

169384

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KEBAN BARAJ GÖLÜ ULUOVA KESİMİNİN DOĞAL
RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

Fatih KÜLAHCI

DOKTORA TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI

ELAZIĞ, 2005

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KEBAN BARAJ GÖLÜ ULUOVA KESİMİNİN DOĞAL
RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

Fatih KÜLAHCI

DOKTORA TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI

Bu tez, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Projeleri Yönetim Birimi (FÜBAP)
tarafından desteklenmiştir (FÜBAP-Proje No: 894).

ELAZIĞ, 2005

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KEBAN BARAJ GÖLÜ ULUOVA KESİMİNİN DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ

Fatih KÜLAHCI

Doktora Tezi
Fizik Ana Bilim Dalı

Bu tez, ~~03.10.2005~~.....tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / ~~başarısız~~ olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mahmut Doğru

Üye: Prof. Dr. Osman Adıgüzel

Üye: Prof. Dr. Fahrettin Göktaş

Üye: Doç.Dr. İskender Akkurt

Üye: Yrd.Doç.Dr. Habibe Özmen

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~12.10.2005~~...tarih ve ~~12.10.2005~~...sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Doktora Tezi

KEBAN BARAJ GÖLÜ ULUOVA KESİMİNİN DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ

Fatih KÜLAHCI

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Ana Bilim Dalı

2005, Sayfa : 124

Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi farklı jeolojik ve coğrafik özellikleri olan yaklaşık 250 km² alana sahip bir bölgedir. Bölgenin özelliklerini tamamen yansıtacak şekilde toplam 59 istasyondan alınan su ve dip sediment örneklerinde; toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri, Fe, Mg, Ca, K, Na, Zn, Cu, Cr, Co, Ni, Mn metallerinin yanı sıra, bölgenin çevresel gama dozu da belirlenmiştir. Toplam alfa ve beta radyoaktivitelerinin; ağır metaller ve makro elementler ile ilişkisi incelenerek aynı örneklerin; pH, elektriksel iletkenlik ve toplam sertlikleri belirlenmiş ve bu parametrelerin doğal radyoaktivite ile ilişkisi istatistiksel olarak yorumlanmıştır. Toplam radyoaktivite verilerinden yararlanarak, bölgenin eş (iso) radyoaktivite haritaları çizilmiştir. Sonuçlar; bölgenin jeolojik, coğrafik ve iklimsel özelliklerinin yanı sıra, mevsimsel özellikleri de dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radyoaktivite, Ağır Metal, Keban Baraj Gölü, Gama, İletkenlik, Sertlik, pH.

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF THE NATURAL RADIOACTIVITY IN ULUOVA ZONE OF KEBAN DAM LAKE

Fatih KÜLAHCI

Fırat University

Graduate School of Science and Technology

Department of Physics

2005, Page: 124

Uluova Zone of Keban Dam Lake has approximately 250 km² area and different geological and geographical properties. Total alpha and total beta radioactivity, Fe, Mg, Ca, K, Na, Zn, Cu, Cr, Co, Ni, Mn metals were determined in water and deep sediment samples which are collected from different 59 stations as reflecting the properties of the zone completely, and also the environmental gamma dose was determined. The relationship between the total alpha-beta radioactivity and heavy metals, macro elements were studied. The total hardness, electrical conductivity and pH were also determined in the same samples and the relationship between those parameters and the natural radioactivity were statistically evaluated. Based on the total radioactivity data; iso-radioactivity maps of the zone were drawn. The results were also evaluated by considering the geological, geographical, climatic properties and seasonal variations.

Keywords: Radioactivity, Heavy Metal, Keban Dam Lake, Gamma, Conductivity, Hardness, pH.



*Haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim
Babama ve Rahmetli Anneme...*

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın vücut bulmasında ismini sayamayacağım kadar çok insanın manevi desteğini gördüm. Bu nedenle, burada isimlerini saymadığım bu insanların hepsine teşekkür etmek isterim. Çalışmanın hazırlanmasında en fazla emeği geçen insanların adlarını ise buraya yazmayı kendim için bir görev olarak görmekteyim.

Tezin hazırlanmasında değerli görüşlerinden ve yönlendirmelerinden faydalandığım değerli hocam Prof.Dr. Mahmut Doğru'ya teşekkür ederim.

Bu çalışmayı FÜBAP-894 projesi olarak destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine,

Deneysel çalışmalarında ise, bana laboratuvarlarını açan başta Yrd.Doç.Dr. Habibe Özmen olmak üzere bütün Kimya ve Kimya Mühendisliği Bölümü akademik personeline,

Yorucu arazi çalışmalarında beni yalnız bırakmayan arkadaşlarım Mehmet Özer, Arş.Gör. İhsan Serhatlıoğlu ve kardeşim Engin Külahcı'ya ve

Çalışmalarım sırasında benim en büyük desteğim, hayat arkadaşım kıymetli eşime burada edeceğim teşekkür, birkaç basit cümlemin dışında benim için çok büyük anlam ifade etmektedir.

Fatih KÜLAHCI

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
SUMMARY.....	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
TABLolar LİSTESİ.....	XIII
SİMGELER LİSTESİ.....	XV

1.GİRİŞ.....	1
2. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE.....	4
2.1. Radyasyon.....	4
2.2. Radyoaktivite	4
2.3. Taban Seviye (Background) Radyasyonu	6
2.4. Temel Radyoaktif Çekirdeklerin Doğal Oluşumu	6
2.5. Sulu Havzalarda Radyoaktivitenin Dağılımı.....	9
2.5.1. Kristal Kayalar	14
2.5.2. Tortul Kayalar	15
2.5.3. Organik – Zengin Killi Şist (Shale) ve Kömür	15
2.5.4. Kum Taşları (Gre, Kösele Taşları)	15
2.5.5. Karbonat Kayalar	16
2.5.6. Tortul (Residual) Topraklar	16
2.5.7. Fosforitler	16
2.6. Atmosferdeki Radyoaktivite Taşınımı	16
3. ALGILAMA CİHAZLARI.....	18
3.1. Algılayıcı Çeşitleri.....	18
3.1.1. Dahili (Internal) Orantılı Algılayıcılar	18
3.1.2. İnce Pencereleli Orantılı Algılayıcı	18
3.1.3. Düşük Seviyeli Taban Sayımlı Beta Algılayıcıları	19
3.2. Gama Spektrometresi.....	19
3.3. Alfa Spektrometresi	19
3.7. Alfa Radyasyonuna Duyarlı Parıldamalı (Sintilasyon) Algılayıcılar	20
3.8. Beta Radyasyonuna Duyarlı Sıvı Parıldamalı Algılayıcılar	20
4. AĞIR METALLER ve MAKRO ELEMENTLER	21

4.1. Demir (Fe).....	22
4.2. Magnezyum (Mg).....	22
4.3. Kalsiyum (Ca).....	23
4.4. Potasyum (K).....	23
4.5. Sodyum (Na).....	23
4.6. Çinko (Zn).....	24
4.7. Bakır (Cu).....	24
4.8. Krom (Cr).....	25
4.9. Nikel (Ni).....	25
4.10. Kobalt (Co).....	25
4.11. Mangan (Mn).....	26
5. ARAŞTIRMA SAHASININ TANITIMI.....	27
5.1. Araştırma Alanının İklimsel Özellikleri.....	27
5.2. Jeolojik ve Litolojik Özellikler.....	27
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
6.1. Su Numunelerinde Alfa ve Beta Radyoaktivitesinin Ölçülmesi ve Sayım Hataları.....	31
6.2. Verim Düzeltmeleri.....	31
6.3. Su Numunelerinin Alfa ve Beta Aktivitelerinin Hesaplanması.....	32
6.4. Algılayıcılarda Enerji Çözünürlüğü.....	32
6.5. Algılama Verimi.....	35
6.6. Hazar Gölü Sularının Aktivitelerini Belirlemek İçin Kullanılan Sayım Sistemi.....	38
6.7. Örnek Alma Cihazları ve Alım Noktaları.....	39
6.8. Su Örneklerinin Radyoaktivite Analizi için Hazırlanması.....	39
6.9. Su Örneklerinin Kimyasal Analizi.....	40
6.9.1. Reaksiyon (pH).....	40
6.9.2. Elektriksel İletkenlik.....	40
6.9.3. Suyun Toplam Sertliği.....	41
6.10. Kimyasal Analizlerde Kullanılan Cihazlar ve Kimyasal Malzemeler.....	41
6.10.1. Su Örneklerinin Toplam Sertliğinin Belirlenmesi.....	41
6.11. Silisyum Dioksit (SiO ₂) Tayini.....	42
6.12. Ağır Metal ve Makro Element Analizleri.....	43
6.12.1. Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi.....	43
6.12.2. Alev (Flame) Spektrofotometresi.....	43
6.13. Ağır Metal Analizi için Örnek Hazırlama.....	44
6.14. İstatistiksel Analiz.....	44

6.14.1. Korelasyon Katsayısı (r_{xy}).....	44
7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	45
7.1. Uluova Bölgesi Sonbaharda Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	45
7.2. Uluova Bölgesi Sonbaharda Alınan Dip Sedimentlerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	51
7.3. Uluova Bölgesi İlkbaharda Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	56
7.4. Uluova Bölgesi İlkbaharda Alınan Dip Sediment Örneklerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	60
7.5. Su Örneklerindeki Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesinin Mevsimsel Değişimi	63
7.7. Gama Radyasyonu Sonuçları ve Değerlendirilmesi	65
7.8. Eş (Iso)-Radyoaktivite Haritaları ve Değerlendirilmesi	68
7.8.1. Uluova Bölgesi bahar mevsiminde alınan su örneklerinin eş-toplam alfa radyoaktivite haritası.....	68
7.8.2. Uluova Bölgesi bahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin eş-toplam alfa radyoaktivite haritası	68
7.8.3. Uluova Bölgesi bahar mevsiminde alınan su örneklerinin eş-toplam beta radyoaktivite haritası.....	69
7.8.4. Uluova Bölgesi bahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin eş-toplam beta radyoaktivite haritası	69
7.8.5. Uluova Bölgesi sonbahar mevsiminde alınan su örneklerinin eş-toplam alfa radyoaktivite haritası.....	70
7.8.6. Uluova Bölgesi sonbahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin eş-toplam alfa radyoaktivite haritası	70
7.8.7. Uluova Bölgesi sonbahar mevsiminde alınan su örneklerinin eş-toplam beta radyoaktivite haritası.....	70
7.8.8. Uluova Bölgesi sonbahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin eş-toplam beta radyoaktivite haritası	71
7.9. Suyun Temel Özelliklerinden Bazılarının Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	75
7.9.1. Sonbahar Su Örneklerinin Elektriksel İletkenlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi	75
7.9.2. İlkbaharda Alınan Su Örneklerinin Elektriksel İletkenlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi	77
7.9.3. Sonbaharda Alınan Su Örneklerinin pH Değişimi	79

7.9.4. İlkbaharda Alınan Su Örneklerinin pH Değişimi	79
7.9.5. Göl Sularının Toplam Sertlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi	80
7.9.5.1. Sonbaharda Alınan Su Örneklerinin Toplam Sertlik Miktarları	80
7.9.5.2. İlkbaharda Alınan Su Örneklerin Toplam Sertlik Miktarları	81
7.10. Ağır Metal ve Makro Element Analizleri	83
7.10.1. Uluova Bölgesi Sonbaharda Alınan Su Numunelerinde Ağır Metal ve Makro Element Sonuçlarının Değerlendirilmesi	83
7.10.2. Uluova Bölgesi Sonbaharda Alınan Dip Sediment Örneklerinde Ağır Metal Sonuçlarının Değerlendirilmesi	87
7.10.3. Uluova Bölgesi İlkbaharda Alınan Su Numunelerinde Ağır Metal ve Makro Element Sonuçlarının Değerlendirilmesi	94
7.10.4. Uluova Bölgesi İlkbaharda Alınan Dip Sediment Örneklerinde Ağır Metal ve Makro Element Sonuçlarının Değerlendirilmesi	97
7.10.5. Su Örneklerindeki Ağır Metal ve Makro Elementlerin Mevsimsel Değişimi. 104	
7.10.6. Toprak Örneklerindeki Ağır Metal ve Makro Elementlerin Mevsimsel Değişimi	104
7.10.7. Ağır Metal ve Makro Element Analizleri Sonuçları için Genel Değerlendirmeler	106
7.11. Korelasyon Katsayılar Matrisinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	112
8. SONUÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ	115
9. KAYNAKLAR.....	116
ÖZGEÇMİŞ	124

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Elektromanyetik radyasyon spektrumu	4
Şekil 6.1: Algılayıcının iyi ve kötü çözünürlüğü (rezolasyonu) için, cevap fonksiyonlarına örnekler.....	32
Şekil 6.2: Algılayıcının çözmesi; yarı yükseklikteki tam genişlik olarak tanımlanır (FWHM).....	33
Şekil 6.3: Diferansiyel atma yükseklik spektrumunda toplam enerji piki.....	36
Şekil 6.4: Bir algılayıcı için katı açısı ($d \gg a$).....	38
Şekil 6.5: (a) Su alma cihazı, (b) Toprak kepçesi	39
Şekil 7.1: Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi su örnekleri alım istasyonları	46
Şekil 7.2: Sonbahar mevsimi su örneklerinin toplam alfa-beta radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi	48
Şekil 7.3: Toplam alfa radyoaktivitesi değerlerinin frekansı değişimi	50
Şekil 7.4: Toplam beta radyoaktivitesi değerlerinin frekans değişimi.....	50
Şekil 7.5: Sonbahar mevsimi dip sediment örneklerinin toplam alfa-beta Radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi	53
Şekil 7.6: Sonbahar ve ilkbahar mevsimleri dip sediment örnekleri alım istasyonları	54
Şekil 7.7: Sonbahar mevsimi dip sedimentlerinin toplam alfa radyoaktivitelerinin frekans değişimi	55
Şekil 7.8: Sonbahar mevsimi dip sedimentlerinin toplam beta radyoaktivitelerinin frekans değişimi	55
Şekil 7.9: İlkbaharda alınan su örneklerinin radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi.....	57
Şekil 7.10: İlkbahar su örneklerine toplam alfa radyoaktivitesi frekans değişimi.....	59
Şekil 7.11: İlkbahar su örneklerine toplam beta radyoaktivitesi frekans değişimi	59
Şekil 7.12: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi	61
Şekil 7.13: Dip sedimentlerde toplam alfa radyoaktivitesinin frekans değişimi	62
Şekil 7.14: Dip sedimentlerde toplam beta radyoaktivitesinin frekans değişimi.....	62
Şekil 7.15: Su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitelerinin mevsimsel değişimi	64
Şekil 7.16: Dip sediment örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitelerinin mevsimsel değişimi	65
Şekil 7.17: Gama radyasyonu mevsimsel değişimi	67
Şekil 7.18: Yüzeysel gama radyasyonu ölçüm istasyonları	67
Şekil 7.19: Uluova Bölgesi bahar mevsimi, su örneklerinde alfa eş-radyoaktivite haritası	71

Şekil 7.20: Uluova Bölgesi bahar mevsimi, dip sediment örneklerinde	
alfa eş-radyoaktivite haritası.....	72
Şekil 7.21: Uluova Bölgesi bahar mevsimi, su örneklerinde beta eş-radyoaktivite haritası	72
Şekil 7.22: Uluova Bölgesi bahar mevsimi, dip sediment örneklerinde	
beta eş-radyoaktivite haritası	73
Şekil 7.23: Uluova Bölgesi sonbahar mevsimi, su örneklerinde alfa eş-radyoaktivite	
haritası	73
Şekil 7.24: Uluova Bölgesi sonbahar mevsimi, dip sediment örneklerinde	
alfa eş-radyoaktivite haritası.....	74
Şekil 7.25: Uluova Bölgesi sonbahar mevsimi, su örneklerinde beta eş-radyoaktivite	
Haritası	74
Şekil 7.26: Uluova Bölgesi sonbahar mevsimi, dip sediment örneklerinde güz	
beta eş-radyoaktivite haritası	75
Şekil 7.27: Sonbaharda alınan su örneklerinin elektriksel iletkenliğinin frekans değişimi.....	77
Şekil 7.28: İlkbaharda alınan su örneklerinin elektriksel iletkenliğinin frekans değişimi	78
Şekil 7.29: Sonbaharda alınan su örneklerinin pH'ının frekans değişimi	79
Şekil 7.30: İlkbaharda alınan su örneklerinin pH'ının frekans değişimi.....	80
Şekil 7.31: Sonbaharda alınan su örneklerinin toplam sertliğinin frekans değişikliği.....	81
Şekil 7.32: İlkbaharda alınan su örneklerinin toplam sertliğinin frekans değişimi.....	82
Şekil 7.33: Toplam sertlik, elektriksel iletkenlik ve pH'ın mevsimsel değişimi	82
Şekil 7.34: Sonbaharda alınan su örneklerinde Mg derişiminin frekans değişimi.....	85
Şekil 7.35: Sonbaharda alınan su örneklerinde Ca derişiminin frekans değişimi.....	85
Şekil 7.36: Sonbaharda alınan su örneklerinde K derişiminin frekans değişimi.....	86
Şekil 7.37: Sonbaharda alınan su örneklerinde Na derişiminin frekans değişimi	86
Şekil 7.38: Sonbaharda alınan su örneklerinde Zn derişiminin frekans değişimi.....	87
Şekil 7.39: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Fe derişiminin frekans değişimi	88
Şekil 7.40: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Mg derişiminin frekans değişimi.....	89
Şekil 7.41: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Ca derişiminin frekans değişimi.....	89
Şekil 7.42: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin K derişiminin frekans değişimi	90
Şekil 7.43: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Na derişiminin frekans değişimi	90
Şekil 7.44: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Zn derişiminin frekans değişimi.....	91
Şekil 7.45: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Cu derişiminin frekans değişimi	91
Şekil 7.46: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Cr derişiminin frekans değişimi	92
Şekil 7.47: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Co derişiminin frekans değişimi	92
Şekil 7.48: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Ni derişiminin frekans değişimi	93

Şekil 7.49: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Mn derişiminin frekans değişimi.....	93
Şekil 7.50: İlkbaharda alınan su örneklerinin Mg derişiminin frekans değişimi.....	94
Şekil 7.51: İlkbaharda alınan su örneklerinin Ca derişiminin frekans değişimi.....	96
Şekil 7.52: İlkbaharda alınan su örneklerinin K derişiminin frekans değişimi	96
Şekil 7.53: İlkbaharda alınan su örneklerinin Na derişiminin frekans değişimi.....	97
Şekil 7.54: İlkbaharda alınan su örneklerinin Zn derişiminin frekans değişimi	97
Şekil 7.55: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Fe derişiminin frekans değişimi	99
Şekil 7.56: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Mg derişiminin frekans değişimi.....	99
Şekil 7.57: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Ca derişiminin frekans değişimi.....	100
Şekil 7.58: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin K derişiminin frekans değişimi	100
Şekil 7.59: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Na derişiminin frekans değişimi	101
Şekil 7.60: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Zn derişiminin frekans değişimi.....	101
Şekil 7.61: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Cu derişiminin frekans değişimi	102
Şekil 7.62: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Cr derişiminin frekans değişimi	102
Şekil 7.63: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Co derişiminin frekans değişimi	103
Şekil 7.64: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Ni derişiminin frekans değişimi	103
Şekil 7.65: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Mn derişiminin frekans değişimi.....	104
Şekil 7.66: Suda çözünen makro elementler ve ağır metallerden Zn'nun mevsimsel değişimi	105
Şekil 7.67a: Dip sedimentlerindeki bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi	105
Şekil 7.67b: Dip sedimentlerindeki makro elementlerin mevsimsel değişimi	106

ÇİZELGELER (TABLOLAR) LİSTESİ

Tablo 2.1: Radyoaktif ışıma türleri ve bu ışımaların çekirdekte meydana getirdiği değişiklikler	5
Tablo 2.2: Değişik kayaç yapılarında uranyum konsantrasyonu	8
Tablo 2.3: İçme suları için ulusal ve uluslar arası kuruluşlar tarafından kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirletici konsantrasyonları	11
Tablo 2.4: Su kaynaklarının sınıflarına göre bazı kalite kriterleri	11
Tablo 6.1: pH'a göre H^+ ve OH^- iyonları miktarları ve asitlik sınıfları	40
Tablo 7.1: Sonbahar mevsiminde alınan su örneklerinin ortalama toplam alfa-beta radyoaktiviteleri	47
Tablo 7.2: Uluova güz dönemi dip sediment örnekleri toplam alfa-beta radyoaktiviteleri	51
Tablo 7.3: İlkbaharda alınan su örneklerinin radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi ..	58
Tablo 7.4: Literatürdeki bazı göllerin radyoaktivite seviyeleri	60
Tablo 7.5: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi	61
Tablo 7.6: Yüzeysel gama radyasyonu ölçümleri	66
Tablo 7.7: Su örneklerinde toplam sertlik, iletkenlik ve pH'ın mevsimlere göre değişimi	76
Tablo 7.8: Suların iletkenliğe göre kalite sınıfları	78
Tablo 7.9: Sonbaharda alınan su örneklerinde ağır metal değişimleri	84
Tablo 7.10: Sonbaharda alınan dip sediment örneklerinin ağır metal ve makro element seviyeleri	88
Tablo 7.11: İlkbaharda alınan su örneklerinin ağır metal ve makro element seviyeleri	95
Tablo 7.12: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinde ağır metal ve makro element seviyeleri	98
Tablo 7.13: Bazı göl sularında yapılan makro element ve ağır metal analiz sonuçları	107
Tablo 7.14: Bazı göllerdeki dip sedimentlerinde yapılan ağır metal analiz sonuçları	109
Tablo 7.15: Su ve sedimentlerdeki Ağır Metal ve Makro element standartlarının çalışmamızla karşılaştırılması (Ortalama Değerler)	111
Tablo 7.16: Uluova Bölgesi'nden bahar mevsiminde alınan su örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi	113
Tablo 7.17: Uluova Bölgesi'nden bahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi	113

Tablo 7.18: Uluova Bölgesi'nden güz mevsiminde alınan su örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi	114
Tablo 7.19: Uluova Bölgesi'nden güz mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi	114



SİMGELER LİSTESİ

λ : Bir atomun birim zamandaki bozunma olasılığı.

N : t zamandaki mevcut atomların sayısı.

N_0 : Başlangıçtaki atomların sayısıdır.

VDF: Verim düzeltme faktörü.

N_m : mg/cm^2 cinsinden örneğin özel kütlesi.

σ : Genişlik parametresi.

s : Standart sapma.

ϵ_{mut} : Mutlak verim.

ϵ_{ger} : Gerçek verim.

S : Radyasyon kuantasının sayısı.

Ω : Katı açısı.

r_{xy} : Korelasyon katsayısı.

EKLER LİSTESİ

EK-1: Sonbahar Mevsimi Su Örneklerinde Analiz Edilen Değişkenlerin İstatistiksel Değişimleri.

EK-2: Sonbahar Mevsimi Dip Sedimentlerinde Analiz Edilen Değişkenlerin İstatistiksel Değişimleri.

EK-3: İlkbahar Mevsimi Su Örneklerinde Analiz Edilen Değişkenlerin İstatistiksel Değişimleri.

EK-4: İlkbahar Mevsimi Dip Sedimentlerinde Analiz Edilen Değişkenlerin İstatistiksel Değişimleri.



1.GİRİŞ

Canlı organizmanın içinde yaşadığı ortamdaki radyoaktivite miktarının belirlenmesi, radyoaktiviteyle doğrudan veya dolaylı olarak temasta olan canlının hayatını sağlıklı bir şekilde devam ettirebilmesi için büyük önem taşımaktadır. Organizmanın içinde bulunduğu ortamda etkileşim içinde olduğu üç temel unsur olan su, toprak ve havadaki radyoaktivite sınır değerleri, bilim çevrelerince güvenilirliği kabul görmüş uluslararası 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 durumunda ortaya çıkmaktadır.

Su ve atık sudaki radyoaktif kirlilik doğal ve insanlar tarafından oluşturulan yapay kaynaklardan meydana gelir. Nükleer yakıtların kullanılması, radyoizotopların tıpta ve endüstride kullanımı ve nükleer silahların denenmesinden kaynaklanan atmosferdeki radyoaktif atıklar yapay radyoaktif kirlilik kaynaklarına, radyoaktif çekirdeklerden meydana gelen radyoaktiflik ise doğal radyoaktif kirlilik kaynaklarına örnek verilebilir. Su ve atık sular için denetim programları çevresel radyoaktivite seviyesinin doğru olarak hesaplanması için oluşturulmuştur. Örneğin, bazı durumlarda radyoaktivite miktarı, kendine özgü yöntemlerle hesaplanan ve çevresel ortamdaki varlığı arttığı zaman tehlikeli olan bazı radyoaktif çekirdeklerin çevreye katkıları ile ilişkili olduğundan, bunların radyoaktiflik seviyeleri doğru olarak belirlenmelidir. Denetim için bu kritik konumdaki radyo çekirdeklere müracaat edilir.

Suyun sahip olduğu çözünürlük, taşıyıcılık ve değişik radyoaktif çekirdekleri çöktürme gibi farklı karakteristik özellikleri, onun doğal radyoaktivitesini artırmaktadır. Suların doğal radyoaktivitesini artıran önemli etkenlerden biri de topraktan suya geçen radyoaktif minerallerdir [1, 2, 3].

Hidrosferde radyoaktif minerallerin davranışlarındaki gözlenebilir genel özellik, radyoaktif özellik taşıyan elementlerin bu tabakada depolanmasıdır. Sudaki önemli radyoaktif çekirdeklerden radyum, uranyum ve toryum gibi elementler su ile beraber geçtikleri toprak kütleleri tarafından tutulmaktadır. Bu radyoaktif elementlerin tutulması, kalsiyum karbonat veya silisyum dioksit gibi maddelerin toprak içerisindeki varlığından dolaydır [1, 2].

Yapılan çalışmalarda beta yayıcı radyoaktif element içeren topraklardan suya bu radyoaktif çekirdeklerin yaklaşık olarak %7-9'u geçtiği belirlenmiştir. Bunun yanında,

toprakta suya geçen beta yayıcıların yoğunluğunun yaklaşık olarak 1000 ile 5800 katı, bitkiler tarafından biriktirilmektedir [1].

Suların içerisinde genellikle alfa yayıcı doğal radyoaktif çekirdekler bulunmaktadır. Genel olarak; volkanik kütleler, tortul kütlelerden daha fazla radyoaktivite içerdiğinden; volkanik kayalar içerisinde geçip gelen suların radyum gibi alfa yayıcı yoğunlukları; tortul kütleler içerisinde geçip gelen suların kine nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [5].

Toplam alfa radyoaktivitesine büyük oranda katkısı olan çözünmüş U yoğunluğunun diğer radyoaktif elementlere oranı, nehirlerde 0,000083-0,0048 Bq/L arasında değişmesine karşılık okyanus sularında bu değer 0,041 Bq/L civarındadır [5, 6]. Alfa ve beta yayıcı radyoaktif elementler su içerisindeki mineraller tarafından çok hızlı emilirler ve bu emilme sonucu deniz veya göl tabanında birikirler. Bütün Th izotopları suda her zaman düşük yoğunlukta bulunurlar [1].

Canlıların yaşadığı ortamda çevresel radyoaktivitenin belirlenmesi, onların bu ortamla devamlı temas halinde olmalarından dolayı önemlidir. Bu nedenle çevresel radyoaktivitenin belirlenmesi üzerine dünya çapında çok geniş kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır [1, 2, 5, 6].

Bilinen elementlerin çoğu doğal sularda bulunmaktadırlar. Pek çoğunun ölçülebilir etkileri yoktur ve muhtemelen diğerlerinin yanında verdikleri katkı açısından çok önemli değildirler. Verilen bir X elementinin sudaki canlılar için önemi şu faktörlere bağlıdır:

- a) Eğer X elementi yoksa organizma büyüyemez ya da hayat çevrimini tamamlayamaz.
- b) Başka bir element X'in yerini alamaz,
- c) X organizmanın metabolik fonksiyonlarını doğrudan etkiler.

Elementler ortamdaki canlılara iki değişik mekanizma ile girer: Basit difüzyon ve aktif olarak alma. Difüzyon olayında bir iyon sudaki yüksek konsantrasyonlu bölgeden hareket ederek daha seyreklik olan hücre sıvısına geçer [2].

Sulardaki radyoaktif maddelerin belirlenmesi yanında diğer önemli bir değişken aynı sulardaki ağır metallerin ve makro elementlerin de belirlenmesidir. Ağır metallerin ve makro elementlerin değişiminde, yörenin jeolojik formasyonunun büyük etkisi vardır. Bir bölgedeki ağır metaller, makro elementler ve radyoaktif madde yoğunluğunun belirlenmesi; bu değişkenlerin birikim gösterdiği yerlerin belirlenmesi açısından önemli olup, bu değişkenlerin davranışları açısından da bilgi verecektir.

Çalışmamızda Keban Baraj gölünden alınan örneklerdeki radyoaktivite analizleri için, düşük seviyeli alfa ve beta radyoaktivitesini belirleyebilecek hassas sayım sistemleri kullanılmıştır. Yüzeysel gama radyasyonu, portatif radyasyon cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Kimyasal özelliklerden olan toplam sertliğin belirlenmesi işlemlerinde;

titrimetrik metot ve bu metodun uygulandığı titrasyon sistemi kullanılmıştır. Çalışma süresince alınan su örneklerinin elektriksel iletkenliğinin ve pH'ının belirlenmesi işlemlerinde, sayısal iletkenlik ölçer ve sayısal pH metre kullanılmıştır. Ağır metal analizlerinde Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi makro elementlerin analizlerinde ise, Alev Spektrofotometresi kullanılmıştır.

Bu çalışmanın inceleme alanı olan; Keban Baraj Gölü ve havzası, yöre halkı dışında pek çok bitki ve hayvan türünün yaşadığı, Fırat Nehrinin aktığı vadinin dar bir yerinde yapılan barajın gerisinde suların birikmesi ile oluşmuş; yaklaşık olarak 675 km² yüzölçümüne sahip çok geniş bir bölgedir. Bu bölgenin Uluova olarak adlandırılan kesimi Elazığ il sınırlarının hemen hemen ortasında kalmakta ve halkın çoğunluğunun bu bölge sularından doğrudan yararlanmasına imkân tanımaktadır. Özellikle gölün bu kesimi üzerine yapılacak radyoaktivite belirleme çalışmaları bu nedenle büyük önem taşımaktadır.

Çalışma, Keban Baraj Gölü'nün Uluova Bölgesinde yaklaşık 250 km²'lik bir alanda yapıldı. Bu tez çalışması Fırat Üniversitesi'nin desteklemiş olduğu FÜBAP-894 nolu proje desteğinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadaki amaç; Keban Baraj Gölü'nün oldukça büyük bir kısmını oluşturan Uluova Bölgesinin göl sularını ve dip sedimentlerini, radyoaktivite, ağır metaller ve makro elementler yönünden incelenmesidir. Böylece dip sedimentlerinde ve suda var olan, yukarıda bahsettiğimiz değişkenlerin davranışları incelenerek genel sonuçlar elde edilmiştir.

2. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE

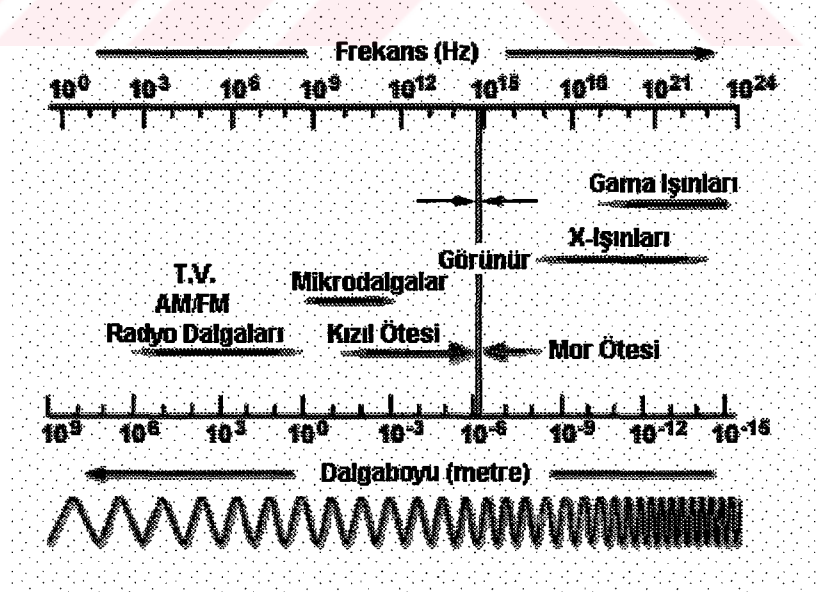
2.1. Radyasyon

Enerjinin, dalgalar veya tanecikler halindeki durumu veya bu şekilde yayılan enerji türüne “radyasyon” denir. Elektromanyetik radyasyonlar artan frekansa göre; radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ötesi, görünür ışık, mor ötesi, X ışınları, gama ışınları ve kozmik ışınlardır (Şekil 2.1) [3].

Bahsettiğimiz bu radyasyonların küçük frekanslıları daha çok dalga karakteri taşırlar. 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.

2.2. Radyoaktivite

Bazı atom çekirdeklerinin kararsız olması nedeniyle, çeşitli tanecikler ve enerji yayınlarak başka cins çekirdeklere dönüşmesine “radyoaktivite” denir. Olayın varlığı, ilk



Şekil 2.1: Elektromanyetik radyasyon spektrumu.

defa, 1896'da *Henry Becquerel* tarafından keşfedilmiştir. 1900'lü yılların başlarında ise sunî radyoaktivite bulunmuştur.

Kısa ömürlü radyo çekirdeklerden bir kaskat serisi oluşturan, üç uzun ömürlü radyo çekirdek vardır. Bu serilerden her biri, uzun ömürlü bir kaynak olarak bir U veya Th izotopuna sahiptir. Her seri kararlı bir kurşun izotopunun oluşmasıyla sonlanır. Bu seriler tarafından oluşturulan radyoaktivite bir atom çekirdeğinden çıkan iki parçacık tarafından oluşturulur. Bunlar α ve β parçacıkları, γ ışınları ve ayrıca nötrinolardır. Bir α parçacığı 2 proton ve 2 nötrondan oluşan, nispeten ağır bir parçacıktır. Bu parçacık, bir He atomunun çekirdeğinden ayırt edilemez. +2 yüke sahiptir. β parçacığı daha hafif olup kütlesi bir α parçacığının yalnızca 1/7500 ü kadardır ve -1 (veya pozitron durumunda +1) yük taşır.

Tablo 2.1'de radyoaktif ışıma türleri ve bu ışıma türlerinin çekirdekte 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.

Alfa parçacığının çekirdekten yayılımı aşağıdaki denklemle tasvir edilebilir:



Bu denklemde X ve X' bozunmadan önceki ve sonraki çekirdek, A ve Z 'de sırasıyla çekirdeğin atom ağırlığı ve çekirdeğin atom sayısıdır [4]. Alfa parçacığı bir Helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeğidir. Beta ışımlarının da, atom numaralarındaki değişim dışında benzer olduğu, elementin çekirdeği tarafından yakalanır; hemen ardından kütlesi elektron kütlesine yakın olan yüksüz bir tanecik (nötrino) yayınlanır ve çekirdek, atom numarası bir alttaki elementin çekirdeğine dönüşür. Kendiliğinden bölünmede ise, çekirdek kaçak tanecikler yayınlamaksızın, iki ayrı çekirdeğe bölünmek üzere parçalanır.



reaksiyonu buna örnek olarak verilebilir.

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

Radyasyon Tipi	İşımanın Sembolü	Yayınlanan Tanecik	Atom Numarasında Değişme	Kütle Numarasında Değişme
Alfa ışıması	α	Helyum Çekirdeği	-2	-4
Beta Negatron ışıması	β^-	Elektron	+1	0
Beta Pozitron ışıması	β^+	Pozitron	-1	0
Elektron Yakalama	EC (ϵ)	Nötrino	-1	0
Kendiliğinden Bölünme	F	Ağır Çekirdekler	Çeşitli	Çeşitli
Gama ışıması	Γ	-	-	-

Bir atomun kimyası, onun element kimliğidir ve çekirdek içerisindeki protonların sayısının bir fonksiyonudur. Uzun ömürlü üç bozunum serisinden her biri ^{232}Th , ^{238}U ve ^{235}U radyoaktif izotoplarından başlayarak bir kurşun izotopunda sonlanır. Her element ayrı bir elektronik düzene ve böylece farklı bir kimyaya sahip olduğundan bunların oluşumu seri içinde daha sonradan oluşan çekirdekler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Yarı ömür, bir radyo çekirdeğin başlangıçtaki atomların sayısının yarısına düşmesi için geçen süredir.

Bir atomun birim zamandaki bozunma olasılığı λ dır. Atomların sayısının fazla olmasından dolayı bozunum sabitini belirlemek hassas bir istatistiksel ölçüm gerektirir. Bir radyo çekirdeğin başlangıçtaki miktarının aktivitesi; $dN/dt = -\lambda N$ veya $N = N_0 e^{-\lambda t}$ dir. Burada; N ; t zamandaki mevcut atomların sayısı ve N_0 ; başlangıçtaki atomların sayısıdır. Diğer bir değişle herhangi bir zamandaki aktivite (dN/dt) bozunum ihtimalinin mevcut atomların sayısı ile çarpımına eşittir. Bu denklemden atom sayısının yarıya düşmesi için geçen süre $t_{1/2} = (\ln 2)/\lambda$ ifadesi çıkarılabilir ve bu süreye “yarı ömür” adı verilir.

2.3. Taban Seviye (Background) Radyasyonu

Radyoaktiflik; maddenin başlangıcından beri, doğal olarak meydana gelen bir olaydır. Doğal radyasyonun birkaç kaynağı vardır: Kozmik ve kozmojenik radyasyon (dış uzay ve dünyanın atmosferinden), karasal radyasyon (yeryüzü kabuğundan) ve dahili radyasyon (^{40}K gibi, vücudumuzda doğal olarak oluşan radyasyon). Karasal radyasyonun en yaygın kaynakları uranyum, toryum ve bunların bozunum ürünleridir. ^{40}K , karasal radyasyonun bir diğer kaynağıdır [5]. Uranyumun bir bozunum ürünü olan Rn, doğal olarak oluşan karasal radyoçekirdek olarak çok iyi bilinir. Doğal radyoaktiviteye ek olarak, 1945’den 1980’e kadar yeryüzünde yapılan nükleer silah denemeleri ve 1986’daki Chernobyl nükleer kazası da çevreye radyoaktif elementlerin yayılmasına sebep olmuştur [6]. Bununla beraber, bu radyasyonlar “taban seviye (background) radyasyonu” olarak adlandırılır. Her insan sürekli olarak taban seviye radyasyonuna maruz kalmaktadır.

2.4. Temel Radyoaktif Çekirdeklerin Doğal Oluşumu

Uranyum; gümüş beyaz, parlak, hemen her yerde az miktarda da olsa doğal olarak bulunan radyoaktif bir elementtir. Uranyumun atom numarası 92 ve atom ağırlığı 238,0289

g/mol dür ve periyodik cetvelin aktinit serisinin bir ürünüdür. Metalik uranyum 19 g/cm³'lük yüksek yoğunluğuyla tungstenden önemsiz miktarda az fakat kurşundan (11,3 g/cm³)  nemli bir miktarda yüksek bir yoğunluğa sahiptir. Metal; havada kararır, genleşebilir, dövülebilir bir yumuşaklığa sahiptir [5]. Toprak, kaya, deniz ve okyanuslar içerisinde değişik kimyasal formlarda, doğal olarak bulunur.

Doğal uranyumun ²³⁴U, ²³⁵U ve ²³⁸U olmak üzere üç radyoaktif izotopu vardır. Bu radyoaktif izotopların yüzdesi doğal uranyumun ağırlığına göre şöyle sıralanabilir: %0,0054 ²³⁴U, %0,72 ²³⁵U ve %99,27 ²³⁸U. Uranyum radyo-izotoplarının yarı ömürleri çok uzundur. ²³⁴U'nun 244000 yıl, ²³⁵U'nin 710 milyon yıl ve ²³⁸U'nin 4500 yıldır [5].

Uranyumun temel bileşiği uranyum dioksit (UO₂) dir. UO₂'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 U₃O₈ şeklinde bir bileşik halinde gösterilirler. İkinci olarak kofinit (USiO₄.nH₂O) yatakları da önemlidir. Hava yoluyla oksitlenmede bir dereceye kadar çözülebilir mineraller oluşur. Örneğin, karnotit (bir K-uranil vanadat), tyuyamunit (Ca-uranil vanadat), autunit (Ca-uranil fosfat) veya rutherfordin (uranil karbonat) bunlara örnek olarak verilebilir. Genel olarak toryum içeren monazit (seryum toryum fosfat); pilbarit (toryum kurşun uranat), torit (toryum silikat) ve toriyanit (toryum uranyum oksit) şeklindedir [5].

Dünya kabuğunun kristalizasyonu ve kısmen erimesi gibi doğal jeolojik işlemler sırasında, uranyum sıvı fazda yoğunlaşmış olur ve sonuç olarak uranyum silikaca daha zengin ürünlerle birleşir. Granitler gibi püskürük (igneous) kayalar; bazaltik kayalar ve ultramafik kompozisyonlarla karşılaştırıldığında, uranyum içeriği olarak daha zengindirler. Uranyum püskürük kayaların çözünmesinden dolayı karasal çevrede serbest kalır. Ayrıca, kumtaşları (siltstones) ve çamurtaşları (mudstones) gibi pek çok tortul (sedimentary) kayanın içerisinde de bulunabilir. Uranyum bu kayalar içersinde organik madde ve fosfatlarla yaygın bir biçimde birlikte bulunur ( zellikle deniz suyundaki uranyumun yüksek konsantrasyonundan dolayı denizsel çevrede). Uranyum, yüzey kayalarının çözünmesi ve yeraltındaki kaya yapılarıyla temas halinde olmasından dolayı; yer altı sularındaki konsantrasyonu yüzey sularından daha fazladır [1, 6].

Dünyanın pek çok bölgesinde uranyum mineralizasyonu bulunmaktadır. Kanada ve Batı Afrika'da uranyum dioksit (pitchblende) ve uranit (UO₂-U₃O₈) formunda yüksek seviyelerde uranyum yatakları bulunmaktadır [7].

Uranyum-yatağı fosforitleri, linyit ve şist (shales) düşük seviyede uranyum içeren ama çok yaygın bir şekilde doğada bulunan kaynaklardır. %0,01'den daha az uranyum içerirler. Granitler içerisinde de uranyum bulunabilir. Benzer şekilde U; madenli (metalliferous) veya madensiz (non-metalliferous) bir şekilde bulunabilir. Örnek olarak; guano, tortul molibden depolayıcılar, kömür, fosforun ticari kaynakları ve fosfattır. Doğada, U kimyasal bileşikler üç iyonik durumda bulunur. Bunlar U^{+4} , U^{+5} ve U^{+6} dır. U^{+6} yalnızca oksidize şartlarda oluşur [7]. Bazı oluşumlardaki U konsantrasyonu Tablo 2.2'de verilmiştir [8].

Uranyum, her zaman yüzey ve yer altı sularında bulunur. U konsantrasyonu su içerisinde; 0,01 $\mu\text{g/L}$ 'den 1500 $\mu\text{g/L}$ 'ye kadar değişir. U'un su içerisindeki doğal verimi, suyun geçtiği toprak ve su kütlesini çevreleyen kaya yapısıyla uranyum yoğunluğu büyük ölçüde değişir [8].

Yağış miktarı fazla olduğunda uranyum yoğunluğu düşüktür (örneğin ABD'de mart ve mayıs ayında 0,018 $\mu\text{g/L}$ -0,17 $\mu\text{g/L}$ arasında değiştiği saptanmıştır) [8]. Uranyum asetatlar, sülfatlar, karbonatlar, kloritler ve nitratlar su içerisinde kolaylıkla çözünebilirler ve bunların yer altı ve yüzey suları içerisindeki kimyasal formu, karbonat bileşiklerinin mevcudiyeti nedeniyle genellikle baskındır. Bu karbonat kompleksleri ya negatif ya da nötr yüklüdürler ve kil gibi katyon değiştiricilerin mevcudiyetine rağmen, çoğu toprak içerisindeki hareketleri oldukça yüksektir. Bu durum, uranyumun; toprak içerisinde, kurak ve yarı kurak bölgelerde süzülen yer altı sularında, hareket kabiliyetini yükseltir. Toprağın zayıf asidik şartları altında ve daha yağışlı iklimlerde süzülen yer altı sularında uranyumun kimyasal dağılımı toprak içerisinde kararlı komplekslerin oluşumu ile baskın olabilir [8].

Toprak içerisindeki uranyumun yoğunluğu büyük bir çeşitlilik gösterir. Toprağı geliştirmek için yapılan işlemler veya özümleme (leaching) ve ek olarak gübreleme uygulamaları veya askeri uygulamalar, toprağı oluşturan jeolojik oluşumlardaki uranyumun durumunu etkiler.

Tablo 2.2: Değişik kayaç yapılarında uranyum konsantrasyonu.

Kayaç Tipi	Uranyum Konsantrasyonu (mg/kg)
Bazalt	0,1-1,0
Karbonat kayalar	2
Üçüncü çağ (tertiary) kayalar	2-4
Alkalın derinlik (intrusive) kayaları	3-20
Granitler (ABD, Rusya ve Fransa)	2-15

Genellikle U'un toprak içersindeki bulunma seviyesi 1-4 mg/kg civarındadır. Uranyumun toprak içersindeki 4 mg/kg civarındaki yoğunluğu, yüksek bir yoğunluk olarak söylenebilir. Toprak içersindeki daha yüksek yoğunluklar, fosfat veya uranyum madeni civarında belirlenebilir. Benzer birikmeler yeryüzünde yaygındır. Örneğin; Kuzey Afrika ve Orta Doğu'da fosforlu kalay tuzu (phosphorite) ile ilişkili yüzey toprağındaki uranyum seviyelerinde yaklaşık olarak 200 mg/kg'lık bir yoğunluk bulunmuştur [8].

Yer altı sularında ^{234}U , uranyumun diğer izotoplarına göre daha baskındır [11]. Sulardaki aktivite, U yoğunluğu (litredeki μg) ile de verilir. Buna göre, $1 \mu\text{g U} = 1,2 \times 10^{-2} \text{ Bq } ^{238}\text{U}$ dir [11, 12].

U'un hidrokimyası komplekstir [13, 14, 15]. U'da birkaç oksidasyon durumu oluşabilir fakat yalnızca +4 ve +6 durumları hidrojeokimyada önemlidir. Uranyumlu iyon, hidroksit su içersinde hatta düşük pH değerlerinde bile çözünmez. Oksidasyonla UO_2^{+2} (uranil) iyonu (ve onun hidroksiti) oldukça iyi bir şekilde çözünür. Uranyum (VI); hidroksit, karbonat, fosfat hatta kloritle kompleks iyonlar oluştururlar [16] ve yüksek oranda eriyebilme özelliğine sahiptir [15].

Topraktaki çözünmüş uranyumun mobilitesi; toprak ve suyun pH'ı toprağın organik karbon içeriğı toprağın yer altı suyuna yakınlığıyla güçlü bir şekilde ilişkilidir. Kurşun gibi pek çok ağır metal, uranyumun mobilitesini nötral ve alkali şartlar altında artırır [8].

Yer altı sularında ^{222}Rn ve U arasındaki ilişki az olmasına rağmen U ve bikarbonat arasındaki ilişki daha kuvvetlidir [17].

Jeolojik olarak; U, Th, Ra ve Rn aynı tip 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. Killean ve Heier [9], pek çok granit çeşidinin radyoaktivite açısından zengin olduğunu göstermişlerdir [10].

Toryumun üç bozunum serisi içersinde altı izotopu mevcuttur. (^{234}Th , ^{232}Th , ^{231}Th , ^{230}Th , ^{228}Th ve ^{227}Th) +4 hali toryumun yalnızca oksidasyon durumudur ve U^{+4} gibi oldukça az çözünebilir. Genel olarak toryumun hareketliliğı oldukça sınırlıdır [6].

2.5. Sulu Havzalarda Radyoaktivitenin Dağılımı

Suyun sahip olduğu çözücülük, taşıyıcılık ve değişik radyoaktif çekirdekleri çöktürme gibi farklı karakteristik özellikleri, suların doğal radyoaktivitesini artırmaktadır. Akan sulardan çıkan Rn atmosfere dağılırken ortamdaki yoğunluğu mesafeyle üstel olarak azaltmaktadır [18]. Yer altı sularında suyun akışı güçlü değildir [19, 20].

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 çökelmesinden kaynaklanmaktadır.

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 içerirler. Bu nedenle volkanik kütlelerin temasta olduğu suların Ra yoğunlukları, tortul kütlelerin temasta olduğu suların Ra yoğunluğundan fazladır. 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 [21].

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 [22]. Bu değerler Tablo 2.3'te gösterilmiştir [22, 23]. Su kaynaklarının sınıflarına göre bazı kalite kriterleri ise, Tablo 2.4'te verilmiştir [24].

Th, nehirlerde ve okyanus sularında daha çok miktarda bulunmaktadır. Fakat nehirler tarafından taşınabilir ve denizlerde veya göllerin diplerinde de depolanabilir [27]. Po, Pb ve Th su içerisindeki partiküller tarafından 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 partiküller üzerine yapışarak ve hidrolize yoluyla dibe iner [26]. Okyanus tabanında yapılan U serisi araştırmalarında, Th miktarı 5 mg/kg'dan az iken U miktarı 100 mg/kg civarında bulunmuştur [28]. Yapılan çalışmalar fosfat kayalarının üzerinde U ve Th'dan kaynaklanan radyoaktivitenin bol miktarda bulunduğunu göstermiştir. Ca-Al fosfatları, crandillite ve millisite yapılarında yapılan çalışmalarda U bulunmuştur.

Radyum sıklıkla nehir üzerinde taşınan maddelerce emilir, parçacıklar tuzluluk oranı yüksek bölgelerde desorbe olurlar yani radyumu atarlar [29]. Okyanuslarda en önemli radyum kaynağı okyanus dip tortullarıdır [27]. Tuzlu olmayan sularda, Ra genellikle

Tablo 2.3: İçme suları için ulusal ve uluslar arası kuruluşlar tarafında kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirletici konsantrasyonları.

Kirletici	WHO 2004	EPA 1994	TSE 1997	İSKİ 1984
T _α	0,5 Bq/L (15 pCi/L)	0,555 Bq/L (15 pCi/L)	0,037 Bq/L (1 pCi/L)	0,037 Bq/L (1 pCi/L)
T _β	1,0 Bq/L (27 pCi/L)	1,85 Bq/L (50 pCi/L)	0,37 Bq/L (10 pCi/L)	0,37 Bq/L (10 pCi/L)

Tablo 2.4: Su kaynaklarının sınıflarına göre bazı kalite kriterleri.

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
	I	II	III	IV
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6-9	>6 - 9>
T _α (Bq/L)	0,037	0,37	0,37	>0,37
T _β (Bq/L)	0,37	3,7	3,7	>3,7

bulunduğu yerlerden pek uzağa taşınmaz. Çünkü, emilme ihtimali yüksektir [30]. Güney Carolina’da yapılan çalışmalarda kristalimsi kayalardaki Ra aktivitesi, kıyılardaki su tutan tabakalarınkinden (coastal plain aquifers) daha azdır. Buna sebep olarak, kristalimsi kayaların daha yüksek kation değiştirme kapasitesine sahip olması gösterilmiştir [31].

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 sularında Rn 2400 Bq/L gibi yüksek bir miktarda ölçülmüştür [32]. Radon, yer altı su kaynaklarında, topraktan sızması ve inşaat malzemeleri yoluyla da yerleşim yerleri içerisinde oluşabilir [33].

Dünyanın günümüzde var olan şeklinin oluşmasında radyo çekirdeğin bozunmasından açığa çıkan enerjinin önemli bir rolü vardır. Dünyanın içerisinde ısınmış haldeki bu enerji nedeniyle kayaların erimesi, minerallerin kristalizasyonu ve daha pek çok sebepten dolayı kıtalar oluşmuştur. Yeryüzünden çıkan gazlar zamanla atmosferi oluşturdu ve yer kabuğunun soğumasıyla beraber okyanuslar oluştu. Böylece kimyasal ve fiziksel işlemlerinde sonucu olarak birbirine benzer maddeler bir araya toplandı. Daha hafif ve daha çok bulunan elementlerden Si ve O, demir ve magnezyumca zengin kayalarda daha az yoğunlukta bulunmaktaydı [34]. Bu elementler genellikle yeryüzünün üstündeki kayalarda birikme eğilimindedirler. Biriken veya dağılan radyoaktif elementlere fiziksel ve kimyasal kanunlar etki ederler. Uranyum ve toryum gibi; sodyum, potasyum,

altın, gümüş ve diğer elementlerde yer kabuğunda birikir. Örneğin; kumtaşı içerisinde uranyum maddesinin oluşmasına neden olan durumların aynısı V, Se, P ve Mo elementlerinin yoğunlaşmasına da neden olabilir [35]. Aynı biçimde yer yüzüne dağılan elementler de vardır. Her kayanın ve deniz suyunun 1 cm³ ünde altın ve çok az miktarda uranyumun olması gibi. Jeokimyasal ve radyokimyasal metotlar kullanılarak yer yüzündeki radyoaktivite dağılımını bilmek mümkün olmaktadır [36].

Uranyum denizler içerisindeki kimyası onlarca yıldır çalışılmış olmasına rağmen, ancak son zamanlarda pek çok karasal etkiyle, okyanusa uranyum transferinin, haliçler çevresinde kimyasal reaksiyonlarla olduğu anlaşılmıştır. Deniz ortamında çevrede uranyumun ilk belirlenmesi 1930'lara kadar gider. ²³⁴U/²³⁸U aktivite oranı açık okyanus sularında 1,15 civarında bir değere sahip olduğu deniz ortamındaki karbonatların üzerine yapılan çalışmalarda ortaya çıkmıştır. Baltık denizinin hafif tuzlu suyu ve nehir suyundaki uranyumun belirlenmesi, tuzluluk ve uranyum arasında genel bir korelasyonun olduğunu gösterdi. 1970'lere gelinceye kadar haliçlerdeki uranyum kimyası üzerine çalışmalar yapılmamıştır [7].

Uranyum, çözünebilir uranil (U⁺⁶) karbonat kompleksleri ve kararlı bir değişim formasyonundan dolayı oksijenli (oksijeni bol) deniz suyu içerisinde korunduğu görünür. Tuzluluk oranı %35 civarında olan deniz suyunda uranyum konsantrasyonu 13,6 nmol/kg dır. Uranyum bu sulardaki bulunma zamanı 0,2-0,4×10⁶ yıla kadar olduğu tahmin edilmektedir.

Karasal iklimlerde, oksidize çevre şartları içerisinde doğal olarak oluşan uranyum izotopları ²³⁸U, ²³⁵U ve ²³⁴U çevreye dağılırlar. Uranyum 1,3 nmol/L civarında ortalama bir değer ile nehirde okyanuslara taşınır. Bu değer, 1993 yılına kadar, 250'den daha fazla nehirde yapılan çalışmalar sonucunda teyit edilmiştir. Bu değer Ganges, Brahmaputra ve Sarı Nehirlerinde dünya ortalamasının çok üstünde belirlenmiştir. 2000 yılına kadar, 29 nehirde daha yapılan çalışmalarda 1,3 nmol/L değerinden çok farklı bir sonuç elde edilmemiştir [7].

Buna karşın uranyumun izotopik oluşumu anlamlı bir şekilde değişir. Nehir ve haliçlerdeki radyoaktiviteyi iyi bir şekilde açıklayabilmek için örnekleme işleminin aynı zamanda yapılması zorunludur.

Uranyumun haliçler içerisindeki tanımı üzerine pek çok araştırmacı çalışmıştır [7]. Çalışmalar sonucunda bu bölgelerdeki uranyumun korunumlu olduğu kabul edilmiştir. Ogecchee ve Savanrah Nehirlerinden alınan örneklerde büyük ölçüde uranyuma rastlanmıştır [7]. Nehir sistemindeki akış rejimleri, uranyumun taşınmasını etkilemektedir. Bu durum nehrin deşarjı sırasında organik maddenin çökmesi ve/veya demir ve manganezin, çökmesi ile ilişkilidir. Amazonlardaki haliç bölgelerinde yüksek konsantrasyonlu uranyum

görülmüştür [7]. Şelf üzerindeki dip sedimentlerinden uranyumun serbest kalması $<0.4 \mu\text{m}$ boyutundaki çözünmüş uranyumun kaynağıdır.

Radyum üç bozunum serisinin her birinde bulunur. 228, 226, 224 ve 223 kütle numaralarına sahip izotopları vardır. Radyum için oksidasyon durumu yalnızca “+2” dir. Toprak alkali metallerin bir üyesi olarak radyum; baryum ve daha az derecede kalsiyum ile kimyasal olarak benzeşirler. Radyum, klorit ile bir kompleks oluşturur ve bu kompleks oldukça hareketlidir. Tam tersine sülfat iyonlarının varlığında hareketi yavaşlar. Uranyum ve toryumun bir ürünü olarak radyum, kristaller içerisinde veya genellikle karbonatlar ve radyobaritler içerisinde bulunur. Radyumun bir izotopu her bozunum serisi içerisinde oluşur. Fakat yalnızca ^{222}Rn önemli bir uzaklığa erişmek için yeterince uzun bir yarı ömre (3,8 gün) sahiptir. ^{220}Rn ve ^{219}Rn un yarı ömürleri sırasıyla 54,5 ve 3,9 sn dir. Rn bir soy gazdır. Bu nedenle diğer atomlarla reaksiyona girmez. Rn su içerisinde oldukça iyi çözünebilir. Doğal sular içerisinde radonun yoğunluğu $3,7 \times 10^6 \text{ Bq/m}^3$ ’ü aşabilir [40]. Radon bir kristal içerisinde de oluşabilir. Yer altı suyu içinde radyum düşük seviyelere sahiptir. Radyumun emiliminden dolayı çok yüksek seviyede radon konsantrasyonu ortaya çıkabilir.

Polonyum, en uzun ömürlü izotopu 138 günlük yarı ömre sahip çok nadir bir elementtir. Toryum gibi hızla emilir. Polonyumun pH seviyesi düşük, yer altı sularında hareketliği azalır [26, 41].

Kurşunun kararlı izotopları üç bozunum serisinin son üyeleridir. Fakat birkaç radyoaktif izotopu da vardır (^{214}Pb , ^{212}Pb , ^{211}Pb , ^{210}Pb). Bu izotoplardan sadece ^{210}Pb (ana çekirdeği) un yarı ömrü sadece birkaç saati aşar ve 22,1 yıldır. Hemen hemen bütün kurşun tuzları su içerisinde ya hiç çözünmez ya da çok az çözünür. Kararlı kurşun izotopları genellikle sülfat ile birleşir. Fakat karbonat ve sülfat mineralleriyle de yaygın bir şekilde bulunur [6].

Yukarıdaki jeokimyasal açıklamalardan anlaşıldığı üzere uranyum ve toryum arasında, radyum ve radon arasında, radyum ve kurşun arasındaki jeokimyasal farklılıklar özellikle önemlidir. Kimyasal hareketlerin neden olduğu elementsel değişimlere ek olarak, çekirdek mekanizması radyo çekirdeklerin hareketlerinden de etkilenebilir. Bu mekanizma bozunum serisi üyelerinin radyojenik doğasının bir sonucudur ve radyoaktif bozunum nedeniyle çekirdeğin tepkimesinin (recoil) bir fonksiyonudur. Herhangi bir α bozunumu ve çoğu β bozunumlarıyla çekirdeğin kimyasal bağları kırılabilir. Bu değişik etkiler, çevredeki radyo çekirdeklerin dağılımına etki eder. Örneğin; Ra her bozunum serisi içerisinde oluşan izotoplara sahiptir. Yeraltı suyu içerisine kaçan Ra miktarı kaya içerisinde yoğunlaşmış ana çekirdeğin miktarının bir fonksiyonudur ve Ra’un taşınımı yer altı suyunun tipine bağlıdır. Örneğin; yüksek derecede klorit içeren yer altı sularında radyum maksimum uzaklığa ulaşır.

Halbuki yüksek oranda sülfat içeren sular içerisinde taşınımı önemsenmeyecek kadar azdır. Yeraltı suyunun akış oranı ve radyoaktif çekirdeğin yarı ömrü de önemlidir. Daha yavaş hareket eden uzun ömürlü Ra izotoplarının (çok uzağa taşınmamalarına rağmen) daha uzağa hareket etmelerini sağlar. Halbuki kısa ömürlü izotopların göçü sınırlı olacaktır.

Yer altı suyuyla taşınan uranyum bir redoks engeliyle çökelse ^{230}Th ve onun ürün çekirdeği ^{226}Ra un etkili bir kaynağı olarak görev yapar. Uranyumun çökeldiği yerde ^{230}Th oluşur ve bulunduğu yerde kalır. Çünkü; toryumun hareketliliği azdır. Bununla beraber, ^{230}Th bozunduğunda ^{226}Ra oluşur ve özellikle tuzlu sular içerisinde hareketliliği çok fazladır. Böylece yüksek Ra yoğunluğu olan sular içerisinde çok az ana uranyum çekirdeği içerir. Her radyo çekirdek, tek bir çözünürlük ve yarı ömür kombinasyonuna sahiptir ve bu kombinasyon onun taşınma potansiyelini veya erimini belirler.

Çevredeki radyoaktivitenin yüksek olması uranyum ve toryum ana çekirdeklerinin dağılımının bir fonksiyonudur [1, 6, 7, 8, 9]. Uranyum ve toryum uzun yarı ömürlere sahip olduklarından yeryüzünün derinliklerinde oluşmuş kaya ve minerallerin yapılarında birikmiş olurlar ve çevresel veya jeolojik durumlar neticesinde, yeryüzüne yakın yerlerde veya yeryüzüne çıktıklarında, radyoaktivitenin kaynağı vazifesini görürler.

2.5.1. Kristal Kayalar

Volkanik (igneous) ve metamorfik kayalar, yüksek sıcaklık ve basınç şartları altında oluşmuş kristal kayalardır. Bu şartlar altında kayalar, eriyebilir veya yeniden kristalleşebilir. Uranyum ve toryum, çoğu mineral yapıları içerisinde büyük boyutlarıyla birbirlerine uymayan elementlerdir. Sonuç olarak; bu elementler yüksek sıcaklık ve yüksek basınç elementlerinden ayrı tutulurlar. Uranyum ve toryum bu şartlar altında benzer bir şekilde davrandıklarından bunların volkanik kayalar içerisindeki oranı 3/5 (Th/U) dur.

Yeryüzünün oluşumundan sonraki dönemlerinde, muhtemelen 1,4 milyar yıl önce, atmosferde hemen hemen hiç oksijen yoktu ve uranyum oksitleri; zerrecikler (grain) veya daha büyük parçacıklar (nugget) olarak yeryüzüne çıkabildi. Yoğunluklarından dolayı bu parçacıklar kendilerinden daha az yoğun maddelerden akarsular içerisinde ayrıldılar. Aynı yolla, Au da akarsular civarında birikmiştir. Au, bu akarsu depolarına zamanla gömüldü ve yeryüzünün derinliklerine doğru itildi. Yine bir kuvars taş (pebble) kümesi (konglomera) deposu olarak bir birikme tipi şeklinde, başkalaştılar (metamorfizleştiler). Bu birikintiler (2,8 ve 2,2 milyar yıl önce geliştiği görülür) Güney Afrika ve Kanada'nın önemli ekonomik minerallerinden uranyumun temel kaynağıdır [7].

2.5.2. Tortul Kayalar

Yaklaşık olarak geçen 1,4 milyar yıl önce U; aşınmış volkanik, başkalaşım (metamorfik), tortul kayalardan genellikle çözünmüş iyon formunda UO_2^{+2} veya onun komplekslerinden biri olarak dağılmıştır. Uranyumun yeniden birikmesi genellikle biyogenik işlemlerin dolaylı sonucu olarak, indirgenme reaksiyonları ile kolaylaştı. Yeni kaya oluşumlarının ham maddesi olarak bulunan eski kaya oluşumlarının bozulması ve yeryüzünün yüzeyine çok yakın olan kısımlardaki kayaç çeşitleri tortul kayaları meydana getirir. Uranyumca zengin olan birkaç kaya vardır [7]. Bu durumlar ve meydana gelen süreçler aşağıda tartışılacaktır.

2.5.3. Organik – Zengin Killi Şist (Shale) ve Kömür

Deniz ve haliçler çevresinde kil ve organik madde birikebilir. Uranyum; +4 durumunda veya organiklerce ve/veya killer tarafından emilimiyle hareket kabiliyeti azalır. Bu killi şistlerin birkaçı oldukça yaygındır. Örneğin; USA'nın doğusundaki Chattanooga şistinin ortalama uranyum konsantrasyonu 79 mg/kg dır. Uranyumca zengin diğer killi şistlere örnek olarak İsveç'teki Alum Shale ve Almanya'daki Kupferschiefer örnek verilebilir.

Organik maddenin azalmasından oluşan kömür, uranyumu tutması açısından önemli bir çevresel etkidir. Gerçekten pek çok kömür ve linyitin radyoaktivitece zengin olduğu görülmüştür [6, 7].

2.5.4. Kum Taşları (Gre, Kösele Taşları)

Kumtaşları, uranyumun biriktiği önemli ekonomik oluşumlardır [42]. Kumtaşı içerisinde bulunan uranyum içeren su burada bir redoks engeliyle karşı karşıya gelir. Uranyum ve diğer çok valanslı elementler, kum zerrecikleri üzerinde oluşan tabakalarda indirgenebilir ve çökebilirler. Uranyum birikintisi oksitlenmiş sular içerisinde hareketlenir ve yeni bölgelere taşınabilir. Aynı zamanda bu indirgenmiş uranyum serbest kalır ve yüzey sedimentlerinden taşınabilir. Bu yolla uranyumun kütlesi oluşur ve gelişir. Uranyum serisi ürün çekirdekleri, uranyumun kütlesinden ayrıldığında aynı şekilde taşınabilir.

Erozyonla taşınan elementler tortul bir hale gelerek radyoaktivitenin kaynaklarından birini oluşturabilir [43, 44]. Örneğin; kuzey-doğu Florida'daki kumlar toryumun önemli bir kaynağını oluşturan monazit minerali bakımından zengindir. Monazitin yüksek kendine has çekimi, plajlar boyunca daha hafif maddeleri kendisine çekmesine neden olur. Benzer birikmeler Avustralya ve Malezya Cumhuriyetinde de bilinmektedir.

2.5.5. Karbonat Kayalar

Karbonatlar tortul kaya grubunun önemli bir kısmını oluşturur. Uranyumun az miktarda fakat ölçülebilir miktarları, mercanlar ve mağara birikintileri gibi inorganik karbonatlar şeklinde; biyogenik karbonatlar içeren kayalar içerisinde hemen her zaman bulunur. Uranyum oksik sular içerisinde kolayca taşınabilir. Fakat toryum taşınmaz. Böylelikle, bu karbonatlar içerisine katılan uranyum, radyometrik tarihlleme için bir araç olarak kullanılabilir. Zamanla ^{234}U , ^{230}Th içerisinde bozunur. Orijinal olarak toryum, karbonat içerisinde olmadığından, ana ^{234}U ve ürün ^{230}Th radyo çekirdeği arasındaki oran bir “zaman belirleme aracı” vazifesi görebilir. Bir ürün çekirdeğin oluşumu asimptotiktir. Bu nedenle bu teknik için pratik olarak sınır 350,000 yıl civarındadır. Buzul çağları hakkında bildiğimiz pek çok şey bu metotla öğrendiklerimizdir [7, 8].

2.5.6. Tortul (Residual) Topraklar

Yeryüzü kabuğunun kabarması, hidrosferik ve atmosferik olaylar neticesinde yeryüzü üzerinde aşınmış bölgeler oluşur. Bu bölgeler tortul toprakları oluşturur. Bu çevrim; taze kaya girdisi ve çözünmüş unsurların tekrar ortaya çıkması ve yüzeyde aşınmış kaya parçalarının yeniden oluşmasıyla devam eder.

Temel kaya tipleri ve farklı çevresel şartlar altında, bozunum serisi çekirdeklerinin bağlı eğilimi sızma şeklinde veya birikmenin fazlaşması şeklinde olur. Örneğin; kırmızı toprakların oluşumunda uranyum serisi radyo çekirdekler bol miktarda görülmektedir. Güney Pasifik okyanusundaki adaların ve Güney Florida'daki toprakların $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ oranlarının 5 ve bazen de 20 yi geçtiği görüldü. Ayrıca kırmızı topraklar atmosfere güçlü bir ^{222}Rn yayıcılarıdır [7, 8].

2.5.7. Fosforitler

Fosforitler üzerinde çok geniş çalışmalar mevcuttur. Okyanus tabanı fosforitleri üzerine yapılan 260 dan fazla çalışmadan derlenerek oluşturulan uranyum ve toryum kombinasyonunda; uranyumun yoğunluğu genellikle 100 mg/kg civarında ölçülürken, toryumun yoğunluğunun 5 mg/kg dan daha az olduğu görülmüştür [8].

2.6. Atmosferdeki Radyoaktivite Taşınımı

Dünya üzerindeki pek çok yerde, atmosferin alt katmanlarında, 20 yıldan daha uzun bir süredir insanların maruz kaldığı radyasyonu belirlemek için çalışmalar yapılmaktadır. Atmosferdeki düşük seviyeli radyo çekirdek dağılımına neden olan etmenlerden birine örnek

olarak kömür verilebilir. Kömürün yanmasından ortaya çıkan uranyum, özellikle küller vasıtasıyla atmosfere yayılır.

Atmosferde radyo çekirdeklerin hareketi; değişik kaynaklardan atmosfere gelen, katı fazdaki küçük parçacıklara (kül, aerosol) ilaveten, ^{222}Rn , ^3H , $^{14}\text{CO}_2$, ^{85}Kr gibi çeşitli gazlı bileşimlerin sonucudur [45]. Atmosferdeki bu radyo çekirdeklerin yoğunluklarına ek olarak, bunların toprakta ve bitkilerdeki birikimleri de bilimsel araştırmaların ayrı bir konusudur.

Deniz seviyesinden yaklaşık olarak 2000 metre yükseklikte aynı bölge içerisinde ve aynı anda toplanan kar numunelerinde düşük seviyeli alfa spektrometresi kullanılarak atmosferdeki aktinitleri belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda ^{234}U , ^{238}U , $^{239,240}\text{Pu}$ radyo çekirdeklerinin aktiviteleri sırasıyla yaklaşık olarak 3500, 3400, 800 mBq.m^{-2} dir [7].

Radyo çekirdeklerin atmosferde taşınmasına ilişkin birçok veri, Chernobyl reaktör kazasının sonucunda yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. Mayıs 1986 da bölgedeki yağmur suları üzerinde yapılan bir çalışmada ^{131}I , ^{137}Cs , ^{103}Ru , ve ^{132}Te - ^{132}I radyo çekirdeklerinin analizi yapılmıştır [46, 47].

3. ALGILAMA CİHAZLARI

Cihazın elektronik gürültüsüne veya tespit edilmeye çalışılan radyasyon miktarındaki hataya; yanlış devre sistemi, sızıntı akımı, yüksek derecede nem ve değişken gerilim sebep olabilir. Bu sorunların kontrolü; sabit gerilim dönüştürücü ve süresiz (transient) filtreler, sızıntı akımını engelleyen ayar cihazı (kerdometre) ve sayım odası kliması kullanılarak yapılabilir.

Sayıcının genel karakteristikleri; 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 büyüklüğüyle kabaca orantılı olmasının yanı sıra algılayıcılara metal muhafaza kullanılarak bu istenmeyen sayımlar azaltılabilir [48].

3.1. Algılayıcı Çeşitleri

3.1.1. Dahili (Internal) Orantılı Algılayıcılar

Dahili orantılı algılayıcılarda her beta ve gama radyasyonunun bir kısmı, iyonize olan gaz içerisinde 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 [49].

Dahili orantılı algılayıcı, alfa radyasyonu çalışma platosunda alfa aktivitesinin hesabı için ve beta radyasyonu çalışma platosunda ise hem alfa hem de beta aktivitesinin hesabı için kullanılabilir [51].

Bu sistemde algılama odası, bir ön yükseltici ve dereceli yüksek gerilim güç kaynağı, zamanlayıcı ve kaydedici kullanılır. Orantılı algılayıcı çalışma gerilimini bulmak için %5 civarında eğimi olan plato bölgesi seçilir. Platonun başlangıcı ve sonu arasındaki gerilim değeri farkı algılayıcının üretim parametrelerine göre değişmesine rağmen eski kullanılan sayıcılarda bu değer 150 volt civarındadır [51].

3.1.2. İnce Pencereci Orantılı Algılayıcı

İnce pencereci orantılı sayıcı, yüksek seviyeli sayım ortalamasına sahiptir. Algılayıcılar, alfa ve düşük enerjili beta yayınlamalarını algılar. Bu algılayıcıların duyarlılığı dahili (internal) orantılı sayıcıların %50'si kadardır. Bunun nedeni bu algılayıcıların 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 [51].

3.1.3. Düşük Seviyeli Taban Sayımlı Beta Algılayıcıları

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 çalışması koşulu ile bu sayıcılar alfa aktif çekirdek içeren örneklerde alfa aktivitesinin hesaplanması için de kullanılabilir. Algılayıcı penceresinin kalınlığı genellikle 1,0 mg/cm² 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. Bu amaç için tasarlanmış G-M tüpleri, yaklaşık olarak 100 ile 400 μ s ölü zamana sahiptir [52].

3.2. 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 germanyum veya lityum katkılı germanyum (Ge(Li)) içeren algılayıcılardan oluşan sistemler olarak iki farklı yapıdan oluşmaktadırlar [52].

3.3. Alfa Spektrometresi

Alfa spektrometresi için kullanılan algılayıcılar, genellikle yarı iletken silisyum yüzey engelli, PN ve PIN yapısındaki malzemelerden oluşturulmaktadır. Bunun yanı sıra özellikle yüksek radyasyon ortamlarında GaAs ve CdTe gibi alaşımlardan yapılmış yarı iletken algılayıcılar kullanılır. Bu tip algılayıcıların çalışması; enerji çözünürlüğü, aktif alan ve eksiltme aralığından (depletion depth) etkilenir. Sayım yüksek bir vakumun sağlanmasıyla gerçekleştirilir.

Örneklerden yayınlanan alfalar hassas bir algılayıcı içerisine girer ve algılayıcının yapıldığı maddenin atomlarıyla etkileşir. Algılayıcılarda oluşan iyonlaşma ve algılayıcıya

uygulanan bias gerilimi sonucu elektronların elektrotta birikmesi sağlanır. Bu birikim elektriksel gerilim darbesine dönüştürülür ve elektriksel gerilim darbesinin algılayıcı materyali ile etkileşen alfa parçacıklarının enerjileriyle orantılı olmasını sağlar [48].

Bir alfa spektrometresi; algılayıcı, algılayıcı 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 [52].

3.7. Alfa Radyasyonuna Duyarlı Parıldamalı (Sintilasyon) Algılayıcılar

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 kısalmır. Alfa parıldama sayacı; fosfor algılayıcı çifti, bir foto çoğaltıcı, yüksek gerilim kaynağı, yükseltici-frekans ayırıcı (diskriminatör) ve bir dereceli kaydediciden oluşur [48].

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 [48].

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 [53].

3.8. Beta Radyasyonuna Duyarlı Sıvı Parıldamalı Algılayıcılar

Bir örnek çeşitli radyoaktif çekirdekler içeriyorsa, organik sıvı parıldatıcı ile karıştırılır ve böylece ışık parıltısı oluşturulmuş olur. Parıldama, bir veya daha fazla fotoçoğaltıcı ile yükseltilip algılanabilir. Sıvı parıldama 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, trityumundan kaynaklanan 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 ayırıcıdan oluşur [53].

4. AĞIR METALLER ve MAKRO ELEMENTLER

Eser miktarda bile toksin etkisi yapabilen bu maddeler arasında en önemli grubu; Ag, As, Be, Cd, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, V, Zn gibi elementler oluşturmaktadır. Söz konusu elementlerin çoğunluğu ağır metal grubuna girmektedir. Ağır metallerin önemli bir kirletici grubu oluşturdukları bilinmektedir. Bunların toksin ve kanserojen etkileri olduğu gibi, canlı organizmalarda birikme eğilimi de söz konusudur. Krom, cıva, kurşun, kadmiyum, mangan, kobalt, nikel, bakır ve çinko gibi metaller doğada genellikle sülfür, oksit, karbonat ve silikat mineralleri şeklinde bulunmaktadır. Bunların suda çözünürlükleri oldukça düşüktür.

Sulama sularında izin verilebilir maksimum ağır metal ve toksin konsantrasyonları Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı'nca tebliğ edilmiştir. Çok küçük miktarlarda bile genellikle kuvvetli zehir etkisine sahip olan ağır metaller, kirlenmiş sularda metal, katyon, tuz ve kısmen anyon şeklinde bulunurlar. Bunlar hem kirlenmiş suların kendiliğinden temizlenmesini engelleyebilir, hem de suların artılmış halde sulamada kullanılmasını ve arıtma çamurlarının gübre olarak kullanılmasını sınırlandırabilirler.

Mangan ve demir, ağır metaller arasında en zehirsiz metaller sayılırlar. Katyon olarak manganın stabilize sınırı alabalık için 75 mg/L; sazanlar için 600 mg/L'dir. Demir de mangan gibi, giderek zehirsiz sayılmaktadır. Buna rağmen sulardaki yüksek demir konsantrasyonu mikro floranın büyük ölçüde değişmesine neden olur. Çeşitli demir bileşikler sert olmayan sularda pH'yı düşürmek suretiyle balıklara zehir etkisi yapmaktadır. Nikelin zararlılık sınırı balıklar için 1-5 mg/L, balıklara yem olan küçük su canlıları için 3-4 mg/L'dir. 6 mg Ni/L sularda mikrobiyolojik olayları inhibe edebilir. Krom, kirlenmiş sularda hem katyon, hem de anyon (kromat, bikromat veya kromik asit) olarak bulunabilir. Anyon formu katyon formundan daha etkilidir. Balıklar için toksine sınırı 28-80 mg Cr/L, içme suyunda ise 0,05 mg Cr/L'dir. Kirlenmiş sulardaki kurşun konsantrasyonu 0,1 mg/L'den az ise suda yaşayan canlılar bundan pek etkilenmezler. Hassas balıklar için 0,1-0,2 mg Pb/L toksine sınırını teşkil eder (sert sularda bu sınır 1 mg Pb/L'dir). İçme sularında en fazla 0,05 mg Pb/L bulunmalıdır. Belirli konsantrasyonlarda çinko, sulardaki mikro florayı olumsuz yönde etkilemektedir. Balıklar için toksine sınırı 0,3 mg/L'dir. Bakır ve nikel, çinkonun zehir etkisini artırır. İçme suyunda 5 mg/L düzeyindeki çinko zararsız kabul edilmektedir. Bakır özellikle küçük canlılar için yüksek derecede zehirlidir. Hafif alkali sularda hidroksit, çürüyen organik madde içeren sularda sülfür şeklinde çöker. Bakır, balıklar için kuvvetli bir zehirdir. Alabalıklar toksine sınırı 0,14 mg Cu/L'dir. Sert sularda zehir etkisi daha azdır. 2,5 mg Cu/L su bitkilerine zarar vermez. İçme sularında en fazla 0,05 mg Cu/L bulunmalıdır [54].

4.1. Demir (Fe)

Çelik grisi-siyah renktedir. Metalik parlaklığındadır. Kuvvetli manyetik, kolay ezilebilir oluşu ayırt edici özelliklerindendir. Saf demir oluşumlarına sıkça rastlanmaz, ancak volkanik kayaların kömür damarlarını kestiği yerlerde oluşabilir [55]. Demir çelik sektörünün ana hammaddesi demir cevheridir. Bir madenin cevher olarak değerlendirilebilmesi için iletilmesi ve kullanılmasının ekonomik olması gerekmektedir. Çelik sanayinde kullanılan demir cevherlerinin harman tenorunun en az %57 Fe olması arzu edilmektedir. Demir cevherleri doğada Manyetit (Fe_3O_4), Hematit (Fe_2O_3), Limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Götit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Siderit (FeCO_3) ve Pirit (FeS_2) mineralleri şeklinde bulunmaktadır [56].

4.2. Magnezyum (Mg)

Yoğunluğu 1,738 g/mL, erime noktası 650 °C (923 K) ve kaynama noktası 1090°C (1363 K) olan Mg; nispeten tepkin bir metaldir. Bu yüzden, doğada serbest olarak bulunmaz. Toprakta en bol bulunan elementler arasında sekizinci sırayı alır. Başlıca iki mineral halinde bulunur: Karbonatı; magnezit (MgCO_3), dolomit [$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$] şeklindedir. Magnezyum minerallerinin yataklarına her yerde bolca rastlanır. Bu arada deniz suyunda da, çözünür magnezyum klorür ve magnezyum sülfatlardan bolca bulunur. Sözelimi, Lut Gölü'nün suları, yaklaşık yüzde on oranında magnezyum klorür kapsadığından zengin bir magnezyum kaynağı sayılır. Arı magnezyum, özgül ağırlığı düşük, yumuşak, gümüşsü-beyaz renkli bir metaldir. Magnezyum açıkta bırakıldığında, yüzeyinde kısa sürede koruyucu bir tabaka oluşur. Baz magnezyum karbonattan oluşan bu tabaka, metali daha çok yükseltgenmekten korur. Bütün 2A gurubu elementleri gibi magnezyumun da, niteleyici değerlik basamağı +2' dir.

Magnezit ve dolomit, magnezyum karbonatın (MgCO_3) doğada bulunan biçimleridir. Dolomit ayrıca; kalsiyum karbonat, sulu çözeltide, karbon dioksitle kalsinleme ve doyurma yoluyla açığa çıkarılabilir. Magnezyum karbonat, kalsiyum karbonattan daha önce çözünerek, daha sonra açığa çıkarılan magnezyum bikarbonat'ı [$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$] oluşturur [57].

4.3. Kalsiyum (Ca)

Yoğunluğu $1,550 \text{ g/cm}^3$, erime noktası $842 \text{ }^\circ\text{C}$ (1115 K), kaynama noktası $1484 \text{ }^\circ\text{C}$ (1757 K), atom ağırlığı $40,078 \text{ g/mol}$ olan Ca; oda koşullarında (25°C , 298 K) gümüşümsü beyaz renkli bir toprak alkali metaldir.

İlk olarak 1808 yılında Berzelius ve Pontin, cıva içerisindeki CaO'nun (lime) elektrolizi ile kalsiyum amalgam (cıvalı maden alaşımı) elde etmiştir. Daha sonra Humphry Davy tarafından ilk defa saf olarak izole edilmiştir.

Kalsiyum doğada saf olarak bulunmaz. En fazla kireç taşı (CaCO₃) bulunur. Mermer ve kalsitte aynı formüle sahiptir. En önemli mineralleri dolomit (CaCO₃ MgCO₃), apatit (3Ca₃(PO₄)₂) ve gipstir (CaSO₄.2H₂O) [58].

4.4. Potasyum (K)

Yoğunluğu $0,862 \text{ g/cm}^3$, erime noktası $63,65 \text{ }^\circ\text{C}$ (336,8 K), kaynama noktası $774,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (1047,15 K) olan alkali metaller sınıfındandır.

Bitkilerin gelişimi için çok önemli bir element olan potasyum, çoğu toprak tipinin bileşiminde yer alır ve gübrelerin yapısına da katılır. Cam, sabun, lens ve benzeri maddelerin yapımında, ayrıca yanıcı-patlayıcı maddelerin bileşiminde kullanılır. Sodyum ve potasyum alaşımı (NaK), iyi bir ısı ileticidir. Potasyumun; potasyum nitrat, potasyum karbonat, potasyum sülfat gibi çoğu tuzu, hem kimyasal hem de ticari açıdan önem taşır [59].

4.5. Sodyum (Na)

Atom numarası 11, yoğunluğu $0,971 \text{ g/cm}^3$, erime noktası $97,8 \text{ }^\circ\text{C}$ (370,95 K), kaynama noktası: $552,9 \text{ }^\circ\text{C}$ (826,05005 K) olan Na; alkali metaller sınıfındadır.

Eczacılık, tarım ve fotoğrafçılık alanlarında sıkça kullanılır. Sokak aydınlatmalarında, pillerde, cam yapımında ve sofraya tuzu (NaCl) eldesin de kullanılan önemli bir bileşendir. Sıvı sodyum, nükleer santrallerde soğutucu görevinde de kullanılmaktadır. Dünya kabuğunun %2,6'sını oluşturan sodyum, dünyada en bol bulunan altıncı elementtir ve alkali metaller arasında da en bol bulunanıdır. Buna karşın, doğada element halinde rastlanmaz ve kuru sodyum kloridin (NaCl) elektrolizi yoluyla elde edilir. Metal hali, esterlerin (oksijenli asitler ve alkollerin tepkimesi sonucu oluşan maddeler) ve çeşitli organik bileşiklerin eldesi için önemlidir. Çeşitli alaşımların yapılarının kuvvetlendirilmesinde ve dökme metallerin saflaştırılmasında kullanılır. NaK alaşımı, önemli bir ısı ileticisidir. Sodyum elementinin diğer önemli bileşikleriyse; soda külü (Na₂CO₃), kabartma tozu (NaHCO₃) ve sodyum nitratı (NaNO₃).

En iyi bilinen bileşiği sodyum klorür, denizlerde ve denizden uzak göllerde büyük oranlarda bulunur. Ticari önemi olan kaya tuzu yatakları çok eski göl ve denizlerin buharlaşması sonucu oluşmuştur.

Denizlerde bulunan tuzların %30'u sodyum tuzlarıdır. Şili kıyılarındaki nitrat yatakları ve Asya ile Afrika'daki karbonat yatakları, bu önemli bileşiklerin verimli kaynaklarıdır.

En önemli sodyum mineralleri: Kriyolit (Grönland'da zengin kaynakları olan bir sodyum-alüminyum flüorür), boraks (sodyum tetraborat) ve sodyum sülfattır (Na_2SO_4) [60, 61].

4.6. Çinko (Zn)

Atom numarası 30, erime noktası 419,58 °C (692,73 K), kaynama noktası 907,0 °C (1180 K) olup geçiş elementleri sınıfından olup, yoğunluğu 7,133 g/cm³'tür.

Diğer metallerle çok sayıda alaşımın yapısına katılır. Otomotiv, elektrik ve donanım endüstrilerinde kullanılan döküm kalıplarının yapımında da çinko yer alır. Demir ve benzeri metallerin, korozyona karşı önlem amacıyla galvanizelenmesinde de kullanılır. Çinko oksit; boya, yazıcı mürekkepleri, sabun, tekstil ürünleri, elektronik aletler, kauçuk yan ürünleri, yer kaplamaları, plastik ve kozmetik ürünler gibi günlük yaşamımızın çeşitli tamamlayıcılarında karşımıza çıkmaktadır. Çinko sülfid, flüoresan özelliğe sahiptir ve parlak kadranların, flüoresan lambaların, X-ışını ve televizyon ekranlarının yapımında kullanılır [62].

4.7. Bakır (Cu)

Atom numarası 29, erime noktası 1083,0 °C (1356 K), kaynama noktası 2567,0 °C (2840 K) olan Cu geçiş elementleri sınıfındandır.

Bakırın en önemli kullanım alanı, elektrik-elektronik sanayidir. Elektrik iletkenliği çok yüksektir. Madeni para ve silah yapımında kullanılan metal alaşımlarının büyük çoğunluğu bakır içerir. Diğer alaşımları da, kuyumculukta ve bronz heykelticiliğinde kullanılır. Pirinç ve bronz, bakır alaşımlarıdır. Tarımda, su yosunu öldürücü (algasit) olarak kullanılır. Şekerlerle yapılan analitik kimya testlerinde kullanılan Fehling çözeltisi gibi çeşitli bileşimler de bakır içerirler.

Ayrıncı özellikleri arasında, rengi ve kırılgenliği, nitrik asitte kolay çözünebilmesi, bakır içeren sülfür yataklarının oksidasyon bölgeleri yaygın oluşum ortamıdır [63, 64].

4.8. Krom (Cr)

Yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom; metalürji ve kimya sanayinin temel elementlerinden biridir. Krom metalinin ekonomik olarak üretilbildiği tek mineral ise, kromittir. Kromit mineralinin; özgül ağırlığı $4,1-4,9 \text{ g/cm}^3$ ’dür. Parlak siyah renkte, genelde manyetik özellik taşıması onun bazı temel özellikleri arasındadır.

Kromit minerali ve krom yatakları kökensel olarak ilişkili oldukları ultrabazik kayalar içinde bulunurlar. Ultrabazik kayanın (dunit, serpantinit) oluşturduğu hamura (gang) gömülü kromit kristalleri krom cevherini oluşturmaktadır. Mg, Cr, Fe, Al elementleri kromit mineralini oluşturan elementler olmakla birlikte, gang minerallerinden kaynaklanan silis, krom cevheri analizlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Krom cevherinin kimyasal bileşimi cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir.

Krom cevherinin endüstrideki kullanım alanlarına göre kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile ilgili sınırlamalar söz konusudur. Teknolojik gelişmelere uygun olarak cevherin kimyasal bileşiminden kaynaklanan kullanım sınırlamaları giderek daha esnek hale gelmektedir [65].

4.9. Nikel (Ni)

Nikel yer kabuğundaki belli başlı elementlerden olup, yüz yıla yakın bir süredir endüstride kullanılmaktadır. Doğada çoğunlukla demirle birlikte olmak üzere sülfürler, arsenürler ve silikatlar (lateritik kökenli) şeklinde bulunur. En önemli nikel mineralleri olarak; nikelin (NiAs), kioantit (NiAs_2), pentlandit [$(\text{Fe,Ni})\text{S}$], millerit (NiS), annabergit [$(\text{Ni})_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$] belirtilebilir. Dünyadaki en önemli nikel yatakları; Kanada, Yeni Kalendonya, Küba, ABD, Avustralya, Endonezya ve Eski Sovyetler Birliği’nde bulunmaktadır [66].

4.10. Kobalt (Co)

Atom numarası 27, erime noktası $1495,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (1768 K), kaynama noktası $2870,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (3143 K), yoğunluğu $8,9 \text{ g/cm}^3$ olan Co; geçiş elementlerindendir.

Demir, nikel ve diğer metallerle birleştirilerek, "Alnico" adı verilen ve alışılmışın dışında manyetikleşme gücüne sahip olan alaşımın eldesin de kullanılır. Manyetik ve paslanmaz çelik eldesinde, jet türbinlerinde ve gaz türbin jeneratörlerinde kullanılan alaşımların üretiminde de yararlanır. Dayanıklı ve oksitlenmeye karşı dirençli bir metal olması nedeniyle, elektrolizle kaplama işleminde de kullanılır. Porselen ve cam sanayilerinde, kalıcı ve parlak mavi rengin üretilmesinde kobalt tuzları kullanılmaktadır.

Canlıların beslenmesinde de önem taşımaktadır. Kobalt-60 izotopu, kanser tedavisinde kullanılır [67].

4.11. Mangan (Mn)

Atom ağırlığı 54,938 g/mol olan Mn; oda koşullarında (25°C, 298 K), gümüş renkli ve bir katı metaldir. Manganın bilinen mineralleri; piroluzit (MnO_2), hausmannit (Mn_3O_4), manganit ($\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ve mangat spat (MnCO_3) tir.

Elementel mangan, pirolizit mineralinin elektrikli fırında karbon ile indirgenmesi sonucunda elde edilir. Mineralde bulunan demiroksitde indirgenir ve ferromangan denilen kullanımı oldukça fazla olan bileşiği de elde edilir. MnSO_4 bileşiğinin elektrolizi ile de saf mangan elde edilir [68].

Üretilen mangan cevheri kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaktadır. Mangan cevheri ayrıca mangan miktarına göre de sınıflandırılır. Bunlar; mangan cevheri, demirli mangan ve manganlı demir cevheri şeklinde isimlendirilir. “U.S. Bureau of Mines” a göre en az %35 mangan içeren cevhere “Manganez Cevheri” denir. %10-35 arasında manganez içerenlere “Demirli Mangan” ve %5-10 arasında mangan içeren cevhere “Manganezli Demir Cevheri” adı verilmektedir. Bugün endüstride %2 alt sınır tenorlu manganezli demir cevheri kullanılmaktadır [66].

5. ARAŞTIRMA SAHASININ TANITIMI

5.1. Araştırma Alanının İklimsel Özellikleri

Elazığ'da 1937-1987 rasat değerlerine göre yıllık ortalama sıcaklık 13,4 °C'dir. Aylara ait ortalama sıcaklık değerleri -0,1 ile 27,1 °C arasında değişir. En soğuk ay ocak (-0,1 °C), en sıcak ay ise temmuz (27,1 °C)'dur.

Ocak ayından itibaren mart ayına kadar sıcaklık yavaş yavaş yükselmeye başlar. Marttan sonra hızla artar ve bu artış, temmuz'a kadar devam eder. Temmuz ayından sonra başlayan sıcaklık azalması, ağustos'ta fark edilmez. Eylül'den sonra sıcaklıktaki azalma devam eder ve ocak ayına kadar sürer [69].

5.2. Jeolojik ve Litolojik Özellikler

Uluova ve çevresi Alp-Himalaya Orojenik kuşağının Doğu Akdeniz Bölgesindeki Doğu Toroslar üzerinde yer almakta, Paleozoikten Kuvarterner'e kadar olan dönemlere ait farklı yaştaki metamorfik, magmatik ve tortul kayalar içermektedir.

Araştırma sahamız içerisinde Yüksekova Karmaşığı önemli bir yer tutmaktadır. Geniş alanlar kaplayan bu birimin gölün Uluova kesimiyle olan ilişkisi göz ardı edilemez. Bu birimde lanpofir bileşimli kayalarla kesilmiş, diyorit, monzonit, siyenit, granit ve granodiyorit, diyabaz, damar kayalar bazaltik yastık lavlar bazalt akıntıları, andezitten oluşmaktadır. Volkanik kayalardan meydana gelen birim; Kuşakçı Dağlarının Uluova'ya bakan kuzey yamaçlarında Çelemlik Dağı boyunca devam eden ve bir kuşak halinde Korucu köyüne kadar uzanış göstererek Mastar Dağının güneydoğusundan, Güllüşkür Köprüsü'ne kadar ulaşır. Elazığ Ovası'nın Kuzey ve Güney kenarları boyunca da yaygın olarak uzanan bu birim Uluova'nın kuzeyinde Hasret Dağı'nın doğu ve güney kesimleri boyunca uzanarak, Murat Boğazı'nın iki yakası boyunca devam eder [69].

Araştırma sahamızda Hazar Karmaşığı; konglomera, kumtaşı, silt taşı, kalker, marn ve çamurtaşı kayalarıyla Mastar Dağı ve güney kesimlerinde önemli ölçüde yüzeylenmektedir. Özellikle Korucu ve Değirmenönü köylerinin güneyi ile, Dereboğazı ve Cevizdere köyleri güneyinde bir hat boyunca uzanır.

Araştırma alanında Maden Karmaşığı olarak adlandırılan birim Korucu, Koçkale, Karasaz köylerinin güneyinde ve Mastar Dağı'nın bulunduğu sahalarda yüzeylenir. Alt-Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, volkano-sedimanter kayalardan oluşmaktadır. Tabanda yer yer konglomera ile başlayan kumtaşı, kireçtaşı, kilitaşı yapılarında görülmektedir. Üst seviyelerde volkanik ara katlıdır [69].

Uluova'nın kuzeyi boyunca uzanan fay ve Mastar Dağının kuzeyindeki Uluova Fayı; Uluova'nın oluşumunda önemli bir yere sahiptir ve bu fay günümüzde pasif durumdadır.

Araştırma sahasının şekillenmesinde etkili olan litolojik özellikler de kısaca şöyle özetlenebilir:

Araştırma sahasında volkanikler önemli bir yere sahiptir. Volkaniklerin büyük çoğunluğunu oluşturan andezitler genelde Uluova'nın güneyine yayılmışlardır. Uluova'nın kuzeyinde Meryem Dağı'ndan doğuya doğru Murat Boğazına kadar uzanan saha ile Elazığ Ovası'nın kuzeyinde de volkanikler dağılışı gösterirler. Yöredeki andezitler üzerinde bulunan boşluklara kalsit ve zeolit mineralleri dolmuştur.

Değirmenözü, Korucu ve Cevizdere köyleri çevresinde, kireçtaşları ve kumtaşları değişimli olarak görülürler. Tektonizma ile küçük kıvrımlı ve kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Mastar Dağı üzerindeki Mastar Tepesi oluşturan gri kireçtaşları yoğun çatlaklı ve kırıklıdır. Kil ve marnlar üzerinde bulunup, 4-5 m veya daha kalın katmanlı olan kalkerler topografyada ortaya çıkabilmektedir.

Altınçevre Köyü dolaylarında geniş alanlar boyunca kumtaşları; kilttaşları ve masif kireçtaşlarının bulunduğu alanlarda parçalar halinde dikkat çekerler. Uluova'nın batısında ve kuzeyinde kireç taşları etrafında ince bir şerit halinde görülmekte olan kil taşlarına, sahanın diğer kesimlerinde de parçalar halinde rastlanılmaktadır. Geçirimsiz olan kil taşları aşınmaya karşı dirençleri düşük olmasından dolayı bulundukları topografyada çok parçalanmış bir görünüm sunarlar.

Kum, çakıl, kil ve siltten meydana gelmiş olan alüvyonlar araştırma sahamızda oldukça geniş yer kaplarlar. Uluova'da 8-10 km genişliğinde, 35 km uzunluğunda bir alanı kaplarlar.

Araştırma sahasındaki diğer bir sediment grubunu kalkerler meydana getirir. Uluova'nın güneyinde Mastar Dağı ile Cevizdere Köyü arasında, Elazığ Ovası ile Uluova arasındaki eşik sahada Meryem Dağı dolaylarında ve Elazığ Ovası'nın çevresinde kalkerlere rastlanmaktadır [70].

Araştırma alanında mesozoik zamana ait olan "Yüksekova Karmaşığı"; andezit, bazalt, bazaltik yastık lavlar, aglomera, şeyl ve volkanik malzemeli kumtaşı aralanması şeklinde görülmektedir.

Araştırma alanı içinde en yaygın formasyonu oluşturan Yüksekova Karmaşığı, güneydeki Kamışlık ve Çelemlik dağlarında geniş olarak yüzeyeleşir ve ovanın güney kenarı boyunca kesintisiz olarak Korucu köyüne kadar devam eder. Diğer görüldüğü sahalarda ise doğuda İçme Köyü ve Hendek Dağı dolayları ile Uluova'nın kuzey kenarıdır.

Mesozoik-Tersiyer: Bu zamana ait Hazar grubu kayalar, inceleme alanında, kumtaşı, çamurtaşı ve kireç taşları ile temsil edilmektedir. Bu grup en tipik olarak Hazar Gölü kuzeyi ve kuzeydoğusunda yüzeylenir ve adını buradan alır. Hazar grubu, araştırma gurubu alanında Korucu ve Değirmenönü köylerinin güneyi ile Dereboğazı ve Cevizdere köyleri güneyinde bir hat boyunca görünürler.

Tersiyer: Araştırma alanında bulunan Maden Karmaşığı andezit, bazalt, bazaltik yastık lavlar, çamurtaşları, şeyl, pembe kireçtaşları, gri kireçtaşları ve volkanik sedimentlerden oluşan Maden Karmaşığı ilk defa Elazığ Maden İlçesi dolaylarında görülmüştür. Araştırma alanında, Maden Karmaşığına ait birimler Korucu, Koçkale, Karasaz köylerinin güneyinde ve Mastar Dağı'nın bulunduğu sahalarda yüzeylenir.

Volkanitler: Araştırma alanında volkanitler geniş yer kaplamaktadır. Volkanitlerin büyük çoğunluğunu oluşturan andezitler, Uluova'nın güneyinde geniş yayılım göstermektedir. Bunların diğer yayılım alanları ise Uluova'nın kuzeyinde Meryem Dağı'ndan doğuya doğru Murat Boğazına kadar uzanan saha ile Elazığ ovasının kuzeyidir. Uluova'nın güneyinde İçme Köyü ve Hendek Dağı dolaylarında bol miktarda andezit bulunmaktadır. Andezitler bazaltlara göre daha az ayrılmışlardır. Bunlarda bulunan çok az miktardaki gaz boşlukları, kalsit ve zeolit mineralleri ile dolmuştur. Bu sahada bulunan andezitlerin içinde yer yer gevşek tutturulmuş volkanik çökelti, bazaltlar, bazaltik yastık lavlar, anglomeralar ve serpantinler görülmektedir.

Volcano Tortullar: Araştırma sahasında Uluova'nın güneyinde Korucu Köyü'nden Cevizdere Köyü'ne kadar olan alanda ince bir şerit boyunca parçalar halinde volkano tortullar görülmektedir. Bunlar arazide genellikle kahve renkli ve tabakalı olup, malzemesinin büyük bir kısmını volkanik kırıntılar oluşturmaktadır. Kırıntıların tane boyu kum boyutundan bloğa kadar değişmektedir. Bunların çoğunluğunu kum taşları oluşturmaktadır. Kumtaşları volkanik malzemeler silisleşmiş, sık kıvrımlı, bol çatlaklı olup, bu çatlaklar kalsitle dolmuştur. Kum taşları bol çatlaklı, geçirgen, aşınma ve ayrışmaya karşı dirençsiz olduklarından, bunların üzerine gelen geçirimsiz ve dirençli aglomera tabakaları topografyada sert çıkıntılar oluşturmaktadır. Uluova'nın güneyinde olduğu gibi aglomera, şeyl ve orta kalın tabakalı sert kum taşları ile temsil edilmektedir.

Tortullar: Araştırma alanında kumtaşlarına da yaygın olarak rastlanılır. Uluova'nın kuzeybatısında Altınçevre dolaylarında sade bir litoloji topluluğu halinde görülen kumtaşları, kil taşı ve masif kireçtaşlarının bulunduğu alanlarda da parçalar halinde görülürler. Gri renkli olan kumtaşları sert olup iyi tabakalanma gösterirler. Bunlar bol çatlaklıdır. Bu çatlaklar kalsitle dolmuştur. İnce tabakalı sık çimentolu olan kum taşları aşınmaya karşı dirençli ve geçirgenlikleri nispeten iyidir. Uluova'nın batısında ve kuzeyinde kireç taşları etrafında ince

bir şerit halinde görülmekte olan kireçtaşlarına, sahanın diğer kesimlerinde de parçalar halinde rastlanmaktadır. Killer bol çatlaklıdır ve bu çatlaklar jipsle dolmuştur. Geçirimsiz olan kil taşları, aşınmaya karşı dirençleri düşük olmasından dolayı bulundukları alanlarda topografya çok parçalanmış bir görünüm sunmaktadır. Uluova'nın kuzeydoğusunda konglomeralar geniş yayılım alanı gösterirler. Genellikle kırmızı renkli olup, andezit, bazalt, kumtaşı ve kireçtaşı tanelerinden oluşmuştur. Bazı yerlerde kalın tabakalar zayıf çimentolu, köşeli matris destekli olan konglomeralar iyi boylanmış. Kum, çakıl, kil ve siltten meydana gelmiş olan alüvyonlar, yamaç molozları, birikinti konileri inceleme alanında oldukça geniş yer kaplarlar. Uluova'da 8-10 km genişliğinde 35 km uzunluğunda bir alan kaplayan alüvyonlar Elazığ Ovası'nda 3 km genişliğinde, 10 km uzunluğundadır [69].

Uluova'nın uzun ekseni 35 km, genişliği 10–12 km dir. Ovanın alanı 360–370 km² dir. Ovanın yüksekliği ise 845 m ile 1000 m arasında değişmektedir. Bu ovanın yaklaşık 1/3'üne karşılık gelen yaklaşık 110 km²'si Keban Baraj Gölü suları altında kalmıştır. Uluova'nın çevresini güneyde Mastar Dağı (2171 m), Çelemlik (1658 m) ve Sivrice (1908 m) dağları, kuzeyde Hasret Dağı (1621 m) batıda ise Meryem Dağı (1471 m) yükseklikleri oluşturmaktadır. Hasret Dağı Uluova'yı kuzeyde sınırlar. Hasret Dağı'nda batıda 1621 m olan yükseklik doğuda Kartal Tepe'de 1724 m ye ulaşır. Doğuya doğru alçalan dağlık alanın yükseklik değeri Murat Boğazı dolaylarında 1200 m ye kadar düşmektedir. Bu dağlık alanın yamaç eğimleri %15-45 arasında değişen diklikler oluşturmaktadır. Çelemlik Dağları, batıda Yüksekova karmaşığına ait volkanitler üzerine yerleşmiş andezitik ve bazaltik yastık lavlar ile volkanik tortullardan oluşmuşlardır. Yurtbaşı'na kadar olan kısımda eğim yaklaşık olarak %5 civarındadır. Ovanın güney tarafındaki eğim daha fazladır.

Mollakendi Köyü kuzeyinde eğim %0,3 gibi düşük bir değere sahiptir. Orta Miyosen'de başlayan (Şengör, 1980) tektonik devre ile bölgedeki tektonik hareketler dikey şeklini almıştır. Bu dönemin başlamasıyla birlikte, Uluova ve Elazığ çukurlukları, faylanmaya bağlı olarak iyice derinleşmiştir [69].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Su Numunelerinde Alfa ve Beta Radyoaktivitesinin Ölçülmesi ve Sayım Hataları

%95 güvenirlilik seviyesindeki standart sapma aşağıdaki denklem ile verilir:

$$E_s = \pm 1,96 (N_s / t_s + N_b / t_b)^{1/2} \quad (6.1)$$

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 güvenirlilik seviyesindeki hatasıdır. Bu tür istatistik analizler ancak toplam sayımların otuzdan büyük olması durumunda geçerlidir.

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

$$E = \pm (E_a^2 + E_b^2)^{1/2} \quad (6.2)$$

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

6.2. Verim Düzeltmeleri

Sayma hızını bölünmelere dönüştürmek için aşağıdaki denklemden faydalanılır:

$$dpm = cpm / \text{verim} = cpm / G B T = cpm \times (VDF) \quad (6.3)$$

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

Kalınlık, örneğin ağırlığı ile etkin alana göre değişme gösterir ve denklem (6.4) ile ifade edilir.

$$\text{Kalınlık (mg/cm}^2\text{)} = (\text{örneğin mg cinsinden ağırlığı}) / (\text{etkin alan}) \quad (6.4)$$

Alüminyum tabla (planşet) üzerinde sayılan alfa aktivitesi için verim düzeltme faktörü (6.5) denklemi ile verilir.

$$VDF = 1 / V \times (T) \quad (6.5)$$

Bu denklemdeki T'nin değeri, mg/cm² cinsinden kalınlığın fonksiyonu olarak daha önceden belirli standartlara göre çizilmiş eğriden bulunur (U₃O₈ için kendi içinde emilim) [20]. Denklem (6.5)'teki V parametresi verimdir.

6.3. Su Numunelerinin Alfa ve Beta Aktivitelerinin Hesaplanması

Su örneklerinin alfa aktivitesi denklem (6.6), beta aktivitesi ise denklem (6.7) kullanılarak hesaplanır.

$$A_{\alpha} = (N \times VDF) / 2,22 \quad (6.6)$$

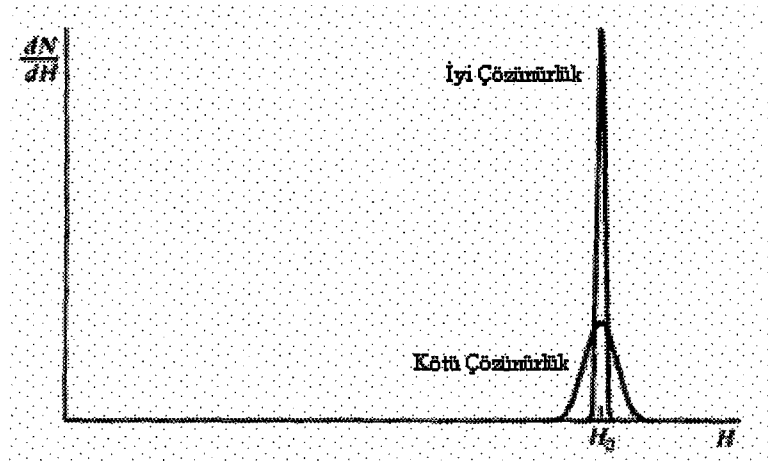
$$A_{\beta} = (0,391 \times R \times N_m) / N_0 \quad (6.7)$$

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/cm² cinsinden örneğin özel kütlesi, N₀ ise, ilgili uyarılama (kalibrasyon) eğrisinden bulunan ve örneğin özel (spesifik) kütlesine karşı gelen sayım sayısıdır [20, 21].

6.4. Algılayıcılarda Enerji Çözünürlüğü

Radyasyon algılayıcılarının pek çok uygulamalarında, amaç; radyasyonun enerji dağılımını ölçmektir. Bu konu üzerine yapılan çalışmalar, genel olarak *radyasyon spektroskopisi* adıyla sınıflandırılır.

Radyasyon spektroskopisinde bir algılayıcının en önemli özelliklerinden birisi, radyasyonun bir tek enerjili kaynağı için algılayıcının cevabının incelenmesidir. Şekil 6.1'de,



Şekil 6.1: Algılayıcının iyi ve kötü çözünürlüğü (rezolasyonu) için, cevap fonksiyonlarına örnekler.

Bu yüzdenin küçülmesi algılayıcının enerji çözme gücünün iyileşmesi ve böylece birbirine yakın enerjideki radyasyonların ayırt edilmesi anlamına gelir. Böylece parıldamalı algılayıcılarda, enerjileri birbirine yakın olan iki radyasyonun algılanması daha kolaydır.

Bir algılayıcının cevabındaki (response) dalgalanmaların olası kaynakları vardır. Bunlar, ölçülen sinyalin kendisinin doğasından kaynaklanan gürültü, algılayıcı ve elektronik sistem içerisindeki düzensiz gürültüler ve son olarak; ne kadar mükemmel yapılsa yapılsın sistemin yapımından kaynaklanan, algılayıcı sinyalindeki dalgalanmalardır. Algılayıcı uygulamalarının büyük bir bölümünde, elektronik gürültü, sinyaldeki dalgalanmaların temel kaynağıdır ve böylece algılayıcının çalışmasında önemli ölçüde sınırlayıcı bir etkidir.

İstatistiksel dalgalanmalar algılayıcı sistemin bütün bölümlerinde vardır. Taşıyıcıların sayısı bütün durumlarda farklıdır ve tamamen aynı enerji miktarı algılayıcı içerisinde birikmesine rağmen, bu sayı düzenli olmayan dalgalanmalar şeklinde olur. Her yük taşıyıcısının oluşumu bir Poisson işlemidir ve bu varsayımla; dalgalanmaların miktarı tahmin edilebilir. Bu varsayımla; yük taşıyıcılarının toplam sayısı N , ortalamanın üzerinde oluşursa, sayıdaki istatistiksel dalgalanmaları nitelendirmek için $\sqrt{N}$ nin standart sapması düşünülebilir. Bu, sinyaldeki dalgalanmaların tek kaynağı ise cevap fonksiyonu; N , genellikle büyük bir sayı olduğundan Şekil 6.2'deki gibi bir Gaussian şeklinde gösterilmelidir. Bu durumda Gaussian fonksiyonu

$$G(H) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(H - H_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6.8)$$

şeklinde yazılabilir. Genişlik parametresi σ ve FWHM arasındaki bağıntı; $FWHM = 2,35\sigma$ şeklindedir. H_0 ve A ; sırasıyla, ağırlık merkezi ve alandır.

Pek çok algılayıcının cevabı, yaklaşık olarak doğrusaldır ve böylece K bir orantı sabiti olmak üzere, ortalama atma genliği $H_0 = KN$ dir. O halde darbe yükseklik spektrumundaki pikin s standart sapması $s = K\sqrt{N}$ dir ve bunun FWHM'si $2,35 K\sqrt{N}$ dir. Buradan yük taşıyıcılarının sayısındaki istatistiksel dalgalanmaların R sınırını çözmesi,

$$R|_{\text{Poisson limit}} \equiv \frac{FWHM}{H_0} = \frac{2,35K\sqrt{N}}{KN} = \frac{2,35}{\sqrt{N}} \quad (6.9)$$

olarak hesaplanabilir.

Her yük taşıyıcısının oluşumu bağımsız değildir ve bu nedenle, yük taşıyıcılarının toplam sayısı basit Poisson istatistikleri ile açıklanamaz. *Fano faktörü*, yük taşıyıcılarının sayısında oluşan istatistiksel dalgalanmaların miktarındaki değişikliği belirtmek için ileri sürülmüştür ve

$$F \equiv \frac{n' \text{ de gözlenen varyans}}{\text{Poisson' dan beklenen varyans (= } N)} \quad (6.10)$$

olarak açıklanır. Varyans s^2 ile verildiğinden denklem 6.9'daki ifadeyi şimdi

$$R|_{\text{istatistiksel limit}} = \frac{2,35K\sqrt{N}\sqrt{F}}{KN} = 2,35\sqrt{\frac{F}{N}} \quad (6.11)$$

şeklinde yazabiliriz.

Fano faktörünün orantılı sayaç ve yarı iletken algılayıcılarda birden çok küçük olmasına rağmen parıldamalı algılayıcılar gibi diğer tiplerde çözme sınırı Poisson istatistiği ile uygunluk gösterir ve Fano faktörü 1'dir.

Bir algılayıcıda, sinyaldeki dalgalanmaların birkaç kaynağı varsa ve her biri simetrik ve bağımsızsa; tek bir kaynağın neden olduğu cevap fonksiyonu farklı şekilde dağılımlar tarafından nitelendirilse bile, istatistiksel teoriye göre algılayıcının bütün cevap fonksiyonları, her zaman bir Gaussian şeklinde olma eğilimindedir. Sonuç olarak, denklem 6.8'de verilen Gaussian fonksiyonu, algılayıcı sistemlerinin cevap fonksiyonlarını göstermek için geniş bir şekilde kullanılır. Pek çok farklı sebep algılayıcının toplam enerji çözmesine katkıda bulunabilir. O halde toplam FWHM, sinyalin dalgalanmasının her biri için ayrı FWHM değerlerinin karelerinin toplamı olacaktır [71];

$$(FWHM)_{\text{tüm}}^2 = (FWHM)_{\text{istatistiksel}}^2 + (FWHM)_{\text{gürültü}}^2 + (FWHM)_{\text{sürüklenme}}^2 + \dots \quad (6.12)$$

6.5. Algılama Verimi

Bütün radyasyon algılayıcıları, prensipte, aktif hacimleri içerisinde birbirlerini etkileyen her radyasyon kuantumu için bir çıkış atması verir. Alfa veya beta parçacıkları gibi yüklü radyasyonlar için, iyonlaşma veya uyarılma (excitation) biçimindeki etkileşim, algılayıcının aktif hacmi içerisine parçacığın girmesiyle doğrudan meydana gelir. Parçacığın kısa seyahatinden sonra, yolu üzerinde, kaydedilebilecek kadar büyük atmalar meydana getirebilecek iyon çiftleri oluşur. Her alfa ve beta parçacığının sayılması durumunda, algılayıcının %100 bir sayım verimine sahip olduğu söylenir.

Diğer taraftan, gama ışınları ve nötronlar gibi yüksüz radyasyonlar, algılanma olasılığından önce, algılayıcı içerisinde pek çok etkileşime girerler..Bu radyasyonlar, büyük uzaklıklara gidebildiğinden dolayı, algılayıcı verimi genellikle %100'den daha azdır.

Sayım verimini iki sınıfta toplamak uygun olur: Mutlak (absolute) verim ve gerçek (intrinsic) verim. Mutlak verim (ϵ_{mut});

$$\epsilon_{mut} = \frac{\text{kaydedilmiş atmaların sayısı}}{\text{kaynaktan yayılan radyasyon kuantasının sayısı}} \quad (6.13)$$

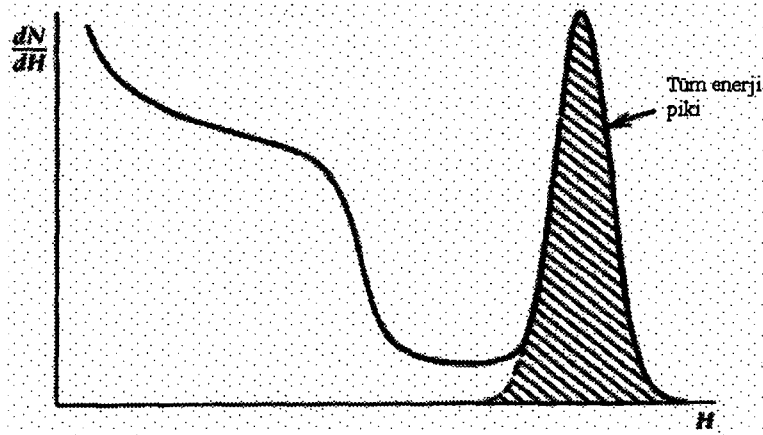
şeklinde açıklanır ve sadece algılayıcının özelliklerine değil sayım geometrisine de (öncelikle algılayıcının kaynağa olan uzaklığına) bağlıdır. Gerçek verim (ϵ_{ger});

$$\epsilon_{ger} = \frac{\text{kaydedilmiş atmaların sayısı}}{\text{algılayıcı üzerine gelen kuantanın sayısı}} \quad (6.14)$$

olarak açıklanır. İki verim arasındaki ilişki izotropik kaynaklar için $\epsilon_{ger} = \epsilon_{mut} (4\pi / \Omega)$ şeklindedir.

Bir algılayıcının gerçek verimi; genellikle algılayıcı materyaline, radyasyon enerjisine ve algılayıcı kalınlığına bağlıdır. Algılayıcı ve kaynak arasındaki uzaklık, radyasyonun algılayıcı içerisindeki aldığı yolu azda olsa değiştirir.

Sayım verimleri, incelenen durumun doğasına göre de sınıflandırılır. Algılayıcıdan gelen bütün atmaları kabul edersek, o zaman bu atmalar *toplam* verimlerde kullanılmak üzere ayırt edilebilir. Farazi olarak bir atma yükseklik dağılımı Şekil 6.3'teki gibi gösterilmiştir [71].



Şekil 6.3: Diferansiyel atma yükseklik spektrumunda toplam enerji piki.

Spektrumun altındaki alanın tümü, kaydedilmiş bütün atmaların sayısının ölçüsüdür. Uygulamada elektronik gürültü kaynaklarından kurtulmak için, ölçüm sistemlerinde eşik (threshold) seviyesinin ayarlanması işlemleri yapılır. Böylece, mümkün olduğunca teorik olarak öngörülen toplam verim değerlerini elde etmek mümkün olabilir. *Pik* veriminde, radyasyon enerjisinin birikimi de önemlidir. Diferansiyel atma yükseklik dağılımında, bu tam enerji durumu spektrumun sonunda en yüksekte bulunan bir pik ile gösterilir. Gelen radyasyon enerjisinin biriktiği kısım spektrumun solunda görünmektedir. Tam enerji durumlarının sayısı, Şekil 6.3 de taralı alanda gösterildiği gibi, pikin altındaki toplam alan, basit bir şekilde tamamlanarak elde edilir. Toplam ve pik verimleri, kendi aralarındaki bir r oranı ile ifade edilir [71].

$$r = \frac{\varepsilon_{pik}}{\varepsilon_{toplam}} \quad (6.15)$$

Bu oran, tam enerji durumlarının sayısı, sahte gürültü veya çevredeki nesnelerden saçılma gibi bazı etkilere duyarlı olmadığından, yalnızca pik verimlerinin kullanımı deneysel açıdan çoğu kez tercih edilir. O nedenle, pik verimleri için değerler derlenebilir ve kullanılabilir fakat toplam verim değerleri, değişik şartlardan etkilenebilir.

Bir algılayıcı veriminin eksiksiz olması için, yukarıdaki iki kıstasa göre özelleşmiş olması gerekir. Örneğin, gama ışını detektörleri için *gerçek pik verimlerinden* çok yaygın olanları tablolar halinde düzenlenmiştir.

Verimi bilinen bir algılayıcı, bir radyoaktif kaynağın mutlak aktivitesini ölçmek için kullanılabilir. Aşağıdaki tartışmada, kabul edeceğimiz ε_{ger} pik verimli bir detektörde, algılayıcı spektrumundaki tam enerji pikinin altındaki N durumun kaydı kullanılmıştır. Daha sade olması için, radyasyonun kaynaktan izotropik olarak yayıldığını kabul edilmiştir. Gerçek pik veriminin tanımlamasında, ölçüm süresince kaynaktan yayınlanmış S radyasyon kuantasının sayısı;

$$S = N \frac{4\pi}{\varepsilon_{ger} \Omega} \quad (6.16)$$

şeklinde verilir. Burada Ω katı açıdır ve

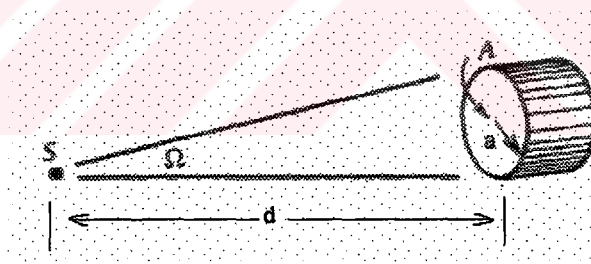
$$\Omega = \int_A \frac{\cos \alpha}{r^2} dA \quad (6.17)$$

şeklinde kaynaktan algılayıcı yüzeyine doğru bir integralle açıklanır. Denklem 6.17'deki r , dA yüzey elemanı ve kaynak arasındaki uzaklık ve α , kaynak yönü ve yüzey elemanın normali arasındaki açıdır. Kaynağın hacmi önemsiz ise, o zaman ikinci bir integrasyon, kaynağın bütün hacim elemanları üzerine tatbik edilmelidir. Silindirik algılayıcının eksenine üzerine yerleştirilmiş nokta bir kaynak için Ω ;

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}} \right) \quad (6.18)$$

şeklinde ve kaynak-algılayıcı arasındaki uzaklık d ve algılayıcının a yarıçapı Şekil 6.4'te gösterilmiştir. $d \gg a$ için, katı açı, algılayıcının A yüzeyi ile kaynağın algılayıcıya olan uzaklığının karesinin oranına indirgenir [71]:

$$\Omega \cong \frac{A}{d^2} = \frac{\pi a^2}{d^2} \quad (6.19)$$



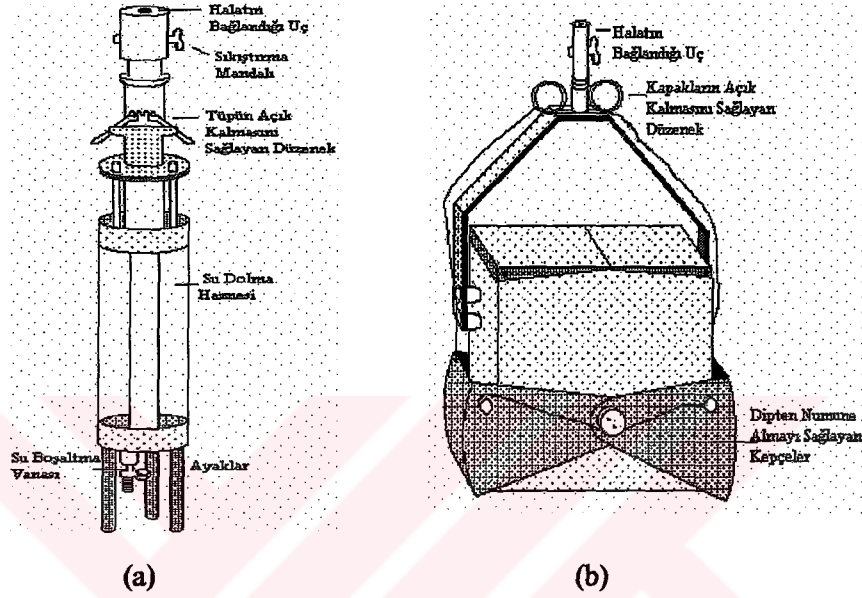
Şekil 6.4: Bir algılayıcı için katı açı ($d \gg a$).

6.6. 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. Çevresel radyasyon ölçümleri için NaI proflu (SPA8) taşınabilir radyasyon monitör cihazı (ASP2e) kullanılarak yapılmıştır.

6.7. 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 6.5'te görülmektedir.



Şekil 6.5: (a) Su alma cihazı, (b) Toprak kepçesi.

6.8. Su Örneklerinin Radyoaktivite Analizi için 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.

Alınan numunelerin korunması yapılmazsa numune içerisindeki çözünmüş ve askıda kalan kısımlar ayrılmaya başlar. Bunu önlemek için 5 damlanın üzerinde asit ilave edilmelidir. HCl ve nitrik asit (HNO_3) kullanılarak pH<2 seviyesine düşürülür [42].

6.9. 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, laboratuarda en kısa zaman içerisinde yapılmıştır.

6.9.1. 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 6.1) [72].

pH değeri 9,0'ın üzerinde olan suların sulamada kullanılması sakıncalıdır. Düşük pH değerlerinin (4,5 veya daha düşük) ise, bir çok bitkide önemli ölçüde ürün verimi düşüşüne neden olduğu yapılan denemelerde saptanmıştır [72].

6.9.2. 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 $EC=1/R$ denklemine 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 [72, 73]. Elektriksel iletkenliğin raporlarda gösteriminde genellikle "µmho/cm" ifadesi kullanılmaktadır.

Tablo 6.1: pH'a göre H⁺ ve OH⁻ iyonları miktarları ve asitlik sınıfları.

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

6.9.3. Suyun Toplam Sertliği

Suyun sertliği, temas etmiş olduğu topraktaki minerallerin çözünmesi veya endüstri artıklarının su içerisine karışmasından meydana gelir. Suda sertliği meydana getiren Ca ve Mg metallerinin, saf suda çözünme 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.

Sertlik birimi olarak kullanılan eş değeri (ekivalent) terimi; sertliği meydana getiren maddelerin CaCO₃ cinsinden eş değeri (ekivalent) miktarını gösterir. Eğer, herhangi bir suyun sertlik derecesi 23 Fr° ise, bu suyun 100.000 gramının içinde 23 g CaCO₃'a eşdeğeri miktarda sertlik meydana getirici çeşitli maddeler bulunduğu anlaşılr. Bu miktar 230 ppm veya takriben 230 mg/L miktarlarına eşittir [73].

6.10. 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, titrimetrik metot yardımıyla ölçümler gerçekleştirilmiştir.

6.10.1. 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 Na₂H₂C₁₀H₁₂O₈N₂×2H₂O (Etilen diamin tetra asetik asit disodyum tuzu dihidrat) ve 780 mg MgSO₄×7H₂O 50 mL saf suda çözülür. Bu çözelti karıştırma ile 143 mL derişik NH₃ ve 16,9 g NH₄Cl 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 0,01 M EDTA Çözeltisi*: 3,723 g EDTA suda çözülerek toplam hacim 1 L'ye tamamlanır (*Bu çözeltinin 1 mL'si 1 mg CaCO₃'a eşdeğerdir*) [48].

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 (6.20) yardımıyla toplam sertlik hesaplanır.

$$\text{Sertlik (mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{A \times 1000}{\text{Örnek Hacmi (mL)}} \quad (6.20)$$

Burada A, titrasyonda harcanan EDTA çözeltisidir (mL) [73].

6.11. Silisyum Dioksit (SiO₂) Tayini

Silikatların çoğu, bir veya iki katyon kombinasyonunda, SiO₄⁴⁻ şeklinde oluşmuş ortosilikatlardır.

Keban Uluova Bölgesinden alınan toprak numunelerinde SiO₂ tayininde yapılan deneysel işlemler aşağıda özetlenmiştir.

0,4 g civarında numune porselen bir tabağın içerisine alınır. 10-15 mL su eklenir ve karıştırılır. Yavaş yavaş 25 mL 1:1 hidroklorik asit eklenir. Numune kabı sürekli, numune ayrışmaya kadar cam bir karıştırıcı ile karıştırılır. Daha sonra numune 100-110 °C'de 1 saat fırınlanır. 5 mL hidroklorik asit ve daha sonra 75 mL su eklenerek bütün çözünebilir tuzların çözünmesi için 10-20 dakika buhar banyosuna tabi tutulur. Numune Whatman No. 41 ile filtreden geçirilir. Hidroklorik asit ile seyreltilen numune sıcak su ile yıkanır. Filtrelenen numune 100-110 °C'de 1 saat kadar tekrar fırınlanır. Daha önce fırınlamadan sonra yapılan işlemlerin aynısı yapılır. Daha sonra numuneye 1 mL su ve bir veya iki damla sülfirik asit ve 5 mL hidroflorik asit eklenerek ısıtılır ve içerisindeki asidin kaynamadan buharlaşması sağlanır. Son olarak elde edilen numune ağırlığı tartılır.

Yaptığımız SiO₂ belirleme çalışmalarında, SiO₂'e rastlanmadığından bu kısım ile ilgili çalışmalara "Sonuçlar ve Tartışma" bölümünde yer verilmemiş sadece analizin yapılış şekline değinilmiştir [74].

6.12. Ağır Metal ve Makro Element Analizleri

Derişimi tespit edilen; Fe, Cu, Cr, Co, Ni, Mn elementlerinin analizleri Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde (Shimadzu AA-660) yapılmıştır. Makro elementlerden Ca, Na, K, Mg ve ağır metallere Zn'nin tayini Alev Spektrofotometresinde (Eppendorf AES) yapılmıştır.

6.12.1. Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi

Atomik absorpsiyon spektrofotometre, bazı yönlerden alev fotometresinin tersidir. Tüm yayma metotlarında, elementi daha düşük enerji seviyesine dönüştürmek için verilen radyant enerji akımında, numune düzenli olarak eskite edilir. İnterferanstan kaçınmak için ilgili enerjiden dış kaynaklı enerji filtre edilmelidir.

Atomik absorpsiyon spektrofotometrede element, alev ile fark edilir şekilde eskite edilmez, yalnızca kimyasal bağlarından ayrılır ve uyarılmamış veya temel durumda bırakılır. Atomlar bu durumda kendi çizgi spektrumlarına uygun çok dar bant genişliğinde ışığı soğurma yeteneğinde oldukları düşük bir enerji seviyesindedirler. Analiz edilen materyalden yapılan içi boş bir katot lambası; katottaki metalin cinsine göre özel dalga boyu ışık üretiminde kullanılır. Katot lambası sodyumdan yapılmışsa lambadan 589 nm'de yoğun bir sodyum ışığı yayılır. İçi boş katot lambasında aleve ışık girdiğinde, alevdeki temel durumda olan sodyum atomları tarafından ışığın bir kısmı soğurulur ve algılayıcıya ulaşan ışığın yoğunluğunda net bir azalmaya neden olur. Bu yöntem; "atomik absorpsiyon" olarak tanımlanır [75].

6.12.2. Alev (Flame) Spektrofotometresi

Alev fotometresi 1929'da Lundegardh tarafından kullanılmıştır. Bu yöntem tüm spektrokimyasal metotların en hızlı ve son derece doğru sonuç verenidir. Alev fotometre ile Na, K ve Ca çok kolay analiz edilebilir.

Metal iyonları renksiz bir aleve tutulduklarında, o element için özel dalga boyunda bir ışın yayarlar. Bu ışığın şiddeti aleve tutulan metal iyonlarının derişimi ile doğrudan orantılıdır. Yayılan ışık bir veya daha fazla enerji seviyelerini ve farklı dalga boylarını içerir. Elementlerin ölçümü için kullanılan dalga boyları, yeterli yoğunlukta bir spektrumun seçimine bağlıdır. Bu spektrum, seçilen dalga boyunun yakınındaki diğer spektrumlarla karışmalardan kurtulmuş ve yeterli duyarlılığa sahip olmalıdır [75].

6.13. Ağır Metal Analizi için Örnek Hazırlama

Homojen bir hale getirilen sediment örneklerinden 0,5 g alındı. Cam tüplerin içerisine kondu. Derişik sülfirik asit (1 mL) ve nitirik asit (1 mL) örnekleri sindirmek için kullanıldı. Son olarak 10 ml saf su eklendi [76]. Son olarak, Alev (Flame) Spektrofotometresi ve Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresinde analiz edildi.

6.14. İstatistiksel Analiz

Çalışma içerisinde çok sayıda istasyon ve buna bağlı olarak, çok sayıda değişken olduğu için, sulara ve dip sedimentlerinde belirlenen radyoaktivite miktarlarının, ağır metallerin ve temel (major) elementlerin sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi için istatistiksel analiz yöntemlerine başvurulmuştur. Bu nedenle;

- Radyoaktivite değişimlerinin ve elementlerin istasyonlar bazında “frekans-istasyon” grafikleri çizilmiştir. Böylece istasyonlar içerisinde, incelenen değişkenin miktar olarak tekrarlanma sıklıkları belirlenerek yorumlama kolaylaştırılmıştır.
- Çalışma içerisindeki bütün değişkenlerin Pearson korelasyon katsayıları belirlenmiş ve böylece değişkenler arasında anlamlı ilişki olup olmadığına karar verilmiştir.
- Bütün değişkenlerin; Mod (en çok ortaya çıkan değer), Medyan (ortadaki gözleme karşı gelen değer), standart sapmaları ve varyansları belirlenmiştir.

6.14.1. Korelasyon Katsayısı (r_{xy})

Bağımsız değişken x ile bağımlı değişken y arasındaki doğrusal ilişkinin ölçütü olarak korelasyon katsayısı, r_{xy} kullanılır. Korelasyon katsayısı x ile y arasındaki kovaryans (covariance), s_{xy} kullanılarak şöyle gösterilir:

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / (n-1)}{s_x s_y}, \quad -1 \leq r_{xy} \leq 1 \quad (6.20)$$

Aslında karar katsayısı r^2 biliniyorsa, yukarıdaki formül kısaca;

$$r_{xy} = (b_1 \text{ 'in işareti}) \sqrt{r^2} \quad (6.21)$$

olarak ifade edilir.

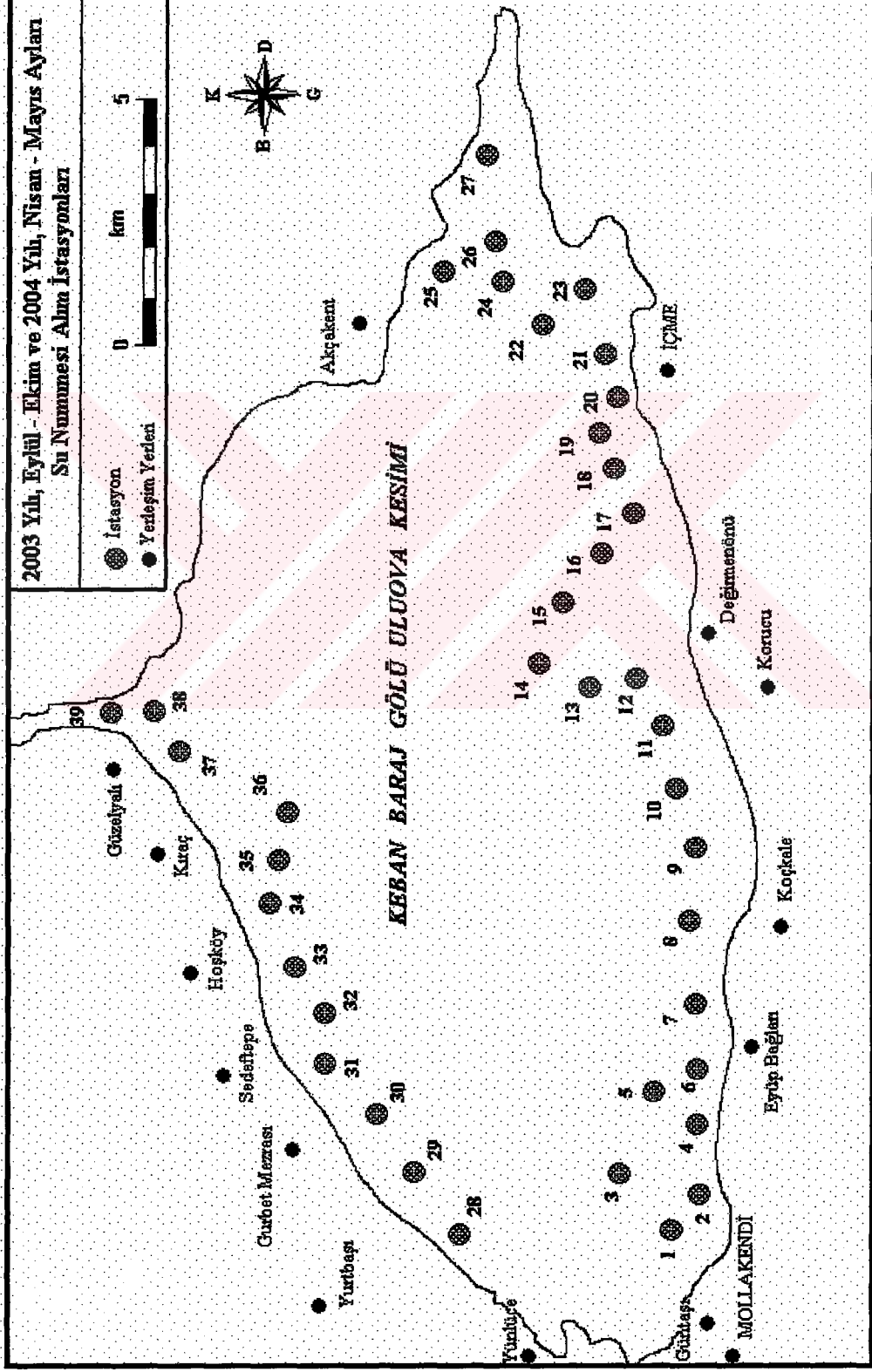
7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Keban Baraj Gölü Uluova kesiminde yaklaşık olarak 250 km²'lik bir alanda bazı fiziksel, kimyasal değişkenler, ağır metaller, toplam alfa-beta radyoaktivitesi ile yüzeysel gama ölçümlerinin belirlenmesine çalışılmış ve göl; arazi şartlarının izin verdiği oranda homojen bir şekilde bahsedilen değişkenler açısından taranmıştır. Elde edilen sonuçlar toplu olarak tablolar halinde verilmiş ve ilgili grafiksel gösterimlerle beraber sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi sularında; toplam alfa-beta radyoaktivitesi, Mg, Ca, K, Na, Zn elementleri ile toplam sertlik, elektriksel iletkenlik ve pH değişkenlerinin belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Yine baraj gölünde belirlenen istasyonlar üzerinde dip sediment örneklerinde; toplam alfa-beta radyoaktivitesi, Fe, Mg, Ca, K, Na, Zn, Cu, Cr, Co, Ni, Mn elementlerinin miktarları belirlenmiştir. Ayrıca göl havzasında yüzeysel gama radyasyonu ölçümleri yapılmıştır. Bölge üzerindeki örnek alım işlemleri sonbahar (Eylül-Ekim) ve ilkbahar (Nisan-Mayıs) dönemlerinde aynı istasyonlarda tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar; mevsimsel olarak da değerlendirilmiştir.

Göldeki örnek alım istasyonlarının seçilmesinde, Keban Baraj Gölü ve çevresini karakterize etmesine özen gösterilmiştir. Ayrıca, göl üzerinde hakim olan coğrafi etkilerin de göl suyunun radyoaktif ve kimyasal değişimine katkıda bulunduğu göz ardı edilmemiş ve sonuçların yorumlanmasında bu katkı da göz önünde bulundurulmuştur.

7.1. Uluova Bölgesi Sonbaharda Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

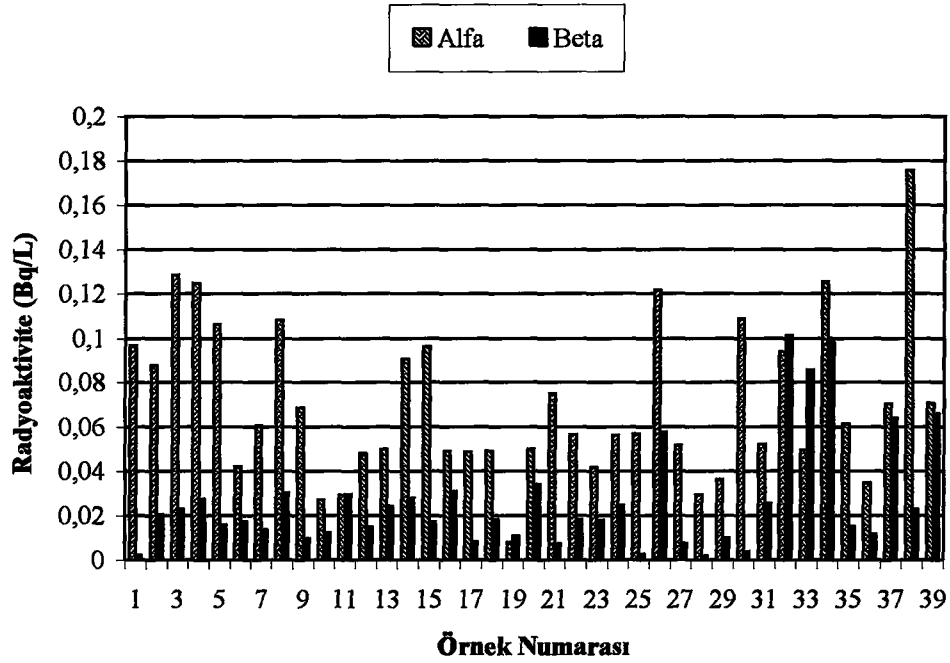
Örnekler gölü tamamen karakterize edebilecek şekilde seçilen istasyonların yüzey sularından alınmıştır (Şekil 7.1). Uluova Bölgesinden sonbahar mevsiminde alınan su örneklerinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri Tablo 7.1 ve Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Yapılan literatür çalışmalarında daha önce bu bölge üzerinde radyoaktivite belirleme çalışmalarının yapılmadığı görülmüştür. Seçilen istasyonların nispeten kıyıdan fazla uzak olmamasına özen gösterilmiştir. Böylece karadan gelen radyoaktif katkının azami ölçüde değerlendirilmesine çalışılmıştır.



Şekil 7.1: Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi su örnekleri alın istasyonları.

Tablo 7.1: Sonbahar mevsiminde alınan su örneklerinin ortalama toplam alfa-beta radyoaktiviteleri.

Ortalama Alfa ve Beta Radyoaktiviteleri		
İstasyon No	Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L)	Beta Radyoaktivitesi (Bq/L)
1	0,0967±0,0054	0,0019±0,0011
2	0,0876±0,0067	0,0205±0,0010
3	0,1284±0,0051	0,0229±0,0011
4	0,1248±0,0037	0,0275±0,0015
5	0,1061±0,0049	0,0160±0,0014
6	0,0419±0,0038	0,0174±0,0016
7	0,0604±0,0042	0,0136±0,0014
8	0,1081±0,0038	0,0302±0,0015
9	0,0686±0,0054	0,0095±0,0010
10	0,0269±0,0044	0,0123±0,0012
11	0,0291±0,0048	0,0295±0,0011
12	0,0480±0,0041	0,0149±0,0013
13	0,0497±0,0028	0,0242±0,0015
14	0,0906±0,0031	0,0279±0,0016
15	0,0962±0,0032	0,0172±0,0016
16	0,0488±0,0031	0,0310±0,0016
17	0,0427±0,0031	0,0081±0,0015
18	0,0489±0,0031	0,0182±0,0016
19	0,0078±0,0039	0,0109±0,0014
20	0,0498±0,0039	0,0339±0,0013
21	0,0750±0,0038	0,0072±0,0012
22	0,0564±0,0028	0,0183±0,0016
23	0,0417±0,0025	0,0180±0,0014
24	0,0560±0,0038	0,0247±0,0014
25	0,0567±0,0046	0,0025±0,0012
26	0,1215±0,0048	0,0576±0,0012
27	0,0515±0,0035	0,0073±0,0015
28	0,0293±0,0048	0,0017±0,0011
29	0,0362±0,0031	0,0098±0,0015
30	0,1089±0,0035	0,0037±0,0012
31	0,0521±0,0040	0,0255±0,0049
32	0,0939±0,0042	0,1012±0,0045
33	0,0495±0,0046	0,0856±0,0038
34	0,1253±0,0052	0,0995±0,0036
35	0,0612±0,0051	0,0152±0,0033
36	0,0346±0,0052	0,0117±0,0042
37	0,0703±0,0056	0,0638±0,0029
38	0,1758±0,0046	0,0228±0,0037
39	0,0705±0,0056	0,0658±0,0029



Şekil 7.2: Sonbahar mevsimi su örneklerinin toplam alfa-beta radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi.

Alınan su örneklerinin radyoaktivite açısından değerlendirilmesi Şekil 7.2 ve Tablo 7.1 göz önüne alınarak yapılırsa aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

İncelenen bütün su örneklerinin toplam alfa radyoaktivitelerinden; 3., 4., 5., 8., 26., 30., 34. ve 38. istasyonlardan alınan su örnekleri TSE ve İSKİ'nin belirlediği içme suyu üst sınır değerlerden daha büyüktür (Tablo 2.3).

1., 2., 7., 9., 14., 15., 21., 22., 24., 25., 35., 37., 39. istasyonlardan alınan örnekler; İSKİ ve TSE tarafından belirlenen, müsaade edilen toplam alfa radyoaktivitesi üst sınır değerlerinden, daha büyüktür (Tablo 2.3). Bu durumda, ilerdeki yıllarda gölden içme suyu temin edilmesi düşünüldüğünde, radyoaktivite açısından elde edilen sonuçların insan sağlığı için önemle dikkate alınması gerekir.

Tablo 7.1'de toplam beta radyoaktivitesi açısından incelenen istasyonlarda belirlenen radyoaktivite değerleri; 26., 32., 33., 34., 37., 39. istasyonları hariç yine diğer bütün istasyonlardaki toplam beta radyoaktivite değerleri İSKİ ve TSE'nin sınır değerlerinden daha düşüktür.

Sonbahar mevsiminde alınan örneklerdeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi Şekil 7.2'de verilmiştir. En yüksek toplam alfa radyoaktivitesi 38. istasyonda (Güzelyalı Mevkisi) belirlenmiştir ($0,1758 \pm 0,0046$ Bq/L). Bu bölgenin jeolojik yapısında; andezit, bazalt, bazaltik yastık lavlar ve volkanik sediment

oluşumları geniş yer tutmaktadır [69]. Bu oluşumların radyoaktiviteye doğrudan katkısı olduğu ve doğal bir radyoaktif kaynak gibi davrandığı çeşitli çalışmalarda tespit edilmiştir [1, 42, 80]. Diğer yüksek toplam alfa radyoaktivite miktarı 34. ($0,1253 \pm 0,0052$ Bq/L) ve 26. ($0,1215 \pm 0,0048$ Bq/L) istasyonlarında ölçülmüştür. Bu istasyonlar Hoşköy ve İçme mevkiileri civarındadır. Hoşköy'ün jeolojik yapısı Güzelyalı ile aynıdır. İçme Mevkisinin ise güneyinden fay hattı geçmektedir [69]. Fay hatları civarında ölçülen radyoaktivite miktarlarının belirgin bir biçimde yüksek olduğunu ve doğal radyoaktiviteye pozitif yönde bir katkı yaptığı bilinmektedir [10, 44, 81]. En düşük toplam alfa radyoaktivite değeri ise, 10. istasyonda belirlenmiştir ($0,0269 \pm 0,0044$ Bq/L). En yüksek toplam beta radyoaktivite değeri 32. istasyondadır ($0,1012 \pm 0,0045$ Bq/L). Bu bölgede Sedeftepe-Hoşköy arasında kalan bölgededir. En düşük toplam beta radyoaktivite değeri ise, 28 nolu istasyonda $0,0017 \pm 0,0011$ Bq/L olarak belirlenmiştir.

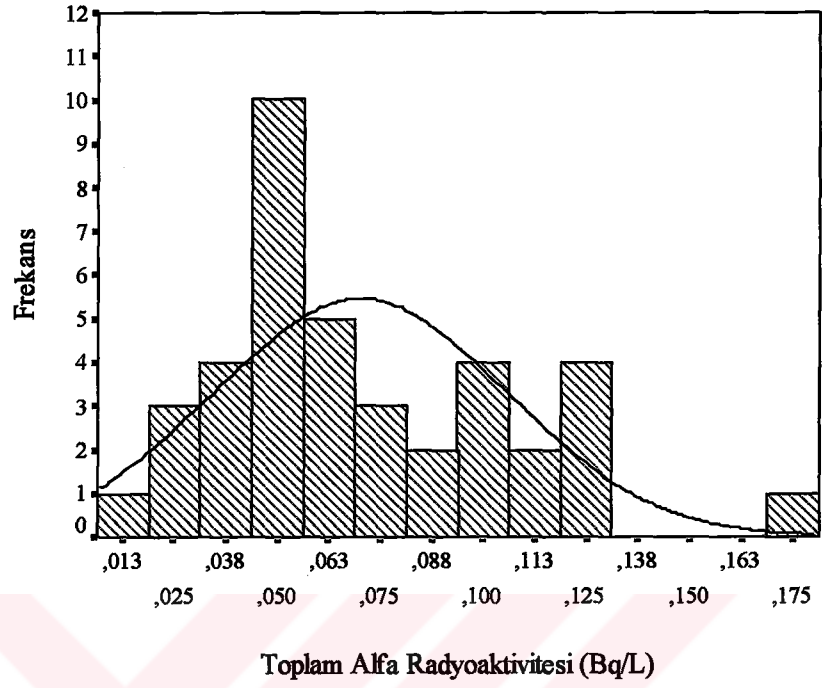
Sonbaharda istasyonlarda belirlenen toplam alfa radyoaktivitesi, toplam beta radyoaktivitesinden ortalama olarak %62 daha fazladır. Çeşitli çalışmalarda yapılan radyoaktivite analizlerinde de alfa radyoaktivitesinin yüksekliğine dair veriler elde edilmiştir [42, 77, 82]. Toplam alfa; Th, U, Ra, Rn'un radyoaktivitesini kapsadığından, su içerisindeki doğal radyoaktivite değeri olarak, toplam betadan daha fazla bulunur [7].

Toplam beta aktivitesi 1950'lerden beri beta yayıcı izotopların bir belirleyicisi olarak kullanılmıştır. Beta radyoaktivitesinin yeraltı sularında en önemli kaynakları ^{40}K ve ^{228}Ra olmasına rağmen, ^{40}K ve ^{228}Ra 'ın toplamı; toplam beta radyoaktivitesi ölçülmüş çoğu yeraltı sularından daha az bulunmaktadır. Bu iki radyoçekirdeğin toplam beta radyoaktiviteleri, ölçülen toplam beta radyoaktivitesine oranı 2/3'tür [78]. Dolayısıyla ölçümlerimizde belirlediğimiz beta aktivitesinin çoğunluğunun bu iki radyoaktif çekirdekten geldiği söylenebilir.

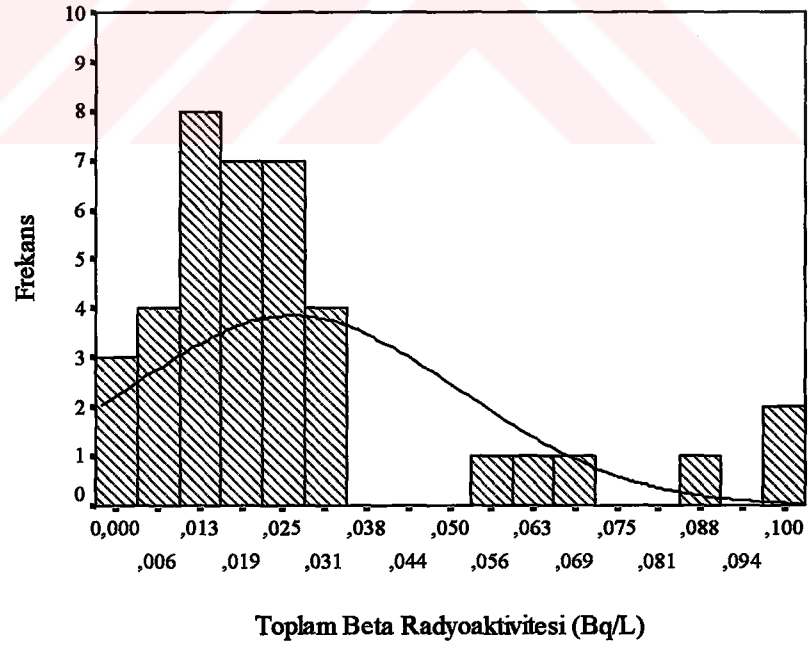
İstasyonlarından alınan su örneklerinin toplam alfa radyoaktivitesi değerlerinin hangi aralıklarda değiştiğini gösteren istatistiksel dağılım Şekil 7.3'te görülmektedir. 10 istasyonun toplam alfa radyoaktivitesinin $0,05$ Bq/L civarında olduğu görülmektedir. Grafiğin normal eğrisinin $0,013$ Bq/L ile $0,125$ Bq/L arasında değişim gösterdiği görülmektedir.

İstasyonlarından alınan su örneklerinin toplam beta radyoaktivite değerlerinin hangi aralıklarda değiştiğini gösteren istatistiksel dağılım ise Şekil 7.4'te verilmiştir. Birbirlerine en yakın değerler en fazla 8 istasyonda görülmüş ve yaklaşık olarak $0,013$ Bq/L arasında belirlenmiştir. 7 istasyonda ise, $0,019$ Bq/L ve $0,025$ Bq/L değerlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum istasyonlar ve sonbaharda alınan su örnekleri itibariyle gölün genel toplam beta radyoaktivitesi karakteristiğinin bu sonuçlar etrafında şekillendiğini söylemek mümkündür.

Sonbahar mevsiminde alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitelerinin diğer istatistiksel değişimleri ise, EK-1'de verilmiştir.



Şekil 7.3: Toplam alfa radyoaktivitesi değerlerinin frekansı değişimi.



Şekil 7.4: Toplam beta radyoaktivitesi değerlerinin frekans değişimi.

7.2. Uluova Bölgesi Sonbaharda Alınan Dip Sedimentlerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sonbahar mevsiminde toplam 20 istasyondan toplanan dip çamuru örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi değerleri Tablo 7.2 ve Şekil 7.5'te verilmiştir. Dip çamuru örneklerinin alındığı istasyonların yerleri Şekil 7.6'de gösterilmiştir. Alfa radyoaktivitesi için en yüksek değerlere 1., 6., 10. ve 14. istasyonlarda ulaşılmıştır. Bu istasyonların toplam alfa radyoaktiviteleri sırasıyla $0,5263\pm0,0073$ Bq/g, $0,5227\pm0,0102$ Bq/g, $0,5227\pm0,0102$ Bq/g ve $0,5008\pm0,0081$ Bq/g'dır. Bu istasyonlar Eyüp-Koçkale-Değirmenönü güzergahı arasında kalan bölgeye karşılık gelmektedir. Bu bölgede Hazar Karmaşığı; konglomera, kumtaşı, silt taşı, kalker, marn ve çamurtaşı kayaçlarıyla Mastar Dağı ve Güney kesimlerinde önemli ölçüde yüzeylenmektedir. Özellikle Korucu ve Değirmenönü köylerinin güneyi ile, Dereboğazı ve Cevizdere köyleri güneyinde bir hat boyunca uzanır. Yine araştırma alanında Maden Karmaşığı olarak adlandırılan birim Korucu, Koçkale, Karasaz köylerinin güneyinde ve Mastar Dağı'nın bulunduğu sahalarda yüzeylenir.

Tablo 7.2: Uluova güz dönemi dip sediment örnekleri toplam alfa-beta radyoaktiviteleri.

Ortalama Alfa ve Beta Radyoaktiviteleri		
İstasyon No	Alfa Radyoaktivitesi (Bq/g)	Beta Radyoaktivitesi (Bq/g)
1	$0,5263\pm0,0073$	$0,0577\pm0,0019$
2	$0,3401\pm0,0093$	$0,0070\pm0,0004$
3	$0,4055\pm0,0084$	$0,0057\pm0,0005$
4	$0,3305\pm0,0104$	$0,0166\pm0,0037$
5	$0,4073\pm0,0091$	$0,2848\pm0,0164$
6	$0,5227\pm0,0102$	$0,0031\pm0,0004$
7	$0,2317\pm0,0091$	$0,0121\pm0,0005$
8	$0,3126\pm0,0078$	$0,0119\pm0,0096$
9	$0,2624\pm0,0080$	$0,0221\pm0,0011$
10	$0,4962\pm0,0086$	$0,0018\pm0,0005$
11	$0,2016\pm0,0082$	$0,0065\pm0,0005$
12	$0,1772\pm0,0078$	$0,0233\pm0,0012$
13	$0,2511\pm0,0069$	$0,0019\pm0,0007$
14	$0,5008\pm0,0081$	$0,0387\pm0,0007$
15	$0,3603\pm0,0134$	$0,3963\pm0,0122$
16	$0,3149\pm0,0092$	$0,0028\pm0,0005$
17	$0,2589\pm0,0081$	$0,0168\pm0,0005$
18	$0,1808\pm0,0083$	$0,0325\pm0,0010$
19	$0,2997\pm0,0062$	$0,0673\pm0,0051$
20	$0,3421\pm0,0074$	$0,0524\pm0,0006$

Alt-Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, volkano-sedimanter kayalardan oluşmaktadır. Tabanda yer yer konglomera ile başlayan kumtaşı, kireçtaşı, kilitaşı yapılarında görülmektedir. Üst seviyelerde volkanik ara katkılıdır [69]. Bu yapılar doğal birer radyoaktivite kaynağıdır. Kayalar ve mineraller uzun ömürlü U ve Th elementlerinin bulunduğu yerlerdir [6]. Bunların dışında tortul kayalar, tortulu şistler (organik shales), kumtaşı, karbonatlar ve fosforitler bu radyoaktif elementlerin başlıca taşıyıcılarıdır [6,1]. Dünya yüzeyinde bütün metaller suyun aracılığıyla bu gibi durumlarda çevreye karışmışlardır. Yine Dall'Aglia [35], uranyum grubunun kumtaşı içerisinde yoğunlaştığını belirtmiştir.

Toplam alfa radyoaktivitesi yüksek diğer bir istasyon grubu ise; 3., 5. ve 15. istasyonlar olup bunların toplam alfa radyoaktiviteleri sırasıyla; $0,4055 \pm 0,0084$ Bq/g, $0,4073 \pm 0,0091$ Bq/g, $0,3603 \pm 0,0134$ Bq/g'dır.

Toplam beta radyoaktivitesi en yüksek istasyonlar ise; 15., 1., 5., 19. ve 20. istasyonlardır. Bu istasyonların toplam beta radyoaktivitesi sırasıyla; $0,3963 \pm 0,0122$ Bq/g, $0,0577 \pm 0,0019$ Bq/g, $0,2848 \pm 0,0164$ Bq/g, $0,0673 \pm 0,0051$ Bq/g, $0,0524 \pm 0,0006$ Bq/g'dır. Bu bölgeler İçme'nin doğu kesimi, Koçkale ve Mollakendi mevkiileridir. Bu bölgeler daha önce bahsettiğimiz jeolojik özelliklerinin yanı sıra, Uluova'daki kil tabakasının %90'nın bugün Keban Baraj Gölü altında kalmış olması durumu Uluova Bölgesi için söyleyebileceğimiz genel bir sonuçtur [69]. Bu yoğun kil tabakası; radyoaktiviteyi bünyesinde barındıran bir oluşum olup, akıntılar vasıtasıyla kil parçacıklarına yapışan uranyumun taşıyıcısıdır [6]. Uranyumun +4 halinin kil tabakaları içerisinde emildiği bilinmektedir [18].

Yüzey sularının akış hızının da yüksek olması, içinde asılı olan partiküllerdeki potasyum, rubidyum, kozmik ışın kökenli ve suni radyoaktif çekirdekleri barındıran kil minerallerinin taşınmasını sağlamaktadır [79]. Bu sonuçların hepsi ortamın doğal radyoaktivitesine pozitif yönde bir katkı yapmaktadır.

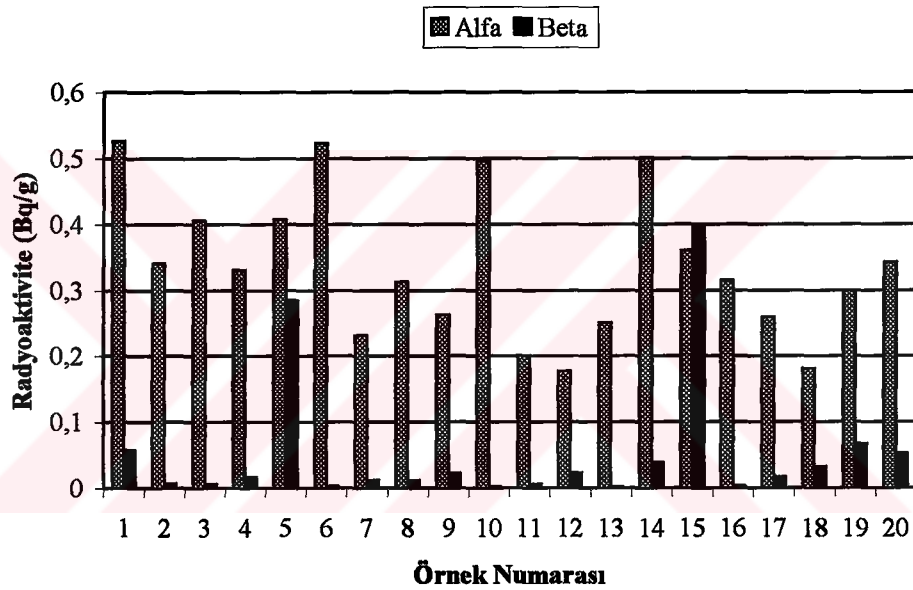
Sonuçlara Uluova Bölgesi kıyı eğimi olarak bakacak olursak, İçme mevkiisinin Uluova'da kıyı eğiminin en fazla olduğu yerler arasında olduğunu görmekteyiz (11° - 17°). Eğimin fazla olması erozyonu da hızlandıracağından, erozyonla taşınan toprak parçacıklarının emdiği radyoaktif elementlerde göle taşınacak ve böylece radyoaktiviteye doğrudan katkıda bulunacaktır [42, 69].

Sonbahar mevsiminde incelenen istasyonlardaki dip sediment toplam alfa radyoaktivitesinin, toplam beta radyoaktivitesinden %84 oranında daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Bu durum dip çamurunda alfa radyoaktivitesini yayan elementlerin hakim olduğunu göstermektedir.

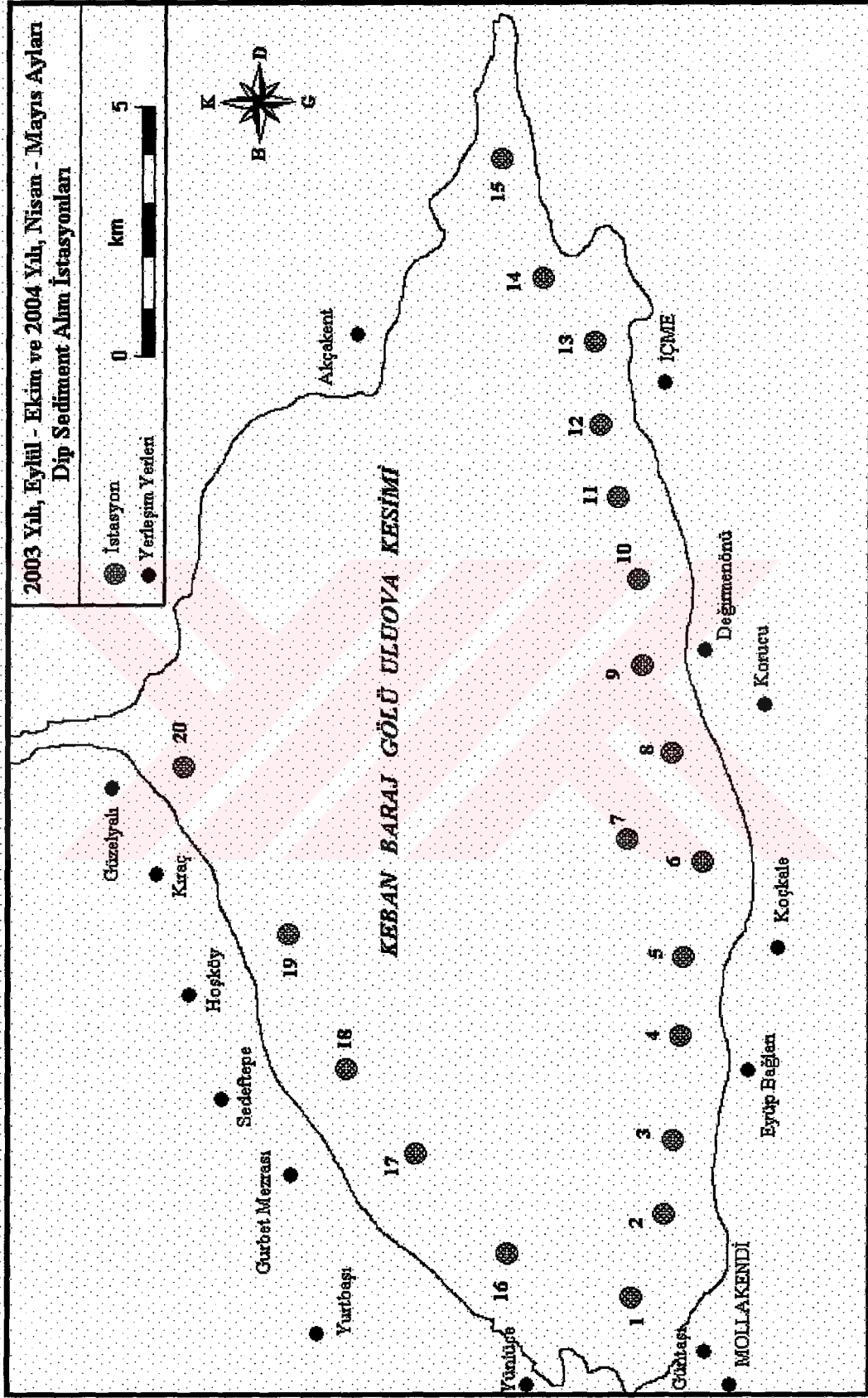
Şekil 7.7’de gölden alınan dip sediment örneklerdeki toplam alfa aktivitesinin genellikle 0,2 ile 0,35 Bq/g arasında değiştiği görülmektedir (20 istasyondan 18 tanesinin aktivitesi bu değerler arasında değişmektedir).

Sonbaharda dip sedimentlerinde belirlenen toplam beta radyoaktivitesinin istasyonlara göre değişimi Şekil 7.8’de gösterilmiştir. Şekil 7.8’ye göre; 13 istasyonun aktivite değeri 0-0,06 Bq/g arasında değişmektedir. Bu durumun, beta radyoaktivitesi açısından gölün sahip olduğu aktiviteyi karakterize ettiği söylenebilir. 0,06 Bq/g civarında ise, 5 istasyon tespit edilmiştir.

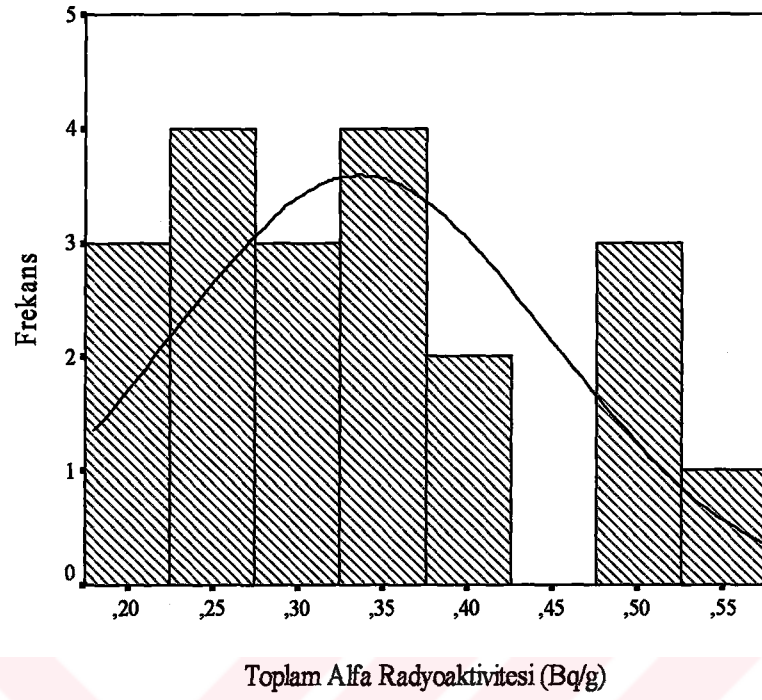
Sonbahar mevsimi dip sediment örnekleri üzerinde yapılan toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitelerinin diğer istatistiksel değişimleri EK-2’de verilmiştir.



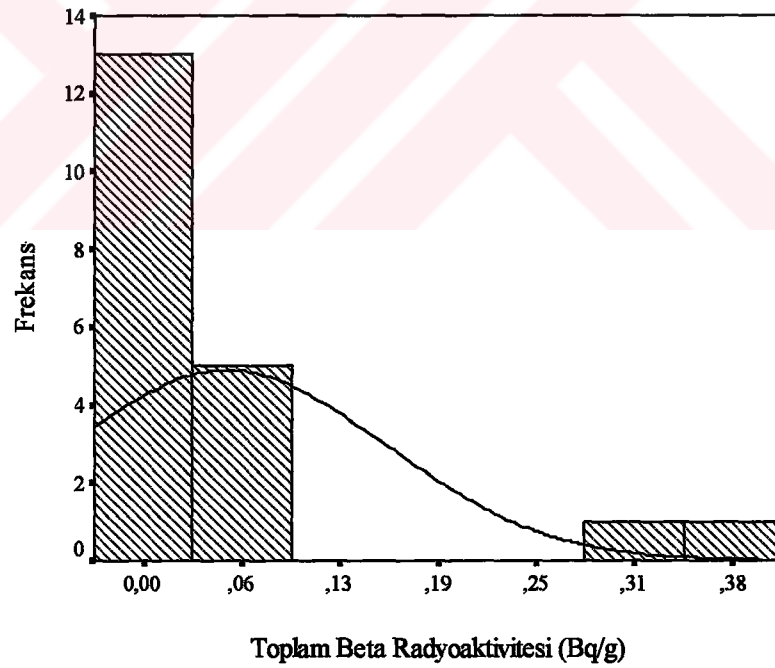
Şekil 7.5: Sonbahar mevsimi dip sediment örneklerinin toplam alfa-beta radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi.



Şekil 7.6: Sonbahar ve ilkbahar mevsimleri dip sediment örnekleri alın istasyonları.



Şekil 7.7: Sonbahar mevsimi dip sedimentlerinin toplam alfa radyoaktivitelerinin frekans değişimi.



Şekil 7.8: Sonbahar mevsimi dip sedimentlerinin toplam beta radyoaktivitelerinin frekans değişimi.

7.3. Uluova Bölgesi İlkbaharda Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Toplam 39 istasyondan alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitelerinin değişimi Tablo 7.3'te gösterilmiştir. İncelenen bütün su örneklerinin toplam alfa radyoaktivitelerinden; 2., 3., 4., 5., 6., 11., 12., 16., 17., 18., 19., 20., 21., 23., 25., 26., 27., 37. ve 39. istasyonlardan alınan su örnekleri TSE, İSKİ'nin içme suyu için belirlediği üst değerlerinden daha büyüktür (Tablo 2.3). Tablo 7.3'te sadece; 10., 31., 32., 33., 38. istasyonlardan alınan örnekler İSKİ ve TSE tarafından belirlenen içme suyu için belirlenen üst sınır değerlerinin altındadır, diğer bütün değerler Tablo 2.3'teki aynı amaç için belirlenen sınır değerlerin üzerindedir.

Su örneklerinin toplam alfa radyoaktivitesi, toplam beta radyoaktivitesinden yaklaşık olarak %21 nispetinde daha fazladır.

Şekil 7.9 incelendiğinde en yüksek toplam alfa radyoaktivite değeri 5. istasyonda (Eyüp Bağları) $0,3120 \pm 0,0106$ Bq/L, en düşük toplam alfa radyoaktivitesi değeri ise, 38. istasyonda $0,0175 \pm 0,0043$ Bq/L görülmüştür. En yüksek beta radyoaktivitesi değeri 25., 26., 27., istasyonda sırasıyla $0,5132 \pm 0,0043$, $0,3590 \pm 0,0041$, $0,4934 \pm 0,0043$ Bq/L belirlenmiştir. Bu üç bölgede İçme mevki dolaylarındadır. En düşük toplam beta radyoaktivite değeri ise, 22. ve 33. istasyonlarda sırasıyla $0,0011 \pm 0,0006$ ve $0,0011 \pm 0,0008$ Bq/L olarak ölçülmüştür.

Şekil 7.10 incelendiğinde 14 istasyonun toplam alfa aktivite değerlerinin 0,050-0,075 Bq/L arasında değiştiği görülmektedir. 5 istasyonun alfa aktivitesi 0,025 Bq/L, diğer 5 istasyonun alfa aktivitesi ise; 0,125 Bq/L arasında değiştiği görülmektedir.

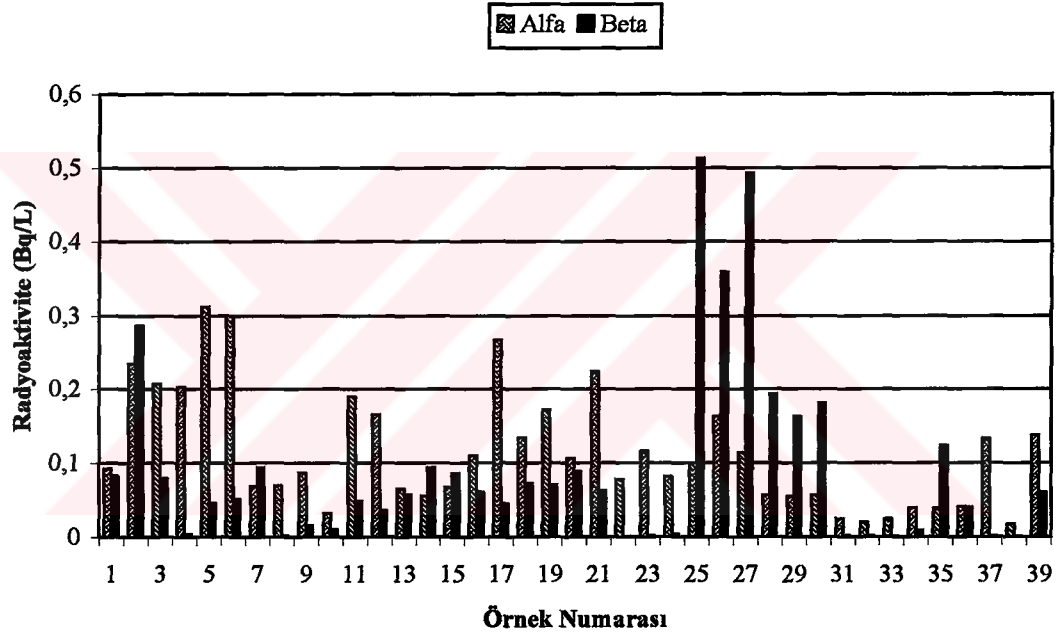
Şekil 7.11'de 25 istasyonun toplam beta radyoaktivitesi 0,001-0,05 Bq/L arasında değişmektedir. 7 istasyon ise; 0,1 Bq/L civarında bir aktiviteye sahiptir. Şekildeki normal eğrisi de bu değerler arasında düzgün bir şekilde değişmektedir.

Elde ettiğimiz radyoaktivite sonuçlarına göre Uluova Bölgesi'nden sonbahar ve ilkbaharda alınan su örnekleri, Tablo 2.4'teki su kalite sınıflandırmasına göre; I. sınıf sular kategorisine girmektedir.

İlkbaharda alınan su örneklerinin detaylı istatistiksel değişimleri EK-3'te ayrıca verilmiştir.

İlkbahar döneminde, su örnekleri açısından incelenen bütün istasyonlardaki toplam alfa radyoaktivitesi sonbahar mevsiminden yüksektir. Bu durum sıcak mevsimde göldeki aktivite konsantrasyonunun artmasına bağlanabilir. Bu durumda, ilerdeki yıllarda gölden içme suyu temin edilmesi düşünüldüğünde, radyoaktivite açısından elde edilen sonuçların insan sağlığı için önemle dikkate alınması gerekir. Son olarak; Keban Baraj Gölü Uluova kesiminin sularının toplam radyoaktivite seviyeleri genel olarak incelendiğinde, Elazığ sınırlar içerisindeki Hazar

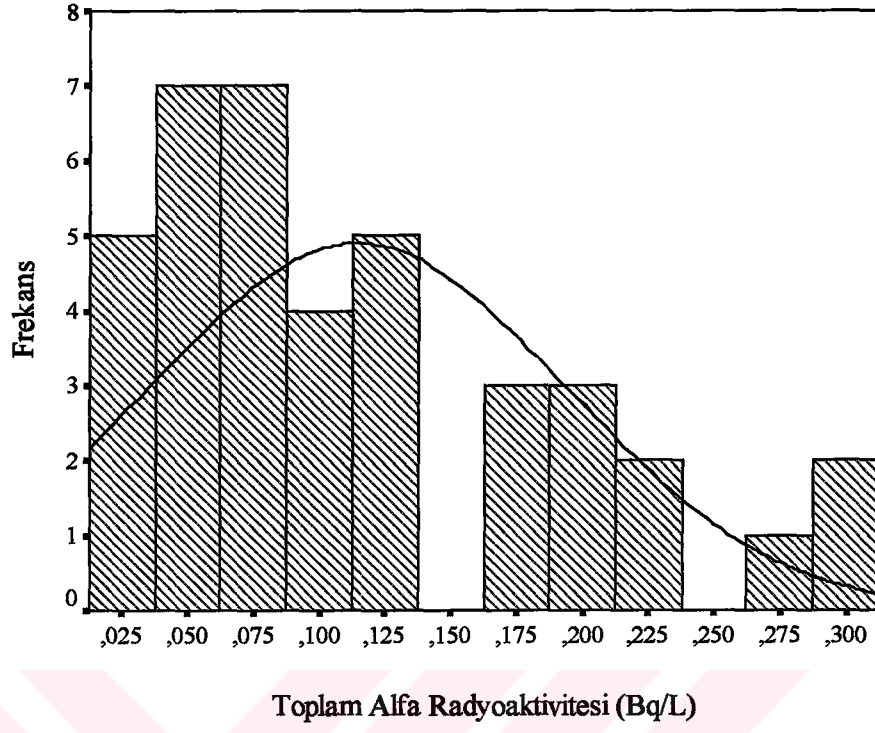
Gölü'nde ve çevresinde önceden ölçülen radyoaktivite seviyelerinden daha düşük çıktığı görülmektedir (Tablo 7.4). Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi belirlenen diğer göllerle bir karşılaştırma yapıldığında (Tablo 7.4) genel olarak Keban Baraj Gölü sularının radyoaktivite seviyeleri diğer göllerin radyoaktivite seviyelerinden daha düşüktür. Bu durumun başlıca sebebi; ortamın doğal radyoaktivitesini birinci derecen etkileyen jeolojik yapı ve göllerin çevresindeki sanayi tesislerinin ürettiği atıklardan kaynaklanan yapay radyoaktiviteye bağlanabilir. Ayrıca, Tablo 7.4 deki göllerde beta radyoaktivitesinin alfa radyoaktivitesinden yüksek çıkmasının sebebi olarak; sanayi tesislerinde üretilen atıklardan kaynaklanan beta aktif atıklarda sayılabilir.



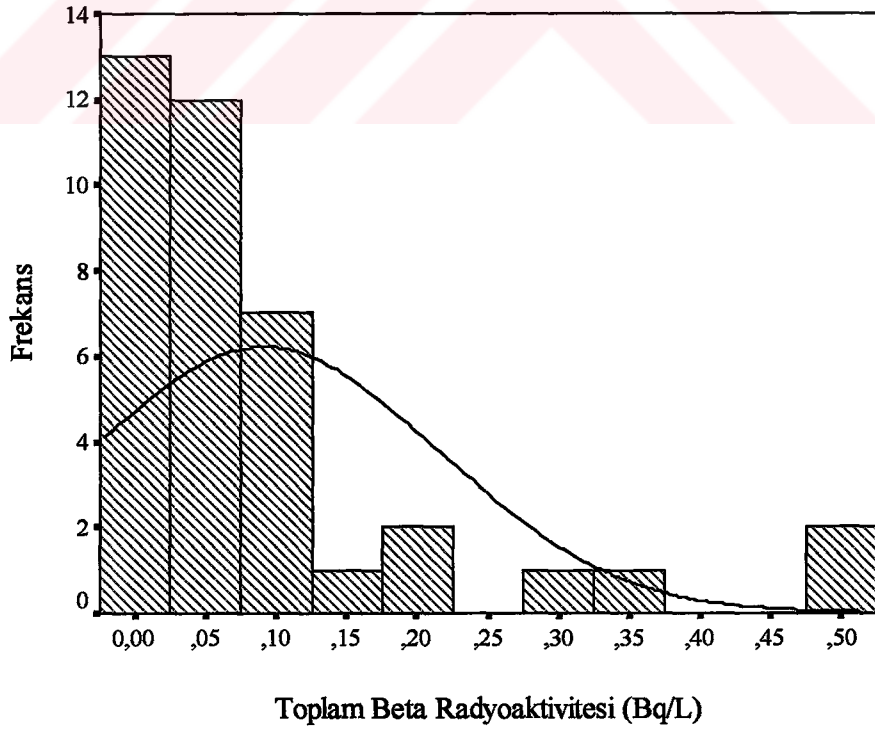
Şekil 7.9: İlkbaharda alınan su örneklerinin radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi.

Tablo 7.3: İlkbaharda alınan su örneklerinin radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi.

Ortalama Alfa ve Beta Radyoaktiviteleri		
İstasyon No	Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L)	Beta Radyoaktivitesi (Bq/L)
1	0,0921±0,0043	0,0826±0,0038
2	0,2342±0,0054	0,2863±0,0039
3	0,2069±0,0053	0,0789±0,0039
4	0,2029±0,0049	0,0037±0,0041
5	0,3120±0,0106	0,0466±0,0019
6	0,2996±0,0096	0,0514±0,0020
7	0,0685±0,0044	0,0938±0,0039
8	0,0695±0,0039	--
9	0,0869±0,0040	0,0157±0,0039
10	0,0317±0,0048	0,0096±0,0048
11	0,1893±0,0046	0,0488±0,0045
12	0,1657±0,0043	0,0360±0,0050
13	0,0658±0,0042	0,0578±0,0045
14	0,0557±0,0044	0,0942±0,0043
15	0,0672±0,0043	0,0863±0,0043
16	0,1101±0,0053	0,0607±0,0035
17	0,2664±0,0058	0,0450±0,0033
18	0,1341±0,0045	0,0725±0,0042
19	0,1717±0,0074	0,0707±0,0024
20	0,1063±0,0052	0,0888±0,0026
21	0,2237±0,0068	0,0632±0,0024
22	0,0778±0,0038	--
23	0,1156±0,0043	--
24	0,0818±0,0040	--
25	0,1001±0,0042	0,5132±0,0043
26	0,1628±0,0043	0,3590±0,0041
27	0,1137±0,0041	0,4934±0,0043
28	0,0566±0,0035	0,1934±0,0040
29	0,0551±0,0034	0,1628±0,0042
30	0,0566±0,0035	0,1806±0,0040
31	0,0246±0,0034	--
32	0,0199±0,0010	--
33	0,0246±0,0034	0,0011±0,0008
34	0,0391±0,0033	0,0092±0,0039
35	0,0382±0,0033	0,1240±0,0041
36	0,0410±0,0035	0,0401±0,0035
37	0,1331±0,0042	--
38	0,0175±0,0043	--
39	0,1373±0,0042	0,0606±0,0039



Şekil 7.10: İlkbahar su örneklerine toplam alfa radyoaktivitesi frekans değişimi.



Şekil 7.11: İlkbahar su örneklerine toplam beta radyoaktivitesi frekans değişimi.

Tablo 7.4: Literatürdeki bazı göllerin radyoaktivite seviyeleri.

Yer	T α (Bq/L)	T β (Bq/L)	Kaynak
B. Çekmece Gölü	0,05	0,3	[84]
K.Çekmece Gölü	0,06	3	[84]
Hazar Gölü	0,09	0,1	[1]
Ömerli Baraj Gölü	0,034	0,04	[84]
İstanbul Deniz Suyu	0,4	4,9	[84]
Karadeniz Suyu	0,4	5,6	[84]
Marmara Denizi Suyu	0,5	5,0	[84]
Terkos Gölü	0,02	0,2	[84]
Boğaziçi	0,3	5,3	[84]

7.4. Uluova Bölgesi İlkbaharda Alınan Dip Sediment Örneklerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 7.8'deki istasyonlardan alınan dip sediment örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri Tablo 7.5'de verilmiştir. Tablo 7.5'e göre en yüksek toplam alfa radyoaktivitesi 11 nolu istasyonda (Değirmenönü) belirlenmiştir ($0,7550 \pm 0,0094$ Bq/g). Değirmenönü, Korucu ve Cevizdere köyleri çevresinde, kireçtaşları ve kumtaşları değişimli olarak görülürler. En düşük toplam alfa aktivitesi ise 9. istasyonda belirlenmiştir ($0,0413 \pm 0,0031$ Bq/g).

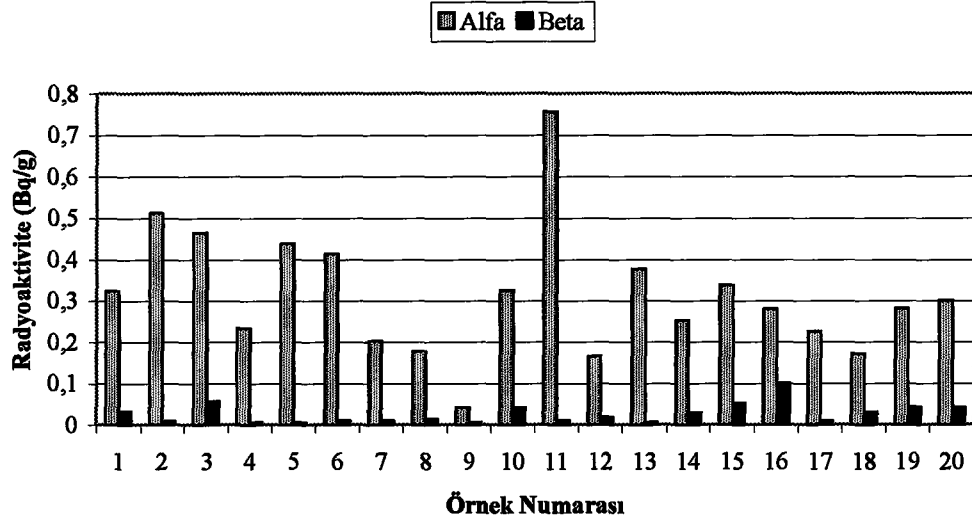
İlkbahar mevsimi dip sediment örneklerinde toplam alfa radyoaktivitesi, toplam beta radyoaktivitesinden yaklaşık olarak %92 daha fazladır.

En yüksek toplam beta radyoaktivitesi $0,1000 \pm 0,0041$ Bq/g'lık değer ile 16. istasyonda (Yünlüce) belirlenmiştir. En düşük toplam beta radyoaktivitesi ise, 9. istasyonda ise $0,0045 \pm 0,0013$ Bq/g belirlenmiştir (Tablo 7.5, Şekil 7.12).

Şekil 7.13, dip sedimentlerinde toplam alfa radyoaktivitesinin değişimini göstermektedir. İlkbaharda alınan dip sediment örneklerindeki hakim olan alfa radyoaktivitesi 0,25-0,38 Bq/g arasında değişmekte olup toplam 12 istasyonda görülmektedir.

Dip sedimentlerinde toplam beta radyoaktivitesi miktarlarının hangi sıklıkla değişim gösterdiğini Şekil 7.14'te görmekteyiz. Şekle göre, 7 istasyonun aktivitesi; 0,013 Bq/g civarında belirlenmiştir. 4 istasyonun aktivite değeri oldukça düşük olup 0,001-0,009 Bq/g arasındadır. 4 istasyonun radyoaktivite değeri ise 0,038 Bq/g civarında belirlenmiştir.

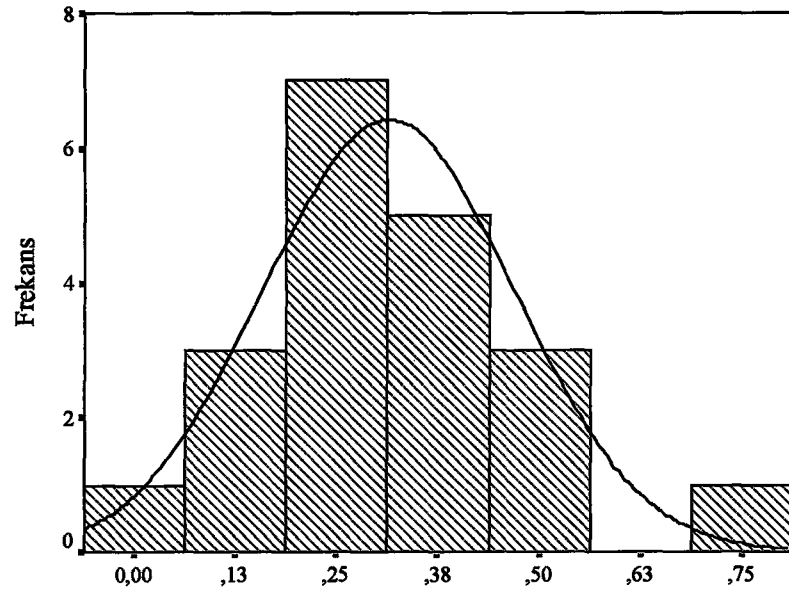
Dip sediment örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi açısından diğer istatistiksel değişimleri EK-4'te verilmiştir.



Şekil 7.12: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi.

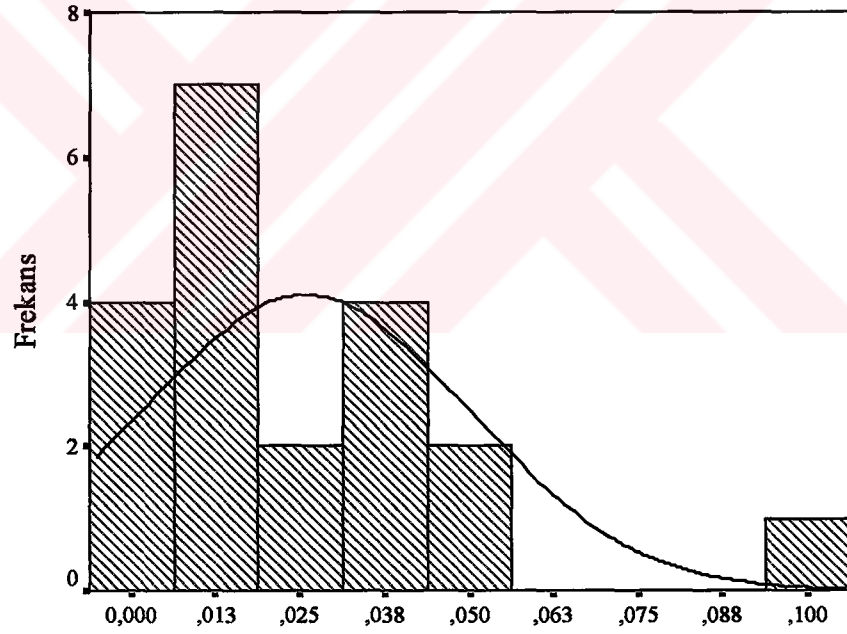
Tablo 7.5: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin radyoaktivitelerinin istasyonlara göre değişimi.

Ortalama Alfa ve Beta Radyoaktiviteleri		
İstasyon No	Alfa Radyoaktivitesi (Bq/g)	Beta Radyoaktivitesi (Bq/g)
1	0,3220±0,0096	0,0320±0,0011
2	0,5121±0,0087	--
3	0,4648±0,0082	0,0556±0,0010
4	0,2330±0,0088	0,0055±0,0009
5	0,4376±0,0076	0,0047±0,0010
6	0,4128±0,0022	--
7	0,2014±0,0021	--
8	0,1763±0,0027	0,0123±0,0017
9	0,0413±0,0031	--
10	0,3245±0,0051	0,0400±0,0051
11	0,7550±0,0094	0,0092±0,0009
12	0,1643±0,0097	0,0180±0,0012
13	0,3764±0,0080	--
14	0,2511±0,0082	0,0286±0,0007
15	0,3372±0,0076	0,0512±0,0009
16	0,2786±0,0023	0,1000±0,0041
17	0,2256±0,0034	--
18	0,1700±0,0014	0,0300±0,0041
19	0,2800±0,0031	0,0429±0,0043
20	0,3000±0,0056	0,0400±0,0039



Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/g)

Şekil 7.13: Dip sedimentlerde toplam alfa radyoaktivitesinin frekans değişimi.



Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/g)

Şekil 7.14: Dip sedimentlerde toplam beta radyoaktivitesinin frekans değişimi.

7.5. Su Örneklerindeki Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesinin Mevsimsel Değişimi

Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesinin mevsimsel değişimi Şekil 7.15'te görülmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda, ilkbaharda alınan su örneklerindeki ortalama radyoaktivite değerlerinin sonbahar mevsiminden daha fazla olduğu görülmektedir. Toplam alfa radyoaktivitesi ilkbaharda, sonbahardaki aktiviteden %36 oranında daha fazladır. Toplam beta radyoaktivitesi ise ilkbaharda, sonbahardaki aktiviteden %71 oranında daha fazladır. Hazar Gölü'nde yapılan çalışmada da, mevsimsel olarak benzer sonuçlar görülmüştür [42].

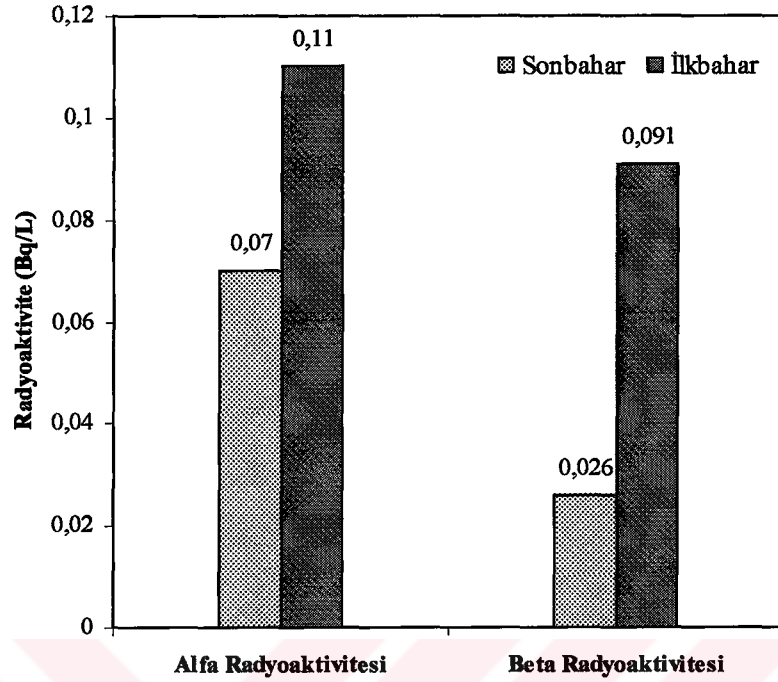
Keban Baraj Gölü havzasında bahar mevsimi, yıllık ortalama yağış miktarının en fazla olduğu mevsimdir. Örneklerin alındığı Eylül-Ekim aylarında, göle düşen yağış miktarı oldukça düşük bir seviyededir [24]. Dolayısıyla sıcaklıkla paralel olarak buharlaşma miktarının da arttığı düşünüldüğünde, sonbaharda radyoaktivite seviyelerinde, yağışın çok olduğu ilkbahar mevsimine göre bir azalma olduğundan söz edilebilir.

Elazığ ilinde sıcaklığın en fazla olduğu aylar temmuz ve ağustos aylarıdır, dolayısıyla buharlaşmanın da en fazla olduğu aylar bunlardır. Bölgedeki radyoaktivite konsantrasyonunda artma yaz aylarında kış aylarına göre daha çok görülmesi olağan bir durum olarak görülebilir. Diğer mevsimlerde yağış oranının artmasıyla topraktaki radyoaktif taşınım ve baraj gölündeki radyoaktivite konsantrasyonunda azalma olacaktır.

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), sonbaharda göle düşen saf su miktarı fazla olduğundan, yağışlı mevsimlerde radyoaktivite yoğunluğunda bir azalma olabileceğidir.

Sıcak mevsimlerde yüzey toprağındaki nem oranının azalmasına bağlı olarak, rüzgârlarla beraber küçük toprak parçacıklarının taşınımı söz konusudur. Rüzgâr erozyonu sonucu, gölün çevresinde var olan, kayaç ve mineral yapı olarak doğal radyoaktiviteye katkısı olduğu bilinen oluşumlardan kalkan tozun, gölün doğal radyoaktivitesine yaptığı katkı sonucu, ilkbahar mevsiminde sonbahar mevsimine göre doğal radyoaktivitenin artması beklenebilir [1].

Yağışların sebep olduğu erozyon sonucu göle taşınan toprakla beraber suya ulaşan radyoaktif elementler, gölün doğal radyoaktivite seviyesine pozitif yönden etki eden diğer bir faktördür. Gölün çevresindeki jeolojik oluşumun radyoaktiviteye büyük ölçüde katkı yaptığı düşünüldüğünde, 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.



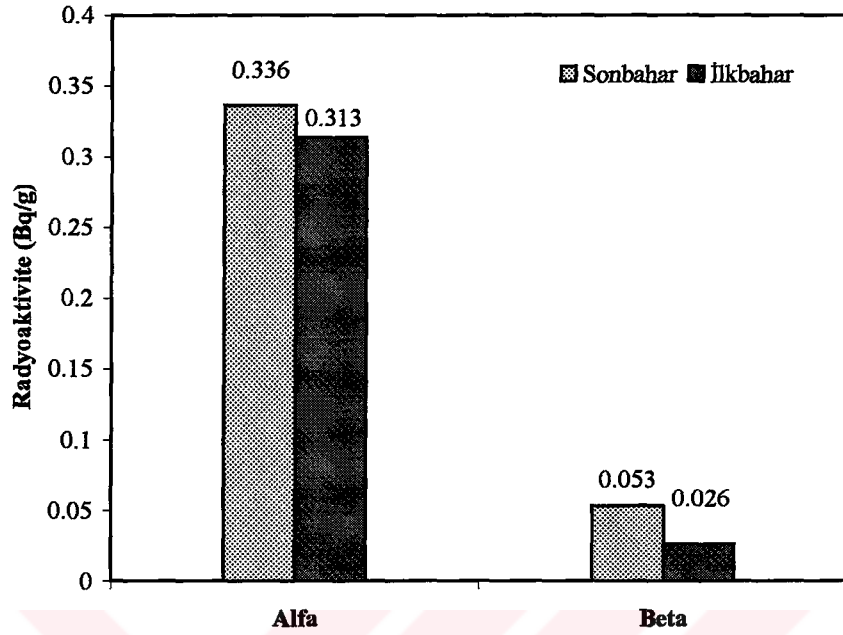
Şekil 7.15: Su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitelerinin mevsimsel değişimi.

7.6. Dip Sediment Örneklerindeki Toplam Alfa-Beta Radyoaktivitesi Mevsimsel Değişimi

Uluova Bölgesi'nden alınan dip sediment örneklerindeki (Şekil 7.8) toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesinin mevsimsel değişimi Şekil 7.16'da gösterilmiştir. Şekil 7.16'ya göre, sonbaharda alınan dip sediment örneklerindeki toplam alfa radyoaktivite değerlerinin ilkbaharda alınan örneklerdeki radyoaktivite değerlerinden yaklaşık olarak %7 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Aktivitelere toplam beta radyoaktivitesi açısından bakacak olursak; yine sonbaharda alınan örneklerdeki radyoaktivite değerlerinin ilkbaharda alınan örneklerden yüksek olduğu görülmüştür (yaklaşık olarak %51).

Dip sediment örneklerinde; sulardakinin aksine, sonbaharda alınan örneklerin toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri, ilkbaharda alınan örneklerin radyoaktivite değerlerinden yüksek çıkmıştır.

Göl sularında var olan radyoaktif elementler sürekli hareket halindedirler [1, 83]. Sulardaki radyoaktivitenin değişimine katkısı olan durumları, dip sedimentleri için söylememiz mümkün değildir. Dip sedimentlerinde yüzeyden dibe doğru çöken radyoaktif elementlerin katkısından bahsedilebilir. Ayrıca, sonbahar mevsiminde göl dibinde var olan akıntıların etkisiyle olabilecek yer değiştirmeler sonucu radyoaktivite konsantrasyonlarında bir değişimin olması mümkündür.



Şekil 7.16: Dip sediment örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitelerinin mevsimsel değişimi.

7.7. Gama Radyasyonu Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Yüzeysel gama radyasyonu ölçümleri, Şekil 7.18’de gösterilen harita üzerindeki istasyonların kıyısından alınmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 7.6’da verilmiştir. Ayrıca sonbahar ve ilkbahar aylarındaki gama radyasyonu değişimleri Şekil 7.17’de verilmiştir. Kıyıdan yaklaşık 20 ile 40 m açıktaki yapılan bütün ölçümlerde gama radyasyonu yaklaşık olarak 2-3 $\mu\text{R/h}$ arasında çıkmıştır. Kıyıdan 150-200 m açıklarda ise, 0-1 $\mu\text{R/h}$ civarında değişen bir gama radyasyonu belirlendi. Gediz Nehri civarlarında yapılan gama aktivite sonuçlarında en yüksek 16 $\mu\text{R/h}$, ortalama 11 $\mu\text{R/h}$, en az 6 $\mu\text{R/h}$ ölçülmüştür [85].

Elde edilen bu verilere göre; Tablo 7.6 ya bakıldığında ilkbahar mevsiminde ölçüm alınan istasyonların hepsinde gama radyasyonu, aynı istasyonların sonbahar mevsiminden daha fazla çıkmıştır. Yerden yaklaşık olarak 1 m yükseklikten 30 saniye beklenerek alınan bu ölçümlerde; ilkbahar mevsiminde sıcaklıkla orantılı olarak gama radyasyonu seviyesinde bir artış olduğu söylenebilir.

Kıyıdan açıktaki aldığımız ölçümlerde, radyasyon seviyesindeki düşmeler; kara parçasından uzaklaştıkça, karasal radyasyonun katkısının azalmasına bağlanabilir. Kıyıdan yaklaşık 150 ile 200 m açıktaki ise, ölçümlerle belirlediğimiz çok düşük radyasyon seviyelerinin kozmik radyasyondan geldiği söylenebilir. Çünkü karadan bu kadar uzaklıkta, kıyıdan yaklaşık

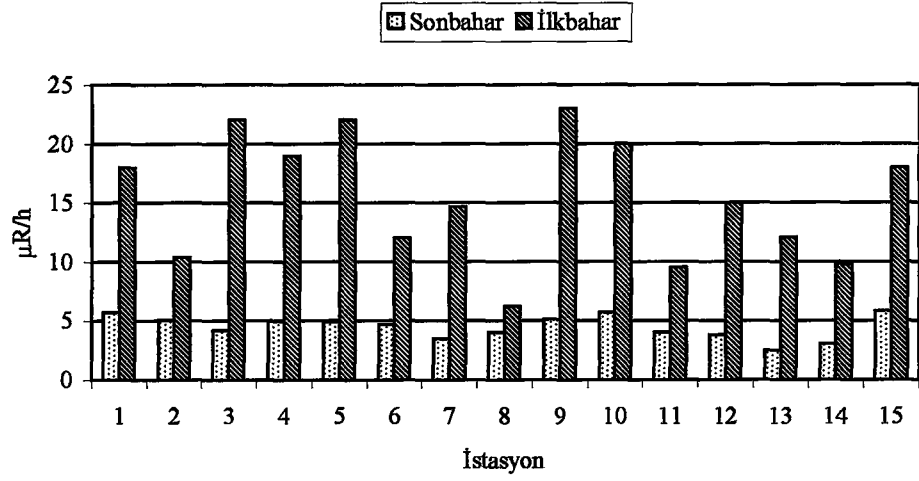
20 ile 40 m açığa ölçüm yaptığımız her mevsimde elde ettiğimiz gama radyasyonu sonucunun, istasyona bağlı olmaksızın hemen hemen aynı çıkması; elde ettiğimiz ölçümlerin kozmik radyasyon olma olasılıklarını güçlendirmektedir.

Tablo 7.6 ve Şekil 7.17’de en yüksek gama radyasyonu seviyelerinin genel olarak gölün güney tarafında ölçüm alınan istasyonlar olduğu görülmektedir. Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitelerinin de genelde gölün güney istasyonlarında yüksek çıkması durumu ortamın jeolojik yapısından ileri gelmektedir [6].

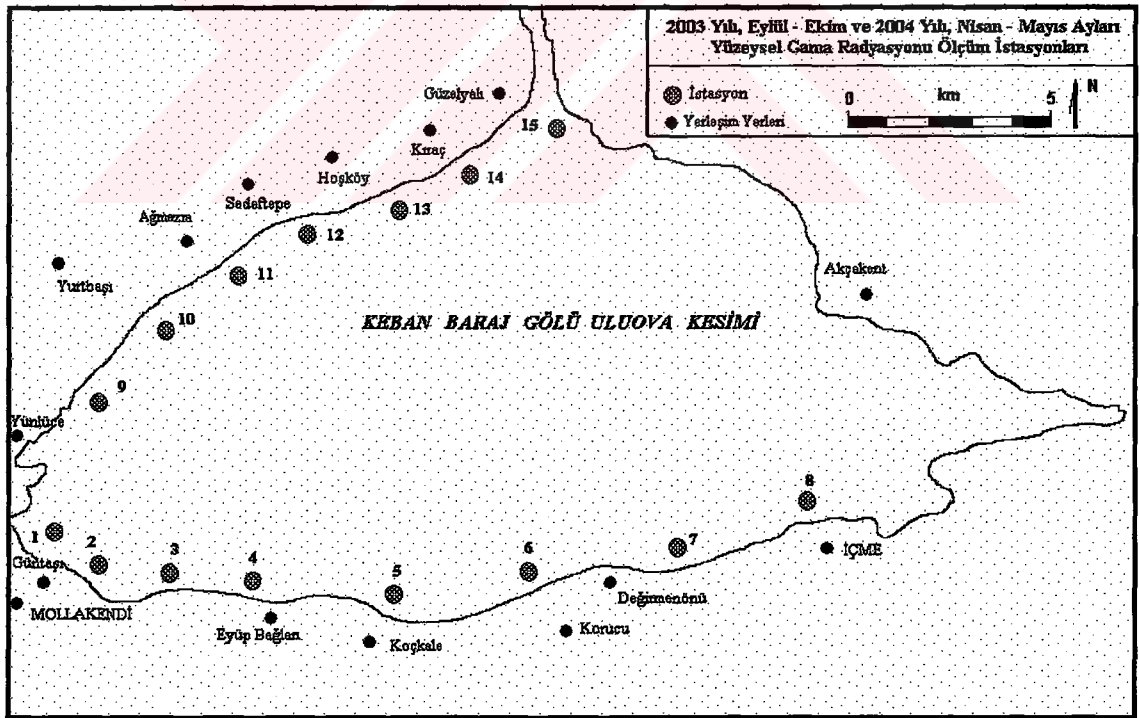
Yeryüzü üzerindeki toprak yapısının genelinde (%95), harici gama doz oranının çoğunluğu, başlangıçta var olan radyo çekirdeklerin toprak içerisinde tuzaklanmasından ortaya çıkar. Bu durumun %35’ini ^{40}K , %50’sini ^{232}Th , %15’ini ise ^{238}U sağlar. Bahsettiğimiz bu gama doz oranına ana katkılar, ^{232}Th serisinden ^{208}Tl ve ^{228}Ac , ^{238}U serisinden gelen %15’lik katkının %99’u ^{214}Pb ve ^{214}Bi ’tan gelmektedir [6, 8].

Tablo 7.6: Yüzeysel gama radyasyonu ölçümleri.

İstasyon	Sonbahar		İlkbahar	
	($\mu\text{R/h}$)	(nGy/h)	($\mu\text{R/h}$)	(nGy/h)
1	5,72	50,17	18	157,9
2	5,05	44,3	10,4	91,22
3	4,17	36,57	22	192,98
4	4,94	43,33	19	166,66
5	4,87	42,71	22	192,98
6	4,64	40,7	12	105,26
7	3,47	30,43	14,7	128,94
8	4,02	35,26	6,2	54,38
9	5,1	44,73	23	201,75
10	5,7	50	20	175,44
11	4	35,08	9,5	83,33
12	3,8	33,33	15	131,58
13	2,5	21,93	12,1	104,14
14	3,04	26,6	9,8	85,96
15	5,8	50,87	18	157,89



Şekil 7.17: Gama radyasyonu mevsimsel değişimi.



Şekil 7.18: Yüzeysel gama radyasyonu ölçüm istasyonları.

7.8. Eş (Iso)-Radyoaktivite Haritaları ve Değerlendirilmesi

Yükselti, rüzgâr, sıcaklık ve basınç gibi değişkenleri; meteoroloji, coğrafya, jeoloji gibi bilim dallarında gösterirken eş (iso) eğrilerinden faydalanılır. Bu eğriler; bölge üzerinde değişken ile ilgili çok detaylı bilgiler verir ve bunun yanı sıra bölge üzerinde ilgilenilen değişkenin nasıl bir farklılık gösterdiğini izah eder.

Bu kısımda adına eş (iso) radyoaktivite dediğimiz eğriler çizildi ve böylece bölgenin genel bir mevsimsel radyoaktivitesinin değişimi gösterilmiş oldu. Bu eğrilerin radyoaktivite değişimleri açıklanırken 2004 yılında yaptığımız çalışmada ilk kez “*yüksek radyoaktivite adacığı*” (*high radioactivity island*) ve “*düşük radyoaktivite adacığı*” (*low radioactivity island*) terimleri literatüre kazandırılmıştır [42].

7.8.1. Uluova Bölgesi bahar mevsiminde alınan su örneklerinin eş-toplam alfa radyoaktivite haritası

Uluova Bölgesinde, bahar mevsiminde toplanan su örneklerinin, alfa radyoaktivitesi için çizilen eş-radyoaktivite eğrileri Şekil 7.19’da gösterilmiştir. En yüksek radyoaktivite değerleri Mollakendi-Eyüp Bağları kesiminde görülmektedir (0,27 Bq/L). İçme kesimi de radyoaktif konsantrasyon açısından diğer yüksek bir bölge sayılabilir (0,17 Bq/L). Bu bölge 0,17 Bq/L’den başlayarak 0,09 Bq/L değerine kadar azalan düşük bir “düşük radyoaktivite adacığına” sahiptir. Bu bölgenin radyoaktiviteye katkı yaptığı bilinen kil ve kiltaşından oluşan bir jeolojik yapısı vardır. Kuzey bölgesinde aktivite konsantrasyonu ise, 0,04-0,02 Bq/L arasında değişir. Kuzey bölgesinin aktivitesinin güney kesiminde daha az olduğu görülmektedir.

7.8.2. Uluova Bölgesi bahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin eş-toplam alfa radyoaktivite haritası

Uluova Bölgesinden bahar ayında alınan toprak örneklerine göre çizilen eş-radyoaktivite eğrilerine göre (Şekil 7.20); bölgenin kuzeyinde Ağmezra’dan başlayarak Güzelyalı kesimine kadar olan yaklaşık 150 km²’lik alanda belirlenen alfa radyoaktivitesi yaklaşık olarak 0,3 Bq/g dır. Ağmezra’dan batıya doğru gidildikçe aktivitede azalma gözlenmiştir. Bu bölge ile Yünlüce bölgesi arasındaki kısımdaki aktivite değeri 0,2-0,22 Bq/g civarındadır.

Gölün güney kesiminde Mollakendi’den Eyüp Bağları’na kadar olan kesimindeki toplam alfa aktivite değerleri 0,17-0,27 Bq/g arasında değişmektedir. Eyüp Bağları’nın Değirmenönü kesimine kadar olan yaklaşık 10 km’lik kıyı şeridinde sahip olan bölge ve kıyıda 5 km açığa kadar olan kısımda radyoaktivite değeri 0,5 Bq/g’a kadar çıkmıştır. Fakat; İçme

mevkisinden gölün doğu ucunun bitimine kadar olan bölgede, aktivite 0,7 Bq/g kadar çıkmıştır. Bu durum İçme kıyı şeridinde var olan fay hattına bağlanabilir [69]. Fay hatları boyunca radyoaktivite değerlerindeki artışlara, yapılan çalışmalarda dikkat çekilmiştir [1, 42, 81].

Şekil 7.20'ye dikkat edilecek olursa, bahar ayı dip çamurunun toplam alfa radyoaktivitesi açısından; gölün güney kesimindeki radyoaktivite değerleri, gölün kuzey kesiminde daha yüksektir. Güney kesimindeki kıyı şeridi yeryüzü şekli olarak, göle daha dik bir şekilde girmektedir [69]. Bu durum toprak erozyonunu kolay bir hale getirmektedir. Dolayısıyla, göle dışarıdan katkı kuzey tarafından daha fazla olmaktadır. Erozyonla göle giren toprak, kayaç ve benzeri katkıların radyoaktiviteye katkısı oldukça fazladır [1, 42, 26]

Bahar mevsimi dip çamuru açısından alfa radyoaktivitesindeki en yüksek değerler 0,7 Bq/g ile İçme köyü civarında ve en düşük radyoaktivite değerleri ise, Değirmenönü kesimindedir.

7.8.3. Uluova Bölgesi bahar mevsiminde alınan su örneklerinin eş-toplam beta radyoaktivite haritası

Bahar döneminde alınan su örneklerinde yapılan toplam beta radyoaktivitesi analizlerinde en yüksek aktivite İçme civarında ölçülmüştür (0,45 Bq/L). Aktivitesi yüksek diğer bir hat ise, Mollakendi civarında belirlenmiştir (0,3 Bq/L).

Bahar mevsiminde alınan su örneklerine göre çizilen eş-toplam beta radyoaktivite haritasına göre, ortalama radyoaktivite değerleri 0,03 ile 0,09 Bq/L arasında değişmektedir. Radyoaktivite değerlerinin en düşük olarak belirlendiği mevki Yünlüce-Ağmezra bölgesindedir.

Güzelyalı kesiminden güneye doğru gidildikçe radyoaktivitede 0,17 Bq/L'den 0,05 Bq/L'ye doğru bir azalma görülmektedir. Güney kesimindeki radyoaktivitenin fazlalığı bölgeden geçen fay hattına ve bölgenin genel jeolojik yapısına bağlanabilir [6, 69].

7.8.4. Uluova Bölgesi bahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin eş-toplam beta radyoaktivite haritası

Uluova Bölgesinde, bahar mevsiminde toplanan örneklerde, beta radyoaktivitesi için çizilen eş-radyoaktivite eğrileri Şekil 7.22'de gösterilmiştir. Bu mevsimde incelenen istasyonlardan alınan dip sediment örneklerinde toplam alfa radyoaktivitesi, toplam beta radyoaktivitesinden ortalama olarak 12 kat daha fazladır. Bu fazlalık alfa yayıcı elementlerin her üç bozunum serisinde de fazla olmasına bağlanabilir [6, 7].

En yüksek radyoaktivite değerleri 0,1 Bq/g civarında Yünlüce-Ağmezra mevkisinde görülmektedir. En düşük değerler ise 0,004 Bq/g civarındadır (Şekil 7.22). Harita üzerinde en dikkat çeken özellik; kuzey-güney doğrultusunda aynı hatlar boyunca eşit radyoaktivite değerlerinin görülmesidir. Güzelyalı-Akçakent bölgesinden güneye doğru, bahsettiğimiz bu

hatlar mevcuttur. Bu durum incelenen istasyonların bu hatlarda hemen hemen aynı özellikleri gösterdiğinin açık bir belirtisidir.

7.8.5. Uluova Bölgesi sonbahar mevsiminde alınan su örneklerinin eş-toplam alfa radyoaktivite haritası

Uluova Bölgesinde, sonbahar mevsiminde toplanan su örneklerinde, toplam alfa radyoaktivitesi için çizilen eş-radyoaktivite eğrileri Şekil 7.23'te gösterilmiştir. Analiz yapılan istasyonlarda belirlenen alfa radyoaktivite değerleri Mollakendi ve Güzelyalı kesiminde görülmektedir (0,1 Bq/L). En düşük beta radyoaktivitesi değerleri ise, Koçkale-Değirmenönü kesiminde belirlenmiştir (0,03 Bq/L). Koçkale-Değirmenönü mevkiisi diğer eş radyoaktivite haritalarında da hemen hemen aynı özellikleri taşıdığı görülmektedir.

7.8.6. Uluova Bölgesi sonbahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin eş-toplam alfa radyoaktivite haritası

Uluova Bölgesi'nde, sonbahar mevsiminde toplanan örneklerde, alfa radyoaktivitesi için çizilen eş-radyoaktivite eğrileri Şekil 7.24'te gösterilmiştir. Bu mevsimde incelenen dip çamuru örneklerinde hakim olan radyoaktivite değeri 0,3 Bq/g'dır. Bölgenin pek çok yerinde bu değer görülmektedir. En yüksek radyoaktivite değerleri; Koçkale, Değirmenönü, İçme civarındadır (0,5 Bq/g). Gölün güney kesimindeki radyoaktivite değerleri, kuzey bölgesinden daha yüksek olduğu Şekil 7.24'te görülmektedir. En düşük radyoaktivite değeri ise, Değirmenönü ve İçme arasındaki bölgede ve Koçkale kesimindedir (0,1 Bq/g).

7.8.7. Uluova Bölgesi sonbahar mevsiminde alınan su örneklerinin eş-toplam beta radyoaktivite haritası

Uluova Bölgesi'nde, sonbahar mevsiminde toplanan su örneklerde, beta radyoaktivitesi için çizilen eş-radyoaktivite eğrileri Şekil 7.25'te gösterilmiştir. Bu mevsimde incelenen istasyonlar içerisinde en düşük radyoaktivite Güzelyalı mevkiinde belirlenmiştir (0,005 Bq/L). Gölün kuzey bölgesindeki eş-radyoaktivite değerleri incelendiğinde yaklaşık olarak her 5 km, değişiklik arz ettiği görülmektedir. Gölün güney kesiminin açıklarında, Eyüp Bağları'ndan başlayarak İçme'ye kadar olan kesimdeki hat aynı radyoaktif özellikleri göstermektedir (yaklaşık 0,03 Bq/L). Bu hattın Eyüp Bağları-Değirmenönü kesiminde kıyıya doğru yaklaşıldıkça aktivitede bir azalma gözlenmektedir. Bu durum göl tabanının jeolojik özelliklerine ve kıyıya doğru yaklaşıldıkça derinlikteki azalmanın ve dip sularındaki hareketliliğin artmasıyla birlikte radyoaktif elementlerin hareketliliğine bağlanabilir [6, 42, 83]

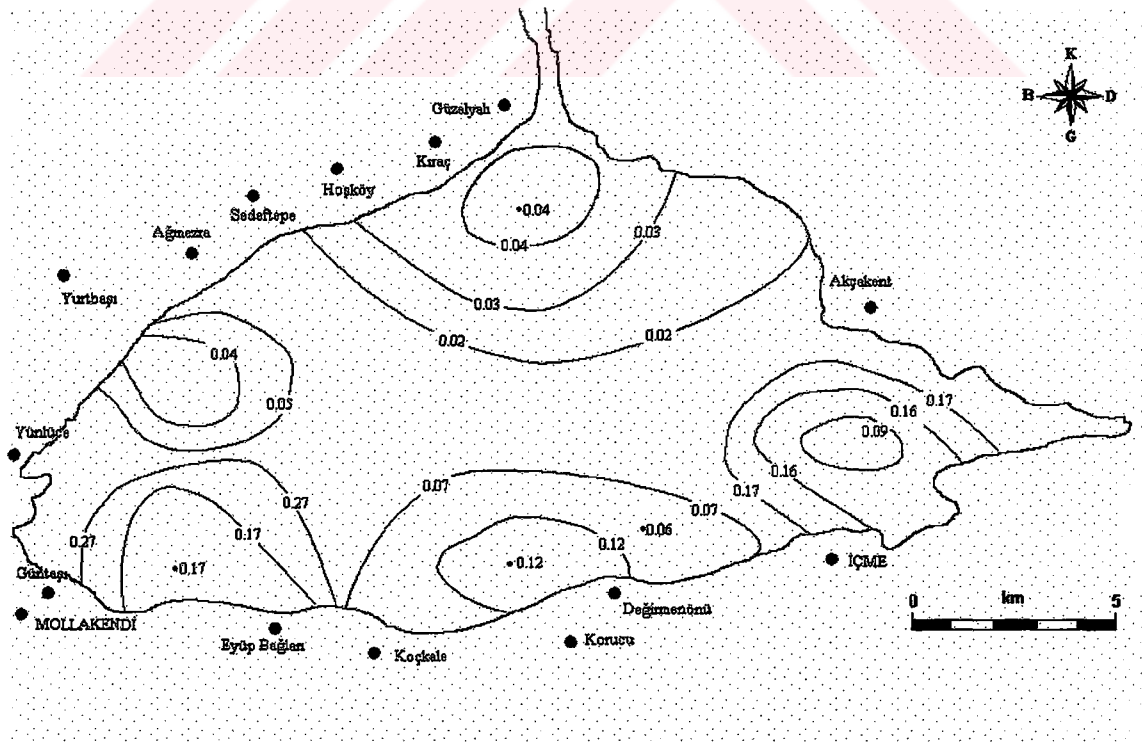
En yüksek radyoaktivite değerlerine Yurtbaşı ve İçme'de rastlanılmıştır (sırasıyla 0,08 Bq/L ve 0,05 Bq/L). En düşük radyoaktivite değeri ise, Güzelyalı'da belirlenmiştir (0,005 Bq/L).

7.8.8. Uluova Bölgesi sonbahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin eş-toplam beta radyoaktivite haritası

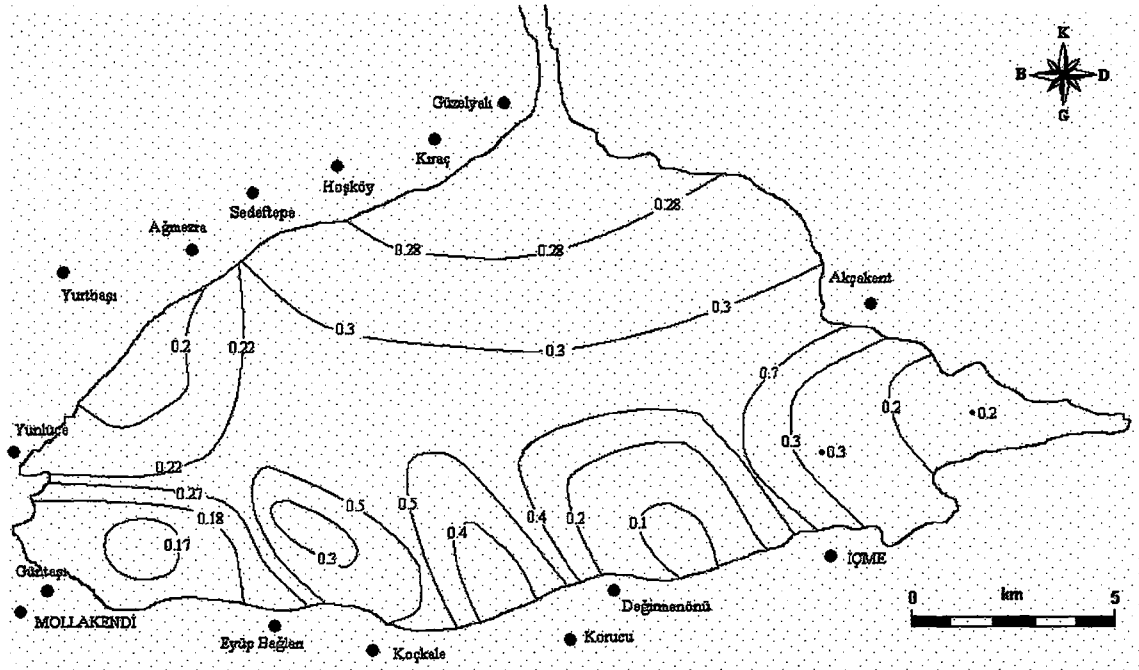
Uluova Bölgesi'nde, sonbahar mevsiminde toplanan örneklerde, toplam beta radyoaktivitesi için çizilen eş-radyoaktivite eğrileri Şekil 7.26'da gösterilmiştir. Sonbahar mevsiminde toplam alfa radyoaktivite değerleri, dip sediment analizlerinde toplam beta radyoaktivitesinden ortalama olarak 10 kat daha fazladır.

En yüksek beta radyoaktivitesi değeri Koçkale bölgesinde görülmektedir (0,2 Bq/g). En düşük beta radyoaktivitesi değerleri ise, Ağmezza-Mollakendi hattı boyunca 0,0028 Bq/g'dır. İçme civarında da yüksek aktivite değerleri belirlenmiştir (0,1 Bq/g).

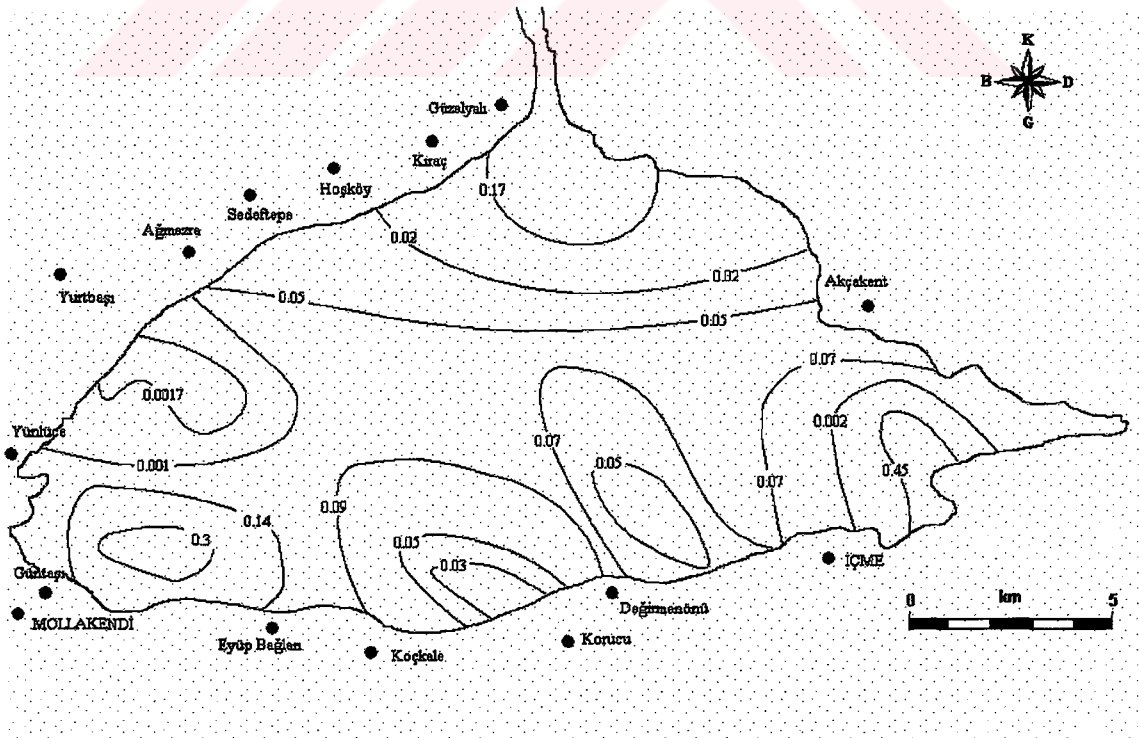
Bütün bu çizilen eş (iso)-radyoaktivite haritalarına bakıldığında genel anlamda gölün güney tarafının radyoaktivitesinin kuzey tarafının radyoaktivitesinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum güney bölgesinin yüksek oranda killi tabakalardan oluşmasına bağlanabilir.



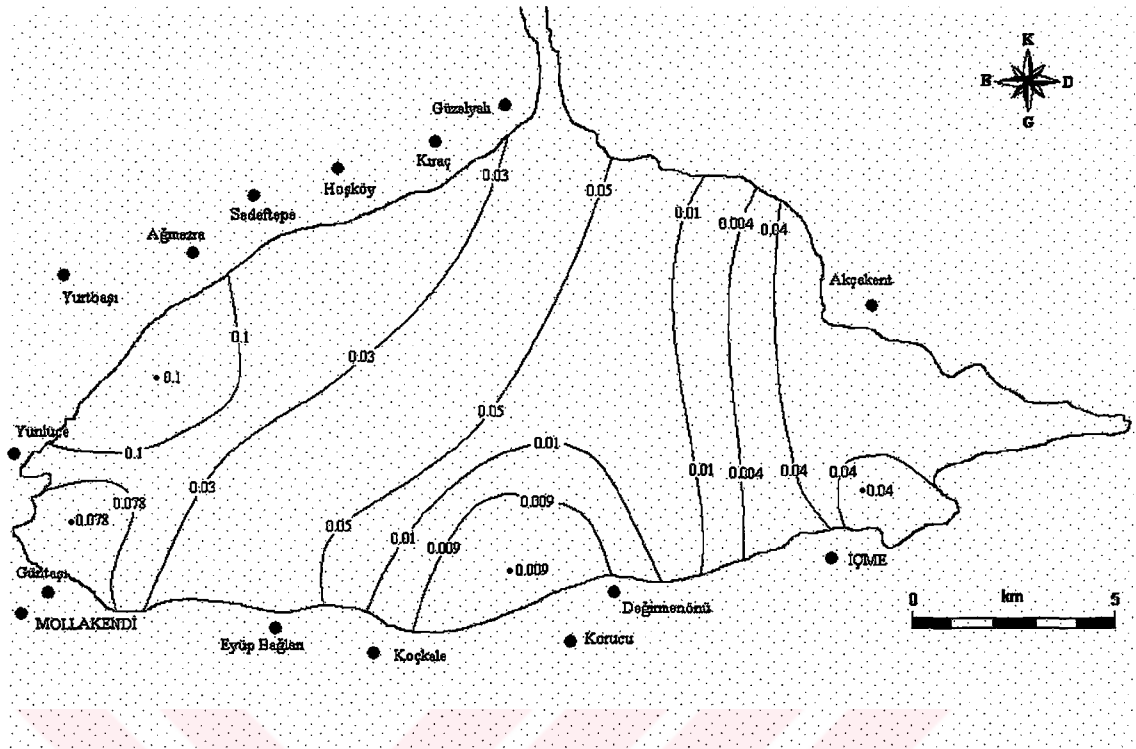
Şekil 7.19: Uluova Bölgesi bahar mevsimi, su örneklerinde alfa eş-radyoaktivite haritası.



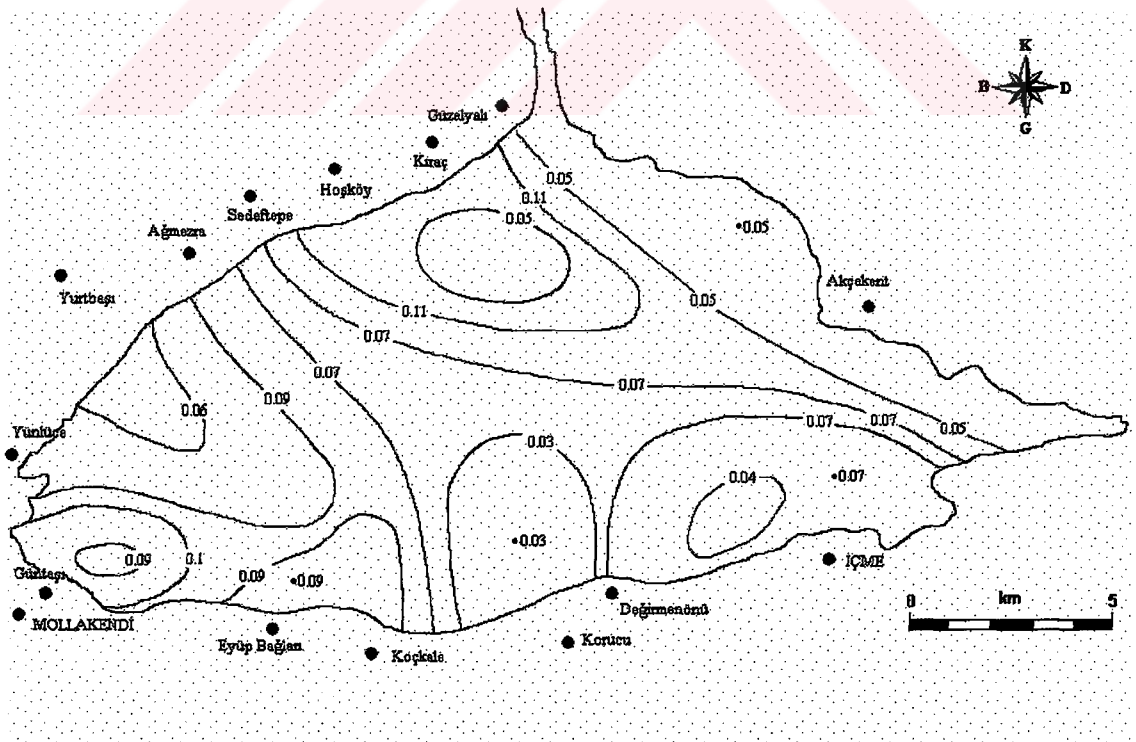
Şekil 7.20: Uluova Bölgesi bahar mevsimi, dip sediment örneklerinde alfa eş-radyoaktivite haritası.



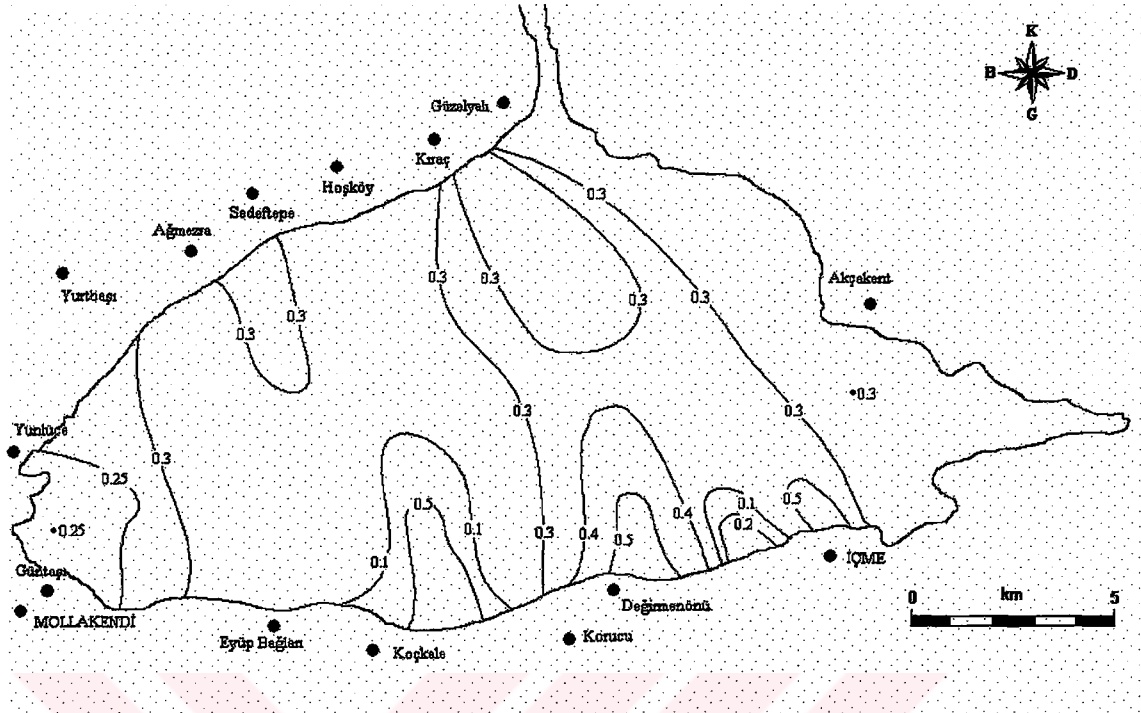
Şekil 7.21: Uluova Bölgesi bahar mevsimi, su örneklerinde beta eş-radyoaktivite haritası.



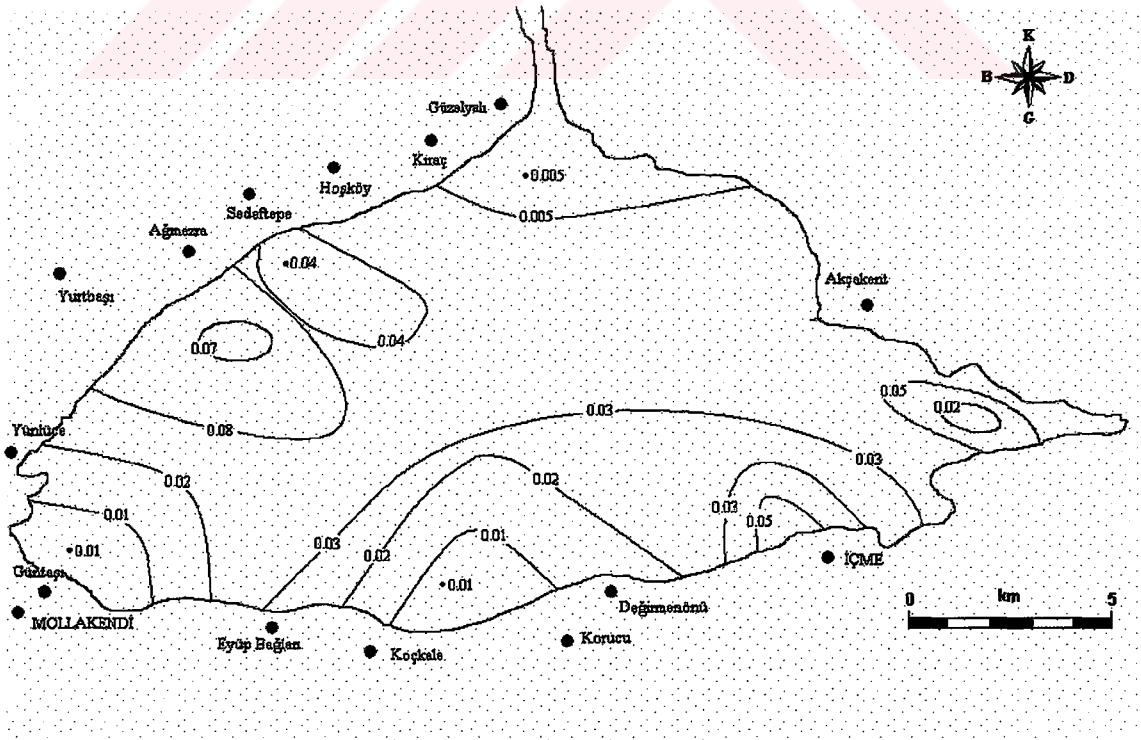
Şekil 7.22: Uluova Bölgesi bahar mevsimi, dip sediment örneklerinde beta eş-radyoaktivite haritası.



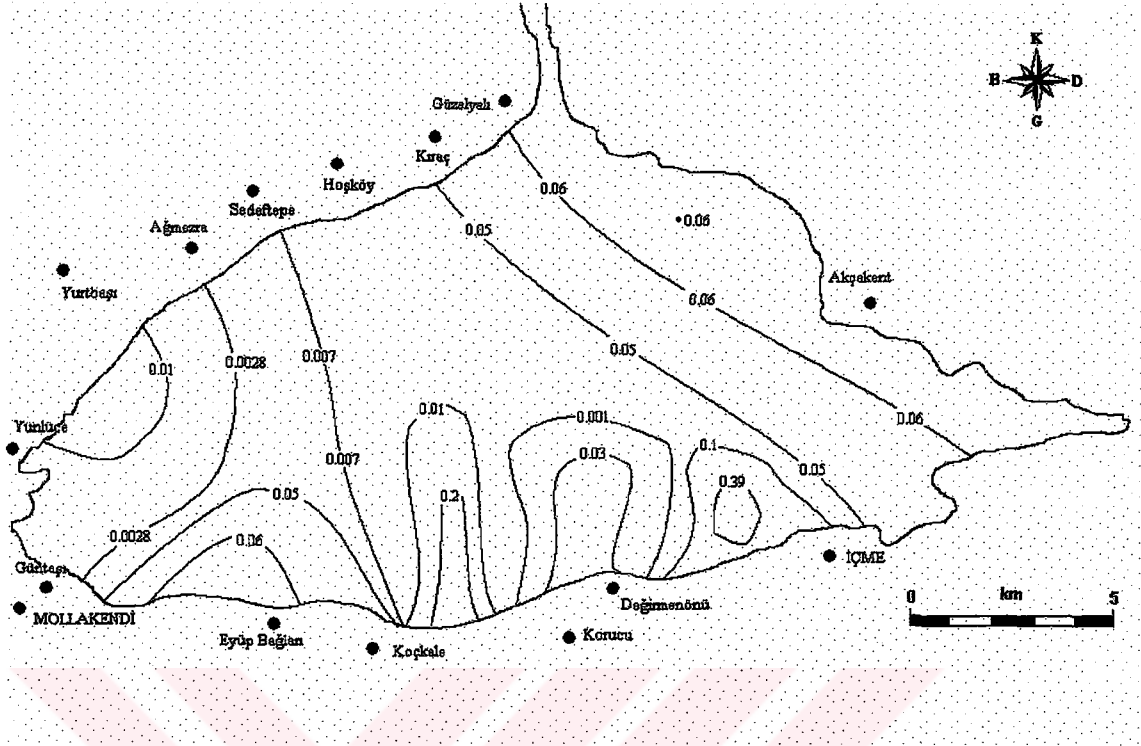
Şekil 7.23: Uluova Bölgesi sonbahar mevsimi, su örneklerinde alfa eş-radyoaktivite haritası.



Şekil 7.24: Uluova Bölgesi sonbahar mevsimi, dip sediment örneklerinde alfa eş-radyoaktivite haritası.



Şekil 7.25: Uluova Bölgesi sonbahar mevsimi, su örneklerinde beta eş-radyoaktivite haritası.



Şekil 7.26: Uluova Bölgesi sonbahar mevsimi, dip sediment örneklerinde güz beta eş-radyoaktivite haritası.

7.9. Suyun Temel Özelliklerinden Bazılarının Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi sularında ilkbahar ve sonbahar mevsiminde yapılan elektriksel iletkenlik, pH ve toplam sertlik analiz sonuçları Tablo 7.7’de gösterilmiştir. Bu değerlere göre elde edilen verilerin değerlendirilmesi aşağıda yapılmıştır.

7.9.1. Sonbahar Su Örneklerinin Elektriksel İletkenlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bir çok bileşiğin suda çözünabilirlik özelliği, suda çözünmüş 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 [1].

Suda çözünmüş tuzların nitratlar (NO_3^-) dışında tümünün esas kaynağı Litosfer’i oluşturan kaya ve minerallerdir. Kaya ve minerallerin çevreleriyle olan çeşitli kimyasal etkileşimleri

Tablo 7.7: Su örneklerinde toplam sertlik, iletkenlik ve pH'ın mevsimlere göre değişimi.

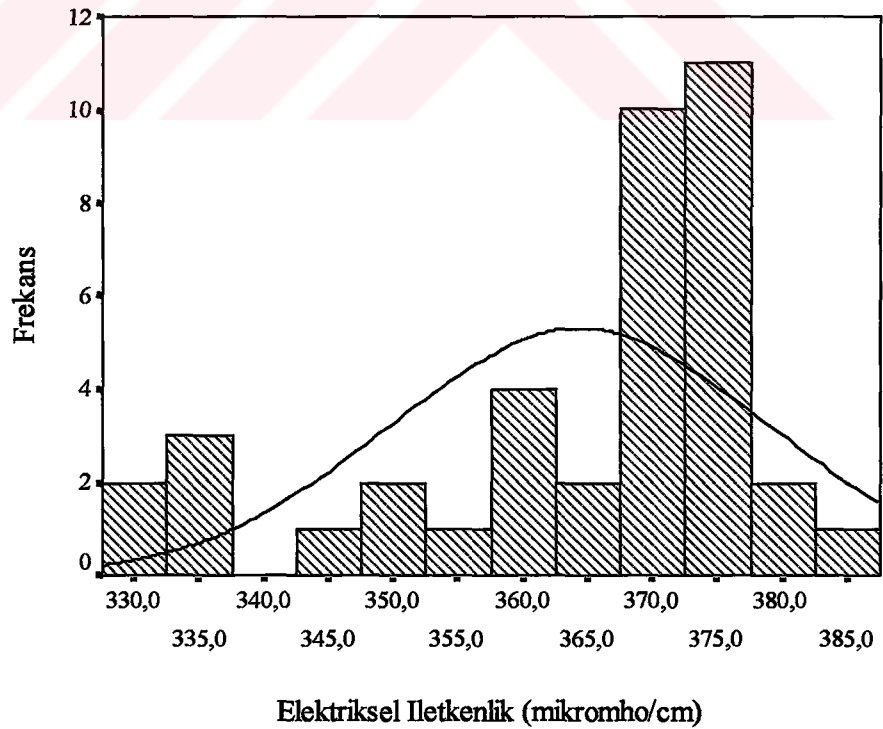
İstasyon No	Sonbahar			İlkbahar		
	Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	İletkenlik (µmho/cm)	pH	Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	İletkenlik (µmho/cm)	pH
1	210	370	8	157	314	8
2	215	371	8,31	156	310	8,1
3	209	350	8,24	160	314	7,9
4	210	360	8,28	161	320	7,75
5	212	375	8,23	160	332	7,73
6	210	372	8,24	163	330	7,6
7	207	373	8,32	162	325	7,84
8	203	365	8,26	164	331	7,56
9	241	371	8,31	165	325	7,81
10	252	372	8,32	167	324	7,83
11	243	371	8,4	160	312	7,76
12	214	365	8	161	320	7,9
13	212	360	7,8	166	312	7,8
14	211	359	7,7	167	330	8
15	239	374	7,96	170	335	7,5
16	213	375	8,27	175	332	7,4
17	218	362	8,26	176	335	8
18	251	376	8,36	177	340	8,1
19	201	377	8	192	350	7,9
20	213	374	8,1	190	355	8
21	214	378	8	196	355	8
22	253	385	8,3	171	330	7,9
23	228	375	8,2	166	335	7,8
24	230	372	8,3	165	325	7,9
25	245	378	8,3	167	312	7,85
26	221	373	8,11	156	315	7,75
27	225	375	8,15	161	315	7,81
28	223	373	8,14	164	314	7,77
29	220	372	8,3	167	320	7,8
30	211	369	8,25	169	300	7,9
31	200	345	8,13	157	318	7,78
32	225	370	8,3	160	313	7,6
33	210	350	8,25	154	311	7,8
34	210	355	8,2	150	310	7,8
35	209	330	7,85	151	316	7,7
36	208	335	7,9	152	315	7,7
37	203	335	7,8	157	325	7,6
38	201	336	8	158	320	7,5
39	206	332	7,9	159	320	7,5

sayesinde (örneğin, CO₂'li suların etkisiyle ayrışmaları sonucu) tuzlar açığa çıkar ve suda erimiş hale geçerler [1].

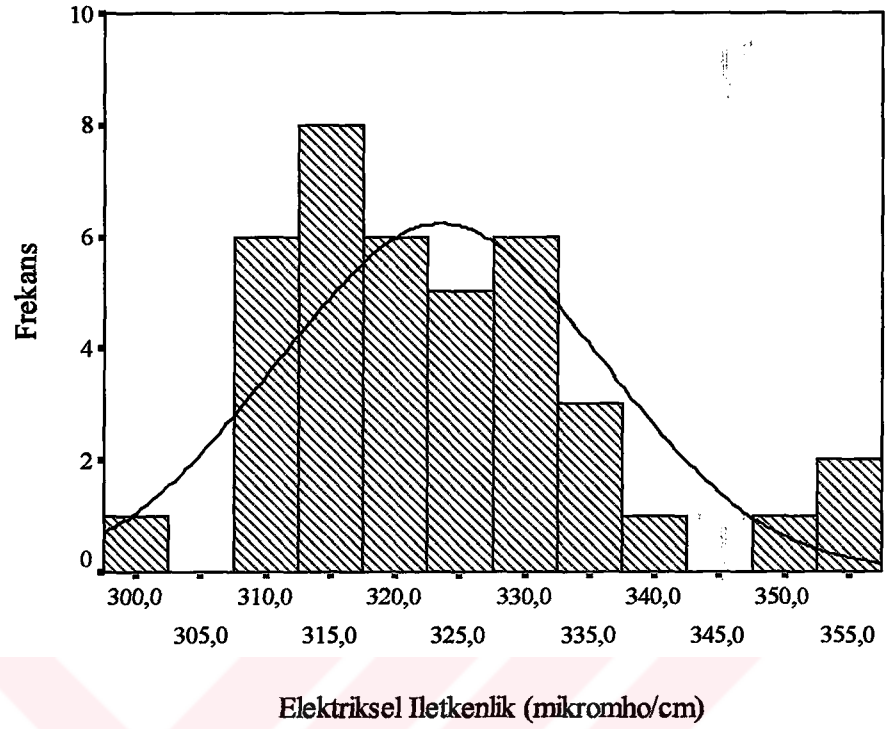
Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi'nden sonbaharda alınan su örneklerinde (Şekil 7.2) yapılan elektriksel iletkenlik ölçümlerinde 11 istasyonda 375 µmho/cm, 10 istasyonda 370 µmho/cm civarında belirlenmiştir (Şekil 7.27). 21 istasyondan elde edilen sonuçlar sonbahar mevsimi itibariyle gölün genel bir karakteristiğini vermektedir. Sonbaharda alınan su örneklerinin elektriksel iletkenliğinin istatistiksel bilgileri EK-1'de, ilkbahar su örneklerine ait bilgiler ise, EK-3'te verilmiştir.

7.9.2. İlkbaharda Alınan Su Örneklerinin Elektriksel İletkenlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesinden ilkbahar alınan su örneklerinde (Şekil 7.2) yapılan elektriksel iletkenlik ölçümlerinde 11 istasyonda 375 µmho/cm, 10 istasyonda 370 µmho/cm civarında bir değer belirlenmiştir. 21 istasyondaki bu sonuçlar sonbahar mevsimi itibariyle gölün genel bir karakteristiğini vermektedir (Şekil 7.28).



Şekil 7.27: Sonbaharda alınan su örneklerinin elektriksel iletkenliğinin frekans değişimi.



Şekil 7.28: İlkbaharda alınan su örneklerinin elektriksel iletkenliğinin frekans dağılımı.

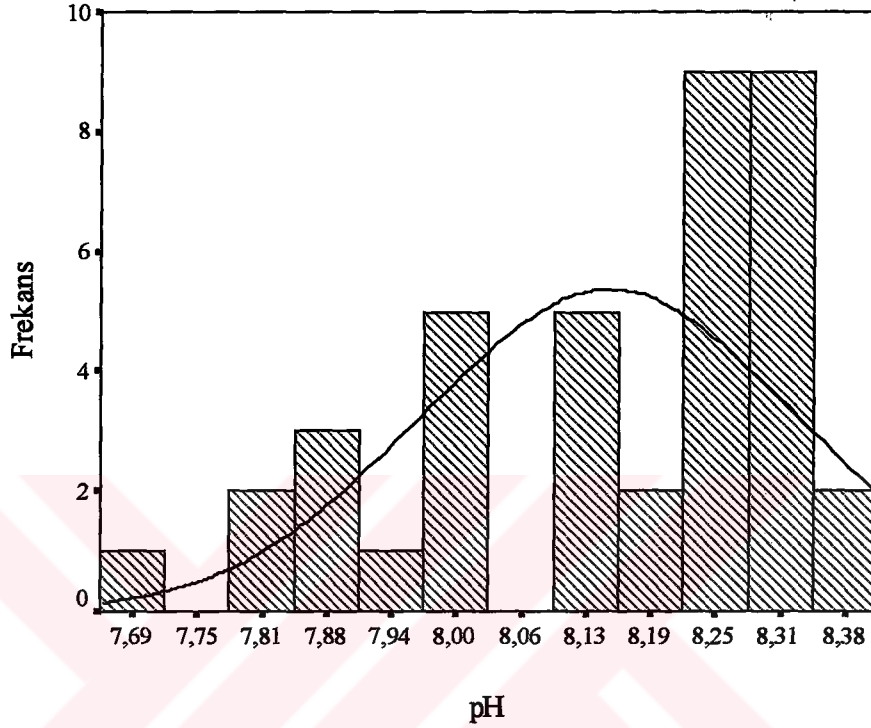
Sonuç olarak; Tablo 7.8’de verilen sınıflama göz önüne alınarak EK-1 ve EK-3’te verilen değerlere göre Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi suları hem sonbahar hem de ilkbaharda yapılan elektriksel iletkenlik ölçümleri baz alındığında 2. sınıf sular grubuna girmektedir (Tablo 7.8) [24].

Tablo 7.8: Suların iletkenliğe göre kalite sınıfları.

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

7.9.3. Sonbaharda Alınan Su Örneklerinin pH Değişimi

Sonbaharda alınan su örneklerindeki (Şekil 7.2) pH değişimlerini frekans açısından veren Şekil 7.29 incelenecek olursa; 39 istasyon örneği içerisinde 9'ar istasyon örneği 8,2 ve 8,3



Şekil 7.29: Sonbaharda alınan su örneklerinin pH'ının frekans değişimi.

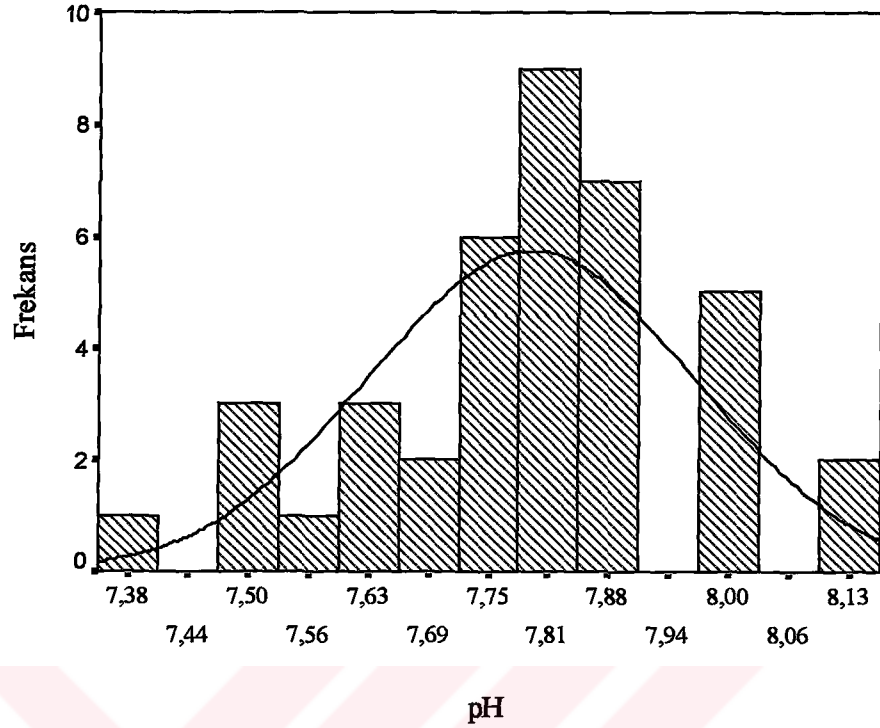
değerleri civarında sonuçlar vermiştir. pH ile ilgili ilave istatistik, sonbahar ve ilkbahar mevsimleri için sırasıyla EK-1 ve EK-3'te verilmiştir.

7.9.4. İlkbaharda Alınan Su Örneklerinin pH Değişimi

İlkbaharda alınan su örnekleri (Şekil 7.2) üzerine yapılan pH analizlerden elde edilen sonuçlar ile çizilen Şekil 7.30'da verilmiştir. Buna göre pH olarak 9 istasyonda pH, 7,8 civarında belirlenmiş, 7 istasyonda ise 7, 9 civarında bir değer ölçülmüştür.

Alınan sonuçlara göre Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi suları, orta alkalın sular sınıfına girmektedir (Tablo 6.1). Göl suları, pH açısından kıta içi su kaynaklarının sınıflandırılmasında 3. sınıf sular sınıfına girmektedir (Tablo 2.4).

Elde edilen veriler Keban Baraj Gölü'nde daha önce yapılan pH ölçüm sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada da pH değerlerinin 8-8,5 arasında değiştiği gözlenmiştir [86].



Şekil 7.30: İlkbaharda alınan su örneklerinin pH'nın frekans değişimi.

Gölhan'a göre [73], suyun alkalilik özelliğini etkileyen en önemli etken karbonat ve özellikle bikarbonat tuzlarıdır. Göl suyunun yüksek pH değerlerine sahip olması, gölün su ürünleri yetiştiriciliği açısından uygun olmayan bir özelliği olarak dikkat çekmektedir. Gölün pH değerinin yüksek olması nedeniyle ortamdaki NH_4 iyonları NH_3 haline geçerek balıkçılık için büyük bir tehlike sergilemektedir [87].

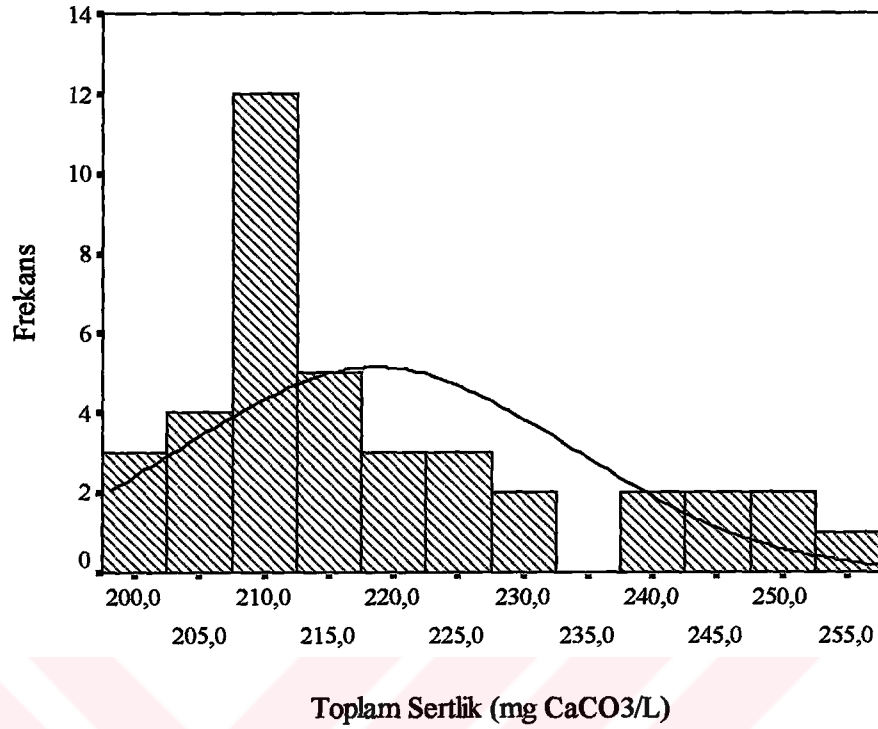
pH değerlerinin 9 civarında olması Hazar Gölü sularında titre edilebilecek miktarda CO_3^{2-} iyonu olduğunu göstermektedir. Karbonat iyonlarının yokluğu halinde bikarbonat yoğunluğu nadiren me/L değerini aşar [72].

7.9.5. Göl Sularının Toplam Sertlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bir suyun toplam sertliği içerisinde bulunan toprak alkalilerden kaynaklanır. Bu toprak alkalilerden sularda birinci derecede sertliğe etken eden Ca ve Mg'dur [88, 89].

7.9.5.1. Sonbaharda Alınan Su Örneklerinin Toplam Sertlik Miktarları

Sonbaharda alınan su örneklerinde, 12 istasyonda belirlenen yaklaşık değer 210 mg CaCO_3/L civarındadır. Bu değer toplam sertlik açısından gölün genel bir karakteristiğini vermektedir (Şekil 7.31). Toplam sertlikle ilgili diğer istatistiksel bilgiler EK-1'de verilmiştir.



Şekil 7.31: Sonbaharda alınan su örneklerinin toplam sertliğinin frekans değişikliği.

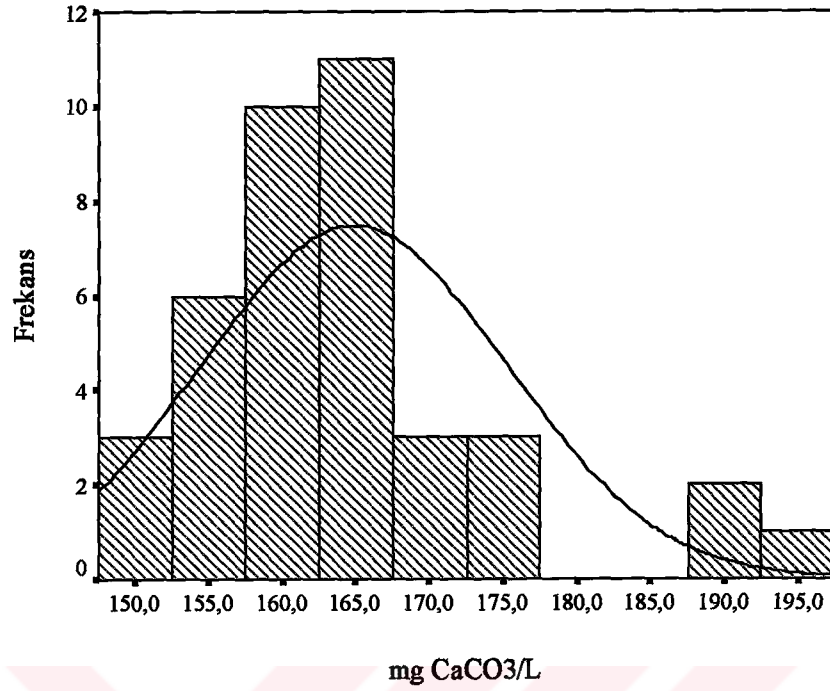
7.9.5.2. İlkbaharda Alınan Su Örneklerin Toplam Sertlik Miktarları

İlkbaharda alınan su örneklerindeki toplam sertlik ölçümlerinde 11 istasyonda 165 mg CaCO₃/L, 10 istasyonda ise yaklaşık olarak 160 mg CaCO₃/L bir değer belirlenmiştir (Şekil 7.32). İlkbahar su örneklerindeki toplam sertlik seviyelerinin istatistiği ayrıca EK-3'te verilmiştir.

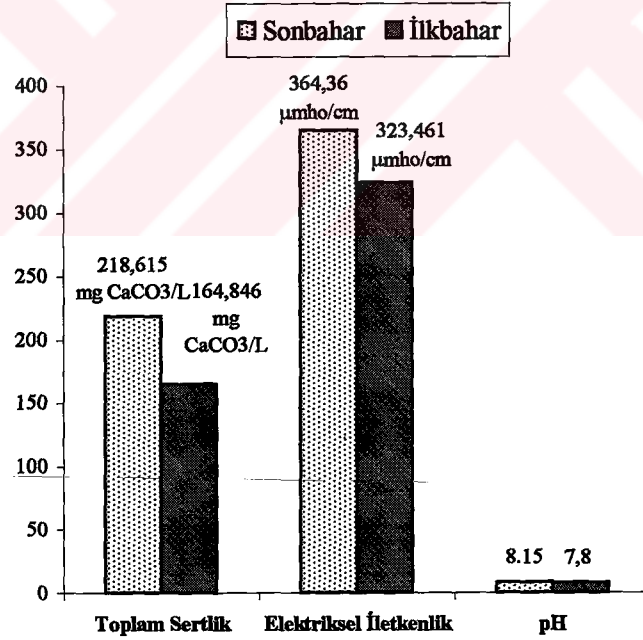
İçme, endüstri ve hizmet amacıyla suyun kullanımında, suların sertliği önemli bir kalite özelliğidir. Ca ve Mg tuzları suların sertliği üzerinde önemli bir etkindir. Tuncay'a göre [72], sulardaki sertlik; toprak katmanları, kalker kayaları ve jeolojik formasyonlarla, devamlı temas sonucu tuzların doğal olarak birikmesinden, endüstri atıklarının sulara akıtılmasından veya sulama fazlası drenaj sularının sulama suyuna karışmasından ileri gelebilir.

Göl sularının toplam sertliği, ilkbaharda 150-196 mg CaCO₃/L (EK-1), sonbaharda 200-253 mg CaCO₃/L (EK-3) arasında değişmektedir. Bu değerlere göre göl suları; 110-270 mg CaCO₃/L arasında değiştiği için orta sertlikte sular sınıfına girmektedir [90].

Son olarak; Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi'nden alınan su örneklerinde belirlenen toplam sertlik, elektriksel iletkenlik, pH değerlerinin mevsimsel değişimi Şekil 7.33'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sonbahar ve ilkbaharda alınan su örneklerinde yapılan analizler sonucunda toplam sertlik, elektriksel iletkenlik ve pH değerlerinin ortalaması alınmış ve bu değerlerin sonbahar mevsiminde daha yüksek çıktığı görülmüştür.



Şekil 7.32: İlkbaharda alınan su örneklerinin toplam sertliğinin frekans dağılımı.



Şekil 7.33: Toplam sertlik, elektriksel iletkenlik ve pH'ın mevsimsel değişimi.

Çalışmada ölçülen toplam sertlik değerleri Mg ve Ca elementlerine dayalı sertliktir. Elektriksel iletkenlik ve buna bağlı olarak pH ölçümlerinde ise, sonbahardaki yağışların Şekil 7.33'teki sonucun elde edilmesinde etkili olduğu söylenebilir (sertlik, EC, pH değişimi grafiği). Çünkü sonbahar ile birlikte artan yağış miktarlarıyla toprak ve kayalardaki elektriksel iletkenliği artıran elementlerin göl sularına geçişi kolaylaşmaktadır [1].

7.10. Ağır Metal ve Makro Element Analizleri

7.10.1. Uluova Bölgesi Sonbaharda Alınan Su Numunelerinde Ağır Metal ve Makro Element Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi'nde yapılan ağır metal ve makro element analizlerinde elde edilen sonuçların tekrarlanma sıklığına göre değişimlerini öğrenmek için veri-frekans ilişkisini gösteren grafikler çizilmiştir.

Sonbahar mevsiminde istasyonlardan alınan su örneklerindeki ağır metallerin değişimi Tablo 7.9'da görülmektedir.

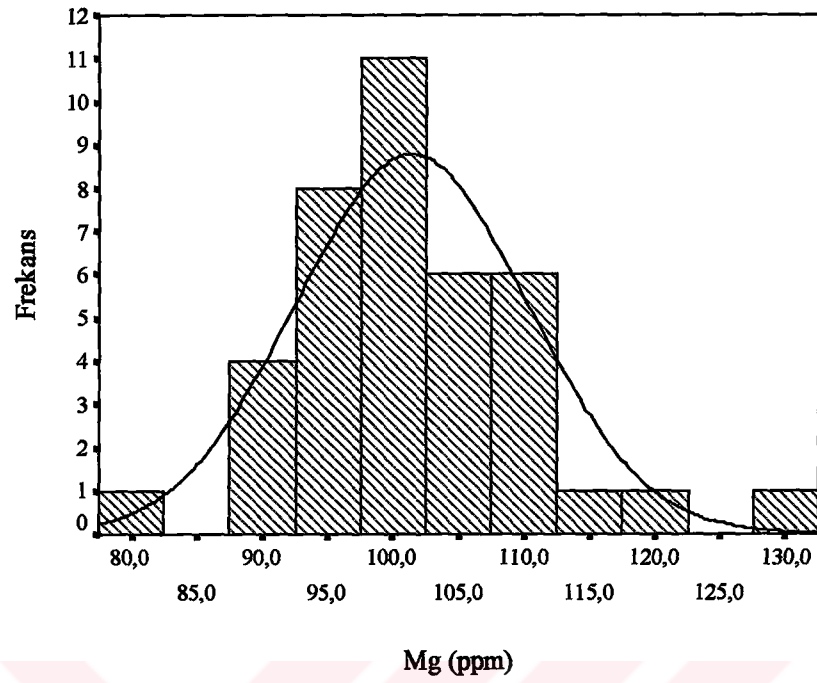
Şekil 7.2'deki istasyonlardan sonbahar mevsiminde alınan örneklerde yapılan analizlerden elde edilen sonuçlardan oluşturulan; elementlerin derişim ve frekans dağılımı Mg, Ca, K, Na makro elementleri ve Zn için sırasıyla; Şekil 7.34, Şekil 7.35 Şekil 7.36, Şekil 7.37 ve Şekil 7.36'de verilmiştir.

Şekil 7.34'te, Mg derişiminin istasyonlar bazında, litredeki miktarında en fazla 100 ppm civarında değişimler gözlenmektedir (11 istasyon). 8 istasyonda ise 95 ppm civarında bir değer tespit edilmiştir. 12 istasyonda 110 ppm değerine ulaşılmıştır. Şekil 7.35'te Ca miktarlarında 12 istasyonda 27,5 ppm değeri en yüksek tekrarlanma miktarına sahiptir. Şekil 7.36'da, 20 istasyonun 17'sinde K derişimi 2,88 ppm değerine ulaşarak gölün K açısından hemen hemen bir karakteristiğini çizmiştir. Şekil 7.37'de Na; 13 istasyonda 24 ppm değerine ulaşmış, 10 istasyonda ise, 26 ppm değerlerine ulaşmıştır. Zn'nin derişiminde 15 istasyonda 0,01-0,09 ppm değerlerine ulaşmıştır. Bu durum bize Zn elementinin miktarının çok az olduğunu açık bir şekilde göstermektedir (Şekil 7.38).

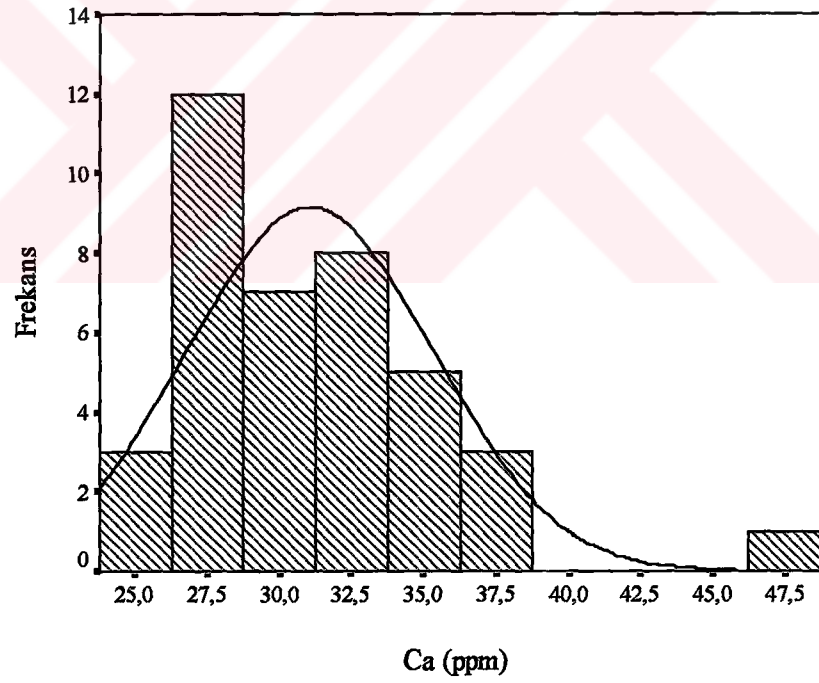
Göl sularındaki ağır metaller ile ilgili istatistiksel bilgiler frekans değişimleri ile ilgili şekillerin yanı sıra EK-1'de de verilmektedir.

Tablo 7.9: Sonbaharda alınan su örneklerinde ağır metal değişimleri.

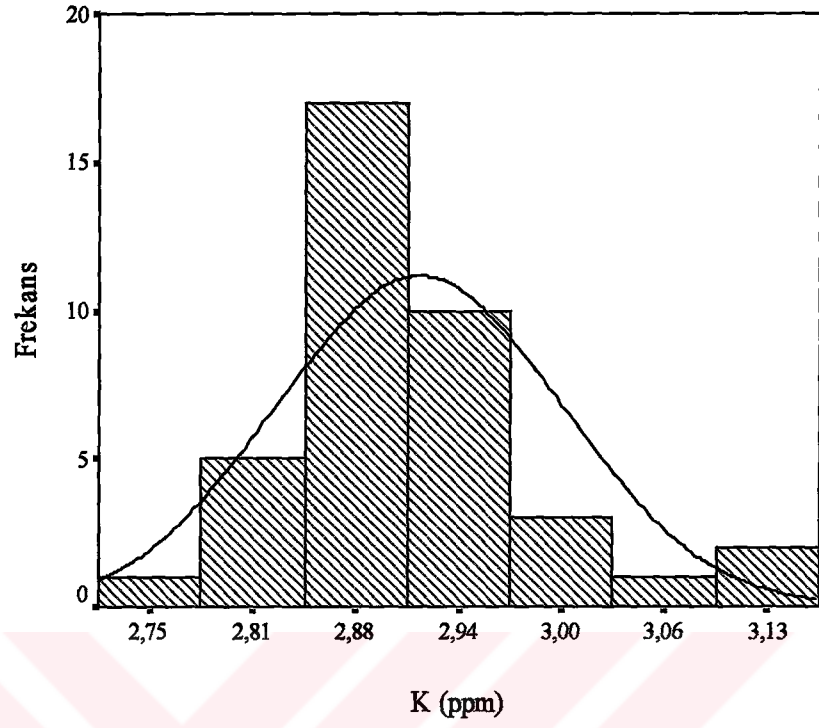
İstasyon No	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)
1	108,5	29,9	2,9	27,72	0,45
2	100,7	29,4	2,85	30,6	0,62
3	106,3	25,71	2,8	25,6	3,32
4	106,3	31,59	2,8	26	6,44
5	113	32,43	2,8	34,5	0,5
6	101,6	29,07	2,75	26	0,3
7	100,9	34,9	2,9	23	0,23
8	99,89	32,43	2,95	25,1	0,2
9	108,5	32,85	2,9	34,4	0,2
10	108,09	47,14	2,9	32,8	2,76
11	103,34	29,9	2,85	23,5	0,54
12	91,46	27,3	3	24,4	3,63
13	92,11	25,71	2,85	25,2	0,32
14	91,25	28,65	2,8	35,3	0,1
15	105,93	26,9	2,85	27,7	0,45
16	101,61	31,11	3,05	25,2	0,18
17	97,73	28,65	2,95	24,3	2,27
18	110	26,9	2,9	28,5	1,52
19	98,16	27,8	2,95	28,5	1,61
20	104,21	29,4	2,8	29,9	0,35
21	109,82	26,1	2,95	23,5	1,47
22	130,77	27,8	3,15	24,7	2,42
23	95,57	27,3	3,15	22,6	5,6
24	97,3	27,3	2,95	22,6	5,6
25	107,6	27,3	2,95	24,7	0,06
26	98,38	28,6	2,95	23	1,78
27	118,8	30,75	3,02	23	10,5
28	105,9	32,01	2,9	25,6	3,22
29	101,4	32,01	2,85	23,08	3,61
30	97,73	27,8	2,95	23,08	3,61
31	79,15	33,6	2,9	19,3	0,35
32	100,9	34,9	2,9	25,1	0,37
33	92,76	34,9	2,9	20,5	0,2
34	95,57	36,6	3	27,7	2,39
35	91,25	34,11	2,95	24,7	0,71
36	96,22	37,05	2,9	24,3	1,35
37	95,14	33,2	2,85	31,1	0,59
38	94,42	37,05	2,95	26	1,49
39	95,57	34,9	2,9	26,8	1,1



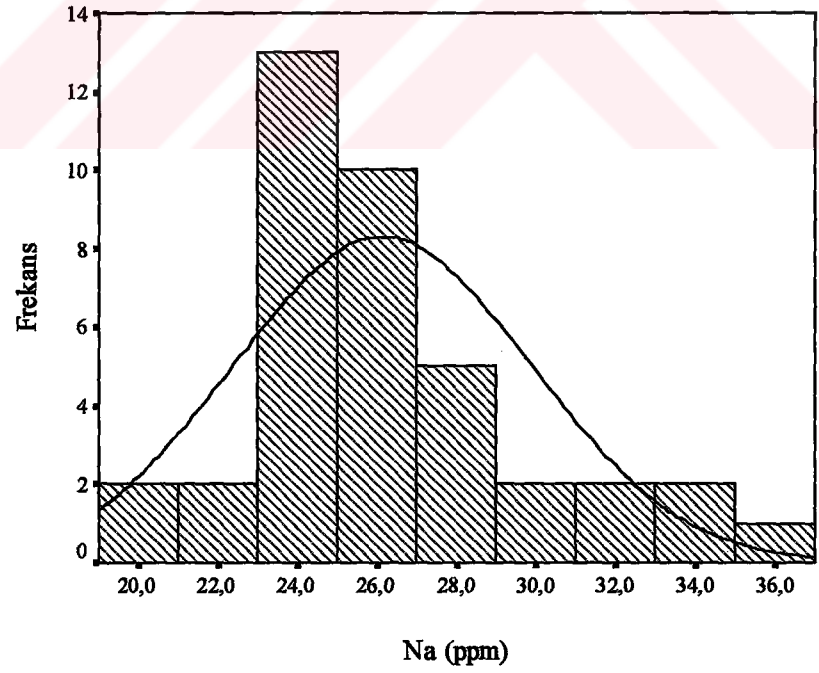
Şekil 7.34: Sonbaharda alınan su örneklerinde Mg derişiminin frekans değışimi.



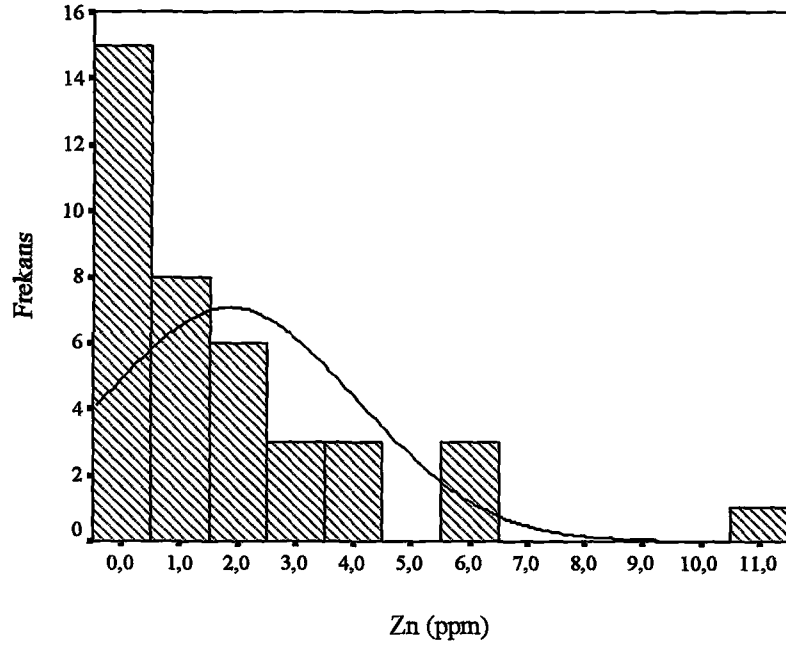
Şekil 7.35: Sonbaharda alınan su örneklerinde Ca derişiminin frekans değışimi.



Şekil 7.36: Sonbaharda alınan su örneklerinde K derişiminin frekans değişimi.



Şekil 7.37: Sonbaharda alınan su örneklerinde Na derişiminin frekans değişimi.



Şekil 7.38: Sonbaharda alınan su örneklerinde Zn derişiminin frekans değişimi.

7.10.2. Uluova Bölgesi Sonbaharda Alınan Dip Sediment Örneklerinde Ağır Metal Sonuçlarının Değerlendirilmesi

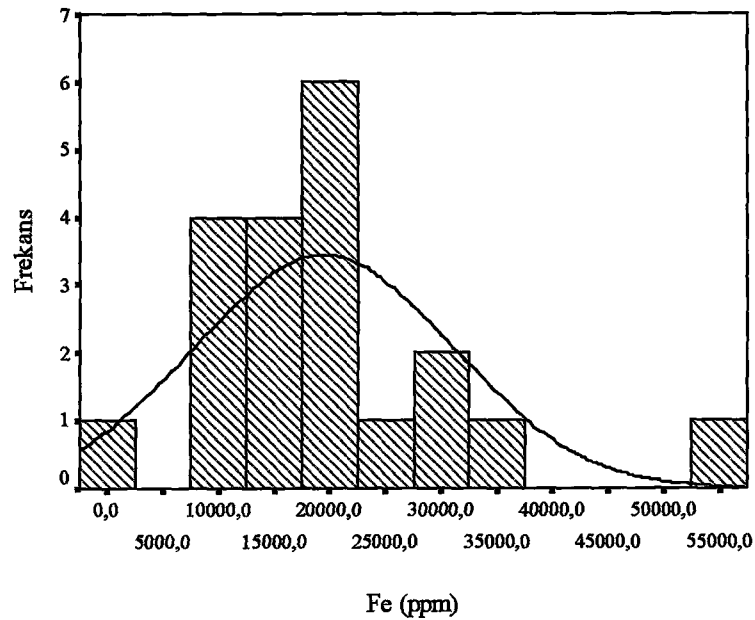
Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi'nden (Şekil 7.8) sonbaharda alınan örneklerde Fe, Mg, Ca, K, Na, Zn, Cu, Cr, Co, Ni, Mn olmak üzere toplam 11 element analiz edilmiştir (Tablo 7.10). Bu elementlerin dip sedimentlerdeki derişimlerinin frekansları aşağıda verilmiştir. Bu duruma göre; Fe için (Şekil 7.39); 6 istasyonda 20000 ppm, 8 istasyonda 10000-15000 ppm değerleri, Mg için (Şekil 7.40); 7 istasyonda 100000 ppm değerine 6 istasyonda ise 150000 ppm değerine ulaşılmıştır. Ca için (Şekil 7.41); 4 istasyonda 90000 ppm ve üçer istasyonda sırasıyla 95000, 105000, 110000 ppm değerlerine, K için (Şekil 7.42); 14 istasyonda ve hemen hemen bütün gölü karakterize edecek şekilde 1000 ppm değerine, Na için (Şekil 7.43); 8 istasyonda 6000 ppm değerine, Zn için (Şekil 7.44); 14 istasyonda genelde belirlenen ölçümler 1-1000 ppm arasındadır. Cu için (Şekil 7.45); 6 istasyonda 45 ppm değeri, Cr için (Şekil 7.46); 5 istasyonda 150 ppm ve 4 istasyonda ise, 100 ppm değeri ölçülmüştür. Co için (Şekil 7.47) istasyonlar içinde ölçülen en sık tekrarlanan değer 11 istasyonda 50 ppm dir. Ni için (7.48); 6 istasyonda 200 ppm, Mn için ise (Şekil 7.49) 4 istasyonda 700 ppm, 3'er istasyonda ise, 800 ve 1100 ppm değerleri en çok ölçülen ağır metal derişimi değerleri olmuştur. Bu sonuçlar, gölün sonbaharda alınan dip sedimentleri açısından genel karakteristiğini gösteren sayısal verilerdir.

Kishea [76], dip sedimentlerin elementleri toplayıcı bir depo özelliği olduğu belirtmiştir. Ölçümlerimizde dip sediment örneklerindeki ağır metal derişimlerinin sulardan yüksek çıktığı görülmektedir.

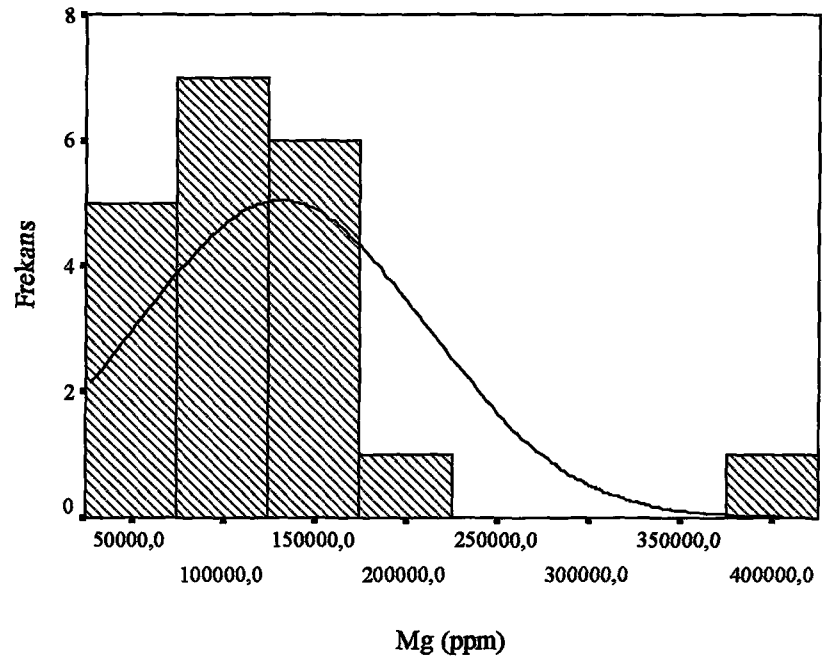
Sonbahardaki dip sedimentlerinde analiz edilen elementlerin istatistiksel analizleri EK-2’de verilmiştir.

Tablo 7.10: Sonbaharda alınan dip sediment örneklerinin ağır metal ve makro element seviyeleri.

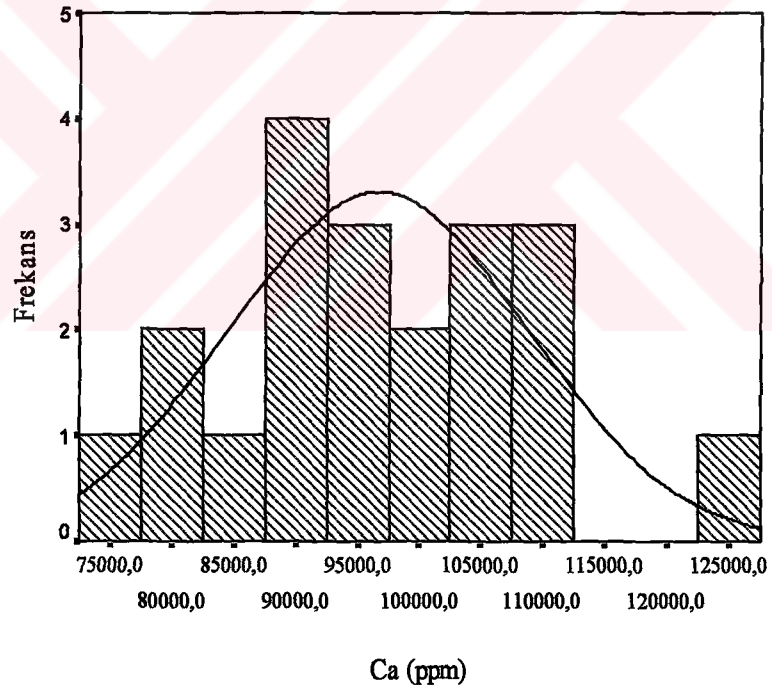
İstasyon	Fe (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Mn (ppm)
1	9282	64922	124604	455	5872	390,8	15,8	58,6	37,13	60,58	352,7
2	17872	122472	91337	1492	5054	528,8	45,41	126,15	52,14	75,69	812,27
3	17988	105312	98885	1055	5345	447,5	44,56	96,56	29,7	150,4	306,4
4	33607	136521	108274	1255	3407	579	50,86	239,04	440,1	240	1247,4
5	21889	123908	110774	10765	5928	360,3	45,44	166,6	42,6	370	659,3
6	30334	117627	103271	1285	6310	591	48,5	309,5	50,3	220,5	1146
7	26250	148328	96008	940	6514	5668	48	232	56	245,4	1275,4
8	29507	134302	96648	1642,2	6732	401,9	48,3	214,7	47,3	252,3	1236
9	14349	118134	97704	841	5324	6589	44,38	146,4	38,2	238	779
10	19422	148252	108869	625,7	604,73	593,6	40,3	186,4	37,8	206,1	820
11	11255	121497	88909	1124	5455	310,1	24,6	110,5	30,71	258,3	676,9
12	54866	124025	80401	264,9	2877	214,3	31,8	158,1	49	693	1074,3
13	8706	414686	105980	887,5	5980	347,2	21,9	75,6	20	415,9	496,3
14	18393,1	223170	87992	1355,6	6638	318,6	44,14	147,1	5	285	1016
15	1243	145695	81058	891,16	3542	119,5	6	10,5	5,5	430,8	165
16	13893	31031	88831	2055	5568	332	42,68	33,78	17,78	72,7	1080
17	8936	71121	77212	1739	5691	334,5	37,84	56,01	22	45,7	720
18	15706	73301	94819	578	5809	313,9	40,01	79,2	4,5	69,59	661,5
19	17978	57346	84780	837,5	6365	235,5	19,8	18,78	4,5	5	183,7
20	16904	152994	106935	861,6	6536	324,5	32,84	187,4	19,3	280,1	1025



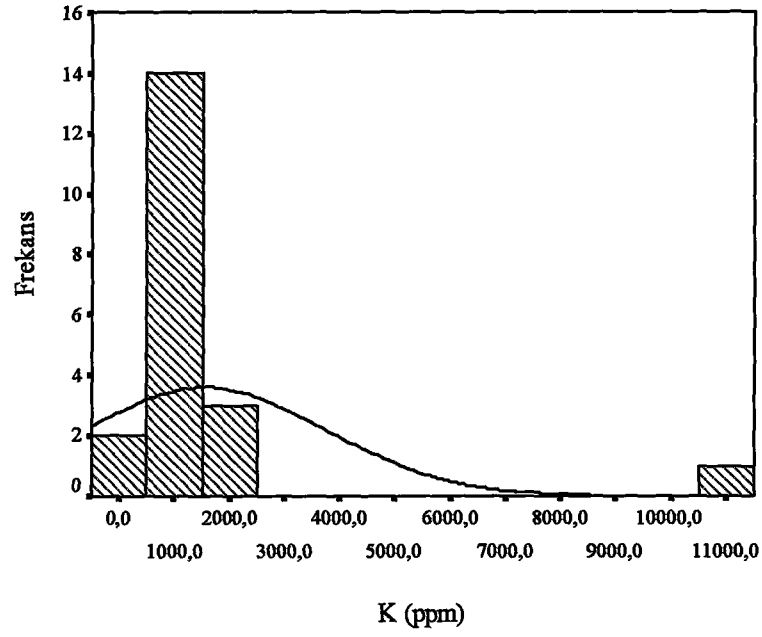
Şekil 7.39: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Fe derişiminin frekans değışimi.



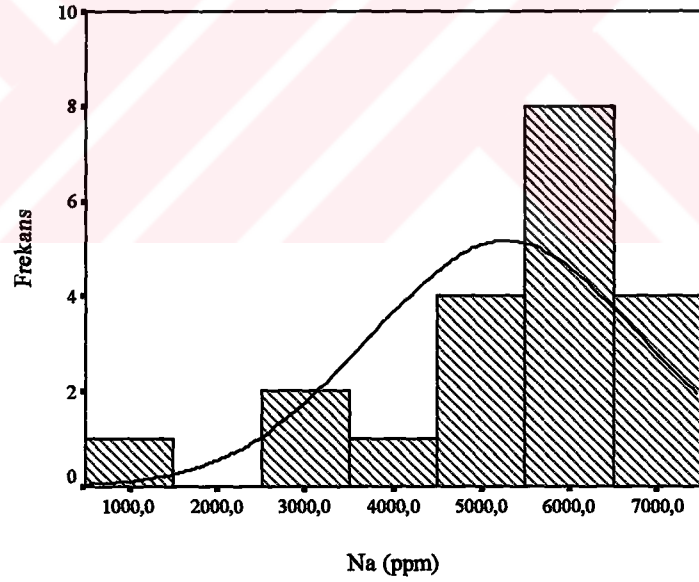
Şekil 7.40: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Mg derişiminin frekans değışimi.



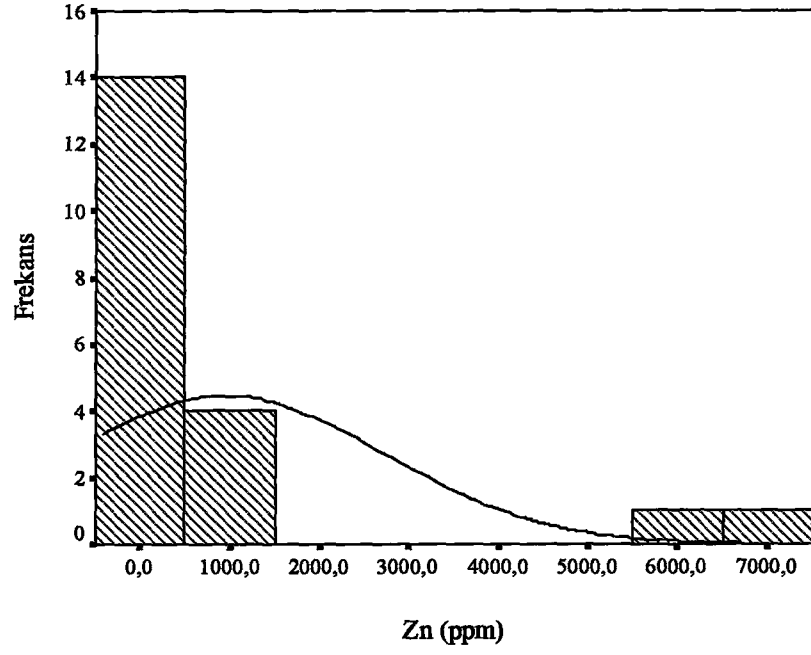
Şekil 7.41: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Ca derişiminin frekans değışimi.



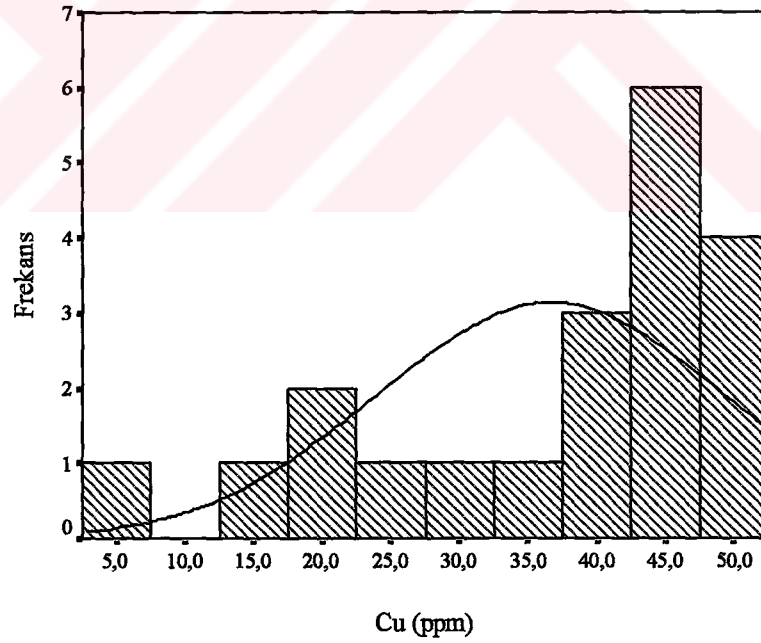
Şekil 7.42: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin K derişiminin frekans değişimi.



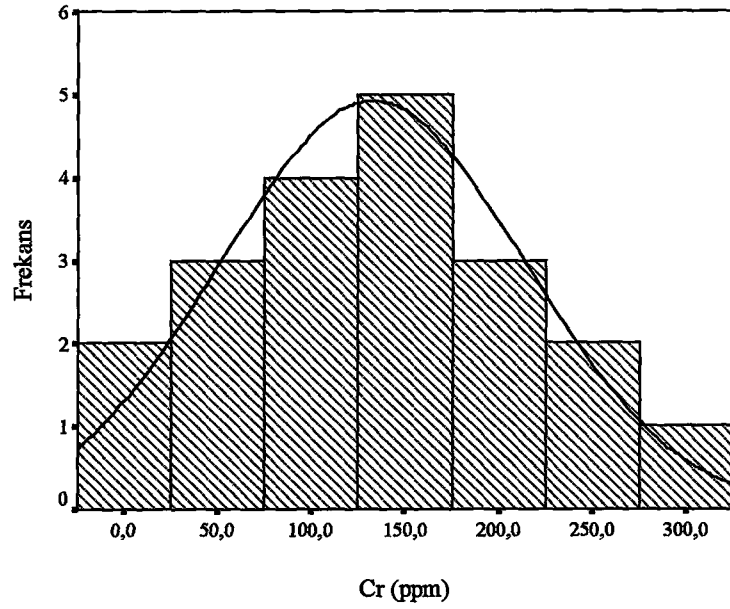
Şekil 7.43: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Na derişiminin frekans değişimi.



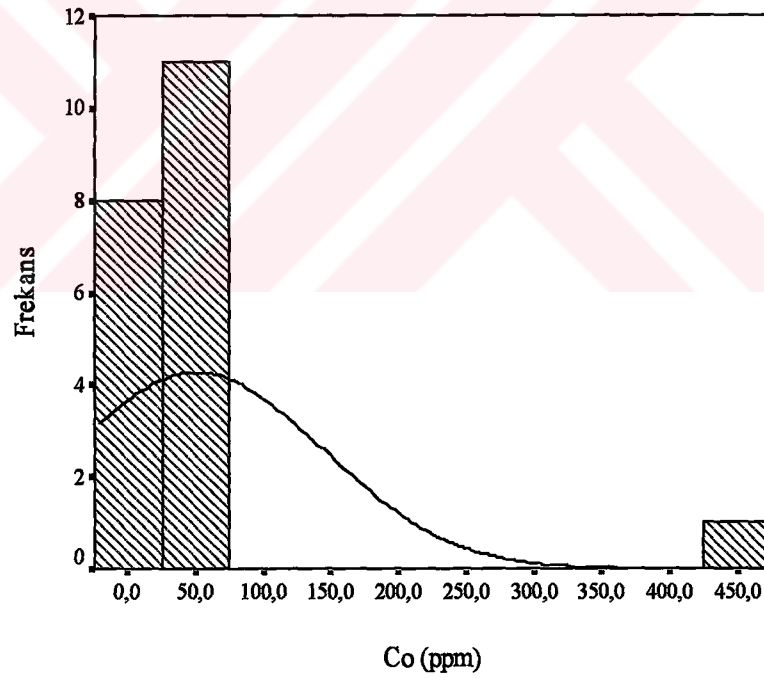
Şekil 7.44: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Zn derişiminin frekans değişimi.



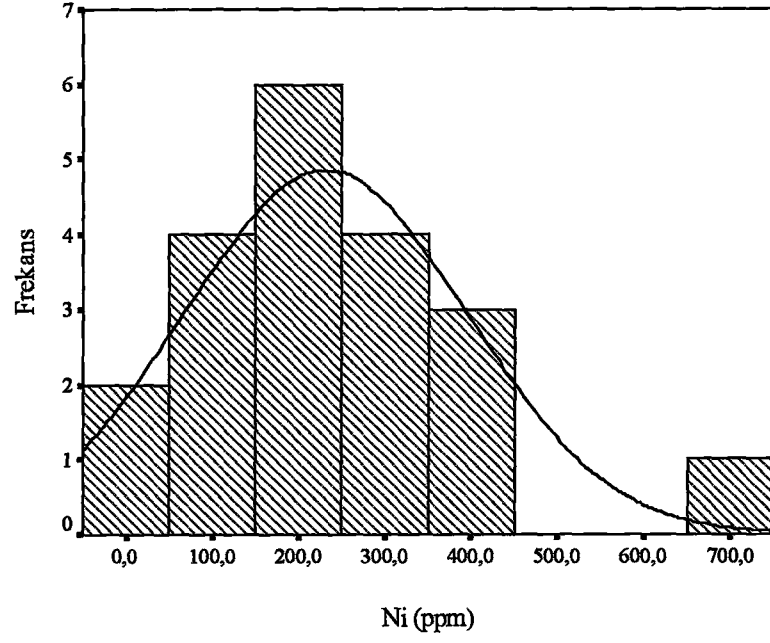
Şekil 7.45: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Cu derişiminin frekans değişimi.



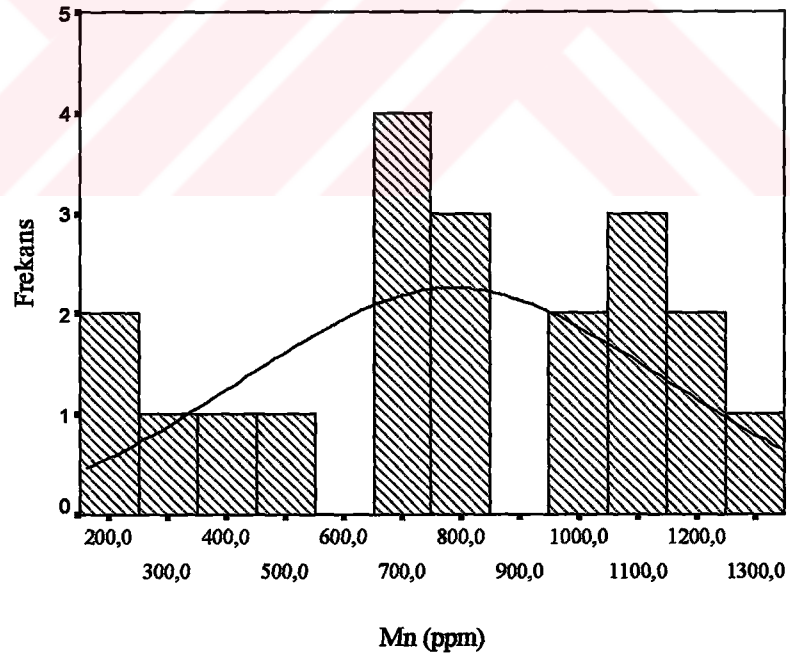
Şekil 7.46: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Cr derişiminin frekans değişimi.



Şekil 7.47: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Co derişiminin frekans değişimi.



Şekil 7.48: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Ni derişiminin frekans değışimi.

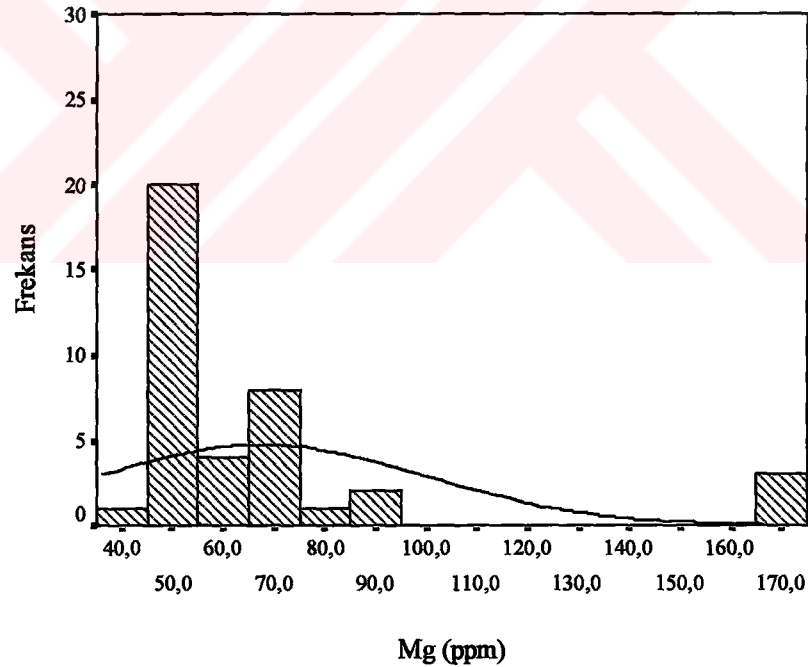


Şekil 7.49: Sonbaharda alınan dip sedimentlerinin Mn derişiminin frekans değışimi.

7.10.3. Uluova Bölgesi İlkbaharda Alınan Su Numunelerinde Ağır Metal ve Makro Element Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi'nden ilkbahar mevsiminde alınan su örneklerinde ağır metal ve makro elementlerin sonuçlarının (Tablo 7.11) frekans değerlerini gösteren grafiklerde Mg için elde edilen sonuçlar Şekil 7.50'de verilmiştir. Buna göre, Mg için 20 istasyonda elde edilen veriler 50 ppm civarındadır. Bu 20 istasyon %48,7 gibi oldukça yüksek bir değere karşılık gelmektedir. Bu durum bize Mg'un genel itibarıyla 50 ppm civarında bir derişime sahip olduğunu göstermektedir. Ca için; 9 istasyonda 16 ppm (Şekil 7.51), K için; 15 istasyonda belirlenen K yoğunluğu 12 ppm (Şekil 7.52), Na için; yine 15 istasyonda belirlenen yoğunluk 12 ppm (Şekil 7.53), Zn için; 15 istasyonda 0,25 ppm civarında ölçümler yapılmıştır (Şekil 7.54). Bütün bu değerler istasyon ve mevsim açısından Uluova Bölgesi'nin adı geçen elementler yönünden en sık belirlenen yoğunluklarını vermektedir.

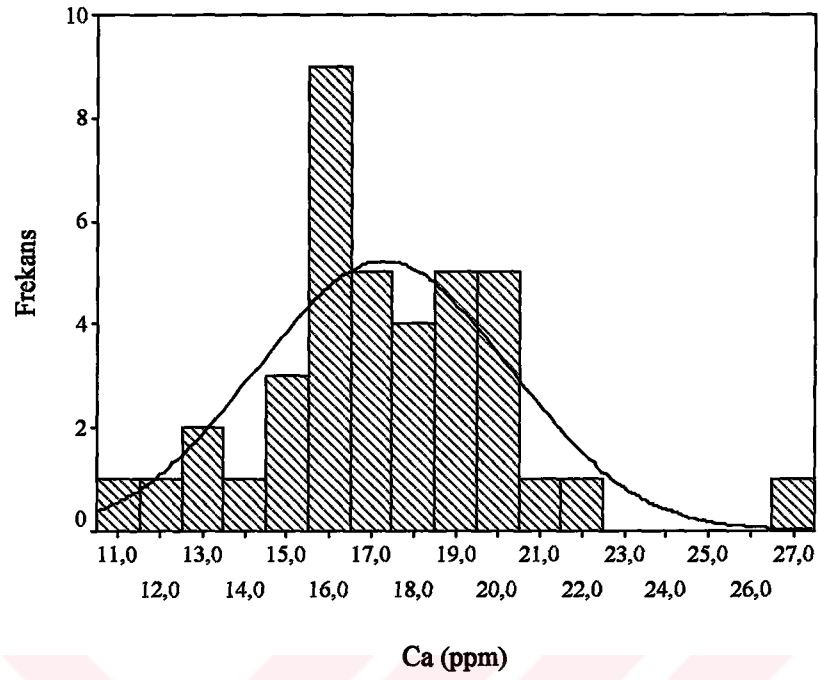
Tablo 7.11'deki elementlerin istatistiksel değişimi bu grafiklerin yanı sıra EK-3'te verilmektedir.



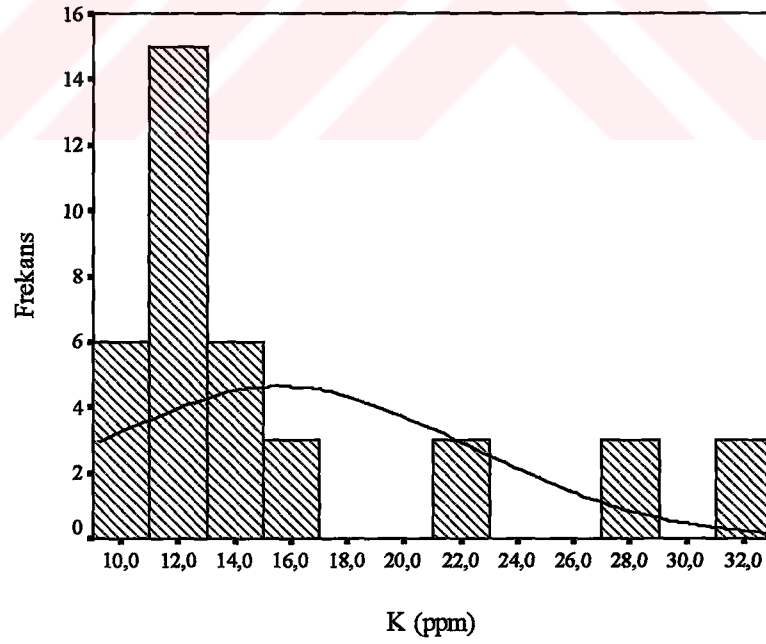
Şekil 7.50: İlkbaharda alınan su örneklerinin Mg derişiminin frekans değişimi.

Tablo 7.11: İlkbaharda alınan su örneklerinin ağır metal ve makro element seviyeleri.

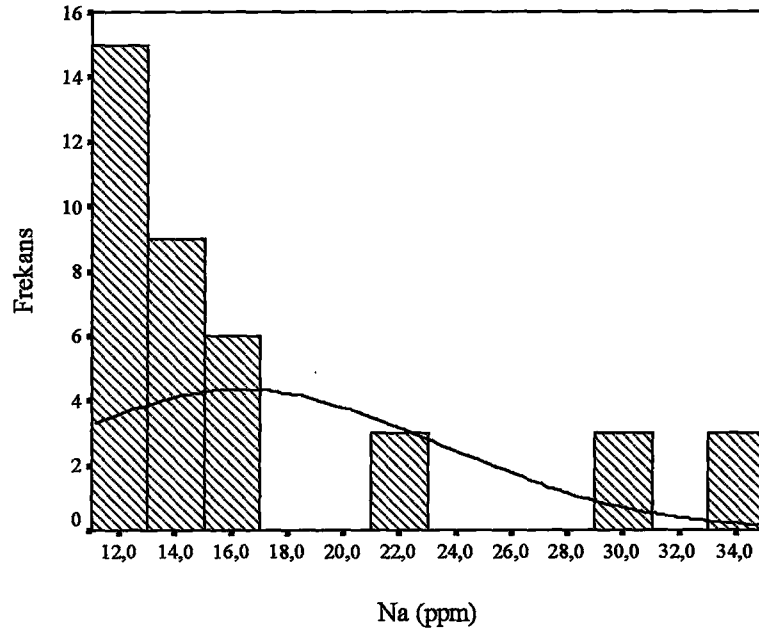
İstasyon No	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)
1	52,13	16,43	12,5	13,5	2,7
2	53,11	15,54	12,56	13,51	2,711
3	51	14,37	12,67	13,54	2,709
4	50,21	14,64	11,12	11,5	0,488
5	49,14	15,78	11,35	11,5	0,48
6	50,11	16,6	11,23	11,56	0,476
7	51,38	13,14	10,5	11	0,4
8	50,89	12,24	10,54	11,05	0,409
9	52,45	10,56	10,53	11,1	0,405
10	71,48	20,71	15	16	0,294
11	70,4	22,22	15,54	16,5	0,297
12	73,45	27,25	15,32	16,23	0,295
13	67,02	15,71	14,5	15,5	1,546
14	68,45	13	14,53	15,45	1,54
15	66,34	16,45	14,23	15,53	1,544
16	88,29	16,04	27,5	29	0,382
17	85,56	16,78	27,51	29,8	0,38
18	84,65	19,43	27,57	29,5	0,383
19	174,46	19,29	31,5	33	0,274
20	169,98	19,34	31,53	33,1	0,279
21	173,35	19,76	31,45	33,11	0,28
22	54,25	19,28	10,54	11	0,241
23	53,56	19,52	10,43	11,2	0,243
24	52,23	19,32	10,45	11,1	0,244
25	58,19	17,5	12,45	13	0,259
26	56,56	17,45	12,43	13,1	0,256
27	56,34	17,83	12,34	13,05	0,257
28	52,87	16,42	11,1	11	0,188
29	51,78	16,45	11,34	11,02	0,18
30	49,77	16,56	11,23	11,05	0,181
31	54,04	17,85	13,12	13	0,664
32	53,37	17,54	13,15	13,03	0,66
33	48	17,34	13	13,09	0,661
34	47,12	15	11	11,5	1,07
35	46,34	15,54	11,1	11,56	1,065
36	44,37	15,34	11,05	11,58	1,071
37	66,17	20	21,5	22	0,77
38	65,78	19,9	21,45	22,1	0,772
39	63,43	19,96	21,46	22,3	0,775



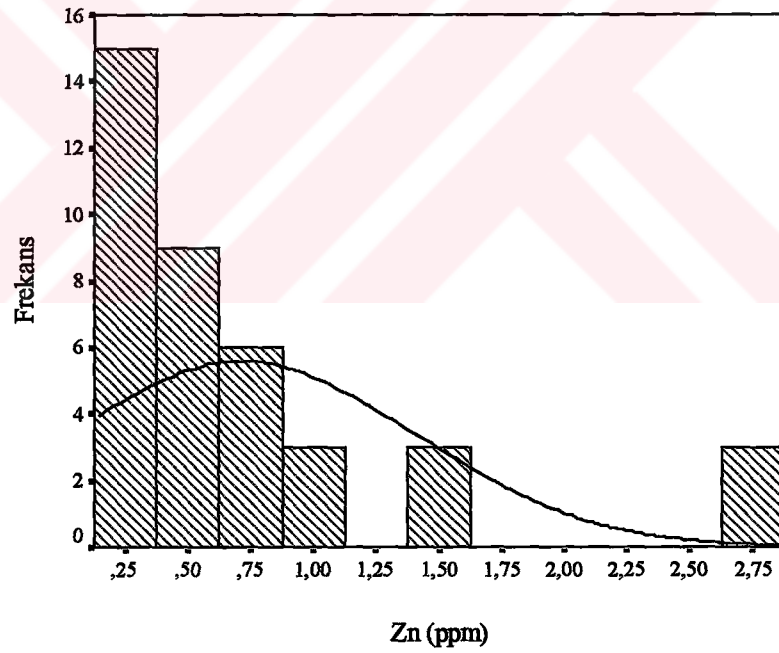
Şekil 7.51: İlkbaharda alınan su örneklerinin Ca derişiminin frekans değışimi.



Şekil 7.52: İlkbaharda alınan su örneklerinin K derişiminin frekans değışimi.



Şekil 7.53: İlkbaharda alınan su örneklerinin Na derişiminin frekans değişimi.



Şekil 7.54: İlkbaharda alınan su örneklerinin Zn derişiminin frekans değişimi.

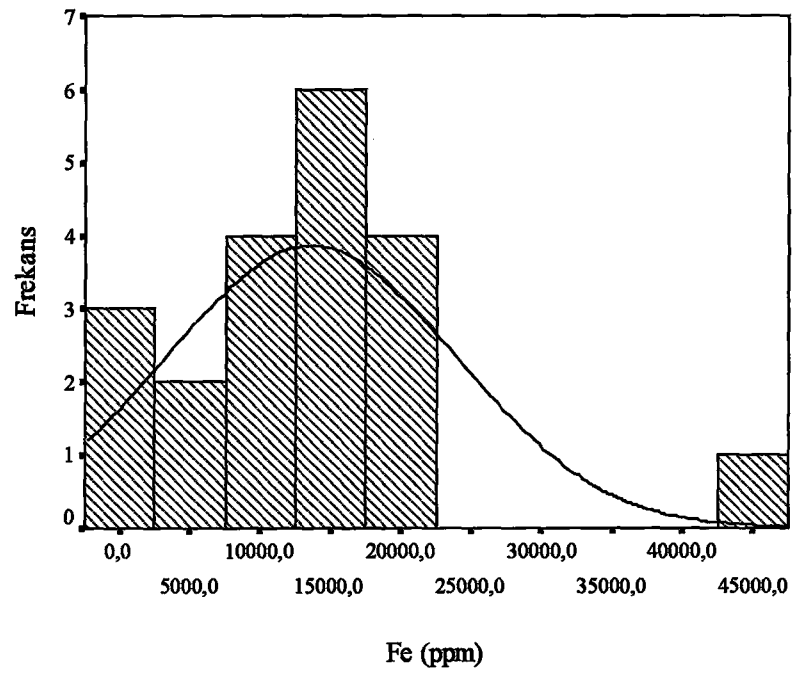
7.10.4. Uluova Bölgesi İlkbaharda Alınan Dip Sediment Örneklerinde Ağır Metal ve Makro Element Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi'nden ilkbaharda alınan dip sedimentlerinde (Şekil 7.8) elde edilen verilerden yararlanarak (Tablo 7.12), Fe için çizilen Şekil 7.55'de; 6 istasyonda 15000 ppm civarında bir derişim belirlenmiştir. Mg için (Şekil 7.56); 9 istasyonda 100000 ppm

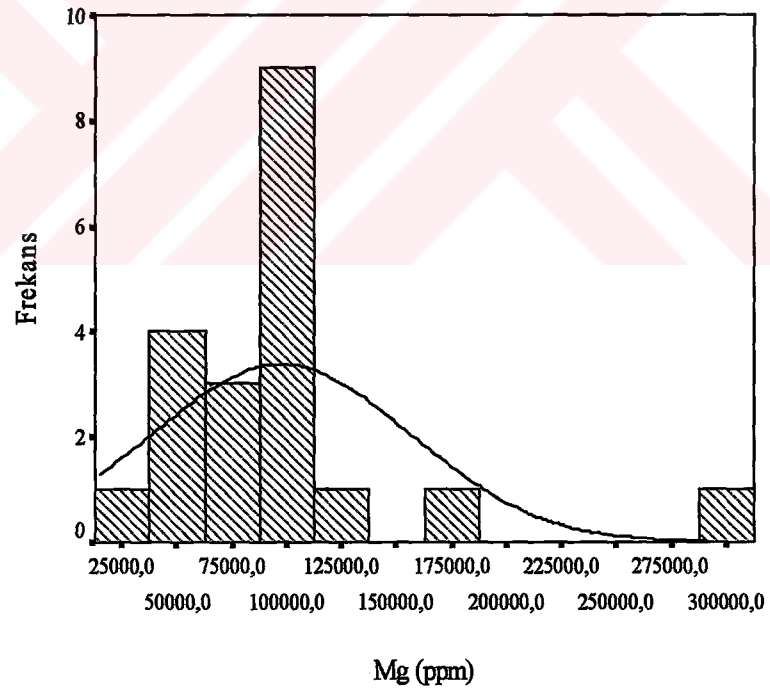
belirlenmiş diğer istasyonlarda en fazla 4 istasyonda yakın sonuçlar elde edilmiştir (50000 ppm). Ca için; düzensiz veriler elde edilmiştir (6 istasyonda 1-10000 ppm), 4 istasyonda ise 10000 ppm değerinde veriler elde edilmiştir (Şekil 7.57). K için; 6 istasyonda 1-1000 ppm arasında değerler belirlenmiş (Şekil 7.58), Na için 8 ve 6 istasyonda sırasıyla 1-1000 ppm arasında değerlere ulaşılmıştır. Bu 14 istasyon gölün Na için genel bir karakteristiğini vermektedir (Şekil 7.9). Zn için; 1-2000 ppm arasında değişen 12 istasyon gözlenmiştir (Şekil 7.60), Cu için 25 ve 40 ppm civarında derişimleri olan 4'er istasyon belirlenmiştir (Şekil 7.61). Cr için; 18 istasyonda 1-500 ppm arasında değerlere ulaşılmıştır (Şekil 7.62). Co için (Şekil 7.63); 19 istasyonda ölçülen bütün değerler 1-100 ppm arasında olup sadece 1 istasyonda (1. istasyon) 600 ppm civarında bir değere ulaşılmıştır. Ni için (Şekil 7.64); 7 istasyon 1-100 ppm civarında olup, 5 istasyon 200 ppm civarında bir derişime sahiptir. Mn için; 5 istasyonda 600 ppm, 4'er istasyonda 800 ve 1000 ppm değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 7.65).

Tablo 7.12: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinde ağır metal ve makro element seviyeleri.

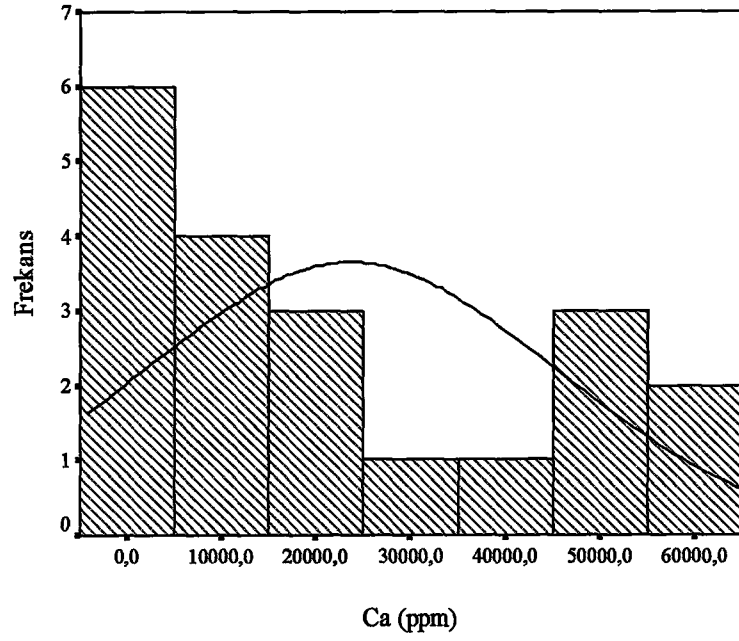
İstasyon	Fe (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Mn (ppm)
1	16600	87000	3392	7750	142,5	2544	40	86,2	621	49,3	862,05
2	21473	105209	2901,8	8821,6	178,7	1707,2	43,55	111,24	34,35	67,88	1120,6
3	18302,4	97203	1781,2	5781,2	106,2	1038,7	26,25	61,87	17,56	47,5	431
4	22108	88386	2721	10505	191	1839,8	40,1	107,71	26,83	63,31	1152,5
5	31,15	83573	12,65	102,14	190,3	18000	37,14	3707	31,85	228,8	1360,8
6	15483	110356	52301	395	124	332	39	101	17	178	793
7	11345	111543	63451	762	532	315	25	73	13	241	654
8	46392	115100	59351	256	456	262	34	69	18	498	1021
9	7659	300321	32493	378	2456	212	15	23	21	203	401
10	14709	182256	24618	1173	236	112	42	5	16	412	592
11	7011	84574	24184	6243	5763	5763	24,01	22,5	32,9	47,35	993,5
12	576,7	90430	6358	3510	190,5	190,5	21,5	306,95	25,07	42,6	778,2
13	21202	87782	6752	9561	2250	2250	27,9	285,9	28,09	182,1	1008,9
14	9672	89663	13456	4385	4030	4030	22,75	33,33	23,7	606	653,9
15	4908	47653	10016	438,2	876,4	375,6	14	21,58	14,07	29,5	474,8
16	1304	21302	52601	743	589	172	7	30	17	70	1003
17	13245	45610	2964	1857	592	152	37	58	21	44	654
18	8754	41782	24971	1521	421	282	32	45	4,2	61	573
19	14376	56240	48291	432	368	147	19	12	5	18	190
20	16754	102361	38612	506	269	201	28	125	13	253	754



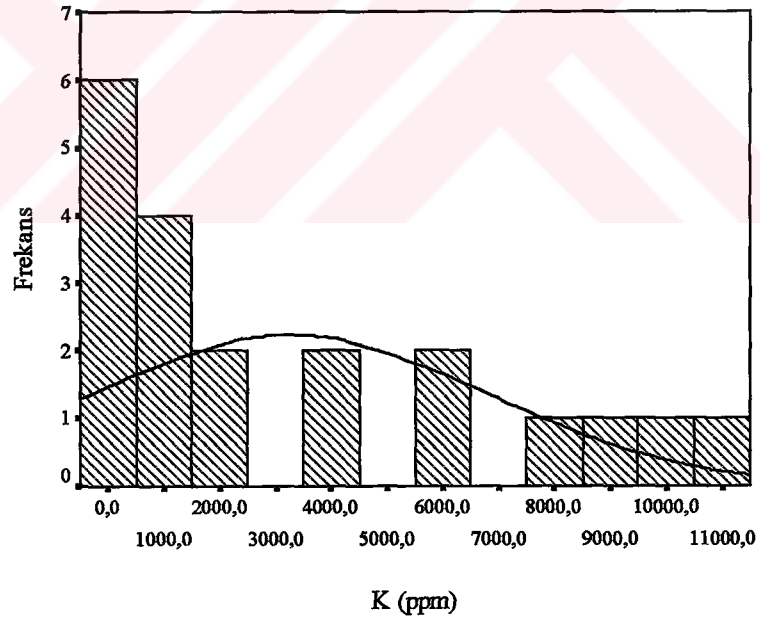
Şekil 7.55: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Fe derişiminin frekans değışimi.



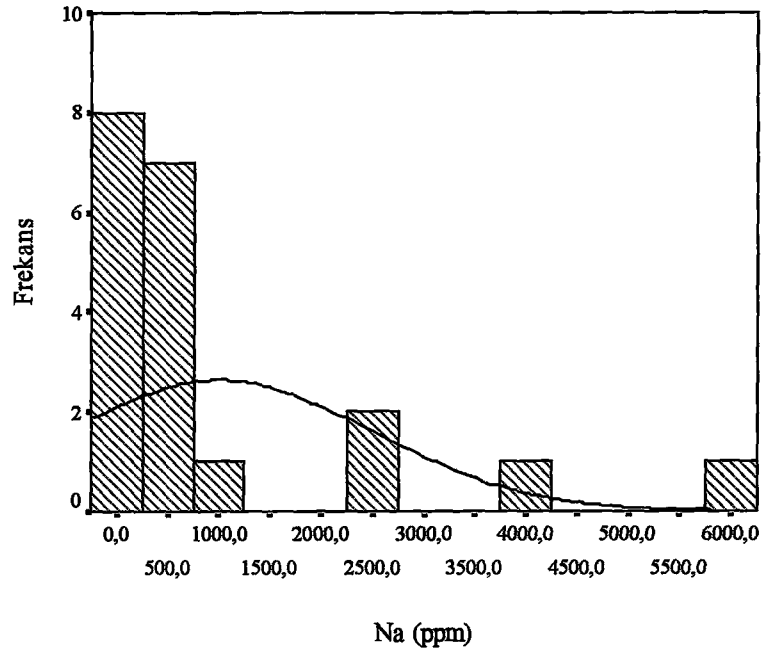
Şekil 7.56: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Mg derişiminin frekans değışimi.



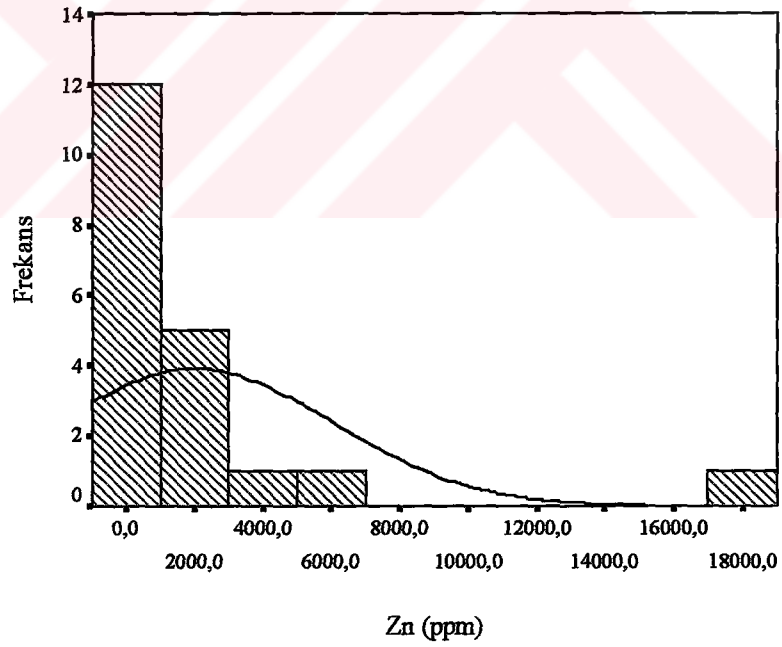
Şekil 7.57: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Ca derişiminin frekans değişimi.



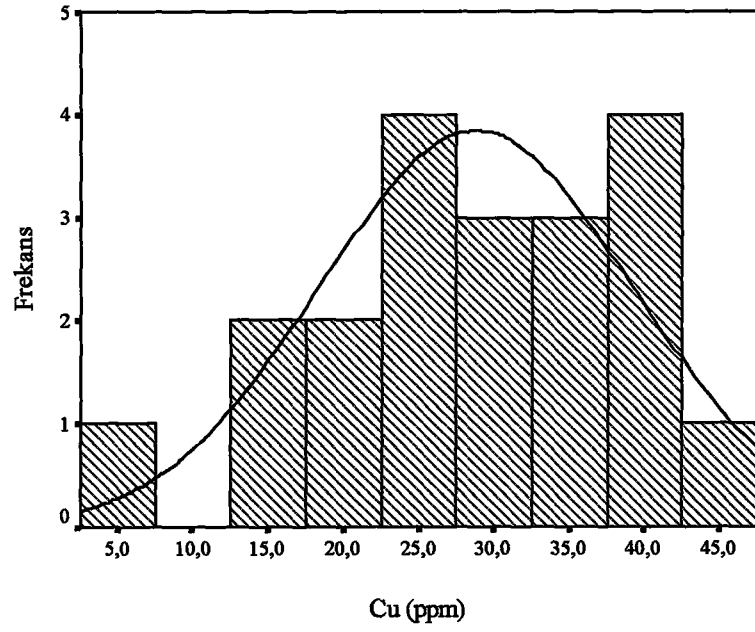
Şekil 7.58: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin K derişiminin frekans değişimi.



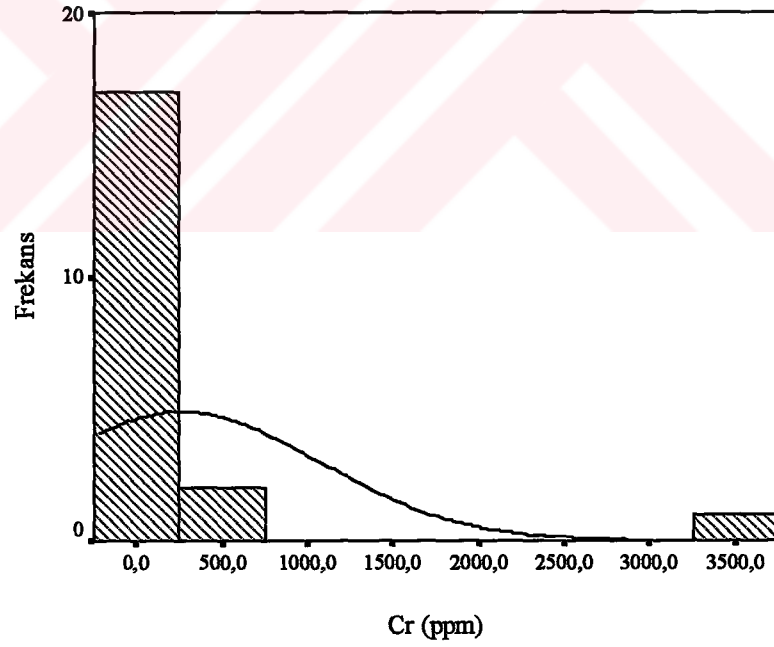
Şekil 7.59: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Na derişiminin frekans değışimi.



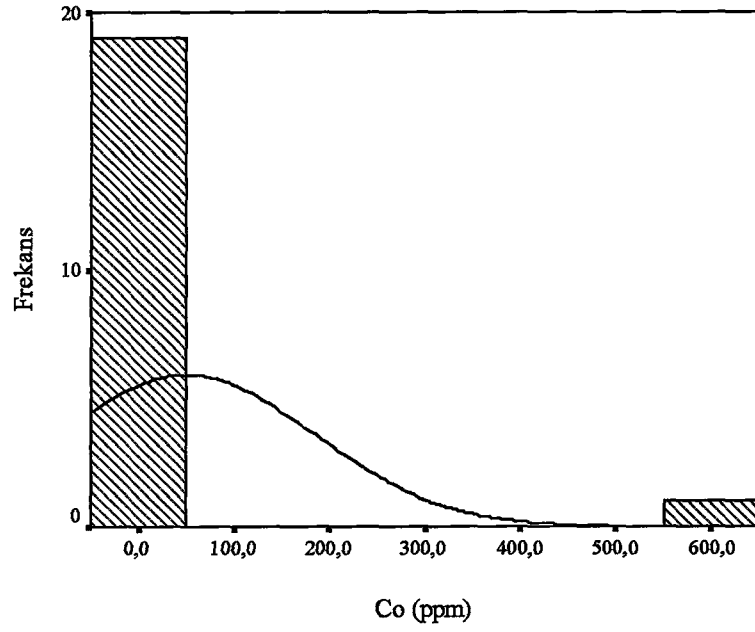
Şekil 7.60: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Zn derişiminin frekans değışimi.



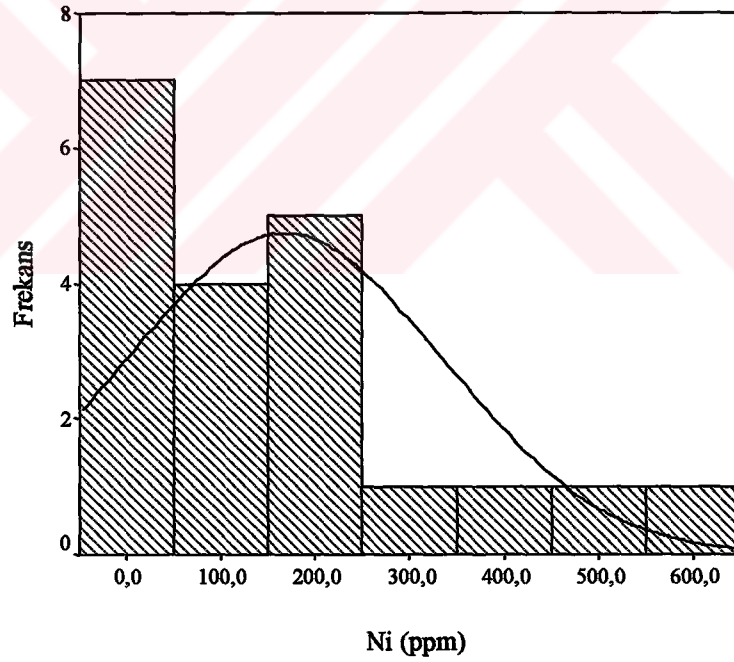
Şekil 7.61: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Cu derişiminin frekans değişimi.



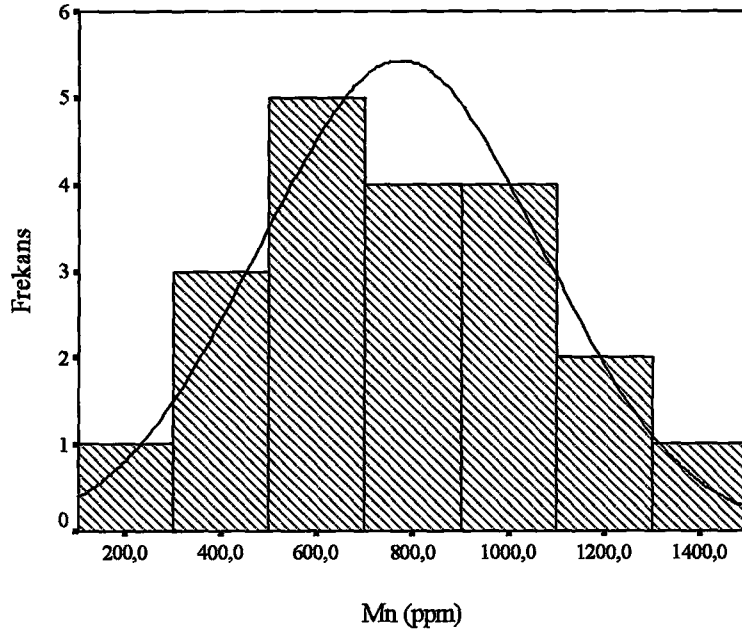
Şekil 7.62: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Cr derişiminin frekans değişimi.



Şekil 7.63: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Co derişiminin frekans değışimi.



Şekil 7.64: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Ni derişiminin frekans değışimi.



Şekil 7.65: İlkbaharda alınan dip sediment örneklerinin Mn derişiminin frekans değışimi.

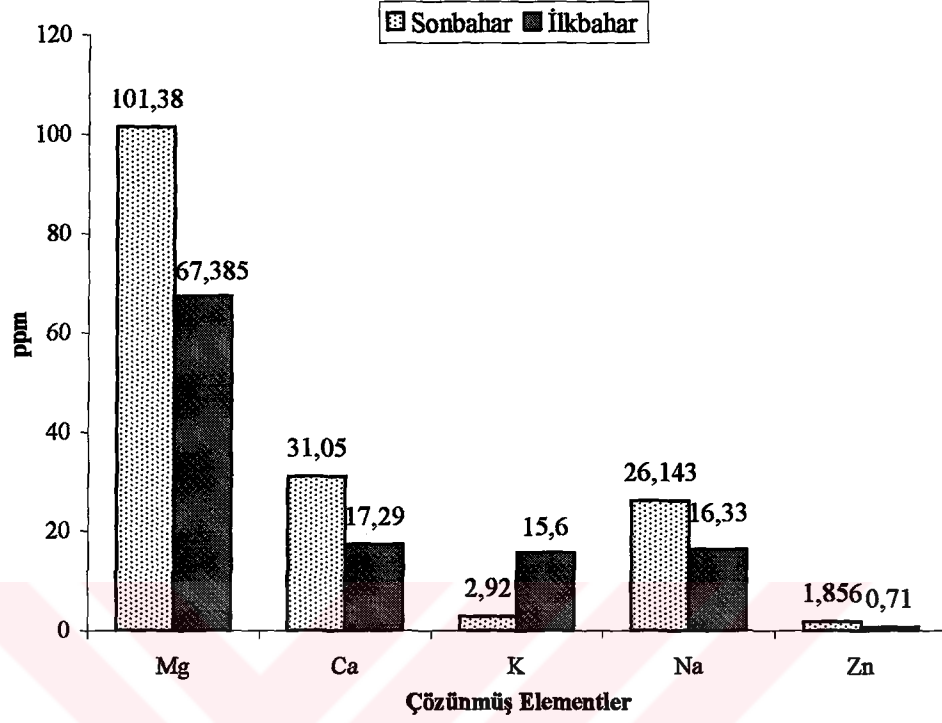
7.10.5. Su Örneklerindeki Ağır Metal ve Makro Elementlerin Mevsimsel Değişimi

Mg, Ca, K, Na, Zn için çizilen Şekil 7.66'da bu elementlerin mevsimsel değişimi görülmektedir. Buna göre, Mg, Ca, Na, Zn'nin sonbaharda ölçülen derişimlerinin ortalamaları, ilkbahardakinden daha yüksek çıkmıştır. K için bu durum tersinedir. Sonbaharda Uluova Bölgesi'nde iklim, ilkbahardakinden daha kurak olduğundan analiz yapılan elementlerin derişimleri bu nedenle sonbaharda daha yüksek çıkmıştır. Bu durum kuru mevsimde, toz parçacıkları tarafından emilmiş elementlerin etkisiyledir. Mekong Nehri deltasında, yapılan analizlerde de benzer sonuçlara rastlanmıştır [91].

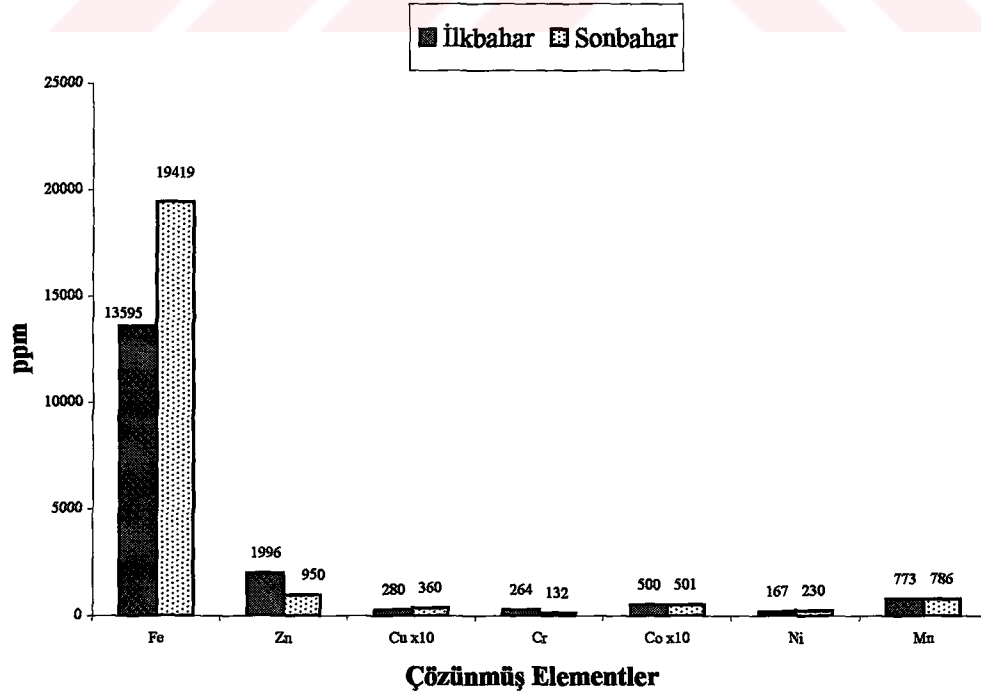
7.10.6. Toprak Örneklerindeki Ağır Metal ve Makro Elementlerin Mevsimsel Değişimi

Dip sedimentlerindeki element derişimlerinin sularda ölçülen derişimlerden daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum dip sedimentlerinin, elementleri tutucu davranışlarına bağlanabilir.

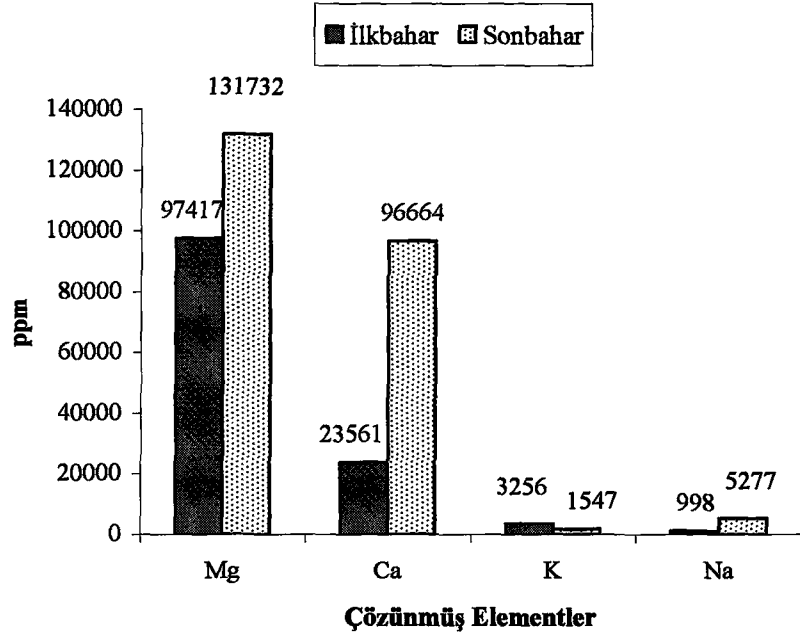
Şekil 7.67a'da gösterildiği gibi, dip sedimentlerde Fe, Cu, Co, Ni, Mn'in sonbahardaki derişimleri ilkbahardaki derişimlerinden; Fe'de %30, Cu'da %22,2, Co'da %0,19, Ni'de %27,3, Mn'da ise %1,6 daha fazladır. Özellikle Co ve Mn'daki değişimlerin ihmal edilebilecek kadar az olduğu görülmektedir. Zn ve Cr'nin ilkbahardaki derişimleri ise; Zn'da %52,2, Cr'da %50 oranında sonbahardan daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 7.66: Suda çözünen makro elementler ve ağır metallere Zn'nun mevsimsel değişimi.



Şekil 7.67a: Dip sedimentlerindeki bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi.



Şekil 7.67b: Dip sedimentlerindeki makro elementlerin mevsimsel değişimi.

Şekil 7.67b’de sonbaharda ölçülen örneklerde; Mg %26, Ca %75,6 ve Na %81 oranında ilkbaharda ölçülen örneklerin derişimlerinden daha fazladır. İlkbahar mevsiminde K; %52,48 oranında, sonbaharda ölçüm alınan istasyonlarda belirlenen derişimlerden daha yüksek çıkmıştır.

7.10.7. Ağır Metal ve Makro Element Analizleri Sonuçları için Genel Değerlendirmeler

Aşırı gübreleme, herbisitler (yabani ot öldürücüler), tarım alanlarından ve yerleşim yerlerinden gelen böcek ilaçları, petrol, makine yağı, kentsel yerleşim yerlerinden ve enerji üretiminden meydana gelen toksik kimyasallar, atmosferik depolanma ve hidro değişiklikler, noktasal olmayan kirlilik kaynaklarıdır. Ağır metallerin artışına sebep olan kirliliklerdendirler. Ayrıca erozyon, sulardaki metal derişimlerini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Ağır metaller, kil ve organik maddelerin içerisinde depolanabilirler [92].

Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi’ndeki sularda en yüksek ağır metal derişimleri Mg, Ca, Na’da belirlenmiştir. Bu temel katyonların çoğu; toprak ve kayalar arasındaki jeokimyasal ve iyon deriştirme reaksiyonları tarafından sağlanır [93].

Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi’nden aldığımız su örnekleri üzerinde yaptığımız ağır metal analizlerinden elde ettiğimiz sonuçların, yapılan literatür taraması sonucunda, göller üzerinde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılması Tablo 7.13’te verilmiştir. Bu sonuçlara göre; incelenen literatür içerisinde Mg elementinin derişimi Texoma gölünden fazla bulunmuştur. Ca oranı ise hemen hemen bütün göllerden düşüktür. K derişimi; incelenen

literatür içerisinde tek ölçüm alınan Texoma gölünden yüksektir. Zn ise incelemesi yapılan bütün göllerin derişimlerinden yüksektir. Zn'nin temel kaynağı; döküm ocakları, elektrik santrali, volkanik hareketler, gübreleme işlemleri ve bitkilerdir [94]. Göl etrafındaki gübreleme çalışmaları Zn'nin yüksek çıkmasının sebebi olarak gösterilebilir.

Tablo 7.13: Bazı göl sularında yapılan makro element ve ağır metal analiz sonuçları.

Göl	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Kaynak
Bu çalışma	84	24	8,5	16	1,28	EK-1, EK-3
Keban Baraj Gölü	18	42	2,63	20,7		[86]
Keban Baraj Gölü	15	50	5	21	0,7	[88]
Atatürk (Bozyazı)					0,064	[95]
Atatürk (Adıyaman)					0,197	[95]
Texoma	38	102	5,342	204	0,059	[96]
Burtnieks		34			0,003	[97]
Juglas		70,5			0,345	[97]
Kışezers		59,5			0,287	[97]
M.Baltzers		59			0,435	[97]
Rušons		42,6			0,512	[97]
Rāznas		35,5			0,328	[97]
Liepājas		52,9			0,407	[97]
Bušnieku		28			0,329	[97]
Zebrus		31,1			0,680	[97]
Cieceres		32,6			0,425	[97]
Engures		28,9			0,355	[97]
Alūksnes		25,5			0,290	[97]
Dreimaņu		52,3			0,310	[97]
Čertogs		4,4			0,425	[97]
Tolkojas		1,5			0,390	[97]
Lubāns		74,1			0,320	[97]

Sedimentler; sulu ortam, farklı jeokimyasal fazlar içerisinde iz elementlerin bir kaynağı olur ve elementlerin hareketinin sağlandığı yapılardır. Jeokimyasal döngü kavramı, yani, yeryüzünün değişik bölgelerindeki elementlerin hareketi, yapılan çeşitli çalışmalarda ortaya konulmuştur [98]. Sedimentler ağır metalleri tuzakladıklarından dolayı sediment örneklerindeki metal derişimleri sulardakinden daha fazla çıkmıştır.

Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi'nden aldığımız dip sediment örnekleri üzerinde yaptığımız ağır metal analizlerinden elde ettiğimiz sonuçların, yapılan literatür taraması ile karşılaştırılması Tablo 7.14'te verilmiştir. İncelenen literatür içerisinde yapılan çalışmalarda Mg, Ca, K, Na elementlerinin analizleri yapılmadığından tabloda gösterilmemiştir. Bu elementlerle ilgili ortalama değerler ve diğer istatistiksel bilgiler EK-2 ve EK-4'te verilmiştir.

Çalışmamızda yapılan Fe elementi analizleri sonuçları sadece; Atatürk Baraj Gölü (Adıyaman) sediment örneklerinden daha azdır. Zn, Cr, Co, Ni, Mn derişimleri bütün göllerden daha yüksektir. Cu elementi derişiminin ise, diğer göllerle karşılaştırıldığında ortalama bir değere sahip olduğu görülmektedir. Elazığ Uluova Bölgesi'nde özellikle Cu, Zn, Fe ve Cr maden rezervlerinin varlığı MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir [99]. Ağır metallerden; Cr, Mn gibi elementler genellikle doğal ortamdan gelmektedir. Fe; metallerin sular içerisinde paslanmasından kaynaklanabilmektedir. Ni; dizel motor yakıtı ve yağ atıklarından kaynaklanmaktadır [92]. Göl üzerinde oldukça fazla olan ve dizel yakıtla çalışan balıkçı tekneleri bu elementlerin diğer bir kaynağı olarak gösterilebilir.

Cu'nun fazla olduğu yerler olan (Tablo 7.12), 1'den 5. istasyona kadar olan kesimde teknelerden artan yağ miktarları çok etkilidir [100].

Cu, Zn gibi ağır metaller suda çok az miktarlarda bulunurlar. Bunların hepsi su hayvanları için toksindir. Çoğu 1 ppm sınırında öldürücüdür. Cu ve Zn gibi ağır metaller, ekosistem için ciddi birer tehlike oluşturmaktadırlar [101].

Zn normal miktarlarda bazı enzimatik fonksiyonlar için gereklidir ve birçok proteinlerde yapı elementi olarak bulunur. Cu bazı enzimlerde bulunur ve pek çok omurgasızın kan proteininde solunum pigmenti halinde mevcuttur. Çinko ve bakır özellikle deniz balıklarındaki protozonlardan meydana gelen hastalıkların tedavisinde kullanılır. Burada metalin toksin etkileri bir süre sonra CaCO_3 ile çökelmeyle giderilir. Çinko ve bakır balıklarda aşırı salgılanmaya neden olur ve balıklara zararlı olan bazı organizmaları öldürürler. Bu nedenle göl üzerinde bu iki elementin dengesinin muhafazası için aralıklı olarak ölçüm yapılmasında fayda vardır [2].

Tablo 7.14: Bazı göllerdeki dip sedimentlerinde yapılan ağır metal analiz sonuçları.

Göl	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Mn (ppm)	Kaynak
Bu çalışma	16500	1473	32,7	198,45	50	198	779	EK-2, EK-4
Kali Nadi Nehri		90,4	0,2	7,3				[102]
L. Kariba		42,4	16,1	29,3				[103]
L. Victoria (Uganda)		86	41	67				[104]
L. Victoria (Kenya)		138,8	39,8					[105]
L. Victoria (Tanzania)		29,6	21,6	11				[76]
Atatürk (Bozyazı)	12587	60,79	14,57			43,69	73,60	[95]
Atatürk (Adıyaman)	19265	59,14	22,70			139,69	514,07	[95]
Karadeniz	9554,12	58,97	80	25,59	3,69	12,96	302	[106]
Göl 1		73	5			55		[107]
Göl 2		185	166			52		[107]
Göl 3		55	28			20		[107]
Göl 4		43	26		5	40		[107]
Göl 5		33	6		9	10		[107]
Taihu		679,6	462	68,6	11,8	31,3	547	[108]
Burtnieks		23,75	4,37			4,06	31,25	[97]
Juglas		78,43	15,34			11,18	79,12	[97]
Ķīšezers		69,73	16,34			6,74	81,17	[97]
M.Baltzers		25,65	6,15			4,18	54,12	[97]
Rušons		48,17	3,04			3,25	28,47	[97]
Rāznas		64,31	6,15			4,15	48,31	[97]
Liepājas		68,35	55,62			6,95	49,55	[97]
Bušnieku		49,24	9,58			13,27	28,27	[97]
Zebrus		29,73	1,33			2,48	37,85	[97]
Cieceres		56,38	6,48			6,42	37,85	[97]
Engures		22,53	13,52			10,75	78,36	[97]
Alūksnes		25,39	8,39			9,35	41,21	[97]
Dreimaņu		15,32	4,32			2,04	15,38	[97]
Čertogs		36,54	9,13			7,14	58,43	[97]
Tolkojas		18,32	2,85			3,11	14,28	[97]
Lubāns		65,24	3,76			3,31	41,55	[97]

Tablo 7.15'te su ve dip sedimentlerdeki ağır metal ve makro element standartları verilmiş ve çalışmamızla karşılaştırılmıştır. Tabloda sediment örneklerindeki; Mg, Ca, Zn, Cr, Co, Ni, Mn elementleri standartlardan yüksek tespit edilmiştir. Özellikle; Mg, Ca ve Zn derişimleri oldukça yüksek bulunmuştur. Bu durum dip sedimentlerinde adı geçen elementlerin birikme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ayrıca Çimento Fabrikası atıklarının kanalizasyon yoluyla göle ulaşması Ca değerlerinin dip çamurundaki artışa katkı yaptığı düşünülebilir [109].

Zn'nin çok yüksek olması ortamdaki canlılar açısından ciddi sonuçlar doğurabilecek niteliktedir. Derişimleri standartların altında olan elementler ise, Fe, K ve Na'dır. Bu elementlerden K ve Na sınır değerlerinin çok çok altındadır. Fe'nin Uluova Bölgesi'ndeki kaynakları arasında mezbaha atıklarının kanalizasyon yolu ile göle akıtılması sayılabilir. Organik maddenin ve kanın yapısında bulunan Fe, gölde yüzey sularında ve dip sedimentlerinde tespit edilmiştir [109].

Tablo 7.15'te su örneklerini standartlarla karşılaştırdığımız zaman; sadece Mg'un sınır değerlerden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Mg'un Uluova Bölgesi'nde temel kaynağı toprak ve kayaçlar arasındaki jeokimyasal ve iyon değiştirme reaksiyonlarıdır [93].

Tablo 7.15: Su ve sedimentlerdeki Ağır Metal ve Makro element standartlarının çalışmamızla karşılaştırılması (Ortalama Değerler).

Sediment	Fe (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Mn (ppm)	Kaynaklar
Bu Çalışma	16500	114574	60112	2400	3137	1473	32,7	198	50	198	779	EK-2, EK-4
Türkiye	35400	13900	28700	28400	24500	60	30	70		44	690	[88, 110]
Türkiye						150	50	100	20	30		[111]
Macaristan						100				25		[112]
Su												
Bu Çalışma		84	24	8,5	16	1,28						Kaynaklar
TSE-266 (Müsaade Edilen/Arzu Edilen)		50	200	12	175	5 / 0						EK-1, EK-3
WHO					200							[113, 114]
Avrupa Topluluğu (EC)					200							[83]
EPA						5						[83]

7.11. Korelasyon Katsayılar Matrisinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Uluova Bölgesi'nden bahar mevsiminde alınan su örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisinde (Tablo 7.16), Mg'un; K (0,865; $p<0,01$), Na (0,863; $p<0,01$), sertlik (0,869; $p<0,01$) ve iletkenlikle (0,767; $p<0,01$) çok güçlü bir ilişkisi vardır. Mg'un sertlikle olan ilişkisi sularda Mg dan kaynaklanan sertlik sonucunu akla getirmektedir.

K'un; Na (0,999; $p<0,01$) ile çok güçlü bir ilişkisi vardır. Na ve K özellikle sularda ortak bir şekilde bulunan elementlerdendir. K ile sertlik (0,737; $p<0,01$) ve iletkenlik (0,685; $p<0,01$) arasında yine güçlü bir ilişki vardır. Na ve K'un kendi aralarında ve K'un iletkenlikle ve toplam sertlikle olan ilişkisinden sonra Na'un sertlik (0,74; $p<0,01$) ve iletkenlik (0,692; $p<0,01$) arasındaki ilişkide beklenen bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sertlik ve iletkenlik arasındaki güçlü korelasyon; iletkenliği meydana getiren iyonların sertliği de oluşturduğu konusunda bize fikir vermektedir (0,803; $p<0,01$).

Tablo 7.17'de; Uluova Bölgesi'nden bahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; Ca ile K arasında zıt yönlü güçlü bir ilişki vardır (-0,606; $p<0,01$). Zn ve Cr arasında çok güçlü bir ilişki vardır. Yine Zn ve Mn arasında (0,563; $p<0,01$) seviyesinde bir ilişki vardır.

Tablo 7.18'de; Uluova Bölgesi'nden güz mevsiminde alınan su örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi görülmektedir. Tablo 7.18'e göre, Mg ile sertlik arasında (0,592; $p<0,01$) anlamlı bir ilişki görülmektedir.

İletkenlik ile sertlik arasında (0,554; $p<0,01$) seviyesindeki anlamlılık; iletkenlik ile sertlik arasındaki ilişkiyi göstermektedir. İletkenlik ve pH arasındaki (0,538; $p<0,01$) seviyesinde pozitif yönlü bir ilişki vardır. İletkenliğe sebep olan iyonların pH üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. İletkenlik ve T_β radyoaktivitesi arasında negatif yönlü bir ilişki görülmektedir (-0,331; $p<0,05$).

Tablo 7.19'da; Uluova Bölgesi'nden güz mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisinde T_β ile K arasındaki pozitif yönlü ilişki (0,494; $p<0,05$) ⁴⁰K radyo-izotopundan kaynaklanması güçlü bir ihtimaldir.

Fe'in; Cr (0,693; $p<0,01$) ve Mn (0,622; $p<0,01$) ile arasında anlamlı bir ilişki vardır. Aynı zamanda Cr ile Cu arasında (0,676; $p<0,01$) ve Cr ile Mn arasında (0,765; $p<0,01$) anlamlı bir ilişki görülmektedir.

Tablo 7.16: Uluova Bölgesi'nden bahar mevsiminde alınan su örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.

	Ta (Bq/L)	Tp (Bq/L)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	İletkenlik (µmho/cm)	pH
Ta	1									
Tp	0,083	1								
Mg	0,236	-0,063	1							
Ca	0,114	-0,067	0,334*	1						
K	0,253	-0,132	0,865**	0,366*	1					
Na	0,267	-0,127	0,863**	0,361*	0,999**	1				
Zn	0,036	-0,003	-0,218	-0,317*	-0,172	-0,152	1			
Sertlik	0,234	-0,03	0,869**	0,188	0,737**	0,74**	-0,341*	1		
İletkenlik	0,315*	-0,281*	0,767**	0,144	0,685**	0,692**	-0,293*	0,803**	1	
pH	0,197	0,19	0,281*	0,071	0,122	0,14	0,16	0,324*	0,135	1

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

Tablo 7.17: Uluova Bölgesi'nden bahar mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.

	Ta (Bq/L)	Tp (Bq/L)	Fe (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Mn (ppm)
Ta	1												
Tp	-0,019	1											
Fe	-0,061	-0,254	1										
Mg	-0,266	-0,366	0,119	1									
Ca	-0,251	0,197	0,202	0,119	1								
K	0,367	-0,256	0,236	-0,105	-0,606**	1							
Na	0,353	-0,196	0,183	0,146	-0,041	0,204	1						
Zn	0,407	-0,277	-0,302	-0,089	-0,364	0,035	0,179	1					
Cu	0,205	-0,53*	0,457*	0,055	-0,312	0,341	-0,335	0,202	1				
Cr	0,182	-0,235	-0,303	-0,064	-0,282	-0,167	-0,14	0,922**	0,201	1			
Co	0,043	0,031	0,067	-0,034	-0,251	0,333	-0,11	0,065	0,272	-0,029	1		
Ni	-0,229	-0,145	0,342	0,36	0,285	-0,245	0,217	0,111	0,126	0,073	-0,163	1	
Mn	0,351	-0,299	0,141	-0,193	-0,219	0,393	0,015	0,563**	0,412	0,504*	0,115	0,078	1

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

Tablo 7.18: Uluova Bölgesi'nden güz mevsiminde alınan su örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.

	Ta (Bq/L)	Tp (Bq/L)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	İletkenlik (µmho/cm)	pH
Ta	1									
Tp	0,273	1								
Mg	-0,015	-0,298	1							
Ca	0,021	0,291	-0,139	1						
K	-0,126	-0,027	0,151	-0,054	1					
Na	0,14	-0,039	0,224	0,179	-0,391*	1				
Zn	-0,024	-0,199	0,256	-0,097	0,337*	-0,282	1			
Sertlik	-0,296	-0,194	0,592**	-0,064	0,24	0,122	0,136	1		
İletkenlik	-0,249	-0,331*	0,606**	-0,399*	0,187	0,064	0,158	0,554**	1	
pH	-0,072	-0,033	0,406*	0,059	0,124	-0,189	0,177	0,47**	0,538**	1

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

Tablo 7.19: Uluova Bölgesi'nden güz mevsiminde alınan dip sediment örneklerinin analizlerinden elde edilen Pearson korelasyon katsayılar matrisi.

	Ta (Bq/L)	Tp (Bq/L)	Fe (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Mn (ppm)
Ta	1												
Tp	0,149	1											
Fe	-0,13	-0,294	1										
Mg	-0,02	-0,026	-0,073	1									
Ca	0,514*	-0,075	-0,035	0,175	1								
K	0,16	0,494*	0,014	-0,05	0,212	1							
Na	-0,068	-0,103	-0,216	0,024	0,007	0,165	1						
Zn	-0,237	-0,153	0,027	0,002	0,046	-0,1	0,117	1					
Cu	0,072	-0,454*	0,468*	-0,124	0,115	0,247	0,095	0,297	1				
Cr	0,22	-0,291	0,633**	0,141	0,359	0,101	-0,027	0,268	0,676**	1			
Co	0	-0,13	0,382	0,005	0,277	0	-0,301	0,018	0,343	0,423	1		
Ni	-0,188	0,316	0,467*	0,507*	-0,098	0,12	-0,308	0	-0,151	0,263	0,051	1	
Mn	-0,078	-0,452*	0,622**	0,019	0,033	-0,015	0,033	0,241	0,723**	0,765**	0,39	0,187	1

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

8. SONUÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi'nden sonbaharda alınan su örneklerinde belirlenen toplam alfa radyoaktivitesi, toplam beta radyoaktivitesinden ortalama olarak %62 daha fazladır.

Sonbahar mevsiminde incelenen istasyonlardaki dip sediment toplam alfa radyoaktivitesinin, toplam beta radyoaktivitesinden %84 oranında daha yüksek çıktığı belirlenmiştir.

Su örneklerinin toplam alfa radyoaktivitesi, toplam beta radyoaktivitesinden yaklaşık olarak %21 nispetinde daha fazladır.

İlkbahar mevsimi dip sediment örneklerinde toplam alfa radyoaktivitesi, toplam beta radyoaktivitesinden yaklaşık olarak %92 daha fazladır.

Uluova Bölgesi suları hem sonbahar hem de ilkbaharda yapılan elektriksel iletkenlik ölçümleri baz alındığında 2. sınıf sular grubuna girmektedir (Tablo 7.8) [24].

Alınan sonuçlara göre Keban Baraj Gölü Uluova Bölgesi suları, orta alkalın sular sınıfına girmektedir (Tablo 6.1). Göl suları, pH açısından kıta içi su kaynaklarının sınıflandırılmasında 3. sınıf sular sınıfına girmektedir (Tablo 2.4).

Göl sularının toplam sertliği, ilkbaharda 150-196 mg CaCO₃/L (EK-1), sonbaharda 200-253 mg CaCO₃/L (EK-3) arasında değişmektedir. Bu değerlere göre göl suları; 110-270 mg CaCO₃/L arasında değiştiği için orta sertlikte sular sınıfına girmektedir [90].

Dip sedimentlerindeki element derişimlerinin sularda ölçülen derişimlerden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum dip sedimentlerinin, elementleri tutucu davranışlarına bağlanabilir.

Bu çalışmada elde edilen bulgularla bölge; toplam radyoaktivite, çevresel gama radyasyonu, ağır metal, makro element, pH, elektriksel iletkenlik ve toplam sertlik açısından geniş bir şekilde incelenmiştir. Bölge üzerinde daha sonraki yıllarda yapılacak çalışmalarda, elde ettiğimiz veriler temel bir kaynak oluşturacaktır. Elde edilen verilerin modellenmesinin yapılması, ileride yapılabilecek ek çalışmalara örnek gösterilebilir.

9. KAYNAKLAR

- [1] Külahcı, F., 2001, Hazar Gölü (Elazığ) suyunun radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 99s.
- [2] Mutluay, H., Demirak, A., 1996, Su Kimyası, Beta Basın Yayın Dağıtım, İstanbul, 83-84.
- [3] <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/lightandcolor/electromagintro.html> (01.02.2004).
- [4] Doğru, M., 1993, A study of GaAs Microstrip and pad detectors for high energy physics, PhD, University of Sheffield, 57p.
- [5] WHO, 2001, Depleted Uranium, Sources, Exposure and Health Effects.
- [6] 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.
- [7] Bourdon, B., Henderson, G.M., Lundstrom, C.C., Turner, S.P., 2003, U-Series Geochemistry, Vol 52, USA.
- [8] Valković, V., 2000, Environmental Radioactivity, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- [9] Killeen, P. and Heier, G., 1975, Th, U, K and heat production measurements in ten Precambrian granites of the Telemark area, Norway, Nor. Geol. Unders, 319, 59-83.
- [10] Banks, D., R yset, O., Strant, T., Skarphagen, H., 1995, Radioelement (U, Th, Rn) concentrations in Norwegian Bedrock groundwaters, Environmental Geology, 25, 165-180.
- [11] Milvy, P. and Cothorn, C.R., 1990, Scientific background for the development, of regulations for radionuclides in drinking water, Chelsea, Michigan: Lewis publishers, 83-95.
- [12] Barnes, A.J., 1986, Water pollution control; national primary drinking water regulations; radionuclides, Federal Register 51, 189, 34836-34862.
- [13] Krauskopf, K.B., 1979, Introduction to geochemistry, 2nd ed., New York: McGraw-Hill.
- [14] Garrels, R.M., Christ, C.L., 1965, Solutions, minerals and equilibria, Freeman, Cooper&Co., 450.
- [15] Drever, J.I., 1988, The geochemistry of natural waters, 2nd ed., Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 437.

- [16] 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 2nd International Symposium on Envr. Geoc., Geol Unders Rapp Meddel, No.69, Uppsala.
- [17] Lahermo, P., Juntenen, R., 1991, Radiogenic properties of Finnish soils and groundwaters, In: Pulkkinen E (Ed), Envr. Geochemistry in northern Europe, Geological Survey of Finland, Spec. Publ. 9, 257-269.
- [18] Rogers, A.S., 1958, Physical behavior and geologic control of radon in mountain streams, U.S. Geology Bulletin 1052-E.
- [19] Ericson, E., 1962, Radioactivity in Hydrology, Academic press inc., New York.
- [20] Karahan, G., 1997, İstanbul'un çevresel radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğeri, Doktora tezi, İTÜ Nükleer Enj. Enst., İstanbul.
- [21] Alkan, H., Göksel, S.A., 1975, Türkiye kaplıca ve maden sularının doğal radyoaktiviteleri ve sularda radon tayini, TÜBİTAK 5. Bilim Kongresi.
- [22] Tuncer, S., Tuğrul, B., 1991, Marmara Bölgesi içme sularında radyoaktivite seviyelerinin tayini, III. Ulusal medikal fizik kongresi bildiri kitabı, 267-272.
- [23] Press, F. and Siever, R., 1978, Earth 2nd ed. W.H. Freeman and Co., San Francisco.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] Gascoyne, M., 1992, Geochemistry of the actinides and their daughters, In M.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Key, R.M., J.L., Sarmiento, W.S. Moore, 1985, Distribution and flux of ²²⁶Ra and ²²⁸Ra in the Amazon River estuary, J. Geophys. Res., 90, 6995-7004.

- [30] 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.
- [31] King, P.T., J. Michel and W.S. Moore, 1982, Groundwater geochemistry of ^{228}Ra , ^{226}Ra and ^{222}Rn , *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 1173-1182.
- [32] 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.
- [33] Nero, A.V., Sextro, R.G., Doyle, S.M., Moed, B.A., Nazaroff, W.W., Revzan, K.L., Schwehr, M.B., 1985, Characterizing the sources, range, and environmental influences of radon 222 and its decay products, *Science of Total Environment*, 45, 233-244.
- [34] Goldschmidt, V.M., 1954, *Geochemistry*, Clarendon Press, Oxford.
- [35] Dall'Aglia, 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.
- [36] Cox, P.A., 1989, *The Elements*, Oxford Uni. Press, New York.
- [37] Kuroda, P.K., 1982, *The Origin of Chemical Elements*, Springer-Verlag, New York.
- [38] Emiliani, C., 1992, *Planet Earth*, Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences, Cambridge Univ. Press, Cambridge, Van Nostrand Reinhold.
- [39] Faure, G., 1986, *Principles of Isotope Geology*, John Wiley&Sons, New York.
- [40] Michel, J., 1987, Sources, In C.R. Cothorn and J.E., Smith (ed.), *Environmental Rn*, Plenum, New York, 81-130.
- [41] 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.
- [42] Doğru, M., Kūlahcı, F., 2004, Iso-radioactivity curves of water of the Hazar Lake, Elazığ, Turkey, *J. Radioanalytical Nucl. Chem.* 260, 3, 557-562.
- [43] Kūlahcı, F., Doğru, M., Baykara, O., Şahin, S., Canbazoglu, C., 2002, The Comparison Natural Radioactivity and Electrical Conductivity of Hazar Lake Surface Water, *Balkans of Physics Letters*, 10, 220-225.

- [44] Doğru, M., Baykara, O., Canbazoglu, C., Kùlahcı, F., 2003, Determination of the Radioactivity Levels in Underground Water on Some Active Fault Zone of East Anatolian, Balkans of Physics Letters, 11, 5-8.
- [45] Kùlahcı, F., Doğru, M., Gülel, S., Canbazoglu, C., Baykara, O., 2001, Determination of The Natural Radioactivity in Cement Produced in Elazığ Cement Factory, Türkiye , Balkans of Physics Letters, Special Issue, 242-245.
- [46] Martin, C.J., Heaton B., Robb, J.D., 1988, Studies of ^{131}I , ^{137}Cs and ^{103}Ru in milk, meat and vegetables in North east Scotland Following the Chernobyl accident, J. Environ. Rad., 6, 247-259.
- [47] Waste Isolation Pilot Plant, 2001, Site Environmental Report DOE/WIPP 02-2225.
- [48] 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.
- [49] Dearnaley, G., Northrop, D.C., 1966, Semiconductor Counters for Nuclear Radiations, Sec. ed., John Wiley&Sons, New York.
- [50] Taylor, J.M., 1963, Semiconductor Particle Detectors, Butterworths, Washington, D.C.
- [51] Bologna, J.A., Helmich, S.B., 1969, An Atlas of Gamma Ray Spectra, LA 4312.
- [52] Goulding, F.S., 1964, Semiconductor Det.-Theirs Properties and Applications, Nucleonics, 22, 5, 54.
- [53] Siegbahn, K., 1965, Alpha, Beta and Gamma Ray Spectroscopy, Vol.1., North Holland Publishing Co., Amsterdam.
- [54] <http://www.manisacevreorman.gov.tr/su.htm> (01.02.2004).
- [55] <http://www.mta.gov.tr/mineraller/demir.asp> (02.02.2004).
- [56] DPT, 2001, 2624-Öik:635, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu, Demir Çalışma Grubu Raporu, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.
- [57] http://www.kimyaokulu.com/odev/magnezyum_metalinin_ozellikleri.htm (03.02.2004).
- [58]. <http://www.sanalhoca.com/kimya/element/kalsiyum.htm> (03.02.2004).
- [59] <http://www.sanalhoca.com/kimya/element/potasyum.htm> (03.02.2004).

- [60] http://www.kimyaokulu.com/odev/sodyum_metalinin_ozellikleri.htm (03.02.2004).
- [61] <http://www.sanalhoca.com/kimya/element/sodum.htm> (03.02.2004).
- [62] <http://www.sanalhoca.com/kimya/element/zn.htm> (03.02.2004).
- [63] <http://www.mta.gov.tr/mineraller/bakir.asp> (03.02.2004).
- [64] <http://www.sanalhoca.com/kimya/element/cu.htm> (03.02.2004).
- [65] DPT, 2001, 2626-Öik: 637, Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- [66] DPT, 2001, Dpt: 2629-Öik: 640, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu, Diğer Metal Madenler Çalışma Grubu Raporu Antimuan, Tungsten, Nikel, Vanadyum, Molibden, Kalay, Manganez, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.
- [67] <http://www.sanalhoca.com/kimya/element/Co.htm> (03.02.2004).
- [68] <http://www.kimyaevi.org/elementler/mangan/mangan.asp> (03.02.2004).
- [69] Günek, H., Tonbul, S., 1995, Uluova ve çevresinde toprak erozyonu ve alınması gereken önlemler, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi, 7, 79-100.
- [70] Şengün, M.T., 2000, Uluova da Jeomorfolojik Ana Birimlerle Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkiler, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enst, Yük Lisans Tezi.
- [71] Knoll, G.F., 1979, Radiation Detection and Measurement, Wiley and Sons, New York.
- [72] Tuncay, H., 1994, Ege Üniv. Ziraat Fakültesi. Yay., No:512, Bornova-İzmir.
- [73] Gölhan, M., Aksoğan, S., 1970, Suların Arıtılması, Cilt 1, İstanbul.
- [74] G.H. Jeffery, J Bassett, J Mendham, RC Deney, Textbook of Quantitative Chemical Analysis, Longman Scientific&Tecnical, 1991.
- [75] Vandecasteele, C., Block, C.B., 1993, Modern methods for trace element determination, J. Wiley&Sons, England.

- [76] Kishe, M.A., Machiwab, J.F., 2003, Machiwa, Distribution of heavy metals in sediments of Mwanza, Gulf of Lake Victoria, Tanzania, *Environment Intern.*, 28, 619–625.
- [77] Doğru, M., Külahcı, F., Canbazoglu, C., Baykara, O., 2001, Hazar Gölü (Elazığ) Sularının Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitelerinin Mevsimsel Değişimi , *F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi*, 13, 329-331.
- [78] Welch, A.H., Szabo, Z., Parkhurst, D.L., Van Metre, P.C., Mullin, A.H., 1995, Gross-beta activity in ground water: natural sources and artifacts of sampling and laboratory analysis, 10, 5, 491-503.
- [79] Sayre, W.W., Guy, H.P., Chamberlan, A.R., 1958, Uptake and transport of radionuclides by stream sediments, *Science*, 160, 729-376.
- [80] Rankama, K. and Sahama, T.G., 1950, *Geochemistry*, Univ. of Chicago Press, Chicago.
- [81] Doğru, M., Canbazoglu, C., Külahcı, F., Baykara, O., 2001, Fay Hattı Üzerindeki Doğu Anadolu Bölgesi İl ve İlçelerinin Yeraltı ve Yerüstü Sularının Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, *F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi* , 13 , 311-316.
- [82] Doğru, M., Canbazoglu, C., Yalçın, M., Baykara, O., Külahcı, F., 2003, Elazığ ve Malatya İl Merkezlerinin İçme Sularındaki Radyoaktivite Seviyelerinin Karşılaştırılması, *Doğu Anadolu Araştırmaları Dergisi*, 2, 96-99.
- [83] Özmen, H., Külahcı, F., Çukurovalı, A., Doğru, M., 2004, The Relationship Between Heavy Metal Deposition and Radioactivity Concentration in Surface Water of Hazar Lake (Elazığ, Turkey), *Chemosphere*, 55, 3, 401-408.
- [84] Karahan, G., Öztürk, N., Bayülken, A., 2000, Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey, *Wat.Res.*, 34, 18, 4367-4370.
- [85] Bakaç, M., Kumru, M.N., 2000, Uranium, Radium and Field Measurements in the water of the Gediz River, *Proc. Pakistan Acad. Sci.*, 37, 1, 1-10.
- [86]. Keban Baraj Gölü Limnolojik Etüd Raporu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, İşletme ve Bakım Dairesi Başk., Ankara, 1982.
- [87] Cici, M., 1995, 1. Hazar Gölü ve çevresi sempozyumu, Sivrice, Elazığ.
- [88] Say (Özmen), H., 1991, Elazığ kanalizasyonunun ve ferrokrom fabrikası atıklarının Keban Baraj Gölü döküldüğü bölgelerde ağır metal analizleri, *Yük.Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [89] Fair, G.M., Geyer, J.C., 1958, *Element of water supply and waste-water disposal*, J. Wiley&Sons, New York.

- [90] Uslu, Ü., Türkmen, A., 1987, Su kirliliği ve kontrolü, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları, Eğitim Dizisi, Ankara.
- [91] Cenci, R.M., Martin, J.M., 2004, Concentration and fate of trace metals in Mekong River Delta Science Tot. Environ., 332, 167–182.
- [92] Erlacher, R., 2002 Regression Analysis of Dissolved Heavy Metals In Storm Water Runoff From Elevated Roadways, PhD in The Engineering and Applied Science Program by D.I., University of Innsbruck, 2002, M.S., University of New Orleans, 2001 May 2004.
- [93] Papineau, M., Haemmerli, J., 1992, Changes in water quality in the Laflamme Lake watershed area, Canada, Water, Air, and Soil Pollut., 61, 95–105.
- [94] Swaine, D.J. 2000, Why trace elements are important, Fuel Processing Tech., 65, 21-33.
- [95] Karadede, H., Ünlü, E., 2000, Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey, Chemosphere 41, 1371-1376.
- [96] An, Y.J., Kampbell, D.H., 2003, Total, dissolved, and bioavailable metals at Lake Texoma marinas, Environmental Pollution, 122, 253–259.
- [97] Klavinš, M., Rodinov, V., Vereskuns, G., 1998, Metals and Organochlorine Compounds in Fish from Latvian Lakes, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 60, 538-545.
- [98] Yang, H., Rose, N.L., Battarbee, R.W., 2002, Distribution of some trace metals in Lochnagar, a Scottish mountain lake ecosystem and its catchment, Science Tot. Environment, 285, 197-208.
- [99] http://www.mta.gov.tr/mta_web/maden/elazig.asp (03.02.2004).
- [100] Greece, N., Fytianos, K., Laurantou, A., 2004, Speciation of elements in sediment samples collected at lakes Volvi and Koronia, Environ. Intern., 30, 11–17.
- [101] Förstner U, Wittman G.T.W., 1983, Metal Pollution in the Aquatic Environment, Berlin: Springer-Verlag.
- [102] Ajmal M, Uddin R, Khan AU., 1988, Heavy metals in water, sediments, plants and fish of Kali Nadi U.P (India). Environ Int., 14, 515–523.
- [103] Berg, H, 1997, African Inland Fisheries, Aquaculture and Environment, Oxford: Blackwell; 115–135.
- [104] Mothersill, J.S., 1976, The mineralogy and geochemistry of the sediments of northwestern Lake Victoria, Sedimentology, 23, 553–565.

- [105] Onyari, J.M., Wandiga, S.O., 1989, Distribution of Cr, Pb, Cd, Zn, Fe and Mn in Lake Victoria sediments, *Bull. Environ. Toxicol.*, 42, 807–812.
- [106] Simeonov, V., Simeonov, D.L., Massart, G., Andreev, S., Tsakovski, D.L., Massart, G., Andreev, S., Tsakovski, 2000, Assessment of metal pollution based on multivariate statistical modeling of “hot spot” sediments from the Black Sea, *Chemosphere*, 41, 1411-1417.
- [107] Dauvalter, V. and Rognerud, S., 2001, Heavy metal pollution in sediments of the Pasvik River drainage, *Chemosphere*, 42, 9-18.
- [108] Wang, X.C., Yan, W.D., An, Z., Lu, Q., Shi, W.M., Cao, Z.H., Wong, M.H., 2003, Status of trace elements in paddy soil and sediment in Taihu Lake region, *Chemosphere*, 50, 707–710.
- [109] Say, H., Çukur, A., Kuş, Ş., 1989, Trace element analysis of waste water and mud by AAS, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Samsun, Türkiye.
- [110] Haktanır, K., 1987, Çevre Kirliliği, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Notu, Ankara.
- [111] <http://www.cevreorman.gov.tr/cy/sudairesi/kanaliz.htm> (08.02.2004).
- [112] Fleit, E., Lakatos, G., 2003, Accumulative heavy metal patterns in the sediment and biotic compartments of the Tisza watershed, *Toxicology Letters*, 140-141, 323-332.
- [113] Karpuzcu, M., 1991, Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Boğaziçi Ün., İstanbul.
- [114] TSE, 1997, Türk Standartları Enstitüsü, Yıllık Rapor.

10. ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini yine aynı ilde tamamladıktan sonra, 1998 yılında Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. 1998-2000 tarihleri arasında, nükleer fizik anabilim dalında yüksek lisans eğitimini tamamladıktan sonra, aynı üniversitede ve anabilim dalında 2000 yılında doktora öğrenimine başladı.



Sonbahar Mevsimi Su Örneklerinde Analiz Edilen Değişkenlerin İstatistiksel Değişimleri

	Ta (Bq/L)	Tp (Bq/L)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	İletkenlik (µmho/cm)	pH
N	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Ortalama	0,07	0,02	101,38	31,05	2,91	26,14	1,85	218,61	364,35	8,147
Medyan	0,056	0,018	100,90	29,90	2,90	25,20	1,10	213,00	371,00	8,230
Mod	0,0078	0,0017	95,57	27,30	2,90	23,00	0,20	210,00	372,00	8,000
s	0,035	0,025	8,845	4,243	0,08	3,732	2,19	15,060	14,600	0,181
En Düşük	0,0078	0,0017	79,15	25,71	2,75	19,30	0,06	200,00	330,00	7,700
En Yüksek	0,1758	0,1012	130,77	47,14	3,15	35,30	10,50	253,00	385,00	8,400

Sonbahar Mevsimi Dip Sedimentlerinde Analiz Edilen Değişkenlerin İstatistiksel Değişimleri

	Ta (Bq/L)	Tp (Bq/L)	Fe (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Mn (ppm)
N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Ortalama	0,33	0,053	19419	131732	96664	1547	5277	950	36,65	132,64	50,47	230,75	786,65
Medyan	0,32	0,016	17925	123190	96328	997	5750	353,75	41,49	136,27	33,92	239,00	795,63
Mod	0,17	0,0018	1243	31031	77212	264,90	604,73	119,50	6,00	10,50	4,50	5,00	165,00
s	0,11	0,1018	11561,77	78896	12056	2215	1544	1781	12,69	80,86	93,28	163,94	352,72
En Düşük	0,177	0,0018	1243	31031	77212	264,90	604,73	119,50	6,00	10,50	4,50	5,00	165,00
En Yüksek	0,526	0,3963	54866	414686	124604	10765	6732	6589	50,86	309,50	440,10	693,00	1275,40

İlkbahar Mevsimi Su Örneklerinde Analiz Edilen Değişkenlerin İstatistiksel Değişimleri

	T _a (Bq/L)	T _p (Bq/L)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Sertlik (mg CaCO ₃ /L)	İletkenlik (µmho/cm)	pH
N	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Ortalama	0,114	0,09	67,38	17,28	15,59	16,32	0,71	164,84	323,46	7,79
Medyan	0,09	0,057	54,04	16,78	12,56	13,09	0,405	163,00	320,00	7,80
Mod	0,0246	0,0011	44,37	15,54	10,54	11,00	0,18	160,00	320,00	7,90
s	0,079	0,12	32,67	2,97	6,69	7,14	0,69	10,37	12,46	0,16
En Düşük	0,0175	0,0011	44,37	10,56	10,43	11,00	0,180	150,00	300,00	7,40
En Yüksek	0,3120	0,5132	174,46	27,25	31,53	33,11	2,711	196,00	355,00	8,10

İlkbahar Mevsimi Dip Sedimentlerinde Analiz Edilen Değişkenlerin İstatistiksel Değişimleri

	Ta (Bq/L)	Tp (Bq/L)	Fe (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Mn (ppm)
N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Ortalama	0,31	0,025	13595	97417	23561	3256	998	1996	28,76	264,26	50,03	167,11	773,56
Medyan	0,290	0,015	13810	89024	18820	1347	394,50	323,50	27,95	65,43	19,50	68,94	766,10
Mod	0,041	0,04	31,15	21302	12,65	102,14	106,20	112,00	7,00	5,00	13,00	18,00	654,00
s	0,154	0,024	10303	58770	21822	3560	1508	4061	10,359	814,38	134,65	167,96	293,54
En Düşük	0,0413	0,0045	31,15	21302	12,65	102,14	106,20	112,00	7,00	5,00	4,20	18,00	190,00
En Yüksek	0,7550	0,10	46392	300321	63451	10505	5763	18000	43,55	3707	621	606	1360,80