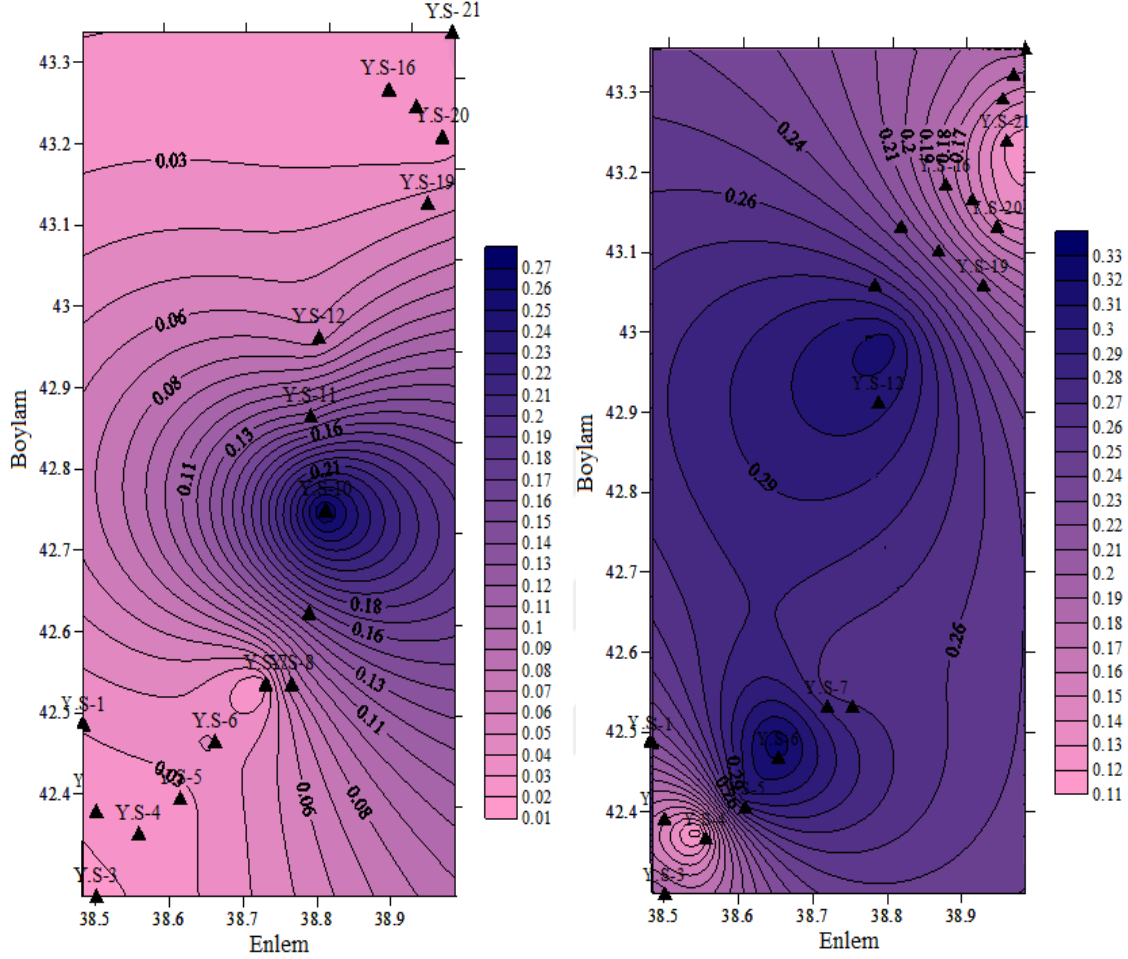
Şekil 5.2. Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinde toplam alfa radyoaktivitesinin mevsimsel olarak değişimi



Şekil 5.3. Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinde toplam beta radyoaktivitesinin mevsimsel olarak değişimi

Tablo 5.2'ye, Şekil 5.2'ye, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'e göre, sonbahar döneminde alınan yüzey su örneklerindeki toplam alfa ve beta radyoaktivite sonuçlarına göre, en düşük toplam alfa radyoaktivitesi ise Y.S-3 nolu istasyonda $(0,12 \pm 0,03) \times 10^{-1}$ Bq/L olarak belirlenirken, en yüksek toplam alfa radyoaktivitesi Y.S-10 nolu istasyonda $(2,74 \pm 0,24) \times 10^{-1}$ Bq/L olarak belirlenmiştir. En düşük toplam beta radyoaktivitesi

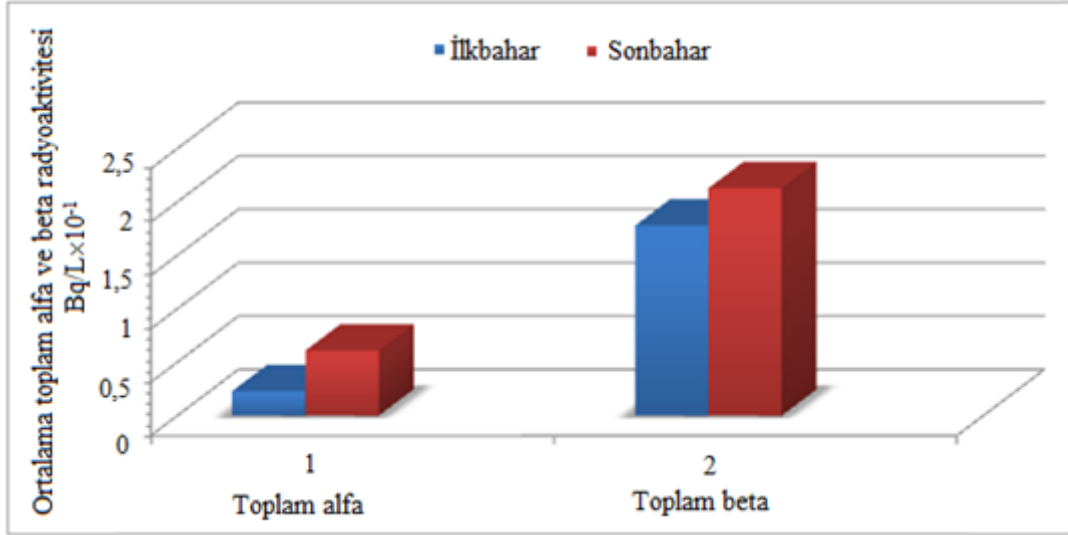
($1,10 \pm 0,43$) $\times 10^{-1}$ Bq/L değeri ile Y.S-4 nolu istasyona ait iken, en yüksek toplam beta radyoaktivitesi ise, ($3,28 \pm 0,45$) $\times 10^{-1}$ Bq/L değeri ile Y.S-6 nolu istasyona aittir.



Şekil 5.4. Sonbahar dönemi yüzey su örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi

Şekil 5.5'e göre, ilkbahar dönemi yüzey su örnekleri için elde edilen toplam alfa ve beta radyoaktivitelerinin ortalama seviyeleri, sonbahar döneminde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığı zaman, sonbahar döneminde elde edilen ortalamaların daha yüksek olduğu görülmektedir. Van gölü ve çevresinde yılın en yağışlı mevsimi ilkbahar ve yıllık ortalama yağış miktarının en fazla olduğu ay ise Mayıs'tır. Örneklerin tamamı ilkbahar mevsiminde Mayıs ayında, sonbahar mevsiminde ise, Eylül ayında alınmıştır. Yağışın en fazla olduğu Mayıs ayında, göle düşen saf su miktarının artmasıyla birlikte, gölün radyoaktivite konsantrasyonunda bir azalma meydana gelmektedir. Ayrıca, Eylül ayı sıcaklık ortalamalarının Mayıs ayı sıcaklık ortalamalarından daha yüksek olmasından dolayı,

sonbahar mevsiminde radyoaktivite konsantrasyonunda bir artışın olması olası bir durum olarak görülebilmektedir.



Şekil 5.5. Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite ortalamalarının mevsimsel olarak değişimi

Zorer ve Şahan (2011), yapmış oldukları bir çalışmada, Van Gölü'nden aldıkları yüzey su örneklerinde ortalama toplam alfa radyoaktivitesini $0,009 \pm 0,004$ Bq/L olarak hesaplariken, ortalama toplam beta radyoaktivitesini ise, $0,912 \pm 0,413$ Bq/L olarak hesaplamışlardır (Zorer ve Şahan, 2011).

Özmen vd. (2004), Hazar Gölü (Elazığ) suyunda radyoaktivite düzeyini belirleme çalışmaları yapmışlardır. Çalışma sonucunda, Hazar Gölü'nün yüzey sularında toplam alfa radyoaktivitesinin $0,65 \pm 0,03$ ile $2,52 \pm 0,09$ Bq/L aralığında ve beta radyoaktivitesinin ise, $0,01 \pm 0,01$ ile $0,14 \pm 0,01$ Bq/L aralığında değiştiğini görmüşlerdir (Özmen vd., 2004).

Van Gölü'nden aldığımız yüzey su örnekleri için elde ettiğimiz ortalama toplam alfa ve beta radyoaktivite düzeyi, Zorer ve Şahan (2011)'in elde ettikleri ortalama toplam alfa radyoaktivite seviyesinden yüksek iken, ortalama toplam beta radyoaktivite seviyesinden ise düşüktür. Van Gölü'nün yüzey suları için elde ettiğimiz sonuçlar ise, Özmen vd. (2004)'nin, Hazar Gölü'nün yüzey suları için elde ettikleri toplam alfa radyoaktivite aralığından düşük iken, toplam beta radyoaktivite aralığından ise, yüksektir.

İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan orta ve dip su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite düzeyleri ise, sırasıyla Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.3. İlkbahar dönemi orta su örnekleri için toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/L)

Örnek No	Derinlik (m)	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L) $\times 10^{-1}$	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/L) $\times 10^{-1}$
O.S-1	23	0,48 \pm 0,15	N.D
O.S-2	27	0,10 \pm 0,03	4,00 \pm 0,41
O.S-3	25	0,18 \pm 0,05	3,68 \pm 0,45
O.S-4	25	0,28 \pm 0,04	2,46 \pm 0,39
O.S-5	25	0,20 \pm 0,04	1,76 \pm 0,45
O.S-6	43	0,40 \pm 0,06	0,24 \pm 0,11
O.S-7	30	0,16 \pm 0,03	3,78 \pm 0,43
O.S-8	35	0,18 \pm 0,04	2,66 \pm 0,43
O.S-9	40	0,20 \pm 0,16	1,02 \pm 0,30
O.S-10	30	0,14 \pm 0,05	1,98 \pm 0,39
O.S-11	45	0,42 \pm 0,17	0,94 \pm 0,22
O.S-12	15	1,00 \pm 0,22	0,26 \pm 0,09
O.S-13	18	0,28 \pm 0,06	2,64 \pm 0,38
O.S-14	24	1,06 \pm 0,16	N.D
O.S-15	27	0,14 \pm 0,04	3,12 \pm 0,44
O.S-16	20	0,34 \pm 0,15	1,30 \pm 0,42
O.S-17	25	0,34 \pm 0,06	1,70 \pm 0,43
O.S-18	28	0,06 \pm 0,02	2,22 \pm 0,38
O.S-19	30	0,28 \pm 0,07	2,10 \pm 0,39
O.S-20	24	N.D	1,56 \pm 0,48
O.S-21	20	1,07 \pm 0,21	0,16 \pm 0,08
O.S-22	26	N.D	1,02 \pm 0,41
O.S-23	23	N.D	1,70 \pm 0,37
O.S-24	18	0,42 \pm 0,05	1,84 \pm 0,45
Ort.		0,37 \pm 0,09	1,92 \pm 0,36

N.D: Algılanamadı

Tablo 5.3'te yer alan ilkbahar dönemi orta su örnekleri için toplam alfa ve beta radyoaktivite sonuçları incelendiğinde, Van Gölü'nün yüzeyinden alınan su örneklerinde toplam alfa radyoaktivitesi, en düşük $(0,06 \pm 0,02) \times 10^{-1}$ Bq/L ile O.S-18 istasyonunda, en

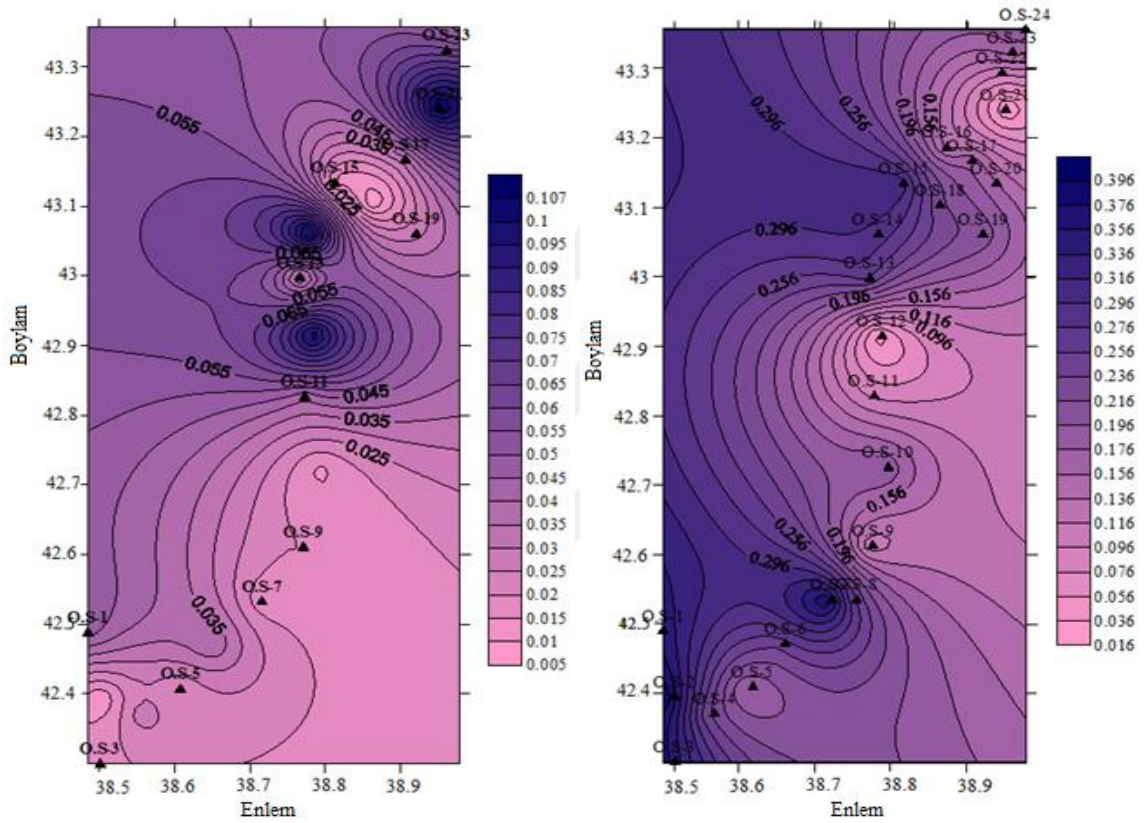
yüksek toplam alfa radyoaktivitesi ise, $(1,07 \pm 0,21) \times 10^{-1}$ Bq/L ile O.S-21 istasyonunda belirlenmiştir. Toplam beta radyoaktivitesi ise, ilkbaharda en düşük $(0,16 \pm 0,08) \times 10^{-1}$ Bq/L ile O.S-21 istasyonunda belirlenirken, en yüksek $(4,00 \pm 0,41) \times 10^{-1}$ Bq/L ile O.S-2 istasyonunda tespit edilmiştir (Şekil 5.6).

Tablo 5.4. İlkbahar dönemi dip su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/L)

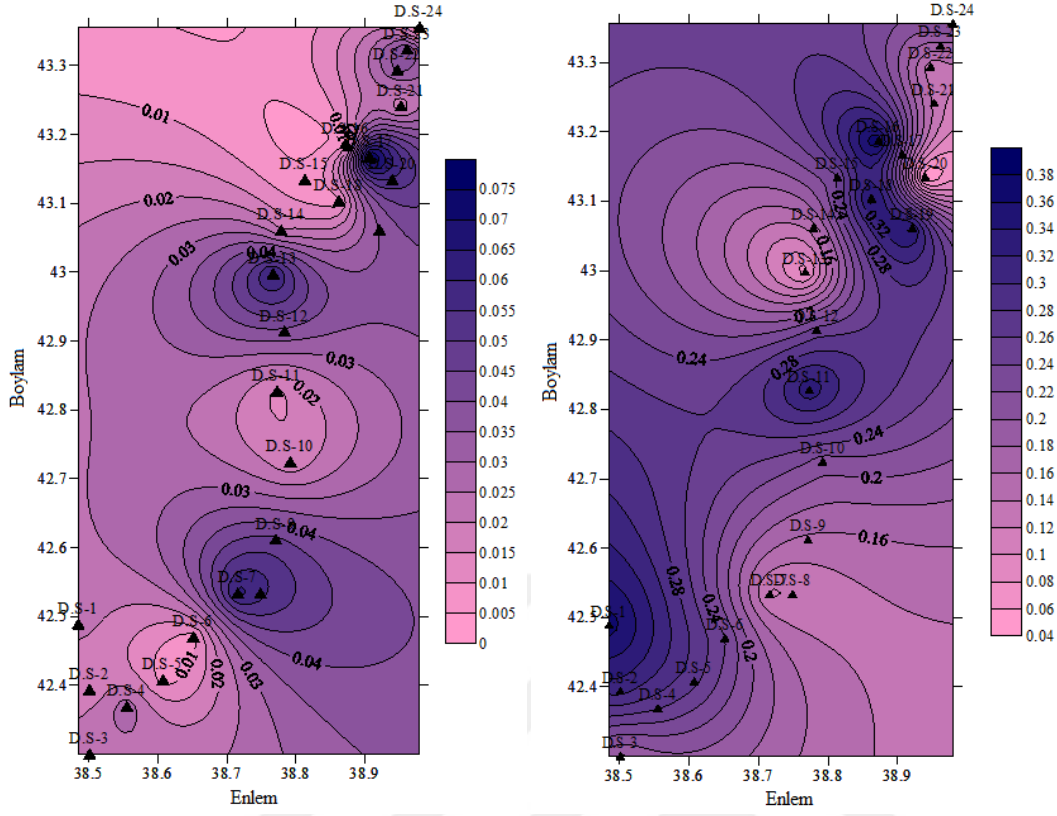
Örnek No	Derinlik (m)	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L) $\times 10^{-1}$	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/L) $\times 10^{-1}$
D.S-1	46	0,22 \pm 0,06	3,70 \pm 0,44
D.S-2	54	0,16 \pm 0,04	3,08 \pm 0,45
D.S-3	50	0,22 \pm 0,04	1,76 \pm 0,41
D.S-4	50	0,28 \pm 0,04	2,62 \pm 0,40
D.S-5	50	0,08 \pm 0,03	2,66 \pm 0,39
D.S-6	85	0,08 \pm 0,02	2,42 \pm 0,62
D.S-7	60	0,62 \pm 0,18	1,14 \pm 0,68
D.S-8	70	N.D	1,26 \pm 0,77
D.S-9	80	0,46 \pm 0,15	1,56 \pm 0,48
D.S-10	60	0,16 \pm 0,05	2,10 \pm 0,43
D.S-11	90	0,14 \pm 0,05	3,36 \pm 0,41
D.S-12	30	0,39 \pm 0,05	2,48 \pm 0,46
D.S-13	36	0,62 \pm 0,27	0,68 \pm 0,29
D.S-14	38	0,20 \pm 0,06	1,50 \pm 0,42
D.S-15	54	N.D	2,36 \pm 0,39
D.S-16	40	0,08 \pm 0,04	3,82 \pm 0,40
D.S-17	50	0,79 \pm 0,27	N.D
D.S-18	56	0,08 \pm 0,04	3,52 \pm 0,40
D.S-19	60	N.D	3,44 \pm 0,39
D.S-20	48	0,54 \pm 0,15	0,32 \pm 0,14
D.S-21	40	0,16 \pm 0,06	1,34 \pm 0,43
D.S-22	52	0,36 \pm 0,08	1,26 \pm 0,39
D.S-23	45	0,42 \pm 0,19	1,72 \pm 0,67
D.S-24	36	0,02 \pm 0,01	2,28 \pm 0,42
Ort.		0,29 \pm 0,09	2,19 \pm 0,45

N.D: Algılanamadi

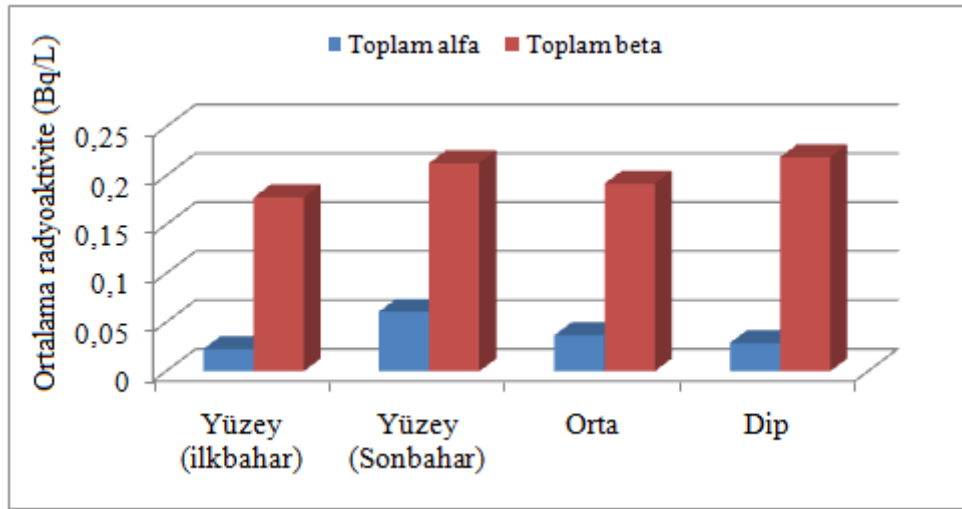
Tablo 5.4'e göre, ilkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan dip su örneklerinde, en düşük toplam alfa radyoaktivitesi $(0,02\pm 0,01)\times 10^{-1}$ Bq/L ile D.S-24 istasyonunda, en yüksek toplam alfa radyoaktivitesi ise, $(0,62\pm 0,27)\times 10^{-1}$ Bq/L ile D.S-13 istasyonunda tespit edilmiştir. Toplam beta radyoaktivitesi ise, en düşük $(0,32\pm 0,14)\times 10^{-1}$ Bq/L ile D.S-20 istasyonunda hesaplanırken, en yüksek $(3,82\pm 0,40)\times 10^{-1}$ Bq/L ile D.S-16 istasyonunda hesaplanmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.6. İlkbahar dönemi orta su örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi



Şekil 5.7. İlkbahar dönemi dip su örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi



Şekil 5.8. Van Gölü'nden alınan yüze, orta ve dip su örneklerinin ortalama toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri

Tablo 5.1, Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Şekil 5.8 göz önüne alınarak, ilkbahar dönemi yüze, orta ve dip suları için ortalama toplam alfa radyoaktiviteleri karşılaştırılacak olunursa, orta suları en yüksek konsantrasyona sahip iken, yüze suları ise en düşük konsantrasyona

sahiptir. Benzer şekilde, yüzey, orta ve dip suları için, ortalama toplam beta radyoaktiviteleri karşılaştırılacak olunursa, en yüksek konsantrasyonun dip sularına, en düşük konsantrasyonun ise, yüzey sularına ait olduğu görülmektedir.

İçme ve kullanma suları içerisinde bulunabilecek azami toplam alfa radyoaktivite seviyesi için, WHO (2004) tarafından önerilen sınır değer 0,5 Bq/L, TSE (2003) tarafından müsaade edilen sınır değer 0,1 Bq/L olup, EPA (1994) için ise bu değer, 0,555 Bq/L şeklindedir. Toplam beta radyoaktivite seviyesi için, EPA (1994) ile WHO (2004) tarafından tavsiye edilip, TSE (2003) tarafından da müsaade edilen üst sınır değer ise, 1 Bq/L olarak belirlenmiştir.

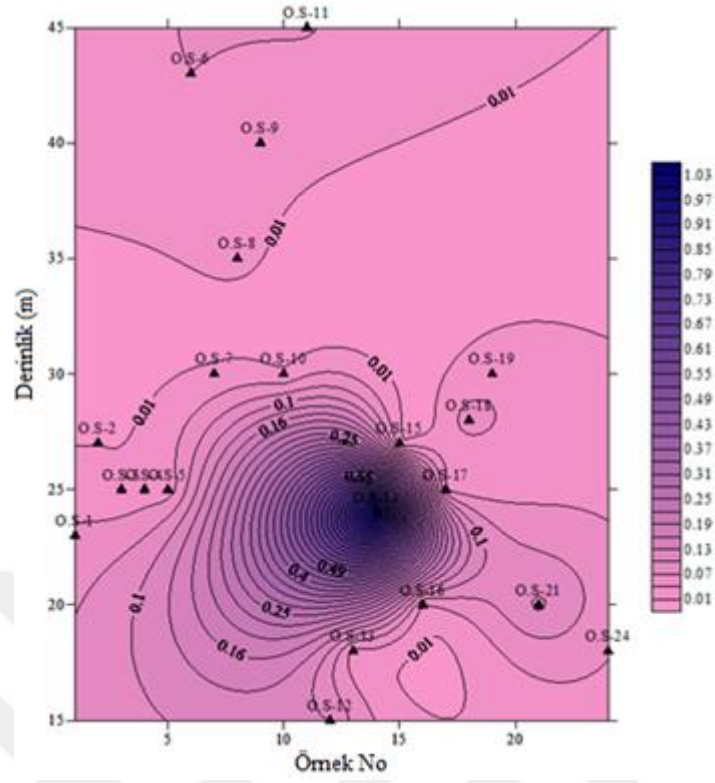
Alınan su örneklerinde ilkbahar dönemi O.S-14 ve O.S-21 ile sonbahar dönemi Y.S-10 ve Y.S-11 hariç, alfa radyoaktivite konsantrasyonu, su için belirlenen 0,1 Bq/L olan sınır değerini aşmazken, beta radyoaktivite konsantrasyonları ise, su örneklerinin tamamında, su için belirlenen 1 Bq/L olan sınır değerini aşmamıştır.

Su örneklerinin tamamı incelendiği zaman, toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin $(0,02\pm 0,01)\times 10^{-1}$ Bq/L ile $(2,74\pm 0,24)\times 10^{-1}$ Bq/L aralığında değiştiği görülmektedir. Toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ise, su örneklerinin tamamında $(0,16\pm 0,08)\times 10^{-1}$ Bq/L ile $(4,00\pm 0,41)\times 10^{-1}$ Bq/L aralığında değiştiği görülmektedir.

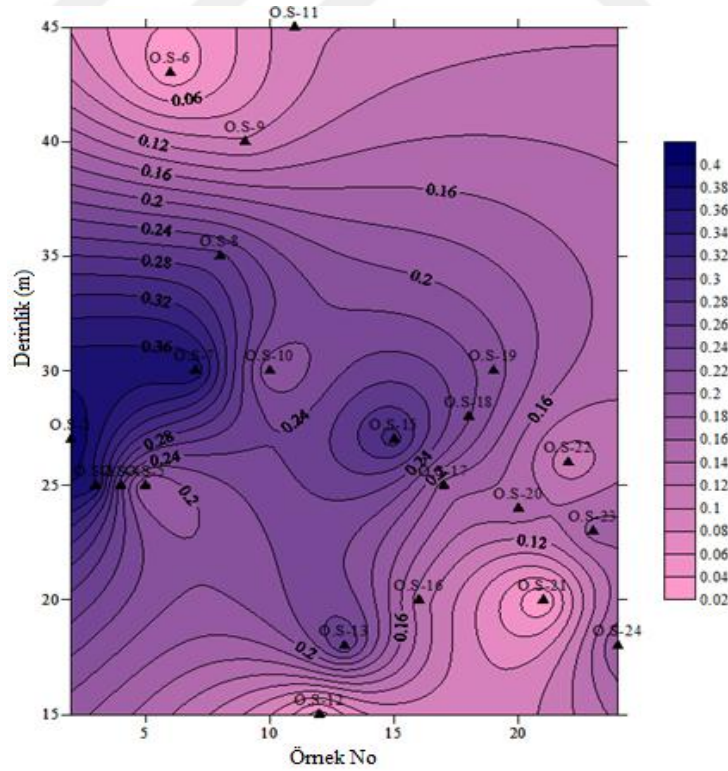
Şekil 5.9'a göre, orta su örneklerinde toplam alfa radyoaktivitesi, derinliğin 20-25 m olduğu bölgelerde daha yüksektir.

Şekil 5.10'a göre, orta su örneklerinde toplam beta radyoaktivitesi ise, derinliğin 25-35 m olduğu bölgelerde daha yüksektir.

Şekil 5.11'e göre, dip su örneklerinde derinlik ile toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi arasında anlamlı bir ilişki söz konusu değildir.



Şekil 5.9. İlkbahar dönemi orta su örneklerinde toplam alfa radyoaktivitesinin derinliğe bağlı olarak değişimi



Şekil 5.10. İlkbahar dönemi orta su örneklerinde toplam beta radyoaktivitesinin derinliğe bağlı olarak değişimi

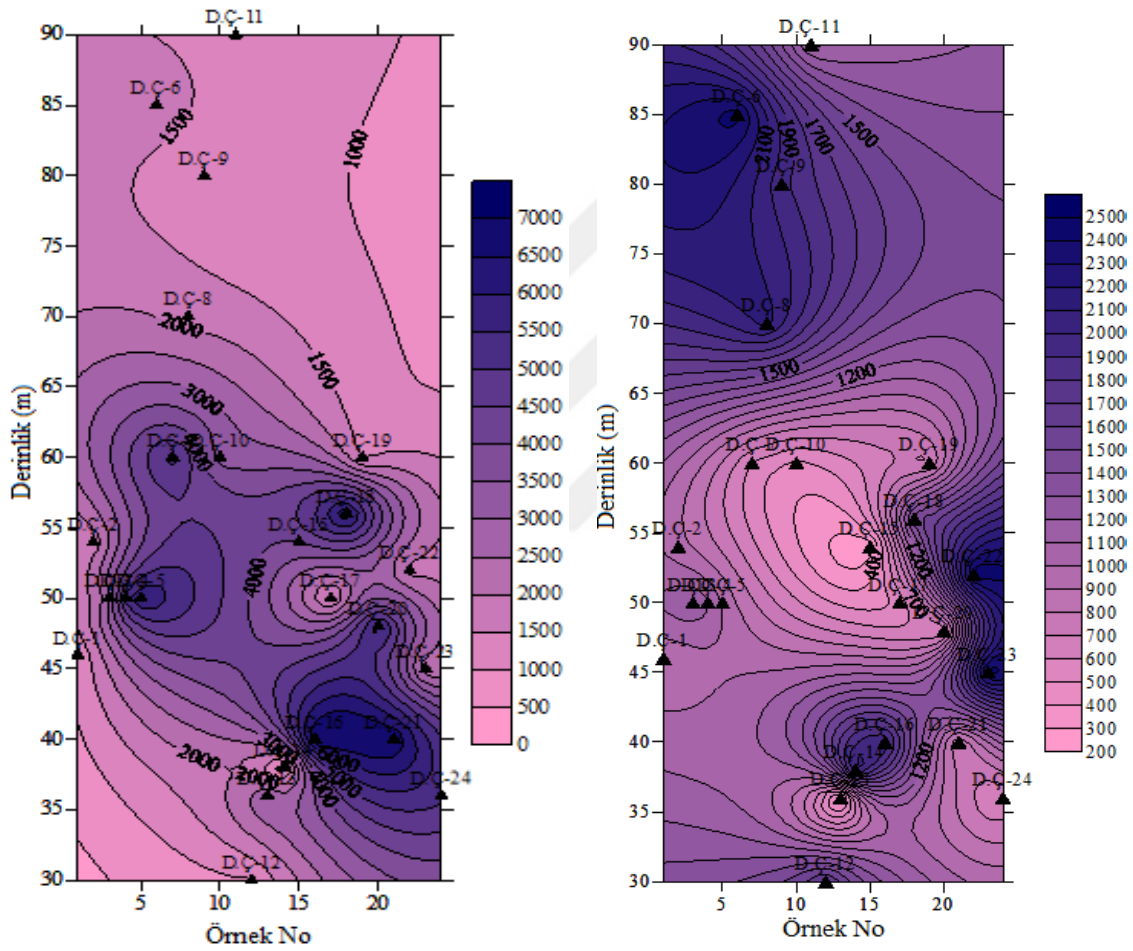
Tablo 5.5. İlkbahar dönemi dip çamuru örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/kg)

Örnek No	Derinlik (m)	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/kg) $\times 10^2$	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/kg) $\times 10^2$
D.Ç-1	46	10,29 \pm 1,04	9,06 \pm 1,74
D.Ç-2	54	16,52 \pm 1,41	9,36 \pm 2,19
D.Ç-3	50	27,81 \pm 1,64	11,90 \pm 2,51
D.Ç-4	50	51,74 \pm 4,72	11,09 \pm 3,54
D.Ç-5	50	59,75 \pm 4,93	9,76 \pm 3,65
D.Ç-6	85	17,18 \pm 1,23	24,41 \pm 2,07
D.Ç-7	60	51,99 \pm 4,78	5,90 \pm 1,86
D.Ç-8	70	18,26 \pm 1,47	21,35 \pm 2,34
D.Ç-9	80	11,57 \pm 1,19	19,29 \pm 1,95
D.Ç-10	60	32,66 \pm 4,32	4,75 \pm 1,67
D.Ç-11	90	12,82 \pm 1,37	10,80 \pm 2,23
D.Ç-12	30	9,76 \pm 1,29	17,33 \pm 2,06
D.Ç-13	36	30,52 \pm 4,31	2,79 \pm 1,63
D.Ç-14	38	5,42 \pm 1,09	20,52 \pm 1,85
D.Ç-15	54	39,83 \pm 4,10	2,34 \pm 1,71
D.Ç-16	40	70,83 \pm 5,13	19,75 \pm 3,85
D.Ç-17	50	12,36 \pm 1,44	5,33 \pm 2,17
D.Ç-18	56	64,25 \pm 4,93	14,69 \pm 3,71
D.Ç-19	60	14,10 \pm 1,41	6,82 \pm 2,09
D.Ç-20	48	58,23 \pm 4,99	6,11 \pm 1,91
D.Ç-21	40	69,30 \pm 5,13	6,99 \pm 1,96
D.Ç-22	52	18,30 \pm 1,47	24,58 \pm 2,37
D.Ç-23	45	21,00 \pm 1,52	24,71 \pm 2,44
D.Ç-24	36	51,10 \pm 4,78	6,02 \pm 1,84
Ort.		32,32 \pm 2,90	12,32 \pm 2,35

Farklı noktalardan alınan dip çamuru örneklerinin analizleri sonucunda, toplam alfa aktivite değerlerinin (5,42 \pm 1,09-70,83 \pm 5,13) $\times 10^2$ Bq/kg, toplam beta aktivite değerlerinin (2,34 \pm 1,71-24,71 \pm 2,44) $\times 10^2$ Bq/kg aralığında değiştiği; ortalama toplam alfa aktivitesinin (32,32 \pm 2,90) $\times 10^2$ Bq/kg, toplam beta aktivitesinin ise, (12,32 \pm 2,31) $\times 10^2$ Bq/kg olduğu saptanmıştır. Dip çamurları için elde edilen sonuçlar, dip suları için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacak olunursa, dip çamurları için elde edilen sonuçların, sular için elde

edilenlerden çok yüksek olduğu görülmektedir. Göllerde, dip çamurları depo görevi görmektedir. Dolayısıyla, yüzeiden dibe doğru çöken radyoaktif elementler ve gölün zemininin jeolojik yapısı da dip çamurlarındaki radyoaktiviteye katkı sağlamaktadırlar.

Dip çamuru örneklerinde saptanan ortalama toplam alfa radyoaktivitesinin, ortalama toplam beta radyoaktivitesinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, dip çamurlarında alfa radyoaktivitesini yayan elementlerin hâkim olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.12. İlkbahar dönemi dip çamuru örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesinin derinliğe bağlı olarak değişimi

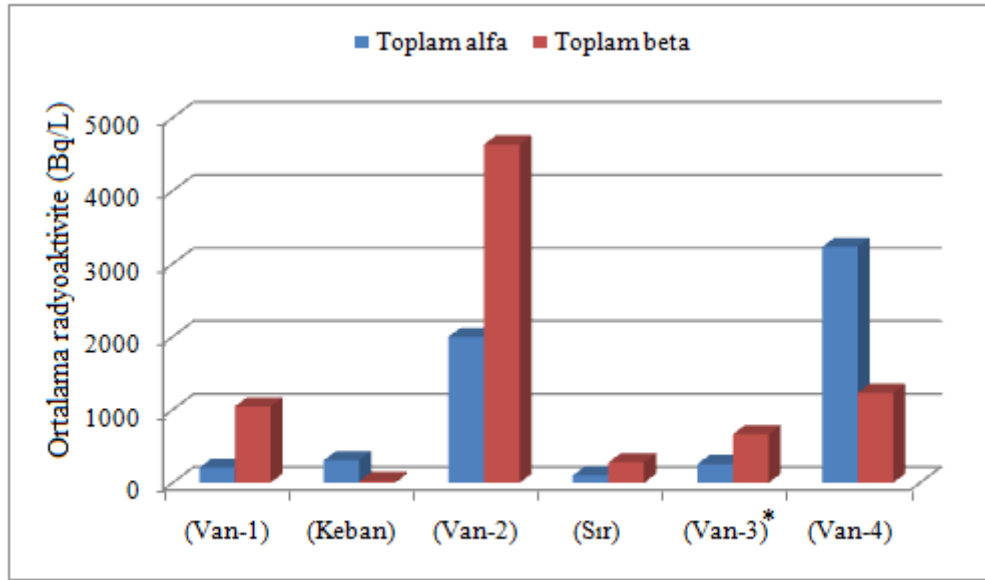
Şekil 5.12'de, dip çamuru örneklerinde derinliğe bağlı olarak, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesinin değişimi verilmiştir. Şekil 5.12'ye göre, derinlik ile toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi arasında anlamlı bir ilişki söz konusu değildir.

Bu çalışma için elde edilen sonuçlar, Tablo 5.6'da ve Şekil 5.13'te yer alan yapılmış benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacak olunursa, ortalama toplam alfa

radyoaktivite seviyesinin, diğer çalışmalardakilerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama toplam beta aktivite seviyesi yönünden ise bu çalışma, ikinci en yüksek aktiviteye sahip çalışmadır.

Tablo 5.6. Van Gölü dip çamuru örneklerinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması

Göl adı	Toplam alfa (Bq/kg)	Toplam beta (Bq/kg)	Kaynaklar
Van Gölü (Ortalama) (Van-1)	207±96	1046±602	Akyıl vd., 2009
Keban Baraj Gölü (Ortalama) (Keban)	310	25	Külahcı, 2005
Van Gölü (Ortalama) (Van-2)	2000 ± 1203	4635 ± 2099	Zorer, 2006
Sır Baraj Göleti (Ortalama) (Sır)	102,580±31,000	280,800±29,900	Çam, 2011
Van Gölü (Maksimum) (Van-3)	259	669	Erenturk vd., 2014
Van Gölü (Ortalama) (Van-4)	3232 ± 290	1232 ± 235	Bu çalışma



* Ortalama yerine maksimum radyoaktivite (Bq/L)

Şekil 5.13. Van Gölü dip çamuru örneklerinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması

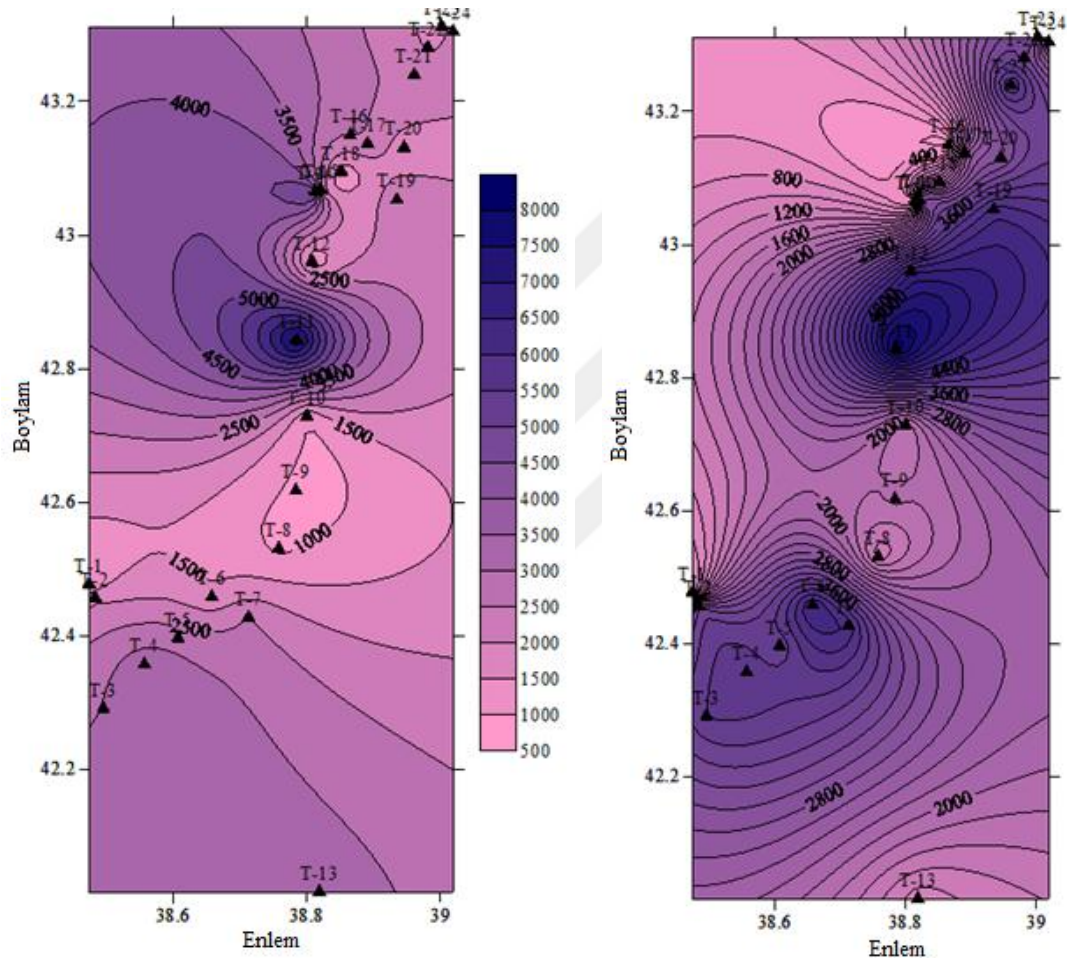
5.1.3. İlkbahar Döneminde Alınan Toprak Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Analiz Sonuçları

İlkbahar döneminde Van Gölü kıyısından alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite sonuçları Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7. İlkbahar dönemi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/kg)

Örnek No	Koordinatlar		Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/kg) $\times 10^2$	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/kg) $\times 10^2$
	Enlem	Boylam		
T-1	38° 28' 23,9"	42° 28' 37,0"	9,33 \pm 1,11	3,74 \pm 1,73
T-2	38° 28' 55,3"	42° 27' 26,0"	19,20 \pm 1,37	34,91 \pm 1,19
T-3	38° 29' 40,3"	42° 17' 28,6"	30,10 \pm 1,70	38,09 \pm 2,71
T-4	38° 33' 21,8"	42° 21' 25,3"	33,11 \pm 1,71	39,43 \pm 2,73
T-5	38° 36' 23,5"	42° 23' 49,0"	27,79 \pm 1,49	36,11 \pm 2,37
T-6	38° 39' 26,2"	42° 27' 28,9"	16,02 \pm 1,25	46,59 \pm 2,23
T-7	38° 42' 43,9"	42° 25' 38,5"	25,12 \pm 1,44	43,60 \pm 2,41
T-8	38° 45' 26,8"	42° 31' 51,4"	9,03 \pm 1,02	12,28 \pm 1,72
T-9	38° 46' 59,3"	42° 37' 02,2"	9,24 \pm 1,03	18,64 \pm 1,79
T-10	38° 47' 58,7"	42° 43' 44,1"	10,36 \pm 1,31	16,23 \pm 2,12
T-11	38° 47' 05,5"	42° 50' 34,0"	80,58 \pm 5,34	59,72 \pm 2,50
T-12	38° 48' 27,2"	42° 57' 36,1"	9,76 \pm 1,18	47,75 \pm 2,16
T-13	38° 49' 06,2"	42° 00' 59,0"	32,36 \pm 4,36	10,67 \pm 3,20
T-14	38° 48' 44,8"	43° 03' 51,2"	52,27 \pm 4,71	2,85 \pm 1,82
T-15	38° 49' 13,9"	43° 04' 02,4"	20,33 \pm 1,38	33,80 \pm 2,27
T-16	38° 51' 52,1"	43° 08' 57,4"	25,01 \pm 1,39	0,21 \pm 0,08
T-17	38° 53' 25,6"	43° 08' 13,6"	24,62 \pm 1,59	24,44 \pm 2,58
T-18	38° 51' 05,4"	43° 05' 42,4"	11,28 \pm 1,29	18,08 \pm 2,13
T-19	38° 56' 04,1"	43° 03' 10,5"	23,71 \pm 1,58	43,03 \pm 2,65
T-20	38° 56' 43,0"	43° 07' 52,2"	17,09 \pm 1,18	29,24 \pm 2,06
T-21	38° 57' 37,3"	43° 14' 23,8"	23,95 \pm 1,39	42,90 \pm 2,36
T-22	38° 58' 49,7"	43° 16' 51,3"	19,55 \pm 1,24	32,95 \pm 2,11
T-23	39° 00' 06,4"	43° 18' 43,3"	18,06 \pm 1,23	33,73 \pm 2,13
T-24	39° 01' 07,6"	43° 18' 15,3"	21,72 \pm 1,52	16,91 \pm 2,41
Ort.			23,73 \pm 1,78	28,58 \pm 2,14

İlkbahar dönemi toprak örneklerinde, toplam alfa aktivite değerlerinin $(9,03 \pm 1,02 - 80,58 \pm 5,34) \times 10^2$ Bq/kg aralığında, toplam beta aktivite değerlerinin ise, $(0,21 \pm 0,08 - 59,72 \pm 2,50) \times 10^2$ Bq/kg aralığında değiştikleri görülmektedir. Ayrıca, ortalama toplam alfa radyoaktivitesi $(23,73 \pm 1,78) \times 10^2$ Bq/kg iken, ortalama toplam beta radyoaktivitesi ise, $(25,58 \pm 2,14) \times 10^2$ Bq/kg'dır. Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi bakımından en yüksek konsantrasyona sahip istasyon ise, T-11 istasyonudur (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. İlkbahar dönemi toprak örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi

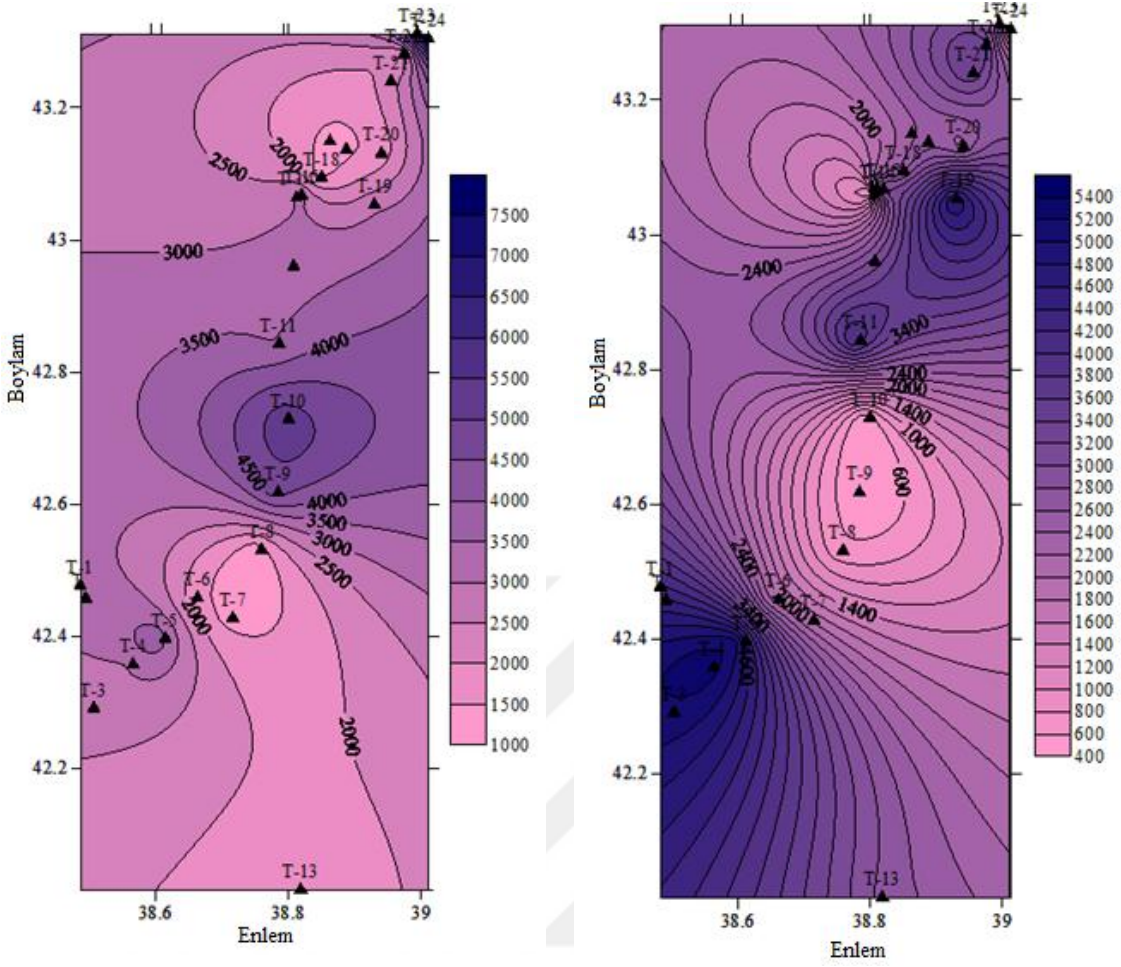
5.1.4. Sonbahar Döneminde Alınan Toprak Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Analiz Sonuçları

Sonbahar döneminde Van Gölü'nün kıyısından alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite sonuçları Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8. Sonbahar dönemi toprak örneklerinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri (Bq/kg)

Örnek No	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/kg) $\times 10^2$	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/kg) $\times 10^2$
T-1	ÖA	ÖA
T-2	ÖA	ÖA
T-3	26,95 \pm 1,51	51,41 \pm 2,57
T-4	29,65 \pm 1,58	53,21 \pm 2,62
T-5	39,08 \pm 1,64	51,33 \pm 2,68
T-6	18,65 \pm 1,35	22,05 \pm 2,32
T-7	13,41 \pm 1,21	20,63 \pm 2,01
T-8	11,28 \pm 1,29	6,88 \pm 2,02
T-9	47,40 \pm 4,84	4,63 \pm 1,85
T-10	53,15 \pm 4,92	4,03 \pm 1,78
T-11	35,01 \pm 1,83	40,48 \pm 2,93
T-12	ÖA	ÖA
T-13	17,26 \pm 1,33	27,74 \pm 2,18
T-14	27,88 \pm 2,20	7,41 \pm 1,98
T-15	33,59 \pm 1,80	31,11 \pm 2,82
T-16	ÖA	ÖA
T-17	ÖA	ÖA
T-18	13,67 \pm 1,42	23,72 \pm 2,32
T-19	28,73 \pm 2,54	48,62 \pm 2,20
T-20	16,65 \pm 1,31	23,04 \pm 3,96
T-21	23,33 \pm 2,30	33,83 \pm 2,20
T-22	18,87 \pm 1,28	33,51 \pm 2,17
T-23	62,28 \pm 4,32	25,43 \pm 3,98
T-24	74,90 \pm 5,33	12,75 \pm 4,00
Ort.	30,59\pm2,32	27,46\pm2,56

ÖA : Örnek alınamadı



Şekil 5.15. Sonbahar dönemi toprak örneklerinde, sırasıyla, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi

Sonbahar dönemi toprak örneklerinde ise, en düşük toplam alfa aktivitesi $(11,28 \pm 1,29) \times 10^2$ Bq/kg değeri ile T-8 örneğine ait iken, en yüksek toplam alfa aktivitesi ise, $(74,90 \pm 5,33) \times 10^2$ Bq/kg değeri ile T-24 örneğine aittir. Toplam beta aktivitesi incelendiğinde ise, en düşük toplam beta aktivitesinin $(4,03 \pm 1,78) \times 10^2$ Bq/kg değeri ile T-10 örneğine ait olduğu görülürken, en yüksek toplam beta aktivitesinin ise, $(53,21 \pm 2,62) \times 10^2$ Bq/kg değeri T-4 örneğine ait olduğu görülmektedir (Şekil 5.15).

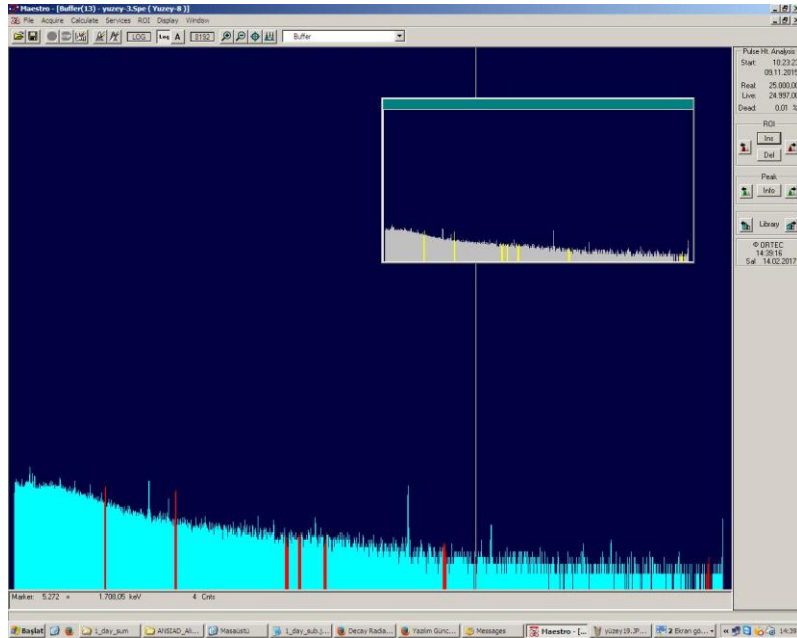
Ortalama toplam alfa radyoaktivitesi $(30,59 \pm 2,32) \times 10^2$ Bq/kg iken, ortalama toplam beta radyoaktivitesi ise, $(27,46 \pm 2,56) \times 10^2$ Bq/kg'dır. Sonbahar dönemi ortalama toplam alfa radyoaktivitesi ilkbahar döneminden yüksek iken, ortalama toplam beta radyoaktivitesi ise, ilkbahar döneminden düşüktür.

5.2. Radyoçekerdek Aktivite Analiz Sonuçları

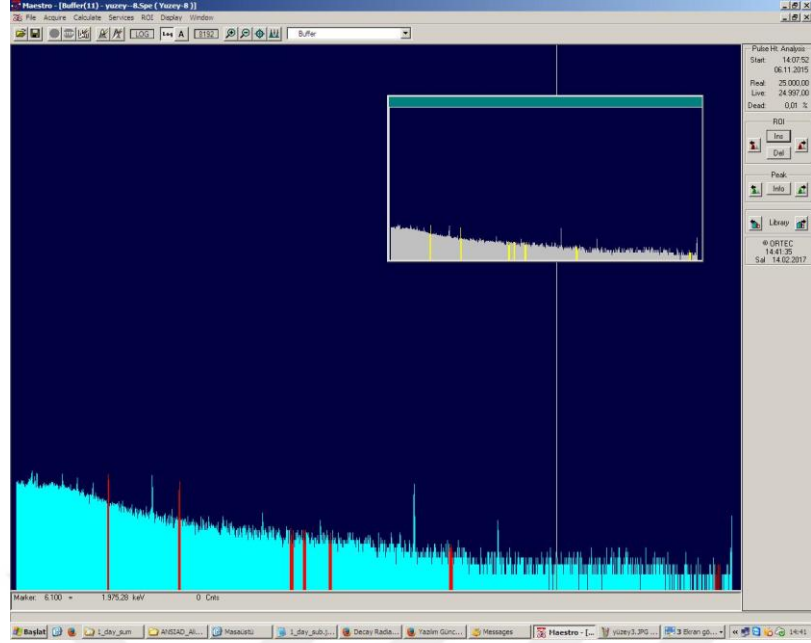
5.2.1. İlkbahar ve Sonbahar Döneminde Van Gölü'nden Alınan Su Örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I Radyoaktivite Konsantrasyonları

5.2.1.1. İlkbahar ve Sonbahar Döneminde Van Gölü'nden Alınan Yüzey, Orta ve Dip Su Örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs Radyoaktivite Konsantrasyonları

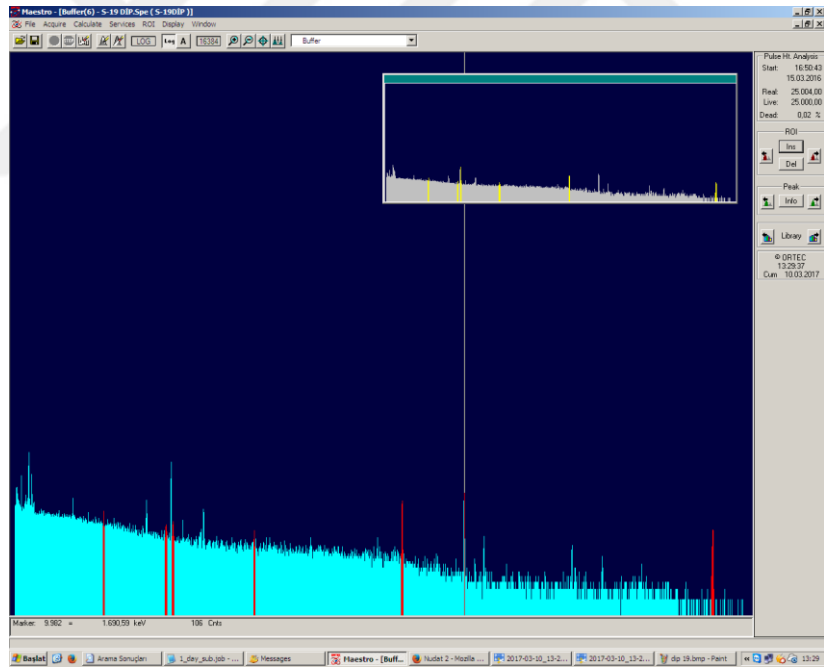
Gama spektroskopik ölçümleri yapılan su örneklerinin, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotop analizlerini yaptığımız kanallardaki sayımları, background spektrumundaki sayımlarla aynı mertebede, hatta bazı örneklerde ise, backgrounddan daha düşüktür. Bu durum, aşağıda verilen su örnekleri ve background spektrumlarından da (Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20) açıkça görülmektedir. HPGe ölçüm sisteminin mevcut MDA (350-400 mBq/kg) değerleri de göz önüne alındığı zaman, su örneklerinin aktivitelerinin, ölçüm sınırının altında kalacağı görülmektedir. Bu nedenle, su örnekleri için radyoaktivite konsantrasyon değerleri, kullanılan sistemin ölçüm limitlerinin dışında kaldığından dolayı belirlenememiştir.



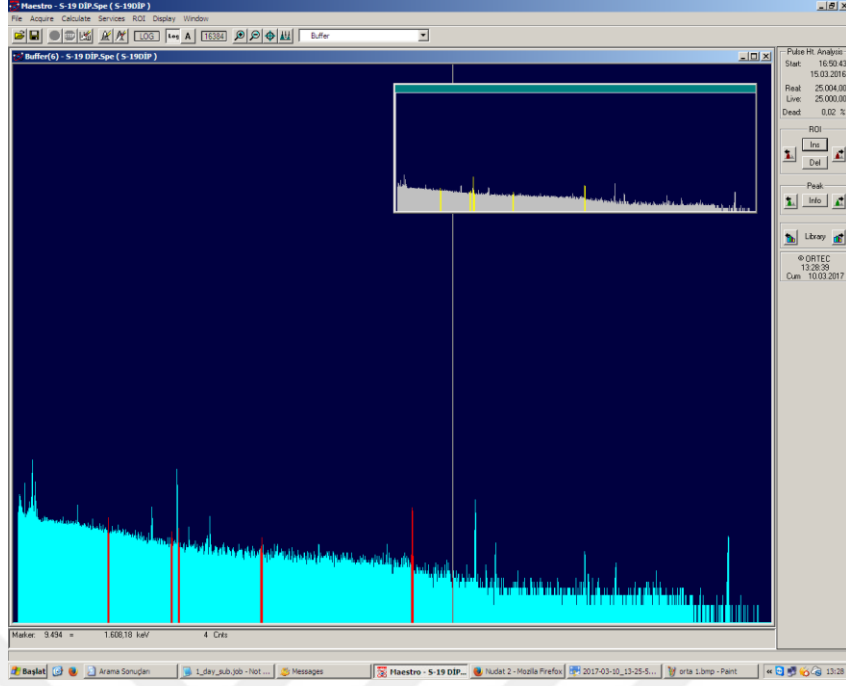
Şekil 5.16. İlkbahar dönemi Y.S-3 yüzey su örneği için gama spektrumu



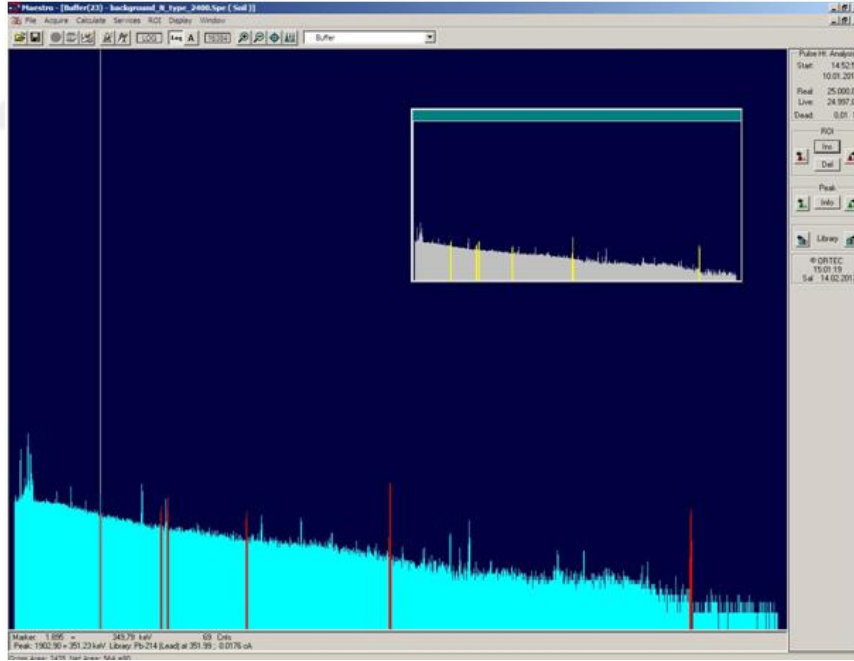
Şekil 5.17. İlkbahar dönemi Y.S-8 yüzey su örneği için gama spektrumu



Şekil 5.18. İlkbahar dönemi O.S-1 orta su örneği için gama spektrumu



Şekil 5.19. İlkbahar dönemi D.S-19 dip su örneği için gama spektrumu



Şekil 5.20. Background için gama spektrumu

5.2.1.2. İlkbahar ve Sonbahar Döneminde Van Gölü'nden Alınan Yüzey Su Örnekleri ile İlkbahar Döneminde Alınan Orta ve Dip Su Örneklerinin ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I Radyoaktivite Konsantrasyonları

İlkbahar ve sonbahar döneminde Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinin ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I radyoaktivite konsantrasyonları Tablo 5.9'da verilirken, ilkbahar döneminde alınan orta ve dip suları için ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla Tablo 5.11 ve Tablo 5.12'de verilmiştir.

Tablo 5.9'da verilen ilkbahar dönemi ⁹⁰Sr radyoaktivite konsantrasyonları 0,10±0,01 ile 0,81±0,12 Bq/L aralığında değişmekte olup, ortalama konsantrasyonu ise 0,35±0,07 Bq/L'dir. Sonbahar dönemi ⁹⁰Sr radyoaktivite konsantrasyonları 0,07±0,01 ile 0,78±0,12 Bq/L aralığında değişmekte olup, ortalama konsantrasyonu ise 0,41±0,06 Bq/L'dir. Mevsimsel olarak incelendiği zaman, sonbahar dönemi ortalama ⁹⁰Sr konsantrasyonunun ilkbahar döneminden daha yüksek olduğu görülmektedir. Yüzey su örneklerinde ¹²⁹I radyoaktivite konsantrasyonları incelenecek olunursa, ilkbahar dönemi ¹²⁹I radyoaktivite konsantrasyonlarının 0,10±0,02 ile 0,50±0,20 Bq/L aralığında değişmekte olduğu, ortalama konsantrasyonun ise, 0,26±0,08 Bq/L olduğu görülmektedir. Sonbahar dönemi ¹²⁹I radyoaktivite konsantrasyonları ise, 0,06±0,01 ile 0,49±0,18 Bq/L aralığında değişmekte olup, ortalama konsantrasyon ise, 0,28±0,10 Bq/L'dir. Benzer şekilde, ortalama konsantrasyonlar mevsimsel olarak karşılaştırılacak olunursa, sonbahar dönemdekilerin ilkbahar dönemdekilerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 5.9. İlkbahar ve sonbahar dönemi yüzey su örneklerinin ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/L)

Örnek No	Radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/L)			
	İlkbahar		Sonbahar	
	⁹⁰ Sr	¹²⁹ I	⁹⁰ Sr	¹²⁹ I
Y.S-1	0,30±0,05	0,20±0,05	ÖA	ÖA
Y.S-2	0,10±0,01	0,18±0,01	ÖA	ÖA
Y.S-3	0,44±0,06	0,18±0,02	0,54±0,94	0,24±0,05
Y.S-4	0,64±0,10	0,20±0,08	0,30±0,05	0,34±0,12
Y.S-5	0,57±0,08	0,24±0,05	0,37±0,06	0,24±0,09

Tablo 5.9'un devamı

Y.S-6	0,20±0,02	0,18±0,06	0,14±0,01	0,37±0,14
Y.S-7	0,41±0,05	0,10±0,02	0,47±0,03	0,18±0,06
Y.S-8	0,27±0,04	0,12±0,02	0,44±0,07	0,31±0,11
Y.S-9	0,81±0,12	0,18±0,05	ÖA	ÖA
Y.S-10	0,44±0,07	0,18±0,05	0,61±0,10	0,49±0,18
Y.S-11	0,27±0,03	0,21±0,02	0,41±0,06	0,31±0,12
Y.S-12	0,20±0,03	0,50±0,20	0,41±0,04	0,31±0,09
Y.S-13	0,38±0,04	0,48±0,10	0,78±0,12	0,31±0,10
Y.S-14	0,38±0,10	0,34±0,06	ÖA	ÖA
Y.S-15	0,27±0,04	0,37±0,10	ÖA	ÖA
Y.S-16	0,25±0,05	0,42±0,12	0,51±0,08	0,27±0,08
Y.S-17	0,18±0,02	0,44±0,06	ÖA	ÖA
Y.S-18	0,41±0,05	0,24±0,09	0,27±0,04	0,26±0,01
Y.S-19	0,30±0,05	0,32±0,06	0,30±0,05	0,12±0,04
Y.S-20	0,49±0,07	0,34±0,10	0,07±0,01	0,43±0,16
Y.S-21	0,34±0,05	0,32±0,09	0,47±0,07	0,24±0,07
Y.S-22	0,24±0,06	0,24±0,06	ÖA	ÖA
Y.S-23	0,20±0,03	0,21±0,08	ÖA	ÖA
Y.S-24	0,41±0,08	0,27±0,06	ÖA	ÖA
Min.	0,10±0,01	0,10±0,02	0,07±0,01	0,06±0,01
Max.	0,81±0,12	0,50±0,20	0,78±0,12	0,49±0,18
Ort.	0,35±0,07	0,26±0,08	0,41±0,06	0,28±0,10

ÖA : Örnek alınmadı
Min. : En küçük değer
Max. : En büyük değer

Tablo 5.10. EPA içme suyu standardı (EPA, 2013).

	Aktivite Konsantrasyonları	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
EPA	7,4	0,296

Ayrıca, ilkbahar ve sonbahar döneminde yüzey su örnekleri için elde edilen ortalama ⁹⁰Sr konsantrasyonlarının, yukarıdaki tabloda verilen EPA içme suyu standartının üzerinde oldukları görülmektedir.

Tablo 5.11. İlkbahar dönemi orta su örneklerinin ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/L)

Örnek No	Radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/L)	
	⁹⁰ Sr	¹²⁹ I
O.S-1	0,41±0,04	0,24±0,05
O.S-2	0,14±0,05	0,25±0,06
O.S-3	0,51±0,07	0,34±0,04
O.S-4	0,27±0,05	0,25±0,01
O.S-5	0,30±0,05	0,28±0,05
O.S-6	0,47±0,06	0,24±0,08
O.S-7	0,67±0,06	0,27±0,02
O.S-8	0,48±0,05	0,32±0,02
O.S-9	0,54±0,10	0,52±0,10
O.S-10	0,51±0,05	0,43±0,08
O.S-11	0,35±0,05	0,42±0,05
O.S-12	0,32±0,02	0,74±0,10
O.S-13	0,40±0,05	0,70±0,08
O.S-14	0,45±0,02	0,36±0,05
O.S-15	0,30±0,02	0,42±0,08
O.S-16	0,20±0,03	0,24±0,01
O.S-17	0,28±0,02	0,46±0,05
O.S-18	0,45±0,05	0,30±0,05
O.S-19	0,34±0,04	0,37±0,05
O.S-20	0,52±0,07	0,36±0,04
O.S-21	0,47±0,07	0,37±0,06
O.S-22	0,44±0,03	0,36±0,00
O.S-23	0,37±0,06	0,24±0,04
O.S-24	0,64±0,09	0,28±0,02
Min.	0,14±0,05	0,24±0,08
Max.	0,67±0,06	0,74±0,10
Ort.	0,41±0,05	0,37±0,04

Orta su örnekleri için elde edilen ^{90}Sr radyoaktivite konsantrasyonu (Tablo 5.11) minimum $0,14\pm 0,05$ Bq/L iken, maksimum $0,67\pm 0,06$ Bq/L'dir. Ortalama konsantrasyon ise, $0,41\pm 0,05$ Bq/L'dir. Benzer şekilde, ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonu (Tablo 3.11), minimum $0,24\pm 0,08$ Bq/L iken, maksimum $0,74\pm 0,10$ Bq/L'dir. Ortalama konsantrasyon $0,37\pm 0,04$ Bq/L'dir. En yüksek ^{90}Sr radyoaktivitesi O.S-7 örneğine ait iken, en yüksek ^{129}I radyoaktivitesi ise, O.S-12 örneğine aittir.

İlkbahar döneminde alınan orta su örnekleri için elde edilen ortalama ^{90}Sr konsantrasyonunun, Tablo 5.10'da verilen EPA içme suyu standartının üzerinde olduğu görülmektedir.

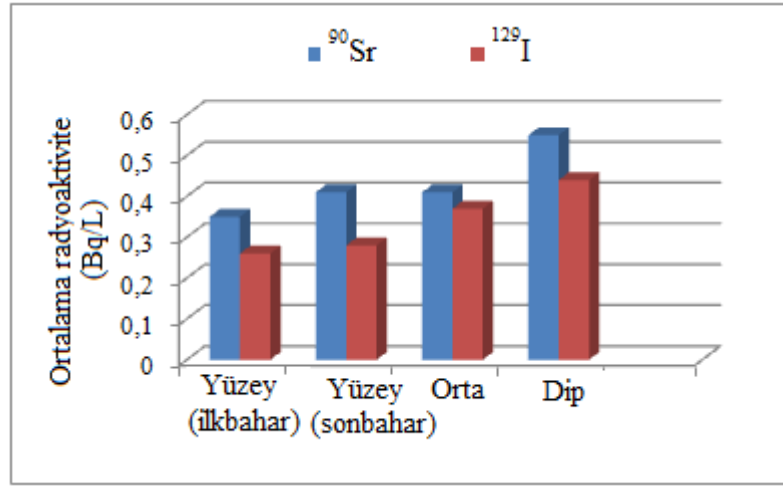
Yukarıdaki tabloda yer alan dip su örnekleri için elde edilen ^{90}Sr radyoaktivite konsantrasyonu, minimum $0,32\pm 0,03$ Bq/L, maksimum $0,91\pm 0,14$ Bq/L olup, ortalama $0,55\pm 0,07$ Bq/L'dir. Benzer şekilde, ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonu (Tablo 5.12), minimum $0,30\pm 0,04$ Bq/L, maksimum $0,76\pm 0,05$ Bq/L olup, ortalama $0,44\pm 0,07$ Bq/L'dir. En yüksek ^{90}Sr radyoaktivite konsantrasyonu D.S-21 örneğine ait iken, en yüksek ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonu ise, D.S-13 örneğine aittir. Benzer şekilde, ilkbahar döneminde alınan dip su örnekleri için hesaplanan ortalama ^{90}Sr konsantrasyonu da, Tablo 5.10'da verilen EPA içme suyu standartının üzerindedir. Fakat bu standart içme suları için belirlenmiş olup, Van Gölü suyu içme suyu olarak kullanılmamaktadır.

Aynı gama/beta algılayıcı sayım sistemi kullanılarak yapılmış başka bir çalışmada, Hazar Gölü'ne ait su örneklerinde ^{90}Sr radyoaktivite konsantrasyonu ortalama olarak, $0,645$ Bq/L olarak hesaplanmıştır (Karaman, 2013). Elde edilen ortalama, bu çalışmada su örnekleri için hesaplanan ortalama ^{90}Sr radyoaktivite konsantrasyonundan ve EPA'nın içme suyu standartından yüksektir.

Van Gölü'nden alınan yüzey, orta ve dip suları, ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktiviteleri bakımından karşılaştırılacak olunursa, yüzey sularının en düşük, dip sularının ise, en yüksek konsantrasyonlara sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.21).

Tablo 5.12. İlkbahar dönemi dip su örneklerinin ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/L)

Örnek No	Radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/L)	
	⁹⁰ Sr	¹²⁹ I
D.S-1	0,64±0,10	0,31±0,05
D.S-2	0,44±0,07	0,34±0,05
D.S-3	0,74±0,11	0,58±0,15
D.S-4	0,34±0,04	0,37±0,05
D.S-5	0,37±0,02	0,34±0,04
D.S-6	0,52±0,08	0,30±0,04
D.S-7	0,64±0,10	0,32±0,02
D.S-8	0,88±0,14	0,40±0,10
D.S-9	0,64±0,06	0,48±0,05
D.S-10	0,57±0,09	0,50±0,05
D.S-11	0,48±0,00	0,45±0,08
D.S-12	0,37±0,01	0,73±0,08
D.S-13	0,45±0,05	0,76±0,05
D.S-14	0,50±0,05	0,42±0,04
D.S-15	0,38±0,08	0,48±0,04
D.S-16	0,64±0,10	0,32±0,05
D.S-17	0,32±0,03	0,50±0,05
D.S-18	0,54±0,08	0,34±0,02
D.S-19	0,40±0,05	0,37±0,08
D.S-20	0,58±0,05	0,40±0,05
D.S-21	0,91±0,14	0,58±0,15
D.S-22	0,78±0,12	0,46±0,12
D.S-23	0,42±0,04	0,40±0,10
D.S-24	0,68±0,10	0,34±0,10
Min.	0,32±0,03	0,30±0,04
Max.	0,91±0,14	0,76±0,05
Ort.	0,55±0,07	0,44±0,07



Şekil 5.21. Van Gölü'nden alınan yüze, orta ve dip sularının ortalama ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I radyoaktiviteleri

5.2.2. İlkbahar Dönemi Dip Çamuru Örneklerinin ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I Radyoaktivite Konsantrasyonları

Van Gölü'nden alınan dip çamuru örneklerinin ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I radyoaktivite konsantrasyonları Tablo 5.13'te ve Şekil 5.22'de verilirken, 10 nolu dip çamuru (D.Ç-10) örneğine ait gama spektrumu ise, Şekil 5.23'te verilmiştir.

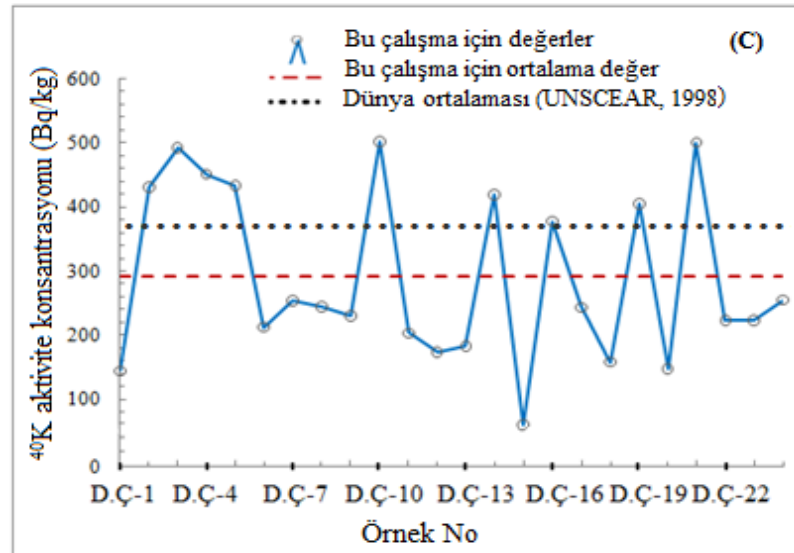
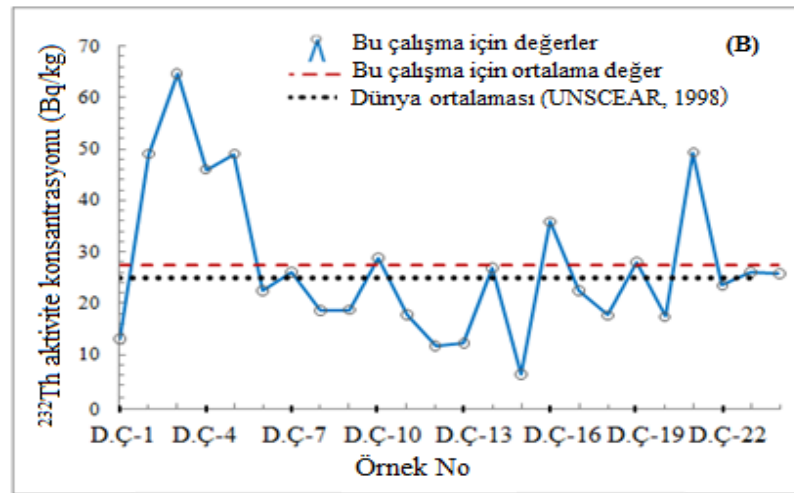
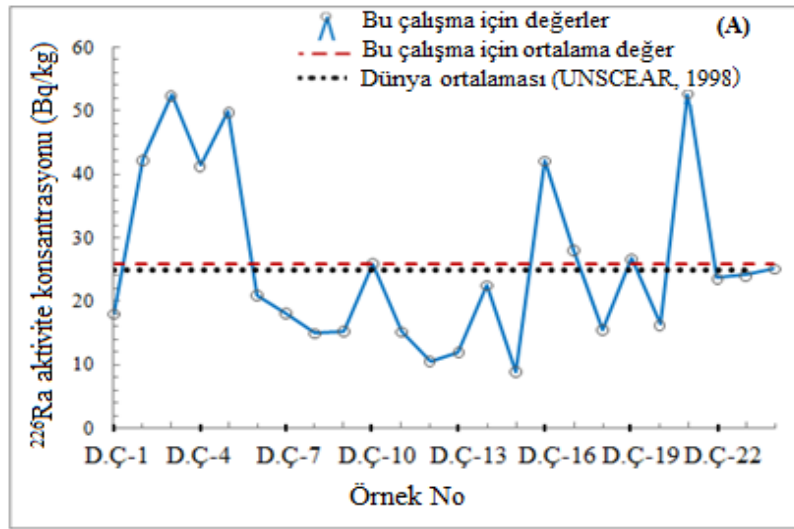
Dip çamuru örnekleri için yapılan gama spektroskopik analizler sonucunda, ²²⁶Ra radyoaktivite değerinin $8,81 \pm 0,64 - 52,98 \pm 3,53$ Bq/kg aralığında, ²³²Th radyoaktivite değerinin $6,14 \pm 0,33 - 64,72 \pm 3,80$ Bq/kg aralığında ve ⁴⁰K radyoaktivite değerinin ise, $60,52 \pm 3,82 - 502,81 \pm 35,10$ Bq/kg aralığında değiştiği gözlenmiştir. Ortalama ²²⁶Ra radyoaktivite değeri $25,92 \pm 1,71$ Bq/kg, ²³²Th radyoaktivite değeri $27,38 \pm 1,84$ Bq/kg ve ⁴⁰K radyoaktivite değeri ise, $290,88 \pm 32,04$ Bq/kg olarak bulunmuştur.

Tablo 5.13 ve Şekil 5.22 birlikte incelendiği zaman, dip çamuru örneklerinin ortalama ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının arasında $^{226}\text{Ra} < ^{232}\text{Th} < ^{40}\text{K}$ şeklinde bir artış olduğu ve elde edilen ortalama konsantrasyonların, dünya ortalama aktivite konsantrasyon değerlerinden yüksek olduğu (⁴⁰K hariç) gözlenmiştir. En yüksek ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla, D.Ç-21, D.Ç-3 ve D.Ç-10 nolu örneklere ait olup, en düşük değerler ise, D.Ç-15 nolu örneğe aittir.

Tablo 5.13. İlkbahar dönemi dip çamuru örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg)

Örnek No	Radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg)					
	^{226}Ra (^{238}U)	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	^{129}I
D.Ç-1	17,98±1,26	13,01±0,83	144,99±8,19	0,07±0,00	0,96±0,03	2,87±0,05
D.Ç-2	42,29±2,88	49,06±3,10	431,85±26,70	0,48±0,03	1,72±0,05	2,97±0,05
D.Ç-3	52,52±2,87	64,72±3,80	493,29±34,97	7,79±0,56	2,98±0,10	2,85±0,12
D.Ç-4	41,36±2,39	46,03±3,22	451,82±23,27	0,46±0,03	1,68±0,06	2,31±0,10
D.Ç-5	49,92±3,78	49,09±3,64	434,19±26,83	5,15±0,33	1,50±0,02	2,71±0,15
D.Ç-6	20,91±1,19	22,45±1,13	212,91±14,01	3,17±0,24	1,22±0,02	1,35±0,07
D.Ç-7	18,05±0,99	26,02±1,60	253,74±17,48	8,55±0,59	1,61±0,08	1,46±0,10
D.Ç-8	14,87±0,80	18,63±1,47	245,83±17,28	5,17±0,26	1,45±0,07	2,05±0,14
D.Ç-9	15,19±1,14	18,71±1,41	230,16±14,11	4,06±0,31	1,04±0,02	2,50±0,18
D.Ç-10	25,87±1,99	28,74±2,20	502,81±35,10	10,83±0,81	1,34±0,03	2,20±0,16
D.Ç-11	15,10±1,15	17,73±1,20	203,65±14,56	6,01±0,31	1,21±0,03	2,18±0,20
D.Ç-12	10,50±0,69	11,71±0,83	173,72±13,62	2,43±0,12	0,75±0,02	1,00±0,09
D.Ç-13	11,98±0,76	12,29±0,67	184,04±12,75	4,20±0,23	0,98±0,07	1,22±0,05
D.Ç-14	22,50±1,52	26,86±1,71	419,02±29,96	6,88±0,41	1,86±0,08	2,80±0,12
D.Ç-15	8,81±0,64	6,14±0,33	60,52±3,82	0,56±0,03	1,50±0,02	0,90±0,05
D.Ç-16	42,16±3,10	35,86±1,84	378,36±25,65	5,86±0,36	1,72±0,03	3,56±0,15
D.Ç-17	28,03±1,52	22,48±1,73	244,11±13,77	1,09±0,07	0,54±0,01	5,86±0,25
D.Ç-18	15,48±0,92	17,64±1,06	158,63±8,61	4,66±0,25	0,96±0,02	2,12±0,10
D.Ç-19	26,68±1,70	27,98±2,01	405,11±29,82	9,74±0,58	1,23±0,01	3,88±0,15
D.Ç-20	16,26±1,21	17,34±1,38	148,60±9,93	6,71±0,40	1,02±0,01	2,68±0,10
D.Ç-21	52,98±3,53	49,35±3,91	501,33±36,20	7,15±0,53	1,83±0,02	2,31±0,15
D.Ç-22	23,58±1,59	23,44±1,51	223,71±15,28	0,99±0,05	1,52±0,02	1,98±0,09
D.Ç-23	24,05±1,66	26,14±2,00	223,18±17,61	1,81±0,14	2,01±0,04	0,52±0,02
D.Ç-24	25,06±1,77	25,76±1,46	255,45±19,36	2,15±0,15	2,30±0,12	1,50±0,05
Min.	8,81±0,64	6,14±0,33	60,52±3,82	0,07±0,00	0,54±0,01	0,52±0,02
Max.	52,98±3,53	64,72±3,80	502,81±35,10	10,83±0,81	2,98±0,10	5,86±0,25
Ort.	25,92±1,71	27,38±1,84	290,88±32,04	4,42±0,28	1,46±0,04	2,32±0,11
D.Ort	25	25	370	-	-	-

D.Ort: Dünya ortalaması (UNSCEAR, 1998'e göre)



Şekil 5.22. Van Gölü dip çamuru örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K (A, B, C) aktivite konsantrasyonları

Tablo 5.13'e göre, ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu, en düşük D.Ç-1 istasyonunda $0,07\pm 0,00$ Bq/kg, en yüksek D.Ç-10 istasyonunda $10,83\pm 0,81$ Bq/kg olarak hesaplanmış olup, ^{90}Sr aktivite konsantrasyonu ise, en düşük D.Ç-17 istasyonunda $0,54\pm 0,01$ Bq/kg, en yüksek D.Ç-3 istasyonunda $2,98\pm 0,10$ Bq/kg olarak hesaplanmıştır. ^{129}I aktivite konsantrasyonu ise, $0,52\pm 0,02$ Bq/kg (D.Ç-23) ile $5,86\pm 0,25$ Bq/kg (D.Ç-17) değerleri arasında değişmekte olup, ortalama aktivite konsantrasyon değeri ise, $14,85\pm 1,32$ Bq/kg'dır.

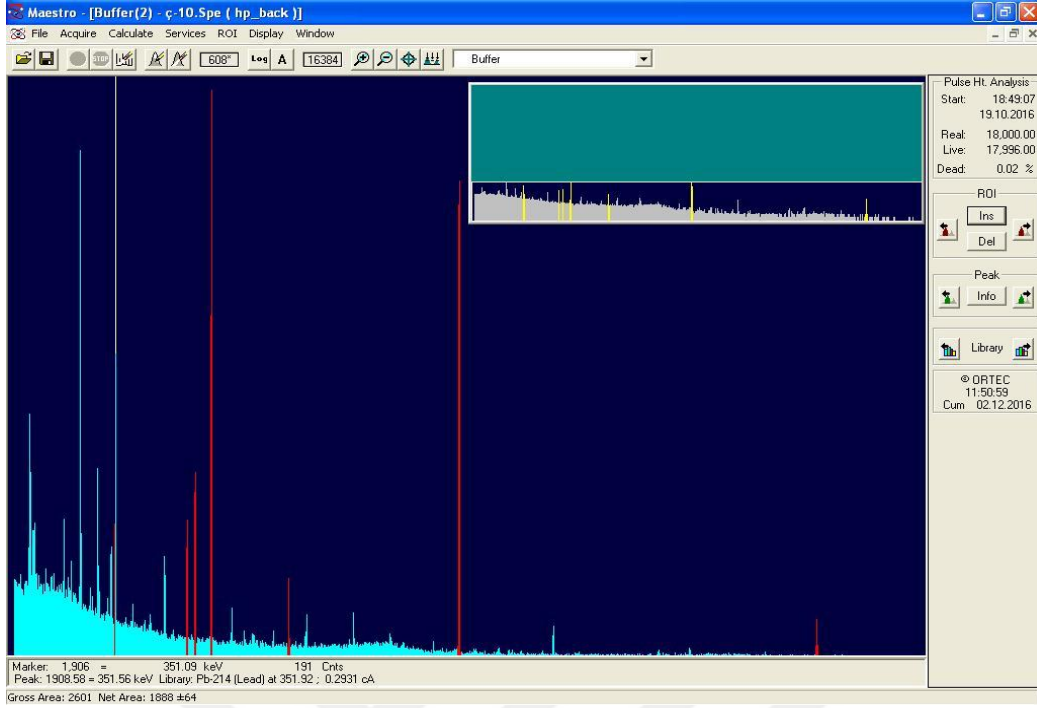
Ergül vd. (2006), Karadeniz kıyılarından topladıkları dip sediment örneklerinde, ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun $40-100$ Bq/kg aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir (Ergül vd., 2006).

Yapılmış benzer bir çalışmada, İran'ın güneyinden alınan sediment örneklerinde, ^{90}Sr aktivite konsantrasyonu $0,40-1,60$ Bq/kg aralığında değişmektedir (Asgharizadeh vd., 2009).

Benzer diğer bir çalışmada ise, sediment örneklerinde ^{129}I aktivite konsantrasyonu en fazla $(23,021\pm 4,029)\times 10^{-3}$ Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Qiao vd., 2012).

Bu çalışmada, dip çamuru örnekleri için ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu $4,42\pm 0,28$ Bq/kg, ortalama ^{90}Sr aktivite konsantrasyonu $1,46\pm 0,04$ Bq/kg ve ortalama ^{129}I aktivite konsantrasyonu ise, $14,85\pm 1,32$ Bq/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda, ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu, yukarıda verilen benzer çalışma için elde edilen sonuçtan daha düşük olup, ortalama ^{90}Sr aktivite konsantrasyonu, yukarıda verilen benzer çalışmada elde edilen aktivite aralığında ve ortalama ^{129}I aktivite konsantrasyonu ise, yine yukarıda verilen benzer diğer çalışmada elde edilen sonuçtan daha yüksektir.

Bu çalışmada elde edilen ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerleri, Tablo 5.14'te verilen dünya ortalama aktivite değerlerinden (UNSCEAR, 1988) daha yüksek iken, ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyon değeri ise, dünya ortalama aktivite değerlerinden daha düşüktür.



Şekil 5.23. İlkbahar dönemi D.Ç-10 dip çamuru örneği için gama spektrumu

Tablo 5.14. Van Gölü dip çamuru örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması

Ülke, Göl	Aktivite konsantrasyonu (Bq/kg)			Kaynaklar
	^{226}Ra (^{238}U)	^{232}Th	^{40}K	
Mısır, Nasser Gölü	21	23	155	Ibrahiem, Shawky ve Amer, 1995
Nijerya, Oguta Gölü	47,89	55,37	1023	Isinkaye ve Emelue, 2015
India, Brullus Gölü	17,22	10,03	299,70	Dar ve El Saharty, 2013
Türkiye, Altunkaya Gölü	27,7	19,5	460	Eroglu ve Kabadayi, 2013
Türkiye, Derbent Gölü	25,5	18,8	365	Eroglu ve Kabadayi, 2013
Nijerya, Akpide Gölü	29	30	360	Agbalagba ve Onoja, 2011
Türkiye, Van Gölü	13-41	36-62	250-500	Pişkin, 2009
Türkiye, Van Gölü (Ort)	174±4	63±3	263±25	Erentürk vd., 2014
Türkiye, Van Gölü (Ort)	207±96	70±29	399±231	Akyıl vd., 2009
Türkiye, Van Gölü (Ort.)	25,92	27,38	290,88	Bu çalışma
Sedimentlerde dünya ortalaması	25	25	370	UNSCEAR, 1988
Aralığı	8-160	4-130	100-700	UNSCEAR, 1988

5.2.3. İlkbahar Dönemi Toprak Örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I Radyoaktivite Konsantrasyonları

Van Gölü kıyısından alınan toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonları Tablo 5.15'te, 11 nolu toprak (T-11) örneğine ait gama spektrumu ise, Şekil 5.24'te verilmiştir.

Toprakta ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için dünya ortalama değerleri sırasıyla 35, 30 ve 400 Bq/kg'dır (UNSCEAR, 2000). Tablo 5.15'e göre, ilkbahar dönemi toprak örneklerinde ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu 18,40±0,48 Bq/kg ile T-1 örneğinde en düşük, 68,88±0,90 Bq/kg ile T-11 örneğinde ise, en yüksek olarak tespit edilmiştir. Ortalama ^{226}Ra konsantrasyonu 41,45 Bq/kg değeriyle, dünya ortalama değeri olan 35 Bq/kg'dan yüksektir. ^{232}Th konsantrasyonu için elde edilen veriler incelendiği zaman, en yüksek konsantrasyonun 67,26±4,91 Bq/kg ile T-11 örneğine ait olduğu görülmektedir. Ayrıca, ortalama ^{232}Th konsantrasyonu, 45,26 Bq/kg değeri ile yine dünya ortalama değerinin üzerindedir.

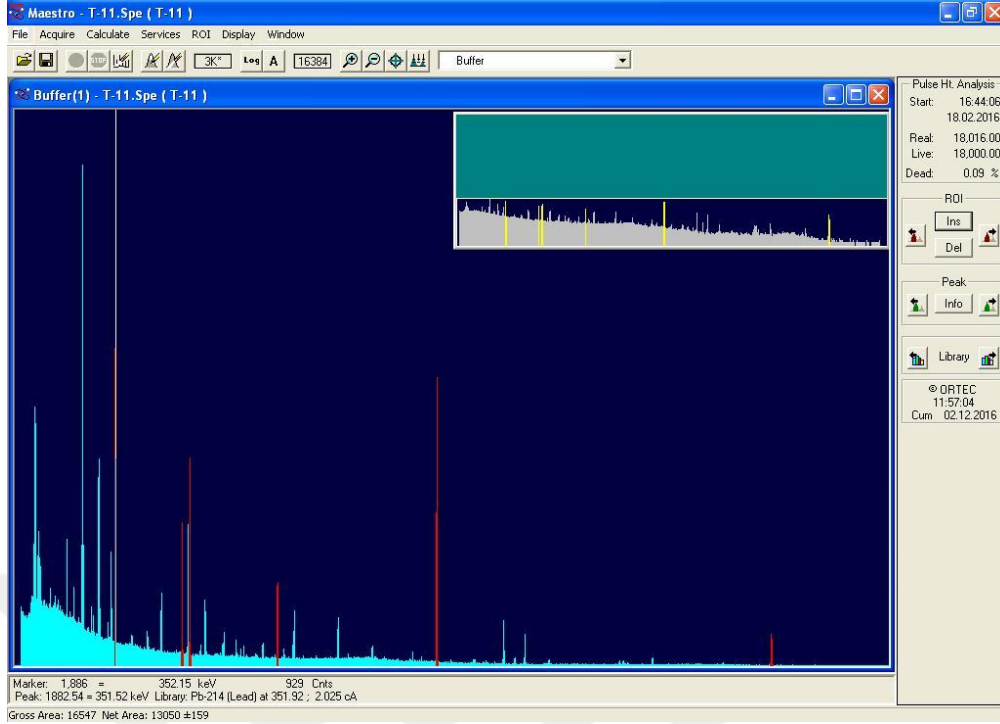
Toprakta ^{40}K aktivite konsantrasyonu, ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarından daha yüksektir. T-1, T-3 ve T-8 örnekleri hariç, örneklerin tamamında ^{40}K aktivite konsantrasyonu, 400 Bq/kg'lık dünya ortalama konsantrasyon değerinden daha yüksektir ve en yüksek konsantrasyon, T-11 örneğine aittir.

Tablo 5.15'e göre, ^{137}Cs yapay radyoçekerdeği için aktivite konsantrasyon değerleri, 0,91±0,01 Bq/kg (T-4) ile 29,68±0,33 Bq/kg (T-2) aralığında değişirken, ^{129}I yapay radyoçekerdeği için aktivite konsantrasyon değerleri ise, 0,21±0,02 Bq/kg (T-9) ile 1,99±0,16 Bq/kg (T-3) değerleri arasında değişmektedir. Örneklerdeki ^{90}Sr aktivite konsantrasyon değerleri ise, T-11 istasyonunda 0,18±0,01 Bq/kg değeri ile en düşük, T-3 istasyonunda 2,80±0,04 Bq/kg değeri ile en yüksek olarak hesaplanmıştır.

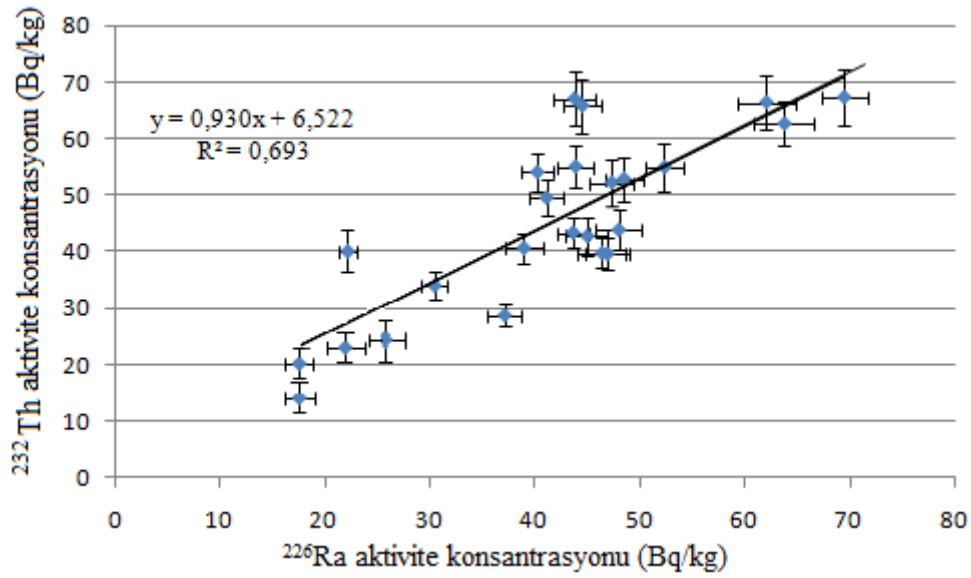
Tablo 5.15. İlkbahar dönemi toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg)

Örnek No	Radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg)					
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	^{129}I
T-1	17,64±0,7	19,72±1,3	271,71±4,62	15,44±2,9	1,06±0,02	0,96±0,05
T-2	43,77±1,9	67,05±4,7	960,44±10,56	29,68±0,3	0,38±0,05	1,45±0,02
T-3	43,88±1,7	55,07±3,6	393,53±7,08	2,05±0,04	2,80±0,04	1,99±0,05
T-4	44,51±1,8	65,78±4,8	771,12±7,71	0,91±0,01	0,58±0,01	0,98±0,04
T-5	62,06±2,7	66,41±4,9	917,59±17,43	3,99±0,08	0,62±0,05	0,56±0,10
T-6	22,15±0,8	40,11±3,0	828,02±10,76	3,06±0,04	0,68±0,06	1,10±0,07
T-7	47,32±2,1	52,26±4,0	888,83±12,44	3,83±0,05	0,52±0,04	1,31±0,14
T-8	18,00±0,6	16,33±1,1	365,73±5,12	4,11±0,06	0,40±0,02	0,86±0,06
T-9	21,92±0,9	23,92±1,5	453,15±10,88	3,12±0,07	0,41±0,04	0,21±0,02
T-10	37,11±1,6	28,85±2,0	637,54±6,38	8,71±0,13	0,35±0,01	0,96±0,03
T-11	69,46±2,2	67,26±4,9	1041,90±18,7	11,90±0,2	0,18±0,01	1,27±0,09
T-12	46,90±2,1	39,66±2,7	880,30±15,85	15,03±0,2	1,56±0,05	1,02±0,05
T-13	48,48±1,8	52,89±3,9	937,62±15,94	9,50±0,16	2,01±0,06	0,99±0,03
T-14	43,63±1,5	43,40±2,7	794,58±19,07	13,48±0,3	1,76±0,04	1,02±0,04
T-15	38,94±1,8	40,69±2,6	697,52±15,35	2,13±0,05	1,49±0,05	1,24±0,06
T-16	40,23±1,4	54,07±3,2	513,12±10,78	3,26±0,07	1,52±0,04	1,45±0,12
T-17	52,35±1,8	54,96±4,4	913,24±13,70	13,75±0,2	1,73±0,05	1,36±0,16
T-18	30,44±1,2	34,04±2,5	681,94±5,46	2,68±0,02	2,12±0,08	0,89±0,08
T-19	63,78±2,8	62,61±3,8	881,44±21,15	6,64±0,16	1,51±0,01	0,62±0,02
T-20	47,99±2,2	43,89±3,4	650,02±8,45	12,52±0,1	0,75±0,02	0,88±0,06
T-21	46,39±2,2	39,82±2,7	712,51±13,54	4,89±0,09	0,54±0,01	1,41±0,10
T-22	44,98±1,9	42,83±3,3	697,42±9,76	3,20±0,04	1,03±0,01	0,70±0,05
T-23	41,10±1,6	49,55±3,1	733,68±8,07	7,52±0,08	1,64±0,03	1,10±0,06
T-24	25,65±1,1	25,02±1,8	492,86±9,36	1,34±0,03	0,80±0,02	0,35±0,01
Min.	17,64±0,7	19,72±1,3	271,71±4,62	0,91±0,01	0,18±0,01	0,21±0,02
Max.	69,46±2,2	67,26±4,9	1041,90±18,7	29,68±0,3	2,80±0,04	1,99±0,16
Ort.	41,61±1,7	45,26±3,1	713,16±11,59	7,61±1,54	1,10±0,03	1,03±0,06
D.Ort.	35	30	400	-	-	-

D.Ort. (UNSCEAR, 2000)



Şekil 5.24. İlkbahar dönemi T-11 toprak örneği için gama spektrumu



Şekil 5.25. İlkbahar dönemi toprak örneklerine ait ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon

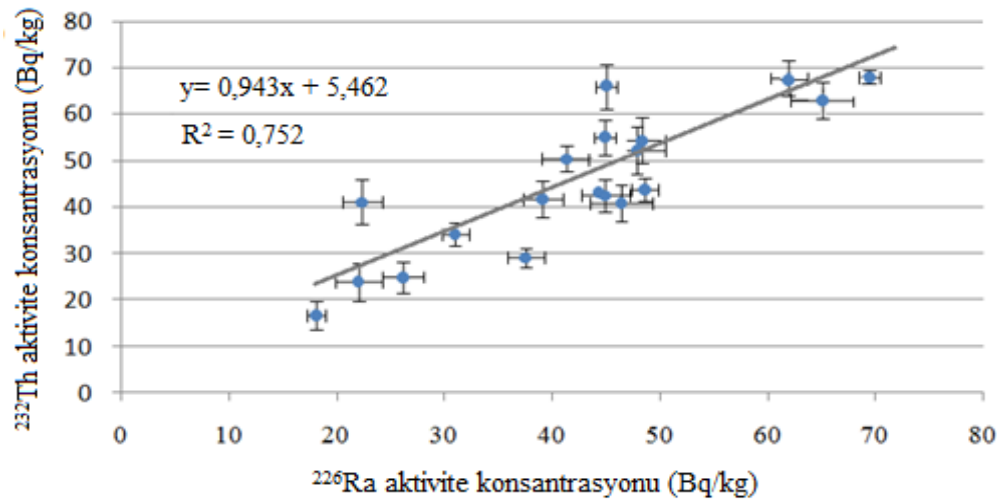
Şekil 5.25'e göre ilkbahar dönemi toprak örneklerine ait ^{226}Ra ve ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonları arasında kabaca lineer bir korelasyon vardır.

5.2.4. Sonbahar Dönemi Toprak Örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I Radyoaktivite Konsantrasyonları

Sonbahar döneminde Van Gölü kıyısından alınan toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla Tablo 5.16'da verilmiştir.

Şekil 5.26'ya göre, sonbahar dönemine ait toprak örneklerinde de ^{226}Ra ve ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonları arasında, kabaca lineer bir korelasyon vardır.

Sonbahar döneminde, örnekler, henüz yağışların başlamadığı kurak dönemde alınmıştır. Bu dönem için elde edilen sonuçlar, ilkbahar döneminden daha yüksektir. Elde edilen sonuçlar, bu açıdan literatürle uyum içerisindedir. Tablo 5.16'ya göre, sonbahar dönemine ait toprak örnekleri için elde edilen bütün ^{226}Ra konsantrasyon değerleri, T-6, T-8, T-9, T-18 ve T-24 örnekleri hariç, 35 Bq/kg olan dünya ortalama değerinin üzerindedir (UNSCEAR, 2000). Benzer şekilde ^{232}Th konsantrasyon değerleri, T-8, T-9, T-10 ve T-24 örnekleri hariç, dünya ortalaması olan 30 Bq/kg'dan büyüktür (UNSCEAR, 2000). Örneklerdeki ^{40}K konsantrasyon değerleri ise, T-3 ve T-8 örnekleri hariç, 400 Bq/kg olan dünya ortalama değerinden büyüktür (UNSCEAR, 2000).



Şekil 5.26. Sonbahar dönemi toprak örneklerine ait ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon

Tablo 5.16. Sonbahar dönemi toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg)

Örnek No	Radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg)					
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	^{129}I
T-1	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-2	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-3	44,52±1,74	55,74±3,73	398,33±7,17	2,05±0,04	2,83±0,03	2,80±0,12
T-4	45,15±1,86	65,91±4,81	772,59±7,73	0,90±0,01	1,02±0,01	2,32±0,15
T-5	61,90±2,71	67,84±5,02	937,32±17,81	4,00±0,08	1,66±0,02	1,69±0,20
T-6	22,31±0,89	41,01±3,08	846,57±11,10	3,09±0,04	1,22±0,05	1,54±0,12
T-7	47,79±2,18	52,18±4,07	887,49±12,42	3,85±0,05	2,26±0,14	1,34±0,10
T-8	18,06±0,64	16,55±1,13	370,67±5,19	4,08±0,06	0,68±0,02	1,08±0,06
T-9	21,98±0,98	23,81±1,50	451,16±10,83	3,13±0,08	1,95±0,10	0,25±0,01
T-10	37,10±1,67	29,03±2,03	641,37±6,41	8,67±0,13	0,78±0,02	1,24±0,08
T-11	69,36±2,20	68,07±4,97	1054,41±18,98	11,83±0,21	0,85±0,06	1,59±0,10
T-12	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-13	48,26±1,84	54,37±4,02	963,87±16,39	9,58±0,16	2,81±0,05	1,14±0,05
T-14	44,25±1,53	43,25±2,72	791,80±19,00	13,50±0,32	1,82±0,09	1,45±0,06
T-15	39,06±1,82	41,68±2,75	714,61±15,72	2,14±0,05	1,50±0,01	1,63±0,10
T-16	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-17	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-18	30,66±1,26	34,12±2,56	683,51±5,47	2,66±0,02	2,78±0,10	1,20±0,12
T-19	64,19±2,88	63,97±3,97	900,57±21,61	6,67±0,16	2,21±0,08	0,95±0,05
T-20	48,55±2,24	43,78±3,46	648,33±8,43	12,44±0,16	1,25±0,04	1,36±0,06
T-21	46,36±2,29	40,85±2,78	730,96±13,89	4,86±0,09	0,98±0,06	2,02±0,08
T-22	44,86±1,97	42,49±3,36	691,91±9,69	3,19±0,04	1,62±0,05	1,01±0,04
T-23	41,23±1,66	50,35±3,17	745,42±8,20	7,46±0,08	2,01±0,10	1,30±0,10
T-24	26,09±1,14	24,85±1,79	489,66±9,30	1,34±0,03	1,29±0,01	0,66±0,05
Min.	18,06±0,64	16,55±1,13	370,67±5,19	0,90±0,01	0,68±0,02	0,25±0,01
Max.	69,36±2,20	68,07±4,97	1054,41±18,98	13,50±0,32	2,83±0,05	2,80±0,12
Ort.	41,85±1,76	45,26±3,21	722,13±11,86	5,55±0,10	1,66±0,06	1,40±0,09
D.Ort	35	30	400	-	-	-

ÖA: Örnek alınmadı

D.Ort. (UNSCEAR, 2000)

Herranz vd. (2001), İspanya'dan almış oldukları toprak örneklerinde yapmış oldukları inceleme sonrasında, ⁹⁰Sr aktivite konsantrasyonunun 0,28 Bq/kg ile 9,10 Bq/kg aralığında değiştiğini, ortalama değer de 2,85 Bq/kg olduğunu bulmuşlardır.

Yapılmış benzer bir çalışmada, İran'ın güneyinden alınan toprak örneklerinde ⁹⁰Sr aktivite konsantrasyonu, 0,64-3,01 Bq/kg aralığında değişmektedir (Asgharizadeh vd., 2009).

Yapılmış diğer bir çalışmada ise, Pakistan'a ait toprak örneklerinde ortalama ⁹⁰Sr konsantrasyonunun 4,20-4,37 Bq/kg aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Jabbar vd., 2003).

Benzer diğer bir çalışmada ise, Norveç'e ait toprak örneklerinde ¹²⁹I konsantrasyonu en fazla $(0,476 \pm 0,067) \times 10^{-3}$ Bq/kg olarak hesaplamıştır (Qiao vd., 2012).

Bu çalışma ise, ilkbahar ve sonbahar döneminde alınan toprak örneklerinde ortalama ⁹⁰Sr konsantrasyonu, sırasıyla, $1,10 \pm 0,03$ Bq/kg ile $1,66 \pm 0,06$ Bq/kg şeklindedir. Bu sonuçlar, benzer çalışmalarda elde edilen ortalamalardan daha düşüktür.

IAEA-375 (2000)'e göre, toprak örneklerinde tavsiye edilen ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr ve ¹²⁹I konsantrasyonları sırasıyla, 5281 Bq/kg, 107,7 Bq/kg ve 0,0017 Bq/kg şeklindedir (IAEA, 2000). Bu çalışmada elde ettiğimiz ortalama ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr konsantrasyonları, bu sınır değerlerden düşük iken, ortalama ¹²⁹I konsantrasyonu ise, sınır değerden yüksektir.

5.3. Açık Havada Ölçülen Soğurulmuş Gama Doz Hızı (D) Değerleri

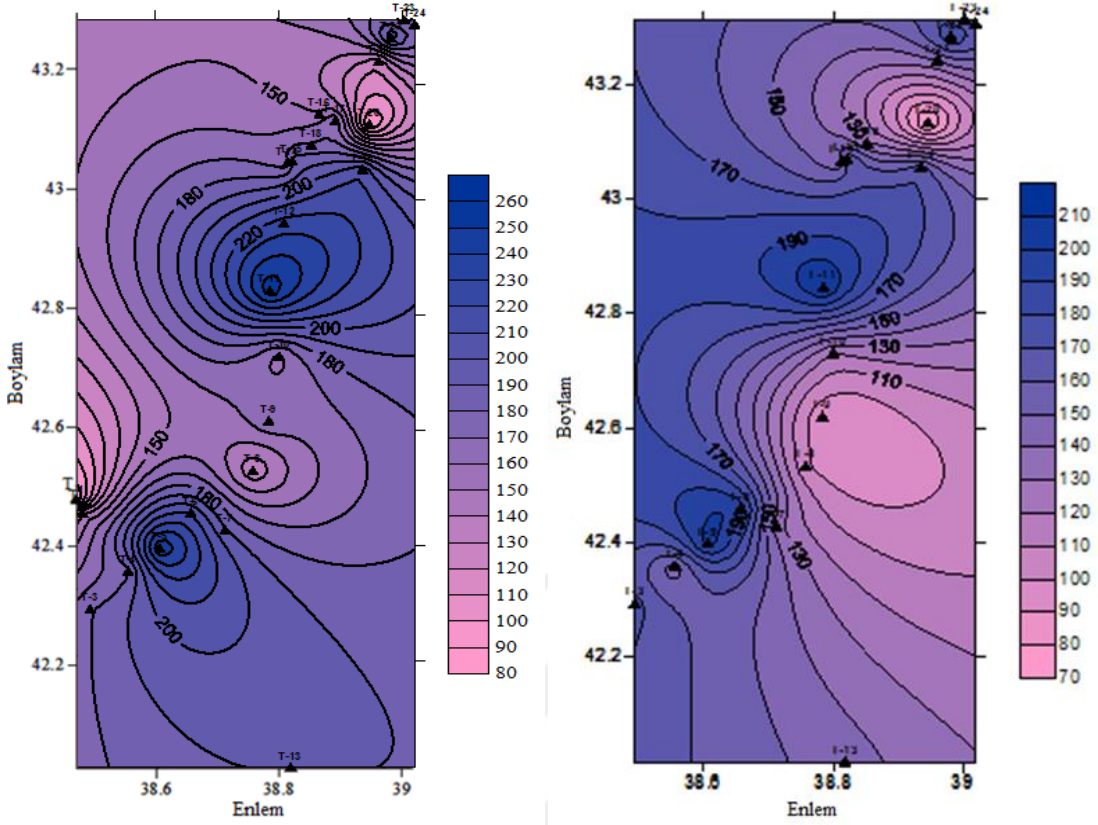
Toprak alım istasyonlarının bulunduğu bölgelere ait açık havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızı (D) değerleri (nGy/saat) (İlkbahar ve sonbahar dönemi), Tablo 5.17'de verilmiş olup, ölçülen soğurulmuş gama doz hızı değerleri için izo-doz haritaları (nGy/saat) Şekil 5.27'de verilmiştir.

Doğal ortamda mevcut olan radyoaktivite; hava şartlarına bağlı olarak (düşük basınçta radyoaktivitenin azalması veya yüksek basınçta doğal radyoaktivitenin artması gibi), coğrafi bölgeye bağlı olarak, bina yapı malzemelerinin türüne ve kozmik ışınlamaya göre değişir. Havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızı ortalamaları, ilkbahar dönemi için 173 ± 62 nGy/saat ve sonbahar dönemi için ise, 150 ± 30 nGy/saat olarak ölçülmüştür. UNSCEAR (2000) raporuna göre, havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızının dünya ortalama değeri 57 nGy/saat'tir.

Tablo 5.17. Toprak alım istasyonlarının bulunduğu bölgelerde açık havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızı ($D_{ölçülen}$) değerleri (nGy/saat) (İlkbahar ve sonbahar dönemi)

İstasyon	Koordinat		Tarih		$D_{ölçülen}$ (nGy/saat) (Karasal+kozmetik)	
	Enlem (N)	Boylam (B)	İlkbahar	Sonbahar	İlkbahar	Sonbahar
T-1	38° 28' 23.9"	42° 28' 37.0"	13/05/2015	--	80	ÖA
T-2	38° 28' 55.3"	42° 27' 26.0"	09/05/2015	--	141	ÖA
T-3	38° 29' 40.3"	42° 17' 28.6"	13/05/2015	30/09/2015	179	174
T-4	38° 33' 21.8"	42° 21' 25.3"	08/05/2015	01/10/2015	177	144
T-5	38° 36' 23.5"	42° 23' 49.0"	08/05/2015	01/10/2015	250	204
T-6	38° 39' 26.2"	42° 27' 28.9"	08/05/2015	01/10/2015	209	198
T-7	38° 42' 43.9"	42° 25' 38.5"	08/05/2015	01/10/2015	191	134
T-8	38° 45' 26.8"	42° 31' 51.4"	08/05/2015	01/10/2015	131	102
T-9	38° 46' 59.3"	42° 37' 02.2"	08/05/2015	01/10/2015	169	91
T-10	38° 47' 58.7"	42° 43' 44.1"	08/05/2015	01/10/2015	157	118
T-11	38° 47' 05.5"	42° 50' 34.0"	08/05/2015	01/10/2015	257	211
T-12	38° 48' 27.2"	42° 57' 36.1"	08/05/2015	--	224	ÖA
T-13	38° 49' 06.2"	42° 00' 59.0"	08/05/2015	01/10/2015	190	145
T-14	38° 48' 44.8"	43° 03' 51.2"	17/05/2015	01/10/2015	164	142
T-15	38° 49' 13.9"	43° 04' 02.4"	17/05/2015	01/10/2015	185	174
T-16	38° 51' 52.1"	43° 08' 57.4"	08/05/2015	--	150	ÖA
T-17	38° 53' 25.6"	43° 08' 13.6"	08/05/2015	--	169	ÖA
T-18	38° 51' 05.4"	43° 05' 42.4"	08/05/2015	01/10/2015	170	131
T-19	38° 56' 04.1"	43° 03' 10.5"	17/05/2015	02/10/2015	207	167
T-20	38° 56' 43.0"	43° 07' 52.2"	14/05/2015	02/10/2015	87	66
T-21	38° 57' 37.3"	43° 14' 23.8"	14/05/2015	02/10/2015	123	139
T-22	38° 58' 49.7"	43° 16' 51.3"	14/05/2015	02/10/2015	200	180
T-23	39° 00' 06.4"	43° 18' 43.3"	14/05/2015	02/10/2015	163	162
T-24	39° 01' 07.6"	43° 18' 15.3"	14/05/2015	02/10/2015	177	170
Ort.					173	150

ÖA: Örnek alınmadı



(a) İlkbahar dönemi

(b) Sonbahar dönemi

Şekil 5.27. İlkbahar ve sonbahar döneminde açık havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızı izo-doz haritaları (nGy/saat)

Tablo 5.17'ye ve Şekil 5.27'ye göre, havada ölçülen soğurulmuş doz hızı, ilkbahar döneminde 257 nGy/saat ve sonbahar döneminde 211 nGy/saat ile T-11 noktasında ölçülmüştür. En düşük değer ise, ilkbahar döneminde 80 nGy/saat ile T-1 noktasında ölçülmüştür. Genel olarak incelendiği zaman, elde edilen sonuçların, dünya ortalama değerinden yüksek olduğu görülmektedir. T-11 noktasının bulunduğu bölgeden Süphan fay hattı geçmekte olup, bu bölge, yoğun volkanik çökeller ve geç miyosen kuvaterner ihtiva eder. Bu bölge, diğerlerine göre yerleşim yerlerine daha yakın olup, çok yakınında beton yapılar bulunmaktadır. Bu durumda, elektromanyetik yansımaların daha yoğun olması ve bölgede meydana gelen hava kirliliğiyle, havadan toprağa çöken partiküllerin diğer noktalara göre daha fazla bulunması, bu yüksekliği oluşturan sebepler olarak ilk akla gelmektedir.

5.4. Doz Hesaplamaları

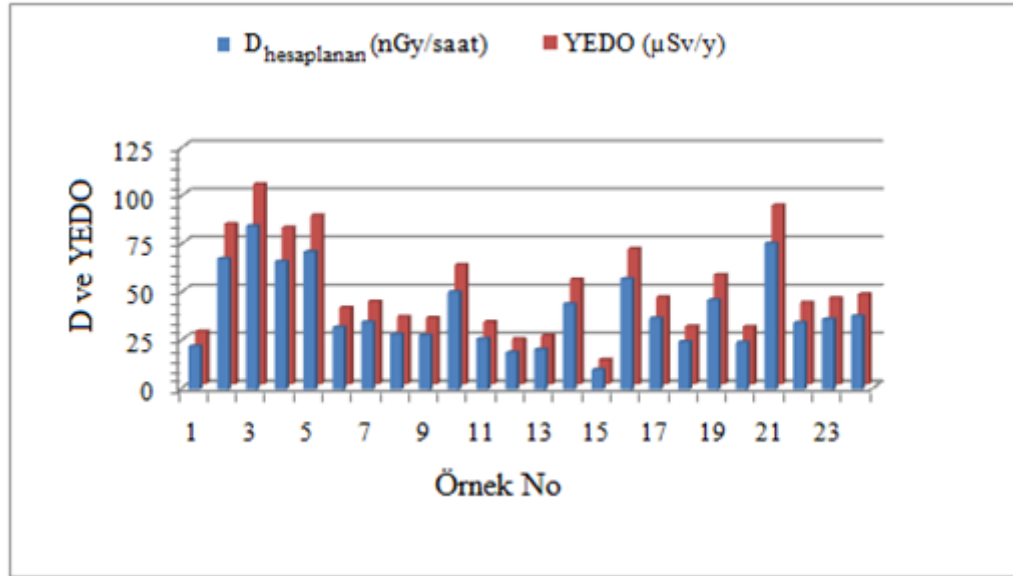
5.4.1. İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Su Örnekleri İçin Doz Hesaplamaları

5.4.1.1. İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Yüzeysel, Orta ve Dip Su Örnekleri İçin Doz Hesaplamaları

İlkbahar döneminde alınan yüzeysel, orta ve dip su örnekleri ile sonbahar döneminde alınan yüzeysel su örnekleri için radyoaktivite konsantrasyon değerleri, radyoaktivite ölçüm limitlerinin dışında kaldığından dolayı belirlenememiştir. Bu sebepten dolayı, su örnekleri için doz hesaplamaları yapılamamıştır.

5.4.2. İlkbahar Dönemi Dip Çamuru Örnekleri İçin Doz Hesaplamaları

İlkbahar döneminde alınan dip çamuru örnekleri için Radium eşdeğer aktivitesi (R_{aeq}), soğurulmuş gama doz hızı ($D_{hesaplanan}$), yıllık etkin doz oranı (YEDO), iç ve dış tehlike indeksleri (H_{in} , H_{ex}) ve ömür boyu kanser riski (ÖBKR) değerleri Tablo 5.18'de verilmiştir. İlkbahar dönemine ait dip çamuru örneklerinde $D_{hesaplanan}$ ve YEDO değerlerinin karşılaştırılması ise, Şekil 5.28'de verilmiştir.



Şekil 5.28. İlkbahar dönemine ait dip çamuru örneklerinde $D_{hesaplanan}$ ve YEDO değerlerinin karşılaştırılması

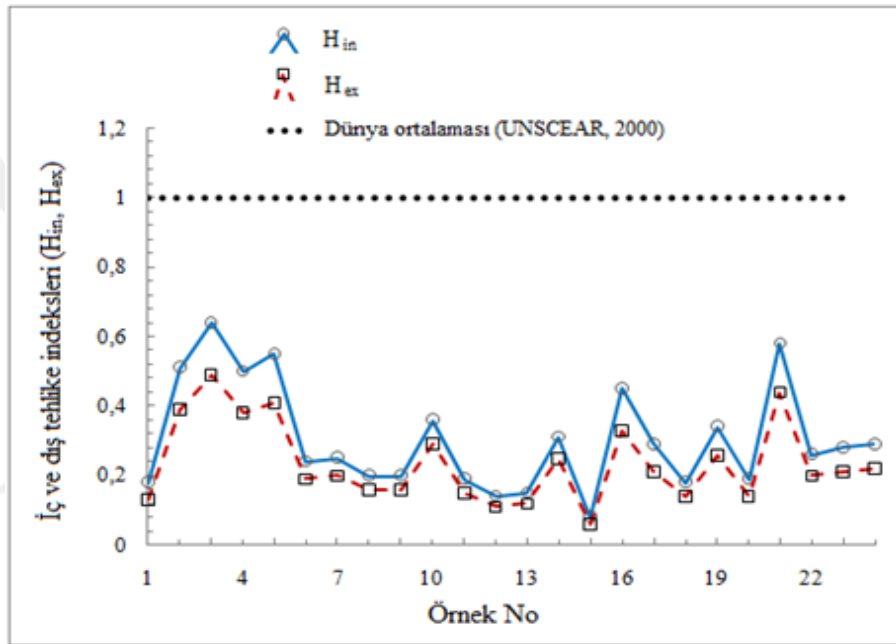
Tablo 5.18. İlkbahar dönemi dip çamuru örnekleri için R_{eq} , $D_{hesaplanan}$, YEDO, H_{in} , H_{ex} ve ÖBKR değerleri

Örnek No	R_{eq} (Bq/kg)	D (nGy/saat) (Hesaplanan) Karasal	YEDO (μ Sv/y)	H_{in}	H_{ex}	ÖBKR $\times 10^{-3}$
D.Ç-1	47,75	22,40	27,47	0,18	0,13	0,10
D.Ç-2	145,70	67,94	83,32	0,51	0,39	0,29
D.Ç-3	183,06	84,96	104,19	0,64	0,49	0,37
D.Ç-4	141,97	66,45	81,49	0,50	0,38	0,29
D.Ç-5	153,55	71,57	87,77	0,55	0,41	0,31
D.Ç-6	69,40	32,44	39,78	0,24	0,19	0,14
D.Ç-7	74,80	35,04	42,97	0,25	0,20	0,15
D.Ç-8	60,44	28,64	35,13	0,20	0,16	0,12
D.Ç-9	59,67	28,19	34,57	0,20	0,16	0,12
D.Ç-10	105,68	50,65	62,11	0,36	0,29	0,22
D.Ç-11	56,14	26,44	32,42	0,19	0,15	0,11
D.Ç-12	40,62	19,33	23,70	0,14	0,11	0,08
D.Ç-13	43,72	20,80	25,50	0,15	0,12	0,09
D.Ç-14	93,17	44,45	54,51	0,31	0,25	0,19
D.Ç-15	22,24	10,39	12,74	0,08	0,06	0,05
D.Ç-16	122,58	57,44	70,45	0,45	0,33	0,25
D.Ç-17	78,97	37,03	45,42	0,29	0,21	0,16
D.Ç-18	52,93	24,70	30,29	0,18	0,14	0,11
D.Ç-19	97,89	46,51	57,04	0,34	0,26	0,20
D.Ç-20	52,50	24,45	29,99	0,19	0,14	0,11
D.Ç-21	162,15	75,92	93,11	0,58	0,44	0,33
D.Ç-22	74,32	34,73	42,59	0,26	0,20	0,15
D.Ç-23	78,61	36,61	44,90	0,28	0,21	0,16
D.Ç-24	81,57	38,18	46,82	0,29	0,22	0,16
min	22,24	10,39	12,74	0,08	0,06	0,05
max	183,06	84,96	104,19	0,64	0,49	0,37
^a	370	10-200	460	<1	<1	0,29^b
^c	87,48	41,05	50,35	0,31	0,24	0,18

^a Dünya ortalaması (UNSCEAR, 2000)^b (Taskin vd., 2009)^c Bu çalışma için ortalama değer

Tablo 5.18'e göre, dip çamuru örnekleri için $R_{a_{eq}}$ 'nin en fazla 183,06 Bq/kg değeri ile D.Ç-3 örneğine ait olduğu görülmektedir. Örneklerin tamamı için ortalama $R_{a_{eq}}$ değeri 87,48 Bq/kg olup, bu değer dünya ortalama değeri olan 370 Bq/kg'dan küçüktür.

Tablo 5.18 ve Şekil 5.28 birlikte incelendiği zaman, en yüksek $D_{hesaplanan}$ ve YEDO değeri, sırasıyla, 84,96 nGy/saat ve 104,19 μ Sv/y değeri ile D.Ç-3 örneğine aittir. Ortalama $D_{hesaplanan}$ değeri 41,05 nGy/saat olup, ortalama YEDO değeri ise, 50,35 μ Sv/y şeklindedir. Bu iki ortalama da, Tablo 3.18'de verilen dünya ortalama değerlerinden düşüktür.



Şekil 5.29. İlkbahar dönemi dip çamuru örneklerinde H_{in} ve H_{ex} değerlerinin karşılaştırılması

Elde edilen sonuçlara göre, H_{ex} değerleri, 0,06 ile 0,49 aralığında değişmekte olup, ortalama değer 0,24'tür. Benzer şekilde, H_{in} değerleri ise, 0,08 ile 0,64 aralığında olup, ortalama değer 0,31 şeklindedir (Şekil 5.29). Bu durumda, ortalamalar, yine UNSCEAR (2000) raporunda belirtilen dünya ortalama değeri olan 1'den küçüktür.

Dip çamuru örnekleri için ÖBKR değerleri, $0,05 \times 10^{-3}$ ile $0,37 \times 10^{-3}$ aralığında değişmekte olup, ortalama değer ise, $0,18 \times 10^{-3}$ 'tür. Bu değer, dünya ortalama değeri olan $1,16 \times 10^{-3}$ 'ten düşüktür (Qureshi vd., 2014).

5.4.3. İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Toprak Örnekleri İçin Doz Hesaplamaları

İlkbahar ve sonbahar döneminde alınan toprak örnekleri için R_{aeq} , $D_{hesaplanan}$, YEDO, H_{in} , H_{ex} ve ÖBKR değerleri sırasıyla Tablo 5.19'da ve Tablo 5.20'de verilmiştir.

Tablo 5.19. İlkbahar dönemi toprak örnekleri için R_{aeq} , $D_{hesaplanan}$, YEDO, H_{in} , H_{ex} ve ÖBKR değerleri

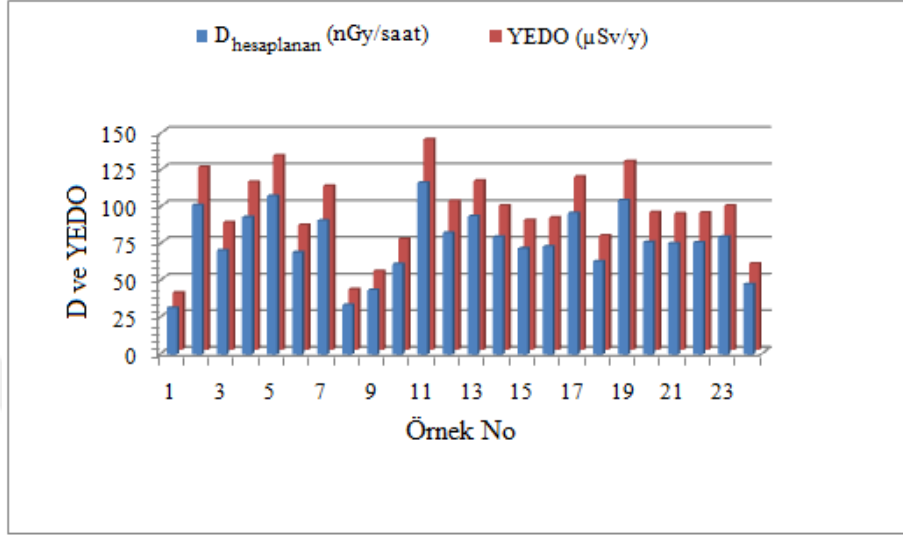
Örnek No	R_{aeq} (Bq/kg)	$D_{hesaplanan}$ (nGy/saat) (Karasal)	YEDO (μ Sv/y)	H_{in}	H_{ex}	ÖBKR $\times 10^{-3}$
T-1	66,76	31,67	38,84	0,23	0,18	0,14
T-2	213,60	101,71	124,74	0,70	0,58	0,44
T-3	152,93	70,83	86,87	0,53	0,41	0,30
T-4	197,96	93,43	114,58	0,65	0,53	0,40
T-5	227,68	107,97	132,42	0,78	0,61	0,46
T-6	143,27	69,48	85,21	0,45	0,39	0,31
T-7	190,50	91,17	111,81	0,64	0,51	0,40
T-8	69,51	33,61	41,22	0,24	0,19	0,14
T-9	91,01	43,77	53,67	0,31	0,25	0,19
T-10	127,46	61,48	75,40	0,44	0,34	0,26
T-11	245,87	117,06	143,56	0,85	0,66	0,50
T-12	171,39	82,77	101,51	0,59	0,46	0,36
T-13	196,31	94,12	115,42	0,66	0,53	0,40
T-14	166,87	80,05	98,17	0,57	0,45	0,34
T-15	150,83	72,18	88,52	0,51	0,41	0,31
T-16	157,05	73,47	90,11	0,53	0,42	0,32
T-17	201,26	96,18	117,96	0,69	0,54	0,41
T-18	131,63	63,47	77,84	0,44	0,36	0,27
T-19	221,18	104,90	128,65	0,77	0,60	0,45
T-20	160,81	76,38	93,67	0,56	0,43	0,33
T-21	158,20	75,69	92,83	0,55	0,43	0,33
T-22	159,93	76,29	93,56	0,55	0,43	0,33
T-23	168,46	80,19	98,35	0,57	0,45	0,34
T-24	99,37	47,81	58,64	0,34	0,27	0,21
min	66,76	31,67	38,84	0,23	0,18	0,14
max	245,87	117,06	143,56	0,85	0,66	0,50
^a	370	10-200	460	<1	<1	0,29^b
^c	161,24	76,90	94,31	0,55	0,44	0,35

^a Dünya ortalaması (UNSCEAR, 2000)

^b (Taskin vd., 2009)

^c Bu çalışma için ortalama değer

Tablo 5.19 incelendiği zaman, toprak örneklerin tamamı için, Raeq değerlerinin, sınır değer olan 370 Bq/kg'dan düşük olduğu görülmektedir. En yüksek Raeq değeri, 245,87 Bq/kg ile T-11 örneğine, en düşük Raeq değeri ise, 66,76 Bq/kg ile T-1 örneğine aittir.



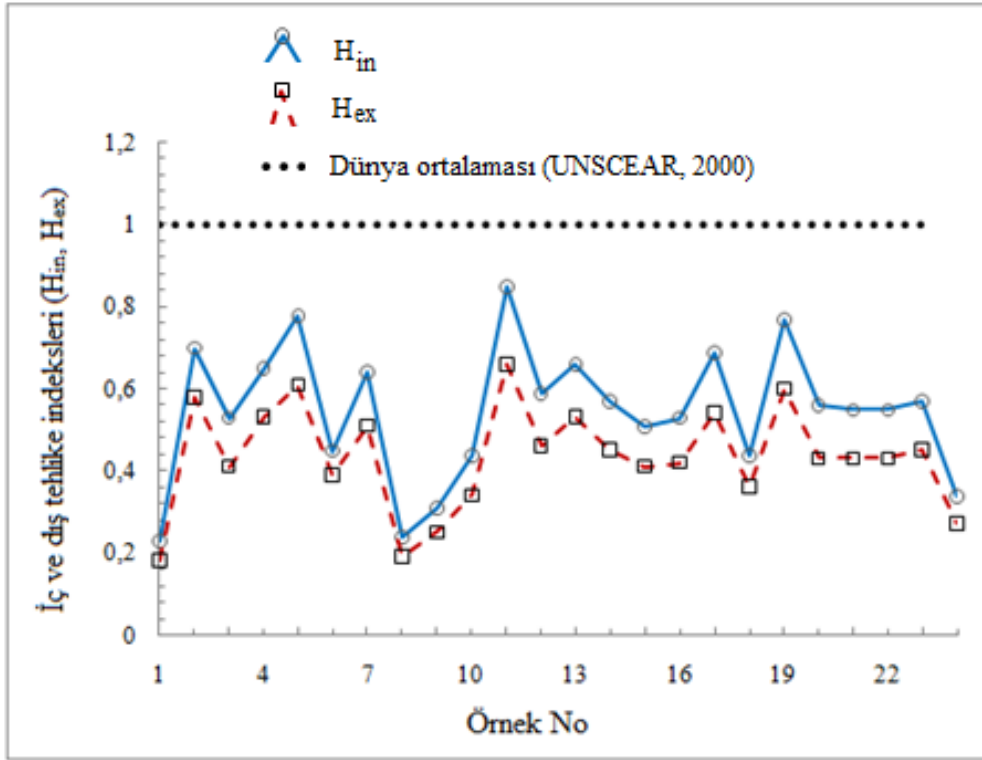
Şekil 5.30. İlkbahar dönemi toprak örneklerinde $D_{hesaplanan}$ ve YEDO değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 5.19'a ve Şekil 5.30'a göre, toprak örneklerinde $D_{hesaplanan}$ değerleri 31,67 ile 117,06 nGy/saat aralığında değişmekte olup, ortalama $D_{hesaplanan}$ değeri, 76,90 nGy/saat olarak hesaplanmıştır. Bu değer, 10-200 nGy/saat aralığında olup, dünya ortalamasının altındadır (UNSCEAR, 2000). Ayrıca, $D_{ölçülen}$ değerleri, $D_{hesaplanan}$ değerlerinden daha yüksektir. Çünkü $D_{hesaplanan}$ değerleri, sadece karasal radyasyona bağlı iken, $D_{ölçülen}$ değerleri ise, karasal ve kozmik radyasyonların toplamıdır.

En yüksek YEDO değeri, 143,56 μ Sv/y olup, ortalama değer ise, 94,31 μ Sv/y'dır. Bu durumda, örneklerin tamamında, YEDO değerleri, UNSCEAR tarafından yayınlanan 460 μ Sv/y'lık dünya ortalamasından daha düşüktür (UNSCEAR, 2000).

İlkbahar dönemi toprak örneklerinde, H_{in} değerleri, 0,23-0,85 ve H_{ex} değerleri ise, 0,18-0,66 aralıklarında değişmekte olup, bu değerler güvenlik için verilen sınır değer olan 1'den küçüktür (Şekil 3.31).

ÖBKR değeri ise, $0,14 \times 10^{-3}$ ile $0,50 \times 10^{-3}$ aralığına değişmekte olup, ortalama değer $0,35 \times 10^{-3}$ 'tür. Bu değer dünya ortalama değeri olan $0,29 \times 10^{-3}$ (UNSCEAR, 2000)'ten büyüktür.



Şekil 5.31. İlkbahar dönemi toprak örneklerinde H_{in} ve H_{ex} değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 5.20 ve Şekil 5.32'ye göre, toprak örneklerinde $D_{hesaplanan}$ değeri en fazla, 118,04 nGy/saat ile T-11 örneğine ait iken, en düşük değer ise, 33,98 nGy/saat ile T-8 örneğine aittir. Ortalama $D_{hesaplanan}$ değeri ise, 77,65 nGy/saat'tir. Bu değer, 10-200 nGy/saat aralığında olup, dünya ortalamasını aşmamaktadır (UNSCEAR, 2000). YEDO değerleri incelenecek olunursa, 41,67 μ Sv/y ile 144,76 μ Sv/y aralığında değişmekte olduğu ve ortalama değer ise, 95,22 μ Sv/y olduğu görülmektedir. Bu durumda, örneklerin tamamında, YEDO değeri, UNSCEAR tarafından yayınlanan 460 μ Sv/y'lik dünya ortalamasından daha düşüktür (UNSCEAR, 2000).

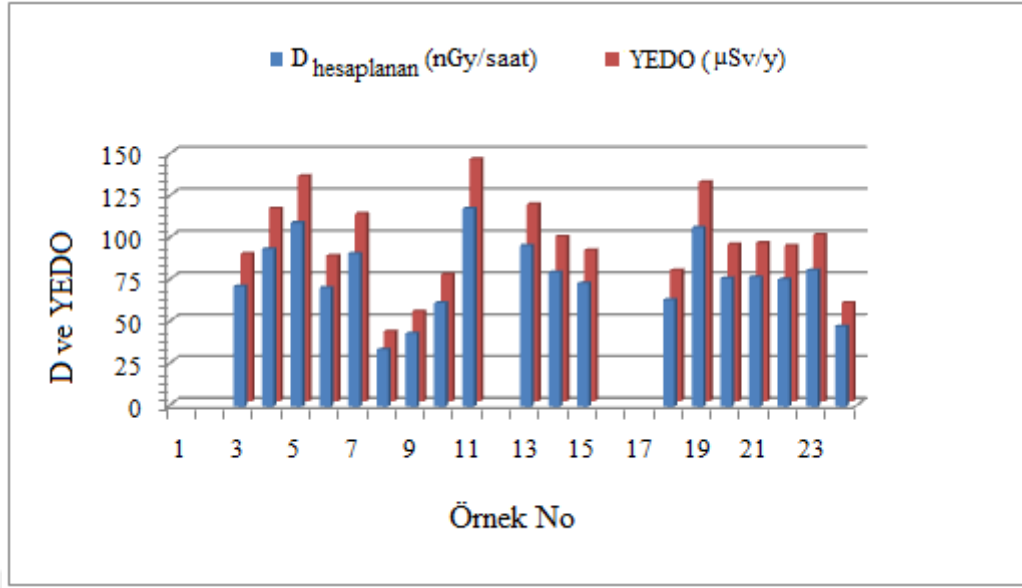
Tablo 5.20'ye göre, sonbahar dönemi toprak örneklerinde en yüksek Ra eşdeğer aktivitesi 247,89 Bq/kg ile T-11 örneğine, en düşük değer ise, 70,27 Bq/kg ile T-8 örneğine aittir. Bu dönemde de, örneklerin tamamında Raeq değeri, sınır değer olan 370 Bq/kg'dan düşüktür.

Tablo 5.20. Sonbahar dönemi toprak örnekleri için R_{aeq} , $D_{hesaplanan}$, YEDO, H_{in} , H_{ex} ve ÖBKR değerleri

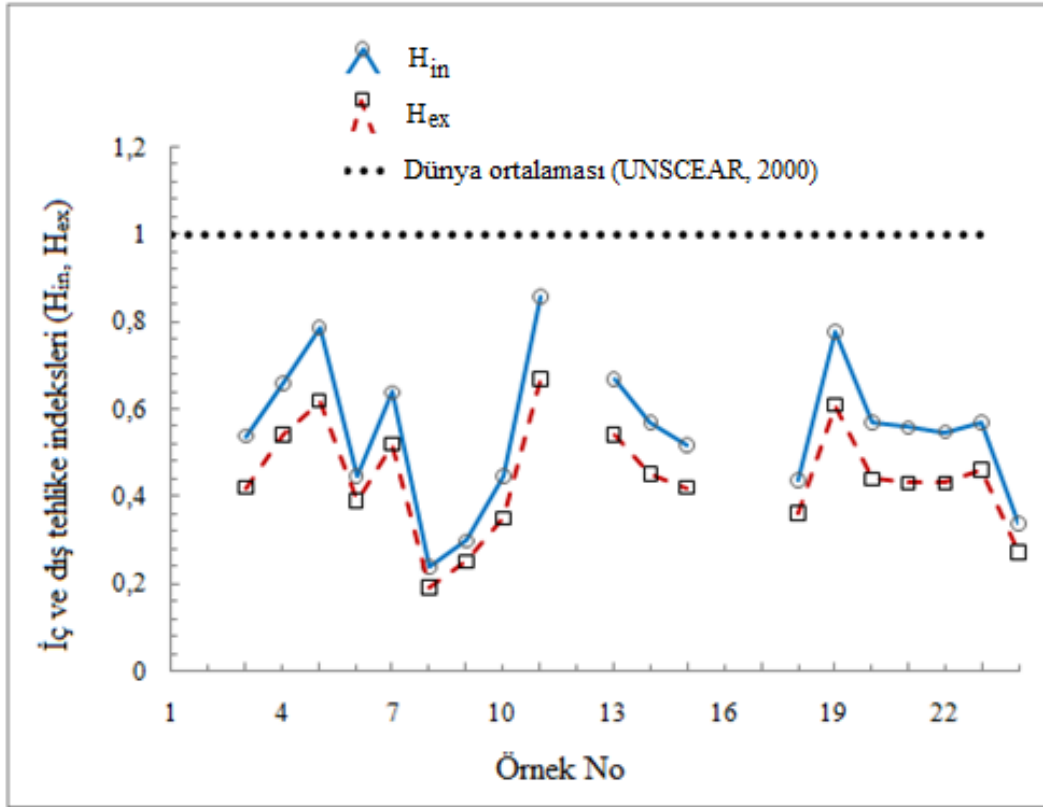
Örnek No	R_{aeq} (Bq/kg)	$D_{hesaplanan}$ (nGy/saat) (Karasal)	YEDO (μ Sv/y)	H_{in}	H_{ex}	ÖBKR $\times 10^{-3}$
T-1	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-2	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-3	154,91	71,74	87,99	0,54	0,42	0,31
T-4	198,89	93,86	115,11	0,66	0,54	0,40
T-5	231,08	109,60	134,42	0,79	0,62	0,47
T-6	146,14	70,88	86,93	0,45	0,39	0,30
T-7	190,75	91,29	111,95	0,64	0,52	0,39
T-8	70,27	33,98	41,67	0,24	0,19	0,15
T-9	90,77	43,65	53,53	0,30	0,25	0,19
T-10	127,99	61,74	75,72	0,45	0,35	0,27
T-11	247,89	118,04	144,76	0,86	0,67	0,51
T-12	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-13	200,23	96,02	117,76	0,67	0,54	0,41
T-14	167,06	80,12	98,26	0,57	0,45	0,34
T-15	153,69	73,56	90,21	0,52	0,42	0,32
T-16	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-17	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-18	132,08	63,69	78,11	0,44	0,36	0,27
T-19	225,00	106,73	130,89	0,78	0,61	0,46
T-20	161,07	76,50	93,81	0,57	0,44	0,33
T-21	161,06	77,08	94,54	0,56	0,43	0,33
T-22	158,90	75,80	92,96	0,55	0,43	0,33
T-23	170,62	81,23	99,62	0,57	0,46	0,35
T-24	99,34	47,79	58,60	0,34	0,27	0,21
min	70,27	33,98	41,67	0,24	0,19	0,15
max	247,89	118,04	144,76	0,86	0,67	0,51
^a	370	10-200	460	<1	<1	0,29^b
^c	162,79	77,65	95,22	0,55	0,44	0,33

^a Dünya ortalaması (UNSCEAR, 2000)^b (Taskin vd., 2009)^c Bu çalışma için ortalama değer

ÖA: Örnek alınmadı



Şekil 5.32. Sonbahar dönemi toprak örneklerinde $D_{\text{hesaplanan}}$ ve YEDO değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.33. Sonbahar dönemi toprak örneklerinde H_{in} ve H_{ex} değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 5.20 ve Şekil 5.33 birlikte incelendiği zaman, sonbahar dönemi toprak örneklerinde H_{in} ve H_{ex} için elde edilen sonuçların, H_{in} için 0,24-0,86 ve H_{ex} için ise, 0,19-

0,67 aralığında değiştiği görülmektedir. Bu sonuçlar, güvenlik için verilen sınır değer 1'den küçüktür.

Yine Tablo 5.20'ye göre, en yüksek BK R değer i, $0,51 \times 10^{-3}$ ile T-11 örneğine, en düşük BK R değer i ise, $0,15 \times 10^{-3}$ ile T-8 örneğine aittir. Ayrıca, ortalama BK R değer i $0,33 \times 10^{-3}$ olup, bu değer dünya ortalama değer i olan $0,29 \times 10^{-3}$ (UNSCEAR, 2000)'ten büyüktür.

İlkbahar ve sonbahar dönemi toprak örnekleri için elde edilen doz hesaplama sonuçları karşılaştırıldığı zaman, sonbahar döneminde elde edilen sonuçların daha yüksek olduğu görülmektedir.

Ayrıca, ilkbahar ve sonbahar döneminde ait doz hesaplama sonuçlarının (BK R değerleri hariç), dünya ortalama değerlerinin altında olduğu görülmektedir.

5.5. Radon Analizi ve Doz Hesaplamaları

5.5.1. İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Su rnekleri İçin Radon Doz Hesaplama Değerleri

5.5.1.1. İlkbahar Dönemi Yüzey, Orta ve Dip Su rnekleri İçin Radon Doz Hesaplama Değerleri

İlkbahar döneminde alınan yüzey, orta ve dip su örnekleri için radon konsantrasyonu (C_{Rn}), radon yüzey yayılım oranları (E_s), radon kütle yayılım oranları (E_m) ve efektif radyum içeriği (EC_{Ra}) sırasıyla Tablo 5.21'de, Tablo 5.22'de ve Tablo 5.23'te verilmiştir.

Tablo 5.21. İlkbahar dönemi yüzey su örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri

Örnek No	C_{Rn} (Bq/m ³)	E_s (Bq/m ² .saat) $\times 10^{-1}$	E_m (Bq/kg.saat) $\times 10^{-3}$	EC_{Ra} (Bq/kg) $\times 10^{-1}$
Y.S-1	10,00±0,92	0,12±0,01	0,14±0,01	0,08±0,01
Y.S-2	18,30±1,69	0,14±0,01	0,21±0,02	0,15±0,01
Y.S-3	43,41±4,00	0,32±0,03	1,31±0,12	0,72±0,07
Y.S-4	78,60±7,25	0,58±0,05	2,15±0,20	1,30±0,12
Y.S-5	33,85±3,12	0,25±0,02	1,02±0,09	0,56±0,05
Y.S-6	50,00±4,61	0,37±0,03	0,48±0,04	0,35±0,03
Y.S-7	31,07±2,8	0,23±0,02	0,94±0,09	0,51±0,05
Y.S-8	45,20±4,17	0,33±0,03	0,44±0,04	0,31±0,03
Y.S-9	10,75±0,99	0,08±0,01	0,33±0,03	0,18±0,02
Y.S-10	32,00±2,95	0,24±0,02	0,31±0,03	0,22±0,02
Y.S-11	80,85±7,45	0,60±0,06	2,30±0,21	1,34±0,12
Y.S-12	16,24±1,50	0,12±0,01	0,16±0,01	0,11±0,01
Y.S-13	41,82±3,86	0,31±0,03	0,48±0,04	0,35±0,03
Y.S-14	58,24±5,37	0,43±0,04	0,56±0,05	0,41±0,04
Y.S-15	49,29±4,54	0,33±0,03	1,35±0,12	0,73±0,07
Y.S-16	62,80±5,79	0,37±0,03	0,66±0,06	0,47±0,04
Y.S-17	56,24±5,19	0,42±0,04	0,54±0,05	0,39±0,03
Y.S-18	60,00±5,53	0,44±0,04	0,58±0,05	0,42±0,04
Y.S-19	25,53±2,35	0,12±0,01	0,49±0,04	0,26±0,01
Y.S-20	28,28 2,61	0,21±0,03	0,86±0,08	0,47±0,03
Y.S-21	18,65±1,72	0,14±0,01	0,18±0,02	0,13±0,01
Y.S-22	30,10±2,78	0,22±0,02	0,29±0,03	0,21±0,02
Y.S-23	68,45±6,31	0,51±0,05	2,07±0,19	1,49±0,14
Y.S-24	20,55±1,89	0,15±0,01	0,20±0,02	0,14±0,01
Ort.	40,43±3,73	0,29±0,03	0,75±0,07	0,47±0,04

Tablo 5.22. İlkbahar dönemi orta su örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri

Örnek No	C_{Rn} (Bq/m ³)	E_s (Bq/m ² .saat) $\times 10^{-1}$	E_m (Bq/kg.saat) $\times 10^{-3}$	EC_{Ra} (Bq/kg) $\times 10^{-1}$
O.S-1	10,20±0,94	0,01±0,00	0,04±0,00	0,25±0,02
O.S-2	22,00±2,03	0,16±0,01	0,55±0,05	0,30±0,03
O.S-3	60,14±5,54	0,45±0,04	1,84±0,17	1,00±0,09
O.S-4	90,05±8,30	0,69±0,06	1,19±0,11	0,64±0,06
O.S-5	52,35±4,83	0,09±0,01	0,36±0,03	0,20±0,03
O.S-6	68,20±6,29	0,50±0,05	0,66±0,06	0,48±0,04
O.S-7	15,14±1,40	0,11±0,01	0,45±0,04	0,25±0,02
O.S-8	56,25±5,19	0,42±0,04	0,54±0,05	0,39±0,04
O.S-9	38,24±3,53	0,28±0,03	1,14±0,11	0,63±0,06
O.S-10	35,12±3,24	0,26±0,02	0,34±0,03	0,24±0,02
O.S-11	92,40±8,52	0,69±0,06	2,82±0,26	1,53±0,14
O.S-12	18,35±1,69	0,14±0,01	0,18±0,02	0,13±0,01
O.S-13	50,10±4,62	0,37±0,03	1,27±0,12	0,69±0,06
O.S-14	72,80±6,71	0,54±0,05	0,70±0,06	0,51±0,05
O.S-15	53,77±4,96	0,40±0,04	1,63±0,15	0,89±0,07
O.S-16	68,20±6,29	0,50±0,05	1,51±0,14	0,82±0,08
O.S-17	90,00±8,30	0,68±0,06	0,87±0,08	0,60±0,06
O.S-18	64,10±5,91	0,47±0,04	0,62±0,06	0,45±0,04
O.S-19	50,98±4,70	0,38±0,04	1,55±0,14	0,84±0,08
O.S-20	76,45±7,05	0,56±0,05	0,74±0,07	0,53±0,05
O.S-21	21,00±1,94	0,16±0,01	0,20±0,02	0,15±0,01
O.S-22	30,56±2,82	0,23±0,02	0,30±0,03	0,21±0,02
O.S-23	30,27±2,79	0,21±0,02	0,94±0,09	0,50±0,02
O.S-24	23,25±2,14	0,17±0,02	0,28±0,03	0,21±0,05
Ort.	49,58±4,57	0,35±0,03	0,86±0,08	0,52±0,05

Tablo 5.23. İlkbahar dönemi dip su örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri

Örnek No	C_{Rn} (Bq/m ³)	E_s (Bq/m ² .saat) $\times 10^{-1}$	E_m (Bq/kg.saat) $\times 10^{-3}$	EC_{Ra} (Bq/kg) $\times 10^{-1}$
D.S-1	22,30±2,06	0,17±0,02	0,70±0,06	0,37±0,03
D.S-2	25,50±2,35	0,19±0,02	0,25±0,02	0,18±0,02
D.S-3	51,78±4,77	0,38±0,04	1,55±0,14	0,86±0,08
D.S-4	123,47±11,4	0,92±0,08	3,76±0,35	2,48±0,23
D.S-5	98,77±9,11	0,73±0,07	2,98±0,27	1,64±0,15
D.S-6	100,25±9,24	0,74±0,07	3,38±0,31	1,66±0,15
D.S-7	144,97±13,4	1,08±0,10	4,41±0,41	3,02±0,28
D.S-8	65,55±6,04	0,49±0,05	2,21±0,20	1,08±0,10
D.S-9	70,89±6,54	0,53±0,05	2,17±0,20	1,17±0,11
D.S-10	58,45±5,39	0,43±0,04	1,97±0,18	0,97±0,09
D.S-11	150,00±13,8	1,11±0,10	4,56±0,42	3,05±0,28
D.S-12	20,10±1,85	0,15±0,01	0,68±0,06	0,33±0,03
D.S-13	78,06±7,20	0,58±0,05	2,37±0,22	1,29±0,12
D.S-14	80,55±7,43	0,60±0,06	2,72±0,25	1,33±0,12
D.S-15	102,01±9,41	0,73±0,07	2,98±0,27	1,63±0,15
D.S-16	82,68±7,62	0,61±0,06	2,79±0,26	1,37±0,13
D.S-17	40,62±3,75	0,30±0,03	1,23±0,11	0,67±0,06
D.S-18	88,45±8,16	0,86±0,08	3,91±0,36	1,46±0,13
D.S-19	76,47±7,05	0,57±0,05	2,33±0,21	1,27±0,12
D.S-20	80,25±7,40	0,59±0,05	2,71±0,25	1,33±0,12
D.S-21	40,23±3,71	0,30±0,03	1,23±0,11	0,67±0,06
D.S-22	36,00±3,32	0,27±0,02	1,09±0,10	0,59±0,05
D.S-23	28,28±2,61	0,21±0,02	0,86±0,08	0,47±0,04
D.S-24	25,50±2,35	0,19±0,02	0,82±0,08	0,42±0,04
Ort.	70,46±6,50	0,53±0,05	2,24±0,21	1,22±0,11

5.5.1.2. Sonbahar Dönemi Yüzey Su Örnekleri İçin Radon Doz Hesaplama Değerleri

Sonbahar döneminde alınan yüzey su örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri Tablo 5.24'te verilmiştir.

Tablo 5.24. Sonbahar dönemi yüzey su örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri

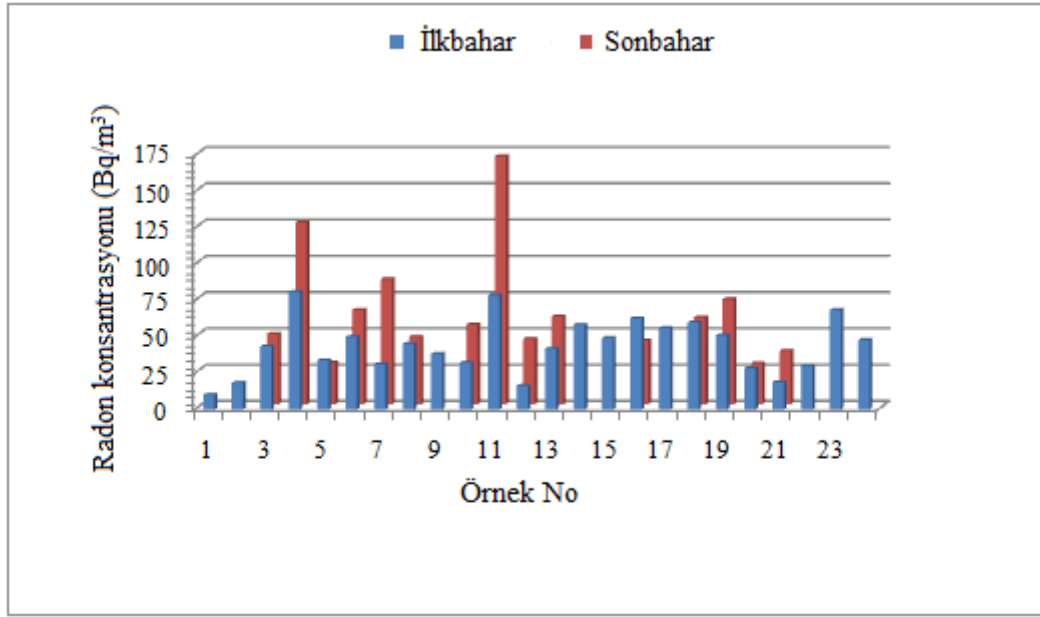
Örnek No	C_{Rn} (Bq/m ³)	E_s (Bq/m ² .saat) $\times 10^{-1}$	E_m (Bq/L.saat) $\times 10^{-3}$	EC_{Ra} (Bq/L) $\times 10^{-1}$
Y.S-1	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-2	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-3	48,59±4,48	0,36±0,03	1,47±0,14	0,80±0,07
Y.S-4	125,33±11,6	1,15±0,11	4,70±0,43	2,57±0,24
Y.S-5	28,76±2,65	0,45±0,04	0,66±0,06	0,55±0,05
Y.S-6	65,00±5,99	0,48±0,04	2,00±0,18	1,18±0,11
Y.S-7	86,43±7,97	0,64±0,06	2,61±0,24	1,43±0,13
Y.S-8	46,50±4,29	0,34±0,03	1,45±0,13	0,84±0,08
Y.S-9	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-10	54,92±5,06	0,47±0,04	1,96±0,18	1,08±0,10
Y.S-11	171,17±15,8	1,27±0,12	5,19±0,48	3,28±0,26
Y.S-12	45,14±4,16	0,32±0,03	1,84±0,17	1,10±0,10
Y.S-13	60,55±5,53	0,45±0,04	0,89±0,08	1,06±0,10
Y.S-14	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-15	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-16	44,21±4,08	0,33±0,03	1,36±0,13	0,80±0,07
Y.S-17	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-18	60,00±5,53	0,44±0,04	1,85±0,17	1,09±0,10
Y.S-19	72,45±6,68	0,53±0,05	2,23±0,21	1,32±0,12
Y.S-20	28,28±2,61	0,21±0,02	0,38±0,04	0,42±0,04
Y.S-21	36,80±3,39	0,27±0,02	0,50±0,05	0,58±0,05
Y.S-22	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-23	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-24	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Ort.	64,94±5,99	0,51±0,05	1,94±0,18	1,21±0,11

ÖA : Örnek alınmadı

İlkbahar dönemi yüzey, orta ve dip su örnekleri için en yüksek C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri 11. istasyona aittir. Benzer şekilde, sonbahar dönemi yüzey su örnekleri için en yüksek C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri de yine 11. istasyona aittir. Su örnekleri için elde edilen en düşük C_{Rn} değeri, $10,00\pm 0,92$ Bq/m³ ile ilkbahar dönemi Y.S-1 örneğine ait iken, en yüksek C_{Rn} değeri ise, $171,17\pm 15,80$ Bq/m³ ile sonbahar dönemi Y.S-11 örneğine aittir.

En düşük E_s değeri, $(0,01\pm0,00)\times10^{-1}$ Bq/m².saat ile ilkbahar dönemi O.S-1 örneğine ait iken, en yüksek E_s değeri ise, $(1,27\pm0,12)\times10^{-1}$ Bq/m².saat ile sonbahar dönemi Y.S-11 örneğine aittir. E_m değeri ise, $(0,04\pm0,00)\times10^{-3}$ Bq/kg.saat ile ilkbahar dönemi O.S-1 örneğinde en düşük, $(5,19\pm0,48)\times10^{-3}$ Bq/kg.saat ile sonbahar dönemi Y.S-11 örneğinde en yüksek olarak hesaplanmıştır. Son olarak, su örneklerinin tamamı için, en düşük EC_{Ra} değeri $(0,08\pm0,01)\times10^{-1}$ Bq/kg ile ilkbahar dönemi Y.S-1 örneğinde, en yüksek EC_{Ra} değeri ise, $(3,28\pm0,26)\times10^{-1}$ Bq/kg ile sonbahar dönemi Y.S-11 örneğinde tespit edilmiştir.

İlkbahar dönemi yüzey, orta ve dip suları için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} ortalamaları karşılaştırılacak olunursa; dip sularının en yüksek ortalamalara, yüzey sularının ise, en düşük ortalamalara sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, derinlik arttıkça radon doz hesaplama değerleri artmaktadır.



Şekil 5.34. Yüzey su örneklerinde radon konsantrasyonunun (C_{Rn}) mevsimsel değişimi

Baykara ve Doğru (2006), Kuzey ve Doğu Anadolu Aktif Fayları bölgesinden 14 tane su örneği toplamışlardır. Pasif radon ölçüm yöntemini kullanarak, su örneklerinde en yüksek radon konsantrasyonunu, efektif radyum içeriğini ve radon yayılım oranını, sırasıyla, 3319,3 Bq/m³, 270,5 Bq/kg ve 0,470 Bq/m².saat olarak hesaplamışlardır (Baykara ve Doğru, 2006).

Bal ve Doğru (2013), Sivrice Fay Zonu üzerine kurdukları radon izleme istasyonlarından aldıkları su örneklerinde, pasif olarak radon konsantrasyonlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde alınan su örneklerinin radon konsantrasyon değerlerinin sırasıyla; 2750 ± 736 Bq/m³ ile 4624 ± 1251 Bq/m³ ve 4464 ± 1524 Bq/m³ ile 7163 ± 1941 Bq/m³ değerleri arasında değiştiği görülmektedir (Bal ve Doğru, 2013).

Zorer vd. (2013)'nin yapmış olduğu çalışma göre, Van Gölü çevresinde bulunan göl sularındaki radon konsantrasyonu $47,80$ Bq/m³ ile $354,86$ Bq/m³ aralığında değişmektedir.

Birleşik Devletler Çevresel Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency, USEPA) içme sularında güvenlik limiti olarak, radon aktivite seviyesinin maksimum değerini $11,1 \times 10^3$ Bq/m³ (11,1 Bq/L) olarak tavsiye etmektedir (USEPA, 2014).

Bu çalışmada su örnekleri için elde edilen sonuçların, yukarıdaki çalışmalarda elde edilen sonuçlardan daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 5.21, Tablo 5.24 ve Şekil 5.34 göz önünde tutularak, ilkbahar ve sonbahar dönemi yüzey su örnekleri için elde edilen C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri mevsimsel olarak kıyaslanacak olunursa, ilkbahar dönemine ait C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_R değerlerinin sonbahar dönemindekilerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, ilkbahar döneminde yağışların ve göle başka su kaynaklarından olan akışların fazla olmasından kaynaklanıyor olabilir.

5.5.2. İlkbahar Dönemi Dip Çamuru Örnekleri İçin Radon Doz Hesaplama Değerleri

İlkbahar döneminde alınan dip çamuru örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri Tablo 5.25'te verilmiştir. Tablo 5.25'e göre dip çamuru örnekleri için C_{Rn} değerleri $40,75 \pm 3,76$ ile $255,10 \pm 23,5$ Bq/m³ aralığında, E_s değerleri $(0,13 \pm 0,01) \times 10^{-1}$ ile $(1,88 \pm 0,17) \times 10^{-1}$ Bq/m²saat aralığında değişmekte olup, E_m değerleri ise, $(0,97 \pm 0,09) \times 10^{-3}$ ile $(12,10 \pm 1,12) \times 10^{-3}$ Bq/kg.saate aralığında değişmektedir. Bunlara ek olarak, EC_{Ra} sonuçları, $(0,93 \pm 0,09) \times 10^{-1}$ ile $(8,43 \pm 0,78) \times 10^{-1}$ Bq/kg aralığında değişmektedir. Bu durumda, en yüksek C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri 11 nolu dip çamuru örneğine ait iken, en düşük C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri ise, 4 nolu dip çamuru örneğine aittir.

Tablo 5.25. İlkbahar dönemi dip çamuru örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri

Örnek No	C_{Rn} (Bq/m ³)	E_s (Bq/m ² .saat) ×10 ⁻¹	E_m (Bq/kg.saat) ×10 ⁻³	EC_{Ra} (Bq/kg) ×10 ⁻¹
D.Ç-1	82,46±7,60	0,61±0,06	2,40±0,22	1,37±0,13
D.Ç-2	90,00±8,30	0,66±0,06	2,71±0,25	1,96±0,18
D.Ç-3	42,80±3,95	0,32±0,03	1,29±0,12	3,71±0,34
D.Ç-4	40,75±3,76	0,13±0,01	0,97±0,09	0,93±0,09
D.Ç-5	98,50±9,08	0,73±0,07	2,97±0,27	2,14±0,20
D.Ç-6	73,68±6,79	0,55±0,05	5,95±0,55	4,10±0,38
D.Ç-7	82,25±7,58	0,61±0,06	2,48±0,23	1,79±0,17
D.Ç-8	52,97±4,88	0,39±0,04	4,61±0,43	3,23±0,30
D.Ç-9	150,60±13,9	1,11±0,10	4,54±0,42	3,27±0,30
D.Ç-10	198,74±18,3	1,47±0,14	7,69±0,71	8,16±0,75
D.Ç-11	255,10±23,5	1,88±0,17	12,10±1,12	8,43±0,78
D.Ç-12	100,32±9,25	0,74±0,07	4,27±0,39	2,98±0,27
D.Ç-13	90,55±8,35	0,67±0,06	2,73±0,25	1,97±0,18
D.Ç-14	99,57±9,18	0,74±0,07	5,91±0,54	4,09±0,38
D.Ç-15	65,40±6,03	0,48±0,04	2,31±0,21	1,08±0,10
D.Ç-16	69,79±6,43	0,37±0,03	5,87±0,54	4,07±0,38
D.Ç-17	100,25±9,24	0,74±0,07	5,38±0,50	2,31±0,21
D.Ç-18	50,00±4,61	0,36±0,03	1,51±0,14	1,09±0,10
D.Ç-19	107,92±9,95	0,44±0,04	2,39±0,22	1,70±0,16
D.Ç-20	230,50±21,30	1,70±0,16	2,23±0,21	6,96±0,64
D.Ç-21	100,49±9,27	0,19±0,02	1,97±0,18	1,36±0,13
D.Ç-22	150,50±13,90	1,11±0,10	4,54±0,42	2,50±0,23
D.Ç-23	110,20±10,20	0,82±0,08	3,32±0,31	1,83±0,17
D.Ç-24	188,02±17,30	0,65±0,06	11,60±1,07	7,35±0,68
Ort.	109,64±10,11	0,73±0,07	4,24±0,39	3,27±0,30

Jaber vd. (2015), Basra Körfezi'nin kuzeybatısından aldıkları 28 adet kıyı sediment örneğinde, pasif radon ölçüm yöntemini kullanarak, radon analizini yapmışlardır. Çalışma sonucunda, ortalama radon konsantrasyonunu $304,3±79,4$ Bq/m³, ortalama radon kütle yayılım oranını $6,87×10^{-3}$ Bq/kg.saat, ortalama radon yüzey yayılım oranını $0,267$ Bq/m².saat ve ortalama efektif radyum içeriğini $0,910$ Bq/kg olarak hesaplamışlardır (Jaber vd., 2015). Bu tez çalışmasında dip çamuru örnekleri için elde edilen radon konsantrasyonları, radon yüzey yayılım oranları ve efektif radyum içerikleri, bahsi geçen

benzer çalışmada elde edilen sonuçlardan daha düşük iken, radon kütle yayılım oranları ise, daha yüksektir.

Benzer diğer bir çalışmada ise, Shivanandappa ve Yerol (2017), Hemavathi nehrinden aldıkları sediment örneklerinde radon konsantrasyonunu, $546,70 \pm 33,64$ ile $611,11 \pm 37,61$ Bq/m³, efektif radyum içeriğini $(73,76 \pm 6,25) \times 10^{-3}$ ile $(599,18 \pm 17,81) \times 10^{-3}$ Bq/kg, radon yüzey yayılım oranını $(181,36 \pm 31,81) \times 10^{-3}$ ile $(1473,25 \pm 90,67) \times 10^{-3}$ Bq/m.saad, radon kütle yayılım oranını ise, $(67,30 \pm 11,80) \times 10^{-3}$ ile $(546,70 \pm 33,64) \times 10^{-3}$ Bq/kg.saad aralığında bulmuşlardır (Shivanandappa ve Yerol, 2017). Bu çalışmada dip çamurları için elde edilen radon konsantrasyonları ve radon yüzey yayılım oranları, yukarıdaki benzer çalışmada elde edilen sonuçlardan daha düşük iken, radon kütle yayılım oranları ile efektif radyum içerikleri ise, bu benzer çalışmada elde edilen değerlerden daha yüksektir.

5.5.3. İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Toprak Örnekleri İçin Radon Doz Hesaplama Değerleri

İlkbahar ve sonbahar döneminde alınan toprak örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri sırasıyla Tablo 5.26'da ve Tablo 5.27'de verilmiştir.

Tablo 5.26 incelendiği zaman, ilkbahar dönemine ait toprak örneklerinde C_{Rn} değerleri, en fazla $127,82 \pm 11,80$ Bq/m³ (11 nolu örnek), en az $14,34 \pm 1,32$ Bq/m³ (3 nolu örnek) ve ortalama $70,99 \pm 6,55$ Bq/m³ olarak hesaplanmıştır. İlkbahar dönemine ait toprak örnekleri için E_s sonuçları $(0,11 \pm 0,01) \times 10^{-1}$ ile $(1,69 \pm 0,16) \times 10^{-1}$ Bq/m².saat aralığında değişirken, E_m sonuçları ise, $(0,68 \pm 0,06) \times 10^{-3}$ ile $(4,98 \pm 0,46) \times 10^{-3}$ Bq/kg.saad aralığında değişmektedir. Yine ilkbahar dönemine ait toprak örneklerinde, efektif radyum içeriği, en fazla $(0,59 \pm 0,05) \times 10^{-1}$ Bq/kg ve en az $(4,90 \pm 0,45) \times 10^{-1}$ Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.27'ye göre ise, sonbahar dönemi toprak örneklerine ait C_{Rn} değerleri için, en yüksek konsantrasyon $411,82 \pm 37,97$ Bq/m³ (11 nolu örnek), en düşük konsantrasyon $22,40 \pm 2,07$ Bq/m³ (5 nolu örnek) ve ortalama konsantrasyon ise, $120,39 \pm 11,09$ Bq/m³'tür. Örnekler için hesaplanan E_s değerleri, $(0,18 \pm 0,02) \times 10^{-1}$ ile $(3,05 \pm 0,28) \times 10^{-1}$ Bq/m².saat aralığında değişirken, E_m değerleri ise, $(2,00 \pm 0,18) \times 10^{-3}$ ile $(30,60 \pm 1,33) \times 10^{-3}$ Bq/kg.saad aralığında değişmektedir. Sonbahar dönemi toprak örneklerinde EC_{Ra} sonuçları, en az $(1,37 \pm 0,13) \times 10^{-1}$ Bq/kg ve en fazla $(21,23 \pm 1,96) \times 10^{-1}$ Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.26. İlkbahar dönemi toprak örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri

Örnek No	C_{Rn} (Bq/m ³)	E_s (Bq/m ² .saat) $\times 10^{-1}$	E_m (Bq/kg.saat) $\times 10^{-3}$	EC_{Ra} (Bq/kg) $\times 10^{-1}$
T-1	35,05±3,23	0,26± 0,02	1,62±0,15	1,24±0,11
T-2	72,00±6,64	0,53±0,05	2,17±0,20	1,56±0,14
T-3	14,34±1,32	0,11±0,01	0,68±0,06	0,59±0,05
T-4	28,62±2,64	0,21±0,02	0,86±0,08	0,62±0,06
T-5	74,71±6,89	0,85±0,08	3,32±0,31	2,64±0,24
T-6	45,22±4,17	0,33±0,03	1,36±0,13	0,98±0,09
T-7	76,87±7,09	0,57±0,05	4,24±0,39	3,04±0,28
T-8	72,00±6,64	0,51±0,05	2,98±0,27	2,50±0,23
T-9	85,23±7,86	0,63±0,06	3,70±0,34	2,58±0,24
T-10	110,36±10,22	0,78±0,07	4,55±0,42	3,82±0,35
T-11	127,82±11,80	1,69±0,16	4,98±0,46	4,90±0,45
T-12	54,30±5,01	0,45±0,04	2,02±0,19	1,56±0,14
T-13	48,19±4,44	0,36±0,03	1,99±0,18	1,35±0,12
T-14	54,80±5,05	0,48±0,04	2,35±0,22	1,66±0,15
T-15	40,81±3,76	0,67±0,06	2,21±0,20	1,94±0,18
T-16	65,20±6,01	1,08±0,10	3,90±0,36	2,00±0,18
T-17	99,17±9,14	0,74±0,07	4,51±0,42	3,56±0,33
T-18	33,86±3,12	0,25±0,02	2,18±0,20	1,52±0,14
T-19	104,10±9,60	0,74±0,07	4,30±0,40	3,62±0,33
T-20	100,37±9,25	0,72±0,07	4,12±0,38	4,57±0,42
T-21	85,50±7,88	0,69±0,06	3,50±0,32	4,80±0,44
T-22	98,38±9,07	0,72±0,07	4,58±0,42	3,93±0,36
T-23	80,50±7,42	0,65±0,06	4,60±0,42	3,85±0,35
T-24	96,38±8,89	0,72±0,07	4,47±0,41	3,77±0,35
Ort.	70,99±6,55	0,61±0,06	3,13±0,29	2,61±0,24

Tablo 5.27. Sonbahar dönemi toprak örnekleri için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri

Örnek No	C_{Rn} (Bq/m ³)	E_s (Bq/m ² .saat) ×10 ⁻¹	E_m (Bq/kg.saat) ×10 ⁻³	EC_{Ra} (Bq/kg) ×10 ⁻¹
T-1	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-2	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-3	26,29±2,42	0,20±0,02	3,00±0,28	2,03±0,19
T-4	32,20±2,97	0,28±0,03	3,72±0,34	2,52±0,23
T-5	22,40±2,07	0,18±0,02	2,98±0,28	2,45±0,23
T-6	50,25±4,63	0,54±0,05	5,27±0,49	3,92±0,36
T-7	78,12 ±7,20	0,66±0,06	5,60±0,52	4,12±0,38
T-8	96,50±8,90	0,71±0,07	7,10±0,66	5,05±0,47
T-9	141,39±13,04	1,05±0,10	9,96±0,92	6,91±0,64
T-10	198,60±18,31	1,47±0,14	14,45±1,10	10,02±0,92
T-11	411,82±37,97	3,05±0,28	30,60±1,33	21,23±1,96
T-12	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-13	81,25±7,49	0,68±0,06	5,91±0,55	4,91±0,45
T-14	104,29±9,62	0,87±0,08	4,62±0,43	3,82±0,35
T-15	48,64±4,49	0,40±0,04	2,13±0,20	1,76±0,16
T-16	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-17	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-18	45,38±4,18	0,38±0,04	2,00±0,18	1,65±0,15
T-19	142,19±13,11	1,06±0,10	8,36±0,77	6,98±0,64
T-20	291,94±26,92	2,17±0,20	25,50±2,35	17,73±1,64
T-21	98,50±9,08	0,74±0,07	8,60±0,79	6,03±0,56
T-22	37,44±3,45	0,28±0,03	2,02±0,19	1,37±0,13
T-23	105,00±9,40	0,79±0,07	5,67±0,52	3,85±0,36
T-24	275,21±25,37	2,04±0,19	22,30±2,06	15,54±1,43
Ort.	120,39±11,09	0,92±0,09	8,94±0,74	6,42±0,59

ÖA : Örnek alınmadı

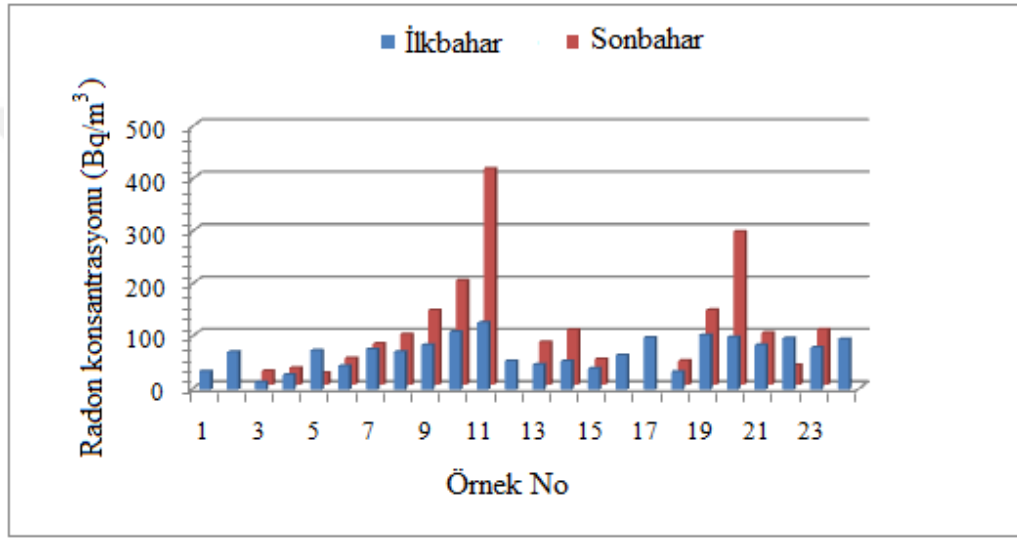
Eisenbud ve Gesell (1997), tipik topraklarda radon konsantrasyonunun $4,0 \times 10^3$ ile $40,0 \times 10^3$ Bq/m³ aralığında değiştiğini belirtmişlerdir (Eisenbud ve Gesell, 1997).

Bal ve Doğru (2013), Sivrice Fay Zonu üzerine kurdukları radon izleme istasyonlarından aldıkları toprak örneklerinde, pasif olarak radon konsantrasyonlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde alınan toprak örneklerinin radon konsantrasyon değerlerinin sırasıyla, 4985 ± 1284 Bq/m³ ile 9057 ± 1831

Bq/m³ ve 2897±365 Bq/m³ ile 5049±1164 Bq/m³ değerleri arasında değiştiği görülmektedir (Bal ve Doğru, 2013).

Benzer diğer bir çalışmada, Lara vd. (2015), Brezilya Belo Horizonte bölgesinden aldıkları toprak örneklerinde ortalama radon konsantrasyonunu $(13,6\pm3,0)\times10^3$ ile $(60,6\pm8,7)\times10^3$ Bq/m³ aralığında bulmuşlardır (Lara vd., 2015).

Bu çalışmada, ilkbahar ve sonbahar dönemi toprak örnekleri için elde edilen radon konsantrasyon değerlerinin, bu değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 5.35. Toprak örneklerinde radon konsantrasyonunun (C_{Rn}) mevsimsel değişimi

Tablo 5.26'ya, Tablo 5.27'ye ve Şekil 5.35'e göre, 5 ve 22 numaralı toprak örnekleri hariç, diğer tüm toprak örnekleri için elde edilen sonuçların, sonbahar döneminde daha yüksek olduğu görülmektedir (Sonbahar döneminde 1, 2, 12, 16 ve 17 numaralı istasyonlardan örnek alınamamıştır).

5.6. Su, Dip Çamuru ve Toprak Örnekleri İçin Ağır Metal ve Ana Element Konsantrasyonları

Su, dip çamuru ve toprak örneklerinde ağır metal (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Co) ve ana element (Mg, Ca, Na, K) konsantrasyonları belirlenerek, sonuçlar ppm olarak verilmiştir.

5.6.1. İlkbahar Dönemi Yüzeý, Orta ve Dip Su Örnekleri İçin Ağır Metal ve Ana Element Konsantrasyonları

İlkbahar döneminde alınan yüzeý, orta ve dip su örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları sırasıyla Tablo 5.28, Tablo 5.30 ve Tablo 5.32'de verilmiştir.

Tablo 5.28. İlkbahar dönemi yüzeý su örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları

Örnek No	Ağır metal konsantrasyonları (ppm)×10 ⁻³							Ana element konsantrasyonları (ppm)			
	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Na ×10 ³	Mg	K ×10 ³	Ca
Y.S-1	3,17	4,85	DLA	0,06	0,30	29,78	411,78	61,09	146,40	5,18	10,60
Y.S-2	2,85	3,22	15,72	0,10	0,38	259,35	417,61	1,95	4,39	0,22	0,31
Y.S-3	2,87	0,64	0,57	0,09	0,04	114,01	410,15	2,00	3,72	0,24	0,34
Y.S-4	2,88	2,17	1,63	0,16	0,12	121,03	408,56	0,00	0,35	0,00	0,27
Y.S-5	2,86	0,36	1,26	0,08	DLA	92,62	412,54	0,01	0,20	0,00	0,04
Y.S-6	2,84	0,40	4,87	0,08	DLA	36,32	410,08	1,93	4,11	0,23	0,32
Y.S-7	2,98	0,40	0,15	0,09	0,10	39,68	397,94	1,85	3,86	0,22	0,27
Y.S-8	2,81	0,46	2,99	0,08	DLA	41,31	407,28	1,84	3,82	0,22	0,28
Y.S-9	2,18	4,70	1,49	0,04	0,00	31,01	418,54	0,03	DLA	0,00	2,07
Y.S-10	2,86	0,51	4,54	0,07	DLA	47,55	412,69	1,80	3,74	0,21	0,26
Y.S-11	2,82	0,42	2,62	0,09	DLA	37,49	408,69	DLA	DLA	0,00	0,16
Y.S-12	2,81	0,45	0,95	0,08	DLA	47,31	407,23	1,86	4,12	0,21	0,27
Y.S-13	2,80	0,39	1,74	0,08	DLA	43,08	415,05	1,73	3,82	0,20	0,51
Y.S-14	2,55	4,30	6,49	0,06	0,01	42,25	415,90	48,07	119,30	4,04	7,21
Y.S-15	2,70	1,66	8,60	0,09	DLA	33,37	417,09	1,72	3,53	0,20	0,23
Y.S-16	2,78	0,41	DLA	0,09	DLA	44,18	405,62	DLA	DLA	0,00	0,15
Y.S-17	2,76	3,49	12,41	0,07	0,06	48,23	414,54	30,16	70,86	2,82	7,60
Y.S-18	2,78	1,49	3,07	0,14	DLA	44,31	409,30	1,77	3,68	0,20	0,27
Y.S-19	2,77	0,52	4,60	0,09	DLA	56,08	408,05	1,62	3,40	0,19	0,25
Y.S-20	2,83	0,57	4,02	0,09	DLA	47,76	412,97	1,59	3,36	0,19	0,22
Y.S-21	2,88	0,60	4,98	0,09	0,06	48,13	406,00	1,69	2,63	0,20	0,40
Y.S-22	3,07	6,70	6,24	0,10	0,25	55,42	414,36	17,38	67,57	1,31	3,51
Y.S-23	2,61	4,85	11,80	0,09	0,10	46,98	412,92	10,33	22,91	1,07	2,53
Y.S-24	3,26	1,84	3,77	0,11	DLA	51,21	418,89	6,32	14,52	0,69	1,67
Ort.	2,82	1,89	4,75	0,09	0,14	60,77	411,41	8,94	23,35	0,74	1,66

DLA: Dedeksiyon limitinin altında

Tablo 5.28'e göre ilkbahar dönemi yüzey su örneklerinde ağır metal konsantrasyonları incelendiği zaman, en yüksek Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu ve Zn konsantrasyonlarının sırasıyla $3,26 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-24 örneğine, $6,70 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-22 örneğine, $15,72 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-2 örneğine, $0,16 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-4 örneğine, $0,38 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-2 örneğine, $259,35 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-2 örneğine ve $418,89 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-24 örneğine ait olduğu görülmektedir. Bu durumda, ağır metal yönünden en fazla kirliliğe sahip olan istasyon Y.İ-2'dir. Sonuçlar ve Tablo 5.29 birlikte incelendiği zaman, Zn hariç, elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının, ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir konsantrasyonları geçmediği görülmektedir.

Tablo 5.29. Ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir ağır metal konsantrasyonları (mg/L) (Çetin vd., 2016).

	Cd	Cr	Zn	Cu	Fe	Mn	Pb	Kaynak
TSE-266	0,005	0,05	-	2	0,2	0,05	0,01	TSE, 2005
WHO	0,01	0,05	-	2	-	-	0,05	WHO,1993
EPA	0,01	0,05	0,3	1,3	0,3	-	0,05	EPA, 2002
EC	0,05	0,50	-	0,02	0,2	-	0,01	EC, 1998

İlkbahar dönemi yüzey su örneklerinde, ana element konsantrasyonları incelendiği zaman ise, en yüksek Na, Mg, K ve Ca konsantrasyonlarının sırasıyla $61,09 \times 10^3$ ppm ile Y.S-1 örneğine, 146,40 ppm ile Y.S-1 örneğine, $5,18 \times 10^3$ ppm ile Y.S-1 örneğine ve 10,60 ppm ile Y.S-1 örneğine ait olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, ana element konsantrasyonları bakımından en düşük istasyon Y.S-1'dir. İlkbahar dönemi yüzey su örnekleri için elde edilen ana element (makro element) konsantrasyonları incelendiği zaman, Mg ve Ca için elde edilen konsantrasyonlar hariç, sonuçların, TSE-266, WHO ve EC-1998 (TSE-226, 1997; WHO, 1993; EC, 1998)'in su için belirlediği üst sınır değerlerini aştığı görülmektedir (Tablo 5.31).

Tablo 5.30'da verilen ilkbahar dönemi orta su örneklerinde en yüksek Cr konsantrasyonu, $1,94 \times 10^{-3}$ ppm ile O.S-19 örneğinde, en yüksek Mn konsantrasyonu $3,25 \times 10^{-3}$ ppm ile O.S-20 örneğinde, en yüksek Fe $13,12 \times 10^{-3}$ ppm ile O.S-19 örneğinde, en yüksek Co $0,15 \times 10^{-3}$ ppm ile O.S-20 örneğinde, en yüksek Ni konsantrasyonu $0,31 \times 10^{-3}$ ppm ile O.S-14 örneğinde, en yüksek Cu $41,88 \times 10^{-3}$ ppm ile O.S-14 örneğinde ve en

yüksek Zn konsantrasyonu ise, $377,96 \times 10^{-3}$ ppm ile O.S-11 örneğinde bulunmuştur. Sonuçlar ve Tablo 5.29 birlikte incelendiği zaman, Zn hariç, elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının, ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir konsantrasyonları geçmediği görülmektedir.

Tablo 5.30. İlkbahar dönemi orta su örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları

Örnek No	Ağır metal konsantrasyonları (ppm) $\times 10^{-3}$							Ana element konsantrasyonları (ppm)			
	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Na $\times 10^3$	Mg	K $\times 10^3$	Ca
O.S-1	1,32	1,80	10,32	0,12	0,16	21,41	329,60	1,78	3,05	0,25	0,27
O.S-2	1,38	2,73	8,06	0,11	0,23	23,43	249,24	1,74	3,04	0,25	0,35
O.S-3	1,34	0,53	5,14	0,10	DLA	18,07	373,66	1,78	3,10	0,26	0,29
O.S-4	1,29	2,94	10,23	0,11	0,20	21,49	229,83	1,78	3,11	0,26	0,42
O.S-5	1,29	2,48	7,14	0,12	0,11	18,01	294,50	1,81	3,09	0,26	0,42
O.S-6	1,29	2,77	7,07	0,11	0,30	23,84	311,06	1,78	2,99	0,26	0,61
O.S-7	1,27	1,73	10,58	0,10	0,04	21,54	328,13	1,75	2,89	0,25	0,33
O.S-8	1,30	2,25	9,32	0,11	DLA	24,40	317,46	1,77	2,98	0,26	0,33
O.S-9	1,31	2,63	8,61	0,10	0,10	22,82	310,11	1,70	3,01	0,24	0,30
O.S-10	1,28	1,31	8,71	0,11	0,02	27,06	345,62	1,68	2,83	0,25	0,25
O.S-11	1,34	1,78	6,50	0,11	DLA	29,20	377,96	1,68	2,58	2,25	0,30
O.S-12	1,28	1,85	9,95	0,11	0,00	23,57	264,64	1,70	2,58	0,25	0,30
O.S-13	1,33	2,20	8,85	0,13	0,09	39,53	377,80	1,80	3,00	0,27	0,44
O.S-14	1,36	2,84	7,06	0,14	0,31	41,88	241,98	1,79	2,98	0,26	0,40
O.S-15	1,37	3,07	7,06	0,12	0,26	23,45	335,59	1,76	3,00	0,26	0,29
O.S-16	1,34	2,63	11,55	0,11	0,21	17,12	303,33	1,81	3,07	0,27	0,50
O.S-17	1,35	2,75	8,52	0,12	DLA	17,64	333,96	0,00	DLA	0,00	0,54
O.S-18	1,33	1,52	8,90	0,11	DLA	15,81	331,28	2,11	3,76	0,32	0,60
O.S-19	1,94	2,79	13,12	0,13	0,19	20,82	280,68	2,08	4,08	0,31	0,63
O.S-20	1,73	3,25	9,47	0,15	0,01	18,03	356,54	2,03	3,89	0,30	0,36
O.S-21	1,70	2,47	9,48	0,13	0,02	17,33	356,28	2,02	3,85	0,30	0,37
O.S-22	1,66	2,80	9,22	0,13	0,07	20,13	297,97	2,11	4,04	0,33	0,59
O.S-23	1,52	2,31	9,62	0,14	0,06	19,76	315,73	2,17	3,59	0,34	0,41
O.S-24	1,48	1,88	10,45	0,13	DLA	16,93	356,96	2,13	3,86	0,35	0,44
Ort.	1,41	2,31	8,96	0,12	0,13	22,64	317,50	1,78	3,23	0,35	0,41

DLA: Dedeksiyon limitinin altında

Tablo 5.31. Ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir makro (ana) element konsantrasyonları (mg/L)

Kuruluş	Na (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Kaynaklar
TSE-226 (Müsaade edilen)	175	50	12	200	TSE-226, 1997
WHO	200	–	–	–	WHO, 1993
EC	200	–	–	–	EC,1998

İlkbahar dönemi orta su örneklerinde, Na, Mg, K ve Ca ana element konsantrasyonları incelendiği zaman, sırasıyla $2,17 \times 10^3$ ppm ile O.S-23 örneğinde, 4,08 ppm ile O.S-19 örneğinde, $0,35 \times 10^3$ ppm ile O.S-24 örneğinde ve 0,63 ppm ile O.S-19 örneğinde en yüksek düzeyde bulunmuştur. Orta su örnekleri için elde edilen ana element konsantrasyon değerlerinin, Mg ve Ca için elde edilen konsantrasyonlar hariç, Tablo 5.31'de verilen TSE-266, WHO ve EC-1998 (TSE-226, 1997; WHO, 2003; EC, 1998)'in su için belirlediği üst sınır değerlerini aştığı görülmektedir.

İlkbahar dönemi dip su örnekleri Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu ve Zn gibi ağır metal konsantrasyonları açısından incelendiği zaman, konsantrasyonların Cr için DLA ile $2,87 \times 10^{-3}$ ppm aralığında, Mn için DLA ile $4,87 \times 10^{-3}$ ppm aralığında, Fe için DLA ile $15,73 \times 10^{-3}$ ppm aralığında, Co için $0,07 \times 10^{-3}$ ile $0,20 \times 10^{-3}$ ppm aralığında, Ni için DLA ile $0,43 \times 10^{-3}$ ppm aralığında, Cu için DLA ile $42,47 \times 10^{-3}$ ppm aralığında ve son olarak Zn için $97,81 \times 10^{-3}$ ile $418,24 \times 10^{-3}$ ppm aralığında değiştiği görülmektedir. Ortalamalar ve Tablo 5.29 birlikte incelendiği zaman, Zn hariç, elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının, ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir konsantrasyonları geçmediği görülmektedir.

Tablo 5.32'ye göre, ilkbahar dönemi dip su örneklerinde, Na, Mg, K ve Ca ana element konsantrasyonları ise, sırasıyla Na için $0,00 \times 10^3$ ile $2,62 \times 10^3$ ppm aralığında, Mg için DLA ile 3,67 ppm aralığında, K için $0,00 \times 10^3$ ile $0,38 \times 10^3$ ppm aralığında ve Ca için ise, 0,14 ile 0,38 ppm aralığında değişmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, ana element yönünden en düşük istasyon D.S-14'tür. Dip su örnekleri için elde edilen ana element konsantrasyonlarının, Mg ve Ca için elde edilen konsantrasyonlar hariç, Tablo 5.31'de yer alan ve TSE-266, WHO ile EC-1998 (TSE-226, 1997; WHO, 2003; EC,1998)'in su için belirlediği üst sınır değerlerini aştığı görülmektedir.

Tablo 5.32. İlkbahar dönemi dip su örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları

Örnek No	Ağır metal konsantrasyonları (ppm) $\times 10^{-3}$							Ana element konsantrasyonları (ppm)			
	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Na $\times 10^3$	Mg	K $\times 10^3$	Ca
D.S-1	2,69	4,87	10,03	0,11	0,40	41,80	418,24	1,54	3,02	0,19	0,30
D.S-2	2,73	3,12	15,73	0,11	0,30	36,07	416,91	1,47	2,75	0,17	0,29
D.S-3	2,83	0,55	5,46	0,09	0,11	42,47	406,54	1,48	2,87	0,17	0,22
D.S-4	2,87	1,19	3,15	0,20	0,15	38,68	405,80	1,54	3,02	0,18	0,14
D.S-5	1,34	DLA	DLA	0,08	0,05	22,65	280,10	1,69	3,22	0,21	0,22
D.S-6	1,26	0,04	2,83	0,07	0,01	21,04	283,10	1,66	3,23	0,20	0,16
D.S-7	1,34	0,16	4,13	0,09	0,00	26,24	236,30	1,69	3,17	0,21	0,21
D.S-8	1,33	0,13	3,94	0,08	DLA	24,73	264,85	0,00	DLA	0,00	0,17
D.S-9	1,28	1,94	6,82	0,09	0,21	18,44	371,77	1,43	2,56	0,16	0,16
D.S-10	1,43	0,22	4,66	0,09	DLA	30,10	221,57	1,67	2,91	0,21	0,16
D.S-11	1,34	0,20	3,00	0,11	DLA	22,13	307,85	1,69	2,84	0,21	0,20
D.S-12	1,41	0,22	6,30	0,11	DLA	27,95	214,62	1,75	3,12	0,22	0,28
D.S-13	1,41	0,18	4,90	0,10	DLA	25,65	126,95	1,72	2,59	0,22	0,32
D.S-14	1,34	3,29	5,72	0,11	0,16	21,37	240,40	2,62	3,67	0,38	0,32
D.S-15	1,30	1,40	4,72	0,09	DLA	19,85	357,12	1,75	3,22	0,24	0,26
D.S-16	1,40	0,29	3,93	0,11	DLA	24,62	97,81	0,00	DLA	0,00	0,28
D.S-17	1,40	2,49	7,48	0,11	0,09	20,46	322,93	1,85	3,44	0,26	0,32
D.S-18	DLA	0,05	DLA	0,01	DLA	DLA	277,56	1,82	3,33	0,25	0,24
D.S-19	1,39	0,23	3,82	0,09	0,08	25,05	118,88	1,80	3,23	0,25	0,23
D.S-20	1,38	0,22	4,30	0,09	0,02	20,72	206,57	1,72	3,52	0,23	0,28
D.S-21	1,42	0,19	5,41	0,09	0,89	27,67	200,57	1,72	3,50	0,22	0,31
D.S-22	1,34	2,49	8,59	0,12	0,13	20,59	347,83	1,82	2,31	0,26	0,23
D.S-23	1,31	2,29	6,34	0,10	0,43	19,83	348,61	1,67	2,83	0,23	0,38
D.S-24	1,39	1,05	7,12	0,12	DLA	18,71	376,39	1,81	3,18	0,26	0,26
Ort.	1,61	1,17	5,84	0,10	0,20	25,95	285,39	1,58	3,07	0,21	0,25

DLA: Dedeksiyon limitinin altında

5.6.2. Sonbahar Dönemi Yüzey Su Örnekleri İçin Ağır Metal ve Ana Element Konsantrasyonları

Sonbahar döneminde alınan yüzey su örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları Tablo 5.33' te verilmiştir.

Tablo 5.33'te belirtilen sonbahar dönemine ait yüzey su örneklerinde ağır metal konsantrasyonları incelendiği zaman, en yüksek Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu ve Zn konsantrasyonlarının sırasıyla $3,74 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-6 örneğine, $0,94 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-16 örneğine, $15,01 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-18 örneğine, $0,17 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-13 örneğine, $3,68 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-13 örneğine, $122,51 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-21 örneğine ve $419,53 \times 10^{-3}$ ppm ile Y.S-18 örneğine ait olduğu görülmektedir. Tablo 5.29 göz önüne alınarak incelendiği zaman, Zn hariç elde edilen sonuçların, ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir konsantrasyonları geçmediği görülmektedir.

Tablo 5.33'e göre, sonbahar dönemi yüzey su örneklerinde, Na, Mg, K ve Ca ana element konsantrasyonları incelendiği zaman, sırasıyla $43,99 \times 10^2$ ppm ile Y.S-3 örneğinde, 58,12 ppm ile Y.S-12 örneğinde, 9×10^2 ppm ile Y.S-12 örneğinde, 6,49 ppm ile Y.S-12 örneğinde en yüksek düzeylerde bulunmuştur. Yüzey su örnekleri için elde edilen ana element konsantrasyon değerlerinin, Mg ve Ca için elde edilen konsantrasyonlar hariç, Tablo 5.31'de verilen TSE-266, WHO ve EC-1998 (TSE-226, 1997; WHO, 2003; EC, 1998)'in su için belirlediği üst sınır değerlerini aştığı görülmektedir.

Van Gölü su örnekleri için, mevsim ve derinlik ayırt etmeksizin, elde edilen ortalama ağır metal konsantrasyonları, Ek 1 Tablo 1.1'de yer alan benzer çalışmalarda elde edilen Cr, Mn ve Ni konsantrasyonlarından düşük iken; Co, Cu, Zn ve Fe konsantrasyonlarından ise, düşük ya da yüksektir.

İlkbahar ve sonbahar dönemi yüzey su örnekleri için elde edilen ağır ve ana element konsantrasyon ortalamaları karşılaştırıldığı zaman, sonbahar döneminde ölçülen konsantrasyonların ortalamalarının, ilkbahar dönemindekilerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 5.33. Sonbahar dönemi yüzey su örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları

Örnek No	Ağır metal konsantrasyonları (ppm) $\times 10^{-3}$							Ana element konsantrasyonları (ppm)			
	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Na $\times 10^2$	Mg	K $\times 10^2$	Ca
Y.S-1	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-2	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-3	3,37	0,43	DLA	0,10	DLA	55,13	407,17	43,99	9,83	5,02	0,81
Y.S-4	3,49	0,25	2,25	0,07	0,04	53,66	414,06	37,42	8,20	4,33	0,65
Y.S-5	3,35	0,51	5,23	0,09	0,04	63,80	412,38	31,88	6,58	3,73	0,52
Y.S-6	3,74	0,48	2,08	0,08	DLA	51,21	412,39	27,26	5,62	3,12	0,41
Y.S-7	3,35	0,33	4,96	0,09	0,00	50,49	409,54	28,41	6,28	3,33	0,75
Y.S-8	3,19	0,33	5,60	0,09	0,04	41,98	416,06	3,00	DLA	1,00	0,35
Y.S-9	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-10	3,27	0,48	3,33	0,06	0,12	50,34	405,22	24,80	5,54	2,87	0,50
Y.S-11	3,25	0,37	4,16	0,08	DLA	40,76	412,92	24,50	4,69	2,85	0,44
Y.S-12	3,26	0,38	5,70	0,06	0,03	49,38	400,69	0,85	58,12	9,00	6,49
Y.S-13	1,99	0,23	3,57	0,17	3,68	10,57	349,63	0,01	0,46	1,00	0,48
Y.S-14	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-15	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-16	3,15	0,94	3,59	0,10	DLA	42,87	411,25	1,03	6,84	0,09	0,56
Y.S-17	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-18	3,64	0,43	15,01	0,07	1,15	39,42	419,53	2,02	4,55	0,23	0,35
Y.S-19	3,33	0,47	0,53	0,09	0,14	66,78	418,45	2,07	4,62	0,23	0,55
Y.S-20	3,03	0,39	5,72	0,09	0,19	44,98	412,12	2,09	4,25	0,24	0,40
Y.S-21	2,98	0,34	4,47	0,09	0,72	122,51	414,26	2,07	4,71	0,23	0,44
Y.S-22	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-23	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Y.S-24	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
Ort.	3,23	0,42	4,41	0,09	0,56	52,26	407,71	15,43	9,31	2,48	0,91

DLA: Dedeksiyon limitinin altında

ÖA : Örnek alınmadı

5.6.3. İlkbahar Dönemi Dip Çamuru Örnekleri İçin Ağır Metal ve Ana Element Konsantrasyonları

İlkbahar döneminde alınan dip çamuru örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları, sırasıyla Tablo 5.34 ve Tablo 5.35'te verilmiştir.

Tablo 5.34. İlkbahar dönemi dip çamuru örnekleri için ağır metal konsantrasyonları

Örnek No	Ağır metal konsantrasyonları (ppm)						
	Cr	Mn	Fe×10 ²	Co	Ni	Cu	Zn
D.Ç-1	62,30	658,30	270,40	13,65	67,69	32,31	64,23
D.Ç-2	79,80	1266,00	513,40	26,81	82,20	37,26	124,70
D.Ç-3	68,09	1195,00	409,70	16,7	72,29	42,20	138,10
D.Ç-4	71,02	2598,30	235,97	35,58	97,73	38,44	137,85
D.Ç-5	74,74	912,00	322,60	14,18	82,41	33,19	87,38
D.Ç-6	70,06	1357,33	712,74	13,09	124,76	30,84	120,50
D.Ç-7	218,80	2547,00	870,80	53,63	215,00	157,60	210,10
D.Ç-8	190,70	2165,00	696,80	49,49	163,80	122,50	144,80
D.Ç-9	183,67	1820,46	765,62	60,34	200,54	156,90	167,56
D.Ç-10	271,50	2523,00	896,60	61,39	225,70	177,50	171,30
D.Ç-11	59,11	866,00	292,40	13,26	61,50	50,65	87,31
D.Ç-12	62,38	921,73	311,22	14,01	58,99	63,96	60,87
D.Ç-13	65,26	767,39	242,34	11,88	50,20	58,70	36,00
D.Ç-14	176,10	2024,00	676,30	46,44	147,80	112,20	131,00
D.Ç-15	120,80	1200,34	432,78	34,22	120,67	68,55	100,54
D.Ç-16	84,05	678,40	232,10	12,50	100,20	43,05	59,07
D.Ç-17	83,74	532,80	387,45	12,34	98,25	120,25	128,34
D.Ç-18	80,71	676,40	283,10	12,98	94,32	188,30	134,70
D.Ç-19	76,55	1300,20	387,30	30,22	78,30	1220,50	1178,20
D.Ç-20	53,46	1569,60	520,50	28,78	56,78	1547,35	1345,78
D.Ç-21	54,93	1332,00	619,80	25,29	66,49	2066,00	1258,00
D.Ç-22	57,05	1352,00	643,60	26,26	69,04	2145,00	1306,00
D.Ç-23	89,53	1443,00	502,40	24,44	97,57	1394,00	832,40
D.Ç-24	74,31	1384,00	699,60	27,75	74,64	55,45	208,80
Ort.	101,19	1378,76	496,90	27,72	104,45	415,11	343,06

Tablo 5.35. İlkbahar dönemi dip çamuru örnekleri için ana element konsantrasyonları

Örnek No	Ana element konsantrasyonları (ppm) $\times 10^2$			
	Na	Mg	K	Ca
D.Ç-1	594,10	461,40	193,60	1751,00
D.Ç-2	624,57	571,30	210,30	1911,00
D.Ç-3	541,36	372,80	194,60	1688,00
D.Ç-4	564,12	392,41	208,34	1069,32
D.Ç-5	648,10	547,80	144,60	1629,00
D.Ç-6	634,32	552,82	180,22	1201,48
D.Ç-7	641,20	579,40	416,70	1545,00
D.Ç-8	528,80	416,00	471,50	1079,00
D.Ç-9	550,32	546,21	450,78	1208,00
D.Ç-10	557,81	609,40	497,90	1808,40
D.Ç-11	424,70	342,60	170,30	2115,00
D.Ç-12	442,09	376,80	178,57	2378,66
D.Ç-13	432,51	414,41	187,24	2540,78
D.Ç-14	420,60	482,90	261,70	1903,00
D.Ç-15	480,90	350,22	210,12	2240,50
D.Ç-16	622,27	386,30	193,40	2648,82
D.Ç-17	578,25	450,67	200,12	2100,54
D.Ç-18	612,84	505,70	231,10	1641,00
D.Ç-19	450,50	457,55	200,30	1568,10
D.Ç-20	300,15	380,50	118,45	1435,20
D.Ç-21	298,80	311,10	110,70	1581,00
D.Ç-22	310,30	323,10	114,90	1642,00
D.Ç-23	549,42	447,20	153,60	1449,00
D.Ç-24	251,60	322,10	97,17	1440,00
Ort.	502,49	438,76	224,84	1732,24

Tablo 5.36. Sedimentte ağır metal konsantrasyonları için kabul edilebilir değerler (mg/kg) (NOAA, 2009; Çetin vd., 2016).

	Cd	Cr	Zn	Cu	Fe	Mn	Pb
En Düşük Etkili Konsantrasyon	0,60	26	120	16	20000	460	31
Eşik konsantrasyonu	0,99	43,4	121	31,6	–	–	35,8
Muhtemel etki konsantrasyonu	4,9	111	459	149	–	–	128
Yüksek Etkili Konsantrasyon	10	110	820	110	40000	1100	250

Dip çamuru örneklerinin ağır metal analizleri sonucunda tespit edilen metaller arasında Fe, en yüksek konsantrasyona sahip iken, Co ise, en düşük konsantrasyona sahiptir. Konsantrasyonlarına göre metaller; Fe>Mn>Cu>Zn>Ni>Cr>Co şeklinde sıralanmakta olup, yer kabuğunda en fazla bulunan element Fe olduğu için, dip çamuru örneklerinde de en fazla biriken metalin Fe olduğu görülmektedir. En yüksek Fe konsantrasyonu $896,60 \times 10^2$ ppm ile D.Ç-10 örneğine ait iken, en düşük Fe konsantrasyonu ise, $232,10 \times 10^2$ ppm ile D.Ç-16 örneğine aittir. Yapılmış benzer çalışmalarda da, ağır metallerin sedimentlerde daha fazla biriktiği ve Fe metalinin en yüksek konsantrasyonda olduğu görülmektedir (Karadede ve Ünlü, 2000; Mendil ve Uluözlü, 2007; Öztürk vd., 2009). Göl sularında ağır metaller çökerek dipte biriktiği için, dip çamuru örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları sulardakilerden daha yüksektir. Bu durum, göllerde sedimentlerin (dip çamurlarının) ağır metal birikimi bakımından depolama görevi görmesine neden olur.

Yapılan ölçüm ve analizler neticesinde, dip çamuru örneklerinin ortalama ağır metal konsantrasyonlarının, ulusal ve uluslararası kalite yönergelerinin belirlediği en yüksek etkili konsantrasyon seviyelerinden (Cr ve Zn hariç) yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5.36).

Tablo 5.35'te verilen dip çamuru örneklerinde ana element konsantrasyonları incelendiği zaman, ilkbahar dönemi dip çamuru örneklerinde en yüksek Na konsantrasyonu, $648,10 \times 10^2$ ppm ile D.Ç-5 örneğinde, en yüksek Mg konsantrasyonu $609,40 \times 10^2$ ppm ile D.Ç-10 örneğinde, en yüksek K konsantrasyonu $497,90 \times 10^2$ ppm ile D.Ç-10 örneğinde ve en yüksek Ca konsantrasyonu ise, $2648,82 \times 10^2$ ppm ile D.Ç-16 örneğinde bulunmuştur.

Dip çamuru örnekleri için elde edilen ağır metal konsantrasyonları, Ek 1 Tablo 1.2'de verilen benzer çalışmalarda ulaşılan sonuçlarla ve yer kabuğu için verilen değerlerle kıyaslandığı zaman, elde edilen sonuçların daha yüksek olduğu görülmektedir.

5.6.4. İlkbahar ve Sonbahar Dönemi Toprak Örnekleri İçin Ağır Metal ve Ana Element Konsantrasyonları

İlkbahar ve sonbahar döneminde alınan toprak örnekleri için ağır metal ve ana element konsantrasyonları, sırasıyla Tablo 5.37'de, Tablo 5.39'da, Tablo 5.40'ta ve Tablo 5.41'de verilmiştir.

Tablo 5.37. İlkbahar dönemi toprak örnekleri için ağır metal konsantrasyonları

Örnek No	Ağır metal konsantrasyonları (ppm)						
	Cr	Mn	Fe×10 ²	Co	Ni	Cu	Zn
T-1	47,15	829,30	216,30	6,88	43,30	45,30	169,70
T-2	187,70	3031,00	1144,00	78,55	193,30	234,50	551,30
T-3	488,30	15610,00	5280,00	122,40	570,80	320,80	1718,00
T-4	509,31	17280,45	6486,00	250,20	820,12	992,60	1824,00
T-5	72,60	42,49	1456,00	37,95	71,72	72,30	470,50
T-6	124,45	1820,00	1326,00	54,25	200,50	80,32	450,25
T-7	234,50	4748,00	1215,00	63,03	288,10	86,47	300,60
T-8	127,80	2555,00	1168,00	60,25	87,28	223,80	191,30
T-9	112,50	1634,00	1250,60	38,50	92,34	230,00	200,45
T-10	37,46	526,00	152,90	7,11	37,15	59,79	88,95
T-11	32,50	320,00	120,50	6,20	70,55	50,72	232,50
T-12	80,08	1541,00	502,70	22,09	96,49	98,66	253,60
T-13	120,40	1350,00	450,00	25,00	125,60	95,40	225,20
T-14	264,10	1741,00	562,50	38,07	345,90	92,52	207,00
T-15	240,00	1575,00	540,20	35,20	320,50	88,50	205,00
T-16	331,70	1994,00	832,00	40,70	272,30	83,45	205,90
T-17	329,50	1564,00	850,00	45,60	250,50	120,00	280,50
T-18	369,60	1473,00	687,50	50,32	379,00	52,77	121,40

Tablo 5.37'nin devamı

T-19	350,00	2080,50	720,00	75,50	315,50	62,00	325,00
T-20	62,09	696,00	291,60	13,46	69,66	54,04	78,74
T-21	56,81	842,40	243,60	7,70	72,19	971,80	561,60
T-22	165,20	2370,00	915,40	42,99	183,60	185,80	402,10
T-23	134,50	3089,00	1397,00	57,33	137,00	89,31	399,30
T-24	187,90	4412,00	1956,00	81,87	195,00	157,00	587,00
Ort.	194,42	2870,84	1240,16	52,55	218,27	189,49	418,75

Tablo 5.37 incelendiği zaman, ilkbahar dönemi toprak örneklerinde en yüksek Cr konsantrasyonunun 509,31 ppm, en yüksek Mn konsantrasyonunun 17280,45 ppm, en yüksek Fe konsantrasyonunun $6486,00 \times 10^2$ ppm, en yüksek Co konsantrasyonunun 250,20 ppm, en yüksek Ni konsantrasyonu 820,12 ppm, en yüksek Cu konsantrasyonunun 992,60 ppm ve en yüksek Zn konsantrasyonunun ise, 1824,00 ppm ile T-4 örneğine ait olduğu görülmektedir.

Tablo 5.38'de toprak içerisinde bulunan ağır metaller için olması gereken sınır değerler verilmiştir.

Tablo 5.38. Toprak içerisindeki ağır metal sınır değerleri (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005).

Ağır Metal (Toplam)	pH 5-6 Fırın Kuru Toprak (mg/kg)	pH>6 Fırın Kuru Toprak (mg/kg)
Kurşun	50	300
Kadmiyum	1	3
Krom	100	100
Bakır*	50	140
Nikel*	30	75
Çinko*	150	300
Civa	1	1,5

*pH değeri 7'den büyük ise, çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir.

Tablo 5.39. İlkbahar dönemi toprak örnekleri için ana element konsantrasyonları

Örnek No	Ana element konsantrasyonları (ppm) $\times 10^2$			
	Na	Mg	K	Ca
T-1	6,12	420,90	42,09	2631,09
T-2	270,80	308,90	394,80	418,80
T-3	271,20	812,20	434,90	1533,00
T-4	298,30	820,40	450,80	4200,20
T-5	76,72	194,50	105,20	179,90
T-6	80,45	335,45	125,65	225,30
T-7	83,76	571,20	137,40	3821,00
T-8	114,40	456,80	84,41	1622,00
T-9	121,00	520,35	105,55	1920,00
T-10	18,33	114,40	60,28	2746,08
T-11	76,00	225,50	50,40	2850,00
T-12	110,90	454,40	234,90	2028,00
T-13	100,50	480,00	256,20	2130,00
T-14	39,72	505,10	290,90	1958,00
T-15	48,45	582,00	234,25	2304,75
T-16	55,47	617,50	180,40	1496,00
T-17	53,00	682,40	192,50	1100,50
T-18	113,60	593,90	254,80	2004,00
T-19	100,50	380,60	149,86	1834,45
T-20	99,97	170,20	92,59	2545,88
T-21	64,19	176,30	73,03	2743,00
T-22	21,15	307,50	234,80	1258,00
T-23	40,22	240,40	153,70	257,70
T-24	32,44	331,90	167,90	328,70
Ort.	95,72	429,28	187,81	1839,01

Toprak içerisindeki ağır metallerin hareketliliği toprağın pH, Eh ve çevresel iklim ile ilişkilidir. Yapılmış benzer çalışmalara göre, Van Gölü çevresinden alınan toprak örneklerinin pH değeri ortalama 7,70 olup, toprak örnekleri hafif alkalin reaksiyonludur (Çimrin ve Boysal, 2006). Toprak örnekleri için elde edilen ortalama ağır metal konsantrasyon değerleri, pH değerinin 6'dan büyük olması durumu göz önünde tutularak,

Tablo 5.38'de verilen topraktaki ağır metal miktarlarının kabul edilen standart seviyeleri ile karşılaştırıldığı zaman, elde edilen sonuçların, kabul edilen standartlardan yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 5.39'a göre, ilkbahar dönemi toprak örneklerinde, en yüksek Na, Mg, K ve Ca ana element konsantrasyonları, sırasıyla, $298,30 \times 10^2$ ppm, $820,40 \times 10^2$ ppm, $450,80 \times 10^2$ ppm ve $4200,20 \times 10^2$ ppm ile T-4 örneğine aittir. Bahsi geçen elementlerin toprak içerisinde çok yüksek konsantrasyonlara sahip olduğu görülmektedir. Özellikle Ca, toprak içerisinde en yüksek konsantrasyona sahip elementtir.

Tablo 5.40 incelendiği zaman, sonbahar dönemi toprak örneklerinde en yüksek Cr konsantrasyonunun $648,30$ ppm ile T-6 örneğine, en yüksek Mn konsantrasyonunun $11990,00$ ppm ile T-6 örneğine, en yüksek Fe konsantrasyonunun $3804,00 \times 10^2$ ppm ile T-6 örneğine, en yüksek Co konsantrasyonunun $147,40$ ppm ile T-15 örneğine, en yüksek Ni konsantrasyonu $556,50$ ppm ile T-25 örneğine, en yüksek Cu konsantrasyonunun $207,40$ ppm ile T-8 örneğine ve en yüksek Zn konsantrasyonunun ise, $1265,00$ ppm ile T-6 örneğine ait olduğu görülmektedir.

Toprak örnekleri için elde edilen ortalama ağır metal konsantrasyon değerleri, Tablo 5.38'de verilen topraktaki ağır metal miktarlarının kabul edilen standart seviyeleri ile karşılaştırıldığı zaman, elde edilen sonuçların, kabul edilen standartlardan yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 5.41'de yer alan, sonbahar dönemi toprak örneklerinde, Na, Mg, K ve Ca ana element konsantrasyonları incelendiği zaman, en yüksek konsantrasyonların sırasıyla, $275,80 \times 10^2$ ppm ile T-18, $1226,00 \times 10^2$ ppm ile T-15, $580,00 \times 10^2$ ppm ile T-7 ve $2773,11 \times 10^2$ ppm ile T-18 örneğine ait olduğu görülmektedir. Toprak içerisinde en yüksek konsantrasyona sahip ana element ise, Ca elementidir.

Tablo 5.40. Sonbahar dönemi toprak örnekleri için ağır metal konsantrasyonları

Örnek No	Ağır metal konsantrasyonları (ppm)						
	Cr	Mn	Fe×10 ²	Co	Ni	Cu	Zn
T-1	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-2	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-3	207,00	5735,00	2019,00	45,87	271,30	111,10	687,10
T-4	149,80	4830,00	1335,00	46,73	154,50	70,74	533,50
T-5	143,02	9853,20	3103,10	60,08	510,00	88,13	530,45
T-6	648,30	11990,00	3804,00	119,10	511,40	159,90	1265,00
T-7	520,00	5860,50	1320,40	120,12	150,00	155,60	856,00
T-8	117,70	1798,00	821,00	44,11	71,03	207,40	148,70
T-9	193,10	2176,00	855,40	57,12	197,10	162,10	209,60
T-10	41,03	571,60	159,40	7,51	42,00	65,11	89,63
T-11	183,80	2121,00	1015,00	41,04	219,90	74,74	267,50
T-12	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-13	147,00	1698,00	881,50	36,56	151,40	83,18	323,20
T-14	263,60	1704,00	557,40	37,01	353,10	79,86	191,50
T-15	494,80	6403,00	2992,00	147,40	556,50	195,10	739,10
T-16	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-17	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-18	358,70	1398,00	515,50	35,68	309,80	65,14	109,00
T-19	60,29	822,60	434,30	27,09	74,84	27,00	86,03
T-20	66,34	867,80	332,50	14,91	73,33	33,48	80,15
T-21	58,10	850,00	310,50	22,00	150,45	105,50	216,30
T-22	205,60	2770,00	1061,00	53,54	219,30	114,60	396,20
T-23	178,20	4451,00	1711,00	73,92	204,60	147,40	527,40
T-24	221,50	4551,00	1952,00	80,00	221,90	179,30	578,30
Ort.	224,10	3667,42	1490,67	63,55	239,25	117,80	509,72

ÖA : Örnek alınmadı

Tablo 5.41. Sonbahar dönemi toprak örnekleri için ana element konsantrasyonları

Örnek No	Ana element konsantrasyonları (ppm) $\times 10^2$			
	Na	Mg	K	Ca
T-1	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-2	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-3	103,90	347,90	237,20	684,60
T-4	70,08	206,40	157,90	209,10
T-5	95,00	540,00	430,50	345,00
T-6	182,60	856,20	571,70	478,00
T-7	210,20	882,10	580,00	1250,00
T-8	86,10	379,00	95,77	1593,00
T-9	17,10	474,10	194,60	1737,00
T-10	24,72	125,20	84,38	2533,81
T-11	33,88	446,60	184,70	1131,00
T-12	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-13	33,61	839,10	353,60	601,30
T-14	30,78	482,60	263,40	1906,00
T-15	69,92	1226,00	488,00	801,40
T-16	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-17	ÖA	ÖA	ÖA	ÖA
T-18	275,80	495,20	311,10	2773,11
T-19	14,48	334,70	111,90	2684,43
T-20	14,80	161,60	87,38	2590,58
T-21	14,20	210,50	155,40	2600,50
T-22	23,84	362,90	302,10	1479,00
T-23	37,49	347,70	267,80	647,00
T-24	38,90	371,70	268,70	424,60
Ort.	91,51	473,06	281,86	1106,83

ÖA : Örnek alınamadı

İlkbahar ve sonbahar dönemi toprak örneklerinde bulunan ortalama Fe konsantrasyonları, Bowen (1979) tarafından Fe için verilen dünya topraklarındaki ortalama değer olan 40000 mg/kg'den daha yüksektir (Bowen, 1979). Elde edilen Ca konsantrasyonları, Ca için verilen dünya ortalama değeri olan 15000 mg/kg'ı, Na ve K konsantrasyonları da, dünya topraklarındaki Na (5000 mg/kg) ve K (14000 mg/kg) için verilen sınır değerleri aşmaktadır (Bowen, 1979).

Toprak örnekleri için elde edilen ortalama ağır metal konsantrasyonları karşılaştırıldığı zaman, Cu hariç, sonbahar dönemi analiz sonuçlarının, ilkbahar döneminden daha yüksek olduğu görülmektedir. Örnek alımının gerçekleştirildiği Eylül ayı ortalama sıcaklıkları, ilkbahar dönemi Mayıs ayı sıcaklıklarından daha yüksektir. Dolayısıyla, Eylül ayında gölde meydana gelen buharlaşma daha fazladır. Buharlaşmayla birlikte, sudaki metal konsantrasyon yoğunluğu artmakta olup, metallerin dip çamuruna geçişi de kolaylaşmakta ve böylece dip çamurundaki yoğunlukta artmaktadır. Dip çamurunda metal konsantrasyonunun ilkbahar döneminde düşük olması da, bu dönemde göl suyundaki sirkülasyonun fazla olmasından kaynaklanabilir.

Ayrıca, toprak örnekleri için elde edilen ilkbahar dönemi ortalama ağır metal konsantrasyonları, Ek 1 Tablo 1.3' de verilen benzer çalışmalar için elde edilmiş ortalama ağır metal konsantrasyonlarından (Zn ve Fe hariç) daha yüksektir.

Van Gölü çevresinde bazı alanlar tarım arazisi olarak kullanılmaktadır. Toprak örnekleri alınırken, tarım arazisi olarak kullanılmayan bölgelerden örnekler alınmaya çalışılmıştır. Fakat, bölgeler arasındaki etkileşim göz önüne alınırsa, tarım alanlarında kullanılan kimyasalların (ilaçlama, gübreleme... v.s) diğer alanları etkilemesi olası bir durumdur.

5.6.5. Korelasyon Katsayılar Matrisi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, bilgisayara yüklenerek veri tabanı oluşturuldu ve analizler SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, Version 22) programı kullanılarak yapıldı. Bahar döneminde Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisinde (Ek 2 Tablo 1.1), Fe'in; ⁹⁰Sr (-0,615; p<0,01) ile zıt yönde bir ilişkisi varken, Mn (0,511; p<0,05) ile pozitif yönde orta seviyede güçlü bir ilişkisi vardır. Co'nın; Ta (0,565; p<0,01) ile

anlamli bir iliskisi varken, T β (-0,438, p<0,05) ile zit yonde d \ddot{u} ş \ddot{u} k seviyede bir iliskisi vardir.

Ni'in; Cr ile (0, 465; p<0,05) d \ddot{u} ş \ddot{u} k seviyede bir iliskisi mevcut iken, Mn (0,596; p<0,01) ve Fe (0,570; p<0,01) ile orta seviyede anlamlı bir iliskisi mevcuttur. Benzer şekilde, Cu ile Ni (0,587; p<0,01) arasında da orta seviyede bir iliskisi mevcuttur.

Zn'nun; Mn (0,512; p<0,05) ve Fe (0,461; p<0,05) ile anlamlı bir iliskisi varken, Na'un; Mn (0,604; p<0,01) ile anlamlı aynı yonde bir iliskisi vardir.

Y \ddot{u} zey sularında Mg'un; Mn (0,738; p<0,01) ile g \ddot{u} ç \ddot{u} l \ddot{u} bir iliskisi varken, Na (0,991; p<0,01) ile çok g \ddot{u} ç \ddot{u} l \ddot{u} bir iliskisi vardir. Yine K'un; Mn (0,607; p<0,01) ile orta seviyede bir iliskisi mevcut iken, Na (0,998; p<0,01) ve Mg (0,983; p<0,01) ile çok g \ddot{u} ç \ddot{u} l \ddot{u} bir iliskisi mevcuttur. Na ve K, \ddot{u} zellikle sularda ortak bir şekilde bulunan elementlerdendir.

Ek 2 Tablo 1.1'e g \ddot{u} re, y \ddot{u} zey sularında Ca elementi; Mn (0,691; p<0,01) ile orta seviyede, Fe ile (0,438; p<0,05) d \ddot{u} ş \ddot{u} k seviyede bir iliskiyeye sahip iken; Na (0,968; p<0,01), Mg (0,969; p<0,01) ve K (0,974; p<0,01) ile çok g \ddot{u} ç \ddot{u} l \ddot{u} bir iliskiyeye sahiptir.

Sonbahar d \ddot{u} neninde alınan y \ddot{u} zey su \ddot{u} rn \ddot{u} klerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisinde (Ek 2 Tablo 1.2), ^{129}I ile T α (0,581; p<0,05) arasında pozitif yonde anlamlı bir iliski varken, Cr ile ^{90}Sr (-0,627; p<0,05) arasında negatif bir iliski vardir. Co'nun T α (-0,614; p<0,05) ve Cr (-0,854; p<0,01) ile zit y \ddot{u} nl \ddot{u} g \ddot{u} ç \ddot{u} l \ddot{u} bir iliskisi vardir. Ni elementi incelendiği zaman, Cr (-0,819; p<0,01) ile zit yonde, Co (0,861; p<0,01) ile aynı yonde g \ddot{u} ç \ddot{u} l \ddot{u} bir iliskiyeye sahip olduğu g \ddot{u} r \ddot{u} lmektedir. Zn ise, ^{90}Sr (-0,655; p<0,01), Co (-0,793; p<0,01) ve Ni (-0,866; p<0,01) ile zit y \ddot{u} nl \ddot{u} ; Cr (0,851; p<0,01) ile aynı y \ddot{u} nl \ddot{u} kuvvetli bir iliskiyeye sahiptir. K ve Ca elementlerinin, Mg (0,993; p<0,01) ile aynı ve çok g \ddot{u} ç \ddot{u} l \ddot{u} bir iliskisi olup; Ca'un da (1,000; p<0,01) K ile çok kuvvetli bir iliskisi vardir.

İlkbahar ve sonbahar d \ddot{u} neni y \ddot{u} zey suları i \ddot{c} in elde edilen Pearson korelasyon katsayısı sonu \ddot{c} ları kıyaslandığı zaman, sonbahar d \ddot{u} nenine ait katsayılarının daha y \ddot{u} ks \ddot{u} k olduğu g \ddot{u} r \ddot{u} lmektedir.

İlkbahar d \ddot{u} neninde alınan orta su \ddot{u} rn \ddot{u} kleri i \ddot{c} in Pearson korelasyon katsayılar matrisi Ek 2 Tablo 1.3'te verilmiş olup, en y \ddot{u} ks \ddot{u} k pozitif korelasyon katsayısı Mg ile Na (0,967; p<0,01) arasında iken, en d \ddot{u} ş \ddot{u} k pozitif katsayısı ise, Cu ile ^{129}I (0,433; p<0,05)

arasındadır. En yüksek negatif korelasyon katsayısı, T β ile T α (-0,708; p<0,01) arasında iken, en düşük negatif katsayı ise, Zn ile Mn (-0,458; p<0,05) arasındadır.

Benzer şekilde, ilkbahar dönemi dip su örnekleri için Pearson korelasyon katsayılar matrisi Ek 2 Tablo 1.4'te verilmiştir. Bu tabloya göre, en yüksek pozitif korelasyon katsayısı Cu ile Cr (0,911; p<0,01) arasında iken, en düşük pozitif katsayısı ise, Co ile Cr (0,432; p<0,05) arasındadır. En yüksek negatif korelasyon katsayısı, T β ile T α (-0,701; p<0,01) arasında iken, en düşük negatif katsayı ise, ¹²⁹I ile T β (-0,419; p<0,05) arasındadır.

İlkbahar dönemi su örneklerinde en yüksek korelasyon katsayıları yüzey sularına ait iken, en düşük korelasyon katsayıları ise, dip sularına aittir.

Ek 2 Tablo 1.5'te, Van Gölü'nden ilkbahar döneminde alınan dip çamuru örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisinde ²³²Th ile ²²⁶Ra (0,956; p<0,01) arasında çok güçlü bir ilişki var olup, ⁴⁰K ile ²²⁶Ra (0,833; p<0,01) ve ²³²Th (0,864; p<0,01) arasında güçlü bir ilişki vardır. Yapay radyoçekirdek olan ¹³⁷Cs'nin; ⁴⁰K (0,462; p<0,05) ile arasında pozitif yönlü bir ilişki, ⁹⁰Sr'nin da, ²²⁶Ra (0,577; p<0,01), ²³²Th (0,678; p<0,01) ve ⁴⁰K (0,523; p<0,01) ile arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.

Cr ile ¹³⁷Cs (0,444; p<0,05) arasında ve Mn ile de Cr (0,697; p<0,01) arasında pozitif yönlü bir ilişki vardır. Fe metalinin Cr (0,695; p<0,01) ve Mn (0,674; p<0,01) ile anlamlı orta seviyede bir ilişkisi bulunmaktadır. Ayrıca, Co'nın, Cr, Mn (0,867; p<0,01) ve Fe (0,754; p<0,01) ile kuvvetli bir ilişkisi vardır. Ni metalinin, Cr (0,952; p<0,01) ile arasında çok kuvvetli bir ilişki, Mn (0,699; p<0,01), Fe (0,718; p<0,01) ve Co (0,836; p<0,01) ile arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Zn ile Cu (0,970; p<0,01) arasında çok kuvvetli bir ilişki var iken, Na ile Cu (-0,572; p<0,01) ve Zn (-,588; p<0,01) arasında zıt yönlü bir ilişki vardır. Mg, Cr (0,565; p<0,01) ve Ni (0,631; p<0,01) ile orta, Na (0,715; p<0,01) ile güçlü bir ilişkiye sahiptir. K, Mn (0,613; p<0,01), Fe (0,541; p<0,01) Na (0,417; p<0,05) ve Mg (0,585; p<0,0) ile anlamlı, Cr (0,918; p<0,01) ve Ni (0,900; p<0,01) ile çok güçlü bir ilişkiye sahiptir. Ca elementinin ise, Mn (-0,578; p<0,01), Fe (-0,471; p<0,05) ve Co (-0,427; p<0,05) ile zıt yönlü bir ilişki vardır.

Ek 2 Tablo 1.6'da ve Ek 2 Tablo 1.7'de, sırasıyla, ilkbahar ve sonbahar döneminde Van Gölü'nün kıyısından alınan toprak örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisinde, ilkbahar dönemi için en yüksek pozitif korelasyon katsayısı, Fe ile Mn (0,969; p<0,01) arasında iken, en düşük pozitif korelasyon katsayısı

ise, K ile ^{232}Th (0,425; $p<0,05$) arasında olup, matriste zıt yönlü ilişki görülmemektedir. Sonbahar dönemi için, en yüksek pozitif korelasyon katsayısı Fe ile Mn (0,957; $p<0,01$) arasında iken, en düşük pozitif korelasyon katsayısı ise, Mg ile Cu (0,477; $p<0,05$) arasındadır. En yüksek negatif korelasyon katsayısı, Ca ile Fe (-0,760; $p<0,01$) arasında iken, en düşük negatif katsayı ise, Ca ile Ni (-0,463; $p<0,05$) arasındadır. Elde edilen Pearson korelasyon katsayıları kıyaslandığı zaman, ilkbahar dönemine ait korelasyon katsayılarının daha yüksek oldukları görülmektedir.

Ayrıca elde edilen sonuçlar gösteriyor ki, radyoaktivite ile metal analizi arasında bazı sonuçlar hariç, pek de anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır.



6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, aktif fay hatlarının geçtiği Tatvan, Ahlat, Adilcevaz ve Erciş ilçelerinin bulunduğu Van Gölü batı ve kuzey kıyısında belli mesafelerde ve derinliklerde alınan su, dip çamuru ve toprak örneklerinde, doğal radyoaktif (^{226}Ra (^{238}U), ^{232}Th ve ^{40}K) analizler gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, örneklerinin tamamı için, radon konsantrasyonu ile radon yayılım parametreleri belirlenmiştir. Bu parametrelerin yanında, özellikle komşu ülkelerde enerji üretiminde kullanılmakta olan güç reaktörlerden kaynaklanan herhangi bir radyoaktif bulaşmanın olup olmadığını belirleyebilmek için, örneklerin tamamında ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I radyoizotop analizleri yapılmıştır. Ayrıca, ağır metal kirliliğinin olup olmadığını tespit etmek için, örneklerin tamamında ağır metal (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr ve Co) konsantrasyon analizlerinin yanı sıra, ana element (Mg, Ca, Na ve K) konsantrasyon analizleri de yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, genel olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

İlkbahar dönemi su örneklerinde en yüksek toplam alfa radyoaktivitesi $(1,07\pm 0,21)\times 10^{-1}$ Bq/L ile O.S-21 örneği için elde edilirken, en yüksek toplam beta radyoaktivitesi ise, $(4,00\pm 0,41)\times 10^{-1}$ Bq/L ile O.S-2 örneği için elde edilmiştir.

Alınan su örneklerinde, ilkbahar dönemi O.S-14 ve O.S-21 örnekleri ile sonbahar dönemi Y.S-10 ve Y.S-11 örnekleri hariç, alfa radyoaktivite konsantrasyonu, su için belirlenen sınır değeri 0,1 Bq/L'den düşük olup, beta radyoaktivite konsantrasyonları da, su örneklerinin tamamında, su için belirlenen 1 Bq/L'lik sınır değerinden düşüktür.

İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan yüzey su örnekleri için elde edilen ortalama toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri, sonbahar döneminde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığı zaman, sonbahar döneminde elde edilen ortalamaların daha yüksek olduğu görülmektedir. Van Gölü ve çevresinde yılın en yağışlı mevsimi ilkbahar ve yıllık ortalama yağış miktarının en fazla olduğu ay ise Mayıs'tır. Örneklerin tamamı ilkbahar mevsiminde Mayıs ayında, sonbahar mevsiminde ise, Eylül ayında alınmıştır. Yağışın en fazla olduğu Mayıs ayında göle düşen saf su miktarının artmasıyla birlikte, gölün radyoaktivite konsantrasyonunda bir azalma meydana gelmektedir. Ayrıca, Eylül ayı sıcaklık ortalamaları Mayıs ayı sıcaklık ortalamalarından daha yüksek olduğu için,

sonbahar mevsiminde radyoaktivite konsantrasyonunda bir artışın olması olası bir durum olarak görülebilir.

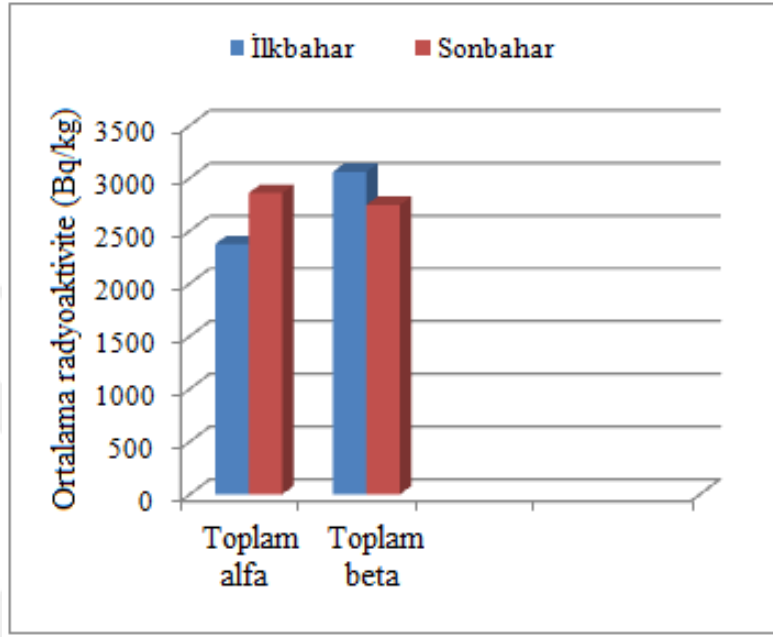
İlkbahar dönemi yüzey, orta ve dip suları için ortalama toplam alfa radyoaktiviteleri karşılaştırılacak olunursa, orta suları en yüksek konsantrasyona sahip iken, yüzey suları ise, en düşük konsantrasyona sahiptir. Benzer şekilde, yüzey, orta ve dip suları için ortalama toplam beta radyoaktiviteleri karşılaştırılacak olunursa, en yüksek konsantrasyonun dip sularına, en düşük konsantrasyonun ise, yüzey sularına ait olduğu görülmektedir.

Dip çamurları için elde edilen sonuçlar, dip suları için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacak olunursa, dip çamurları için elde edilen sonuçların, sular için elde edilenlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Göllerde dip çamurları depo görevi görmektedir. Dip çamuru örneklerinde saptanan ortalama toplam alfa radyoaktivitesinin, ortalama toplam beta radyoaktivitesinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, dip çamurlarında alfa radyoaktivitesini yayan elementlerin hakim olduğunu göstermektedir.

Erentürk vd. (2014), Van Gölü'nden aldıkları dip sediment örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını incelemiştir. Ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını, sırasıyla, 174, 63 ve 292 Bq/kg olarak bulmuşlardır. Elde edilen ortalama ^{238}U konsantrasyonu dünya ortalama konsantrasyonunun üzerindedir (Erentürk, 2014). Zorer ve Şahan (2011), Van Gölü'nden aldıkları 18 adet yüzey su örneğinde ^{238}U konsantrasyonunu incelemiş ve ^{238}U konsantrasyonunu 74,49 $\mu\text{g/L}$ ile 113,2 $\mu\text{g/L}$ aralığında bulmuşlardır. Bu değerler, uranyum için verilen sınır değerlerin üzerindedir (Zorer ve Şahan, 2011). Benzer diğer bir çalışmada ise, Yaman vd. (2011), Van Gölü'nde farklı noktalardan aldıkları su örneklerinde U, V, Mo ve Zr konsantrasyonları araştırmışlardır. Araştırmalar sonucunda, gölde uranyum konsantrasyonunu çok yüksek bulmuşlardır. Araştırmacılar, bu yüksekliği, gölde uranyum mineralinin genç oluşumlarının var olmasına bağlamışlardır (Göldeki uranyum rezervinin, yaklaşık 50000 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir) (Yaman vd., 2011). Yapılmış bu benzer çalışmalar göz önünde tutularak, bu çalışmada dip çamuru örnekleri için elde edilen alfa radyoaktiviteleri incelenecek olunursa, aktivite yüksek olmasında bahsi geçen bu uranyum yataklarının etkisinin olabileceği sonucuna ulaşılmaktadır.

İlkbahar dönemi toprak örneklerinde, hem toplam alfa hem de toplam beta radyoaktivitesi bakımından en yüksek konsantrasyona sahip örnek, T-11 örneğidir. Sonbahar dönemi toprak örneklerinde toplam beta radyoaktivitesi incelendiğinde, T-10 örneğinin en düşük toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülürken, T-4 örneğinin

ise, en yüksek toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, sonbahar dönemi ortalama toplam alfa radyoaktivitesi, ilkbahar döneminden daha yüksek iken; ortalama toplam beta radyoaktivitesi ise, ilkbahar döneminden daha düşüktür (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. İlkbahar ve sonbahar dönemi toprak örneklerinde ortalama toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi

Gama spektroskopik analizlerde, su örnekleri için radyoaktivite konsantrasyon değerleri, elde edilen sayımların kullanılan sistemin ölçüm limitlerinin dışında kalmasından dolayı, belirlenememiştir. Van Gölü'nden alınan yüzey, orta ve dip suları ^{90}Sr ve ^{129}I radyoaktiviteleri bakımından karşılaştırılacak olunursa; yüzey sularının en düşük, dip sularının ise en yüksek konsantrasyonlara sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca yüzey, orta ve dip su örnekleri için hesaplanan ortalama ^{90}Sr konsantrasyonları da, Tablo 5.10'da verilen EPA içme suyu standartının üzerindedir.

Örneklere ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I konsantrasyonları incelenecek olunursa; ^{137}Cs fisyon ürünü olup, doğada kendiliğinden bulunmamakta olup, 1986 yılında meydana gelen Çernobil kazasının sonrasında atmosfere yayılmıştır. ^{90}Sr ve ^{129}I ise, nükleer silah denemeleri ve nükleer güç reaktöründe meydana gelen kazalar sonrasında yayılan yapay radyoçekirdeklerdir. Örneklere ^{137}Cs , ^{90}Sr ve ^{129}I konsantrasyonlarının varlığı, Çernobil nükleer güç reaktörü kazasının etkilerinin hâlâ devam ettiğini göstermektedir. Ayrıca, bu

radioaktif bulaşmanın diğer bir sebebi de, komşu ülkelerde enerji üretiminde kullanılmakta olan güç reaktörleri olabilir.

Dip çamuru örneklerinin ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının arasında $^{226}\text{Ra} < ^{232}\text{Th} < ^{40}\text{K}$ şeklinde bir artış olduğu ve elde edilen ortalama konsantrasyonların dünya ortalama aktivite konsantrasyon değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir.

İlkbahar dönemi toprak örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonu, ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarından yüksektir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları için elde edilen veriler incelendiği zaman ise, en yüksek konsantrasyonların T-11 örneğine ait olduğu görülmektedir. Ayrıca, ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları dünya ortalamalarından yüksektir. Benzer şekilde, sonbahar dönemi toprak örnekleri için elde edilen ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları da, dünya ortalamalarından yüksektir.

İlkbahar dönemi toprak örneklerin tamamında Ra eşdeğer aktivitesi, sınır değer olan 370 Bq/kg'dan düşük olup, en yüksek değer T-11 örneğine, en düşük değer ise, T-1 örneğine aittir. Örneklerde gama doz oranı için ortalama değer, 76,90 nGy/saat olarak hesaplanmış olup, bu değer dünya ortalamasını aşmamaktadır (UNSCEAR, 2000). Örneklerin tamamında, yıllık efektif doz oranı UNSCEAR tarafından yayınlanan 460 $\mu\text{Sv/y}$ 'lık dünya ortalamasından daha düşüktür (UNSCEAR, 2000).

Sonbahar dönemi toprak örneklerinde en yüksek Ra eşdeğer aktivitesi T-11 örneğine, en düşük değer ise, T-8 örneğine aittir. Bu dönemde de, örneklerin tamamında Ra eşdeğer aktivitesi, sınır değer olan 370 Bq/kg'dan düşüktür. Örneklerde ortalama gama doz oranı değeri ise, 77,65 nGy/saat olup, bu değer dünya ortalamasını aşmamaktadır (UNSCEAR, 2000). Yıllık efektif doz oranı değerleri ise, örneklerin tamamında, UNSCEAR tarafından yayınlanan 460 $\mu\text{Sv/y}$ 'lık sınır değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000).

Toprak örneklerinin tamamında, iç ve dış tehlike indeksleri (H_{in} , H_{ex}) için elde edilen sonuçların, güvenlik için verilen sınır değer 1'den küçük olduğu ve ortalama ÖBKR değerlerinin ise, dünya ortalama değeri olan $0,29 \times 10^{-3}$ (UNSCEAR, 2000)'ten büyük olduğu görülmektedir.

İlkbahar ve sonbahar dönemi toprak örnekleri için elde edilen doz hesaplama sonuçları karşılaştırıldığı zaman, sonbahar döneminde elde edilen sonuçların daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, ilkbahar ve sonbahar dönemi doz hesaplama sonuçlarından ÖBKR

değerleri hariç, diğer tüm sonuçların, dünya ortalama değerlerinin altında olduğu görülmektedir.

Toprak örnekleri için elde edilen sonuçlar incelendiği zaman, genel olarak değerlerin T-1 noktası için en düşük, T-11 noktası için en yüksek olduğu görülmektedir.

T-1 noktasında ise jeolojik yapı Bitlis masifidir (paleozayik). Bu noktada ölçülen soğurulmuş gama doz hızı değerinin, diğer noktalara göre daha az çıkması noktadaki toprak yapısından ve diğer noktalara göre karadan kaynaklanan radyasyonun daha az olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca, bu düşüklük, bu noktanın diğer noktalara göre yerleşim yerlerine daha uzak olmasına bağlı ölçülen elektromanyetik dalga etkilerinin az olmasından ve elektromanyetik yansımaların yoğun olmamasından kaynaklanıyor olabilir. Tablo 5.17'de yer alan ilkbahar ve sonbahar dönemine ait gama doz hızı değerleri incelendiği zaman, ilkbahar döneminde ölçülen değerlerin sonbahar dönemindekilerden daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, ilkbahar döneminde gökyüzünün açık olması, dolayısıyla, yeryüzüne ulaşan kozmik ışınların daha yoğun olması ve ışınların yeryüzüne dik ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Sonbahar döneminde ise, hava genellikle kapalı olduğu için, yeryüzüne ulaşan kozmik ışın yoğunluğu daha düşüktür.

T-11 noktasının bulunduğu bölgeden Süphan fay hattı geçmekte olup, bu bölge yoğun volkanik çökeller ve geç miyosen kuvaterner ihtiva eder.

Dip çamuru örnekleri için R_{aeq} , $D_{hesaplanan}$, YEDO, H_{in} , H_{ex} , ÖBKR değerlerinin UNSCEAR (2000) raporunda belirtilen dünya ortalama değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Derinlik gözetmeksizin, ilkbahar ve sonbahar dönemi su örnekleri için en yüksek C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri 11 nolu istasyona aittir. İlkbahar dönemi yüzey, orta ve dip suları için C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} ortalamaları karşılaştırılacak olunursa, dip sularının en yüksek ortalamalara, yüzey sularının ise, en düşük ortalamalara sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, derinlik arttıkça radon doz değerleri de artmaktadır.

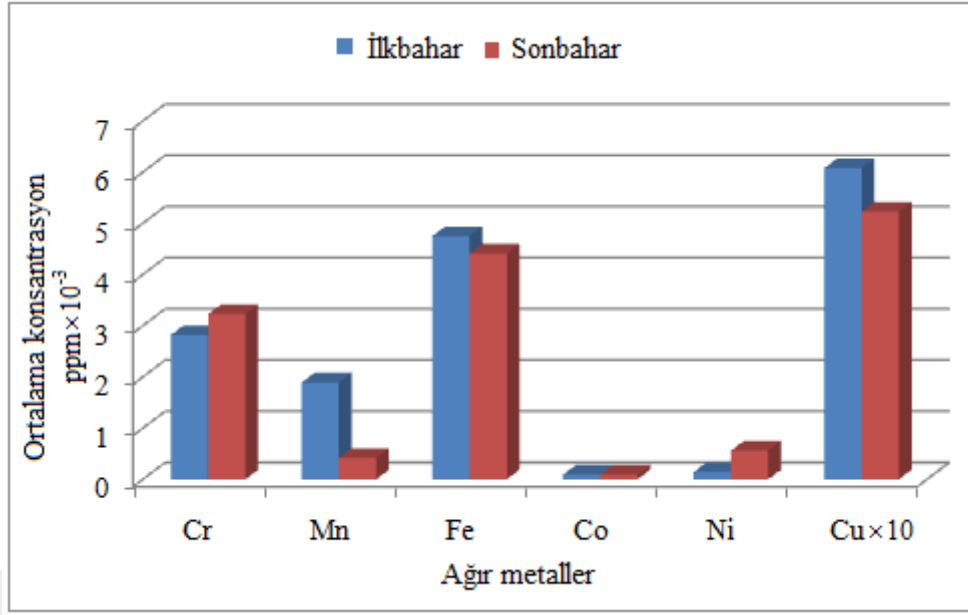
Sonbahar dönemi su örneklerine ait C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri, ilkbahar dönemine ait olanlardan daha yüksektir. Birleşik Devletler Çevresel Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency, USEPA) içme sularında güvenlik limiti olarak radon aktivite seviyesinin maksimum değerini $11,1 \times 10^3$ Bq/m³ olarak tavsiye etmektedir (USEPA, 2014). Su örnekleri için elde edilen sonuçların, $11,1 \times 10^3$ Bq/m³ değerinin altında olduğu görülmektedir. Bu durum, ilkbahar döneminde yağışların ve göle başka su kaynaklarından olan akışların fazla olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Dip çamuru örneklerinde en yüksek C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri 11 nolu dip çamuru örneğine ait iken, en düşük C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri 4 nolu dip çamuru örneğine aittir. Dip çamuru örnekleri için elde edilen C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri, su örnekleri için elde edilen değerlerden yüksektir.

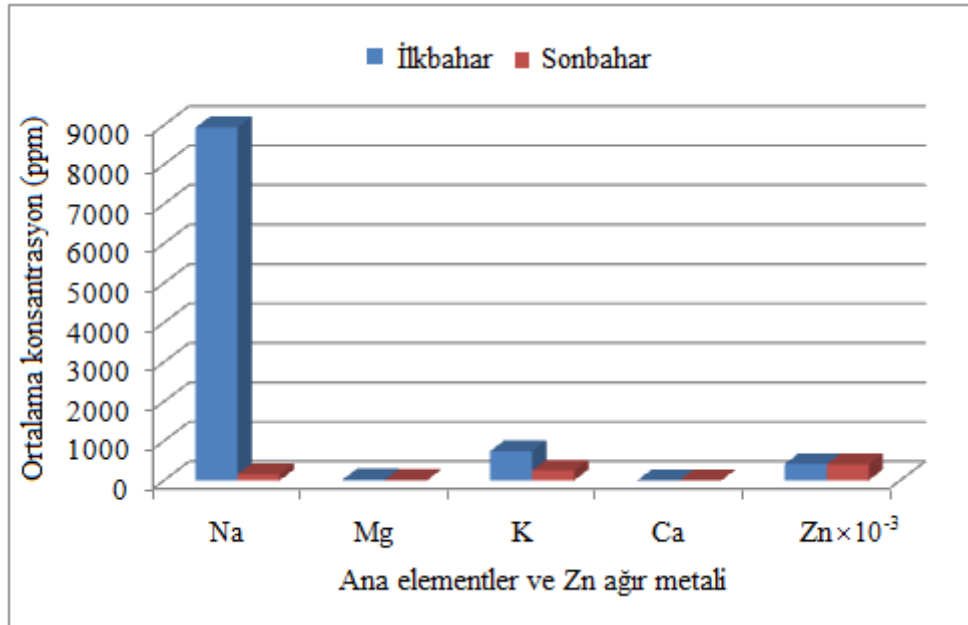
İlkbahar ve sonbahar dönemi toprak örneklerinde en yüksek C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri 11 nolu istasyona aittir. Ayrıca, ilkbahar dönemindeki ortalama C_{Rn} , E_s , E_m ve EC_{Ra} değerleri, sonbahar dönemindeki ortalama değerlerden daha yüksektir. Daha önceden toprak örnekleri için de belirtildiği üzere, 11 nolu istasyonun bulunduğu bölgeden Süphan fay hattı geçmektedir. Bununla ilgili yapılmış çalışmalar da gösteriyor ki, fay hattı üzerinde yapılan radon ölçümleri, diğer bölgelere oranla daha yüksek çıkmaktadır (Şahin, 2009; Durani ve Ilic, 1997; Papastefanou vd., 2001).

Toprak örneklerinde T-11 istasyonu hem radon konsantrasyonu hem de ^{226}Ra (^{238}U) konsantrasyonu bakımından en yoğun noktadır. Bu durum, bize radon konsantrasyonlarının yüksek olduğu bölgelerde, olası uranyum madeni rezervinin bulunduğu ipuçlarını vermektedir (Kumbur vd., 1997).

Su örneklerinde metal konsantrasyonları genel olarak incelendiği zaman, en yüksek ağır metal konsantrasyonunun yüzey sularında $418,89 \times 10^{-3}$ ppm ile Zn elementine ait olduğu, en yüksek ana element konsantrasyonunun ise, yüzey sularında $61,09 \times 10^3$ ppm ile Na elementine ait olduğu görülmektedir. Su örnekleri için elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının, Zn hariç, ulusal ve uluslararası standartlara göre suda kabul edilebilir konsantrasyonları geçmediği görülmektedir. Su örnekleri için elde edilen ana element konsantrasyonları incelendiği zaman ise, Mg ve Ca için elde edilen konsantrasyonlar hariç, sonuçların, TSE-266, WHO ve EC-1998 (TSE-226, 1997; WHO, 2003; EC,1998)'in su için belirlediği üst sınır değerlerini aştığı görülmektedir.



Şekil 6.2. Van Gölü yüzey su örneklerinde ağır metal konsantrasyon ortalamalarının mevsimsel değişimi (ppm)



Şekil 6.3. Van Gölü yüzey su örneklerinde ana element konsantrasyon ortalamalarının mevsimsel değişimi (ppm)

Tablo 6.1. Su örneklerinde ağır ve ana element konsantrasyon ortalamaları (ppm)

Element	Yüzey su		Orta su	Dip su
	İlkbahar	Sonbahar		
Cr	$2,82 \times 10^{-3}$	$3,23 \times 10^{-3}$	$1,41 \times 10^{-3}$	$1,61 \times 10^{-3}$
Mn	$1,89 \times 10^{-3}$	$0,42 \times 10^{-3}$	$2,31 \times 10^{-3}$	$1,17 \times 10^{-3}$
Fe	$4,75 \times 10^{-3}$	$4,41 \times 10^{-3}$	$8,96 \times 10^{-3}$	$5,84 \times 10^{-3}$
Co	$0,09 \times 10^{-3}$	$0,09 \times 10^{-3}$	$0,12 \times 10^{-3}$	$0,10 \times 10^{-3}$
Ni	$0,14 \times 10^{-3}$	$0,56 \times 10^{-3}$	$0,13 \times 10^{-3}$	$0,20 \times 10^{-3}$
Cu	$60,77 \times 10^{-3}$	$52,26 \times 10^{-3}$	$22,64 \times 10^{-3}$	$25,95 \times 10^{-3}$
Zn	$411,41 \times 10^{-3}$	$407,7 \times 10^{-3}$	$317,50 \times 10^{-3}$	$285,39 \times 10^{-3}$
Na	$8,94 \times 10^3$	$15,43 \times 10$	$1,7 \times 10^3$	$1,58 \times 10^3$
Mg	23,35	9,31	3,23	3,07
K	$0,74 \times 10^3$	$2,48 \times 10^2$	$0,35 \times 10^3$	$0,21 \times 10^3$
Ca	1,66	0,91	0,41	0,25

Tablo 6.1, Şekil 6.2'de ve Şekil 6.3'te yer alan, ilkbahar ve sonbahar dönemi yüzey su örnekleri için elde edilen ağır ve ana element konsantrasyon ortalamaları karşılaştırıldığı zaman, genel olarak ilkbahar döneminde hesaplanan ortalama konsantrasyonların sonbahar dönemindekilerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, ilkbahar döneminde yağışların daha fazla olması ile göle başka su kaynaklarından olan akışların artmasından kaynaklanıyor olabilir.

Gölde ağır metal yoğunlaşmalarının en önemli kaynakları, Van Gölü'nde yer alan kayaların genel jeolojik yapısı ve göle dökülen akarsulardır. Bu akarsular; Bendimahi Çayı (kuzeydoğudan göle dökülüyor), Zilan (İncesu) Çayı (kuzeyden göle dökülüyor, S-24 istasyonu), Deliçay (kuzeyden göle dökülüyor), Karasu Çayı (doğudan göle dökülüyor), Hoşap, Güzelsu Çayı (güneyden göle dökülüyor), Gevaş suyu (güneyden göle dökülüyor), Güzeldere (Küçüksu, göle güneybatıdan döküyor, S-3 istasyonu), Yeniköprü Çayı (batıdan göle dökülüyor, S-7 istasyonu) ve Adilcevaş Deresi (batıdan göle dökülüyor, S-10 istasyonu) şeklindedir. Tatvan, Ahlat ve Adilcevaş ilçelerinde bulunan atıksu arıtma tesislerinin tam kapasiteyle çalışmaması sonucunda atıkların göle boşaltılması da, gölde ağır metal yoğunlaşmalarının diğer bir kaynağı olabilir.

Tablo 6.2. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre ağır metallerin kalite kriterlerine göre sınır değerleri (SKKY, 2004).

Ağır metal Parametreleri (mg /L)×10⁻³	1. Yüksek Kaliteli Su	2. Az Kirlenmiş Su	3. Kirli Su	4. Çok Kirli Su
Kobalt (Co)	10	20	200	>200
Bakır (Cu)	20	50	200	>200
Krom (Cr)	20	50	200	>200
Çinko (Zn)	200	500	2000	> 2000
Nikel (Ni)	20	50	200	> 200
Mangan (Mn)	100	500	3000	>3000
Demir (Fe)	300	1000	5000	>5000

Tablo 6.2'ye ve SKKY'ne göre, sularda ölçülen ağır metal konsantrasyonları I. ve II. sınıf su kalite standart değerlerinden düşükse kirlenmemiş; II. sınıf su standart değerlerinden yüksek ise, kirlenmiş su olarak belirtilmektedir. Buna göre, ilkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan yüzey su örnekleri su kalitesi sınıflandırmasına göre, Cr, Mn, Fe, Co, Ni ve Zn açısından kirlenmemiş, Cu açısından ise, kirlenmiş su sınıfına girmektedir. Orta ve dip su örnekleri de bu açıdan incelenecek olunursa, sular Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu ve Zn açısından kirlenmemiş su sınıfına girmektedir.

Tablo 5.33 ve Tablo 6.2 dikkate alınarak sonbahar döneminde Van Gölü'nden alınan yüzey su örnekleri su kalitesi sınıflandırmasına göre incelenecek olunursa, Cr, Mn, Fe, Co, Ni ve Zn açısından kirlenmemiş, Cu açısından ise, kirlenmiş su sınıfına girmektedir.

Su örneklerinin tamamında Zn konsantrasyonu, diğer metal konsantrasyonlarından yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, volkanik hareketler ve göl çevresindeki gübreleme işlemleri olabilir (Swaine, 2000).

Sularda en yüksek ana element konsantrasyonu Na elementine aittir. Bunun sebebi, evsel atık suların göle boşaltılması ve gölün etrafındaki kayalar ve topraklardan aşınmayla göle Na tuzlarının karışması olabilir. Cr ve Mn gibi elementler, doğal ortamdan gelmektedir. Ni elementinin ise, göl üzerinde çalışan balıkçı tekneleri ve gezi teknelerinin dizel motor yakıtı ile yağ atıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

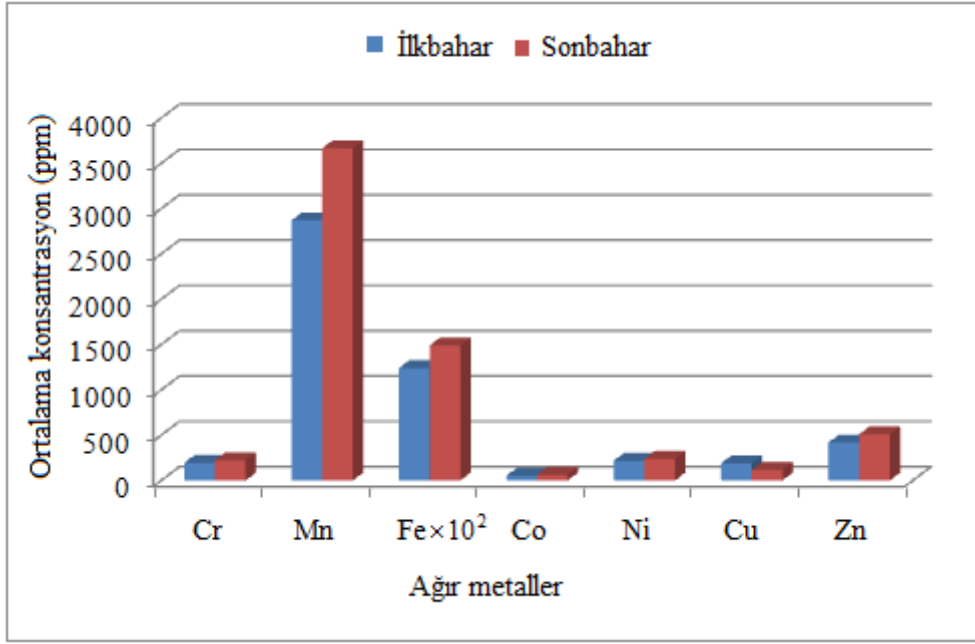
Van Gölü dip çamuru örneklerinde en yüksek ortalama metal konsantrasyonu, Fe elementine aittir. Ayrıca, dip çamuru örnekleri için elde edilen sonuçlar, su örnekleri için

elde edilen sonuçlardan daha yüksektir. Bu durum, göllerde dip çamurlarının depo görevi görmesinden kaynaklanıyor olabilir. Usero vd. (2003), Fe'in göl, nehir ve denizlerin sedimentinde bol miktarda bulunmasının sebebini, yerküre kabuğunda en fazla bulunan metalin Fe olmasıyla açıklamışlardır. Dip çamuru örneklerinde ana element konsantrasyonları incelendiği zaman, ortalama konsantrasyonların en yüksek değerinin, $1732,24 \times 10^2$ ppm ile Ca elementine ait olduğu görülmektedir. Van Gölü dip çamuru örnekleri, siyah renkli organik kilden oluşmakta olup, göl suyu bikarbonat ve karbonat iyonları açısından denizlerden 42 kat daha zengindir (Öztürk, 2002).

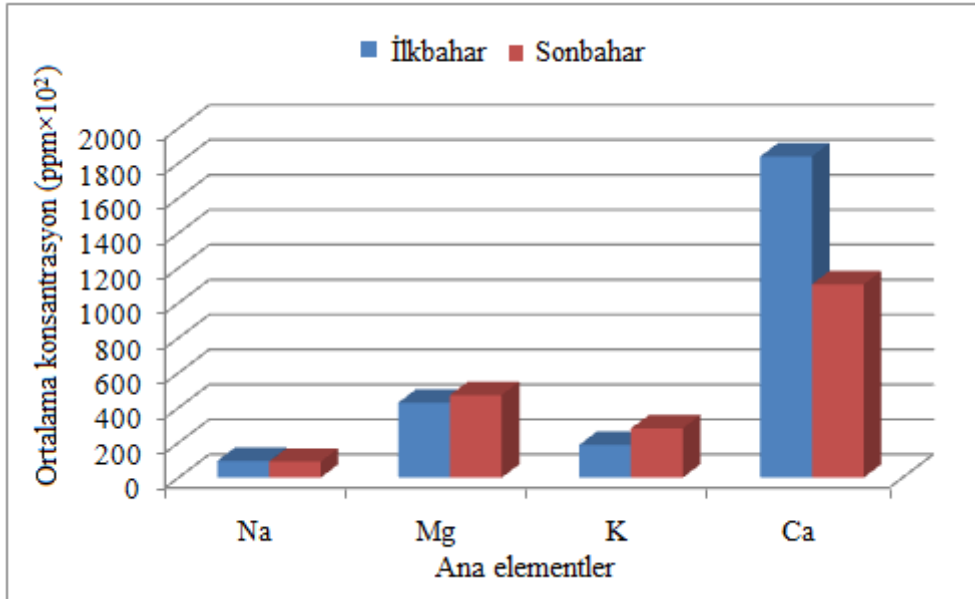
Tablo 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'e göre, toprakta en yüksek ağır metal konsantrasyonu Fe elementine ait iken, en yüksek ana element konsantrasyonu ise, Ca elementine aittir. Toprak içerisindeki Fe yoğunluğunun herhangi bir limit değeri yoktur, çünkü bu ağır metal toprakta bol miktarda bulunmaktadır. İlkbahar döneminde ağır ve ana element konsantrasyonları açısından en yoğun istasyon T-4 istasyonudur. Bu istasyon, Tatvan ilçesinde yer almakta olup, burası yerleşimin yoğun olduğu bir bölgedir. Sonbahar döneminde ağır ve ana element konsantrasyonları açısından en yoğun istasyon ise, T-6 istasyonudur. Bu istasyon, Tatvan Adabağ Köyü'nde bulunmakta olup, bölgede pomza maden ocağı bulunmaktadır. Ayrıca, bu bölgede tarımsal faaliyetler de oldukça yükündür.

Tablo 6.3. Toprak ve dip çamuru örneklerinde ağır ve ana element konsantrasyon ortalamaları (ppm)

Element	Toprak		Dip çamuru
	İlkbahar	Sonbahar	İlkbahar
Cr	194,42	224,10	101,19
Mn	2870,84	3667,42	1378,76
Fe	$1240,16 \times 10^2$	$1490,67 \times 10^2$	$33,63 \times 10^2$
Co	52,55	63,55	104,45
Ni	218,27	239,25	415,11
Cu	189,49	117,80	343,06
Zn	418,75	509,72	496,90
Na	$95,72 \times 10^2$	$91,51 \times 10^2$	$502,49 \times 10^2$
Mg	$429,28 \times 10^2$	$473,06 \times 10^2$	$438,76 \times 10^2$
K	$187,81 \times 10^2$	$281,86 \times 10^2$	$224,84 \times 10^2$
Ca	$1839,01 \times 10^2$	$1106,83 \times 10^2$	$1732,24 \times 10^2$



Şekil 6.4. Van Gölü'nün kıyısından alınan toprak örneklerinde ağır metal konsantrasyon ortalamalarının mevsimsel değişimi (ppm)



Şekil 6.5. Van Gölü'nün kıyısından alınan toprak örneklerinde ana element konsantrasyon ortalamalarının mevsimsel değişimi (ppm)

Bölge madencilik faaliyetleri bakımından yoğun olup, bölgede çok sayıda perlit, pomza, kum-çakıl ve Ahlat taş ocağı [Tatvan Yelkenli'de barit ve kireç ocağı (T-2), Tatvan'da pomza (T-3, T-4, T-5, T-6), Tatvan Sarıkum'da kum ocağı (T-5), Adilcevaz'da çimento (T-10, T-11), Adilcevaz Göldüzü'nde kireçtaşı (T-18), Adilcevaz'da pomza (T-19) ve Ahlat'ta

pomza (T-8) işletmeleri] bulunmaktadır. Özellikle perlit, Ahlat taşı ve pomza radyoaktivite açısından yüksek konsantrasyonlara sahip olup (Kayakökü vd., 2016), madencilik faaliyetleri sonucunda, gerek toprak, gerekse göl sularının kalitesi olumsuz yönde etkilenmekte ve gölün tabanındaki sedimantasyon hızının artmasına sebep olmaktadır.

Bitlis ili ve ilçelerinde bulunan kayalarda, asidik karakterli magma çıkışları granit, granitik gnayslar, andezitler, dasitler ile bazik karakterli bazaltik lavlar ve kireçtaşları bulunmaktadır. Bu kayalar, Fe, Ca, Mg ve Na yönünden oldukça zengindir. Bu çalışmada incelenen toprak örneklerinde bahsi geçen elementlerin yüksek konsantrasyonlara sahip olması da bu sebeptendir (Gür vd., 2012).



7. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Van Gölü batı ve kuzey kıyılarında radyoaktivite, radon ve metal analizleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Benzer şekilde, gölün doğu ve güney kıyıları da ayrıntılı bir şekilde incelenebilir.

Van Gölü kıyısında 11. nolu istasyonun bulunduğu bölgeden Süphan fay hattı geçmekte olup, bu fay hattının geçtiği bölgedeki toprak ve suların radon içeriğinin etkilenmesi beklenen bir durumdur. Bu ilişkinin daha net bir şekilde ortaya çıkarılabilmesi için, fay hattı üzerinde sürekli radon ölçümleri yapılabilir.

Van Gölü su örneklerinde, Cu elementi dışında ciddi bir kirlilik durumu mevcut değildir. Bu durumda, göldeki Cu kirliliğinin sebepleri araştırılmalı ve kirliliği engellemek için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Gölün tamamı için kirlilik tespiti çalışmaları, belirli aralıklarla tekrarlanmalıdır. Ayrıca, göle boşaltılan atıklar, gerekli arıtma işlemleri yapıldıktan sonra göle boşaltılmalıdır. Özellikle, ağır metal içeren atıkların göle atılmaması için, halkın bilinçlendirilmesi gibi önlemler alınmalıdır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bölge üzerinde ileride yapılacak olan çalışmalar için bir kaynak oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- Agbalagba, E.O., and Onoja, R.A.,** 2011. Evaluation of natural radioactivity in soil, sediment and water samples of Niger Delta (Biseni) flood plain lakes, Nigeria, *J. Environ. Radioact.*, **102**, 667-671.
- Asgharizadeh, F., Salimi, B., Maragheh, M.G., Mahani, M.K. and Aliabadi, M.,** 2009. Determination of ⁹⁰Sr concentration in soil and sediment samples from southern shores of Iran using a Sr Resin and LSC Method. Nuclear Fuel Cycle Research School, *Nuclear Science and Technology Research Institute*, AEOI, Tehran, Iran.
- Akyıl, S., Aytas, Ş., Yuşan, S., Türközü, D.A., Aslani, M.AA., Işık, MA., Ölgen, M.K., Ayçan, H.A, Tolluoğlu, Ü. ve Eral, M.,** 2009. Van Gölü'nün radyolojik ve hidrojeokimyasal risk açısından değerlendirilmesi, *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, 6-9 Ekim, 353-366.
- Al-Masri, M.S. and Blackburn, R.,** 1999. Radon-222 and related activities in surface waters of the English Lake District, *Appl. Radiat. Isotopes*, **50**, 1137-1143.
- An, Y.J. and Kampbell, D.H.,** 2003. Total dissolved and bio available metals at Lake Texoma Marinos, *Environ. Pollut.*, **122**, 253-259.
- Anthemidis, A., Zachariadis, G., Voutsas, D., Kouras, A. and Samara, C.,** 2002. Variation of heavy metals and other toxic element concentrations in surface water of Macedonia, in: *Proceedings of 1st. Environmental Conference of Macedonia, Thessaloniki*, Greece, 104-109.
- Bal, S.Ş., Doğru, M.,** 2013. Su ve toprak örneklerinde radon gazı yayılımının mevsimsel değişiminin incelenmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, **2(2)**, 192-196.
- Baltas, H., Sirin, M., Dalgic, G. and Cevik, U.,** 2018. An overview of the ecological half-life of the ¹³⁷Cs radioisotope and a determination of *radioactivity* levels in sediment samples after Chernobyl in the Eastern Black Sea, *Turkey, J. Marine Syst.*, **177**, 21-27.
- Barka, A.A. and Kandisky-Cade, K.,** 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, **7**, 663-684.
- Baykara, O. and Doğru, M.,** 2006. Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems (Turkey), *Radiat. Meas.*, **41**, 362-367.
- Baykara, O., İnceöz, M., Külahcı, F., Doğru, M. and Aksoy, E.,** 2008. Assessment of ²²²Rn concentration and terrestrial gamma radiation dose rates in the seismically active area, *J. Rad. Nucl. Chem.*, **278(1)**, 59-63.

- Baykara, O., İnceöz, M., Doğru, M., Aksoy, E. and Külahcı, F., 2009.** Soil radon monitoring and anomalies in East Anatolian Fault System (Turkey), *J. Rad. Nucl. Chem.*, **279**, 159–164.
- Bodur, M.N., Kop, A., Darbaş, G., Ezer, M., İnan, S. ve Ergintav, S., 2009.** Doğu Anadolu Fayı'nın güney kesiminde jeokimyasal parametreler ile depremler arasındaki ilişkinin araştırılması, *ATAG 13–Aktif Tektonik Araştırma Grubu 13. Çalıştayı*, Çanakkale, 08-11 Ekim.
- Buraglio, N., Aldahan, A. and Possnert, G., 2001.** ^{129}I in lakes of the Chernobyl fallout region and its environmental implications, *Appl. Radiat. Isotopes*, **55**, 715–720.
- Beretka, J. and Mathew, P.J., 1985.** Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products, *Health Phys.*, 48–87.
- Bing, H., Wu, Y., Nahm, W.H. and Liu, E., 2013.** Accumulation of heavy metals in the lacustrine sediment of Longgan Lake, middle reaches of Yangtze River, China, *Environ. Earth Sci.*, **69**, 2679–2689.
- Bohus-Saja, L., Gomez, J., Capote, T., Greaves, E.D., Herrera, O., Salazar, V. and Smith, A.J., 1997.** *Environ. Radioact.*, **35**, 305-312.
- Bowen, H.J.M., 1979.** Elements in lithosphere and biosphere, *Environmental Chemistry of the Element*, Academic Press, Beijing, 174-208.
- Canbazoğlu, C., 1998.** Elazığ ve çevresindeki içme ve kullanım sularında radyoaktivite seviyelerinin tayini, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ciminli, C.S., 2005.** Gölbaşı Gölü'nde su ve bazı organizmalarda ağır metal birikimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Hatay.
- Cochran, J.K., 1992.** The oceanic chemistry of the uranium and thorium series nuclides. In Uranium-series disequilibrium; Applications to earth, marine, and environmental sciences (ed. M. Ivanovich and R.S. Harmon), 334-395.
- Cohen, B.L., 1980.** Health effects of radon from insulation of buildings, *Health Phys.*, **39**, 937-941.
- Çam, H., 2011.** Kahramanmaraş Sır Baraj Göletinde doğal radyoaktivitenin belirlenmesi ve elemental analiz, *Doktora Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Çetin, E., Güher, H. and Gaygusuz, Ç.G., 2016.** The investigation of heavy metal accumulation of some fishes in Altınyazı Dam Lake (Edirne-Turkey), *Turkish J. Aqua Sci.*, **31 (1)**, 1-14.

- Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2005. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete (25831).
- Çimrin, M.K. ve Boysan, S.** 2006. Van yöresi tarım topraklarının besin elementi durumları ve bunların bazı toprak özellikleri ile ilişkileri, *Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, **16(2)**, 105-111.
- Dar, M.A. and El Saharty, A.A.**, 2013. Activity levels of some radionuclides in Mariout and Brullus lakes, Egypt. *Radiat. Prot. Dosim.*, **157(1)**, 85–94.
- Deveci, T.**, 2012. Gaziantep’te atık sulardan etkilenen toprak ve bitkilerde eser element (Cu, Co, Mn ve Zn) ve Fe konsantrasyonlarının ICP-MS ile tayini, *Yüksek Lisans Tezi*, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis.
- Dökmeci, A.H, Çelik, S.Ö., Kaykıoğlu, G. ve Öngen, A.**, 2017. Tekirdağ’da Çorlu ilinde endüstriyel alanlardaki toprakta ağır metal kirliliğinin çevresel ve insan sağlığı açısından etkileri, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, **19(2)**, 256-263.
- Durrani, S.A. and İliç, R.**, 1997. Radon measurements by etched track detectors. Applications in Radiation Protection, Earth Sciences, and The Environment. *World Scientific Publ. Co., Ltd.*, London, 416.
- EC**, 1998. Council Directive 98/83/. EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. L 330/32.
- Eisenbud, M. and Gesell, T.**, 1997. Environmental Radioactivity: From Natural, Industrial and Military Sources (fourth ed.), Academic Press, San Diego, California.
- El-Sayed, S.A., Moussa, E.M.M. and El-Sabagh, M.E.I.**, 2015. Evaluation of heavy metal content in Qaroun Lake, El-Fayoum, Egypt. Part I: Bottom sediment, *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, **8(3)**, 276-285.
- EPA**, 1994. Suggested Guidelines for Disposal of Drinking Water Treatment Wastes Containing Radioactivity, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Ground Water and Drinking Water, Washington, D.C. June.
- EPA**, 2002. Risk Assessment: Technical background information. RBG Table. <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk>, 13 Eylül 2015.
- EPA**, 2013. <http://www.epa.gov/drinking>, 12 Ocak 2014.
- Erdik, E.**, 1993. Temel Üniversite Kimyası, Gazi Büro Kitabevi, Ankara.
- Erenturk, S., Yusan, S., Turkozu, D.A., Camtakan, Z., Olgen, M.K., Aslani, M.A.A., Aytas, S. and Isik, 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, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **300**, 919–931.

- Ergül, H.A., Topcuoğlu, S., Ölmez, E., and Kırbaşoğlu Ç.,** 2006. Radionuclides in a sediment trap and bottom sediment samples from the eastern Turkish coast of the Black Sea, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **268** (1), 133–136.
- Eroglu, H. and Kabadayi, O.,** 2013. Natural radioactivity levels in lake sediment samples, *Radiat. Prot. Dosim.*, **156**, 331-335
- Evans, R.D.,** 1968. Engineers guide to the elementary behavior of radon daughters, *Health Phys.*, 38:1173-1197.
- Görür, N., Çağatay, M.N., Zabcı, C., Sakınç, M., Akkök, R., Şile, H. ve Örcen, S.,** 2015. Van Gölü'nün geç kuvaterner tektono-stratigrafik evrimi, *A Dergisi*, **151**, 1-47.
- Gulan, L., Milenkovic, B., Zeremski, T., Milic, G. and Vuckovic, B.,** 2017. Persistent organic pollutants, heavy metals and radioactivity in the urban soil of Priština City, Kosovo and Metohija, *Chemosphere*, **171**, 415-426.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z.,** 1997. Radon Kirliliği. T. C. Sağlık Bakanlığı, Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:44, Ankara.
- Gür, H., Yıldırım Sönmez, F. ve Ay, M.,** 2012. T.C. Bitlis Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, *Bitlis İli Çevre Durum Raporu*, Bitlis, 227.
- Henriksen, T. and Maillie, H.D.,** 2003. Radiation and Health, Taylor and Francis. 226. London and New York.
- Herranz, M., Elejalde, C., Legarda, F. and Romero, F.,** 2001. ⁹⁰Sr content of soils from Biscay (Spain). *Appl. Radiat. Isotopes*, **55**, 521–525.
- Holm, E., Samuelson, C. and Peterson, R.B.R.,** 1981. Natural radioactivity around a prospected uranium mining site in a subarctic environment, in *Natural Radiation Environment*, K.G. Vohra et al., eda., Wiley Eastern, New Delhi.
- İnan, S., Ergintay, S., Saatçılar, R., Tüzel, B., İravul, Y., Çakmak, R., Özel, N., Tatar, O., Gürsoy, H., Çetin H., İmamoğlu, M.Ş., Kavak, O. vd.,** 2005. Türkiye'nin deprem riski yüksek jeo-stratejik-ancak tektonik rejimleri farklı-bölgelerinde deprem davranışının çok disiplinli yaklaşımlarla araştırılması" TÜRDEP-5057001 projesi, 2005-2010.
- İnceöz, M., Baykara, O., Aksoy, E. and Dogru, M.,** 2006. Measurements of soil gas radon in active fault systems: A case study along the North and East Anatolian fault systems in Turkey, *Radiat. Meas.*, **41**, 349-353.
- IAEA,** 1996. Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725.
- IAEA,** 2000. Reference sheet–reference material IAEA-375(https://nucleus.iaea.org/rpst/Documents/rs_iaea-375.pdf), 24 Ocak 2018.

- IAEA**, 2003. Issues and Trend in Radioactive Waste Manegement, Proceedings of an International Conference, 1175, Austria.
- Ibrahiem, N.M., Shawky, S. and Amer, H.A.**, 1995. Radioactivity levels in Lake Nasser sediments, *Appl. Radiat. Isotopes*, **46**, 297-299.
- ICRP**, 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, **21**, (60), 1–3.
- Isinkaye, M.O. and Emelue, H.U.**, 2015. Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria, *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, **8**, 459-469.
- Jabbar, T., Subhani, M.S., Khan, K., Rashid, A., Orfi, S.D. and Khan, A.Y.**, 2003. Natural and fallout radionuclide concentrations in the environment of Islamabad, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **258**, 143-9.
- Jaber, M.Q., Subber, A.R.H. and Al-Hashimi, N.H.N.**, 2015. Radon concentrations in the marine sediments of Khor-Abdulla northern west of the Arabian Gulf, *Int. J. Phys.*, **3(6)**, 239-243.
- Jiang, Y., Chao, S., Liu, J., Yang, Y., Chen, Y., Zhang, A. and Cao, H.**, 2017. Source apportionment and health risk assessment of heavy metals in soil for a township in Jiangsu Province, China, *Chemosphere*, **168**, 1658-1668.
- Jönsson, G., Baixeras, C., Devantier, R., Enge, W., Font, L.L., Freyer, K., Ghose, R. and Treutler, H.C.**, 1999. Soil radon levels measurements with SSNTD's and the soil radium content, *Radiat. Meas.*, **31**, 291-294.
- Kaptan, H. ve Özkan, S.T.**, 2014. Eğirdir Gölü'nün (Isparta) suyunda, sedimentinde ve gölde yaşayan Sazan'ın (*cyprinus carpio* L., 1758) bazı doku ve organlarındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi, *SDU Journal of Science (E-Journal)*, **9(2)**, 44-60.
- Karadede, H. and Ünlü, E.**, 2000. Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey, *Chemosphere*, **41**, 1371-1376.
- Karadeniz, Ö. and Yaprak, G.**, 2008. Vertical distributions and gamma dose rates of ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U and ^{137}Cs in the selected forest soils in İzmir, Turkey, *Radiat. Prot. Dosim.*, **131(3)**, 346-355.
- Karahan, G., Öztürk, N. ve Bayülken, A.**, 2000. Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey, *Water Res.*, **34**, 4367-4370.
- Karaman, S.**, 2013. Radyoaktif serpentinin Noktasal Toplam Yarıvarioogram Metodu ile modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- Kathren, R.L.**, 1984. Radioactivity in the Environment: Sources, Distribution, and Surveillance. Harwood Academic Publishers, New York
- Kayakökü, H., Karatepe, Ş. and Doğru, M.**, 2016. Measurements of radioactivity and dose assessments in some building materials in Bitlis, Turkey, *Appl. Radiat. Isotopes*, **115**, 172–179.
- Kayakökü, H. and Doğru, M.**, 2017. Radioactivity analysis of soil samples taken from the western and northern shores of Lake Van, Turkey, *Appl. Radiat. Isotopes*, **128**, 231–236.
- Kelepertzis, E.**, 2014. Accumulation of heavy metals in agricultural soils of Mediterranean: Insights from Argolida basin, Peloponnese, Greece, *Geoderma*, 221–222, 82–90.
- Kır, İ., Özan, S.T. and Tuncay, Y.**, 2007. The seasonal variations of some heavy metals in Kovada Lake's water and sediment, *E.U. Journal of Fisheries&Aquatic Sciences*, **24 (1-2)**, 155-158.
- King, C.Y.**, 1978a, Radon emanation on San Andreas Fault, *Nature*, **271**, 516-519.
- Kor, M.N.**, 1974. Çevre Sağlığı ve Teknolojisi, Cilt 2, İstanbul.
- Kumbur, H., Zeren, O., Köksal, M. ve Özçınar, B.**, 1997. İçel'de evlerde radon düzeylerinin araştırılması, *Ekoloji Çevre Dergisi*, **7**, 25-31.
- Külahcı, F.**, 2000. Hazar Gölü (Elazığ) suyunun radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Külahcı, F.**, 2005. Keban Baraj Gölü Uluova kesiminin doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Külahcı, F. and Doğru, M.**, 2006. Physical and chemical investigation of water and sediment of the Keban Dam Lake, Turkey. Part 1: iso-curves of radioactivity, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **268**, 517-528.
- Lara, E., Rocha, Z., Palmieri, H.E.L., Santos, T.O., Rios, F.J. and Oliveira, A.H.**, 2015. Radon concentration in soil gas and its correlations with pedologies, permeabilities and ²²⁶Ra content in the soil of the Metropolitan Region of Belo Horizonte – RMBH, Brazil, *Radiat. Phys. Chem.*, **116**, 317–320.
- LM. (Ludlum Measurements)**, 2007. Ludlum Model 2241-3 Survey Meter Manual. Serial Number 238342 and Succeeding Serial Numbers. Sweetwater, Texas.
- MAESTRO**, 2012. [http://www.ortec-online.com/download/A65-B32-MAESTRO-32-Emulation- Software.pdf](http://www.ortec-online.com/download/A65-B32-MAESTRO-32-Emulation-Software.pdf).

- Mehr, M.R., Keshavarzi, B., Moore, F., Sharifi, R., Lahijanzadeh, A. and Kermani, M.,** 2017. Distribution, source identification and health risk assessment of soil heavy metals in urban areas of Isfahan province, Iran, *J. Afr. Earth Sci.*, **132**, 16-26.
- Mendil, D. and Uluözlü, Ö.D.,** 2007. Determination of trace metal levels in sediment and five fish species from lakes in Tokat, Turkey, *Food Chem.*, **101**, 739-745.
- Micó, C., Recatalá, L., Peris, M. and Sánchez, J.,** 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis, *Chemosphere*, **65**, 863–872.
- Montes, M.L., Mercader, R.C., Taylor, M.A., Runco, J. and Desimoni, J.,** 2012. Assessment of natural radioactivity levels and their relationship with soil characteristics in undisturbed soils of the northeast of Buenos Aires province, Argentina, *J. Environ. Radioact.*, **105**, 30–39.
- NCRP,** 1977. National Council on Radiation Protection and Measurements, Environmental Radiation Measurement, NCRP Report No. 50, ISBN. 0- 913392-32-4.
- NE Technology Limited,** 1994. Inst. Manual for Scaler Timer, Type ST7, UK.
- Nguyen, H.I., Leermakers, M., Osán, J., Török, S. and Baeyens, W.,** 2005. Heavy metals in Lake Balaton: water column, suspended matter, sediment and biota, *Sci. Total Environ.*, **340**, 213-230.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration),** 2009. SQUIRT, Screening Quick Reference Tables for in Sediment.
http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/122_NEW-SQuiRTs.pdf.
http://www.gesamp.org/data/gesamp/files/file_element/4a2a322c8acb2c26cc0234685eac71fa/SQuiRTs.pdf online update, 7 Ağustos 2015.
- NUCLEONICA,** 2010. <http://www.nucleonica.net>, 20 Aralık 2010.
- Öter, Ç.,** 2013. Van ve çevresinde yetiştirilen bazı yöresel ürünlerde doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Van.
- Özger, A.G.,** 2005. Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Özmen, H., Külahçı, F., Çukurovalı, A. and Doğru, M.,** 2004. Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey), *Chemosphere*, **55(3)**, 401-408.
- Özmen, S.F., Cesur, A., Boztosun, I. and Yavuz, M.,** 2014. Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples from Mediterranean Coast of Turkey, *Radiat. Phys. Chem.*, **103**, 37–44.

- Öztürk, H.**, 2002. Van Gölü'nde güncel karbonat çökelim mekanizması, *Sualtı Bilim ve Teknolojisi Toplantısı*, Bildiriler Kitabı, Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye, **751**, 215-219.
- Öztürk, B., Balkıs, N., Güven, K.C., Aksu, A., Görgün, M., Ünlü, S. and Hanilci, N.**, 2005. Investigations on the sediment of Lake VAN II. heavy metals, sulfur, hydrogen sulfide and thiosulfuric acid S-(2-amino ethyl ester) contents, *J. Black Sea/ Mediterranean Environment*, **11**, 125- 138.
- Öztürk, M., Özözen, G., Minareci, O. and Minareci, E.**, 2009. Determination of heavy metals in fish, water and sediments of Avsar Dam Lake in Turkey, *Iran J. Environ. Health Sci. Engineering*, **6(2)**, 73-80.
- Papastefanou, C., Manolopoulou, M., Stoulos, S., Ioannidou, A. and Gerasopoulos, E.**, 2001. Radon measurements along active faults in the Langadas Basin, Northern Greece, *Nat. Hazards Earth Sys.*, **1**, 159-164.
- Pişkin, A.**, 2009. Van Gölü sedimentlerinde Cs-137 ve doğal radyonüklitlerin profil dağılımının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir.
- Povinec, P.P., Hirose, K. and Aoyama, M.**, 2012. Radiostromium in the western North Pacific: characteristics, behavior, and the Fukushima impact. *Environ. Sci. Technol.*, **46**, 10356–10363.
- Press, F.**, 1975. Earthquake prediction, *Scientific American*, **232**, 14-23.
- Protean Instrument Corporation**, 2000. Vista 2000 Version 2.231, Sam Rayburn Parkway, Lenoir City, 150 s.
- Qiao, J., Hansen, V., Hou, X., Aldahan, A. and Possnert, G.**, 2012. Speciation analysis of ¹²⁹I, ¹³⁷Cs, ²³²Th, ²³⁸U, ²³⁹Pu and ²⁴⁰Pu in environmental soil and sediment, *Appl. Radiat. Isotopes*, **70**, 1698–1708.
- Qureshi, A.A., Tariq, S.A., Ud Din, K., Manzoor, S., Calligaris, C. and Waheed, A.**, 2014. Evaluation of excessive lifetime cancer risk due to natural radioactivity in the rivers sediments of Northern Pakistan, *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, **7(4)**,438-447.
- Sarıyüpoğlu, M. ve Say, H.**, 1991. Elazığ şehir kanalizasyonunun Baraj Gölü'ne döküldüğü bölgeden yakalanan *Barbus capito pectoralis*'de ağır metal birikimlerinin araştırılması, *Su Ürünleri Sempozyumu*, İzmir, 12-14 Kasım, s. 121-130s.
- Seyis, C.**, 2015. Jeolojik, pedolojik ve atmosferik koşulların toprak radon gazının hareketine etkileri, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Schindler, D.W.**, 1987. Detecting ecosystem responses to anthropogenic stress, *Aquat. Sci.*, **44**, 6-25.

- Shivanandappa, K.C. and Yerol, N.**, 2017. Radon concentration in water, soil and sediment of Hemavathi River environments, *Indoor Built Environ.*, **0(0)**, 1–10.
- SKKY**, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, No. 25687, Ankara, Türkiye, 31 Aralık 2004.
- Smith, A.R., Bowman, H.R., Mosier, D.F., Asaro, F., Wollenberg, H.A. and King, C.Y.**, 1975. Investigation of Radon-222 in subsurface waters as an earthquake predictor, LBL-4445, Lawrence Berkeley Laboratory, Univ.of California.
- Swaine, D.J.**, 2000. Why trace elements are important, *Fuel Process. Technol.*, **65**, 21-33.
- Şahin, S.**, 2009. Sivrice Fay Zonundaki radon değişimi ve doğal radyoaktivite, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Şaroğlu, F. ve Güner, Y.**, 1981. Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **24**, 39-50.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y.**, 1984, Doğu Anadolu'nun neotektoniği ve ilgili magmatizması, *İhsan Ketin Sempozyumu Bildirileri*, 149-162.
- Şeker, E., Köprücü, K., Ural, M., Gür, F. ve Sarıeyüpoğlu, M.**, 1999. Keban Baraj Gölün' deki tatlı su midyesi *Unio elongatulus eucirrus* (Bourguignat, 1860)' da ağır metallerin araştırılması, *Su Ürünleri Dergisi*, **16(3-4)**, 319-326.
- Şengör, A.M.C., Özeren, M.S., Keskin, M., Sakınc, M., Özbakır, A.D. and Kayan, İ.** 2008. Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens, *Earth-Science Reviews*, **90**, 1–48.
- TAEK**, 2007. Türkiye'de Chernobyl Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri, Ankara.
- Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hindiroglu, S. ve Karahan, G.**, 2009. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to the gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey, *J. Environ. Radioact.*, **100**, 49-53.
- Thabayneh, K.M. and Jazzar, M.M.**, 2013. Radioactivity levels in plant samples in Tulkarem district, Palestine and its impact on human health, *Radiat. Prot. Dosim.* **153(4)**, 467.
- Tokonami, S., Takahashi, H., Kobayashi, Y., Zhuo, W. and Hulber, E.**, 2005. Up-to-date radon-thoron discriminative detector for a large scale survey, *Rev. Sci. Instrum.* **76**, 113-505.
- TSE-266**, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, *Türk Standartları*, Ankara.

TSE, 2003. Institution of Turkish Standards, Annual Progress Report.

Tunçer, S. ve Uysal, H., 1988. İzmir ve Çandarlı (Aliğa Limanı) Körfezlerinde yaşayan bazı mollusk türlerinde ağır metal kirlenmesiyle ilgili araştırmalar, *Doğa Türk Müh. ve Çev. Der.*, **12(3)**, 350- 368.

Tykva, R. and Sabol, J., 1995. Low Level Enviromental Radioactivity. Teknomic Publication, USA.

UNSCEAR, 1988. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, Sources, effects and risk of ionizing radiation, United Nations, New York.

UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation, United Nations sales publication No.E. 94.IX.2, New York.

UNSCEAR, 1998. Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the general Assembly. New York, USA: United Nations.

UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, Annex B Exposures from Natural Radiation Sources.

UNSCEAR, 2008. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations, New York.

Urban, M. and Piesch, E., 1981. Low-level environmental radon dosimetry with a passive track etch detector device. *Radiat. Prot. Dosim.*, **1**, 97-109.

URL-1 <http://www.nkfu.com/demir-nedir-demir-elementinin-ozellikleri/>, 25 Şubat 2015.

URL-2 [https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp \(Copper\)](https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp (Copper)), 27 Şubat 2015.

URL-3 <http://www.nkfu.com/cinko-nedir-cinko-elementinin-ozellikleri/>, 25 Şubat 2015.

URL-4 [https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp\(Zinc\)](https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp(Zinc)), 25 Şubat 2015.

URL-5 [https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp\(Manganese\)](https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp(Manganese)), 27 Şubat 2015.

URL-6 [https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp\(Plumbum\)](https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp(Plumbum)), 27 Şubat 2015.

URL-7 [http://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp \(Nickel\)](http://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp (Nickel)), 24 Şubat 2015.

URL-8 [http://kimyaokulu.com/yazdir.asp/\(Krom\)](http://kimyaokulu.com/yazdir.asp/(Krom)), 27 Şubat 2015.

URL-9 <http://www.kimyaevi.org/TR/Genel/Metal.asp/Kobalt>, 27 Şubat 2015.

URL-10 <http://www.nkfu.com/magnezyum-nedir-magnezyum-elementinin-ozellikleri/>, 27 Şubat 2015.

- URL-11 [http://kimyaokulu.com/yazdir.asp/\(Kalsiyum\)](http://kimyaokulu.com/yazdir.asp/(Kalsiyum)), 27 Şubat 2015.
- URL- 12 [http://kimyaokulu.com/yazdir.asp/\(Sodyum\)](http://kimyaokulu.com/yazdir.asp/(Sodyum)), 27 Şubat 2015.
- URL-13 <http://www.nkfu.com/potasyum-nedir-potasyum-elementinin-ozellikleri/>, 27 Şubat 2015.
- URL-14 <http://bilimgenc.tubitak.gov.tr/content/bozyazi-anadolu-lisesinde-radon-olcumu>, 25 Aralık 2017.
- USEPA, U.S.**, 2014. Environmental Protection Agency, Proposed Radon in Drinking Water Regulation. www.water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/radon/regulations.cfm, 12 Aralık 2014.
- Usero, J., Izquierdo, C., Morillo, J. and Gracia, I.**, 2003. Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from Salt Marshes on the Southern Atlantic Coast of Spain, *Environmental International*, **1069**, 1-8.
- Üner, S., Yeşilova, Ç., Yakupoğlu T. ve Üner T.**, 2010. “Pekişmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu,” *Yerbilimleri*, **31** (1), 53–66.
- Valkovic, V.**, 2000. Radioactivity in the Environment, Elsevier Science B.V., Netherlands.
- Wang, X.C., Yan, W.D., An, Z., Lu, Q., Shi, W.M., Cao, Z.H. and Wong, M.H.**, 2003. Status of trace elements in paddy soil and sediment in Taihu Lake region, *Chemosphere*, **50**, 707-710.
- Wang, Z., Yao, L., Liu, G. and Liu, W.**, 2014. Heavy metals in water, sediments and submerged macrophytes in ponds around the Dianchi Lake, China, *Ecotox. Environ. Safe.*, **107**, 200–206.
- White, W.M.**, 2013. Geochemistry. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, 1–672.
- WHO**, 1993. Guidelines for drinking water quality, Recommendations, Vol. 1, 2. Ed. Geneva.
- WHO**, 2001. Depleted Uranium, Sources, Exposure and Health Effects.
- WHO**, 2004. Guidelines for Drinking-Water Quality, Third Ed. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Wright, S.M., Howard, B.J., Strand, P., Nylen, T. and Sickel, M.A.K.**, 1999. Prediction of ¹³⁷Cs deposition from atmospheric nuclear weapons tests within the Arctic, *Environ. Pollut.*, **104**, 131-143.
- Yalçın, S.**, 1992. Güney Marmara bölgesindeki çeşitli ortamlarda radyoaktif kirliliğin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.

- Yaman, M., Ince, M., Erel, E., Cengiz, E., Bal, T., Er, C. and Kilicel., F., 2011.** Distribution study of U, V, Mo, and Zr in different sites of Lakes Van and Hazar, river and seawater samples by ICP-MS, *Clean – Soil, Air, Water*, **39 (6)**, 530–536.
- Yeşil, E., 2007.** Alünit cevherinin ICP-OES çalışması, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Zorer, Ö.S., 2006.** Bendimahi Çayı'nda ve çayın Van Gölü'ne döküldüğü noktada doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Zorer, O.S., Ceylan, H. and Doğru, M., 2009.** Gross alpha and beta radioactivity concentration in water, soil and sediment of the Bendimahi River and Van Lake (Turkey), *Environ. Monit. Assess.*, **148**, 39–46.
- Zorer, S.Ö. and Şahan, T., 2011.** The concentration of ^{238}U and the levels of gross radioactivity in surface waters of the Van Lake (Turkey), *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **288**, 417–421.
- Zorer, Ö.S., Şahan, T., Ceylan, H., Doğru, M. and Şahin, S., 2013.** ^{238}U and ^{222}Rn activity concentrations and total radioactivity levels in lake waters, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **295**, 1837–1843.



EKLER



EK 1

Ek 1 Tablo 1.1. Van Gölü su örnekleri için elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının, yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması

Ülke, Göl	Ağır metal konsantrasyonları (ppm)							Kaynaklar
	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Fe	
Türkiye, Eğirdir Gölü (Ort.)	0,06	111,14	--	1,11	0,50	17,23	1,44	Kaptan ve Özan, 2014
Çin, Dianchi Gölü (Ort.)	0,004	0,256	0,001	0,003	0,002	0,017	0,225	Wang vd., 2014
Türkiye, Atatürk Baraj Gölü (Bozyazı)	--	0,0041	N.D	0,0154	0,025	0,064	0,062	Karadede ve Ünlü, 2000
Teksas, Texomo Gölü	0,002-0,08	0,001-0,152	Co<0,002	0,001-0,012	<0,011-0,104	0,012-0,246	0,035-0,43	An ve Kampbell, 2003
Türkiye, Gölbaşı Gölü (Ort.)	0,00933	0,07329	0,01062	0,01302	0,02293	0,05321	1,83724	Ciminli, 2005
Yunanistan, Volvi Gölü	0,001–0,022	0,009–0,090	--	0,001–0,004	0,001–0,009	0,004–0,099	0,020–0,582	Anthemidis vd., 2002
Yunanistan, Doirani Gölü	0,001–0,017	0,014–0,160	--	0,001–0,006	0,001–0,013	0,006-0,066	0,029–0,690	Anthemidis vd., 2002
Türkiye, Bendimahi Çayı ve Van Gölü (Mayıs)	0,0310-0,2403	0,0104-0,2331	0,0097-0,0462	--	0,0489-0,1132	0,0448-0,1668	0,1100-4,4737	Zorer, 2006
Türkiye, Van Gölü (İlkbahar ort.)	0,0026	0,0011	0,0023	0,0001	0,0185	0,1952	0,2071	Bu çalışma

Ek 1 Tablo 1.2. Van Gölü dip çamuru örnekleri için elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının, yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması

Ülke, Göl	Ağır metal konsantrasyonları (ppm)							Kaynaklar
	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Fe	
Macaristan, Balaton Gölü	5,7-66	160-760	1,7-17	4,4-55	0,7-36	13-150	--	Nguyen vd., 2005
Mısır, Qaroun Gölü	124,89	--	11,70	54,74	38,91	58,76	--	El Sayed vd., 2015
Çin, Longgan Gölü	68,6–123,4	--	--	29,2–58,5	26,4–51,4	59,5–124,3	--	Bing vd., 2013
Çin, Taihu Gölü	68,6	547	11,8	31,3	462	679,6	--	Wang vd., 2003
Türkiye, Van Gölü (Ort.)	38,5	539	--	72	9,5	31	%1,81	Öztürk vd., 2005
Türkiye, Van Gölü (Ort.)	37	159,25	--	118,5	20	22,5	7957,75	Erenturk vd., 2014
Türkiye, Kovada Gölü	6,63±1,40	61,19±19,4	--	9,13±2,61	5,08±1,51	12,82±3,84	3006±815,7	Kır vd., 2007
Türkiye, Altınyazı Baraj Gölü	29,94±1,02	57,59±16,50	--	--	2,91±0,01	8,28±0,57	1237,00±39,60	Çetin vd., 2016
Türkiye, Bendimahi Çayı ve Van Gölü (Mayıs)	1,1458- 13,6795	3,4587- 11,4306	0,5228- 2,7616	--	0,4030- 3,1894	3,2531- 7,7925	--	Zorer, 2006
Türkiye, Van Gölü (Ort.)	101,19	1378,76	33,63	104,45	415,11	343,06	49689,67	Bu çalışma
Yerkabuğu ^a	35	--	--	19–20	14–25	52–71	--	White, 2013

^a Dünya'nın üst kıta kabuğu için (White, 2013) Bölüm 12'den alınan değerler

Ek 1 Tablo 1.3. Van Gölü kıyısı toprak örnekleri için elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının, yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılması

Ülke	Ağır metal konsantrasyonları (ppm)							Kaynaklar
	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Fe	
Türkiye, Tekirdağ	69,97	567,26	8,20	36,60	5,67	285,05	3846,2	Dökmeci vd., 2017
Türkiye, Gaziantep (Ort)	--	506,31	13,57	--	40,02	79,78	% 2,06	Deveci, 2012
Çin, Jiangsu	86,38	352,77	12,76	34,93	31,60	61,13	1,16	Jiang vd., 2017
İran, Isfahan	80,57	--	13,15	61,65	92,75	470,36	--	Mehr vd., 2017
Kosova, Metohija ve Priştina	101,46	788,67	15,05	113,72	43,25	124,69	--	Gulan vd., 2017
İspanya, Alicante	26,5	295	7,1	20,9	22,5	52,8	--	Micó vd., 2006
Yunanistan, Argolida	83,12	1020,5	21,99	146,8	74,68	74,88	--	Kelepertzis, 2014
Türkiye, Bendimahı Çayı ve Van Gölü (Mayıs)	1,7142- 23,8369	--	0,7299- 4,0028	--	0,9324- 5,2845	3,9905- 11,7015	--	Zorer, 2006
Türkiye, Van Gölü	194,42	2870,84	52,55	218,27	189,49	418,75	1240,2	Bu çalışma (ilkbahar ort.)



EK 2

Ek 2 Tablo 1.1. İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi

	Tα (Bq/L)	Tβ (Bq/L)	⁹⁰ Sr (Bq/L)	¹²⁹ I (Bq/L)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
Tα	1														
Tβ	-0,396	1													
⁹⁰ Sr	-0,100	0,089	1												
¹²⁹ I	-0,014	0,078	-0,240	1											
Cr	0,132	-0,225	-0,302	-0,108	1										
Mn	-0,094	-0,029	-0,039	-0,124	-0,132	1									
Fe	-0,105	0,000	-0,615**	0,107	-0,092	0,511*	1								
Co	0,565**	-0,438*	0,017	-0,104	0,381	-0,160	-0,055	1							
Ni	0,155	-0,007	-0,313	-0,308	0,465*	0,596**	0,570**	0,138	1						
Cu	0,110	0,128	-0,119	-0,222	0,110	0,061	0,404	0,335	0,587**	1					
Zn	-0,377	0,158	0,096	0,162	-0,206	0,512*	0,461*	-0,222	0,178	0,193	1				
Na	-0,161	0,072	-0,225	0,103	0,149	0,604**	0,386	-0,368	0,382	-0,210	0,201	1			
Mg	-0,161	0,132	-0,202	0,076	0,124	0,738**	0,352	-0,440*	0,408	-0,227	0,267	0,991**	1		
K	-0,210	0,029	-0,205	0,086	0,151	0,607**	0,422	-0,368	0,390	-0,187	0,237	0,998**	0,983**	1	
Ca	-0,222	0,092	-0,145	0,093	0,079	0,691**	0,438*	-0,405*	0,397	-0,208	0,299	0,968**	0,969**	0,974**	1

* Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,05 ** Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,01

Ek 2 Tablo 1.2. Sonbahar döneminde Van Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi

	Tα (Bq/L)	Tβ (Bq/L)	⁹⁰ Sr (Bq/L)	¹²⁹ I (Bq/L)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
Tα	1														
Tβ	0,364	1													
⁹⁰ Sr	0,407	0,101	1												
¹²⁹ I	0,581*	-0,015	-0,085	1											
Cr	-0,054	0,425	-0,627*	-0,062	1										
Mn	-0,037	0,055	-0,038	-0,065	0,241	1									
Fe	-0,078	0,300	-0,146	-0,020	0,181	-0,050	1								
Co	-0,614*	-0,280	0,508	-0,193	-0,854**	-0,125	-0,186	1							
Ni	-0,135	-0,208	0,617	-0,058	-0,819**	-0,519	0,108	0,861**	1						
Cu	-0,222	-0,151	-0,161	-0,299	0,259	0,219	-0,163	-0,342	-0,445	1					
Zn	-0,308	-0,526	-0,655**	-0,148	0,851**	0,295	0,156	-0,793**	-0,866**	0,514	1				
Na	0,042	0,163	-0,009	0,065	0,443	-0,122	-0,280	-0,333	-0,366	0,017	0,186	1			
Mg	-0,014	0,441	-0,016	0,031	0,123	-0,042	0,074	-0,383	-0,301	-0,007	-0,017	-0,167	1		
K	-0,011	0,436	0,033	0,013	0,032	-0,071	0,054	-0,299	-0,187	-0,036	-0,119	-0,197	0,993**	1	
Ca	-0,011	0,436	0,033	0,013	0,032	-0,071	0,054	-0,299	-0,187	-0,036	-0,119	-0,197	0,993**	1,000**	1

* Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,05 ** Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,01

Ek 2 Tablo 1.3. İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan orta su örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi

	Tα (Bq/L)	Tβ (Bq/L)	⁹⁰ Sr (Bq/L)	¹²⁹ I (Bq/L)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
Tα	1														
Tβ	-0,708**	1													
⁹⁰ Sr	0,031	-0,024	1												
¹²⁹ I	0,283	-0,239	-0,013	1											
Cr	0,225	-0,203	0,052	-0,077	1										
Mn	0,142	-0,233	-0,384	-0,078	0,365	1									
Fe	0,510*	-0,244	0,022	0,001	0,657**	0,473*	1								
Co	0,054	-0,118	-0,006	-0,077	0,438*	0,219	0,197	1							
Ni	-0,104	0,237	-0,427	-0,389	-0,184	0,492*	-0,093	-0,279	1						
Cu	0,274	0,103	-0,001	0,433*	-0,255	0,062	0,144	-0,279	0,298	1					
Zn	-0,190	-0,020	0,466*	0,168	0,049	-0,458*	0,040	-0,229	-0,474*	-0,108	1				
Na	0,044	-0,026	0,269	-0,248	0,346	-0,073	0,231	0,203	-0,241	-0,021	-0,032	1			
Mg	0,022	-0,037	0,286	-0,284	0,526**	0,024	0,320	0,279	-0,196	-0,131	-0,020	0,967**	1		
K	0,046	-0,204	-0,053	0,048	-0,022	-0,185	-0,091	-0,261	-0,259	0,206	0,308	0,104	0,014	1	
Ca	-0,076	-0,248	-0,154	-0,203	0,380	0,351	0,242	0,295	0,340	-0,203	-0,197	0,001	0,117	-0,182	1

* Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,05 ** Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,01

Ek 2 Tablo 1.4. İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan dip su örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi

	T α (Bq/L)	T β (Bq/L)	⁹⁰ Sr (Bq/L)	¹²⁹ I (Bq/L)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
T α	1														
T β	-0,701**	1													
⁹⁰ Sr	-0,239	-0,344	1												
¹²⁹ I	0,402	-0,419*	-0,030	1											
Cr	-0,180	0,315	-0,035	-0,109	1										
Mn	0,077	0,153	-0,129	-0,229	0,386	1									
Fe	0,139	-0,012	-0,204	0,060	0,502*	0,311	1								
Co	-0,023	0,163	-0,015	-0,077	0,432*	0,715**	0,084	1							
Ni	-0,272	0,034	0,455	0,396	0,107	0,188	0,027	0,268	1						
Cu	-0,188	0,302	0,078	0,041	0,911**	0,196	0,339	0,281	0,192	1					
Zn	-0,116	0,113	-0,018	-0,233	0,563**	0,582**	0,268	0,495*	0,058	0,305	1				
Na	0,176	-0,164	-0,386	0,177	-0,053	0,258	0,008	0,127	-0,098	-0,123	0,162	1			
Mg	-0,093	0,044	-0,127	-0,222	-0,189	-0,139	-0,215	-0,297	0,024	-0,146	-0,320	0,523*	1		
K	-0,236	0,252	-0,037	-0,004	-0,113	-0,190	0,057	-0,234	0,218	-0,120	0,035	0,043	-0,179	1	
Ca	0,261	-0,086	-0,150	0,225	-0,073	0,395	-0,031	0,388	0,487	-0,111	-0,137	0,242	0,223	-0,164	1

* Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,05

** Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,01

Ek 2 Tablo 1.5. İlkbahar döneminde Van Gölü'nden alınan dip çamuru örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi

	Tα (Bq/L)	Tβ (Bq/L)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁹⁰ Sr (Bq/L)	¹²⁹ I (Bq/L)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
Tα	1																		
Tβ	0,188	1																	
²²⁶ Ra	0,389	0,168	1																
²³² Th	0,308	0,127	0,956**	1															
⁴⁰ K	0,183	0,039	0,833**	0,864**	1														
¹³⁷ Cs	0,212	0,028	0,146	0,225	0,462*	1													
⁹⁰ Sr	0,226	-0,027	0,577**	0,678**	0,523**	0,162	1												
¹²⁹ I	-0,080	-0,043	0,383	0,284	0,350	0,122	-0,195	1											
Cr	-0,115	0,007	-0,239	-0,131	0,167	0,444*	0,015	-0,087	1										
Mn	0,024	-0,013	-0,016	0,144	0,334	0,321	0,272	-0,250	0,697**	1									
Fe	-0,111	0,016	-0,127	-0,022	0,136	0,328	0,202	-0,211	0,695**	0,674**	1								
Co	-0,091	-0,019	-0,180	-0,053	0,208	0,354	0,119	-0,131	0,867**	0,867**	0,754**	1							
Ni	-0,077	-0,030	-0,200	-0,100	0,133	0,357	-0,006	-0,075	0,952**	0,699**	0,718**	0,836**	1						
Cu	0,140	0,244	0,130	0,066	0,049	0,117	0,066	-0,043	-0,265	0,040	0,176	0,012	-0,274	1					
Zn	0,143	0,150	0,115	0,068	0,063	0,196	0,056	0,030	-0,266	0,081	0,178	0,046	-0,277	0,970**	1				
Na	-0,038	-0,014	0,147	0,177	0,113	-0,054	-0,120	0,175	0,275	0,001	-0,134	-0,014	0,402	-0,572**	-0,588**	1			
Mg	-0,154	-0,115	-0,028	0,057	0,188	0,226	-0,222	0,104	0,565**	0,290	0,356	0,364	0,631**	-0,371	-0,340	0,715**	1		
K	-0,195	0,015	-0,270	-0,147	0,105	0,382	-0,132	-0,013	0,918**	0,613**	0,541**	0,787**	0,900**	-0,357	-0,351	0,417*	0,585**	1	
Ca	-0,023	0,076	-0,093	-0,198	-0,129	-0,028	-0,202	0,113	-0,171	-0,578**	-0,471*	-0,427*	-0,295	-0,230	-0,287	-0,012	-0,197	-0,223	1

* Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,05 ** Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,01

Ek 1 Tablo 1.6. İlkbahar döneminde Van Gölü'nün kıyısından alınan toprak örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi

	T α (Bq/L)	T β (Bq/L)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁹⁰ Sr (Bq/L)	¹²⁹ I (Bq/L)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
T α	1																		
T β	0,281	1																	
²²⁶ Ra	0,624**	0,531**	1																
²³² Th	0,575**	0,508*	0,833**	1															
⁴⁰ K	0,476*	0,562**	0,740**	0,717**	1														
¹³⁷ Cs	0,087	-0,017	0,188	0,202	0,333	1													
⁹⁰ Sr	-0,017	-0,228	0,077	0,104	-0,089	-0,095	1												
¹²⁹ I	0,262	0,215	0,226	0,390	0,114	0,222	0,345	1											
Cr	0,087	-0,036	0,086	0,357	-0,055	-0,300	0,542**	0,316	1										
Mn	0,102	0,185	-0,012	0,280	-0,190	-0,305	0,226	0,324	0,725**	1									
Fe	0,073	0,187	-0,031	0,293	-0,175	-0,362	0,158	0,196	0,687**	0,969**	1								
Co	0,049	0,172	-0,013	0,342	-0,029	-0,282	0,069	0,083	0,751**	0,898**	0,923**	1							
Ni	0,180	0,102	0,081	0,380	0,006	-0,328	0,387	0,297	0,929**	0,846**	0,812**	0,866**	1						
Cu	0,049	0,230	0,011	0,126	-0,060	-0,220	-0,205	0,174	0,272	0,558**	0,557**	0,555**	0,438*	1					
Zn	0,160	0,312	0,092	0,380	-0,090	-0,266	0,162	0,331	0,621**	0,944**	0,953**	0,851**	0,761**	0,662**	1				
Na	0,057	0,301	0,101	0,438*	0,081	0,114	0,065	0,323	0,541**	0,742**	0,738**	0,733**	0,624**	0,482*	0,741**	1			
Mg	0,017	-0,170	-0,141	0,113	-0,191	-0,265	0,529**	0,318	0,823**	0,643**	0,595**	0,591**	0,776**	0,201	0,486*	0,469*	1		
K	0,105	0,051	0,107	0,425*	0,134	0,080	0,480*	0,366	0,741**	0,716**	0,676**	0,704**	0,790**	0,326	0,683**	0,736**	0,638**	1	
Ca	0,204	0,086	0,132	-0,002	-0,009	-0,110	-0,168	0,138	0,119	0,257	0,124	0,154	0,278	0,373	0,118	0,138	0,260	-0,002	1

* Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,05 ** Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,01

Ek 1 Tablo 1.7. Sonbahar döneminde Van Gölü'nün kıyısından alınan toprak örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi

	T α (Bq/L)	T β (Bq/L)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁹⁰ Sr (Bq/L)	¹²⁹ I (Bq/L)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
T α	1																		
T β	-0,170	1																	
²²⁶ Ra	-0,091	0,683**	1																
²³² Th	-0,132	0,843**	0,868**	1															
⁴⁰ K	-0,178	0,403	0,710**	0,730**	1														
¹³⁷ Cs	-0,064	-0,217	0,437	0,183	0,398	1													
⁹⁰ Sr	-0,177	0,195	0,115	0,232	0,069	-0,089	1												
¹²⁹ I	-0,262	0,640**	0,339	0,531*	0,111	-0,103	-0,004	1											
Cr	-0,220	-0,123	-0,320	-0,065	0,156	-0,346	0,194	0,038	1										
Mn	0,058	0,284	-0,102	0,250	0,171	-0,473*	0,016	0,308	0,654**	1									
Fe	0,152	0,271	-0,133	0,186	0,110	-0,473*	0,005	0,254	0,635**	0,957**	1								
Co	0,066	-0,025	-0,255	-0,022	0,089	-0,476*	0,065	-0,013	0,848**	0,727**	0,773**	1							
Ni	0,018	0,189	-0,058	0,148	0,207	-0,276	0,125	0,226	0,659**	0,746**	0,812**	0,636**	1						
Cu	0,188	-0,391	-0,650**	-0,529*	-0,440	-0,520*	-0,155	-0,204	0,489*	0,412	0,498*	0,713**	0,304	1					
Zn	0,016	0,193	-0,179	0,179	0,135	-0,486*	0,070	0,314	0,779**	0,901**	0,866**	0,831**	0,601**	0,517*	1				
Na	-0,408	0,013	-0,267	-0,032	0,054	-0,422	0,353	0,159	0,690**	0,436	0,323	0,404	0,364	0,167	0,438	1			
Mg	-0,225	-0,036	-0,094	0,061	0,315	-0,195	0,303	-0,060	0,786**	0,516*	0,587**	0,810**	0,643**	0,477*	0,593**	0,409	1		
K	-0,159	0,060	-0,072	0,159	0,366	-0,325	0,330	0,058	0,863**	0,758**	0,725**	0,831**	0,717**	0,418	0,802**	0,592**	0,844**	1	
Ca	-0,270	-0,306	0,029	-0,318	-0,123	0,363	-0,030	-0,270	-0,343	-0,726**	-0,760**	-0,574*	-0,463*	-0,452	-0,722**	-0,077	-0,405	-0,509*	1

* Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,05 ** Korelasyonun anlamlılık seviyesi; 0,01

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Malatya'da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi, Mimar Sinan İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimimi ise, Malatya Atatürk Sağlık Meslek Lisesi'nde (Anestezi Teknisyenliği) tamamladım. 2004 yılında, Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nde lisans eğitimime başladım. 2008 yılında mezun olup, aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik Anabilim Dalında, yüksek lisans eğitimime başladım. 2010 yılında, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım ve aynı zamanda yüksek lisans eğitimime, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında devam ettim. 2011 yılında yüksek lisans eğitimimi tamamladım ve aynı yılda Bitlis Eren Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atanırken, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik Anabilim Dalında da doktora eğitimime başladım. Doktora eğitimimden dolayı, 35. madde ile Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak görevlendirildim.