

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

HAZAR GÖLÜ (ELAZIĞ) SUYUNUN RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Fatih KÜLAHÇI

**T.C. YÜKSEK
DOKÜMANİZE
KÜTÜPHANE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

96344

**ELAZIĞ
2000**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZAR GÖLÜ (ELAZIĞ) SUYUNUN RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Fatih KÜLAHCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

Bu Tez, 31/08/2022 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

M. Doğru

Danışman
Doç.Dr. Mahmut Doğru

.....

.....



ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZAR GÖLÜ (ELAZIĞ) SUYUNUN RADYOAKTİVİTE
SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ*

Fatih KÜLAHCI

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
2000, Sayfa: XIII + 86

Bu çalışmada, Hazar Gölü'nün (Elazığ) derinliklere göre toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri, belirlenmiştir. Belirlenen radyoaktivite seviyeleri, suyun temel kimyasal parametrelerinden olan pH, iletkenlik ve toplam sertlikle olan ilişkileri üzerinde durulmuştur.

Su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri, örneklerin düşük sıcaklıkta buharlaştırma yöntemiyle çöktürülmesinden sonra elde edilen tortular üzerinden sırasıyla, ZnS kaplı katı bir parıldayıcı ve 2059 plastik parıldayıcı detektörler kullanılarak belirlenmiştir.

Elde edilen aktivite değerleri; araştırma bölgesinin jeolojik oluşumu ve sonuçları, gölün derinlik seviyeleri, mevsimsel değişimler ve suyun pH, sertlik ve elektriksel iletkenliğinin göl havzasındaki canlılara olan etkileri ve su standartları açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca, radyoaktivite verilerinden yararlanarak Hazar Gölü **iso-radyoaktivite eğrileri** çizilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elazığ, Hazar Gölü, Su, Radyoaktivite, Radyasyon.

* Bu tez, TÜBİTAK-YDABÇAG (proje no: 569) ve TÜBİTAK-BAYG tarafından desteklenmiştir.

SUMMARY
Master Thesis

**DETERMINATION OF THE RADIOACTIVITY LEVELS IN
HAZAR LAKE (ELAZIĞ) WATER***

Fatih KÜLAHCI

Fırat University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Physics
2000, Page: XIII + 86

In this study, the gross alpha and beta radioactivity levels versus depth of the Hazar Lake (Elazığ) were determined. The relationship between the determined gross alpha and beta radioactivity levels, the water pH, conductivity and the total hardness have also been studied.

The collected water samples are firstly evaporated at low temperature and then the gross alpha and beta radioactivity counts from the sediments were made by using ZnS(Ag) solid and 2059 plastic scintillator detectors, respectively.

These gross activity results have been evaluated according to the geologic evolution of the area, the depth of the lake, the seasonal changes and the water pH, hardness, the electrical conductivity effects on the living creatures in the lake and the radioactivity standards determined by international organisations. Using the radioactivity inputs, the **iso-radioactivity curves** of the lake have been identified.

Keywords: Elazığ, Hazar Lake, Water, Radioactivity, Radiation.

*This thesis is supported by TUBİTAK (The contract number is YDABÇAG-569) and TUBİTAK-BAYG.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının, her safhasında, her türlü ilgi ve desteğini benden esirgemeyen ve bilimsel bir çalışmanın nasıl yapılacağı konusunda bana değerli bilgilerini aktaran hocam, **Doç.Dr. Mahmut Doğru**'ya sonsuz teşekkür ederim.

Deneyimlerinden faydalandığım Arş.Gör. Cumhur Canbazoglu'na ve arazi çalışmalarında çok büyük yardımlarını gördüğüm, **Elazığ 8. Kolordu Sivrice 100. Köprücük Bölüğü** askeri personeline ve arkadaşım Oktay Baykara'ya teşekkür ederim.

Bütün bu çalışmalarım sırasında, değerli bilgilerinden faydalandığım sayın Prof.Dr. Mehmet Cici, Yrd.Doç.Dr. Habibe Say, Prof.Dr. Alaattin Çukurovalı, Prof.Dr. Bülent Şen, Yrd.Doç.Dr. Ali Yiğit, Doç.Dr. Mehmet Turan başta olmak üzere Fırat Üniversitesi Çevre Müh., Kimya, Su Ürünleri Müh., Coğrafya Bölümü ve Jeoloji Müh. öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına proje olarak destek veren, **TÜBİTAK - Yer, Deniz, Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu**'na ayrıca çalışmalarına maddi olarak destek veren, **TÜBİTAK - Bilim Adamı Yetiştirme Grubu**'na en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Son olarak; bütün eğitim hayatım boyunca bana karşı gösterdikleri büyük özverilerden dolayı anneme, babama ve kardeşim Engin'e en içten dileklerimle teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	III
SUMMARY.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ.....	X
SİMGELER LİSTESİ.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE.....	3
2.1. Radyasyon.....	3
2.2. Radyoaktivite.....	3
2.3. Radyoaktif Seriler.....	4
2.4. Uranyum ve Toryum Serisi Radyoaktif Çekirdeklerin Yeryüzündeki Dağılımı.....	6
2.5. Doğal Bozunum Serilerinin İzotopları.....	7
2.6. Dünyanın Yüzeyindeki Radyoaktif Çekirdeklerin Özellikleri.....	8
2.7. Kayaç ve Minerallerdeki Radyoaktivitenin Dağılımı.....	9
2.7.1. Organikçe Zengin Tortul Şistler ve Kömür.....	11
2.7.2. Kum Taşlarındaki (Gre, Kösele Taşları) Radyoaktivite.....	11
2.7.3. Karbonatlı Kayalar.....	12
2.8. Sulu Havzalarda Radyoaktivitenin Dağılımı.....	12
2.9. Yüzeğe Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite.....	14
2.10. U, Th ve Rn'un Doğal Oluşumu.....	15
2.11. U, Th ve Rn Hidrokimyası.....	16
3. SAYIM CİHAZLARI.....	17
3.1. Sayıcı Çeşitleri.....	17
3.2. Dahili (Internal) Orantılı Sayıcılar.....	18
3.3. İnce Pencereci Orantılı Sayıcı.....	18
3.4. Düşük Seviyeli Taban Sayımlı Beta Sayıcıları.....	18

3.5. Gama Spektrometresi.....	19
3.6. Alfa Spektrometresi.....	19
3.7. Alfa Radyasyonuna Duyarlı Parıldamalı (Sintilasyon) Sayıcılar.....	20
3.8. Beta Radyasyonuna Duyarlı Sıvı Parıldamalı Sayıcılar.....	20
4. ARAŞTIRMA SAHASININ TANITIMI.....	21
4.1. Hazar Gölü Havzasının İklimsel Özellikleri.....	21
4.2. Hazar Gölü'ne Akarsuların Taşıdığı Artıklar.....	21
4.3. Hazar Gölü'nün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	21
4.4. Hazar Gölü'nün Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliği.....	22
4.5. Hazar Gölü Yakın Çevresinin Jeolojisi ve Gölün Oluşumu.....	23
4.6. Hazar Gölü'nün Tektonik Özellikleri.....	24
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
5.1. Su Numunelerinde Alfa ve Beta Radyoaktivitesinin Ölçülmesi ve Sayım Hataları.....	27
5.2. Verim Düzeltmeleri.....	27
5.3. Su Numunelerinin Alfa ve Beta Aktivitelerinin Hesaplanması.....	28
5.4. Algılama Verimi.....	28
5.5. Hazar Gölü Sularının Aktivitelerini Belirlemek İçin Kullanılan Sayım Sistemi	31
5.6. Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısının Uyarlanması (Kalibrasyonu).....	31
5.7. Örnek Alma Cihazları ve Alım Noktaları.....	33
5.8. Su Örneklerinin Radyoaktivite Analizi İçin Hazırlanması.....	35
5.9. Su Örneklerinin Kimyasal Analizi.....	35
5.9.1. Reaksiyon (pH).....	35
5.9.2. Elektriksel İletkenlik.....	36
5.9.3. Suyun Toplam Sertliği.....	36
5.10. Kimyasal Analizlerde Kullanılan Cihazlar ve Kimyasal Malzemeler.....	37
5.10.1. Su Örneklerinin Toplam Sertliğinin Belirlenmesi.....	37
5.10.1.1. Deneyin Yapılışı.....	37

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	38
6.1. Hazar Gölü (Elazığ) Sularının Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyeleri ve Bazı Kimyasal Özellikleri	38
6.2. Hazar Gölü Sularının Alfa ve Beta Radyoaktivitesine Gölün Jeolojik Yapısının Etkisi	59
6.3. Hazar Gölü Sularının Canlılara ve Çevreye Olan Etkileri	60
6.3.1. Hazar Gölü Sularının Toplam Radyoaktivitesi ve Gölün Yakın Çevresine Olan Etkileri	60
6.3.2. Hazar Gölü Sularının Toplam Alfa ve Beta Eş (Iso)-Radyoaktivite Haritaları	63
6.3.3. Hazar Gölü Sularının Radyoaktivite Seviyelerinin Mevsimsel Değişimleri	65
6.3.4. Hazar Gölü Sularının pH Seviyeleri ve pH'ın Radyoaktiviteyle Değişimi	68
6.3.5. Hazar Gölü Sularının Toplam Sertliği ve Radyoaktiviteyle Olan Değişimi	71
6.3.6. Hazar Gölü Sularının Elektriksel İletkenliği ve Radyoaktiviteyle Olan Değişimi	74
6.4. Hazar Gölü Sularının Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Derinliğe Göre Değişimi	77
7. KAYNAKLAR	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.1: Sivrice-Maden yöresinin jeoloji haritası [Yiğit, 1994].....	24
Şekil 4.2: Hazar Gölü yakın çevresinin genelleştirilmiş ölçeksiz stratigrafik kesiti [Tatar, 1995].....	25
Şekil 4.3: Landsat uydusundan alınan Hazar Gölü uydu fotoğrafı [MTA, 2000]...26	
Şekil 5.1: Uygulama geriliminin belirlenmesi [Canbazoğlu, 1998].....	32
Şekil 5.2: Sayım hızının eşik gerilimiyle değişimi [Canbazoğlu, 1998].....	33
Şekil 5.3: (a) Su alma cihazı, (b) Toprak kepçesi.....	34
Şekil 5.4: Hazar Gölü, su örneklerinin alındığı istasyonlar ve yüzey bölgeleri.....	34
Şekil 6.1: Hazar Gölü su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin dağılımı.....	61
Şekil 6.2: Hazar Gölü suları, toplam alfa (Bq/L) eş-radyoaktivite haritaları.....	66
Şekil 6.3: Hazar Gölü suları, toplam beta (Bq/L) eş-radyoaktivite haritaları.....	67
Şekil 6.4: Hazar Gölü yüzey sularının toplam alfa, beta radyoaktivitesi ve pH değişimi.....	70
Şekil 6.5: Hazar Gölü orta derinliklerdeki suların pH'ının alfa ve beta radyoaktivitesiyle değişimi.....	70
Şekil 6.6: Hazar Gölü dip sularının pH'ının alfa ve beta radyoaktivitesiyle değişimi.....	71
Şekil 6.7: Hazar Gölü yüzey sularının toplam sertliğinin radyoaktiviteyle olan ilişkisi.....	73
Şekil 6.8: Hazar Gölü orta seviye derinliklerdeki toplam sertliğin radyoaktiviteyle olan ilişkisi.....	73
Şekil 6.9: Hazar Gölü dip sularının toplam sertliğinin radyoaktiviteyle olan değişimi.....	74
Şekil 6.10: Hazar Gölü yüzey sularının elektriksel iletkenliği ve radyoaktiviteyle olan değişimi.....	75
Şekil 6.11: Hazar Gölü suları orta derinliklerdeki elektriksel iletkenliğin radyoaktiviteyle olan değişimi.....	76
Şekil 6.12: Hazar Gölü dip sularının elektriksel iletkenliğinin radyoaktiviteyle olan Değişimi.....	76
Şekil 6.13: Hazar Gölü'nden alınan su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite değişimi.....	77
Şekil 6.14: Hazar Gölü'nden alınan su örneklerinin toplam beta radyoaktivite Değişimi.....	77

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Radyoaktif ışıma türleri ve bu ışımaların çekirdekte meydana getirdiği değişiklikler.....	4
Tablo 2.2: Toryum serisi [Richards, 1975].....	5
Tablo 2.3: Uranyum serisi [Richards, 1975].....	5
Tablo 2.4: Aktinyum serisi [Richards, 1975].....	6
Tablo 2.5: İçme suları için ulusal ve uluslar arası kuruluşlar tarafında kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirletici konsantrasyonları [Tuncer, 1991; Başbakanlık kararnamesi, 1997].....	14
Tablo 4.1: Hazar Gölü'nün Yıllık Ortalama Yağış Miktarları [Şen ve Topkaya, 1997].....	21
Tablo 4.2: Suların iletkenliğe göre kalite sınıfları [Şen ve Topkaya, 1997].....	22
Tablo 4.3: Su kaynaklarının sınıflarına göre bazı kalite kriterleri [Resmi gazete, 1988].....	23
Tablo 5.1: pH'a göre H^+ ve OH^- iyonları miktarları ve asitlik sınıfları [Tuncay, 1994].....	35
Tablo 6.1: Askeri kampın açıkları (yüzey suları).....	39
Tablo 6.2: Askeri kampın açıkları (orta derinlik suları).....	40
Tablo 6.3: Askeri kampın açıkları (dip derinlik suları).....	40
Tablo 6.4: Askeri kampın açıkları (dip çamuru).....	40
Tablo 6.5: Orman ve Belediye kampı açıkları (yüzey suları).....	41
Tablo 6.6: Orman ve Belediye kampı açıkları (orta derinlik suları).....	41
Tablo 6.7: Orman ve Belediye kampı açıkları (dip derinlik suları).....	41
Tablo 6.8: Orman ve Belediye kampı açıkları (dip çamuru).....	42
Tablo 6.9: Turpol Tesisleri açıkları (yüzey suları).....	42
Tablo 6.10 : Turpol Tesisleri açıkları (orta derinlik suları).....	42
Tablo 6.11: Turpol Tesisleri açıkları (dip derinlik suları).....	43
Tablo 6.12: Turpol Tesisleri açıkları (dip çamuru).....	43
Tablo 6.13: Doktor Evleri açıkları (yüzey suları).....	43
Tablo 6.14: Doktor Evleri açıkları (orta derinlik suları).....	44
Tablo 6.15: Doktor Evleri açıkları (dip derinlik suları).....	44
Tablo 6.16: Doktor Evleri açıkları (dip çamuru).....	44

Tablo 6.17: TPAO kampı açıkları (yüzey suları).....	45
Tablo 6.18: TPAO kampı açıkları (orta derinlik suları).....	45
Tablo 6.19: TPAO kampı açıkları (dip derinlik suları).....	45
Tablo 6.20: TPAO kampı açıkları (dip çamuru).....	46
Tablo 6.21: Hazar Gölü güneydoğu kesimi yüzey suları (Şekil 5.4).....	46
Tablo 6.22: Hazar Gölü güneydoğu kesimi orta derinlik suları (Şekil 5.4).....	46
Tablo 6.23: Hazar Gölü güneydoğu kesimi dip derinlik suları (Şekil 5.4).....	47
Tablo 6.24: Hazar Gölü doğu kesimi, yüzey suları (Şekil 5.4).....	47
Tablo 6.25: Hazar Gölü doğu kesimi, orta derinlik suları (Şekil 5.4).....	47
Tablo 6.26: Hazar Gölü doğu kesimi, dip derinlik suları (Şekil 5.4).....	48
Tablo 6.27: Hazar Gölü doğu kesimi, dip çamuru (Şekil 5.4)..	48
Tablo 6.28: Hazar Gölü kuzey kesimi, yüzey suları (Şekil 5.4).....	48
Tablo 6.29: Hazar Gölü kuzey kesimi, orta derinlik suları (Şekil 5.4).....	49
Tablo 6.30: Hazar Gölü kuzey kesimi, dip derinlik suları (Şekil 5.4).....	49
Tablo 6.31: Hazar Gölü kuzey kesimi, dip çamuru (Şekil 5.4).....	49
Tablo 6.32: Hazar Gölü kuzey kesimi, yüzey suları (Şekil 5.4).....	50
Tablo 6.33: Hazar Gölü kuzey kesimi, dip derinlik suları (Şekil 5.4).....	50
Tablo 6.34: DDY kampı (nisan ayı, yüzey suları).....	50
Tablo 6.35: DDY kampı (nisan ayı, orta derinlik suları).....	51
Tablo 6.36: DDY kampı (nisan ayı, dip derinlik suları).....	51
Tablo 6.37: DSİ kampı (nisan ayı, yüzey suları).....	51
Tablo 6.38: DSİ kampı (nisan ayı, orta derinlik suları).....	52
Tablo 6.39: DSİ kampı (nisan ayı, dip derinlik suları).....	52
Tablo 6.40: Orman kampı (nisan ayı, yüzey suları).....	52
Tablo 6.41: Orman kampı (nisan ayı, orta derinlik suları).....	53
Tablo 6.42: Orman kampı (nisan ayı, dip derinlik suları).....	53
Tablo 6.43: Yüzey-1 Suyu (Şekil 5.4).....	54
Tablo 6.44: Yüzey-2 Suyu (Şekil 5.4).....	54
Tablo 6.45: Yüzey-3 Suyu (Şekil 5.4).....	54
Tablo 6.46: Yüzey-4 Suyu (Şekil 5.4).....	55
Tablo 6.47: Yüzey-5 Suyu (Şekil 5.4).....	55
Tablo 6.48: Yüzey-6 Suyu (Şekil 5.4).....	55

Tablo 6.49: Yüzey-7 Suyu (Şekil 5.4).....	56
Tablo 6.50: Yüzey-8 Suyu (Şekil 5.4).....	56
Tablo 6.51: Yüzey-9 Suyu (Şekil 5.4).....	56
Tablo 6.52: Yüzey-10 Suyu (Şekil 5.4).....	57
Tablo 6.53: Su örneklerinin ortalama toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri.....	58
Tablo 6.54: Toprak örneklerinin ortalama toplam alfa ve beta Radyoaktiviteleri.....	59



SİMGELER LİSTESİ

A_{α} : Alfa aktivitesi.

A_{β} : Beta aktivitesi.

Ω : Katı açısı.

m_e : mili eşdeğer.

E_s : Standart sapma

ϵ_{abs} : Mutlak verim.

V : Verim.

Z : Atom numarası.



1. GİRİŞ

Canlı organizmanın içinde yaşadığı ortamdaki radyoaktivite miktarının belirlenmesi, radyoaktiviteyle doğrudan veya dolaylı olarak temasta olan canlının hayatını devam ettirebilmesi için büyük önem taşımaktadır. Organizmanın içinde bulunduğu ortamda etkileşim içinde olduğu üç temel unsur olan su, toprak ve havadaki radyoaktivite sınırları, bilim çevrelerince güvenilirliği kabul görmüş olan bilim örgütlerince belirlenmiştir. Bu sınırların aşılması halinde canlının hayatını devam ettirebilmesi veya sağlıklı bir şekilde sürdürmesi güçleşmektedir.

Sulardaki kirlenme; su kaynaklarının değişik amaçlara uygun olarak kullanılmasını bozacak veya engelleyecek ölçüde fiziksel, kimyasal, biyolojik ve radyoaktif herhangi bir madde içermesi olayıdır.

Araştırmamızın temel amacı, Hazar Gölü (Elazığ) sularının toplam radyoaktivitesinin belirlenmesi ve bu radyoaktivitenin bazı temel kimyasal parametrelerle olan ilişkisini belirlemektir. Hazar Gölü'nün oluşumu incelendiğinde tektonik göller sınıfına girdiğini görmekteyiz. Bu oluşumun temel sebebi Hazar Gölü'nün, Doğu Anadolu Fay Hattının geçtiği bölgede olmasıdır. Araştırma sahası bu bakımdan düşünüldüğünde yer bilimciler açısından çok cazip özelliklere sahiptir. Fakat inceleme çalışmaları, genel olarak; coğrafik, su ürünleri ve çevresel değişimler üzerinde çalışan ve özellikle jeolojik araştırma yapan bilim adamlarınca yürütülmüş, radyoaktivite konusunda detaylı bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle Hazar Gölü üzerinde yapılmış çok detaylı bir çalışmaya, gölün genel konumu nedeniyle, gerek duyulmuştur.

Araştırma sahası olarak Hazar Gölü'nün seçilmesinde önemli diğer bir etken, fay hattı bölgelerinde radyoaktivite açısından yapılan araştırmalarda, bu bölgelerdeki jeolojik oluşumların ve kayaç yapısının radyoaktivite açısından zengin olduğunun görülmesidir [Banks, 1995].

Hazar Gölü çevresinde dinlenme tesislerinin fazla olması ve Göl çevresindeki yerleşim bölgelerinde yaşayan halkın göl suyundan doğrudan istifade etmesi nedeniyle, bu suyun radyoaktivite seviyesinin belirlenmesini gerekli hale getirdiği kanısındayız.

Gölden alınan örneklerdeki radyoaktivite analizleri için, düşük seviyeli alfa ve beta radyoaktivitesini belirleyebilecek hassas sayım sistemleri kullanılmıştır. Kimyasal özelliklerden olan toplam sertliğin belirlenmesi işlemlerinde, titrimetrik metot ve bu metodun uygulandığı titrasyon sistemi kullanılmıştır. Alınan su örneklerinin elektriksel iletkenliğinin ve pH'ının belirlenmesi işlemlerinde ise dijital iletkenlik ölçer ve dijital pH metre kullanılmıştır.

Çalışmamızda radyoaktivitenin belirlenmesi ve diğer kimyasal parametrelerin ölçülmesinde kullandığımız su örnekleri, gölün yüzey, orta ve dip seviyelerinden aldığımız su örnekleri üzerinde yapılmıştır. Bunun yanı sıra, gölün dip kısmından aldığımız çamurlar üzerinde de radyoaktivite analizi yapılmıştır. İncelenmesi yapılan bütün örneklerin alınması için belirlenen bölgelerin jeolojik yapıları itibariyle gölde, azami oranda homojen bir dağılıma sahip olmasına özen gösterilmiştir. Aktivite değerleri; araştırma bölgesinin jeolojik oluşumu ve sonuçları ayrıca radyoaktivitenin, pH, sertlik ve elektriksel iletkenliğin göl havzasındaki canlılara olan etkileri, gölün derinlik seviyeleri, radyoaktivitenin mevsimsel değişimi ve su standartları açısından değerlendirilmiştir.

Radyoaktivite açısından gölün genel özelliklerini detaylı bir şekilde veren Hazar Gölü eş (iso)-radyoaktivite haritaları da çizilmiştir. Bu haritaların yorumunda, ilk defa bu çalışmada “*alçak radyoaktivite adacığı*” ve “*yüksek radyoaktivite adacığı*” terimleri kullanılmış olup, bu ifadeler çizilen eş-radyoaktivite eğrilerinin bölgesel değişimlerinin sonuçları için kullanılmıştır.

Çalışmamız, “Doğu Anadolu Bölgesi yer altı ve yer üstü sularının radyoaktivite seviyelerinin analizi” konulu TUBİTAK-YDABÇAG-569 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiş ayrıca TUBİTAK-BAYG tarafından da desteklenmiştir.

2. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE

2.1. Radyasyon

Enerjinin, dalgalar veya tanecikler halindeki durumu veya bu şekilde yayılan enerji türüne “radyasyon” denir. Elektromanyetik radyasyonlar artan frekans sırasına göre; radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ötesi, görünür ışık, mor ötesi, X ve gama ışınları ve kozmik ışınlardır.

Bahsettiğimiz bu radyasyonların küçük frekanslıları daha çok dalga karakteri taşırlar. Mor ötesi radyasyonlar veya daha yüksek frekansların tanecik olarak izahları daha faydalı olmaktadır. Gerçekte, her hareketli parçacığa bir dalganın eşlik ettiğini öne süren modern bir teori de mevcuttur (De Broglie Hipotezi). Ses radyasyonu, artan frekans sırasına göre; infrasonik dalgalar, ses dalgaları ve ultrasonik dalgalar şeklinde sınıflandırılır. Ortada yer alan ses dalgalarının frekansı kabaca, 16-20000 Hz aralığındadır. İnfrasonik dalgalar şiddetli patlamalarda ve depremlerde oluşur. Ultrasonik dalgalar ise, kristallere değişik gerilimler uygulanarak elde edilir. Tanecik radyasyonunun en yaygın şekilleri radyoaktif bozunma da meydana gelen alfa ve beta radyasyonlarıdır.

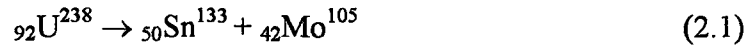
2.2. Radyoaktivite

Bazı atomların, çekirdeklerinin dayanıksız olması nedeniyle, çeşitli tanecikler ve enerji yayınlamaya başlar. Başka cins atomlara dönüşmesine “radyoaktivite” denir. Olayın varlığı, ilk defa, 1896’da *Henry Becquerel* tarafından keşfedilmiştir. 1900’lü yılların başlarında ise sunî radyoaktivite bulunmuştur. Tablo 2.1’de radyoaktif ışıma türleri ve bu ışıma türlerinin meydana getirdiği değişiklikler verilmiştir. Tablo 2.1’de görüldüğü gibi, alfa ışıması yapan bir çekirdek, atom numarası 2, kütle numarası 4 birim daha düşük olan bir başka elementin çekirdeğine dönüşür ve bu sırada enerji açığa çıkar. Beta ışımasının da, atom numaralarındaki değişim dışında benzer olduğu görülebilir. Elektron yakalama olayında, iç kabuklardaki elektronlardan biri, radyoaktif elementin çekirdeği tarafından yakalanır; hemen ardından kütlesi elektron kütlesine yakın olan yüksüz bir tanecik (nötrino) yayınlanır ve çekirdek, atom numarası bir alttaki elementin

Tablo 2.1: Radyoaktif ışıma türleri ve bu ışımaların çekirdekte meydana getirdiği değişiklikler.

Radyoaktivite Tipleri	İşımanın Sembolü	Yayınlanan Tanecik	Atom No. da Değişme	Kütle No.da Değişme
Alfa Işınması	α	Helyum Çekirdeği	-2	-4
Beta Negatron Işınması	β^-	Elektron	+1	0
Beta Pozitron Işınması	β^+	Pozitron	-1	0
Elektron Yakalama	EC	Nötrino	-1	0
Kendiliğinden Fizyon	F	Ağır Çekirdekler	Çeşitli	Çeşitli

çekirdeğine dönüşür. Kendiliğinden fizyonda ise, çekirdek kaçak tanecikler yayınlamaksızın, iki ayrı çekirdeğe bölünmek üzere parçalanır.



reaksiyonu buna örnek olarak verilebilir.

2.3. Radyoaktif Seriler

Bir radyoaktif parçalanma, bir alfa veya beta parçacığının yayınımla meydana geldiği zaman, ana element denilen ilk atom, döl denilen başka bir atoma göre değişmektedir. Radyoaktivite özelliği gösteren izotoplara genel olarak “radyoizotop” denir. Karasız çekirdekler bozunarak alfa, beta parçacıkları veya gama ışını yayarlar. Nükleer radyasyon, dolayısıyla radyoizotop üretimi, tıp, biyoloji, kimya ve enerji üretimi gibi alanlarda çok geniş şekilde kullanılmaktadır. Tabii radyoizotopların sayısı 12’dir. Suni radyoizotopların sayısı ise günümüzde 300’ü aşmıştır [Richards, 1975].

Tablo 2.2, 2.3 ve 2.4’te üç doğal radyoaktif seri olan, toryum, uranyum ve aktinyum serilerini oluşturan elementler verilmiştir. Her bir seri kararlı bir izotop olan kurşunla son bulur. Bazı elementlerin ya bir alfa ya da bir beta parçacığı yayınladığı görülmektedir.

Tablo 2.2: Toryum serisi [Richards, 1975].

Çekirdek	Parçalanma Türü	Yarı Ömür, $t_{1/2}$	Parçalanma Sabiti λ , s^{-1}	Yayınlanan Parçacık ve Enerjisi (MeV)
^{232}Th	α	$1,39 \times 10^{10}$ y	$1,58 \times 10^{-18}$	α (3,98); γ (0,06)
^{228}Ra	β	6,7 y	$3,28 \times 10^{-9}$	β (0,01)
^{228}Ac	β	6,13 sa	$3,14 \times 10^{-5}$	β (1,11); γ (0,06-1,59)
^{228}Th	α	1,90 y	$1,16 \times 10^{-8}$	α (5,42); γ (0,08-0,21)
^{224}Ra	α	3,64 g	$2,20 \times 10^{-6}$	α (5,68); γ (0,24)
^{220}Em	α	54,5 s	$1,27 \times 10^{-2}$	α (6,28); γ (0,54)
^{216}Po	α	0,16 s	4,33	α (6,77)
^{202}Pb	β	10,6 sa	$1,82 \times 10^{-5}$	β (0,35); γ (0,14-0,25)
^{212}Bi	α	47 dk	$2,46 \times 10^{-4}$	α (6,09); β (2,25)
^{212}Po	α, β	3,0 $\times 10^{-7}$ s	$2,31 \times 10^6$	γ (0,72-2,2)
^{208}Tl	α	2,1 dk	$3,73 \times 10^{-3}$	α (8,78)
^{208}Pb	β			β (1,80); γ (0,86-2,62)
	Kararlı			

Tablo 2.3: Uranyum serisi [Richards, 1975].

Çekirdek	Parçalanma Türü	Yarı Ömür, $t_{1/2}$	Parçalanma Sabiti λ , s^{-1}	Yayınlanan Parçacık ve Enerjisi (MeV)
^{238}U	α	$4,50 \times 10^9$ y	$4,88 \times 10^{-18}$	α (4,18); γ (0,05)
^{234}Th	β	24,1 g	$3,33 \times 10^{-7}$	β (0,19); γ (0,03-0,09)
^{234}Pa	β	1,18 dk	$9,77 \times 10^{-3}$	β (2,31); γ (1,0)
^{234}Pa	β	6,7 h	$2,88 \times 10^{-5}$	β (0,5); γ (0,10-0,57)
^{234}U	α	$2,50 \times 10^5$ y	$8,80 \times 10^{-14}$	α (4,76); γ (0,02-0,12)
^{230}Th	α	$8,0 \times 10^4$ y	$2,75 \times 10^{-13}$	α (4,69); γ (0,07-0,18)
^{226}Ra	α	1620 y	$1,36 \times 10^{-11}$	α (4,78); γ (0,19-0,66)
^{222}Em	α	3,82 g	$2,10 \times 10^{-6}$	α (5,47); γ (0,51)
^{218}Po	α, β	3,05 dk	$3,78 \times 10^{-13}$	α (6,00)
^{214}Pb	β	26,8 dk	$4,31 \times 10^{-4}$	β (0,65); γ (0,05-0,35)
^{218}At	α	1,5-2,0 s	0,4	α 86,63
^{214}Bi	α, β	19,7 dk	$5,86 \times 10^{-4}$	α (5,44); β (1,65)
^{214}Po	α	$1,64 \times 10^{-4}$ s	$4,23 \times 10^3$	γ (0,61)-(2,43)
^{210}Tl	β	1,32 dk	$8,75 \times 10^{-4}$	α (7,68)
^{210}Pb	β	22 y	$1,00 \times 10^{-9}$	β (1,8)
^{210}Bi	α, β	5,0 g	$1,60 \times 10^{-6}$	β (0,02); γ (0,05)
^{210}Po	α	138,3 g	$5,80 \times 10^{-8}$	α (4,8); β (1,17)
^{206}Tl	β	4,2 dk	$2,75 \times 10^{-3}$	α (5,30); γ (0,80)
^{206}Pb	Kararlı			β (1,51)

Tablo 2.4: Aktinyum serisi [Richards, 1975].

Çekirdek	Parçalanma Türü	Yarı Ömür, $t_{1/2}$	Parçalanma Sabiti λ , s^{-1}	Yayınlanan Parçacık ve Enerjisi (MeV)
^{235}U	α	$7,10 \times 10^8$ y	$3,09 \times 10^{-17}$	α (4,39); γ (0,18-0,37)
^{231}Th	β	24,6 sa	$7,82 \times 10^{-6}$	β (0,30); γ (0,02-0,06)
^{231}Pa	α	$3,43 \times 10^4$ y	$6,40 \times 10^{-13}$	α (5,01); γ (0,03-0,33)
^{227}Ac	α, β	22,0 y	$1,00 \times 10^{-9}$	α (4,94); γ (0,05)
^{227}Th	α	18,6 g	$4,31 \times 10^{-7}$	α (5,979); γ (0,05-0,34)
^{223}Fr	β	21 d	$5,50 \times 10^{-4}$	β (1,15); γ (0,05-0,31)
^{223}Ra	α	11,2 g	$7,16 \times 10^{-7}$	α (5,72); γ (0,14-0,34)
^{219}Em	α	3,92 s	0,177	α (6,82); γ (0,20-0,59)
^{215}Po	α, β	$1,83 \times 10^{-3}$ s	$3,379 \times 10^2$	α (7,37)
^{211}Pb	β	36,1 d	$3,20 \times 10^{-4}$	β (1,4); γ (0,07-0,83)
^{215}At	α	10^{-4} s	7x103	α (8,00)
^{211}Bi	α, β	2,16 d	$5,25 \times 10^{-3}$	α (6,62); γ (0,35)
^{211}Po	α	0,52 s	1,33	α (7,43); γ (0,56-0,88)
^{207}Tl	β	4,79 d	$2,41 \times 10^{-3}$	β (1,47); γ (0,87)
^{207}Pb	Kararlı			

2.4. Uranyum ve Toryum Serisi Radyoaktif Çekirdeklerin Yeryüzündeki Dağılımı

Radyoaktif enerjinin en önemli kısımları üç bozunum serisinden meydana gelir. Bunların ikisi U'un izotopu olan ^{238}U ve ^{235}U , diğeri ise, ^{232}Th dir. Kayalar ve mineraller uzun ömürlü U, Th elementlerinin bulunduğu yerlerdir. Granit gibi kristalimsi kayalar ve kuvars-kayaç başkalaşimleri U ve Th açısından oldukça zengindir. Bunların dışında tortul kayalar, tortulu şistler (organik shales), kumtaşı, karbonatlar ve fosforitler bu radyoaktif elementlerin başlıca taşıyıcılarıdır [Cowart, 1994]. Dünya yüzeyinde bütün metaller suyun aracılığıyla çevreye karışmışlardır.

Yerküredeki radyoaktivitenin dünyamızın oluştuğu zamanlarda bugünkünden oldukça fazla olduğu tahmin edilmektedir. Yeryüzünü oluşturan metallerin radyoaktif bozunmalarından çok büyük bir enerji açığa çıkarak, günümüzde dünyamızın halihazırdaki şeklini almasında büyük bir rol oynamıştır. Bu açığa çıkan enerji yer kürenin iç kısımlarının ısınmasına sebep olmuş böylece kayaların erimesi ve kısmi kristallenme meydana gelmiştir [Cowart, 1994].

Az yoğunluktaki kaya tabakaları kıtalar olarak adlandırılır ve bunlar okyanuslara ve atmosfere uçucu gazların çıkmasına sebep olabilirler [Cloud, 1968].

Bu fiziksel ve kimyasal olaylar, bazen benzer materyallerin artmasına bazen de ayrılmasına neden olur. Hafif ve çok bol bulunan Si ve O'lı kayaçlar, demir ve magnezyumca zengin kayaçlardan daha az yoğunlardır. En hafif kayaçlar dünyanın yüzeyinde bulunanlardır [Goldschmidt, 1954]. Radyoaktif elementlerin dağılımı veya birikmesi fiziksel ve kimyasal kanunların ön gördüğü şekilde olmuştur. U ve Th kadar Na, K, Au, Ag ve diğer elementler dış kabukta toplanmışlardır. Uranyum grubu, kumtaşı içerisinde yoğunlaşmıştır. Benzer şekilde; V, Se, P ve Mo de aynı bölgelerde yoğunlaşmış olup [Dall'Aglia, 1973], bu elementler dağılma sürecine girerler. Kayaçların her santimetre küpünde çok az miktarda Au vardır ve deniz suyunun her santimetre küpünde yine çok az miktarda da olsa U vardır [Cox, 1989]. Demirden ağır bütün elementler (pek çoğu radyoaktiftir) bir katı yıldızın patlamasıyla oluşur [Cox, 1989; Kuroda, 1982]. Bir süpernova esnasında oluşan birkaç çekirdek kararlı ve kararsız yapı arasında sınırdadır. Bu atomlar yavaş bir bozunuma sahiptirler ve birkaç milyon veya birkaç milyar yıl yarı ömre sahiptirler. Mesela, ^{115}I ve ^{238}U bu gruba girerler. ^{238}U 'ün dünyanın oluşumundan bugüne kadar geçen zaman esnasında yalnızca %50'si bozunmuştur. Elementlerin oluşumu hakkında bildiklerimiz radyoaktivite konusunun çalışılmasıyla bir araya getirilmiştir. Kararlı atomlar şimdi yok olmuş radyoaktif çekirdeklerin bozunmasından oluşmuşlardır. Bu radyoaktif çekirdekler meteoritlerde ve dünyanın derinliklerindeki kayalarda bulunurlar [Emiliani, 1992]. Uzun ömürlü radyoaktif çekirdekler dünyanın ve ayın yüzeyinde bulunan kayaların yaşlarının ölçümünde jeokimyasal bir kronometre görevindedir [Faure, 1986; Cowart, 1994'den].

2.5. Doğal Bozunum Serilerinin İzotopları

Uzun ömürlü radyoaktif çekirdeklerin oluşturduğu seriler, kaynak olarak bir U veya Th izotopuna sahiptirler. Her seviyenin sonunda kararlı bir Pb izotopu vardır. Radyoaktivite bu serilerden oluşur. Radyoaktif elementlerin atom çekirdeğinden iki çeşit parçacık açığa çıkar. Ayrıca, bu çekirdeklerden gama ışınları ve nötrinolar yayınlanır [Choppin ve Rydberg, 1980]. Bir alfa parçacığı 2 proton ve 2 nötrona sahip, oldukça ağır bir parçacıktır. Beta parçacığı ise alfa parçacığına göre oldukça hafiftir. Beta parçacığının kütlesi, alfa parçacığının kütlesinin 1/7500 katıdır ve alfa parçacığının +2

yüküne sahip olmasına karşılık -1 yüklüdür (pozitron durumunda $+1$ yüklüdür) [Faure, 1986].

2.6. Dünyanın Yüzeyindeki Radyoaktif Çekirdeklerin Özellikleri

Bozunma ile atomun nükleer özellikleri değiştiği gibi, kimyasal özellikleri de değişir. Bu durum radyoaktif elementin bozunduktan sonra yapısal olarak çok farklı olmasına neden olur.

Uranyumun üç doğal izotopu vardır. Bunlar; ^{235}U , ^{238}U ve onun kız çekirdeği ^{234}U dür. Okside edilmiş U^{+6} (uranil) iyonu; karbonat, fosfat ve sülfat iyonlarıyla kolayca kompleks yapar ve suyun hareketi ile kolaylıkla taşınabilir. U oksik sularda çok çözülebilir [Gascoyne, 1992]. Sularda az miktarda uranyum, U^{+4} halindedir ve hareketsiz kalma ve çökme eğilimindedir [Gascoyne, 1992]. Katı fazda U, uranit (UO_2) veya kofinit (USiO_4) şeklinde bazı minerallerin bileşimi halinde veya kalsit ve fosforit gibi yapılarda bulunur [Burnett ve Veeh, 1992] veya Fe, Mn oksihidroksitleri ve organik materyaller içerisine emilmiş olarak veya çökelmiş halde bulunur.

Th'un üç bozunum serisinde altı izotop vardır (^{234}Th , ^{232}Th , ^{231}Th , ^{230}Th , ^{228}Th ve ^{227}Th). $+4$ halinde Th, oksitleme durumundadır ve tamamen erimemesi özelliğiyle U^{+4} 'e benzerdir [Gascoyne, 1992]. Th'un akarsular içerisindeki taşınımı, Th'un büyük parçacıklar içerisinde emilmesiyle ve bu parçacıkların hareketleriyle olmaktadır. Bu yüzden Th'un hareket kabiliyeti sınırlıdır [Wright, 1972]. Radyumun her üç bozunum serisinde de 228, 226, 224 ve 223 atom kütlelerine sahip izotopları bulunur. Ra'un oksitleme durumu yalnızca $+2$ dir. Toprak alkalileri grubundan olan Ra, Ba'a ve çok az da olsa Ca'a benzer. Radyum oluşumları kloritle kompleks yaparlar ve bu durumda radyumun hareket kabiliyeti hızlıdır [Cherdntsev, 1971]. U ve Th'un bir kız çekirdeği olarak oluşan Ra, bol miktarda karbonatlarda [Ku, 1972] ve radyobarit sülfatlarda sıklıkla bulunur.

Rn'nun bir izotopu her bozunum serisinde oluşur. Fakat, yalnızca önemli uzaklıklara taşınmak için ^{222}Rn yeterince uzun bir ömre sahiptir (3,8 gün).

^{220}Rn ve ^{219}Rn 'un yarı ömürleri ise sırayla 54,5 ve 3,9 s dir ve bunların uzaklara taşınma ihtimali çok zayıftır. Radon bir asal gaz olduğundan diğer atomlarla reaksiyona

girmez. Rn suda çabuk çözünür ve bazı durumlarda normal sularda yoğunluğu $3,7 \times 10^6$ Bq.m⁻³'ü geçebilir [Michel,1987].

Polonyum, en uzun yarı ömre sahip bir doğal izotopu olan (138 gün), çok nadir bir elementtir. Po, kolayca emilebilir [Gascoyne, 1992]. Bu nedenle, düşük pH'lı yer altı sularında bulunabilir [Harada, 1989].

Kurşunun kararlı izotopları üç bozunum serisinin son üyeleridir. Fakat kurşunun birkaç radyoaktif izotopu vardır (²¹⁴Pb, ²¹²Pb, ²¹¹Pb, ²¹⁰Pb). Bu izotoplardan ²¹⁰Pb (²¹⁰Po'un kaynağı) yarı ömrü 22,1 yıldır ve yarı ömrü birkaç saati geçen tek kurşun izotopudur. Hemen bütün Pb tuzları suda ya hiç çözünmez ya da çok az çözünürler [Gascoyne, 1992]. Kurşunun kararlı izotopları genellikle sülfitle birleşirler fakat karbonat ve sülfat minerallerinde de oldukça yaygındırlar [Wampler, 1972].

Radyum, bozunum serilerinin her birinde vardır. Yer altı sularına sızan Ra miktarı kayalarda yoğunlaşmış radyoaktif kaynak miktarının bir fonksiyonudur [Michel, 1987] ve sızan Ra'un menzili yer altı sularının kimyasal içeriğiyle de ilgilidir. Mesela, yüksek miktarda klorit içeren sularda azami miktarda Ra bulunurken sülfat içeren sularda da Ra'un taşınımı önemsenmeyecek kadar azdır [Cherdyntsev, 1971; Gascoyne, 1992]. Yer altı sularının akış hızı da önemli bir etkidir. Ra'un uzun ömürlü izotopları hızlı akan sularda elbette ki daha uzak bölgelere taşınabilir.

Uranyum izotopları da yer altı sularıyla taşınabilir ve bir yükseltgenme-indirgenme (redoks) engeliyle çökelerlerse ²³⁰Th'a ve onun kız çekirdeği olan ²²⁶Ra için güçlü bir kaynaktır [Durrance, 1986]. U çökeldiğinde ²³⁰Th oluşur ve bulunduğu yerde kalır çünkü Th'un hareketliliği azdır [Gascoyne, 1992]. ²³⁰Th bozunarak ²²⁶Ra'yı oluşturur. ²²⁶Ra özellikle tuzlu sularda çok hızlı hareket eder. Böylece sulardaki yüksek Ra yoğunluğu sulardaki çok az miktardaki U kaynağı ile sağlanabilir. Her radyoaktif çekirdek tek bir eriyebilme kombinasyonuna ve yarı ömre sahiptir ve bu kombinasyondan radyoaktif çekirdeğin taşınma potansiyeli veya menzili hesaplanır.

2.7. Kayaç ve Minerallerdeki Radyoaktivitenin Dağılımı

Toprakta bulunan ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K gibi doğal radyoçekirdekler toprağın radyoaktif olmasına sebep olmaktadır. Doğal radyoçekirdekler daha çok volkanik,

fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu kayalar çevre şartları altında zamanla parçalanarak küçük parçalar halinde akarsu ve yağmurların sonucu hem uzak bölgelere taşınır hem de toprağa karışırlar. Böylece toprağın doğal radyoaktivitesi artar. Hatta, toprağın verimini artırmak için kullanılan suni tohumlama ve gübreleme (suni gübreler radyoaktif ^{32}P içermektedir), toprağın yüzey aktivitesini artırmaktadır [NCRP Report, 1975: Karahan'dan 1997].

Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülür. Bu kaya yataklarının da karasal radyoaktiviteye sebep olduğu düşünülmektedir. Özellikle gama radyasyonları 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir. Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarda toryum içermektedir.

Toprakta var olan radyoaktivite biyokimyasal işlemlerle bir miktar azalır. Bitki kök sistemlerindeki gelişme bir taraftan topraktaki doğal dengeyi sağlarken diğer taraftan bitkinin ihtiyacı olan suyu topraktan almaktadır. Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarında oksidasyonla başlar. Alt tabakalarda mevcut olan U zamanla azalır. Topraktaki hareketlilik demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşmasıyla devam eder. Bazı topraklarda bulunan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat sayesinde radyoaktif çekirdeklerin tutulmasını engeller. Topraktaki bu gelişim evreleri, kayalardaki radyoaktif çekirdek yoğunluklarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini azaltır [NCRP Report, 1975: Karahan'dan 1997].

Volkanik ve başkalaşmış (metamorfik) kayalar, yüksek sıcaklık ve basınç şartları altında oluşmuş kristalimsi kayalardır. U ve Th elementleri büyük hacimli yapılardır ve en önemli mineral yapıları içerisinde birbirlerine uymazlar [Rankama ve Sahama, 1950; Ahrens, 1965]. U ve Th başlangıçta yüksek sıcaklık ve yüksek basınç madenlerinin dışındadır ve alkalik kayaların içerisinde zengindirler [Gascoyne, 1992]. U, Th ve kız çekirdekleri olan ^{40}K , kristalimsi "crustal" kayalarda önemli ısı kaynaklarıdır [Emiliani, 1992]. U ve Th'un bu şartlar altındaki davranışları benzerdir. Aynı volkanik kayalar içerisinde aralarındaki oran genellikle 3-5'te 1 (Th-U) dur [Rogers and Adams, 1969]. Her iki elementte silika içerisinde artma eğilimi gösterir. Bu nedenle granitler genellikle en yüksek U ve Th'a sahip oluşumlardır. Buna rağmen kilogramdaki U miktarı 30 mg'ı

nadiren geçer. Silikaca fakir kayalarda bulunan U miktarı genellikle 0,1 mg/kg veya daha azdır [Rogers and Adams, 1969].

Yaklaşık 1,4 milyar yıl önce dünya atmosferinde hemen hemen hiç oksijen bulunmamaktaydı [Press ve Siever, 1978], U oksitleri dünya yüzeyine tanecikler (grain) ve büyük parçacıklar (nugget) olarak çıkabildiler. Böylece, U oksitleri akarsular sayesinde kolayca hareket edebilip [Robertson, 1974], yoğunlukları nedeniyle de daha az yoğun olan maddelerden ayrılabilirler. Bu da aynı şekilde şimdi bulundukları yerlere depolanmışlardır. Bunlar akarsuların muhtelif yerlerine birikmiş veya yeryüzünden daha derinlere doğru inmişlerdir. Bu birikme, kuvars çakıl (pebble) depolanması olarak adlandırılmıştır. Bu birikmeler, (2,8 ve 2,2 milyar yıl önce) Güney Afrika ve Kanada için günümüzde ekonomik değeri çok büyük olan U'un en önemli kaynağıdır [Robertson, 1974].

1,4 milyar veya daha fazla yıl önce, U başkalaşmış, volkanik ve tortul kayalar içerisinde çözülmüş haldeki UO_2^{+2} iyonu veya onun kompleksleri şeklinde yayılmıştır [Hostetler ve Garrels, 1962].

2.7.1. Organikçe Zengin Tortul Şistler ve Kömür

Deniz kıyılarında ve nehir ağızlarındaki çevrede kil ve organik maddeler oluşur. Bunlar, birkaç kilometreden fazla derinliklerde oluştuğu zaman organik şistler genişleyebilir. Aynı bölgelerde bulunan U, +4 yüklüdür ve hareketsizdir. Ayrıca, killi topraklar tarafından da emilmiştir. Bu şistlerin bazıları oldukça yaygındır. Mesela, Doğu ABD'de Chattonaga şistleri ortalama 79 mg/kg U yoğunluğuna sahiptir [Rogers ve Adams, 1969]. Diğer yüksek miktarda U içeren şistlere İsveç'te Alum Shale ve Almanya'da Kupferschiefer örnek gösterilebilir [Rogers ve Adams, 1969]. Pek çok kömür ve linyit de U açısından oldukça zengindir.

2.7.2. Kum Taşlarındaki (Gre, Kösele Taşları) Radyoaktivite

Kumtaşları uranyumun biriktiği en önemli depolama oluşumlarından [Adler, 1974]. Uranyum taşıyan sular kumtaşlarının içerisinde aktığı zaman, kum parçacıklarının üzerine yapışarak çökler [Adler, 1974]. Erozyon sebebiyle toprak yüzeyi

aşınır, organik maddeler başka yerlere taşınarak oksitlenir. Bu durumda artık U birikintileri asitlenmiş suların içerisinde ve yeni bir engelle karşılaşmaya kadar suyun akışıyla akışları devam edecektir. Aynı zamanda yeni U serbest kalmıştır ve tortuların yüzeyinden harekete başlamıştır. Bu yolla yeni U cevher grupları oluşur ve gelişir [Cowart ve Osmond, 1974,1977; Levinson, 1982].

2.7.3. Karbonatlı Kayalar

Karbonatlı oluşumlar tortul kaya gruplarının önemli bir bölümünü oluşturur. U'un ölçülebilir miktarları biyogenik karbonatlar içeren (örneğin mercanlar) ve inorganik karbonatlar içeren kayalarda hemen her zaman bulunabilirler [Rogers ve Adams, 1969]. U oksik sularda kolayca taşınır fakat Th için bu söz konusu değildir.

2.8. Sulu Havzalarda Radyoaktivitenin Dağılımı

Suyun sahip olduğu çözücülük, taşıyıcılık ve değişik radyoaktif çekirdekleri çöktürme gibi farklı karakteristik özellikleri, suların doğal radyoaktivitesin artırmaktadır. Akan sulardan çıkan Rn atmosfere dağılırken ortamdaki yoğunluğu mesafeye üstel olarak azaltmaktadır [Rogers, 1958]. Yer altı sularında suyun akışı güçlü değildir [Ericson, 1962; Karahan'dan 1997].

Hidrosferde radyoaktif çekirdeklerin davranışlarındaki gözlenebilir genel özellik, radyoaktif çekirdeklerin bu tabakada depolanmasıdır. Depolanma, farklı karakteristiklere sahip suların ara yüzeylerinde, oksidasyon ve redüksiyon bölgeleri arasında ve hidrosfer ve atmosfer arasında meydana gelir. Buna örnek olarak, ^{226}Ra 'nın çöktürülmesi verilebilir. Sıcak kaynaklarda radyum izotoplarının tutulması, kalsiyum karbonat veya silisyum dioksit ile birlikte çökmesinden kaynaklanmaktadır.

Yapılan çalışmalarda ^{134}Cs ve ^{137}Cs içeren topraktaki bu radyoaktif çekirdeklerin ancak yüzde 7 ile 9'unun suya geçtiği saptanmıştır. Bunun yanında, topraktan suya geçen ^{134}Cs ve ^{137}Cs yoğunluğunun yaklaşık 1000 ila 5800 katı, bitkiler tarafından biriktirilmektedir [Polar, 1989; Canbazoğlu'ndan 1998].

Sular içerisinde bulunan en önemli doğal radyoaktif madde, radyum olup bunun kaynağını suların içinden geçtiği kütleler içerisindeki radyoaktif maddeler

oluşturmaktadır. Genel olarak; volkanik kütleler, tortul kütlelerden daha fazla radyoaktivite ihtiva ettiklerinden, volkanik kayalar içerisinde geçip gelen suların radyum yoğunluğu tortul kütleler içerisinde geçip gelen sularinkinden daha yüksektir. Sularda bulunan radon gazının kaynağını sularda çözünmüş radyum tuzları oluşturur. Ancak, bazı sular içerdikleri radyum tuzu yoğunluğuna göre çok daha yüksek yoğunluklarda çözünmüş radon gazı içermektedirler. Bu gibi suların fazla radon içermeleri, kayalardan geçmeleri sırasında çatlaklardan sızan radon gazının basınç altında suda kolayca çözünmesi, buna karşı radyum tuzlarının ancak temas halindeki sularda süzülerek çözünmesiyle açıklanabilmektedir [Alkan ve Göksel., 1975].

İçme suları içerisinde bulunabilecek azami toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri, Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), İstanbul Su ve Kanalizasyon İşletmesi (İSKİ) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir [Tuncer, 1991; Canbazoglu'ndan 1998]. Bu değerler Tablo 2.5'de gösterilmiştir.

Çözünmüş U yoğunluğunun oranı, nehirlerde 0,0048-0,000083 Bq/L arasındadır [Scott, 1982; Gascoyne, 1992] ve okyanus sularında bu oran 0,041 Bq/L veya 3,25 µg/L dir [Cochran, 1992]. Th, nehirlerde ve okyanus sularında daha çok miktarda bulunmaktadır. Fakat nehirler tarafından taşınabilir ve denizlerde veya göllerin diplerinde de depolanabilir [Cochran, 1992]. Po, Pb ve Th parçacıklarca çok hızlı emilir. Bu emilme sonucu deniz tabanında birikir. Bütün Th izotopları suda her zaman düşük yoğunlukta bulunur. Th, okyanuslarda U'un çözünmesiyle oluşur ve parçacıklar üzerine yapışarak ve hidrolize yoluyla dibe iner [Gascoyne, 1992]. Okyanus tabanında yapılan U serisi araştırmalarında, Th miktarı 5 mg/kg'dan az iken U miktarı 100 mg/kg civarında bulunmuştur [Burnett ve Veeh, 1992]. Yapılan çalışmalar fosfat kayalarının üzerinde U ve Th'dan kaynaklanan radyoaktivitenin bol miktarda bulunduğunu göstermiştir. Ca-Al

Tablo 2.5: İçme suları için ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirlenici konsantrasyonları [Tuncer, 1991; Başbakanlık kararnamesi, 1997].

Kirlenici	Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO)			TSE	İSKİ
	1984	1971	1971	1997	1984
	Tavsiye Edilen Üst Sınırlar	Tavsiye Edilen Üst Sınırlar	Müsaade Edilen Üst Sınırlar	Müsaade Edilen Üst Sınırlar	Müsaade Edilen Üst Sınırlar
Toplam Alfa	0,1 Bq/L (2,7 pCi/L)	0,11 Bq/L (3 pCi/L)	0,37 Bq/L (10 pCi/L)	0,037 Bq/L (1 pCi/L)	0,037 Bq/L (1 pCi/L)
Toplam Beta	1,0 Bq/L (27 pCi/L)	1,1 Bq/L (30 pCi/L)	3,7 Bq/L (100 pCi/L)	0,37 Bq/L (10 pCi/L)	0,37 Bq/L (10 pCi/L)
⁹⁰Sr	—	1,1 Bq/L (30 pCi/L)	—	—	—

fosfatları, crandillite ve millisite yapılarında yapılan çalışmalarda U bulunmuştur.

Radyum sıklıkla nehir üzerinde taşınan maddelerce emilir, parçacıklar tuzluluk oranı yüksek bölgelerde desorbe olurlar yani Ra'yı atarlar [Key, 1985]. Okyanuslarda en önemli radyum kaynağı okyanus dip tortullarıdır [Cochran, 1992]. Tuzlu olmayan sularda, Ra genellikle bulunduğu yerlerden pek uzağa taşınmaz. Çünkü, emilme ihtimali yüksektir [Krishnaswami, 1982]. Güney Carolina'da yapılan çalışmalarda kristalimsi kayalardaki Ra aktivitesi kıyılardaki su tutan tabakalardan (coastal plain aquifers) daha azdır. Buna sebep olarak, kristalimsi kayaların daha yüksek katyon değiştirme kapasitesine sahip olması gösterilmiştir [King, 1985].

Rn su tabakalarında düşük seviyededir. Ayrıca, dip tortullarından sızabilir Rn hemen her zaman yer altı sularındaki bütün radyoaktif çekirdeklerden daha yüksek bir aktiviteye sahiptir. İngiltere'deki granitik arazilerde Rn aktivitesi birkaç Bq/L den 35,000 Bq/L ye kadar bir değişim göstermektedir. Fosforit birikintilerindeki yer altı sularındaki Rn miktarı 2400 Bq/L gibi yüksek bir miktarda ölçülmüştür [Hess, 1985]. Radon, yer altı su kaynaklarının, topraktan sızması ve inşaat malzemeleri yoluyla evin içerisinde oluşabilir [Nero ve Nazeroff, 1985].

2.9. Yüzeye Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite

Yüzeye yakın atmosferde, hem insan yapımı suni radyoaktif maddeler, hem de doğal kaynaklardan çıkan radyoaktif toz ve parçacıklar bulunmaktadır. Atmosferde

bulunan toz ve küçük parçacıklar genellikle havada asılı kalmakta veya hava akımlarıyla sürekli dolanmaktadırlar. Bu parçacıkların yoğunlukları genellikle havanın yoğunluğundan az olduğu için çekim etkisiyle yere inmektedirler [Karahana, 1997].

Atmosfere bırakılan radyoaktif kirlilikler, bazı atmosferik şartlarda kirlenmiş havanın yere çok yaklaşmasına ve insanlar tarafından solunmalarına ve dolayısıyla bu nedenle canlı varlıkların radyasyona maruz kalmalarına sebep olmaktadır. Yine yüksek radyoaktiviteye sahip olan parçacıklar yağışlar sebebiyle yeryüzüne inip, canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Özellikle, volkanik patlamalarla yer kabuğunun derinliklerinden atmosfere atılan toz ve küllerde, rüzgar ve fırtınalarla toprak yüzeyinden havaya kaldırılan tozlarda ve termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömürün yanmasıyla havaya atılan kül ve dumanda radyoaktif maddelerin olduğu bilinmektedir [Karahana, 1997].

Uzay kaynaklı yüksek enerjili kozmik ışınlar veya yüklü parçacıklar, dünya atmosferine girdiklerinde, ortamda bulunan nitrojen, oksijen, argon gibi elementlerin çekirdekleriyle reaksiyona girerek nötronları, protonları, muonları ve kaonları üretirler. Bu arada, dozimetrik açıdan çok önemli olan ^{14}C , ^3H , ^7Be ve ^{23}Na gibi radyoaktif çekirdekler de bu etkileşme sonucunda üretilirler. Bunlara ikincil kozmik radyasyonlar veya kozmogenik radyo çekirdekler denir. Nükleer denemelerle atmosfere atılan radyoaktif maddeler atmosferde bulunan bu kozmogenik radyoaktif çekirdek yoğunluğunun artmasına neden olur. Proton ve kaonlar yer seviyesine ulaşmadan bozunuma uğrarlar. Bunların yarı ömürleri oldukça kısadır. Nötronlar elastik çarpışmalarla enerjilerini kaybederek yavaşlar ve ^{14}C ve ^{14}N atomları tarafından yakalanırlar [Karahana, 1997].

2.10. U, Th ve Rn'un Doğal Oluşumu

Jeolojik olarak; U, Th, Ra ve Rn aynı tipte kayalarda oluşma eğilimindedir. Th ve U'dan her ikisi de magmatik oluşumlar ve hidrotermal çözeltilerde yüksek oranda yoğunlaşmışlardır. Bu nedenle, asidik volkanik kayalar (örneğin, granit), pegmatitler ve hidrotermal maden yataklarında bulunmaktadırlar. Killeen ve Heier (1975b) pek çok granit çeşidinin radyoaktivite açısından zengin olduğunu göstermişlerdir [Banks, 1995].

Uranyumun temel bileşiği uranyum dioksit (UO_2) dir. UO_2 ' nin büyük kristalli hali uranit, küçük kristalli hali ise pitchblende (uranyum oksidi) olarak adlandırılır. Bozunma durumunda oksidasyon ve U kaybı sonucu O/U oranı artma eğilimindedir. Bu nedenle bu mineraller sıklıkla U_3O_8 şeklinde bir bileşik halinde gösterilirler. İkinci olarak kofinit ($\text{USiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) yatakları da önemlidir. Hava yoluyla oksitlenmede bir dereceye kadar çözülebilen mineraller mesela, karnotit (bir K-uranil vanadat), tyuyamunit (Ca-uranil vanadat), autunit (Ca-uranil fosfat) veya rutherfordin (uranil karbonat) oluşur. Genel olarak toryum içeren monazit (seryum toryum fosfat), pilbarit (toryum kurşun uranat), torit (toryum silikat) ve toriyanit (toryum uranyum oksit) şeklindedir.

Yer altı sularında ^{234}U , uranyumun diğer izotoplarına göre daha baskındır [Milvy and Cothorn, 1990]. Sulardaki aktivite, U yoğunluğu (litredeki μg) ile de verilir. Buna göre $1 \mu\text{g} = 1,2 \times 10^{-2} \text{ Bq } ^{238}\text{U}$ dir [Barnes, 1986; Milvy and Cothorn, 1990].

2.11. U, Th ve Rn Hidrokimyası

U'nun hidrokimyası komplekstir [Krauskopf, 1979; Garrels and Christ, 1965; Drever, 1988]. U'da birkaç oksidasyon durumu oluşabilir fakat yalnızca +4 ve +6 durumları hidrojeokimyada önemlidir. Uranyumlu iyon, hidroksit su içerisinde hatta düşük pH değerlerinde bile çözünmez. Oksidasyonla UO_2^{+2} (uranil) iyonu (ve onun hidroksiti) oldukça iyi bir şekilde çözünür. Uranyum (VI) da hidroksit, karbonat, fosfat hatta kloritle kompleks iyonlar oluştururlar [Nguyen-Trung, 1991] ve yüksek oranda eriyebilme yeteneğine sahiptir [Drever, 1988].

Yer altı sularında ^{222}Rn ve U arasındaki ilişki az olmasına rağmen U ve bikarbonat arasındaki ilişki daha kuvvetlidir [Lahermo and Juntenan, 1991].

3. SAYIM CİHAZLARI

Geiger-Mueller ve orantılı sayıcıların temel çalışma prensibi; radyasyon yolu ile enerji harcanması, sayıcı gazın iyonlaşması ve sayım odasında anotta elektron birikmesine dayanır. Bu önemli sayıcıların genel karakteristikleri ise; taban sayım (background) veya kozmik radyasyona duyarlı cihazın sayım oranı, cihaz parçalarının radyoaktif içeriği ve radyoaktif kaynak enerjilerinin yakınlığının ayrıştırılması özelliğinden oluşur. Taban sayımı, sayım odasının veya algılayıcının (detektörün) büyüklüğüyle kabaca orantılı olmasının yanı sıra algılayıcılara metal muhafaza kullanılarak bu istenmeyen sayımlar azaltılabilir [Clesceri, 1989].

3.1. Sayıcı Çeşitleri

Dahili orantılı sayıcılarda her beta ve gama radyasyonunun bir kısmı, sayım gazının içerisine yayılır. Beta radyasyonunun bir kısmı ve alfa radyasyonunun yalnızca %1-2'si sayım odasının duvarlarından veya sayım yuvasından geri saçılır. Çok hafif örnekler için, beta radyasyonunun %60'dan fazlası ve alfa radyasyonunun ise %50'sinin bu cihazlarla sayıldığı kanıtlanmıştır [Dearnaley, 1966].

Pencereli G-M sayım tüplerinde örnekler genellikle pencereden 5 mm veya 15 mm uzağa konulur. Bu durumda, alfa'nın çoğu ve zayıf beta radyasyonları, hava aralığı ve mika cam tarafından tamamen durdurularak sayılmazlar. Sayım verimleri küçük bir pencere aralığı için ve fisyon ürünleri karışmış örnekler için %10'dan daha azdır. Çünkü G-M tüplerinin çoğunun çapı 2,5 cm civarındadır. Sonuç olarak, sayım yuvası ve örnek hacmi sınırlandırılmış olmaktadır. Bu durumda, radyasyon çeşidi bilinmeyen örnekler için, G-M tüplerinin algılama kabiliyeti zayıftır ve kesin değildir. Diğer taraftan, G-M tüpleri iz elementlerinden hazırlanan örnekler ve artırılmış radyoaktif çekirdekler için kusursuz bir radyasyon algılayıcısı olduğu kabul edilmektedir [Dearnaley, 1966]. İnce pencereli (kalınlığı $250 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ den az, polyester plastik film) tüpler, geleneksel G-M tüpleri ve dahili (internal) sayıcılar için yaklaşık 5 cm çapındadır. Bu ince pencere sayıcıları için, alfa aktivite sayımı yeterli düzeydedir. İnce pencereli sayıcılar olan G-M

tüplerinin oda çapı 60 mm'den ve örnek yuvasının çapı ise 50 mm'den daha büyük kabul edilir [Taylor, 1963].

3.2. Dahili (Internal) Orantılı Sayıcılar

Dahili orantılı sayıcılar, alfa radyasyonu çalışma platosunda alfa aktivitesinin hesabı için ve beta radyasyonu çalışma platosunda ise hem alfa hem de beta aktivitesinin hesabı için kullanılabilir [Bologna, 1969].

Bir sayım odasında, bir ön yükseltici ve dereceli yüksek gerilim güç kaynağı, zamanlayıcı ve kaydedici kullanılır. Orantılı sayıcılarda çalışma gerilimini bulmak için %5 civarında eğimi olan plato bölgesi seçilir. Platonun başlangıcı ve sonu arasındaki gerilim değeri farkı sayıcının üretim parametrelerine göre değişmesine rağmen eski kullanılan sayıcılarda bu değer 150 volt civarındadır [Bologna, 1969].

3.3. İnce Pencereci Orantılı Sayıcı

İnce pencereci orantılı sayıcı, yüksek seviyeli sayım ortalamasına ve sayım yuvasına yapışan sayım artıkları için idealdir. Sayıcılar, alfa ve düşük enerjili beta yayınlamalarını algılar. Bu sayıcıların duyarlılığı dahili (internal) orantılı sayıcıların %50'si kadardır. Bunun nedeni bu sayıcıların geometrisinin uygun olmaması ve sonuç olarak soğurma kayıplarının (pencere ve hava yolu ile) daha büyük olmasıdır. Örnek, sayıcının dışındadır. Bu sayıcı gürültüden, nem oranından ve kötü elektriksel iletkenlikten daha fazla etkilenmesinden dolayı, dahili orantılı sayıcıdan daha az etkili kullanıma sahiptir [Bologna, 1969].

3.4. Düşük Seviyeli Taban Sayımlı Beta Sayıcıları

Düşük β -taban seviyesi sayıcısı, 0,1 pCi/örnek kadar küçük ve 50 pCi/örnek kadar yüksek ölçümler için kullanılır. 1000 pCi'den daha yüksek aktiviteler için diğer beta algılayıcıları kadar kullanışlı değilse de yine de bununla sayım yapılabilir. Bu sayıcılar en fazla 0,3 MeV civarında beta enerjisine sahip kaynaklar için tasarlanmıştır. Fakat orantılı bölgede çalışılması koşulu ile bu sayıcılar alfa aktif çekirdek içeren örneklerde alfa aktivitesinin hesaplanması için de kullanılabilir. Algılayıcı penceresinin

kalınlığı genellikle $1,0 \text{ mg/cm}^2$ den daha azdır ve bu kalınlık yüksek enerjili seyrek beta ışınları için nispeten önemsiz sayılabilir. Sayım verimleri ortalama beta radyasyon enerjili ve kütlesi çok az olan örnekler için %30-55 arasında değişir. Bu şekilde oluşturulan bazı sayıcılarda Geiger bölgesindeki çalışma düzeyinde helyum-izobütan kullanılır. G-M tüpleri, yaklaşık olarak 100 ilâ 400 μs ölü zamana sahiptir [Goulding, 1964].

3.5. Gama Spektrometresi

Gama spektrum analizi en az bir örnek hazırlanarak yapılabilir. Bu metotta normalde gama yayıcısı olmayan radyoaktif çekirdekler sayım dışı tutulur. Örnek içerisinde gama yayıcı çekirdekler genellikle 0,01 MeV'den az foton enerjisine sahiptirler ve çok büyük bir hata yapılmadan enerjiler ölçülebilir.

Genel olarak gama spektrometresi, sodyum iyodit veya talyum aktive edilmiş [NaI(Tl)] kristal ve lityum katkılı germanyum (Ge(Li)) içeren diyotlardan oluşan sistemler olarak iki farklı yapıdan oluşmaktadırlar [Goulding, 1964].

3.6. Alfa Spektrometresi

Alfa spektrometresi için kullanılan algılayıcılar, genellikle yarı iletken silisyum yüzey engelli, PN ve PIN yapısındaki malzemelerden oluşturulmaktadır. Bu tip detektörlerin çalışması; enerji çözünürlüğü, aktif alan ve eksiltme aralığından (depletion depth) etkilenir. Sayım yüksek bir vakumun sağlanmasıyla gerçekleştirilir.

Örneklerden yayınlanan alfalar hassas bir detektör içerisine girer ve algılayıcının (detektör) yapıldığı maddenin atomlarıyla etkileşir. Detektörde oluşan iyonizasyon ve detektöre uygulanan ön gerilim sonucu elektronların elektrotta birikmesi, elektriksel gerilim darbesinin detektör materyali ile etkileşen alfa parçacıklarının enerjileriyle orantılı olmasını sağlar [Clesceri, 1989].

Bir alfa spektrometresi; detektör, detektör ve örnek için bir vakum odası, ön yükseltici, doğrusal yükseltici, mekanik vakum pompası, çok kanallı veya tek kanallı ayırıcı, bilgi okuyucu veya veri kayıt ediciden oluşur [Goulding, 1964].

3.7. Alfa Radyasyonuna Duyarlı Parıldamalı (Sintilasyon) Sayıcılar

Bir çinko sülfid kristali alfa parçacığıyla bombardıman edildiğinde kinetik enerjinin bir kısmı görünür ışık şekline dönüştürülür. Sülfid, gümüş safsızlıkları içerdiğinden burada oluşan parıldamalar daha etkilidir. Işık parıltılarının sürekliliği nikel iyonlarının varlığında kısılanır. Alfa parıldama sayacı; fosfor, detektör çifti, bir foto çoğaltıcı, yüksek gerilim kaynağı, yükseltici-frekans ayırıcı (diskriminatör) ve bir dereceli kaydediciden oluşur [Clesceri, 1989].

Gümüş katkılanmış yer, nikel çinko sülfid, fosforun yanına veya içerisine konulmuştur. Alfa yayan örnek ile bu tabakalar bir sıraya göre dizilmişlerdir. Böylece, kristalde oluşan parıltılar foto çoğaltıcı tüpe gelir ve burada parıltılar yükseltilerek bir gerilim darbesine dönüştürülür [Clesceri, 1989].

Katı örnekler ince bir tabaka halinde (3 mg/cm'den az) bir tabla üzerine konur. Sayacın verimi %35-40 arasında değişir. Gaz örnekler, çinko sülfid boya ile kaplanmış kubbe biçimindeki hücrede katı örneklerden çok daha büyük bir verimle sayılabilirler [Siegbahn, 1965].

3.8. Beta Radyasyonuna Duyarlı Sıvı Parıldamalı Sayıcılar

Bir örnek çeşitli radyoaktif çekirdekler içeriyorsa, organik sıvı parıldatıcı ile karıştırılır ve böylece ışık parıltısı oluşturulmuş olur. Işığın parıldaması bir veya daha fazla fotoçoğaltıcı ile yükseltip algılanabilir. Sıvı sintilasyon sayaçları genellikle trityum veya karbon-14 gibi düşük beta yayıcı örnekleri için kullanılmaktadır. Bunun nedeni, cihazın kendi kendine soğumasından kaynaklanan gürültüden etkilenmesidir. Sayım verimi yüksek enerjili betalar için %100'e yaklaşmasına rağmen trityum sayımı için verim, trityumun beta darbelerinin düşük enerji içermesinden dolayı daha düşüktür. En önemli sıvı sintilasyon cihazlarında karanlık akımından taban sayımını azaltmak için iki fotoçoğaltıcı kullanılır ve bu sintilasyon cihazları en az iki kanallı ayrıştırıcıdan oluşur [Siegbahn, 1965].

4. ARAŞTIRMA SAHASININ TANITIMI

4.1. Hazar Gölü Havzasının İklimsel Özellikleri

Hazar Gölü'nün yer aldığı havzanın yağış alanı 51500000 m² olup yıllık toplam yağış miktarının ortalama 602,5 kgm⁻² olduğu belirtilmektedir. Havzaya düşen yağışlar ile ilgili aylık değişimler ve yıllık ortalamalar Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablo 4.1'den görüldüğü gibi, en yağışlı ay nisan olup bunu mart ve aralık ayları takip etmektedir. Temmuz, ağustos ve eylül ise en kurak geçen aylardır [Şen ve Topkaya, 1997].

4.2. Hazar Gölü'ne Akarsuların Taşıdığı Artıklar

Akarsu artıkları, Hazar Gölü'nün geleceğini ve gölün su kalitesini tehdit eden önemli etkenlerden biri olarak dikkat çekmektedir. Göle dökülen Kürk ve Mogal derelerinde yapılan analiz sonuçlarında bu derelerin Hazar Gölü'ne taşıdıkları toplam kil-silt miktarı yıllık 80.000 ton olarak hesaplamıştır [Sağıroğlu ve Çetindağ, 1995]. Bu değere, göle taşınan ince kum, kum ve çakıl dahil edilmemiştir. Bu rakamlar dikkate alındığında, sadece Kürk ve Mogal derelerinden göle taşınan yıllık 80.000 ton şilt ve kilin, göl içerisinde yıllık olarak 32.000 m³'lük birim hacim işgal etmesi söz konusudur.

4.3. Hazar Gölü'nün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bugüne kadar Hazar Gölü'nün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır [Say, 1991; Şen, 1997].

Göl suyunun pH'ının 8,75-9,48 arasında değişmesi gölün alkali karakterde olduğunu ortaya koymaktadır. Alkaliniteye sebep olan iyonlar aynı zamanda suyun pH'ının yüksek olması üzerinde de etkilidir. Göl suyunun yüksek pH değerlerine sa-

Tablo 4.1. Hazar Gölü'nün Yıllık Ortalama Yağış Miktarları [Şen ve Topkaya, 1997].

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Ort. Yağış Mik. (kgm ⁻²)	72,1	62,9	84,4	92,3	57,8	15,0	2,4	1,4	6,0	50,5	75,7	82,1	602,5
Yağ. Gün Say.	8,8	8,3	10,0	9,9	7,9	2,8	0,5	0,4	1,2	5,7	7,4	7,9	70,8

hip olması gölün su ürünleri yetiştiriciliği açısından uygun olmayan bir özelliği olarak dikkat çekmektedir [Şen ve Topkaya, 1997].

4.4. Hazar Gölü'nün Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliği

Hazar Gölü'nde, yapılan araştırmalarda göl suyunda Ca^{++} miktarının 11-32 mg/L, Mg^{++} miktarının ise 70-110 mg/L arasında değiştiğini ortaya çıkarmıştır. Ortalama Na^+ değeri ise 350 mg/L civarında bulunmuştur [Şen ve Topkaya, 1997].

Sulama suyu için su kalite kriterlerinde elektrik iletkenlik değerlerine bağlı olarak su kalitesi ise aşağıdaki şekilde verilmektedir [Uslu ve Türkmen, 1987: Şen ve Topkaya'dan, 1997].

Hazar Gölü'nde iletkenlik değerleri genel olarak 2000-3000 $\mu\text{mhos/cm}$ arasında değişiklik gösterip ortalama elektriksel iletkenlik değeri 2000 $\mu\text{mhos/cm}$ civarındadır (Tablo 4.2). Bu rakamlar, Tablo 4.3'deki su kalite kriterleri ile karşılaştırıldığında, Hazar Gölü suyunun sulama suyu olarak 4. sınıf su kalite gurubuna girdiği ve buna bağlı olarak da göl suyunun sulama suyu olarak elverişsiz olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, seyreltme yapmadan Hazar Gölü suyundan, sulama suyu olarak faydalanılması şu an için mümkün değildir [Şen ve Topkaya, 1997].

Tablo 4.2: Suların iletkenliğe göre kalite sınıfları [Şen ve Topkaya, 1997].

Kalite Sınıfları	Elektriksel iletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	
1.Sınıf	<250	Mükemmel
2. Sınıf	250-750	İyi
3. Sınıf	750-2000	İzin verilebilir
4. Sınıf	2000-3000	Sakıncalı
5. Sınıf	>3000	Kullanılmaz

Tablo 4.3: Su kaynaklarının sınıflarına göre bazı kalite kriterleri [Resmi gazete, 1988].

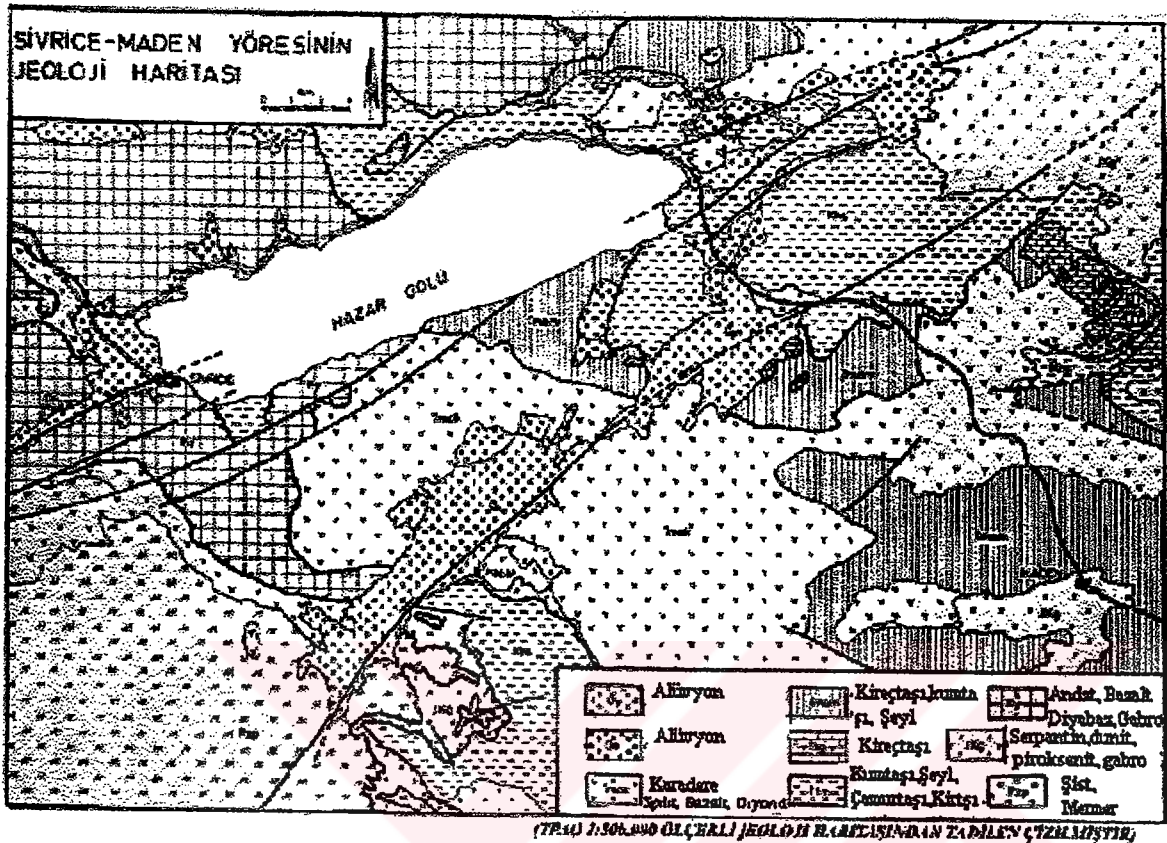
Su kalite parametreleri	Su kalite sınıfları			
	I	II	III	IV
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6-9	>6 - 9>
Radyoaktivite (pCi/L)				
Alfa radyoaktivitesi	1	10	10	>10
Beta radyoaktivitesi	10	100	100	>100

4.5. Hazar Gölü Yakın Çevresinin Jeolojisi ve Gölün Oluşumu

Elazığ bölgesinin tek doğal gölü olan Hazar Gölü'nün (Gölcük Gölü), günümüz koşullarında değeri son derece artmıştır. Hazar Gölü morfolojisi hakkında bilgiler 1900'lü yılların başlarına kadar gitmektedir. Bu konuyla ilgili en yeni bilimsel çalışma ise Biricik'e (1993) aittir [Tatar, 1995].

Hazar Gölü yaklaşık elips biçimli, uzun eksenini yaklaşık 20 km olup, doğu güneydoğu-batı kuzeybatı doğrultusunda; ortalama genişliği 4,5 km, en geniş yeri doğu kesiminde ve 5,4 km, en dar yeri ise batı kesiminde ve 3,8 km olan bir tektonik göldür. Göl alanı 81 km², göl yüzeyinin rakımı ise 1248 m dir. Göl havzası oldukça engebelidir. Doğu Anadolu Fay Kuşağı'nın içinde bir çöküntü alanı olan havzanın kuzeyinde Çelemlik Dağı (1747 m) ve Mastar Dağı (1724 m), güneyinde ise, Hazar Baba Dağı (2347 m) bulunmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi kuzey kesim güney kesimine göre daha az yüksektir. Ayrıca gölün kuzey kıyısı daha girintili çıkıntılı, güney kıyısı ise daha düzgündür. Havza elips şeklindeki göle paralel olarak 40 km uzunlukta ve ortalama 7 km enindedir. Havzanın genişliği ise 280 km² dir. Havzada çoğunlukla gölün uzun eksenine dik, kısa ve eğimli vadiler bulunmaktadır. Gölün uzun eksenine paralel olarak batıdan gelen ve Sivrice'de göle dökülen Kürk Çayı havzanın en büyük vadisidir. Hazar Gölü ve yakın çevresinin jeoloji haritası Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

Suyu hafif sodalı (Na₂CO₃, 726,10 mg/L) ve hafif tuzlu (NaCl, 728,60 mg/L) olan gölün derinliği hakkında değişik bilgiler verilmektedir. Biricik, 1993'ün belirttiğine göre, gölün en derin noktası için Huntington (1902) 213,96 m, Chaput (1936) 300 m, Karran (1960) 152 m, Biricik (1993) ise 80 m rakamını vermektedir. Gölün en derin kısmı güney doğuda bulunmaktadır.



Şekil 4.1: Sivrice-Maden yöresinin jeoloji haritası [Yiğit, 1994].

Hazar Gölü'nün, 1957 yılına kadar kuzeydoğu köşesinde Dicle nehrini besleyen gideğeni varken, günümüzde göl seviyesinin düşmesiyle alüvyon örtü altında “killi birimler” ortaya çıktığından gölün Dicle nehrini beslemesi imkânsız hale gelmiş ve göl kapalı bir havzaya dönüşmüştür [Şen ve Topkaya, 1997].

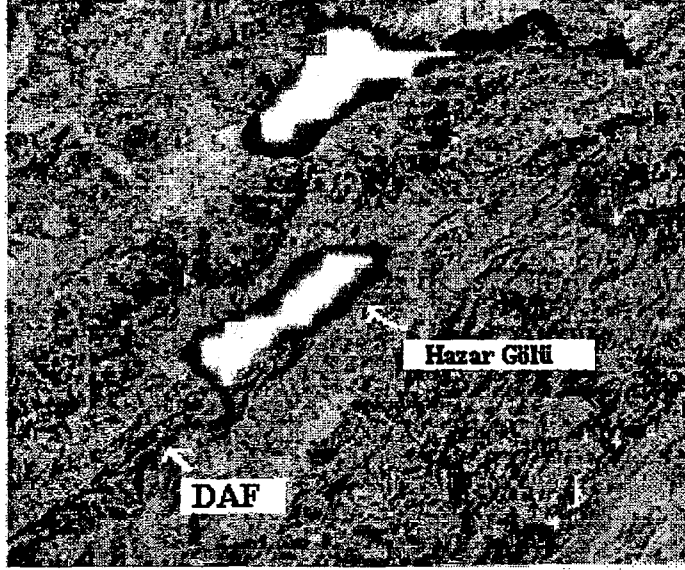
Hazar Gölü çevresinin genelleştirilmiş ölçeksiz stratigrafik kesiti Şekil 4.2’de görülmektedir.

4.6. Hazar Gölü Tektonik Özellikleri

Hazar Gölü gerek jeolojik konumu, gerekse oluşum şekli yerbilimcilerin yakın ilgisini çekmiş ve bu nedenle birçok araştırmacı gölün ve yakın çevresinin tektonik özellikleriyle ilgili araştırmalar yapmıştır [Hempton vd., 1983; Hempton, 1984; Dune and Hempton, 1984; Tatar, 1987; Herece ve Akay, 1992; Turan, 1993; Gürocak, 1993; Kaya, 1993].

Yaş	Rim	Sim	LİTOLOJİ	ACIKLAMALAR
Pliyo K.		PiQal		Alt seviyeler iyi tutturulmuş üst seviyeleri gevşek olan eski ve yeni alüvyonlar
Orta Eosen	Maden Karış.	T ₃		Bazalt, andezit, volkano tortul birimler, yastık lavlar diyabaz dayklar Kumtaşı, çamurtaşı Konglomera mercekleri ve volkano tortul birimler
Maastrichtiyen - Alt Eosen	Hazar Grubu	T _h		gri pembe renkli kireçtaşı Kumtaşı-Çamurtaşı çamurtaşı-Kumtaşı Kalın tabakalı kireçtaşı Kumlu kireçtaşı ve kumtaşı mercekleri içeren çamurtaşı-kumtaşı ardalanması Kumlu çamurtaşı-Çamurtaşı Kırmızı kumtaşı Kumlu kireçtaşı mercekleri içeren kırmızı konglomera
Senoniyen	Yüksekova Karış.	T ₂		Andezitik lavlar ve volkano tortul kayalar Andezitik dayklar Bazaltik yastık lavlar Gebro, diyonit, gramodiyonit, masif diyabaz ve diyabaz daykları
Jura Alt Ertase	Guleman Gr.	Q ₂		Banlı Gebro
Paleozoyik mezozoyik	Pütürge metomorf.	P _m		Metakuvarsitler Rekristalize kireçtaşları Tabakalı kalkerler

Şekil 4.2: Hazar Gölü yakın çevresinin genelleştirilmiş ölçeksiz stratigrafik kesiti [Tatar, 1995].



Şekil 4.3: Landsat uydusundan alınan Hazar Gölü ve Doğu Anadolu Fayı uydü fotoğrafı [MTA, 2000].

Gerçekten Hazar Gölü ve çevresinin kendine özgü bir tektonik oluşumu vardır. Bölge, Türkiye'nin önemli tektonik yapılarından olan Doğu Anadolu Fayı (DAF) üzerindedir (Şekil 4.3). Bu fay gölün oluşumundaki en önemli sebeptir. Elazığ ve yakın çevresinde paleozoik yaşı başkalaşım kayalar, mezozoik yaşı magmatik kayalarla senozoik yaşı çeşitli oluşumlar vardır. Başkalaşım kayalar, rekristalize kireç taşlarıyla temsil edilmekte olup geniş yayılımları vardır. Mezozoik yaşı, genel olarak damar ve yüzey kayaları ile temsil edilmişlerdir. Senozoik yaşı, türlü oluşumlar kireçtaşları, konglomera kil ve kum taşları, bazaltlar şeklinde bir istif sunarlar [Kaplan, 1998].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Su Numunelerinde Alfa ve Beta Radyoaktivitesinin Ölçülmesi ve Sayım

Hataları

%95 güvenirlik seviyesindeki standart sapma aşağıdaki denklem ile verilir:

$$E_s = \pm 1,96 (N_s / t_s + N_b / t_b)^{1/2} \quad (5.1)$$

Burada N_s ; örneğin veya taban sayımının cpm cinsinden sayma hızı, t_s ; örnek veya taban sayımının dakika cinsinden sayma zamanı, E_s ise, net sayma hızının (cpm) %95 güvenirlik seviyesindeki hatasıdır. Bu tür istatistik analizler ancak toplam sayımların otuzdan büyük olması durumunda geçerlidir.

Sayma hızlarının toplama ve çıkarılması hallerinde toplam veya farkın hatası şöyle verilir:

$$E = \pm (E_a^2 + E_b^2)^{1/2} \quad (5.2)$$

Bu denklemde, E_a ve E_b toplanan veya çıkarılan değerlerin hatasıdır.

5.2. Verim Düzeltmeleri

Sayma hızını bölünmelere dönüştürmek için aşağıdaki denklemden faydalanılır:

$$dpm = cpm / \text{verim} = cpm / G B T = cpm \times (VDF) \quad (5.3)$$

Burada G, B ve T geometri, geri saçılma ve kendi kendine emilme (self absorbsiyon) için düzeltme faktörleridir. $1/GBT$ ise “Verim Düzeltme Faktörü” veya kısaca VDF’dir.

Kalınlık, örneğin ağırlığı ile etkin alana göre değişme gösterir ve denklem (5.4) ile ifade edilir.

$$\text{Kalınlık (mg/cm}^2\text{)} = (\text{örneğin mg cinsinden ağırlığı}) / (\text{etkin alan}) \quad (5.4)$$

Alüminyum tabla (planşet) üzerinde sayılan alfa aktivitesi için verim düzeltme faktörü (5.5) denklemi ile verilir.

$$VDF = 1 / V \times (T) \quad (5.5)$$

Bu denklemdeki T'nin değeri, mg/cm^2 cinsinden kalınlığın fonksiyonu olarak daha önceden belirli standartlara göre çizilmiş eğriden bulunur (U_3O_8 için self absorpsiyon eğrisi) [Karahan,1997]. Denklem (5.5)'deki V parametresi verimdir.

5.3. Su Numunelerinin Alfa ve Beta Aktivitelerinin Hesaplanması

Su örneklerinin alfa aktivitesi denklem (5.6), beta aktivitesi ise denklem (5.7) kullanılarak hesaplanır.

$$A_\alpha = (N \times VDF) / 2,22 \quad (5.6)$$

$$A_\beta = (0,391 \times R \times N_m) / N_0 \quad (5.7)$$

Burada, A_α ve A_β ; pCi cinsinden alfa ve beta aktiviteleri, N; örneğin dakikadaki net sayım sayısı, VDF; verim düzeltme faktörü, R; bir dakikadaki net beta sayımı, N_m ; mg/cm^2 cinsinden örneğin özel kütlesi, N_0 ise, ilgili uyarlama (kalibrasyon) eğrisinden bulunan ve örneğin özel (spesifik) kütlesine karşı gelen sayım sayısıdır [Alkan, 1989; Karahan, 1997; Canbazoglu, 1998].

5.4. Algılama Verimi

Algılama verimi, radyasyon ölçen cihazların radyoaktif kaynaktan yayılan radyasyonun algılayıcılar (detektörler) vasıtasıyla verimli sinyale dönüştürme işidir. Gama ışınları yayan kaynağın radyoaktivitesi η ve γ radyasyonu için ξ ; kaynağın yayılım oranı olmak üzere,

$$\xi(\gamma\text{-ışını/s}) = 3,7 \times 10^4 (\text{bozunum}/\mu\text{Ci.s}) \times A (\mu\text{Ci}) \times \eta (\gamma\text{-ışını/bozunum}) \quad (5.8)$$

dır. Burada, A kaynağın aktivitesidir. Eğer kaynaktan kaydedilen sayım hızı R (sayım/s) ise, bu durumda algılama verimi olan D, kullanılan sistem için,

$$D = \frac{R}{\xi} \quad (5.9)$$

ile verilir. Genel olarak, mümkün olduğu kadar algılama veriminin büyük olması istenir. Böylece asgari aktiviteden azami sayım alınmış olur.

Algılama verimine etki eden faktörler kısaca şu şekilde verilebilir:

- 1) **Saçılma ve Emilmeyle Kayıp:** Kaynak içerisinde veya kaynakla algılayıcı arasında bulunan maddeden radyasyonun saçılması veya burada emilmesi.
- 2) **Geometrik verim:** Bu verim algılayıcıyla radyasyon yayan kaynağın kesişmesiyle ilgilidir ve genel olarak algılayıcı büyüklüğüyle kaynaktan olan uzaklığa bağlıdır.
- 3) **Algılayıcının doğal verimi:** Bu verim algılayıcı içerisine her bir yayılmayla giren radyasyonun elektronik araçlara uygun bir sinyale dönüştürülmesi işidir. Bu durum algılayıcı kalınlığı ve algılayıcı materyalinin geometrisine bağlıdır. Bu verimin artırılması, sayımı yapılacak olan radyasyon kaynağının yayınlamış olduğu radyasyon çeşidine göre ayarlanmasıyla sağlanabilir.
- 4) **Algılayıcı çıkış sinyalinin kayıt edici sayım sistemi tarafından kaydedilme verimi:** Bu durum özellikle enerji seçici sayımlarda önemlidir. Örneğin, darbe yüksekliği ayrıştırıcılarında sayım, algılayıcı çıkış sinyalinin genliğine göre yapıldığından burada elektronik cihazların sinyal genliğinin çok az farklı alanları seçebilme özelliğine sahip olmaları gerekir [Knoll, 1979; Kleinknecht, 1990].

Teorik olarak algılayıcı verimi, her bir verimin hesaba katılmasıyla verilebilir.

$$D = F \times g \times \varepsilon \times f \quad (5.10)$$

Bu denklemde, F; kaynakla algılayıcı arasındaki materyalden dolayı emilme ya da saçılma faktörü, g; geometrik verim, ε ; algılayıcının doğal verimi, f, darbe yüksekliği olup sinyalin ayrıştırıcı penceresine düşen kısmıdır.

Taylor (1963) ve Knoll (1979)'a göre algılayıcı verimini iki sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlar, mutlak ve asıl verimlerdir. Mutlak verimi aşağıdaki şekilde tanımlayabiliriz:

$$\epsilon_{mut} = \frac{N_D}{N_K} \quad (5.11)$$

Denklem (5.11) katı açı içermez ve bu denklemde N_D ; algılayıcı tarafından kaydedilen darbelerin sayısı, N_K ; kaynak tarafından yayınlanmış olan radyoaktif parçacık sayısıdır. Bu iki verimi izotropik kaynaklar için, $\epsilon_{asl} = \epsilon_{mut} 4\pi/\Omega$ olarak ifade edebiliriz. Bu denklemde Ω , algılayıcının katı açısıdır. Bir algılayıcının gerçek verimi; algılayıcı materyali, radyasyon enerjisi ve gelen radyasyon doğrultusundaki algılayıcının fiziksel kalınlığı gibi özelliklere bağlıdır.

Bütün darbelerin algılayıcıda meydana geldiği düşünüldüğünde, sayım verimi toplam verim olarak düşünülebilir. Pik veriminin toplam verime oranını r ile gösterilirse aşağıdaki denklem yazılabilir.

$$r = \frac{\epsilon_{pik}}{\epsilon_{top}} \quad (5.12)$$

Sonuç olarak, bir algılayıcı verimi, bahsedilen kriterlerin her ikisine uygun şekilde tanımlanabilir. Verimi bilinen algılayıcıyla, bir radyoaktif kaynağın mutlak aktivitesi ölçülebilir. Gerçek pik verimi ϵ_{ger} , bilinen bir algılayıcı spektrumundaki bütün enerji piki altındaki N sayımı kaydetmek için kullanılabilir. Eğer radyasyonunun izotropik olarak yayıldığı ve algılayıcıyla kaynak arasındaki mesafenin değişmediği kabul edilirse kaynak tarafından yayınlanan radyasyon parçacık sayısı S ,

$$S = N \frac{4\pi}{\epsilon_{ger}\Omega} \quad (5.13)$$

şeklinde verilir. Burada Ω ; katı açıdır. Katı açığı algılayıcı yüzeyi üzerindeki bir integrale tanımlayabiliriz [Knoll, 1979: Canbazoğlu'ndan, 1998]:

$$\Omega = \int_A \frac{\cos \alpha}{r^2} dA \quad (5.14)$$

Bu denklemde, r ; kaynakla dA kadarlık yüzey elemanı arasındaki mesafedir. α ise kaynak doğrultusu ve onun normali arasındaki açıdır. Silindirik yapıda olan bir algılayıcının x-ekseni boyunca yerleşmiş olan nokta kaynak için katı açı ise,

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}} \right) \quad (5.15)$$

şeklinde verilebilir. Bu denklemde, d ; kaynakla algılayıcı arasındaki mesafe ve a ; algılayıcı yarıçapıdır [Knoll, 1979: Canbazoğlu'ndan, 1998].

5.5. Hazar Gölü Sularının Aktivitelerini Belirlemek İçin Kullanılan Sayım Sistemi

Hazırlanan örneklerin alfa sayımı, 7286 Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı ile gerçekleştirilmiştir. Alfa sayımları için 44 mm çapında ZnS kaplı katı bir parıldayıcı kullanılmıştır. Örneklerin beta radyoaktivitesinin belirlenmesi işleminde ise, 2059 plastik parıldayıcı ve sayıcısı SR-8 olan, beta sayım sistemi kullanılmıştır.

5.6. Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısının Uyarlanması (Kalibrasyonu)

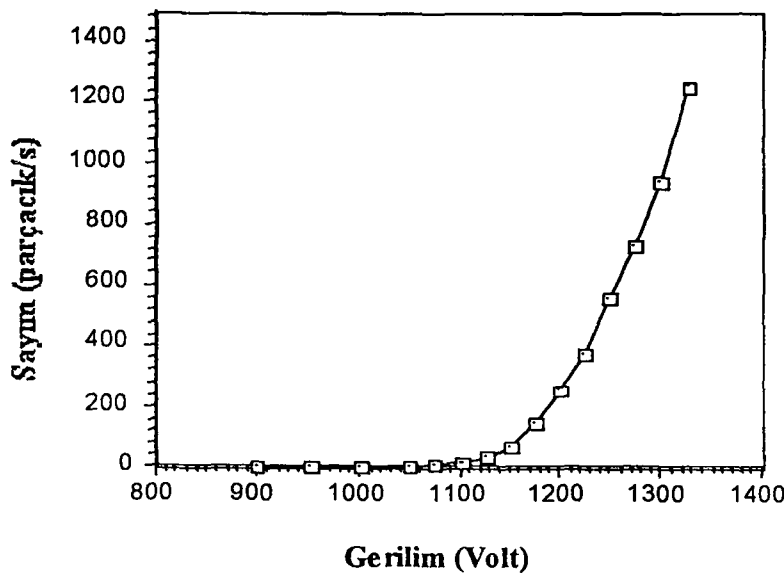
Knoll (1979) ve Leo (1987), bir detektörün doğru ve en verimli şekilde sayım yapılabilmesi için detektöre uygulanan yüksek gerilim ve eşik (threshold) voltajı değerlerinin belirlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu işleme uyarlama işlemi adı verilir [Canbazoğlu, 1998].

Düşük seviyeli alfa sayıcısının uyarlanması için yapılan işlemler sırasıyla aşağıdaki gibidir:

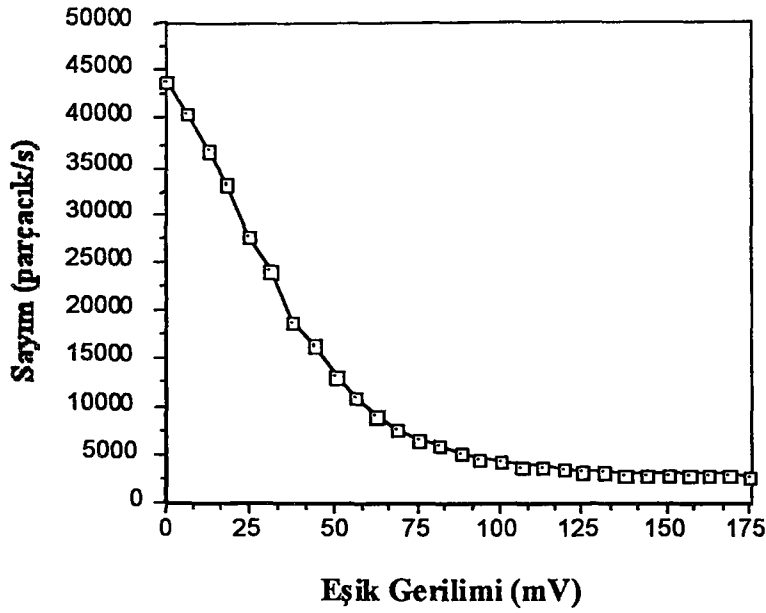
a) Herhangi bir radyoaktif kaynak kullanmadan 0 Volt ile 1325 Volt arasında 25 Volt aralıklarla detektöre uygulanan gerilim artırılmış ve her gerilim adımı için taban 10 s zaman kademesinde üç sayım yapılmıştır. Böylece her gerilim adımı için taban sayım hızı (cpm) belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar kullanılarak sayım hızı-gerilim grafiği çizilmiştir (Şekil 5.1).

b) Sistemin azami verimle çalışabilmesi için foto çoğaltıcı tüpün elektronik gürültü bölgesinin hemen altındaki gerilim detektöre uygulanması gereken yüksek gerilim değeri olarak belirlenmiştir. Bu değer Şekil 5.1 de görüldüğü gibi 1200 Volttur.

c) Aktivitesi bilinen bir radyoaktif kaynak detektör önüne bırakılmış ve çalışma gerilimi olan 1200 Volt detektöre uygulanmıştır. Uygulanan çalışma gerilimi sabit kalmak şartıyla eşik gerilim 0 ilâ 175 mV arasında 6,25 mV aralıklarla artırılmış ve her artış için 10 s zaman kademesinde üç sayım alınmıştır. Artış adımlardaki her eşik gerilimi için radyoaktif kaynağın sayım hızı belirlenmiştir. Alınan sonuçlar Şekil 5.2’de çizilmiştir. Sayım Hızı-Gerilim grafiğinde eşik gerilimi ile sayım hızının lineer olarak değiştiği bölge bulunur ve hemen hemen bu lineer bölgede bulunan en yüksek eşik gerilimi belirlenir [Canbazoglu, 1998].



Şekil 5.1: Uygulama geriliminin belirlenmesi [Canbazoglu, 1998].

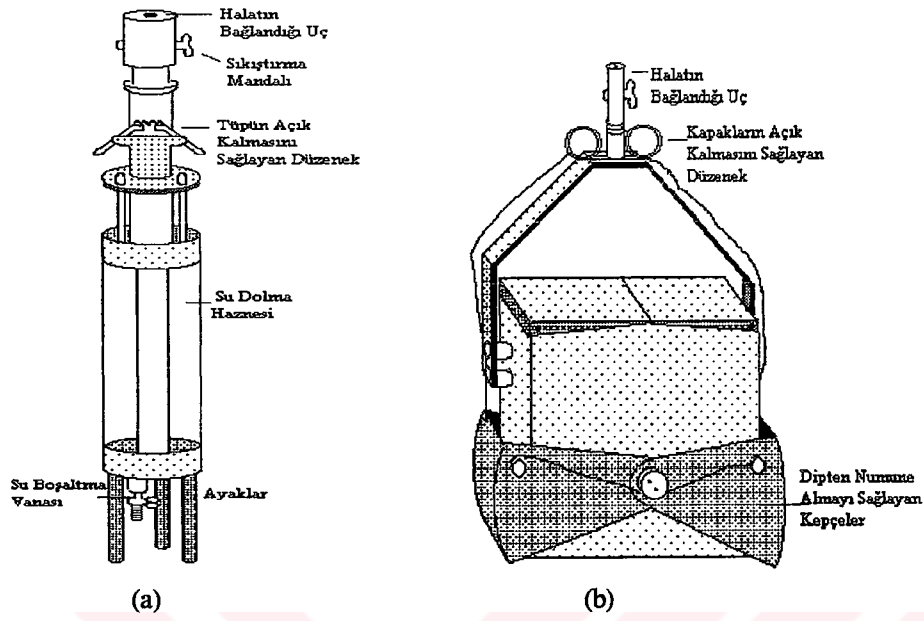


Şekil 5.2: Sayım hızının eşik gerilimiyle değişimi [Canbazoglu, 1998].

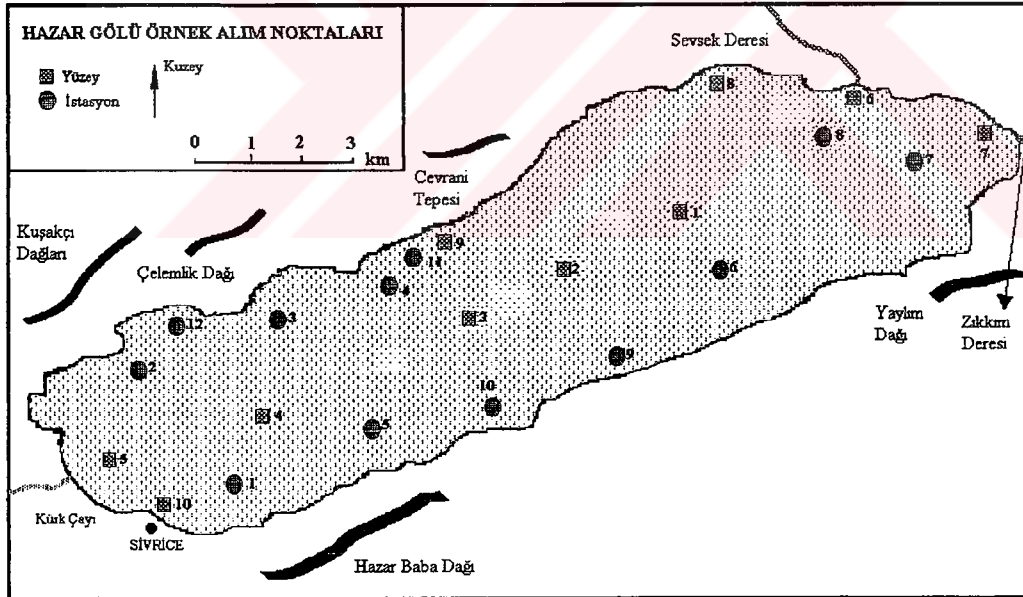
Sırasıyla verdiğimiz bu işlemler düşük seviyeli alfa sayıcısının ayarlanması işlemleridir. Beta sayıcısı ve diğer sayım sistemlerinin ayarlanması işlemleri de benzer yöntemlerle yapılmıştır.

5.7. Örnek Alma Cihazları ve Alım Noktaları

Radyoaktivite analizi yapılan su örneklerinin alınmasında kullanılan Hydro-Bios Apparatebau GmbH firmasının üretimi olup net hacmi 1000 mL olan standart su örneği alma cihazı ve dip çamurunu almakta kullanılan, dip kepçesi Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3: (a) Su alma cihazı, (b) Toprak kepçesi.



Şekil 5.4: Hazar Gölü, su örneklerinin alındığı istasyonlar ve yüzey bölgeleri.

Bu cihazları kullanarak alınan örnek yerlerini gösteren harita ise Şekil 5.4'te verilmiştir.

5.8. Su Örneklerinin Radyoaktivite Analizi İçin Hazırlanması

Hazar Gölü'nden alınan su örneklerinin radyoaktivite analizi için, sterilize edilmiş 1 L'lik cam şişeler kullanılmıştır. Saf suyla dikkatlice temizlenen 100 mL'lik beherler yardımıyla aynı şişeden 3 örnek hazırlanmıştır. Beherlere alınan su örneklerini, ısıtıcı yardımıyla kaynatmadan buharlaştırıldıktan sonra, beherde kalan tortular, ıspatullar yardımıyla, darası alınmış yüzey alanı $11,34 \text{ cm}^2$, derinliği yaklaşık 4-5 mm olan alüminyum tablalar içerisine saf su yardımıyla konulmuştur. Tablalar içerisindeki sıvı fazdaki tortu, dalga boyu 254-366 nm olan morötesi lamba altında kurutulduktan sonra, örnekler alfa ve beta radyoaktivitelerine duyarlı algılayıcı sistemleriyle sayılmıştır.

5.9. Su Örneklerinin Kimyasal Analizi

Hazar Gölü'nden alınan su örneklerinin kimyasal analizleri; örneklerin pH, toplam sertlik ve elektriksel iletkenliklerine bakılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden pH tayini, örnek alım noktasında elektriksel iletkenlik ve sertlik tayinleri ise, laboratuvarında en kısa zaman içerisinde yapılmıştır.

5.9.1. Reaksiyon (pH)

Suyun asitlik ve alkenlik derecesinin ifadesi olan reaksiyon terimi genelde, bir ortamın asit, nötr veya bazik olduğunu belirtmek için kullanılır ve kısaca pH simgesi ile gösterilir. Bir ortamın pH'ı denildiği zaman, o ortamda bulunan hidrojen iyonu yoğunluğunun belirtilmesi amaçlanır (Tablo 5.1).

pH değeri 9,0'un üzerinde olan suların sulamada kullanılması sakıncalıdır. Düşük pH değerlerinin (4,5 veya daha düşük) ise, bir çok bitkide önemli ölçüde ürün

Tablo 5.1: pH'a göre H^+ ve OH^- iyonları miktarları ve asitlik sınıfları [Tuncay, 1994].

H^+ İyonu konsantrasyonu	OH^- İyonu konsantrasyonu	PH
10^{-4}	10^{-10}	4 Çok şiddetli asit
10^{-5}	10^{-9}	5 Şiddetli asit
10^{-6}	10^{-8}	6 Orta asit
10^{-7}	10^{-7}	7 Nötr
10^{-8}	10^{-6}	8 Orta alkali
10^{-9}	10^{-5}	9 Şiddetli alkali
10^{-10}	10^{-4}	10 Çok şiddetli alkali

verimi düşüşüne neden olduğu yapılan denemelerde saptanmıştır [Tuncay, 1994].

5.9.2. Elektriksel İletkenlik

Akım geçirme özelliği su içerisinde bulunan iyonların tipine ve yoğunluğuna bağlıdır. Sudaki iyon yoğunluğu ne kadar fazla olursa geçirgenlik o kadar fazla, buna karşılık direnç o kadar az olur. Elektriksel direnç (R), 1 cm uzunluğunda ve 1 cm² yüzeye sahip metalik veya elektrolit bir iletkenin belirli sıcaklıkta elektrik akımına karşı gösterdiği direnç olup birimi “ohm” dur. Bu nedenle, elektriksel geçirgenlik; ohm/cm biriminin tersi olarak her santimetre kareye mho veya mho/cm şeklinde ifade edilmekte olup “EC” sembolüyle de gösterilir. Bu durumda elektriksel geçirgenlik $EC=1/R$ denkleminde eşit olur. Elektriksel geçirgenlik, genellikle 25 °C sıcaklıkta, 1 cm uzunluk ve 1 cm² kesit alanına sahip su sütununun, ohm olarak elektriksel direncinin tersi olarak tarif edilebilir [Gölhan ve Aksoğan, 1970; Tuncay, 1994]. Elektriksel iletkenliğin raporlarda gösteriminde genellikle “µmho/cm” ifadesi kullanılmaktadır.

5.9.3. Suyun Toplam Sertliği

Suyun sertliği, temas etmiş olduğu topraktaki minerallerin erimesinden veya endüstri artıklarının su içerisine karışmasından meydana gelir. Suda sertliği meydana getiren Ca ve Mg metallerinin, saf suda erime kabiliyetleri nispeten azdır. Su, CO₂ içerirse, karbonik asit meydana gelir. Bu asit, kalkerleri eritir ve bikarbonat haline çevirir. Böylece, CO₂ doğadaki sularda sertliği meydana getiren en önemli etken olarak karşımıza çıkar.

Sulardaki sertliği ifade etmekte, en çok kullanılan birimlerden biri de Fransız sertlik derecesidir (Fr°). Bu çalışmada, Hazar Gölü sularının sertlik analizinde bu birim kullanılmıştır.

Ağırlık üzerinden 10⁵ kısım, sudaki sertlik meydana getiren maddelerin CaCO₃ cinsinden eş değer (ekivalent) miktarını gösterir. Bu birim “ekivalent kalsiyum karbonat” (mg/L) biriminin onda birine eşittir. Eğer, herhangi bir suyun sertlik derecesi 23 Fr° ise, bu suyun 100.000 gramının içinde 23 g CaCO₃’a eşdeğer miktarda sertlik meydana getirici çeşitli maddeler bulunduğu anlaşılır. Bu miktar 230 ppm veya takriben 230 mg/L miktarlarına eşittir [Gölhan ve Aksoğan, 1970].

5.10. Kimyasal Analizlerde Kullanılan Cihazlar ve Kimyasal Malzemeler

pH ölçümlerinde, Orion marka (model 230 A) dijital pH metre, elektriksel iletkenlik ölçümlerinde ise, Jenway marka (model 4070) dijital iletkenlik ölçer kullanılmıştır. Toplam sertliğin belirlenmesinde ise, titrasyon sistemini kullanarak, titrimetrik metot yardımıyla ölçümler gerçekleştirilmiştir.

5.10.1. Su Örneklerinin Toplam Sertliğinin Belirlenmesi

Hazar Gölü'nden alınan su örneklerinin toplam sertliğinin belirlenmesinde EDTA titrimetrik metodu kullanılmıştır. Etilen Diamin Tetra Asetik Asit (EDTA) veya bunun sodyum tuzları, bazı metal tuzlarıyla çözünebilen kompleksler oluşturmaktadırlar.

Sertlik tayininde kullanılan çözeltiler,

1-Tampon Çözelti: 1,179 g $\text{Na}_2\text{H}_2\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_8\text{N}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (Etilen diamin tetra asetik asit disodyum tuzu dihidrat) ve 780 mg $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ 50 mL saf suda çözülür. Bu çözelti karıştırma ile 143 mL derişik NH_3 ve 16,9 g NH_4Cl içeren çözeltiye ilave edilir. Sonra saf su ile toplam hacim 250 mL'ye tamamlanır.

2- Toz NaCN (zehirlidir), dönüm noktasını keskinleştirir.

3- İndikatör Çözeltisi: 0,5 g Eriokrom Siyah-T ve 4,5 g hidroksilamin, HCl ile karıştırılır. 100 mL %96'lık etil alkolde çözülür.

4- Standart 0,01M EDTA Çözeltisi: 3,723 g EDTA suda çözülerek toplam hacim 1 L'ye tamamlanır (Bu çözeltinin 1 mL'si 1 mg CaCO_3 'a eşdeğerdir).

5.10.1.1. Deneyin Yapılışı

25 mL su örneğine, sırasıyla 1-2 mL tampon çözelti, 250 mg NaCN ve 1-2 damla indikatör çözeltisi ilave edilir. Standart 0,01M EDTA, su örneğinin rengi kırmızıdan maviye dönüşünceye kadar titre edilir. Son olarak denklem (5.16) yardımıyla toplam sertlik hesaplanır.

$$\text{Sertlik (mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{A \times 1000}{\text{ÖrnekHacmi (mL)}} \quad (5.16)$$

Burada A, titrasyonda harcanan EDTA çözeltisidir (mL) [Gölhan ve Aksoğan, 1970].

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Hazar Gölü sularının toplam alfa ve beta radyoaktivitelerinin belirlenmesi işlemlerinde göl genel olarak tanımlanmaya çalışılmıştır. Bu nedenle, bütün göl alanı taranmıştır. Elde edilen sonuçlar toplu olarak tablolar halinde verilmiş daha sonra da sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar; toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri, kimyasal özellikler, göl sahasının jeolojik özellikleri, Hazar Gölü sularının toplam radyoaktivite, pH, sertlik, iletkenlik açısından çevreye etkileri, toplam radyoaktivitenin mevsimsel ve derinliğe göre değişimleri göz önüne alınarak yorumlanmıştır.

Gölden su örneklerinin alınmasında, seçilen noktaların çevre halkının kullandığı tesislerin yakınından olmasına, Hazar Gölü ve çevresini karakterize eden jeolojik oluşumların radyoaktiviteye etki ettiğini tahmin ettiğimiz bölgelerden seçilmesine özen gösterilmiştir. Ayrıca, göl üzerinde hakim olan coğrafi etkilerin de göl suyunun radyoaktif ve kimyasal değişimine de katkıda bulunduğu göz ardı edilmemiş, sonuçların yorumlanmasında bu katkı göz önünde bulundurulmuştur.

6.1. Hazar Gölü (Elazığ) Sularının Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite

Seviyeleri ve Bazı Kimyasal Özellikleri

Hazar Gölü'nden alınan su örneklerinin incelenmesinden ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki şekilde tablolar halinde verilmiştir. Aynı istasyondan alınan yüzey (a), orta derinlik (b) ve dip derinlikleri (c), ayrı ayrı tablolastırılmış ve bu tablolar arka arkaya verilmiştir. Ayrıca, dip çamuru alınan bölgelerdeki sonuçlar, su örnekleriyle ilgili bilgilerden hemen sonra gelen tabloda verilmiştir. Dip çamuru alınan istasyonların numaraları, herhangi bir karışıklık olmaması için dip çamuru örnek numarasıyla verilmiştir (Örneğin, 1 numaralı istasyondan alınan çamur, dip çamuru 1 olarak gösterilmiştir). Sadece yüzey suyu alınan bölgelerden elde edilen sonuçlarla, gölün genel bir toplam radyoaktivite seviyesini belirlemek ve bazı kimyasal özelliklerinin düzgün bir dağılımını elde etmek amaçlanmıştır. Ayrıca, istasyon 10, 11 ve 12'den alınan örnekler nisan ayında alınmış, diğer bütün örnekler ise temmuz ayında alınmıştır. Böylece, iki mevsimdeki radyoaktivite sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Örnek alım noktaları Şekil 5.4'te verilmiştir.

Bu kısımda sonuçlar tablolar halinde doğrudan verilmiş olup, sonuçların yorumlanması takip eden kısımlarda ayrı başlıklar halinde verilmiştir.

Örnek alım yerlerine göre hazırlanan tabloların içerikleri aşağıdaki gibidir:

Sivrice Askeriye Kampı açıklarından alınan su örneklerinin incelenmesinden elde edilen sonuçlar, Tablo 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4'te verilmiştir.

Orman ve Belediye Kampı açıklarından alınan su örneklerinin incelenmesinden elde edilen sonuçlar, Tablo 6.5, 6.6, 6.7 ve 6.8'de verilmiştir.

Turpol Tesisleri açıklarından alınan su örneklerinin incelenmesinden elde edilen sonuçlar, Tablo 6.9, 6.10, 6.11 ve 6.12'de verilmiştir.

Doktor Evleri açıklarından alınan su örneklerinin incelenmesinden elde edilen sonuçlar, Tablo 6.13, 6.14, 6.15 ve 6.16'da verilmiştir.

TPAO kampından yaklaşık olarak 1,5 km açıkta alınan su örneklerinin incelenmesinden elde edilen sonuçlar, Tablo 6.17, 6.18, 6.19 ve 6.20'de verilmiştir.

Hazar Gölü'nün çeşitli yerlerinden alınan ve Şekil 5.4'te istasyon adları verilen, su örneklerinin incelenmesinden elde edilen sonuçlar, Tablo 6.21'den 6.33'e kadar olan kısımda verilmiştir.

DDY Kampından alınan su örneklerinin incelenmesinden elde edilen sonuçlar, Tablo 6.34, 6.35 ve 6.36'da verilmiştir.

DSİ Kampından alınan su örneklerinin incelenmesinden elde edilen sonuçlar, Tablo 6.37, 6.38 ve 6.39'da verilmiştir.

Orman Kampından alınan su örneklerinin incelenmesinden elde edilen sonuçlar, Tablo 6.40, 6.41 ve 6.42'de verilmiştir.

Ölçüm değerleri standart sapmadan düşük olan veriler, temel seviye ölçümleridir.

Tablo 6.1: Askeri kampı açıkları (yüzey suları).

Örnek Adı	1-a		
Örnek (Tabla No)	1a-1	1a-2	1a-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,470	1,488	1,483
Net Örnek Kütlesi (g)	0,132	0,089	0,12
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,3200	0,890	1,2000
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	136,2600	96,6726	71,9430
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,6834±0,1307	1,1943±0,1324	0,8888±0,1269
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	45,4980±3,5317	32,2796±3,5794	24,0222±3,4286
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0494±0,0031	0,0221±0,0034	0,0532±0,0037
Beta Aktivitesi (pCi/L)	1,3343±0,0849	0,5978±0,0922	1,4383±0,0991
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,64	8,64	8,64
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2440	2440	2440
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	400	400	400

Tablo 6.2: Askeri kampı açıkları (orta derinlik suları).

Örnek Adı	1-b		
Örnek (Tabla No)	1b-1	1b-2	1b-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,510	1,482	1,494
Net Örnek Kütlesi (g)	0,126	0,121	0,122
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,2600	1,2100	1,2200
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	66,0964	72,5177	62,2212
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,8166±0,1250	0,8959±0,1106	0,7687±0,1174
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	22,0700±3,3793	24,2141±2,9893	20,7760±3,1733
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0056±0,0038	0,0476±0,0039	0,0305±0,0034
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,1523±0,1037	1,2861±0,1048	0,8235±0,0929
Derinlik (m)	4	4	4
pH	8,48	8,48	8,48
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2420	2420	2420
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	420	420	420

Tablo 6.3: Askeri kampı açıkları (dip derinlik suları).

Örnek Adı	1-c		
Örnek (Tabla No)	1c-1	1c-2	1c-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,497	1,552	1,479
Net Örnek Kütlesi (g)	0,156	0,147	0,148
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,5600	1,4700	1,4800
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	51,4658	56,0290	62,7884
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,6358±0,1539	0,6922±0,1373	0,7757±0,1263
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	17,1847±4,1594	18,7084±3,7113	20,9654±3,4139
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,1137±0,0028	0,0480±0,0033	0,0126±0,0034
Beta Aktivitesi (pCi/L)	3,0717±0,0764	1,2983±0,0880	0,3411±0,0908
Derinlik (m)	8	8	8
pH	8,26	8,26	8,26
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2380	2380	2380
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	440	440	440

Tablo 6.4: Askeri kampı açıkları (dip çamuru).

Örnek Adı	Dip Çamuru 1		
Örnek (Tabla No)	1-1	1-2	1-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,5125	1,5192	1,5124
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1545	0,1632	0,1223
Aktif Madde Miktarı (µg)	35,6643	8,4533	31,4845
Alfa Aktivitesi (Bq/g)	0,4406±0,0979	0,1044±0,0866	0,3890±0,0868
Alfa Aktivitesi (pCi/g)	11,9085±2,6457	2,8226±2,3404	10,5129±2,3447
Beta Aktivitesi (Bq/g)	0,0006±0,0019	0,0312±0,0017	0,0141±0,0028
Beta Aktivitesi (pCi/g)	0,0152±0,0501	0,8421±0,0456	0,3824±0,0748
Derinlik (m)	9	9	9

Tablo 6.5: Orman ve Belediye kampı açıkları (yüzey suları).

Örnek Adı	2-a		
Örnek (Tabla No)	2a-1	2a-2	2a-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,511	1,483	1,496
Net Örnek Kütlesi (g)	0,119	0,124	0,125
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,1900	1,2400	1,2500
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	101,5632	76,2623	60,0080
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,2548 $\pm$ 0,1116	0,9422 $\pm$ 0,1239	0,7414 $\pm$ 0,1212
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	33,9126 $\pm$ 3,0152	25,4644 $\pm$ 3,3475	20,0370 $\pm$ 3,2752
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0471 $\pm$ 0,0039	0,0182 $\pm$ 0,0034	0,0830 $\pm$ 0,0033
Beta Aktivitesi (pCi/L)	1,2740 $\pm$ 0,1062	0,4906 $\pm$ 0,0926	2,2426 $\pm$ 0,0891
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,59	8,59	8,59
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2370	2370	2370
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	375	375	375

Tablo 6.6: Orman ve Belediye kampı açıkları (orta derinlik suları).

Örnek Adı	2-b		
Örnek (Tabla No)	2b-1	2b-2	2b-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,489	1,482	1,520
Net Örnek Kütlesi (g)	0,134	0,131	0,132
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,3400	1,3100	1,3200
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	114,9286	47,0660	134,2457
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,4199 $\pm$ 0,1352	0,5815 $\pm$ 0,1178	1,6585 $\pm$ 0,1394
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	38,3753 $\pm$ 3,6539	15,7156 $\pm$ 3,1828	44,8254 $\pm$ 3,7663
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0034 $\pm$ 0,0036	0,0094 $\pm$ 0,0038	0,0010 $\pm$ 0,0034
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,0923 $\pm$ 0,0972	0,2550 $\pm$ 0,1015	0,0267 $\pm$ 0,0908
Derinlik (m)	4	4	4
pH	8,33	8,33	8,33
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2360	2360	2360
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	375	375	375

Tablo 6.7: Orman ve Belediye kampı açıkları (dip derinlik suları).

Örnek Adı	2-c		
Örnek (Tabla No)	2c-1	2c-2	2c-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,553	1,579	1,560
Net Örnek Kütlesi (g)	0,163	0,174	0,167
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,6300	1,7400	1,6700
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	13,7863	31,4589	17,6772
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,1703 $\pm$ 0,1253	0,3887 $\pm$ 0,1368	0,2184 $\pm$ 0,1344
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	4,6033 $\pm$ 3,3876	10,5043 $\pm$ 3,6985	5,9025 $\pm$ 3,6335
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,1068 $\pm$ 0,0030	0,1805 $\pm$ 0,0032	0,1031 $\pm$ 0,0038
Beta Aktivitesi (pCi/L)	2,8865 $\pm$ 0,0819	4,8783 $\pm$ 0,0867	2,7865 $\pm$ 0,1031
Derinlik (m)	8	8	8
pH	8,14	8,14	8,14
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2350	2350	2350
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	380	380	380

Tablo 6.8: Orman ve Belediye kampı açıkları (dip çamuru).

Örnek Adı	Dip Çamuru 2		
Örnek (Tabla No)	2-1	2-2	2-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,4398	1,430	1,5100
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1238	0,0850	0,1544
Aktif Madde Miktarı (μg)	31,4927	47,0838	17,2960
Alfa Aktivitesi (Bq/g)	0,3891 $\pm$ 0,0911	0,5817 $\pm$ 0,0906	0,2137 $\pm$ 0,0906
Alfa Aktivitesi (pCi/g)	10,5156 $\pm$ 2,4626	15,7216 $\pm$ 2,4496	5,7752 $\pm$ 2,4481
Beta Aktivitesi (Bq/g)	0,0424 $\pm$ 0,0029	0,0726 $\pm$ 0,0060	0,0246 $\pm$ 0,0022
Beta Aktivitesi (pCi/g)	1,1450 $\pm$ 0,0775	1,9617 $\pm$ 0,1628	0,6636 $\pm$ 0,0589
Derinlik (m)	9	9	9

Tablo 6.9: Turpol Tesisleri açıkları (yüzey suları).

Örnek Adı	3-a		
Örnek (Tabla No)	3a-1	3a-2	3a-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,529	1,442	1,473
Net Örnek Kütlesi (g)	0,126	0,111	0,11
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,2600	1,1100	1,1000
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	66,1531	74,2743	82,6331
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,8173 $\pm$ 0,1283	0,9176 $\pm$ 0,1048	1,0209 $\pm$ 0,1036
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	22,0889 $\pm$ 3,4666	24,8006 $\pm$ 2,8337	27,5917 $\pm$ 2,8007
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,2807 $\pm$ 0,0053	0,0045 $\pm$ 0,0039	0,0729 $\pm$ 0,0039
Beta Aktivitesi (pCi/L)	7,5854 $\pm$ 0,1421	0,1223 $\pm$ 0,1050	1,9703 $\pm$ 0,1052
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,22	8,22	8,22
Elektiriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2350	2350	2350
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	490	490	490

Tablo 6.10 : Turpol Tesisleri açıkları (orta derinlik suları).

Örnek Adı	3-b		
Örnek (Tabla No)	3b-1	3b-2	3b-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,493	1,496	1,540
Net Örnek Kütlesi (g)	0,125	0,126	0,142
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,2500	1,2600	1,4200
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	86,2158	95,9135	77,6721
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,0652 $\pm$ 0,1308	1,1850 $\pm$ 0,1338	0,9596 $\pm$ 0,1256
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	28,7880 $\pm$ 3,5342	32,0261 $\pm$ 3,6168	25,9352 $\pm$ 3,3945
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0119 $\pm$ 0,0037	0,0010 $\pm$ 0,0035	0,0489 $\pm$ 0,0029
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,3204 $\pm$ 0,0994	0,0277 $\pm$ 0,0936	1,3221 $\pm$ 0,0780
Derinlik (m)	5,5	5,5	5,5
pH	8,18	8,18	8,18
Elektiriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2250	2250	2250
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	490	490	490

Tablo 6.11: Turpol Tesisleri açıkları (dip derinlik suları).

Örnek Adı	3-c		
Örnek (Tabla No)	3c-1	3c-2	3c-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,516	1,566	1,529
Net Örnek Kütlesi (g)	0,137	0,136	0,144
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,3700	1,3600	1,4400
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	71,3610	36,4938	46,7304
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,8816±0,1350	0,4509±0,1137	0,5773±0,1334
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	23,8279±3,6483	12,1855±3,0742	15,6036±3,6045
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0460±0,0031	0,0810±0,0034	0,0009±0,0034
Beta Aktivitesi (pCi/L)	1,2437±0,0840	2,1891±0,0914	0,0249±0,0931
Derinlik (m)	11	11	11
pH	8,04	8,04	8,04
Elektiriksel İletkenlik (µmho/cm)	2340	2340	2340
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	493	493	493

Tablo 6.12: Turpol Tesisleri açıkları (dip çamuru).

Örnek Adı	Dip Çamuru 3		
Örnek (Tabla No)	3-1	3-2	3-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,5596	1,5335	1,518
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1676	0,1385	0,1290
Aktif Madde Miktarı (µg)	1,6709	1,3377	2,2478
Alfa Aktivitesi (Bq/g)	0,0206±0,0799	0,0165±0,0830	0,0278±0,0862
Alfa Aktivitesi (pCi/g)	0,5579±2,1608	0,4467±2,2426	0,7505±2,3285
Beta Aktivitesi (Bq/g)	0,0307±0,0016	0,0398±0,0025	0,0008±0,0026
Beta Aktivitesi (pCi/g)	0,8289±0,0438	1,0757±0,0676	0,0211±0,0690
Derinlik (m)	12	12	12

Tablo 6.13: Doktor Evleri açıkları (yüzey suları).

Örnek Adı	4-a		
Örnek (Tabla No)	4a-1	4a-2	4a-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,467	1,541	1,431
Net Örnek Kütlesi (g)	0,147	0,14	0,057
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,4700	1,4000	0,5700
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	134,0947	95,5016	28,6535
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,6567±0,1510	1,1799±0,1396	0,3540±0,0505
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	44,7750±4,0817	31,8885±3,7741	9,5676±1,3646
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0009±0,0034	0,0009±0,0035	0,0018±0,0069
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,0254±0,0916	0,0255±0,0952	0,0499±0,1866
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,38	8,38	8,38
Elektiriksel İletkenlik (µmho/cm)	2320	2320	2320
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	420	420	420

Tablo 6.14: Doktor Evleri açıkları (orta derinlik suları).

Örnek Adı	4-b		
Örnek (Tabla No)	4b-1	4b-2	4b-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,471	1,487	1,475
Net Örnek Kütlesi (g)	0,133	0,134	0,128
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,3200	1,3400	1,2800
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	80,9858	44,0740	33,0985
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,0005±0,1181	0,5445±0,1337	0,4089±0,1203
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	27,0417±3,1924	14,7166±3,6145	11,0518±3,2501
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,3624±0,0036	0,2673±0,0044	0,1700±0,0054
Beta Aktivitesi (pCi/L)	9,7935±0,0982	7,2252±0,1199	4,5935±0,1446
Derinlik (m)	12	12	12
pH	8,27	8,27	8,27
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2300	2300	2300
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	430	430	430

Tablo 6.15: Doktor Evleri açıkları (dip derinlik suları).

Örnek Adı	4-c		
Örnek (Tabla No)	4c-1	4c-2	4c-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,546	1,515	1,489
Net Örnek Kütlesi (g)	0,165	0,161	0,119
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,6500	1,6100	1,1900
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	32,4117	2,2558	29,3999
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,4004±0,1333	0,0279±0,1408	0,3632±0,1064
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	10,8225±3,6028	0,7542±3,8044	9,8168±2,8746
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0008±0,0026	0,0632±0,0027	0,0504±0,0036
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,0223±0,0710	1,7082±0,0732	1,3609±0,0980
Derinlik (m)	24	24	24
pH	8,17	8,17	8,17
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2340	2340	2340
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	433	433	433

Tablo 6.16: Doktor Evleri açıkları (dip çamuru).

Örnek Adı	Dip Çamuru 4		
Örnek (Tabla No)	4-1	4-2	4-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,4992	1,5024	1,5442
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1232	0,1518	0,1681
Aktif Madde Miktarı (µg)	13,4958	1,3052	4,1716
Alfa Aktivitesi (Bq/g)	0,1667±0,0932	0,0161±0,0810	0,0515±0,0920
Alfa Aktivitesi (pCi/g)	4,5063±2,5191	0,4358±2,1882	1,3929±2,4869
Beta Aktivitesi (Bq/g)	0,1049±0,0028	0,0006±0,0022	0,0392±0,0019
Beta Aktivitesi (pCi/g)	2,8361±0,0770	0,0157±0,0599	1,0600±0,0503
Derinlik (m)	25	25	25

Tablo 6.17: TPAO kampı açıkları (yüzey suları).

Örnek Adı	5-a		
Örnek (Tabla No)	5a-1	5a-2	5a-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,522	1,538	1,489
Net Örnek Kütlesi (g)	0,122	0,126	0,138
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,2200	1,2600	1,3800
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	66,4461	83,1590	67,7307
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,8209 $\pm$ 0,1156	1,0274 $\pm$ 0,1221	0,8368 $\pm$ 0,1340
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	22,1868 $\pm$ 3,1250	27,7673 $\pm$ 3,3012	22,6157 $\pm$ 3,6221
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0867 $\pm$ 0,0036	0,1219 $\pm$ 0,0032	0,0310 $\pm$ 0,0034
Beta Aktivitesi (pCi/L)	2,3426 $\pm$ 0,0977	3,2944 $\pm$ 0,0853	0,8372 $\pm$ 0,0923
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,48	8,48	8,48
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2310	2310	2310
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	468	468	468

Tablo 6.18: TPAO kampı açıkları (orta derinlik suları).

Örnek Adı	5-b		
Örnek (Tabla No)	5b-1	5b-2	5b-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,556	1,484	1,485
Net Örnek Kütlesi (g)	0,138	0,13	0,134
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,3800	1,3000	1,3400
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	65,6988	40,8907	44,0139
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,8117 $\pm$ 0,1415	0,5052 $\pm$ 0,1183	0,5438 $\pm$ 0,1267
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	21,9372 $\pm$ 3,8233	13,6537 $\pm$ 3,1976	14,6965 $\pm$ 3,4243
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0338 $\pm$ 0,0034	0,0095 $\pm$ 0,0036	0,0024 $\pm$ 0,0031
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,9145 $\pm$ 0,0924	0,2566 $\pm$ 0,0986	0,0659 $\pm$ 0,0834
Derinlik (m)	32	32	32
pH	8,32	8,32	8,32
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2310	2310	2310
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	470	470	470

Tablo 6.19: TPAO kampı açıkları (dip derinlik suları).

Örnek Adı	5-c		
Örnek (Tabla No)	5c-1	5c-2	5c-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,519	1,530	1,528
Net Örnek Kütlesi (g)	0,149	0,131	0,136
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,4600	1,3100	1,3600
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	66,4973	66,6572	24,3292
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,8215 $\pm$ 0,1362	0,8235 $\pm$ 0,1223	0,3006 $\pm$ 0,1095
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	22,2038 $\pm$ 3,6804	22,2573 $\pm$ 3,3065	8,1237 $\pm$ 2,9605
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,2734 $\pm$ 0,0030	0,2290 $\pm$ 0,0042	0,1851 $\pm$ 0,0046
Beta Aktivitesi (pCi/L)	7,3891 $\pm$ 0,0824	6,1881 $\pm$ 0,1141	5,0038 $\pm$ 0,1254
Derinlik (m)	64	64	64
pH	8,15	8,15	8,15
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2320	2320	2320
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	462	462	462

Tablo 6.20: TPAO kampı açıkları (dip çamuru).

Örnek Adı	Dip Çamuru 5		
Örnek (Tabla No)	5-1	5-2	5-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,526	1,4776	1,5014
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1450	0,1185	0,1251
Aktif Madde Miktarı (μg)	16,1523	0,4491	31,4943
Alfa Aktivitesi (Bq/g)	0,1996 $\pm$ 0,0914	0,0055 $\pm$ 0,0864	0,3891 $\pm$ 0,0822
Alfa Aktivitesi (pCi/g)	5,3933 $\pm$ 2,4713	0,1499 $\pm$ 2,3338	10,5161 $\pm$ 2,2219
Beta Aktivitesi (Bq/g)	0,0727 $\pm$ 0,0020	0,1016 $\pm$ 0,0033	0,1058 $\pm$ 0,0031
Beta Aktivitesi (pCi/g)	1,9642 $\pm$ 0,0551	2,7458 $\pm$ 0,0884	2,8597 $\pm$ 0,0840
Derinlik (m)	65	65	65

Tablo 6.21: Hazar Gölü güneydoğu kesimi yüzey suları (Şekil 5.4).

Örnek Adı	6-a		
Örnek (Tabla No)	6a-1	6a-2	6a-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,476	1,478	1,514
Net Örnek Kütlesi (g)	0,132	0,118	0,128
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,3200	1,1800	1,2800
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	80,9858	24,7389	51,8064
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,0005 $\pm$ 0,1298	0,3056 $\pm$ 0,0973	0,6400 $\pm$ 0,1157
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	27,0417 $\pm$ 3,5085	8,2605 $\pm$ 2,6285	17,2985 $\pm$ 3,1267
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0010 $\pm$ 0,0031	0,3171 $\pm$ 0,0037	0,0961 $\pm$ 0,0033
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,0267 $\pm$ 0,0845	8,5693 $\pm$ 0,1013	2,5975 $\pm$ 0,0895
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,33	8,33	8,33
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2320	2320	2320
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	480	480	480

Tablo 6.22: Hazar Gölü güneydoğu kesimi orta derinlik suları (Şekil 5.4).

Örnek Adı	6-b		
Örnek (Tabla No)	6b-1	6b-2	6b-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,496	1,536	1,470
Net Örnek Kütlesi (g)	0,142	0,125	0,122
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,4200	1,2500	1,3000
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	71,8136	82,5040	46,7323
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,8872 $\pm$ 0,1448	1,0193 $\pm$ 0,1187	0,5774 $\pm$ 0,1250
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	23,9790 $\pm$ 3,9140	27,5486 $\pm$ 3,2072	15,6042 $\pm$ 3,3784
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0009 $\pm$ 0,0043	0,2190 $\pm$ 0,0048	0,2538 $\pm$ 0,0034
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,0252 $\pm$ 0,1151	5,9199 $\pm$ 0,1308	6,8604 $\pm$ 0,0909
Derinlik (m)	3	3	3
pH	8,30	8,30	8,30
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2240	2240	2240
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	480	480	480

Tablo 6.23: Hazar Gölü güneydoğu kesimi dip derinlik suları (Şekil 5.4).

Örnek Adı	6-c		
Örnek (Tabla No)	6c-1	6c-2	6c-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,494	1,492	1,469
Net Örnek Kütlesi (g)	0,134	0,120	0,127
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,3400	1,2900	1,2700
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	98,1156	67,6766	47,5871
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,2122±0,1298	0,8361±0,1288	0,5879±0,1139
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	32,7614±3,5087	22,5976±3,4798	15,8896±3,0784
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,3751±0,0033	0,1131±0,0043	0,0010±0,0033
Beta Aktivitesi (pCi/L)	10,1390±0,0905	3,0571±0,1165	0,0275±0,0898
Derinlik (m)	6	6	6
pH	8,28	8,28	8,28
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2290	2290	2290
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	482	482	482

Tablo 6.24: Hazar Gölü doğu kesimi, yüzey suları (Şekil 5.4).

Örnek Adı	7-a		
Örnek (Tabla No)	7a-1	7a-2	7a-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,484	1,489	1,476
Net Örnek Kütlesi (g)	0,127	0,139	0,12
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,2700	1,3900	1,2000
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	114,2548	105,2956	70,1094
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,4116±0,1222	1,3009±0,1486	0,8662±0,1220
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	38,1504±3,3039	35,1588±4,0163	23,4099±3,2978
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,2754±0,0037	0,0933±0,0043	0,0649±0,0034
Beta Aktivitesi (pCi/L)	7,4420±0,0998	2,5229±0,1149	1,7547±0,0910
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,38	8,38	8,38
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2300	2300	2300
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	---	---	---

Tablo 6.25: Hazar Gölü doğu kesimi, orta derinlik suları (Şekil 5.4).

Örnek Adı	7-b		
Örnek (Tabla No)	7b-1	7b-2	7b-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,513	1,495	1,504
Net Örnek Kütlesi (g)	0,267	0,257	0,268
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	2,6700	2,5700	2,6800
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	278,8536	199,7265	175,9000
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	3,4451±0,2718	2,4675±0,2608	2,1732±0,2798
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	93,1109±7,3468	66,6899±7,0490	58,7340±7,5632
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,1092±0,0022	0,1415±0,0026	0,1424±0,0023
Beta Aktivitesi (pCi/L)	2,9512±0,0593	3,8240±0,0704	3,8477±0,0619
Derinlik (m)	45	45	45
pH	8,23	8,23	8,23
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2260	2260	2260
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	----	----	----

Tablo 6.29: Hazar Gölü kuzey kesimi, orta derinlik suları (Şekil 5.4).

Örnek Adı	8-b		
Örnek (Tabla No)	8b-1	8b-2	8b-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,513	1,501	1,531
Net Örnek Kütlesi (g)	0,148	0,141	0,151
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,4300	1,4100	1,3100
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	35,9099	81,4438	68,0551
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,4436±0,1263	1,0062±0,1354	0,8408±0,1480
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	11,9905±3,4128	27,1946±3,6608	22,7240±3,9998
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,1394±0,0032	0,2342±0,0040	0,1752±0,0030
Beta Aktivitesi (pCi/L)	3,7688±0,0859	6,3310±0,1071	4,7354±0,0821
Derinlik (m)	30	30	30
pH	8,36	8,36	8,36
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2240	2240	2240
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	515	515	515

Tablo 6.30: Hazar Gölü kuzey kesimi, dip derinlik suları (Şekil 5.4).

Örnek Adı	8-c		
Örnek (Tabla No)	8c-1	8c-2	8c-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,487	1,518	1,489
Net Örnek Kütlesi (g)	0,127	0,128	0,059
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,2700	1,2800	0,5900
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	39,9892	43,6325	17,6933
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,4940±0,1218	0,5391±0,1140	0,2186±0,0528
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	13,3526±3,2922	14,5691±3,0798	5,9079±1,4257
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0010±0,0048	0,0890±0,0033	0,0153±0,0070
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,0275±0,1298	2,4061±0,0883	0,4142±0,1888
Derinlik (m)	60	60	60
pH	8,33	8,33	8,33
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2330	2330	2330
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	517	517	517

Tablo 6.31: Hazar Gölü kuzey kesimi, dip çamuru (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Dip Çamuru 8		
Örnek (Tabla No)	8-1	8-2	8-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,4587	1,5148	1,4357
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1419	0,1537	0,1029
Aktif Madde Miktarı (µg)	25,1574	34,6507	29,7376
Alfa Aktivitesi (Bq/g)	0,3108±0,0912	0,4281±0,0965	0,3633±0,0969
Alfa Aktivitesi (pCi/g)	8,4002±2,4660	11,5701±2,6073	9,8184±2,6196
Beta Aktivitesi (Bq/g)	0,0266±0,0022	0,0230±0,0019	0,0475±0,0040
Beta Aktivitesi (pCi/g)	0,7191±0,0600	0,6229±0,0520	1,2824±0,1071
Derinlik (m)	61	61	61

Tablo 6.32: Hazar Gölü kuzey kesimi, yüzey suları (Şekil 5.4).

Örnek Adı	9-a		
Örnek (Tabla No)	9a-1	9a-2	9a-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,4865	1,519	1,478
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1165	0,169	0,118
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,1650	1,6900	1,1800
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	55,6949	79,6878	90,0561
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,6881 $\pm$ 0,1229	0,9845 $\pm$ 0,1586	1,1126 $\pm$ 0,1168
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	18,5969 $\pm$ 3,3215	26,6082 $\pm$ 4,2876	30,0703 $\pm$ 3,1580
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,1977 $\pm$ 0,0041	0,1285 $\pm$ 0,0035	0,1440 $\pm$ 0,0033
Beta Aktivitesi (pCi/L)	5,3434 $\pm$ 0,1116	3,4719 $\pm$ 0,0953	3,8912 $\pm$ 0,0901
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	----	----	----
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	----	----	----
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	----	----	----

Tablo 6.33: Hazar Gölü kuzey kesimi, dip derinlik suları (Şekil 5.4).

Örnek Adı	9-c		
Örnek (Tabla No)	9c-1	9c-2	9c-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,482	1,4732	1,503
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1294	0,1078	0,1423
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,5600	1,0780	1,4230
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	71,6893	47,8940	73,6339
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,8857 $\pm$ 0,1387	0,5917 $\pm$ 0,1039	0,9097 $\pm$ 0,1317
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	23,9375 $\pm$ 3,7485	15,9921 $\pm$ 2,8083	24,5868 $\pm$ 3,5595
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0774 $\pm$ 0,0029	0,2789 $\pm$ 0,0051	0,1609 $\pm$ 0,0046
Beta Aktivitesi (pCi/L)	2,0907 $\pm$ 0,0778	7,5367 $\pm$ 0,1373	4,3492 $\pm$ 0,1233
Derinlik (m)	$\approx$ 15	$\approx$ 15	$\approx$ 15
pH	----	----	----
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	----	----	----
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	----	----	----

Tablo 6.34: DDY kampı (nisan ayı, yüzey suları).

Örnek Adı	10-a		
Örnek (Tabla No)	10a-1	10a-2	
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,2590	1,3156	----
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1361	0,1048	----
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,3610	1,048	----
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	45,46	62,26	----
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,56162 $\pm$ 0,1569	0,7691 $\pm$ 0,2592	----
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	15,1788 $\pm$ 8,484	20,7868 $\pm$ 7,0043	----
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,037 $\pm$ 5,36 $\times 10^{-3}$	0,042 $\pm$ 6,53 $\times 10^{-3}$	----
Beta Aktivitesi (pCi/L)	1,0114 $\pm$ 0,145	1,15405 $\pm$ 0,1765	----
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	----
pH	----	----	----
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	----	----	----
Toplam Sertlik (mg/L CaCO_3)	----	----	----

Tablo 6.35: DDY kampı (nisan ayı, orta derinlik suları).

Örnek Adı	10-b		
Örnek (Tabla No)	10b-1	10b-2	10b-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,2113	1,1985	----
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1364	0,1347	----
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,364	1,347	----
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	29,84	53,52	----
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,3686±0,185	0,6611±0,1585	----
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	9,9611±4,9964	17,868±8,5671	----
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,028±5,77×10 ⁻³	0,046±6,20×10 ⁻³	----
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,7713±0,1562	1,245±0,167	----
Derinlik (m)	5	5	----
pH	8,5	8,5	----
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2100	2100	----
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	478	478	----

Tablo 6.36: DDY kampı (nisan ayı, dip derinlik suları).

Örnek Adı	10-c		
Örnek (Tabla No)	10c-1	10c-2	10c-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,2090	1,1941	----
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1366	0,1366	----
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,366	1,366	----
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	42,58	15,63	----
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,0526±0,0139	0,1931±0,0515	----
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	1,423±6,035	5,218±5,5656	----
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,032±5,85×10 ⁻³	0,018±7,11×10 ⁻³	----
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,867±0,158	0,1552±0,1922	----
Derinlik (m)	25	25	----
pH	8,50	8,50	----
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2100	2100	----
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	474	474	----

Tablo 6.37: DSİ kampı (nisan ayı, yüzey suları).

Örnek Adı	11-a		
Örnek (Tabla No)	11a-1		
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,1982	----	----
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1327	----	----
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,327	----	----
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	34,77	----	----
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,4295±0,1335	----	----
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	11,6079±7,2068	----	----
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,043±7,76×10 ⁻³	----	----
Beta Aktivitesi (pCi/L)	1,171±0,2098	----	----
Derinlik (m)	Yüzey	----	----
pH	----	----	----
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	----	----	----
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	----	----	----

Tablo 6.38: DSİ kampı (nisan ayı, orta derinlik suları).

Örnek Adı	11-b		
Örnek (Tabla No)	11b-1	11b-2	
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,1866	1,1471	----
Net Örnek Kütlesi (g)	0,131	0,1348	----
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,310	1,348	----
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	15,107	18,02	----
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,1866 $\pm$ 0,0499	0,2226 $\pm$ 0,0598	----
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	5,043 $\pm$ 5,405	6,0186 $\pm$ 6,4721	----
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,023 $\pm$ 7,47 $\times 10^{-3}$	0,014 $\pm$ 6,44 $\times 10^{-3}$	----
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,629 $\pm$ 0,202	0,392 $\pm$ 0,1739	----
Derinlik (m)	5	5	----
pH	8,38	8,38	----
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2120	2120	----
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	476	476	----

Tablo 6.39: DSİ kampı (nisan ayı, dip derinlik suları).

Örnek Adı	11-c		
Örnek (Tabla No)	11c-1	11c-2	
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,2030	1,1666	----
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1356	0,1354	----
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,356	1,354	----
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	28,41	13,06	----
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,351 $\pm$ 0,0785	0,1614 $\pm$ 0,064	----
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	9,486 $\pm$ 8,487	4,363 $\pm$ 6,893	----
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,020 $\pm$ 6,32 $\times 10^{-3}$	0,032 $\pm$ 6,51 $\times 10^{-3}$	----
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,564 $\pm$ 0,171	0,866 $\pm$ 0,175	----
Derinlik (m)	25	25	----
pH	8,30	8,30	----
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2170	2170	----
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	505	505	----

Tablo 6.40: Orman kampı (nisan ayı, yüzey suları).

Örnek Adı	12-a		
Örnek (Tabla No)	12a-1	12a-1	
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,1802	1,2037	----
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1345	0,1346	----
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,345	1,346	----
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	42,40	30,84	----
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,524 $\pm$ 0,1212	0,381 $\pm$ 0,078	----
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	14,184 $\pm$ 6,549	10,292 $\pm$ 8,4205	----
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,039 $\pm$ 7,42 $\times 10^{-3}$	0,035 $\pm$ 6,85 $\times 10^{-3}$	----
Beta Aktivitesi (pCi/L)	1,076 $\pm$ 0,201	0,963 $\pm$ 0,1854	----
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	----
pH	----	----	----
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	----	----	----
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	----	----	----

Tablo 6.41: Orman kampı (nisan ayı, orta derinlik suları).

Örnek Adı	12-b		
Örnek (Tabla No)	12b-1	12b-2	
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,1815	1,1722	---
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1204	0,1232	---
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,204	1,232	---
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	16,83	34,003	---
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,208 $\pm$ 0,065	0,42 $\pm$ 0,1123	---
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	5,613 $\pm$ 7,038	11,3522 $\pm$ 6,072	---
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,026 $\pm$ 7,22 $\times 10^{-3}$	0,043 $\pm$ 7,76 $\times 10^{-3}$	---
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,713 $\pm$ 0,195	1,171 $\pm$ 0,209	---
Derinlik (m)	5	5	---
pH	8,26	8,26	---
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2200	2200	---
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	505	505	---

Tablo 6.42: Orman kampı (nisan ayı, dip derinlik suları).

Örnek Adı	12-c		
Örnek (Tabla No)	12c-1	12c-2	
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,904	1,1718	---
Net Örnek Kütlesi (g)	0,8504	0,1376	---
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	8,504	1,376	---
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	32,22	21,97	---
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,398 $\pm$ 0,1176	0,2714 $\pm$ 0,0616	---
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	10,757 $\pm$ 6,352	7,335 $\pm$ 6,659	---
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,030 $\pm$ 5,46 $\times 10^{-3}$	0,031 $\pm$ 6,91 $\times 10^{-3}$	---
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,811 $\pm$ 0,147	0,855 $\pm$ 0,187	---
Derinlik (m)	25	25	---
pH	8,28	8,28	---
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2200	2200	---
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	520	520	---

Hazar Gölü yüzey sularından alınan örneklerin sonuçları Bölüm 5'teki Şekil 5.4'te gösterilen istasyon numaralarına göre verilmiştir. Her bir yüzey istasyonuna ait sonuçlar ayrı ayrı tertiplenmiş ve Tablo 6.43'den Tablo 6.52'ye kadar olan tablolarda verilmiştir.

Tablo 6.43: Yüzey-1 Suyu (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Yüzey-1		
Örnek (Tabla No)	Yüzey 1-1	Yüzey 1-2	Yüzey 1-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,517	1,553	1,497
Net Örnek Kütlesi (g)	0,127	0,136	0,2134
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,4800	1,2700	1,3600
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	134,2126	64,7825	79,0700
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,6581 $\pm$ 0,1662	0,8004 $\pm$ 0,1344	0,9769 $\pm$ 0,1193
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	44,8144 $\pm$ 4,4916	21,6313 $\pm$ 3,6318	26,4019 $\pm$ 3,2248
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,2006 $\pm$ 0,0035	0,2194 $\pm$ 0,0034	0,1041 $\pm$ 0,0038
Beta Aktivitesi (pCi/L)	5,4210 $\pm$ 0,0948	5,9288 $\pm$ 0,0906	2,8146 $\pm$ 0,1040
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,38	8,38	8,38
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2320	2320	2320
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	433	433	433

Tablo 6.44: Yüzey-2 Suyu (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Yüzey-2		
Örnek (Tabla No)	Yüzey 2-1	Yüzey 2-2	Yüzey 2-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,4437	1,0917	1,4370
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1207	0,1287	0,114
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,2070	1,2870	1,1400
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	97,6695	53,9869	70,1478
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,2067 $\pm$ 0,1291	0,6670 $\pm$ 0,1445	0,8666 $\pm$ 0,1218
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	32,6124 $\pm$ 3,4892	18,0266 $\pm$ 3,9042	23,4228 $\pm$ 2,2919
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,1600 $\pm$ 0,0033	0,0317 $\pm$ 0,0035	0,1080 $\pm$ 0,0034
Beta Aktivitesi (pCi/L)	4,3239 $\pm$ 0,0902	0,8576 $\pm$ 0,0957	2,7003 $\pm$ 0,0929
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,40	8,40	8,40
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2270	2270	2270
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	430	430	430

Tablo 6.45: Yüzey-3 Suyu (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Yüzey-3		
Örnek (Tabla No)	Yüzey 3-1	Yüzey 3-2	Yüzey 3-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,4688	1,4671	1,4585
Net Örnek Kütlesi (g)	0,968	0,1271	0,1205
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	0,9680	1,2710	1,2050
Litredeki Aktif Madde Miktarı (μg)	57,7261	93,4177	81,2499
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,7132 $\pm$ 0,1003	1,1541 $\pm$ 0,1402	1,0038 $\pm$ 0,1278
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	19,2751 $\pm$ 2,7096	31,1927 $\pm$ 3,7880	27,1298 $\pm$ 3,4537
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,1075 $\pm$ 0,0044	0,0504 $\pm$ 0,0031	0,0743 $\pm$ 0,0036
Beta Aktivitesi (pCi/L)	2,9043 $\pm$ 0,1188	1,3610 $\pm$ 0,0840	2,0071 $\pm$ 0,0961
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,37	8,37	8,37
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$)	2280	2280	2280
Toplam Sertlik (mg CaCO_3/L)	440	440	440

Tablo 6.46: Yüzey-4 Suyu (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Yüzey-4		
Örnek (Tabla No)	Yüzey 4-1	Yüzey 4-2	Yüzey 4-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,4812	1,4800	1,4818
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1282	0,13	0,1428
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,2890	1,3000	1,4280
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	105,1200	54,5599	66,9353
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	1,2987±0,1341	0,6741±0,1421	0,8270±0,1435
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	35,1002±3,6245	18,2179±0,0032	22,3501±3,8780
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0156±0,0032	0,0385±0,0033	0,0914±0,0033
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,4215±0,0859	1,0399±0,0892	2,4693±0,0888
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,35	8,35	8,35
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2200	2200	2200
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	---	---	---

Tablo 6.47: Yüzey-5 Suyu (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Yüzey-5		
Örnek (Tabla No)	Yüzey 5-1	Yüzey 5-2	Yüzey 5-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,5196	1,5643	1,4504
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1235	0,1133	0,1281
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,2350	1,1330	1,2810
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	68,5612	47,2738	72,4681
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,8470±0,1249	0,5840±0,1069	0,8953±0,1356
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	22,8930±3,3765	15,7850±2,8895	24,1975±3,6647
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0005±0,0033	0,1319±0,0037	0,0010±0,0034
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,0141±0,0905	3,5653±0,0987	0,0273±0,0909
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	8,40	8,40	8,40
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2260	2260	2260
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	---	---	---

Tablo 6.48: Yüzey-6 Suyu (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Yüzey-6		
Örnek (Tabla No)	Yüzey 6-1	Yüzey 6-2	Yüzey 6-3
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,552	1,5044	1,498
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1454	0,1488	0,1421
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,4540	1,4880	1,4210
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	44,8838	58,6553	35,7372
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,5545±0,1205	0,7247±0,1350	0,4415±0,1344
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	14,9870±3,2558	19,5853±3,6495	11,9329±3,6327
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0434±0,0027	0,0103±0,0028	0,0009±0,0031
Beta Aktivitesi (pCi/L)	1,1738±0,0743	0,2790±0,0761	0,0252±0,0838
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	9,65	9,65	9,65
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2260	2260	2260
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	----	----	----

Tablo 6.49: Yüzey-7 Suyu (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Yüzey-7		
	Yüzey 7-1	Yüzey 7-2	Yüzey 7-3
Örnek (Tabla No)			
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,5266	1,488	1,5225
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1353	0,1482	0,1435
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,3530	1,4820	1,4450
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	64,6113	45,4943	44,6804
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,7982±0,1340	0,5621±0,1386	0,5520±0,1488
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	21,5741±3,6215	15,1908±3,7454	14,9190±4,0227
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0010±0,0032	0,0243±0,0028	0,1544±0,0030
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,0262±0,0859	0,6571±0,0764	4,1721±0,0814
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	----	----	----
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	----	----	----
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	----	----	----

Tablo 6.50: Yüzey-8 Suyu (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Yüzey-8		
	Yüzey 8-1	Yüzey 8-2	Yüzey 8-3
Örnek (Tabla No)			
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,577	1,574	1,4766
Net Örnek Kütlesi (g)	0,2134	0,1918	0,1519
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	2,1340	1,9180	1,5190
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	77,5243	58,7110	66,0734
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,9578±0,1818	0,7253±0,1385	0,8331±0,1506
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	25,8858±4,9133	19,6040±3,7439	22,5174±4,0710
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,0899±0,0029	0,0007±0,0024	0,0417±0,0029
Beta Aktivitesi (pCi/L)	2,4310±0,0775	0,0198±0,0642	1,1271±0,0788
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	7,13	7,13	7,13
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	2240	2240	2240
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	----	----	----

Tablo 6.51: Yüzey-9 Suyu (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Yüzey-9		
	Yüzey 9-1	Yüzey 9-2	Yüzey 9-3
Örnek (Tabla No)			
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,5112	1,5209	1,4825
Net Örnek Kütlesi (g)	0,1342	0,1364	0,1288
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,3420	1,3640	1,2880
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	66,1376	83,3532	77,1895
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,8171±0,1377	1,0298±0,1438	0,9536±0,1370
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	22,0838±3,7222	27,8321±3,8874	25,7740±3,7025
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,3055±0,0032	0,1337±0,0038	0,0010±0,0032
Beta Aktivitesi (pCi/L)	8,2570±0,0872	3,6141±0,1027	0,0272±0,0878
Derinlik (m)	Yüzey	Yüzey	Yüzey
pH	----	----	----
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	----	----	----
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	----	----	----

Tablo 6.52: Yüzey-10 Suyu (Şekil 5.4).

Örnek Adı	Yüzey-10		
Örnek (Tabla No)	Yüzey 10-1		
Tabla + Örnek Kütlesi (g)	1,3278	---	---
Net Örnek Kütlesi (g)	0,107	---	---
Litredeki Toplam Tortu Miktarı (g)	1,070	---	---
Litredeki Aktif Madde Miktarı (µg)	25,52	---	---
Alfa Aktivitesi (Bq/L)	0,3153±0,1861	---	---
Alfa Aktivitesi (pCi/L)	8,5226±5,031	---	---
Beta Aktivitesi (Bq/L)	0,032±7,07×10 ⁻³	---	---
Beta Aktivitesi (pCi/L)	0,8871±0,1911	---	---
Derinlik (m)	Yüzey	---	---
pH	8,12	---	---
Elektriksel İletkenlik (µmho/cm)	1924	---	---
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	480	---	---

Su örneklerinin tüm istasyonlar için toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri toplu olarak Tablo 6.53’de, dip çamurlarının sonuçları da Tablo 6.54’te verilmiştir.

Tablo 6.53: Su örneklerinin ortalama toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri.

Ortalama Alfa ve Beta Radyoaktiviteleri		
Örnek Adı	Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L)	Beta Radyoaktivitesi (Bq/L)
1-a	1,2555±0,1300	0,0416±0,0034
1-b	0,8271±0,1178	0,0279±0,0037
1-c	0,7013±0,1396	0,0581±0,0032
2-a	0,9794±0,1190	0,0494±0,0036
2-b	1,2200±0,1311	0,0046±0,0036
2-c	0,2591±0,1323	0,1301±0,0034
3-a	0,9186±0,1128	0,1186±0,1128
3-b	1,0699±0,1301	0,0206±0,0034
3-c	0,6366±0,1277	0,0426±0,0033
4-a	1,0635±0,1223	0,0012±0,0049
4-b	0,6513±0,1242	0,2665±0,0045
4-c	0,2639±0,1277	0,0381±0,0030
5-a	0,8950±0,1242	0,0798±0,0034
5-b	0,6202±0,1292	0,0153±0,0034
5-c	0,6485±0,1232	0,2292±0,0040
6-a	0,6487±0,1150	0,1381±0,0034
6-b	0,8280±0,1300	0,1579±0,0042
6-c	0,8787±0,1244	0,1631±0,0037
7-a	1,1929±0,1315	0,1445±0,0038
7-b	2,6953±0,2709	0,1310±0,0024
7-c	0,9550±0,3006	0,0443±0,0020
8-a	2,5238±0,2743	0,0654±0,0021
8-b	0,7635±0,1369	0,1830±0,0034
8-c	0,4172±0,1010	0,0351±0,0052
9-a	0,9284±0,1341	0,1567±0,0037
9-c	0,7957±0,1257	0,1724±0,0043
10-a	0,6653±0,208	0,0395±0,0059
10-b	0,5098±0,1717	0,037±0,0059
10-c	0,1228±0,0327	0,025±0,0064
11-a	0,4295±0,1335	0,043±0,00776
11-b	0,2046±0,0548	0,0185±0,0069
11-c	0,2562±0,1425	0,026±0,00641
12-a	0,4525±0,0996	0,037±0,00713
12-b	0,314±0,0886	0,0345±0,0074
12-c	0,3347±0,0896	0,0305±0,0061
Yüzey 1	1,1451±0,1413	0,1747±0,0036
Yüzey 2	0,9134±0,1321	0,0999±0,0034
Yüzey 3	0,9570±0,1239	0,0774±0,0037
Yüzey 4	0,9332±0,1399	0,0485±0,0033
Yüzey 5	0,7755±0,1230	0,0445±0,0035
Yüzey 6	0,5736±0,1301	0,0182±0,0029
Yüzey 7	0,6374±0,1406	0,0599±0,0030
Yüzey 8	0,8331±0,1506	0,0417±0,0029
Yüzey 9	0,9335±0,1396	0,1467±0,0034
Yüzey 10	0,3153±0,1861	0,032±0,00707

Tablo 6.54: Toprak örneklerinin ortalama toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri.

Ortalama Toplam Alfa ve Beta Radyoaktiviteleri		
Örnek Adı	Alfa Radyoaktivitesi (Bq/g)	Beta Radyoaktivitesi (Bq/g)
Dip çamuru 1	0,3113±0,0906	0,0153±0,0022
Dip çamuru 2	0,3948±0,0908	0,0465±0,0041
Dip çamuru 3	0,0216±0,0831	0,0237±0,0023
Dip çamuru 4	0,0781±0,0889	0,0482±0,0023
Dip çamuru 5	0,1981±0,0867	0,0934±0,0029
Dip çamuru 6	-----	-----
Dip çamuru 7	0,3237±0,0881	0,0626±0,0023
Dip çamuru 8	0,3674±0,0949	0,0324±0,0028

6.2. Hazar Gölü Sularının Alfa ve Beta Radyoaktivitesine Gölün Jeolojik

Yapısının Etkisi

Toprak ve kayalarda radyoaktif izotopların birikme eğiliminin bu oluşumların jeolojik yapılarıyla doğrudan ilgili olması, suların içerdiği radyoaktif elementlerin bölgenin jeolojik formasyonu ile yakından alakalı olduğunu açıkça gözler önüne serer [Doğru, 1999 (a)]. Hazar Gölünün tektonik bir oluşumla meydana gelmesi, göl havzasının ilginç bir jeolojik yapıya sahip olmasına neden olmuştur. Bu yapı ölçeksiz olarak, Şekil 4.2’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Tektonik oluşum sonucu yeryüzü katmanlarında olan büyük yer değiştirmeler yoğunlukça daha büyük olan minerallerin yer yüzüne ulaşmasını sağlamıştır. Emiliani (1992)’e göre radyoaktif çekirdeklerin bir çoğu da yeryüzünün derinliklerindeki kayalarda bulunurlar. Buna göre, bahsettiğimiz bu yer değiştirmelerin Hazar Gölü doğal radyoaktivitesini artıracığı açıktır.

Şekil 4.1 incelendiğinde Hazar Gölü kuzey batı kesiminin (Yüksekova karmaşığı), “andezit, bazalt, diyabaz ve gabro” yapılardan oluştuğu görülmektedir. Kıyı şeridini ve iç kısımları da içerisine alan bu bölge hattından alınan örnekler 2, 3, 4, 11, 12. istasyonlar ve 9. yüzey bölgesidir (Şekil 5.1). Gabro, andezit ve bazalt yapılar katılışım kayalar olduklarından bunların gölün doğal radyoaktivitesine bir katkı yaptıkları düşünülebilir.

Hazar Gölü güney-batı kesimindeki Yüksekova karmaşığında görülen kayaç oluşumların yanı sıra “kumtaşı, şeyl, çamurtaşı, kireçtaşı” yapıları da görülmektedir (Şekil 4.1). Bu bölümde U ve toryumca zengin kuvars oluşumlar da [Coward ve Burnett, 1994], gölün doğal radyoaktivitesine katkı yapmaktadır. Hazar Baba dağının

yapısının volkanikli yapılardan meydana gelmesi [Yiğit, 1994], bu bölgedeki doğal radyoaktiviteye katkı yapan diğer bir unsurdur. Bölgedeki 1. ve 5. istasyonların ayrıca 5. ve 10. yüzey sularının bölgenin jeolojik oluşumlarından etkilendiğini söylemek mümkündür. Özellikle Hazar Baba dağına daha yakın olan 1. istasyonun toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri, kuzey-batı kesimindeki kıyı şeridi boyunca hakim olan alüvyonlu özellik gösteren örnek alım noktalarından daha yüksektir.

Gölün güney-doğu kesiminde, “kireçtaşı, kumtaşı ve şeyl” hakim olan oluşumlardır (Şekil 4.1). Bu oluşumlardan, özellikle kumtaşının içerisinde U grubunun yoğunlaşma eğiliminde olduğu bilinmektedir [Cowart ve Burnett, 1994].

Radyoaktivite açısından en yüksek değerde olan bölge gölün doğu kesimidir. Bu bölge jeolojik yapı olarak da çok farklı bir yapı arz etmektedir. Daha önce bahsettiğimiz kayaç ve mineral yapıların hemen hepsini bu bölgede görmek mümkündür (Şekil 4.1). Doğu Anadolu Fay hattının güneyden girişi de bu bölgeden olmaktadır. Bu bölgeye yakın 7. ve 8. istasyonların radyoaktivite seviyelerinin yüksek çıkması bu bölgenin fay hattı üzerinde olmasına bağlanabilir. Nitekim fay hatları gibi düzensizliklerde doğal radyoaktivitenin fazla olduğuna dikkat çeken çalışmalar da vardır [Banks, 1995].

6.3. Hazar Gölü Sularının Canlılara ve Çevreye Olan Etkileri

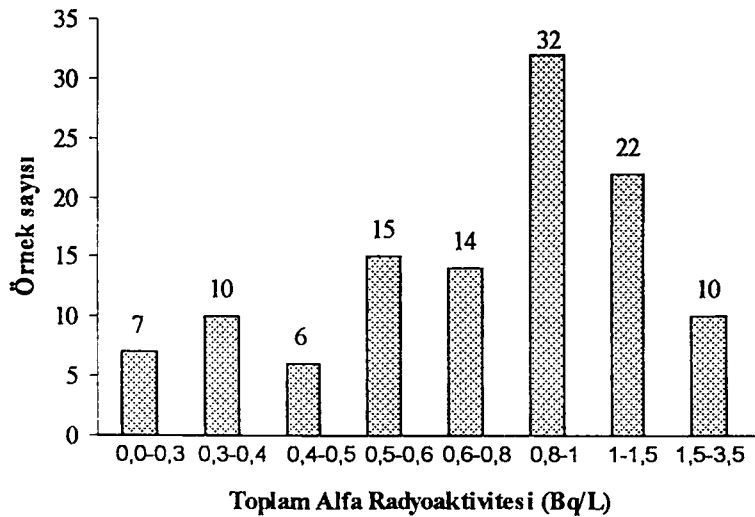
Bu kısımda, incelemesi yapılan suların Hazar Gölü yakın çevresindeki canlılara olan olumlu ya da olumsuz etkilerinin değerlendirilmesi, suların; radyoaktiflik özelliği, pH'ı, sertliği, elektriksel iletkenliği bakımından yapılmıştır.

6.3.1. Hazar Gölü Sularının Toplam Radyoaktivitesi ve Gölün Yakın Çevresine Olan Etkileri

Hazar Gölü sularının toplam radyoaktivite seviyeleri genel olarak incelendiğinde, Elazığ ve çevresinde önceden ölçülen radyoaktivite seviyelerinden [Canbazoglu, 1998] daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Alınan su örneklerinin radyoaktivite açısından değerlendirilmesi Şekil 5.4 ve Tablo 6.52 göz önüne alınarak yapılırsa aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

İncelenen bütün su örneklerinin toplam alfa radyoaktiviteleri, WHO, İSKİ ve TSE tarafından belirlenen içme suyu üst sınır alfa radyoaktivite değerlerinin çok üzerinde olup (Tablo 2.5), özellikle gölde yaşayan balıklar açısından olumsuz etkiler doğurabilecek niteliktedir. Ayrıca, ilerdeki yıllarda gölden içme suyu temin edilmesi düşünüldüğünde, radyoaktivite açısından elde edilen sonuçların insan sağlığı için önemle dikkate alınması gerekir. Göl sularındaki toplam alfa radyoaktivitelerinin yüksek çıkması, Hazar Gölü'nün genelinde alfa radyoaktivitesi yayıcı etkenlerin olduğunu göstermektedir. Gölden alınan su örneklerinin üzerinde yapılan bütün ölçümler göz önüne alındığında en yüksek toplam alfa radyoaktivitesi Tablo 6.25'te verilen 7-b ($\approx 3,5$ Bq/L) örneğinde görülmektedir. Bütün istatistiksel veriler kullanılarak toplam alfa aktivitesi için elde edilen Şekil 6.1 incelendiğinde, örneklerin büyük çoğunluğunun (32 tanesi), 0,8-1,0 Bq/L arasında bir radyoaktiviteye sahip olduğu görülmektedir. Bu örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri, WHO tarafından belirlenen standartların yaklaşık 8-10 kat, İSKİ ve TSE tarafından belirlenen standartlardan ise, yaklaşık olarak 21-27 kat daha fazladır. Daha önemlisi, 22 örneğin toplam alfa radyoaktivite seviyesi 1-1,5 Bq/L arasında, 10 örneğin alfa radyoaktivite seviyesi ise 1,5 ilâ 3,5 Bq/L arasındadır. Gölün toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise; WHO, İSKİ ve TSE tarafından belirlenen üst sınır toplam beta radyoaktivite değerlerinin altında olup (Tablo 2.5) gölde ve çevresinde yaşayan canlılar açısından bir tehlike arz etmeyecek seviyededir.



Şekil 6.1: Hazar Gölü su örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin dağılımı

Toplam radyoaktivite seviyeleri, genel olarak yüzeyden dibe doğru indikçe azalmaktadır. Göl genelinin toplam alfa radyoaktivitesi çok yüksek değerlerde olmasına rağmen özellikle yüzey, orta ve dip derinlikler göz önüne alındığında 7 ve 8 nolu istasyonlardan alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin genel ortalamasının çok üzerinde olduğu (Tablo 6.53) görülmektedir. Bu istasyonlar gölün doğu kısmında bulunmaktadır. Ayrıca, güney-batı kesiminden alınan su örneklerinin de toplam alfa radyoaktivite değerlerinin yüksekliği dikkat çekmektedir (Şekil 5.4 ve Tablo 6.53). Bu duruma, bu bölgelerde bulunan yoğun magmatik oluşumların sebep olduğu söylenebilir.

Elde edilen verilerin, her su örneği için ortalaması alındığında, toplam radyoaktivite seviyelerinin en alt ve en üst değerleri sırasıyla alfa için, $0,1228 \pm 0,0327$ - $2,6953 \pm 0,2709$ Bq/L ve beta için $0,0012 \pm 0,0049$ - $0,2665 \pm 0,0045$ Bq/L arasında değiştiği görülmüştür.

Dip çamurlarında yapılan toplam radyoaktivite ölçümlerinde ise ölçülen toplam radyoaktivite miktarlarının en alt ve en üst değerleri; alfa için, $0,0216 \pm 0,0831$ - $0,3948 \pm 0,0908$ Bq/g, beta için ise, $0,0153 \pm 0,0022$ - $0,0934 \pm 0,0029$ Bq/g arasında değiştiği görülmüştür. Alınan sonuçlara istasyonlar açısından bakıldığında, su seviyeleri bazında görülen toplam radyoaktivitenin yüzeyden dibe doğru indikçe azalması durumunu, dip çamurlarında ölçülen radyoaktivite miktarları da desteklemektedir. Bu duruma, göl sularında doğal olarak bulunan uranyumun dipte çözünerek yüzeye doğru çıkması [Miekeley, 1992] neden olarak gösterilebilir.

Alınan sonuçlara su kalitesi açısından bakıldığında, Hazar Gölü suları, toplam alfa radyoaktivitesi açısından 4. sınıf, beta radyoaktivitesi açısından ise, 1. sınıf sular sınıfına girmektedir (Tablo 4.3).

Gölden yılda ortalama olarak, 76 milyon m³ su çekilebilmektedir [Yiğit, 1994]. Bu su, Hazar-1 ve Hazar-2 santrallerini beslemekte ayrıca tarımda sulama için kullanılmaktadır. Alınan sonuçlara göre, Hazar Gölünden çekilen suyun sulamada kullanılması halinde elde edilecek ürünlerin verim açısından yüksek kalitede olduğu söylenemez. Çünkü topraktan kökleri vasıtasıyla bitkinin aldığı su ve suyun içerisindeki minerallerle beraber radyoaktif elementler de çok düşük oranlarda olsa dahi ($\approx$ %8-10) bitkinin bünyesine alınabilir. Duruma sadece Cs açısından bakıldığında Polar (1989)'a göre, ¹³⁴Cs ve ¹³⁷Cs içeren topraktaki radyoaktif

çekirdeklerin yüzde 7-9'u suya geçmektedir. Bunun yanında topraktan suya geçen ^{134}Cs ve ^{137}Cs konsantrasyonunun yaklaşık 1000 ilâ 5800 katı bitkiler tarafından biriktirilmektedir [Canbazoglu, 1998]. Dolayısıyla elde edilen sonuçlara göre, sulama için kullanılan Hazar Gölü sularının, bitki verimini olumlu yönde etkilemesi beklenemez.

Hazar Gölü'nün doğal radyoaktivitesine büyük ölçüde katkı yapan unsurlardan biri de Kürk ve Mogal derelerinin göle taşıdığı atıklardır. Bu derelerin Hazar Gölü'ne taşıdıkları toplam kil-silt miktarı yıllık 80.000 ton olarak hesaplamıştır [Sağıroğlu ve Çetindağ, 1995]. Taşınan bu artıklardan özellikle kil, radyoaktiviteyi bünyesinde barındıran bir oluşum olup, akarsular vasıtasıyla, özellikle uranyumun kil ile birlikte taşındığı bilinmektedir [Cowart, 1994].

6.3.2. Hazar Gölü Sularının Toplam Alfa ve Beta Eş (Iso)-Radyoaktivite

Haritaları

Hazar Gölü sularının toplam radyoaktivite ölçümlerinden elde edilen sonuçlara dayanarak eş (iso)-radyoaktivite haritaları çizilmiştir (Şekil 6.2 ve Şekil 6.3). Bu haritaların çizilmesinde, sulardaki radyoaktif elementlerin akıntıyla taşınabildiği [Cowart, 1994] ve böylece bir istasyondan alınan suyun gölün yaklaşık olarak 2 km²'lik kısmını radyoaktivite açısından tanımladığı göz önüne alınmıştır. Bu sonuca varılmasına, özellikle yüzeyden alınan su örneklerinin birbirlerine yakın değerlerde radyoaktiviteye sahip olması neden olmuştur. Bu haritalar göldeki radyoaktivite seviyelerinin değişimini detaylı olarak vermektedir.

Yüzey sularına toplam alfa radyoaktivitesi açısından bakıldığında (Şekil 6.2 a), gölü üç ana kısma ayırmak mümkündür. Birincisi, gölün kuzey-doğu kısmından başlayarak kuzey-batı kısmında son bulan, 0,97 Bq/L değerine sahip olan hattır. Bu kısım, gölün yüzeyini hemen hemen ikiye bölmektedir. Buradan itibaren kuzeye doğru gidildikçe Turpol Tesisleri ve özellikle Doktor Evleri açıklarını (3. ve 4. istasyonlar, Şekil 5.4) çevreleyen bölgede bir *“yüksek radyoaktivite adacığından”* bahsetmek mümkündür. Bu bölgeden kıyıya doğru gidildiğinde yaklaşık olarak kuzey-batı kıyılarını boydan boya içine alan ve değeri $\approx 0,4$ Bq/L olan bir bölge görülmektedir. İkincisi, kuzey-batıdan başlayarak güney doğu kesiminde son bulan 0,8 Bq/L'lik hattır. Bu bölge 1., 5. ve 10. istasyonlarla 4., 5. ve 10. yüzey örnek alım

noktalarını içine almaktadır (Şekil 5.4). Bahsedilen hattın itibaren yine kıyıya doğru yaklaşıldığında, toplam radyoaktivite seviyesinde bir artma gözlenmektedir. Son olarak, güney-doğu yönünden başlayarak ikinci hatla kesişen 1,14 Bq/L'lik hattın söz edilebilir. Bu hat güney-doğu kesimini aktivite açısından belirlemiş olup değeri 0,92 Bq/L ve 0,64 Bq/L olan iki tane eş-radyoaktiflik özellik gösteren bölgeyi içine almaktadır.

Yüzey sularının toplam beta radyoaktivitesi Şekil 6.3-a'da incelendiğinde, radyoaktivite açısından özelleşmelerin özellikle gölün güney doğu kısmında görülmektedir. 0,07 Bq/L aktiviteye sahip olan hat oldukça uzun bir bölgeyi tanımlamaktadır. Aynı bölgenin toplam alfa radyoaktivite değerlerinin aksine, toplam beta aktivite değerleri kıyıya doğru yaklaşıldıkça artış göstermekte 0,15 ve 0,13 Bq/L değerlerine ulaşmaktadır. Yüzey suyu olarak en yüksek toplam beta radyoaktivitesine sahip bölge 8. istasyondan ve 8. yüzey örneğinin alındığı bölgede görülmektedir (0,17 Bq/L). Bunun dışında, gölün doğu ve batı kısmı, gölün güney kısmıyla benzer aktivite değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Bölgeler arası en açık fark 0,0012 Bq/L değerine sahip olan bölgede (Doktor Evleri) görülmektedir. Bu bölgenin hemen batısındaki kısımda toplam beta aktivite seviyesinin yaklaşık 90 kat daha fazla olması (0,11 Bq/L), bu bölgede beta yayıcı etmenlerin varlığını ortaya koymaktadır.

Su örnekleri alınan istasyonların orta derinliklerinin (dip derinliği (m)/2) toplam alfa radyoaktivite değerleri (Şekil 6.2-b), özellikle gölün doğu kısmında oldukça yüksektir (2,6 Bq/L). Bu durum, fay hatları çevresindeki aktivitenin yüksekliği fikrini [Banks, 1995] güçlendirmektedir. Güney-doğu kesiminin önemli bir kısmı $\approx 0,8$ Bq/L'lik aktiviteye sahiptir. Güney-batı kesiminin radyoaktivitesi doğuya oranla biraz daha az olup 0,6 Bq/L seviyesindedir. Bu bölgeden kıyıya doğru gidildiğinde aktivite oranlarında artış gözlenmektedir (0,8-0,82 Bq/L). Bu artışa, kıyı şeridini oluşturan yoğun magmatik oluşumların neden olması güçlü bir ihtimaldir. Gölün kuzey-batı kesiminde 0,6 Bq/L'lik aktiviteden başlayan dağılım, bu bölgenin iç kısımlarına doğru gidildiğinde bir "*alçak radyoaktivite adacığı*" halini almaktadır (≈ 1 Bq/L).

Orta derinliklerin toplam beta aktivite dağılımları (Şekil 6.3-b), en yüksek değerine, gölün güney-batı kıyıları açıklarında ulaşmaktadır (0,27 Bq/L). Toplam

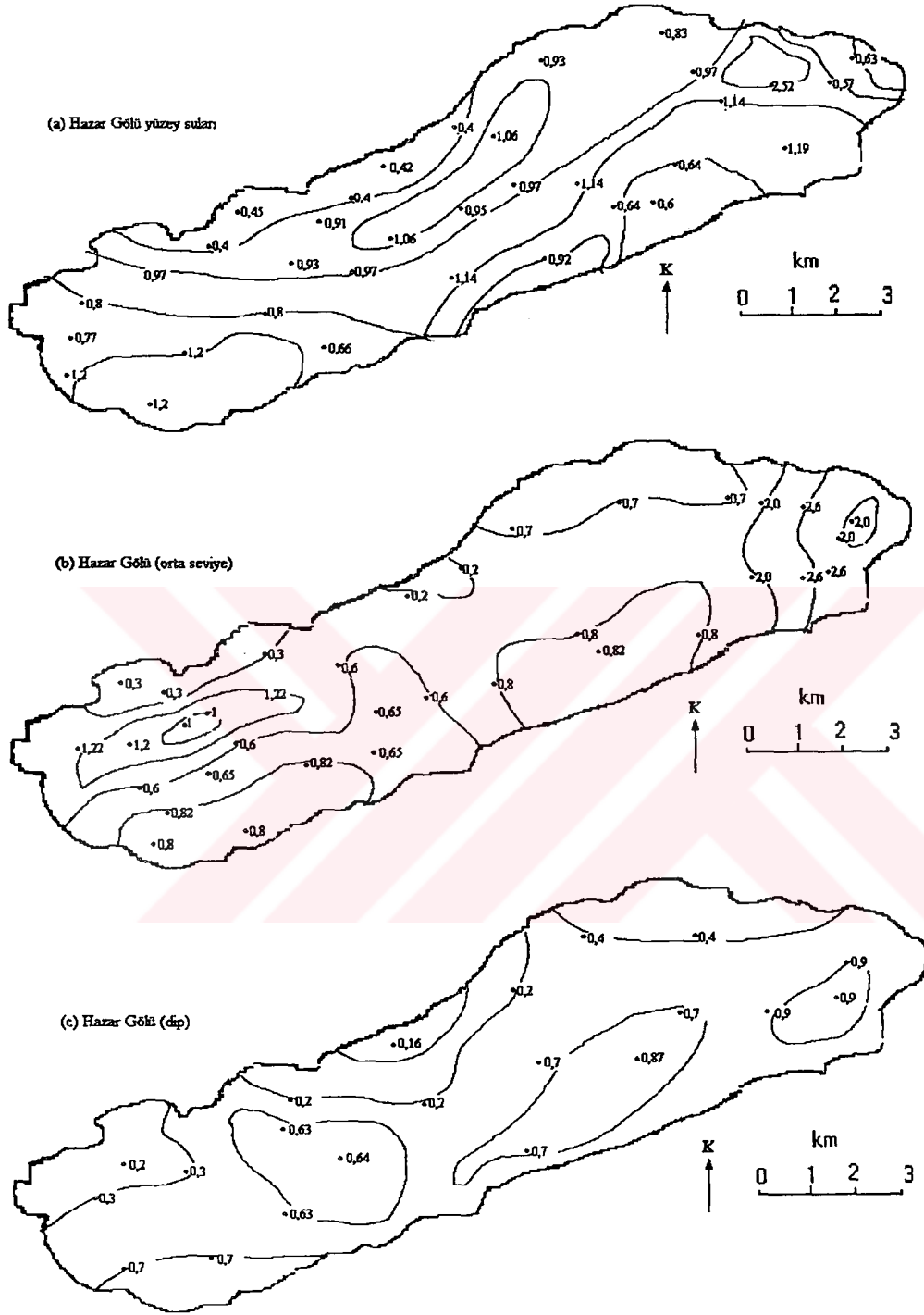
beta aktivitesi açısından diğer bölgelere oranla yüksek denilebilecek diğer kısımlar, kuzey kıyılarının orta kesimleri (0,2 Bq/L), doğu (0,13 Bq/L) ve güney-doğu (0,15 Bq/L) bölgeleri gösterilebilir.

Dip sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımları (Şekil 6.2-c), gölün güney kısımlarında büyük benzerlik göstermektedir (0,7-0,9 Bq-L arasında). Gölün kuzey bölgeleri de kendi aralarında benzerlik göstermekte olup 0,16 ile 0,14 Bq/L arasında değişim göstermektedir.

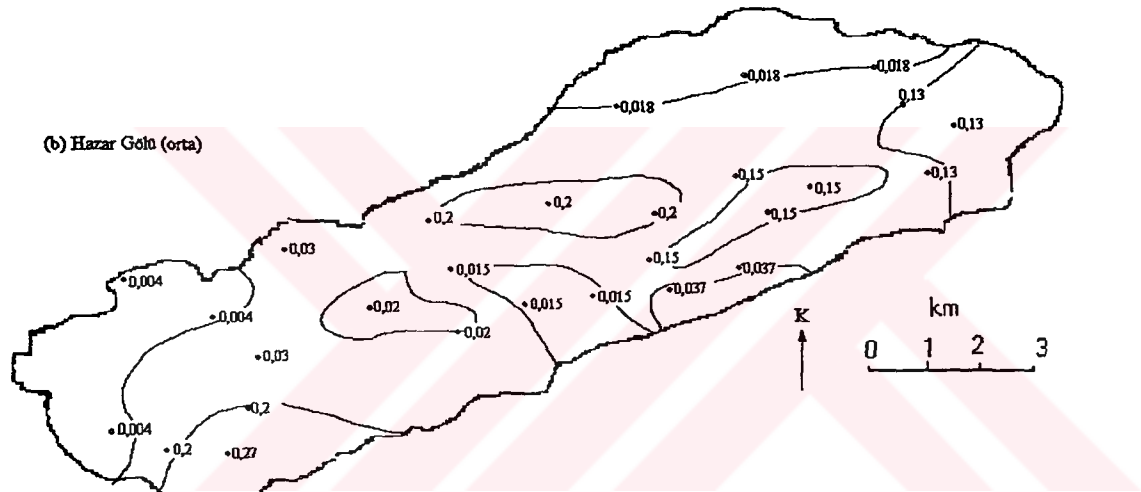
Dip sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımına bakıldığında (Şekil 6.3-c), gölün kuzey açıklarından kıyıya doğru gidildiğinde 0,04 Bq/L'den 0,02 Bq/L'ye düşen bir azalma gözlenmektedir. Bunun dışındaki bölgelerde eş-radyoaktivite hatları boyunca pek farklılık gözlenmemektedir. Dip sularındaki toplam beta aktivitesi en yüksek değerine gölün güney-doğu kesiminde ulaşmaktadır (0,16-0,17 Bq/L). Güney doğu kesiminin, dip sularındaki toplam beta radyoaktivitesinin gölün genel ortalamasından fazla olması, bu bölgenin kayaç yapısının tamamen kireçtaşı, kumtaşı ve şeyl'den oluşmasına bağlanabilir.

6.3.3. Hazar Gölü Sularının Radyoaktivite Seviyelerinin Mevsimsel Değişimleri

10, 11 ve 12 numaralı istasyonlardan su örnekleri nisan ayında alınmıştır. Sonuçlara genel olarak bakıldığında, bu istasyonlardan alınan su örneklerinin toplam alfa radyoaktiviteleri (Tablo 6.53), temmuz ayında alınan diğer su örneklerinin alfa radyoaktivitelerinden düşük olduğu görülmektedir. Toplam beta radyoaktivite değerleri ise, diğer sonuçlarla uyum içerisindedir. Hazar Gölü havzasında nisan ayı, yıllık ortalama yağış miktarı, en fazla olan aydır. Örneklerin alındığı temmuz (1999) ayında, göle düşen yağış miktarı ağustos ayından sonra en düşük seviyededir [Şen ve Topkaya, 1997]. Buharlaşma miktarının da buna paralel olarak arttığı düşünüldüğünde, radyoaktivite seviyesinde yazın, yağışın çok olduğu bahar ve kış mevsimlerine göre bir artma olduğundan söz edilebilir. Bu durumu destekleyen diğer bir varsayım da, atmosferde radyoaktivite açısından olağan üstü bir durum olmadığı düşünüldüğünde (atmosferde uçucu durumda bulunan radyoaktif elementler yağışlarla yer yüzüne inebilmektedir), kışın göle düşen saf su miktarı fazla olduğun-



Şekil 6.2: Hazar Gölü suları, toplam alfa (Bq/L) eş-radyoaktivite haritaları.



Şekil 6.3: Hazar Gölü suları, toplam beta (Bq/L) eş-radyoaktivite haritaları.

dan, yağışlı mevsimlerde radyoaktivite yoğunluğunda bir azalma olabileceğidir.

Yaz mevsiminde yüzey toprağındaki nem oranının azalmasına bağılı olarak, rüzgârlarla beraber küçük toprak parçacıklarının taşınımı söz konusudur. Rüzgâr erozyonu sonucu, gölün çevresinde var olan, kayaç ve mineral yapı olarak doğal radyoaktiviteye katkısı olduğı bilinen oluşumlardan kalkan tozun, gölün doğal radyoaktivitesine yaptığı katkı sonucu, yaz mevsiminde kış mevsimine göre doğal radyoaktivitenin artması beklenebilir.

Yağışların sebep olduğı erozyon sonucu Hazar Gölüne taşınan toprakla beraber göle ulaşan radyoaktif elementler, gölün doğal radyoaktivite seviyesine pozitif yönden etki eden diğeri bir faktördür. Gölün çevresindeki jeolojik oluşumun radyoaktiviteye büyük ölçüde katkı yaptığı düşünöldüğünde, bu faktörün önemi artmakta olup, erozyon yönünden gerekli önlemlerin alınması hem gölün doğal oluşumu açısından hem de gölde yaşayan ve gölden yararlanan canlılar açısından önemlidir.

Hazar Gölü çevresinde kurulan sosyal ve sanayi tesislerinden bazılarının ve özellikle gölün güney kesimindeki yerleşim yerlerinden kaynaklanan fosseptik atıklar, göldeki ağır metal seviyesine etki edebilmektedir. Bu atıkların radyoaktivite seviyesine de bir katkısı olduğı düşünölebilir.

6.3.4. Hazar Gölü Sularının pH Seviyeleri ve pH'ın Radyoaktiviteyle Değışimi

Bölüm 6.1'de verilen sonuçlar incelendiğinde, gölden alınan bütün su örneklerinin pH değeri 7,13 ve 9,65 değeri arasında değıştiğı görölmektedir. Bu değeri, Şen (1997) tarafından yapılan çalışmaya da uygunluk göstermektedir. Alınan sonuçlara göre Hazar Gölü suları, orta alkali ve şiddetli alkali sular sınıfına girmektedir (Tablo 5.1). Hazar Gölü suları, pH açısından kıta içi su kaynaklarının sınıflandırılmasında 4. sınıf sular sınıfına girmektedir (Tablo 4.3). Suyun alkalilik özelliğini etkileyen en önemli etken karbonat ve özellikle bikarbonat tuzlarıdır [Gölhan, 1970]. Göl suyunun yüksek pH değeri sağı olması, gölün su ürünleri yetiştiriciliğı açısından uygun olmayan bir özelliğı olarak dikkat çekmektedir. Cici (1995)'e göre gölün pH değeri yüksek olması nedeniyle ortamdaki NH_4 iyonları NH_3 haline geçerek balıkçılık için büyük bir tehlike sergilemektedir.

pH değerlerinin 9 civarında olması Hazar Gölü sularında titre edilebilecek miktarda $\text{CO}_3^{=}$ iyonu olduğunu göstermektedir. Karbonat iyonlarının yokluğu halinde bikarbonat yoğunluğu nadiren me/L değerini aşar [Tuncay, 1994]. Nitekim toplam sertlik üzerinde yaptığımız çalışmalar bu durumu desteklemektedir.

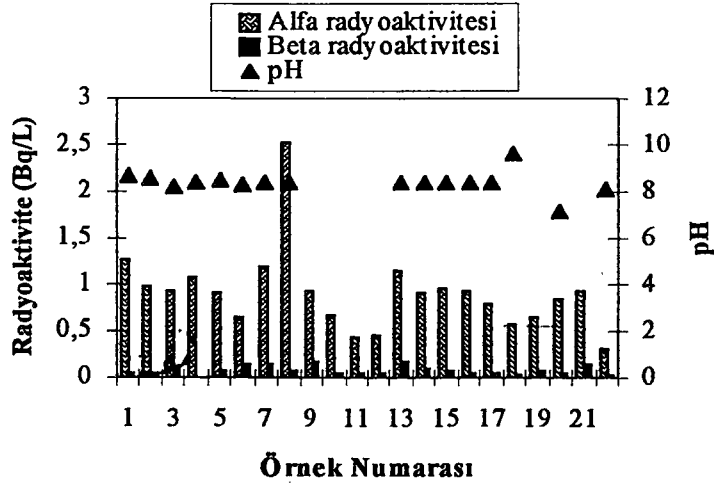
Kıta içi su kaynaklarının su kalite sınıflandırılmalarına göre, Hazar Gölü suları pH değerleri açısından, 3. dereceden kaliteli sular sınıfına girmektedir (Tablo 4.3).

Yüzey sularında en yüksek pH değeri 9,65 ile 6 numaralı yüzeyden alınan su örneğinde ölçülmüştür (Şekil 5.4, Tablo 6.48). En düşük pH değeri ise, 7,13 olup, 8 numaralı yüzey bölgesinde ölçülmüştür (Şekil 5.4, Tablo 6.50). Bahsedilen bu iki örnek arasındaki farkın büyük olmasına rağmen, Hazar Gölü yüzey sularının pH değişimi gölün genelinde aynı seviyede seyretmektedir (Şekil 6.4).

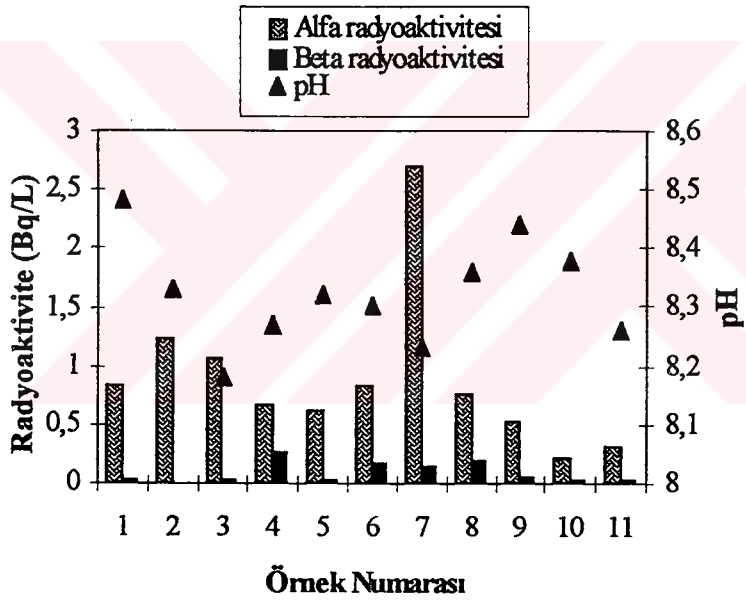
Diğer bütün eritkenlere göre, suyun reaksiyon gücü çok fazla olduğundan [Tuncay, 1994] toprakta bulunan bir çok maddeyle gazlar, su içerisinde az veya çok erimektedirler. Özellikle asit ve bazlarda eritkenlik daha da yükselmektedir. pH değerlerinin radyoaktiviteyle değişimi yüzey sularında net olarak görülememiştir. Bunun nedenlerinden birisi, pH'ın saniyeler mertebesinde değişen bir nicelik olması olabilir. Bununla beraber; pH değerlerinin, Hazar Gölü'nün değişik bölgelerine göre farklılık göstermesinin en büyük nedenlerinden birisi de, o bölgelerden alınan su örneklerinin içerisinde pH değerlerini artıran veya eksiltten etmenlerin olmasıdır. Ayrıca, suyun içerisinde var olan maddelerin, suyun doğal radyoaktivitesiyle beraber pH'ını da aynı ölçüde azaltıp yükseltmesi beklenmemelidir. Çünkü pH'ı etkileyen faktörlerin, suların radyoaktivitesini büyük ölçüde etkilemesi düşünülemez. Bu durumun tersini de söylemek mümkündür.

Hazar Gölünden, orta seviyelerden alınan sulardaki pH değerlerinden en yükseği 1-b istasyonunda (Tablo 6.2) ölçülmüş olup değeri 8,48'dir. En düşük değeri ise 8,18 olup, bu değer 3-b istasyonunda ölçülmüştür (Tablo 6.10 ve Şekil 6.5). Şekil 6.5'te görüldüğü gibi radyoaktivitenin pH'la değişimi kararlı değildir.

Dip sularında ise, en yüksek pH değeri 8,5 olup 10-b istasyonunda ölçülmüştür (Tablo 6.35 ve Şekil 6.6). En düşük pH değeri ise, 8,04'tür ve 3-c istasyonunda ölçülmüştür (Tablo 6.11 ve Şekil 6.6). Şekil 6.6'da verilen dip sularının pH ve radyo-

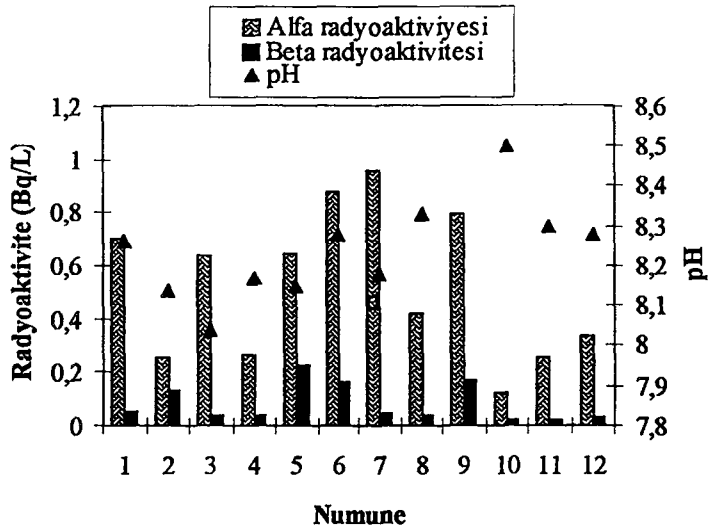


Şekil 6.4: Hazar Gölü yüzey sularının toplam alfa, beta radyoaktivitesi ve pH değişimi.



Şekil 6.5: Hazar Gölü orta derinliklerdeki suların pH'nın alfa ve beta radyoaktivitesiyle değişimi.

aktiviteye göre değişiminde, yüzey ve orta seviyedeki derinliklerden alınan sulardan biraz daha farklı olarak bir kararlılık görmek mümkündür. Sonuç olarak; yüzey, orta ve dip derinliklerden alınan su örneklerinin pH'ları, bu derinliklere göre ayrı ayrı incelendiğinde radyoaktiviteyle olan ilişkisi tam olarak ortaya çıkmamaktadır. Fakat, sulara pH açısından genel olarak bakıldığında, pH değerlerinin yüzeyden dibe doğru indikçe azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.6: Hazar Gölü dip sularının pH'ının alfa ve beta radyoaktivitesiyle değişimi.

pH'in bu davranışı, Say (1991)'in Elazığ Keban Baraj Gölü'nde daha önce yaptığı çalışmaya da uygunluk göstermektedir. Ayrıca, Say (1991)'e göre pH'ın bu davranışı oksijenin ortamdaki organik maddelerin parçalanmasında kullanılması sonucu oksijen miktarındaki azalmanın, CO₂ miktarında artmaya sebep olması ve bu durumda CO₂'den meydana gelen bir pH düşmesine bağlıdır.

6.3.5. Hazar Gölü Sularının Toplam Sertliği ve Radyoaktiviteyle Olan Değişimi

Suların sertliği; içme, endüstri ve hizmet amacıyla kullanımında önemli bir kalite özelliğidir. Suların sertliği üzerinde Ca ile birlikte Mg tuzları da önemli oranda rol oynar. Tuncay (1994)'e göre sulardaki sertlik; toprak katmanları, kalker kayaları ve jeolojik formasyonlarla, devamlı temas sonucu tuzların doğal olarak birikmesinden, endüstri atıklarının sulara akıtılmasından veya sulama fazlası drenaj sularının sulama suyuna karışmasından ileri gelebilir.

Bölüm 6.1'de verilen tüm sonuçlar, toplam sertlik açısından incelendiğinde, değerlerin gölün yüzeyinden dibe doğru indikçe arttığını göstermektedir. Toplam sertliğin derinliğe göre olan bu davranışı, Say (1991) ve Akbay (1995) tarafından sırasıyla Keban Baraj Gölü'nde ve Hazar Gölü'nde yapılan çalışmalara uygunluk göstermektedir. Dipteki sertliğin fazla olması, sertliği meydana getiren anyon ve kasyonların gölün yüzeyinden dibe doğru taşınmasından kaynaklanabilir.

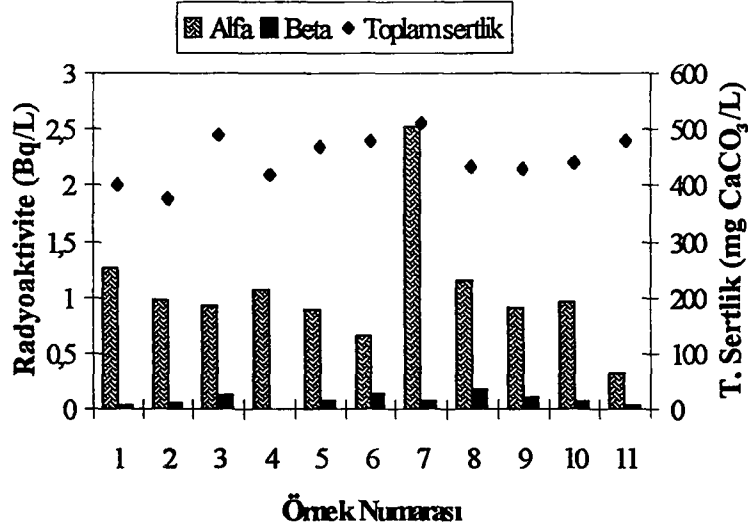
Hazar Gölü'nden alınan su örneklerinin toplam sertliği 375-520 mg CaCO₃/L arasında değişmektedir. Alınan sonuçlar, Hazar Gölü'nde toplam sertlik üzerinde yapılan diğer çalışmalara uygunluk göstermektedir [Akbay ve Anul, 1995; Cici, 1995].

Yüzey sularındaki toplam radyoaktivite ve sertlik ilişkisine bakıldığında (Tablo 6.28, Şekil 6.7), 8-a istasyonundan alınan su örneğinin toplam sertliği (510 mg CaCO₃/L) ve toplam alfa radyoaktivite (2,5238 Bq/L) değerlerinin en fazla olduğu görülmektedir. Şekil 6.7'de; örnek ekseninde özellikle 1, 4, 8, 9 ve 10 numaralı verilerde görüldüğü gibi, toplam radyoaktiviteyle sertlik arasındaki ilişki düzenlidir.

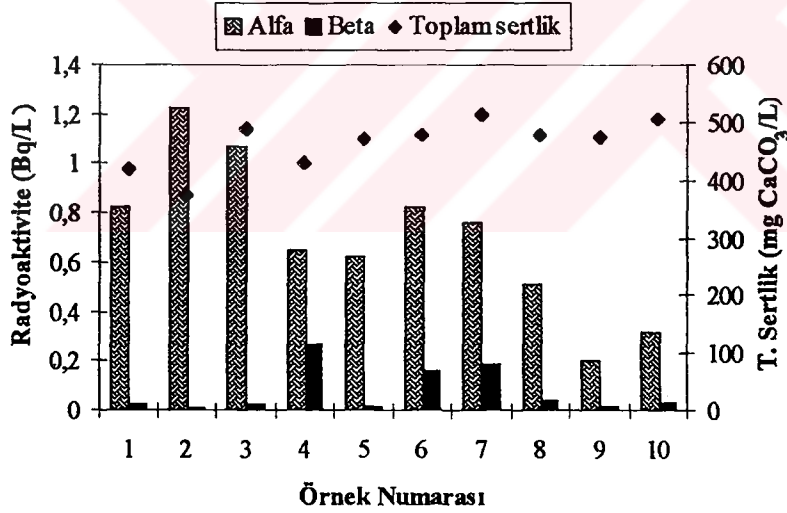
Gölün orta seviye derinliklerinden ölçülen en yüksek sertlik değeri, Şekil 6.8'de 7 nolu örnek olarak gösterilen 8-b istasyonundan (Tablo 6.29) alınan su örneğinde 515 mg CaCO₃/L olarak ölçülmüştür. Bu istasyonun toplam alfa radyoaktivite değeri de 0,7635 Bq/L'dir. Orta seviyeden alınan su örneklerinin toplam sertliklerine genel olarak bakıldığında hemen hemen aynı seviyede oldukları görülmektedir (Şekil 6.8). Diğer taraftan toplam sertliğin, toplam radyoaktiviteyle olan değişimi net olarak gözlenememektedir. Yüzey ve orta seviye derinliklerden her ikisinde de 8. istasyondan alınan örneklerin sertlik oranlarının fazla çıkması, bu bölgenin jeolojik yapısına bağlanabilir.

Dip sularındaki en yüksek sertlik değeri Şekil 6.9'da 10 numaralı örnek olarak gösterilen, 12-c istasyonunda (Tablo 6.42), 520 mg CaCO₃/L olarak ölçülmüştür.

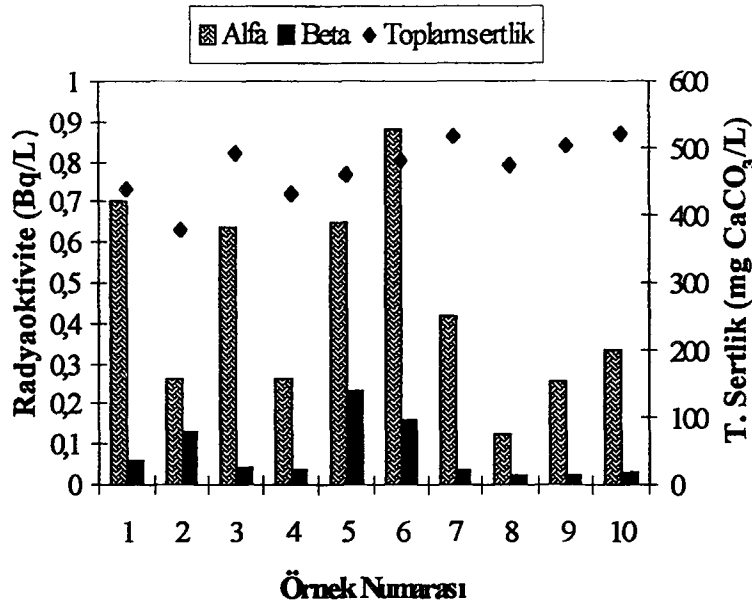
Dip sularındaki toplam sertlik seviyelerin de yaklaşık olarak aynı seviyelerde kaldığı gözlenmektedir. Bütün seviyelerde ki diğer sonuçların farklı çıkması, sertlik üzerinde değişime neden olan asidite [Say, 1991] faktörüne de bağlanabilir.



Şekil 6.7: Hazar Gölü yüzey sularının toplam sertliğinin radyoaktiviteyle olan ilişkisi.



Şekil 6.8: Hazar Gölü orta seviye derinliklerdeki toplam sertliğin radyoaktiviteyle olan ilişkisi.



Şekil 6.9: Hazar Gölü dip sularının toplam sertliğinin radyoaktiviteyle olan değişimi.

6.3.6. Hazar Gölü Sularının Elektriksel İletkenliği ve Radyoaktiviteyle Olan Değişimi

Bir çok bileşiğin suda eriyebilirlik özelliği, suda erimiş halde bulunan maddelerin, toplam yoğunluğunu ve bileşimini doğrudan etkiler. Bir suyun kalitesini belirleyen temel faktör de, o suda bulunan erimiş maddelerin yoğunluğu ve bileşimidir. Gerek sulama suyu olarak gerekse hizmet veya diğer amaçlı kullanımlar için su kalitesi tayin edilirken suda erimiş halde bulunan tuzların bileşimi ve yoğunlukları ile bazı özel iyon tesirleri dikkate alınır.

Suda bulunan erimiş maddelerin (tuzların) çeşidini, bileşim ve yoğunluğunu, ister yüzey ve ister yer altı suyu olsun, daha çok, içerisinden geçtiği veya devamlı temas halinde bulunduğu jeolojik formasyon veya toprak materyali tayin eder [Tuncay, 1994].

Suda erimiş tuzların nitratlar (NO_3^-) dışında tümünün esas kaynağı Litosfer'i oluşturan kaya ve minerallerdir. Kaya ve minerallerin çevreleriyle olan çeşitli kimyasal etkileşimleri sayesinde (örneğin, CO_2 'li suların etkisiyle ayrışmaları sonucu) tuzlar açığa çıkar ve suda erimiş hale geçerler.

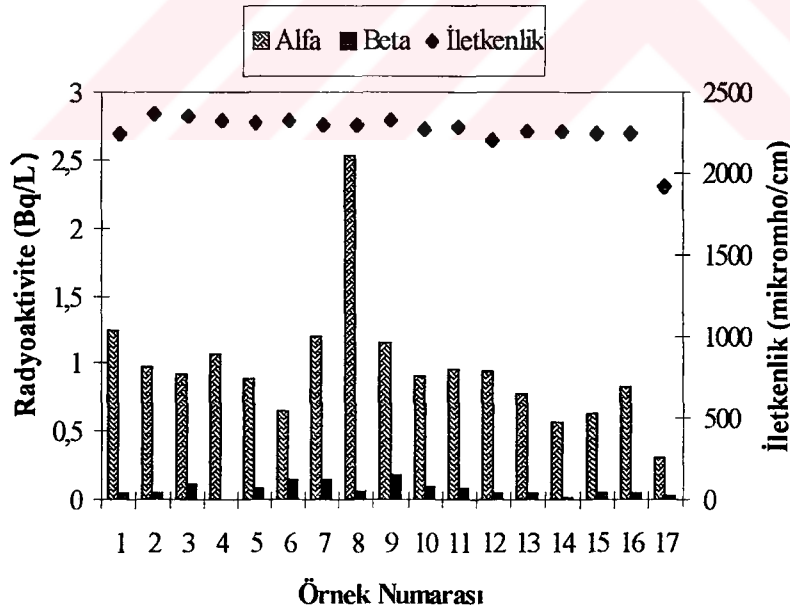
Hazar gölü sularının elektriksel iletkenliği, 1924-2420 $\mu\text{mho/cm}$ değerleri arasında değişmekte olup, en düşük ölçüm 10. yüzey bölgesinden (Şekil 5.4, Tablo

6.52), en yüksek değer ise, 1-b istasyonundan (Şekil 5.4, Tablo 6.2) alınmıştır. Bu değerler Akbay (1995)'e de uygunluk göstermektedir.

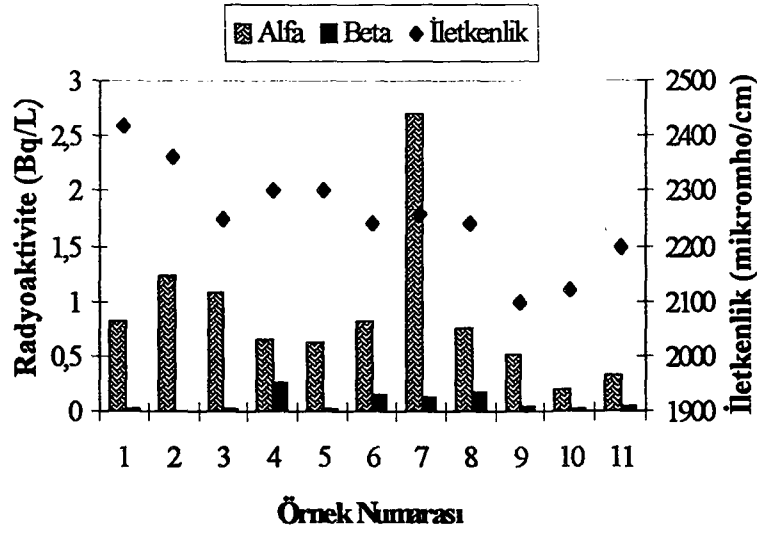
Yüzey sularının elektriksel iletkenlik değerleri (Şekil 6.10), genel olarak birbirine yakındır. Elde edilen toplam alfa radyoaktivite değerlerinin düşüşüne bağlı olarak, iletkenlikte de kısmi bir azalma görülmektedir. Bu durum, iletkenliği artıran iyonların, toplam alfa radyoaktivitesi üzerinde de artış sağlamasına bağlanabilir. Aynı durum toplam beta radyoaktivitesi için de söylenebilir.

Bölüm 6.1'de elde edilen sonuçlara göre, elektriksel iletkenlik değerlerinin, yüzeyden dibe doğru indikçe azaldığı görülmektedir. Azalmanın sebebi; suda erimiş halde bulunan ve suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştiren tuzların (katyonlar ve anyonlar) yüzey sularında daha fazla olmasıdır.

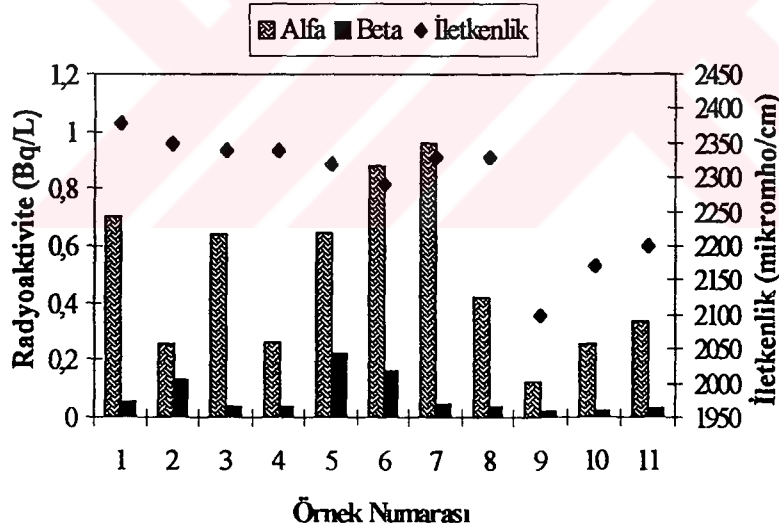
Yüzey sularındaki radyoaktivite-iletkenlik değişimleri, orta ve dip seviye sularda görülmemektedir. Yüzey suları iletkenlik değerleri, 1924-2370 $\mu\text{mho/cm}$, orta seviye suların iletkenlik değerleri, 2100-2420 $\mu\text{mho/cm}$ değerleri arasında, dip suları ise, 2100-2380 $\mu\text{mho/cm}$ değerleri arasında değişmektedir (Şekil 6.11, Şekil 6.12).



Şekil 6.10: Hazar Gölü yüzey sularının elektriksel iletkenliği ve radyoaktiviteyle olan değişimi.



Şekil 6.11: Hazar Gölü suları orta derinliklerdeki elektriksel iletkenliğin radyoaktiviteyle olan değişimi.



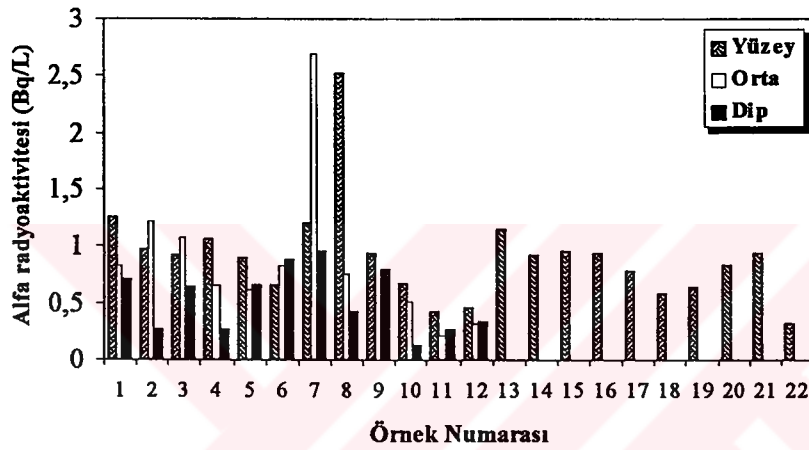
Şekil 6.12: Hazar Gölü dip sularının elektriksel iletkenliğinin radyoaktiviteyle olan değişimi.

Elektriksel iletkenlik bakımından Hazar Gölü suları, 4. sınıf sular sınıfına girmekte olup (Tablo 4.2), sulama için kullanılması sakıncalıdır.

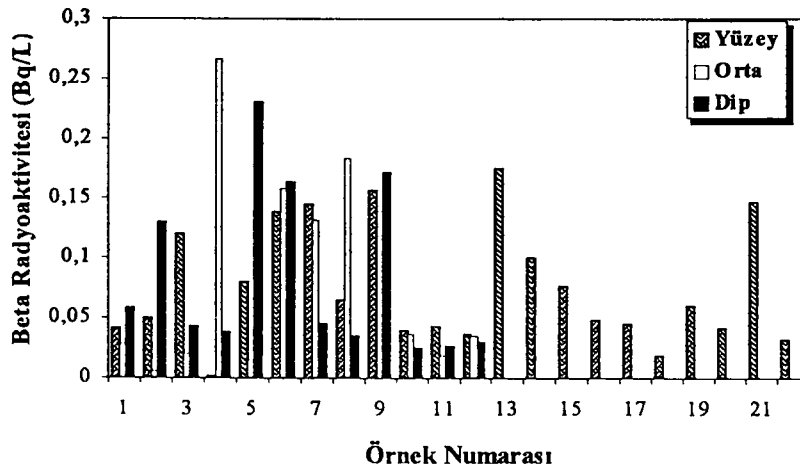
6.4. Hazar Gölü Sularının Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Derinliğe Göre Değişimi

Hazar Gölü'nden 12 istasyon (yüzey, orta ve dipten su alınan merkezler), 8 bölgeden alınan dip çamuru ve 10 tanede sadece yüzeyden alınan su örnekleri olmak üzere toplam 54 örnek incelenmiştir.

Alınan su örneklerinin, toplam alfa ve beta radyoaktivitelerinin su yüzeyi, orta derinlikler ve dip derinliklerine göre değişimi sırasıyla Şekil 6.13 ve Şekil 6.14' de görülmektedir.



Şekil 6.13: Hazar Gölü'nden alınan su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite değişimi.



Şekil 6.14: Hazar Gölü'nden alınan su örneklerinin toplam beta radyoaktivite değişimi.

Şekil 6.13 ve 6.14’de görülen ilk 12 örnek belli noktalardaki istasyonlardan alınan su örnekleridir. Alınan su örnekleri Şekil 6.13’de toplam alfa radyoaktivitesi açısından incelendiğinde yüzeydeki toplam alfa radyoaktivitesinin fazla olduğu görülmektedir. Buna karşılık toplam beta radyoaktivitesinin (Şekil 6.14) toplam alfa radyoaktivitesi gibi, genel olarak yüzeyden alınan su örneklerinde yüksek olduğunu söylemek mümkün değildir. Toplam beta ölçümü yapılan istasyonlardan, 5’inin toplam radyoaktivitesi (Şekil 6.14) diğer derinliklerden fazladır.

Şekil 6.13 incelendiğinde toplam alfa radyoaktivitesi en yüksek olan bölgelerin, 7 ve 8 numaralı istasyonlardan (Şekil 5.4) alınan su örneklerinde çıktığı görülmektedir (7. istasyonda orta seviye (45 m), 8. istasyonda yüzey suyu).

Şekil 6.14 incelendiğinde ise, 4 numaralı istasyonun orta seviyesinden (12 m) alınan su örneğinin en yüksek toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülür.

Gölden alınan bütün su örneklerindeki toplam alfa radyoaktivitesinin, diğer derinliklerden alınan su örneklerinin toplam alfa radyoaktivitesinden daha yüksek çıkması aşağıdaki sebeplere bağlanabilir:

1) Uranyum madeni, özellikle ^{238}U yüzey sularında daha fazla bulunmaktadır. Uranyumun derin sularda dipten yüzeye doğru bir akış yönü izlediği gözlenmiştir. Buna göre ^{238}U ve buna bağlı olarak U miktarının göllerdeki değişimini şöyle ifade edilebilir: Yüzeydeki U miktarı $\mu\text{g/L}$ > Orta seviyede U miktarı $\mu\text{g/L}$ > Dipteki U miktarı $\mu\text{g/L}$ [Miekeley, 1992].

2) Uranyum, uranil kompleksleri halinde en çok oksidize edici sular içerisinde çözünmektedir [Miekeley, 1992]. O halde, yüzey sularının alfa radyoaktivitesinin diğer derinliklere göre daha fazla olması, yüzey sularının daha fazla oksidize edici özelliğe sahip olmasına bağlanabilir.

3) Yüzey suları ve sığ sular uranyum tutucu olduğundan [Miekeley, 1992] Hazar Gölü yüzeyinden alınan su örneklerinin toplam radyoaktivitelerinin yüksek çıkması beklenen bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

4) Örneklerin alındığı yaz mevsiminde (temmuz ayı) ^{226}Ra seviyesinin kış ve sonbahara göre daha yüksek olduğu çeşitli göllerde yapılan araştırmalarda ortaya

çıkıştır [Clulow, 1998]. Bu araştırmalar sonucunda, suda bulunan radyoaktif elementlerin en önemlilerinden ^{226}Ra miktarının derinlik arttıkça azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu nedenle göl yüzeyinden alınan su örneklerinin diğer derinliklere göre fazla çıkması, yüzeydeki ^{226}Ra derişiminin fazlalığına da bağlanabilir.

5) Yaz aylarında rüzgârların yönü yükseltelerin zirvesinden eteklere doğrudur [Arvela, 1994]. Bu nedenle, Hazar Gölü çevresinde bulunan, kayaç ve mineral bakımından radyoaktiviteye katkısı bulunduğunu düşündüğümüz yükseltelerden, rüzgârlar yardımıyla göl yüzeyine taşınan radyoaktif madde artıkları, yüzeydeki toplam doğal radyoaktivitenin fazla çıkmasına neden olabilir. Hareketli sularda özellikle Hazar Gölü gibi granitik kaynaklı olduğunda U ve Th serilerine ait diğer radyoaktif çekirdekler ve Rn gazının konsantrasyonu yüksektir [Thomas, 1987; Lowry, 1987; Dillon, 1991; Zelensky, 1993; Otwoma'dan 1998].

6) Toprak yüzeyine dağılmış radyoaktif çekirdek kalıntıları, yağmur suları ve erozyonla taşınmaktadır [Joshi, 1995; Cornett, 1995]. Bu taşınmanın, gölün doğal radyoaktivitesine önemli ölçüde katkı yaptığı söylenebilir.

7) Yüzey sularının akış hızının yüksek olması, içinde asılı olan partiküllerdeki potasyum, rubidyum, kozmik ışın kökenli ve suni radyoaktif çekirdekleri barındıran kil minerallerinin taşınmasını sağlamaktadır [Sayre, 1963; Karahan'dan 1997]. Kil mineralleri ise, uranyum grubu radyoaktif elementleri yapılarında tutan mineraller olup sular tarafından kolayca taşınabilir. Dolayısıyla diğer derinliklere göre yüzey sularının daha hareketli oluşu, radyoaktif elementlerin taşınımı için daha elverişli bir ortam sağlamaktadır.

8) Okside olmuş U^{+6} (uranil) iyonu; karbonat, fosfat ve sülfat iyonlarıyla kolayca kompleks yapıp, suyun hareketi ile kolaylıkla taşınabildiğinden [Gascoyne, 1992], yüzey sularındaki toplam radyoaktivitenin diğer derinliklere göre fazla çıkmasına sebep olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Adler, H.H., 1974, Concepts of U-ore formation in reducing environments in sandstone and other sediments, In Formation of U deposits, Proc. Symp., Athens., Atomic Energy Agency, Vienna, 141-166.
- Ahrens, L.H., 1965, Distribution of the elements in our planet, McGraw-Hill, New York.
- Akbay, N., Anul, N., 1995, Hazar Gölü'nün su ürünleri yönünden değerlendirilmesi, 1. Hazar Gölü ve çevresi sempozyumu bild., Sivrice Kaymakamlığı Yay. No: 2, Elazığ, 111-119.
- Alkan, H., Göksel, S.A., 1975, Türkiye kaplıca ve maden sularının doğal radyoaktivite-leri ve sularda radon tayini, TÜBİTAK 5. Bilim Kongresi.
- Arvela, H., Voutilainen, A., Honkamaa, T., Rosenberg A., 1994, Health phys., 67, 3, 254-260.
- Banks, D., Røyset, O., Strant, T., Skarphagen, H., 1995, Radioelement (U, TH, Rn) concentrations in Norwegian Bedrock groundwaters, Environmental Geology, 25, 165-180.
- Barnes, A.J., 1986, Water pollution control; national primary drinking water regulations; radionuclides, Federal Register 51, 189, 30/9/86, 34836-34862.
- Biricik, A.S., 1993, Hazar (Gölcük) depresyonu (Elazığ), Türk Coğr. Derg. Sayı 28, İstanbul.
- Bologna, J.A., Helmich, S.B., 1969, An Atlas of Gamma Ray Spectra, LA 4312.
- Burnett, W.C., and Veeh, H.H., 1992, U-series studies of marine phosphates and carbonates, In M. Ivanovich and R.S. Harmon (ed.) U-series disequilibrium: Applications to earth, marine and environmental sciences, 2 nd ed., Clarendon Press, Oxford, 487-512.
- Canbazoglu, C., 1998, Elazığ ve çevresindeki içme ve kullanım sularında radyoaktivite seviyelerinin tayini, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Ün. Fen Bilimleri Enst., Elazığ.
- Chaput, E., 1936, Türkiyede jeolojik ve jeomorfojenik tetkik seyahatleri, Çeviren: Tanoğlu, A., İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları No. 11, İstanbul.
- Cherdyntsev, V.V., 1971, U-234, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.

- Choppin, G.R., and J. Rydberg, 1980, Nuclear Chemistry, Pergamon, Oxford.
- Cici, M., 1995, 1. Hazar Gölü ve çevresi sempozyumu, Sivrice, Elazığ.
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Trussell, R.R., 1989, Standart Methods For the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Washington, USA, Part 7000-7500.
- Cloud, P.E., 1968, Atmospheric and hydrospheric evolution in the primitive earth, Science (Washington, DC), 160, 729-376.
- Clulow, F.V., Dave, N.K., Lim, T.P., Avadhanula, R., 1998, Ra-226 in water, sediments, and fish from lakes near the city of Elliot Lake, Ontario, Canada, Envir. Pollution, 99, 13-28.
- Cochran, J.K., 1992, The oceanic chemistry of the U and Th series nuclides, In Ivanovich and R.S. Harmon (ed.) U-series disequilibrium: Applications to earth, marine and environmental sciences, 2 nd ed., Clarendon Press, Oxford, 334-395.
- Cornett, R.J., Eve, T., Docherty, A.E, Cooper, E.L., 1995, Appl. radiat. isot., 46, 11, 1239-1243.
- Cowart, J.B. and Burnett, W.C., 1994, The distribution of U and Th decay-series radionuclides in the environment-A Review, J. Environ. Qual., 23, 651-662.
- Cowart, J.B., and J.K. Osmond, 1974, ^{234}U and ^{238}U carrizo sandstone aquifer of south Texas, In isotope techniques and grounwater hydrology, Proc. Symp., Athens., Atomic Energy Agency, Vienna, 131-149.
- Cowart, J.B., J.K. Osmond, 1977, U isotopes in groundwater: Their use prospecting for sandstone-type U deposits, J. Geochem. Expl., 8, 365-379.
- Cox, P.A., 1989, The Elements, Oxford Uni. Press, New York.
- Dall'Aglio, M., 1973, Geochemical the exploration for U, p. 189-208, In Uranium exploration methods. Proc. Panel, Vienna, 10-14 Apr. 1972, Int. Atomic Energy Agency, Vienna.
- Dearnaley, G., Northrop, D.C., 1966, Semiconductor Counters for Nuclear Radiations, Sec. ed., John Wiley & Sons, New York, N.Y.
- Dillon, M.E., Carter, G.L., Arora, R., Kahn, B., 1991, Rn concentrations in ground water of Georgia Piedmont, Health phys., 60, 229-236.

- Doğru, M., vd., The Relationship Between The Groos Radioactivity in Driking Water and Soil Formation in Elazığ (Turkey)., J. of Env. Radioactivity. (*İnceleme*).
- Doğru, M., vd., 1999 (a), Yabancı Marka Sigara Tütünlerinde Düşük Seviyeli Alfa Radyoaktivitesinin Belirlenmesi, F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi, 11, 2, 101-104.
- Doğru, M., vd., 1999 (b), Elazığ ve Malatya İl Merkezlerinin İçme Sularında Toplam Radyoaktivite Seviyelerinin Karşılaştırılması, VII. Medikal Fizik Kongresi, Kasım, 1999, İzmir.
- Drever, J.I., 1988, The geochemistry of natural waters, 2nd ed., Englewood Cliffs, New Jersay, Prentice Hall, 437.
- Dune, L.A., Hempton, M.R., 1984, Strike-slip sedimentation at Lake Hazar, Geo. Taurus Belt Symp., MTA-1983, 223-228.
- Durrance, E .M., 1986, Radioactivity in geology, John Wiley & Sons, New York.
- Emiliani, C., 1992, Planet earth, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences, Van Nostrant Reinhold,
- Ericson, E, 1962, Academic press inc., New York, Radioactivity in hydrology, p.47.
- Faure, G., 1986, Principles of isotope geology, John Wiley & Sons, New York.
- Garrels, R.M., Christ, C.L., 1965, Solutions, minerals and equilibria, Freeman, Cooper&Co., 450.
- Gascoyne, M., 1992, Geochemistry of the actinides and their daughters, In M.
- Gascoyne, M., R.S. Harmon, 1992, Paleoclimatology and paleosea levels, In Ivanovich and R.S. Harmon (ed.) U-series disequilibrium: Applications to earth, marine and environmental sciences, 2 nd ed., Clarendon Press, Oxford, 553-582.
- Goldschmidt, V.M., 1954, Geochemistry, Clarendon Press, Oxford.
- Goulding, F.S., 1964, Semiconductor Det.-Theirs Properties and Applications, Nucleonics, 22, 5, 54.
- Gölhan, M., Aksoğan, S., 1970, Suların Arıtılması, Cilt 1, İstanbul.
- Gürocak, Z., 1993, Sivrice (Elazığ) çevresinin jeolojisi, Yük. Lis. Tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ.

- Harada, K., W.C. Burnett, P.A. LaRock, and J.B. Cowart, 1989, Po in Florida groundwater and its possible relationship to the sulfur cycle and bacteria, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, 143-150.
- Hempton, M.R., 1984, Result of detailed mapping near Lake Hazar, *Geo. Taurus Belt Symp.*, MTA-1983, 223-228.
- Hempton, M.R., Dunne, L.A., Dewey, J.F., 1983, Sedimentation in an active Strike Slip basin, southeastern Turkey: *J. Geo.*, 91, 743-753.
- Herece, E., Akay, E., 1992, Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı, *Türkiye 9. Petrol Kong.*, 361-372, Ankara.
- Hess, C.T., J. Michel, T.R. Horton, H.M. Prichard and W.A. Conoligio, 1985, The occurrence of radioactivity in Public water supplies in the United States, *Health Phys.*, 48, 553-586.
- Hostetler, P.B., R.M. Garrels, 1962, Transportation and precipitation of U and V at low temperature, with special reference to sandstone-type U deposits, *Econ. Geol.*, 57, 137-167.
- Huntington, E., 1902, The valley of the upper Euphrates River and its people, *Bull. Am. Geol. Soc.*, 34, 301-318.
- Joshi, S.R., 1995, Plutonium in Lake Ontario, *Appl. radiat. isot.*, 46, 11, 1231-1238.
- Kaplan, O., 1998, Elazığ ve Yakın Çevresinin Su Sorunları ve Kaynakların Değerlendirilmesi, Y.L. Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst., Elazığ.
- Karahan, G., 1997, İstanbul'un çevresel radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğeri, Doktora tezi, İTÜ Nükleer Enj. Enst., İstanbul.
- Kaya, A., 1993, Gezin-Maden (Elazığ) çevresinde jeolojik araştırmalar, Yük.Lis. Tezi, F.Ü., Fen Bil. Ens., Elazığ.
- Key, R.M., J.L., Sarmiento, W.S. Moore, 1985, Distribution and flux of ^{226}Ra and ^{228}Ra in the Amazon River estuary, *J. Geophys. Res.*, 90, 6995-7004.
- Killeen, P.G., Heier, (1975b), Th, U, K and heat production measurements in ten Precambrian granites of the Telemark area, Norway, *Nor Geol Unders* 319, 59-83.
- King, P.T., J. Michel and W.S. Moore, 1982, Grounwater geochemistry of ^{228}Ra , ^{226}Ra and ^{222}Rn , *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 1173-1182.

- Kleinknecht, K., 1990, Detectors for particle radiation, Cambridge Univ. Press, New York.
- Knoll, G.F., 1979, Radiation Detection and Measurement, Wiley and Sons, New York.
- Krauskopf, K.B., 1979, Introduction to geochemistry, 2nd ed., New York: McGraw-Hill.
- Krishnaswami, S., W.C. Graustein, K.K. Turekian and J.F. Dowd, 1982, Ra, Th and radioactive lead isotopes in groundwater: Application to the in-situ determination of adsorption rate constants and retardation factors, Water Resour. Res. 18, 1663-1675.
- Ku, T-L, 1972, Radium in the oceans,. In R.W., Fairbridge (ed.) Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences, Van Nostrand Reinhold, New York, 1008-1114.
- Kuroda, P.K., 1982, The origin of chemical elements, Springer-Verlag, New York.
- Lahermo, P., Juntunen, R., 1991, Radiogenic properties of Finnish soils and groundwaters, In: Pulkkinen E (Ed), Envir. Geochemistry in northern Europe, Geological Survey of Finland, Spec. Publ. 9, 257-269.
- Levinson, A.A., C.J. Bland, R.S. Lively, 1982, Exploration for U ore deposits, In M. Ivanovich and R.S. Harmon (ed.) U-series disequilibrium: Applications to environmental problems, Clarendon Press, Oxford, 351-383.
- Lowry, J.D., Hoxie, D.C., Moreau, E., 1987, Extreme levels of ²²²Rn and U in a private water supply, National Water Well Association; Ann Arbor, MI: Lewis Publishers, 363-376.
- Michel, J., 1987, Sources, In C.R. Cothorn and J.E. Smith (ed.), Environmental Rn, Plenum, New York, 81-130.
- Miekeley, 1992, U and Th isotopes in groundwaters from the Osamu Utsumi mine and Morro do Ferro natural analogue sites, Poços Caldas, Brazil, J. Geochemical Exploration, 45, 345-363.
- Milvy, P., Cothorn, C.R., 1990, Scientific background for the development, of regulations for radionuclides in drinking water, Chelsea, Michigan: Lewis publishers, 83-95.
- MTA, 2000, <http://www.mta.gov.tr>
- NCRP Report 45, 1975, National Council on Radiation Protection and Measurement No.45, Natural Background Radiation in the U.S., Soil Radioactivity, 54.

- Nguyen-Trung, C., Palmer, D.A., Begun, G.M., 1991, The role of chloride in the solubility and the transport of U in aqueous solutions at 25 °C, 0.1 MPA, In: Selenus O (Ed), Abstracts 2 nd International Symposium on Envr. Geoc., sver Geol Unders Rapp Meddel, No.69, Uppsala.
- Otwoma, D. and Mustapha, A.O., 1998, Health phys., 74, 1, 91-95.
- Polar, E., Bayülgen, N., 1989, Çernobil yağmuru ile kirletilmiş bir toprağın içerdiği radionüklidlerin su ve kara bitkilerindeki konsantrasyon faktörleri arasındaki farklar, Radyoaktif atıklar, Çevre ve Sağlık Semp., Boğaziçi Ü. Mat., İst., 191-201.
- Press, F., and R. Siever, 1978, Earth 2nd ed. W.H. Freeman and Co., San Francisco.
- Rankama, K., and Th.G. Sahama, 1950, Geochemistry. Univ. Of Chicago Press, Chicago.
- Richards J.A., Sears F.W., Wehr M.R., Zemansky M.W., 1975, Modern University Physics, Addison-Wesley Publishing Com., Inc. Reading Massachusetts, USA.
- Robertson, D.S., 1974, Basal Proterozoic units as fossil time markers and their use in U prospection, In formation of U ore deposits, Proc. Symp., Athens., Atomic Energy Agency, Vienna. 495-512.
- Rogers, A.S., 1958, U.S. geology bulletin 1052-E, Physical behavior and geologic control of radon in mountain streams.
- Rogers, J.J.W., Adams, J.A.S., 1969, Uranium, 92-A-1 to 92-G-7, In K.H. Wedepohl (ed.) Handbook of geochemistry, Springer-Verlag, New York.
- Sağiroğlu, A., Çetindağ, H., 1995, Hazar Gölü'nün Kürk ve Mogal derelerinden kaynaklanan şiltlenmesi, 1. Hazar Gölü ve çevresi semp. bildiriler kitabı, Sivrice Kaymakamlığı Yay. Yayın no:2, 33-39.
- Say, H., 1991, Elazığ kanalizasyonun ve ferrokrom fabrikası atıklarının Keban Baraj Gölüne döküldüğü bölgelerde ağır metal analizleri, Y.L. tezi, Fırat Ü. Fen Bilimleri Enst., Elazığ.
- Sayre, W.W., Guy, H.P. and Chamberlan, A.R., 1958, U.S. Geology survey professional papre 433-A, Uptake and transport of radionuclides by stream sediments. Science (Washington, DC), 160, 729-376.
- Scott, M.R., 1982, The chemistry of U-and Th-series nuclides in rivers, In Ivanovich and R.S. Harmon (ed.) U-series disequilibrium: Applications to environmental problems, Oxford Univ. Press, Oxford, 181-201.

- Siegbahn, K., ed., 1965, Alpha, Beta and Gamma Ray Spectroscopy, Vol.1., North Holland Publishing Co., Amsterdam.
- Şen, B., Topkaya B., 1997, Lake Hazar (Elazığ) in conservation and management of lakes, reservoirs and wetlands in Turkey, Published by International Lake Envr. Com. Foundation Japan, 163-168.
- Tanoğlu, A., İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları No. 11, İstanbul.
- Tatar, Y., 1987, Elazığ bölgesinin genel tektonik yapıları ve Landsat fotoğrafları üzerine yapılan bazı gözlemler: Yerbilimleri, 14, 295-308.
- Tatar, Y., Turan, M., Aksoy, E., 1995, Hazar Gölü yakın çevresinin jeolojisi ve göl'ün oluşumu, 1. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu Bild., Sivrice.
- Taylor, J.M., 1963, Semiconductor Particle Detectors, Butterworths, Washington, D.C.
- Thomas, M.A., 1987, A Connecticut radon study-using limited water sampling and a statewide ground-based gamma survey to help guide an indoor air testing program, Proceeding of a conference, National Water Well Association; Ann Arbor, MI: Lewis Publishers, 347-362.
- Tuncay, H., 1994, EÜ Ziraat Fakültesi. Yay., No:512, Bornova-İzmir.
- Tuncer, S., Tuğrul, B., 1991, Marmara Bölgesi içme sularında radyoaktivite seviyelerinin tayini, III. Ulusal medikal fizik kongresi bildiri kitabı, 267-272.
- Uslu, O., Türkmen, A., 1987, Su kirliliği ve kontrolü, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müd. Yayınları, Ankara.
- Wampler, J.M., 1972, Lead: Element and geochemistry, In R.W., Fairbridge (ed.) Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences, Van Nostrand Reinhold, New York, 642-645.
- Wright, R.J., 1972, Th: Element and geochemistry, In R.W. Fairbridge (ed.)
- Yiğit, A., 1994, Sivrice Maden yöresinin mevzii coğrafyası, Dok. Tezi, F.Ü. Sosyal Bilimler Ens., Elazığ.
- Zelensky, A.V., Buzinny, M.G., Los, I. P., 1993, Measurements of ^{226}Ra , ^{222}Rn and U in Ukrainian groundwater using ultra-low-level liquid scintillation counting, 405-411.