

170960

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

FIRTINA VADİSİ'NİN ÇAMLIHEMŞİN'DEN YUKARI KISMININ
DOĞAL RADYOAKTİVİTE SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

Recep KESER

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Yüksek Lisans (Fizik)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01. 07. 2004

Tezin Savunma Tarihi : 21. 07. 2004

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Selami KARSLIOĞLU

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Trabzon 2004

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlanmıştır. Çalışmada Fırtına Vadisi'nin Çamlıhemşin'den yukarı kısmının doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amaçlandı ve gerçekleştirildi.

Bu tez konusunu belirleyen, çalışmalarım sırasında karşılaştığım bütün güçlüklerin aşılmasında beni yönlendiren, her türlü desteği ve imkanı sağlayarak değerli bilgilerinden yararlandığım, saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU'na saygı ve şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Doç Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU'na, numunelerin radyoaktivite analizlerinin yapılmasını sağlayan ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü'ndeki Dr. Gürsel KARAHAN'a, gama ölçümlerinde yardımcı olan Samsun OMÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyelerine, numunelerin toplanmasına ve analize hazırlanmasına yardımcı olan sayın Arş. Gör. Filiz KORKMAZ'a, Arş. Gör. Aslı KURNAZ'a ve Ardeşen Alparslan İlköğretim Okulu Fen Bilgisi Öğretmeni Kadir KAPLAN'a, arazi çalışmalarım süresince araç desteği sağlayan Rize Çevre ve Orman Müdürlüğü'ne, tezin yazılmasında teknik problemlerin aşılmasında bana yardımcı olan KTÜ Rize Fen-Edebiyat Fakültesi araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve özellikle Arş. Gör. Serdar ÜLKER'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca öğrencisi olduğum KTÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Manevi desteklerini daima üzerimde hissettiğim, beni yetiştiren ve bugün bulunduğum yerde olmamda sonsuz katkıları olan aileme şükranlarımı sunuyorum.

Recep KESER
Rize 2004

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
TABLolar DİZİNİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Radyoaktivite.....	4
1.2.1. Nükleer Bağlanma Enerjisi.....	4
1.2.2. Radyoaktivite ve Radyoaktif Bozunma Kanunu	6
1.2.3. Ardışık Bozunma Kanunu	9
1.2.4. Bozunma Türleri.....	13
1.2.4.1. Alfa (α) Bozunması	14
1.2.4.2. Beta (β) Bozunması	15
1.2.4.3. Gama (γ) Bozunması.....	16
1.2.4.4. Kendiliğinden Fisyon	18
1.3. Doğal Radyoaktiflik	18
1.4. İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar	20
1.5. Radyasyon Dozu ve Birimleri	21
1.6. Bölgenin Jeolojik Yapısı	23
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	25
2.1. Arazi Çalışmaları.....	25
2.2. Laboratuar Çalışmaları	25
2.2.1. OMÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı.....	26
2.2.1.1. Deneysel Sistem	26
2.2.1.2. Deneysel Yöntem	28
2.2.1.3. Örneklerin Analize Hazırlanması	29

2.2.1.4. Gama Spektrometre Sisteminin Çalıştırılması ve Spektrumların Alınması	30
2.2.1.5. Spektrumların Analizi	31
2.2.2. ÇNAEM Sağlık Fiziki Bölümü Laboratuvar Çalışmaları	33
2.2.2.1. Deneysel Sistem	33
2.2.2.2. Deneysel Yöntem	33
2.2.2.3. Örneklerin Analize Hazırlanması	33
2.2.2.4. Gama Spektrometre Sisteminin Çalıştırılması ve Spektrumların Alınması	33
2.3. Su Numunelerinin Radyoaktivite Ölçümleri	37
2.2.3.1. Deneysel Sistem	37
2.2.3.2. Örneklerin Analize Hazırlanması	38
2.4. Su Numunelerinin Kimyasal Analizleri	38
3. BULGULAR	39
3.1. Toprak ve Sediment Numunelerinin Gama Spektrometrik Analiz Sonuçları	39
3.1.1. Toprak Numunelerinin Gama Spektrometrik Analiz Sonuçları	44
3.1.2. Sediment Numunelerinin Gama Spektrometrik Analiz Sonuçları	47
3.2. Su Numunelerinin Alfa –Beta Spektrometrik Analiz Sonuçları	51
3.3. Su Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları	52
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	55
4.1. Toprak ve Sediment Numunelerinde Bulunan Doğal Radyonüklidlerin Gama Spektrometrik Analiz Sonuçları.....	55
4.2. Su Numunelerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Sonuçları.....	61
4.3. Su Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları	62
5. ÖNERİLER	63
6. KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	66

ÖZET

2003 yaz ayında yapılan çalışmada Fırtına Deresi'nin Çamlıhemşin bölgesinden yukarıya doğru her km'de bir olmak üzere sediment, toprak ve su numuneleri toplandı.

Fırtına Vadisi boyunca toplanan sediment ve toprak numuneleri ^{238}U ve ^{232}Th 'nin ürünleri, ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidleri yüksek çözünürlükte Ge(Li) dedektörü ile analiz edildi. ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{208}Tl , ^{40}K , ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları Bq kg⁻¹ biriminde ifade edildi.

Fırtına deresinden toplanan su örneklerinin gross- α ve gross- β aktiviteleri belirlendi. Su numuneleri için gross- α ve gross- β aktivite konsantrasyonları sırasıyla 0.0124 ile 0.0662 Bq l⁻¹ ve 0.0279 ve 0.1333 Bq l⁻¹ arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca spektrofotometre kullanılarak su numunelerinde K, Pb, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe, Ni, Cd elementlerinin konsantrasyonları elde edilmiştir.

Sonuçlar grafik ve tablolar halinde verilerek tartışıldı. Bu şekilde Fırtına deresi ve çevresinin doğal radyoaktivite seviyesi belirlenmeye çalışıldı.

Anahtar Kelimeler : Doğal Radyoaktivite, α -Activitesi, β -Activitesi, Fırtına Vadisi

SUMMARY

Measurement of Natural Radioactivity Level from amlıhemşin to the upper Firtına Valley

This study has been made from the point at Çamlıhemşin to source of the river. Sediment, soil and water samplings have been made at 1 km intervals in the summer season of 2003.

Samples of sediment and soil collected along the Firtına Valley area have been analyzed for the primordial natural radionuclides ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs . In the measurements high resolution Ge(Li) dedector was used. The activity concentrations obtained for ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{208}Tl , ^{40}K , ^{137}Cs are expressed in Bq kg^{-1} .

Gross- α and gross- β activities of water samples taken in Firtına river were determined. Gross- α and gross- β activities concentrations ranging from 0.0124 to 0.0662 Bq l^{-1} and from 0.0279 to 0.1333 Bq l^{-1} were observed for water, respectively. In addition, the concentration of K, Pb, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe, Ni, Cd in water samples have been analyzed by using the spectroquant.

The results have been presented giving graphics and tabular forms. By this study, the level of natural radioactivity of the Firtına river and its surroundings have been determined

Key Words : Natural Radyoactivity, α -Activity, β -Activity, Firtına Valley

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 1. Nükleon başına bağlanma enerjisinin kütle numaralarına göre değişimi	5
Şekil 2. Nötron sayısı, N'ye karşılık Proton sayısı grafiği	6
Şekil 3. Aktivitenin zamana göre değişimi.....	8
Şekil 4. Ardışık bozunma grafiği.....	10
Şekil 5. Aktinyum Radyoaktif Bozunma Serisi	11
Şekil 6. Neptinyum Radyoaktif Bozunma Serisi.....	12
Şekil 7. Ra-226 çekirdeğinin α bozunma şeması.....	17
Şekil 8. Co-60 çekirdeğinin β^- bozunma şeması.....	17
Şekil 9. Doğal Radyoaktif Th-232 Serisi	19
Şekil 10. Doğal Radyoaktif U-238 Serisi	20
Şekil 11. Bölgenin Jeolojik Haritası	24
Şekil 12. Gama Spektrometre Sistemi Blok Şeması	27
Şekil 13. Enerjinin Kanallara göre değişimi.....	28
Şekil 14. Dedektörün Veriminin Enerjilere Göre Değişimi	29
Şekil 15. 2 Nolu Sediment Numunesinin Gama Işını Spektrumu.....	30
Şekil 16. 14 Nolu Toprak Numunesinin Gama Işını Spektrumu Örneği	32
Şekil 17. 19 Nolu Sediment Numunesinin Gama Işını Spektrumu Örneği.....	34
Şekil 18. Nolu Sediment Numunesinin Gama Işını Spektrumu Örneği.....	35
Şekil 19. Alfa-Beta sayım cihazı blok diyagramı.....	37
Şekil 20. Toprak numunesinde bulunan Ra-226 konsantrasyonu	44
Şekil 21. Toprak numunesinde bulunan Pb-214 konsantrasyonu	44
Şekil 22. Toprak numunesinde bulunan Bi-214 konsantrasyonu.....	45
Şekil 23. Toprak numunesinde bulunan Ac-228 konsantrasyonu	45
Şekil 24. Toprak numunesinde bulunan Tl-208 konsantrasyonu	46
Şekil 25. Toprak numunesinde bulunan K-40 konsantrasyonu.....	46
Şekil 26. Toprak numunesinde bulunan Cs-137 konsantrasyonu	47
Şekil 27. Sediment numunesinde bulunan Ra-226 konsantrasyonu.....	47
Şekil 28. Sediment numunesinde bulunan Pb-214 konsantrasyonu.....	48

Şekil 29. Sediment numunesinde bulunan Bi-214 konsantrasyonu	48
Şekil 30. Sediment numunesinde bulunan Ac-228 konsantrasyonu	49
Şekil 31. Sediment numunesinde bulunan Tl-208 konsantrasyonu.....	49
Şekil 32. Sediment numunesinde bulunan K-40 konsantrasyonu	50
Şekil 33. Sediment numunesinde bulunan Cs-137 konsantrasyonu.....	50
Şekil 34. Su numunelerinde toplam alfa konsantrasyonu (Bq/l).....	51
Şekil 35. Su numunelerinde toplam beta konsantrasyonu (Bq/l)	51
Şekil 36. Su numunelerinde K konsantrasyonu (mg/l).....	52
Şekil 37. Su numunelerinde Pb konsantrasyonu (mg/l).....	52
Şekil 38. Su numunelerinde Ca konsantrasyonu (mg/l)	53
Şekil 39. Su numunelerinde Mg konsantrasyonu (mg/l)	53
Şekil 40. Su numunelerinde Zn konsantrasyonu (mg/l)	54
Şekil 41. Sediment ve Toprak numunelerinde ²²⁶ Ra aktivite değişimi	55
Şekil 42. Sediment ve Toprak numunelerinde ²¹⁴ Pb aktivite değişimi	56
Şekil 43. Sediment ve Toprak numunelerinde ²¹⁴ Bi aktivite değişimi.....	57
Şekil 44. Sediment ve Toprak numunelerinde ²²⁸ Ac aktivite değişimi	57
Şekil 45. Sediment ve Toprak numunelerinde ²⁰⁸ Tl aktivite değişimi	58
Şekil 46. Sediment ve Toprak numunelerinde ⁴⁰ K aktivite değişimi	59
Şekil 47. Sediment ve Toprak numunelerinde ¹³⁷ Cs aktivite değişimi	60
Şekil 48. Fırtına deresi suyunda ölçülen toplam alfa, toplam beta aktivite konsantrasyonları değişimi.....	61

TABLolar DİZİN

Sayfa No:

Tablo 1. Soğurulan Radyasyonlar için Katile Faktörü	22
Tablo 2. Radyasyon Ölçümü için Nicelikler ve Birimleri.....	22
Tablo 3. Standart Kaynağın Özellikleri.....	28
Tablo 4. Standart kaynak için enerjilerin kanallara göre değişimi	29
Tablo 5. 2 Nolu Sediment Numunesine Ait Rapor.....	30
Tablo 6. 14 Nolu Toprak Numunesine Ait Rapor Örneği	32
Tablo 7. 19 Nolu Sediment Numunesine Ait Rapor Örneği	34
Tablo 8. 19 Nolu Sediment Numunesine Ait Rapor Örneği	35
Tablo 9. Test kitleri ve ölçüm aralıkları	38
Tablo 10. Verim katsayı değerleri	40
Tablo 11. ÇNAEM ve Samsun OMÜ Sediment Numuneleri Gama Spektrometreleri Analiz Sonuçları	41
Tablo 12. ÇNAEM ve Samsun OMÜ Toprak Numuneleri Gama Spektrometreleri Analiz Sonuçları	42
Tablo 13. Su numunelerindeki toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları	61

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yeryüzü ve güneş sisteminin diğer gezegenleri yaklaşık 4.5×10^9 yıl önce demir, karbon, oksijen, silikon zengin maddeler, diğer ortam ve ağır elementler olmadan ortaya çıkmışlardır. Bu elementler 15×10^9 yıl önce gerçekleşen Büyük Patlama (Big Bang) sonucunda oluşan hidrojen ve helyumdan sırayla yaratılmışlardır. Büyük Patlama'dan güneş sisteminin yoğunlaşmasına kadar geçen 10×10^9 y boyunca hidrojen ve helyum, yıldızlar, novalar ve süper novalardaki ağır elementleri oluşturmuşlardır. Bu şekilde oluşan elementlerin büyük bir kısmı radyoaktiftir; fakat o zamandan beri kararlı çekirdeklere bozunmaktadırlar. Birkaç radyonüklitin yarı-ömrü dünyanın yaşına kıyasla çok uzundur ve bugün hala bunların radyoaktiflikleri gözlenebilmektedir. Bu radyoaktiflik, doğal radyoaktiflik çevremizin esas kısmını oluşturmaktadır.

Doğal radyoaktivite; özellikle uzaydan gelen kozmik ışınlar ve çevremizdeki kaya, toprak, su ve havada bulunan doğal radyonüklidlerin bozunuma uğramaları sonucu yayınlanan ışınlardır. Kozmik ışınlardan ileri gelen radyasyon dozu miktarı geomagnetik enlem dairesi ve deniz seviyesinden olan yüksekliğe göre değişim gösterir. Radyoaktif çekirdeklerin yeryüzündeki dağılımı da kozmik ışınlarda görülen değişiklikler gibi değişebilmektedir. Dolayısıyla bir yerin doğal radyoaktivite seviyesi, bölgenin jeolojik yapısı, coğrafik konumu ve radyokimyasal özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterir. İnsanlar, içinde yaşadıkları doğal çevrede bulunan bu kaynaklardan yayınlanan değişik tipteki radyasyonlara her zaman maruz kalmaktadır. Gözlenen en yaygın doğal radyasyon kaynakları ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K izotoplarıdır.

Radyasyon dozu değerlendirmelerinde doğal kaynaklar önemli yer tutarlar. Bunun içinde doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyonüklidlerin çevresel ortamdaki konsantrasyonları ve radyasyonun özellikle insanda olmak üzere, biyolojik sistemler üzerindeki tesirini tayin etmek ve devamlı emniyeti sağlamak gayesiyle doğal radyasyon seviyesinin belirlenmesi çalışmaları yapılmaktadır.

İnsanların doğal kaynaklardan aldıkları radyasyon dozlarını belirlemeye ve biyolojik etkilerini incelemeye yönelik çalışmalar; Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP), Amerika Birleşik Devletleri Radyasyon Korunması ve Ölçümü Milli Komitesi

(UNSCEAR) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (TAEK-ÇNAEM) ve benzeri milli ve uluslararası kuruluşlar tarafından yapılmaktadır.

Nehir suyu ve çevre topraklarının radyasyon dozlarını belirlemeye yönelik yapılan bazı çalışmalara örnek olarak aşağıdaki çalışmaları verebiliriz.

N. M. İbrahiem ve ark. (1991), Nil Deltası ve Mısır'ın orta bölgesi topraklarından, 162 numune içindeki ortalama doğal radyoaktiviteleri yüksek saflıkta Ge spektrometrede ölçülerek; U-238 için 16.6 Bq/kg, Ra-226 için 18.1 Bq/kg ve K-40 için 316 Bq/kg olarak hesaplamışlardır.

A. Martinez Aguirre, M. Garcia-Leon (1993), İspanya'nın güneyinde Guadalouvier Nehri'ndeki doğal radyonüklid konsantrasyonları araştırmışlar ve U konsantrasyonlarının 3.3 $\mu\text{Bq/L}$ 'ye yaklaştığını, Ra konsantrasyonlarının 2-30 mBq/L aralığında, Th konsantrasyonlarının ortalama 0.1 $\mu\text{Bq/L}$ olduğunu bulmuşlar. Ra analizleri gaz akışlı orantılı sayaçla, radyoizotop aktiviteleri Si- α spektrometresi ile yapmışlardır.

W. Chengxiang ve ark. (1993), Çin'in Heilongjiang Bölgesi'ndeki topraklar içinde doğal radyoizotopları araştırmak için 331 toprak örneği toplamışlar ve ortalama aktiviteleri U-238 için 26.2 Bq/kg, Ra-226 için 22.0 Bq/kg, Th-232 için 42.3 Bq/kg ve K-40 için 546.0 Bq/kg bulmuşlardır.

Feda ÖNER (1991) Van ve Gölü ve çevresinde seçilen 15 istasyondan toplanan kum ve su numunelerinin gama radyoaktivite değerlerini ölçmüş. Ölçümlerde yüksek ayırma güçlü Ge(Li) dedektörü kullanılarak U-235, Pb-212, Ba-133, Pb-212 gibi birçok radyoizotopun varlığını tespit etmiştir. Ölçülen en yüksek aktivite Bi-214'e ait 2797 Bq/kg'dır.

Mehmet N. KUMRU (1990), Büyük Menderes Nehri'ni denize döküldüğü yerden başlayarak doğduğu yere kadar incelemiştir. Toprak, sediment ve su numuneleri toplayarak, bunların radyoaktivite ölçümlerini çeşitli yöntemler kullanarak yapmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçların istatistiksel analizlerini, lineer regresyon ve korelasyon analizlerini yapmıştır. Büyük Menderes Nehri su toprak ve sedimentlerinde yapılan bu hidrojeokimyasal ve jeokimyasal radyometrik uranyum araştırmaları sonucunda bazı anomali sahaları belirlenmiştir.

Mustafa Bakaç (1998), Çine Çayı'nın Büyük Menderes Nehrine döküldüğü yerden başlayarak yukarıya doğru her 2 km'de bir toprak, sediment ve su numuneleri toplanmış ve numunelerin alındığı her nokta için gama radyoaktivitesi (sayma/sn) ölçümleri yapmıştır.

Ayrıca sediment örneklerinde asidik liçing yöntemi ile U düzey ölçümleri (ppm) ve su örneklerinde de kolektör yöntemi ile Ra-226 aktivite değerleri ölçmüştür.

Gürsel Karahan (1997), İstanbul ilinin toprağında bulunan doğal radyonüklidlerin 0-10 cm derinlikteki konsantrasyonlarını U-238 için 4-35 Bq/kg, Ra-226 için 7-66 Bq/kg, K-40 için ise 235-632 Bq/kg aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Çağımızda doğal enerji kaynaklarının azalması, enerji umutlarının nükleer enerjiye bağlanması, bunun için radyoaktif rezervlere ihtiyaç duyulması ve ülkemizin radyoaktif rezervlerinin tam olarak bilinmemesi bu konularda bilimsel çalışma ve araştırma yapmayı gerektirmektedir.

Rize ilinde Kaçkar dağlarından başlayarak Çamlıhemşin'den geçip Ardeşen'de denize dökülen Fırtına Deresi ve vadisi, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde doğal yapısı ve özellikleri bakımından çok önemli bir yere sahiptir. Bu vadinin özelliklerinin bilimsel incelenmesini de önemli kılmaktadır. Biz bu vadinin doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesini önemli ve yararlı gördük. Fırtına Deresi Karadeniz kıyı çizgisinden başlayıp iç kısımlara doğru kollara (Durak, Hemşin, Hala, Palovit dereleri gibi) ayrılarak Kaçkar Dağları'nın kuzey yamaçlarına kadar uzanır. Deniz seviyesinden başlayarak kısa bir mesafede yaklaşık 4000 m yüksekliğe ulaşan bu bölgede farklı ve bozulmamış ekosistemleri ile çok sayıda yerel ve nadir türe ev sahipliği yapan Fırtına Vadisi ve Kaçkar Dağları'nda 30 memeli, 136 kuş ve 116 endemik (dünyanın başka hiçbir yerinde doğal olarak yetişmeyen) bitki türü yaşamaktadır.

Bu çalışmada, ülkemizin son yıllarda turistik bölgesi olan Fırtına Vadisi'ndeki doğal radyoaktif türleri ve düzeylerini kapsamlı bir radyoaktif tarama yaparak belirlemeye çalıştık.

Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. 60 km uzunluğundaki Fırtına Deresi'nin denize döküldüğü Ardeşen-Çamluhemşin arası (30 km) 1. kısım, Çamlıhemşin (Şenyuva)-Hapivanak yaylası arası (30 km) 2. kısmı oluşturmaktadır. Bu tezde Fırtına Vadisi'nin 2. kısmına Çamlıhemşin'den yukarı Şenyuva-Hapivanak yaylası kısmının doğal radyonüklidlerin tayini ve aktivitelerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Fırtına Vadisi'nin 1. kısmının (Ardeşen-Çamlıhemşin) doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi çalışmaları KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik anabilim dalı yüksek lisans öğrencilerinden Aslı KURNAZ tarafından yapılmaktadır.

Çalışma bir bütün olarak ele alınmış analizlerinin yapılması ve tartışma kısımları Aslı KURNAZ ile birlikte ele alınmış; ancak herkes kendi kısmını içeren bir tez

hazırlamıştır.

Bu çalışma, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından desteklenmiş ve radyoaktivite ölçümleri Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Sağlık Fiziği Bölümü ile ortak proje olarak yapılmıştır.

Bu tezin ikinci bölümünde radyoaktivite, doğal radyasyonlar ve çalışma bölgesinin jeolojik yapısı hakkında temel bilgiler verilmektedir. üçüncü bölümde spektrometre sistemleri anlatılmakta, dördüncü bölümde ise bulunan sonuçlar ve sonuçların yorumu yer almaktadır.

Bu bölümde radyoaktivite, doğal radyoaktiflik, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, radyasyon dozu ve birimleri ve Fırtına Vadisi'nin jeolojik yapısı hakkında genel bilgi verilecektir.

1.2. Radyoaktivite

1.2.1. Nükleer Bağlanma Enerjisi

Bir atomun kütlesi, kendisini meydana getiren parçacıkların kütleleri olarak düşünülebilirse de atom kütlelerinin hassas olarak ölçülmesi, atom kütlelerinin her zaman kendisini teşkil eden parçacıkların toplam külesinden az olduğunu göstermektedir. Böylece ortaya çıkan farka “*kütle eksikliği*” adı verilir. Kütle eksikliği, bir atom serbest nötron, proton ve elektronlardan oluştuğu takdirde enerjiye dönüşerek serbest hale geçebilecek kütle miktarıdır. Bu enerji aynı zamanda bir atomu, kendisini meydana getiren parçacıklara ayırmak için gerekli enerji olduğundan “*bağlanma enerjisi*” olarak da adlandırılır. Kütle eksikliği ile bağlanma enerjisi arasındaki bağıntı $E = mc^2$ ile verilir. Z atom numaralı, A kütle numaralı bir çekirdeğin bağlanma enerjisi,

$$BE = [Nm_n + Zm_p - m (A,Z)] c^2 \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada,

m_p = protonun kütlesi

m_n = nötronun kütlesi

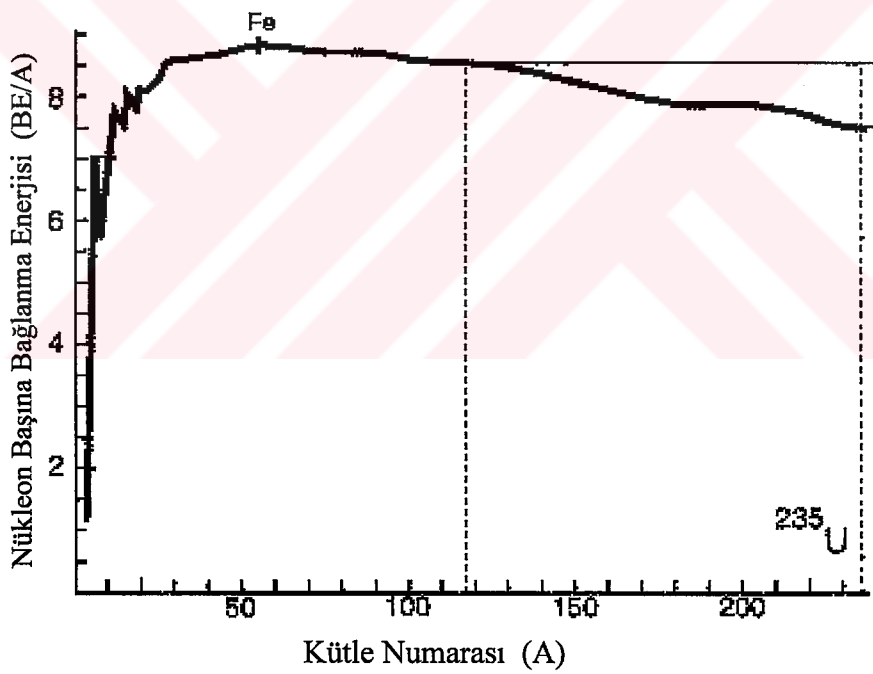
$c^2 = 931.48 \text{ MeV} / \text{akb}$ (ışık hızının karesinin enerji cinsinden değeri)

Bağlanma enerjisi atomdan atoma değişir ve çoğunlukla belli bir atomda nükleon başına bağlanma enerjisi olarak ifade edilir ve

$$BE / A = [Nm_n + Zm_p - m (A,Z)] c^2 / A \quad (2)$$

şeklinde gösterilir. Nükleon başına düşen bağlanma enerjisi diyagramı Şekil 1’de görülmektedir. Hafif çekirdekler için 1.2 MeV’den başlayarak 20 kütle numaralı çekirdeklere doğru 8 MeV’e yaklaşır ve 40-80 kütle numaralı çekirdeklere 8.6–8.8 MeV’e ulaşır. Daha sonra 240 kütle numaralı çekirdeklere doğru yavaşça azalarak 7.5 MeV’ iner.

Basit bir örnek olarak döteryumun meydana gelişini göz önüne alalım. Döteryum, çekirdeğinde bir proton ve bir nötron ile dışında bir elektrondan yapılmıştır. Döteryumun atom kütlesi 2,0147 akb olduğu halde kendisini meydana getiren parçacıkların toplam kütlesi, 2,01714 akb’ dir. O halde döteryum atomunun kütlesi kendisini meydana getiren parçacıkların kütlelerinden 0,0024 akb kadar daha azdır. Bu ise 2,23 MeV’ e karşılık gelir. Döteryum iki nükleona sahip olduğundan nükleon başına bağlanma enerjisi yaklaşık olarak 1,1 MeV’ dir.



Şekil 1. Nükleon başına bağlanma enerjisinin kütle numaralarına göre değişimi

Küçük kütle numaralarında, nükleon başına bağlanma enerjisinin azalması, çekirdeğin (3) ifadesi ile verilen, sıvı damla modeli (Wick, 1984) yarı-deneysel kütle formülünün (Weizsacker, 1935)

$$M(A, Z) = Nm_n + Zm_p - a_1A + a_2A^{2/3} + a_3 \frac{Z^2}{A^{1/3}} + a_4 \frac{(A/2 - Z)^2}{A} + \delta(A, Z)$$

$$\delta(A,Z) = \begin{cases} -0.036 A^{-3/4} & A, Z \text{ çift ise} \\ 0 & A \text{ tek ise} \\ 0.036 A^{-3/4} & A, Z \text{ tek ise} \end{cases} \quad (3)$$

yüzey gerilimi ($a_2 A^{2/3}$) terimiyle açıklanır. Büyük kütle numaralarında nükleon başına bağlanma enerjisinin azalması ise protonlar arasındaki *Coulomb* itmesinden dolayıdır. Bu kuvvet;

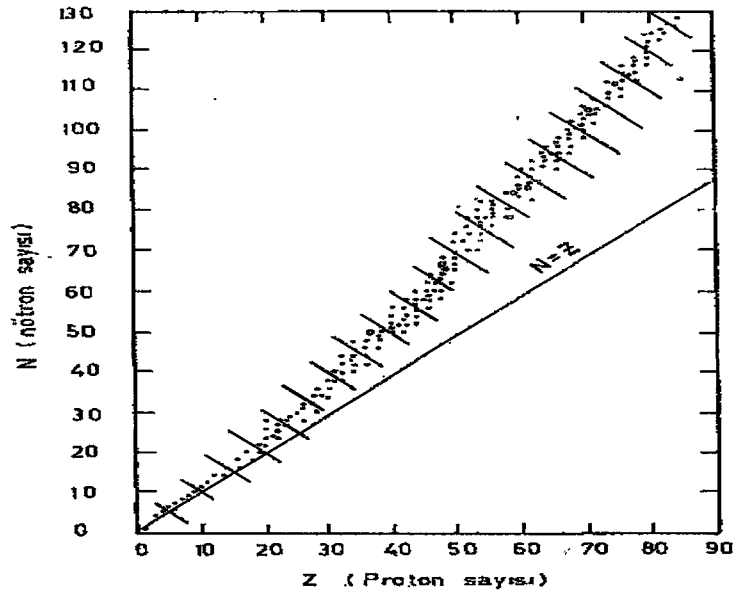
$$E_c = a_3 \frac{Z^2}{A^{1/3}} \quad (4)$$

şeklinindedir. Burada $a_3 = 3e^2/5r_0$, şeklinde bir sabit olup r_0 çekirdek yarıçapıdır.

1.2.2. Radyoaktivite ve Radyoaktif Bozunma Kanunu

Kararlı izotoplar, üzerlerinde herhangi fazla bir enerji bulundurmeyen ve zaman içinde kendiliklerinden değişmeye uğramayan çekirdeklerdir. Buna karşı kararsız çekirdekler ise; üzerlerinde taşıyabileceklerinden fazla enerji bulunan izotoplardır.

Z değerleri $Z = 92$ 'ye (uranyum) kadar olan çekirdekler doğal olarak bulunmasına karşın, bu çekirdeklerin tümü kararlı değildir. ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ en ağır kararlı çekirdektir. Atom numarası küçük Z'li çekirdekler, eşit sayıda nötron ve protona ($N = Z$) sahip olma eğilimi gösterirler. Ancak Z arttıkça $N > Z$ olacak şekilde artar. ${}^{40}\text{Ca}$, $N = Z$ olan en ağır kararlı çekirdektir. Şekil 2'de kararlılık doğrusuna komşu çekirdekler gösterilmiştir. Bu şekle göre kabaca, küçük Z değerleri için $N \cong Z$, büyük Z değerleri içinse $N \cong 1.6 Z$ 'dir.



Şekil 2. Nötron sayısı, N'ye karşılık Proton sayısı grafiği

Ağır çekirdeklere nötron sayısının proton sayısını aşmasının nedeni çekirdek kuvvetinin kısa ve Coulomb kuvvetinin uzun menzilli olmasıdır. Protonlar çekirdek içerisindeki tüm diğer protonlarla Coulomb kuvvetleri yoluyla etkileşirken, nükleonlar komşuları ile çoğunlukla çekirdek kuvvetleri ile etkileşirler. Bu nedenle ağır çekirdekler için itici Coulomb kuvveti daha önemli duruma gelir ve çekirdek, enerji bağlamında, proton sayısına eşit nötrona sahip olma eğilimi göstermez.

Yaklaşık olarak 250 kararlı izotop bulunmaktadır. Kararlı izotopların sayısı Z 'nin ve N 'nin tek yada çift olmasına göre değişir. Kararlı izotopların yaklaşık %60'ının hem Z hem de N sayıları çift; %20'sinin Z sayıları çift N sayıları tek; %20'sinin de hem Z hem N sayıları tektir. Yalnızca 5 kararlı izotopun hem Z hem de N sayıları tektir.

Tabiatta atom çekirdeklerinin bir kısmı kararlı, diğer bir kısmı da kararsız olarak oluşmuşlardır. Kararsız çekirdek, taşıdıkları fazla enerjiyi parçacık çıkarmak veya ışıma yapmak suretiyle atarlar. Bu kendi kendine dönüşüm yapma veya ışıma olayına *radyoaktivite* denir. Çekirdeğin böyle kendi kendine parçacık çıkararak başka izotopa veya aynı izotopun başka bir durumuna dönüşmesi olayına *radyoaktif bozunma* da denir.

Belli bir çeşit radyoaktif atomların kendi kendine parçalanması zamandan bağımsızdır. Tamamiyle tesadüfi bir karakter gösterir. Parçalanma sayısı, sadece mevcut atom sayısı ile orantılıdır ve zaman birimindeki ortalama bozunma sayısından bahsedilir.

Deneysel sonuçlar radyoaktif bozunmanın üstel bir kanuna göre olduğunu göstermektedir. Radyoaktif bozunmada; λ , birim zamanda bozunma olasılığını gösteren bozunma sabiti olmak üzere, dt zamanı içerisinde herhangi bir çekirdeğin bozunma olasılığı λdt dir. t anında N radyoaktif çekirdek verilmiş olsun. $t + dt$ zamanı içerisinde bozunan çekirdek sayısı

$$dN = -\lambda N dt \quad (5)$$

bağıntısı ile verilir. Denklemin sol tarafında bulunan eksi işareti zamanla radyoaktif atomların azalmakta olduğunu ifadesidir. $t = 0$ anında N_0 tane radyoaktif çekirdek olduğu farzedilir ve (5) bağıntısının her iki yanını N 'ye bölünüp, integrali alınır, sınır şartları yerine konursa;

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (6)$$

bağıntısı bulunur. Burada N herhangi bir t zamanındaki radyoaktif çekirdeklerinin sayısıdır. Radyoaktif çekirdek miktarının (6) bağıntısına göre değişim gösterdiği bu kanuna *radyoaktif bozunma kanunu* denir. Denklem (6)'dan;

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N \quad (7)$$

olarak bulunur. Burada A, saniyedeki bozunma olarak aktivitedir. Aktivite birimi Becquerel'dir.

1 Bq = 1 parçalanma/saniye

dir. Bu isim radyoaktiviteyi keşfeden Henri Becquerel'in adına izafeten verilmiştir.

Radyoaktivitenin diğer bir birimi Curie'dir.

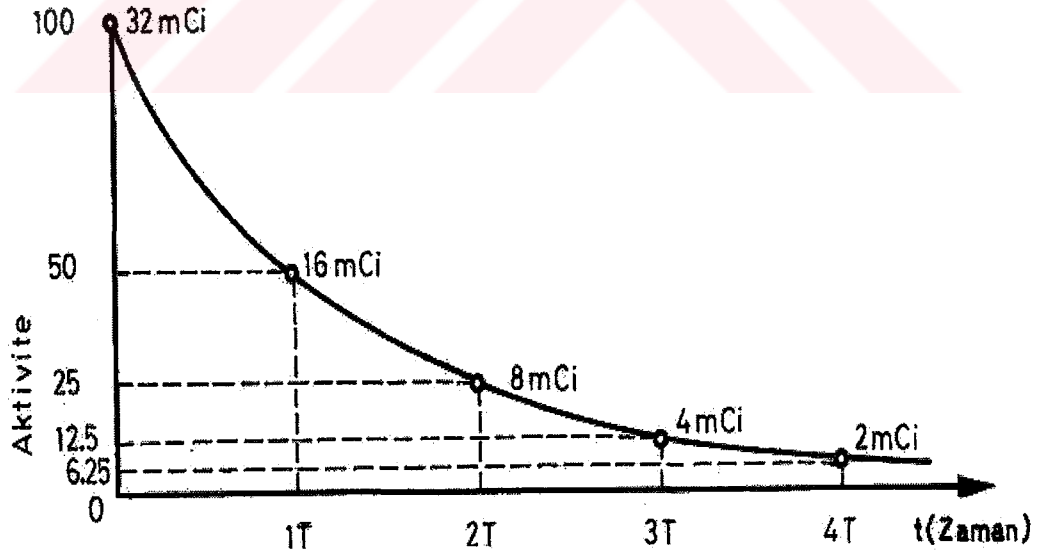
1 Ci = 3.7×10^{10} parçalanma/saniye

dir. Bu isim de yine Curie'lerin adına izafeten verilmiştir.

Radyoaktif maddelerle ilgili önemli diğer karakteristik değer yarı-ömür'dür. Başlangıçta N_0 atom ihtiva eden bir radyoaktif madde atomlarının sayısı yarıya ininceye kadar parçalanması esnasında geçen zamana o radyoaktif elementin *yarı-ömürü* denir. Yarı-ömür $T_{1/2}$ ile gösterilir. Bu yarı-ömürü tayin etmek için (6) denkleminde $t = T_{1/2}$ ve $N = N_0 / 2$ olarak alındığında yarılanma zamanı ile bozunma sabiti arasında

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (8)$$

eşitliği elde edilir.



Şekil 3. Aktivitenin zamana göre değişimi

τ ortalama ömür de bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır. t süresi içinde bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısı N 'dir ve t ile $t + dt$ aralığında bozunanların sayısı $|dN / dt| dt$ 'dir. Bu durumda ortalama ömür için,

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t |dN / dt| dt}{\int_0^{\infty} |dN / dt| dt} \quad (9)$$

bağıntısı bulunur. Paydadaki terim toplam bozunma sayısıdır. İntegral alınırsa,

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (10)$$

bulunur. Ortalama ömür basit olarak bozunma sabitinin tersidir.

1.2.3. Ardışık Bozunma Kanunu

Hem doğal olarak bulunan radyoaktif izotoplarda hem de yapay olarak meydana getirilen radyoaktif izotoplarda bozunma peşpeşe parçalanmalar şeklinde meydana gelebilir. Ana radyoaktif element başka bir ürüne bozunur. Eğer bu ürün de radyoaktif ise o da başka elementlere bozunur. Birçok durumlarda bu peşpeşe bozunma ana maddenin ürüne ve ürünün de kararlı bir radyoaktif elemente bozunmasıyla sınırlıdır. Verilen herhangi bir zamanda bozunma ürününün atomlarının sayısı şu şekilde hesaplanabilir: Herhangi bir t anında, λ_1 katsayısı ile ürüne bozunacak ana elementin atomlarının sayısı N_1 olsun. Ürün elementinin atomlarının sayısını N_2 ile gösterelim. Bunlarda λ_2 bozunma katsayısı ile bir elemente bozunacaklardır. Bu kararlı elementteki atomların sayısı ise N_3 olsun. Bunlara ilaveten $t = 0$ iken $N_1 = N_{10}$, $N_2 = N_{20}$ ve $N_3 = N_{30}$ olduğunu farzedelim. Aktifliğin saniyedeki bozunma sayısı şeklindeki tarifinden şu eşitlikleri yazabiliriz:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (11)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (12)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (13)$$

(11) bağıntısı N_1 'in bozunma hızını verir. (12) bağıntısı N_2 tipindeki atomların $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildikleri ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla ortadan kaybolduklarını göstermektedir. (13) bağıntısıyla N_3 atomlarının üretim hızı elde edilir.

(11) denkleminin $t = 0$ 'da $N_1 = N_{10}$ şartıyla integrali alınırsa,

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (14)$$

elde edilir. Bu değer (12) bağıntısında yerine konursa,

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (15)$$

veya

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (16)$$

elde edilir. Bu bağıntının her iki tarafı $e^{\lambda_2 t}$ ile çarpılırsa,

$$\frac{d}{dt} (N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (17)$$

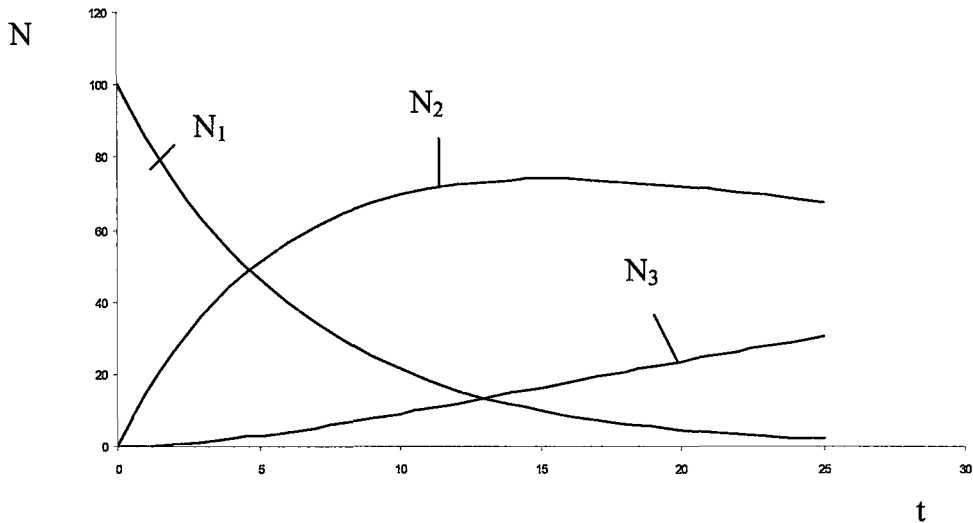
bulunur. Gerekli işlemler yapılırsa,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t}) \quad (18)$$

bulunur. Benzer şekilde (13) bağıntısı da çözülürse,

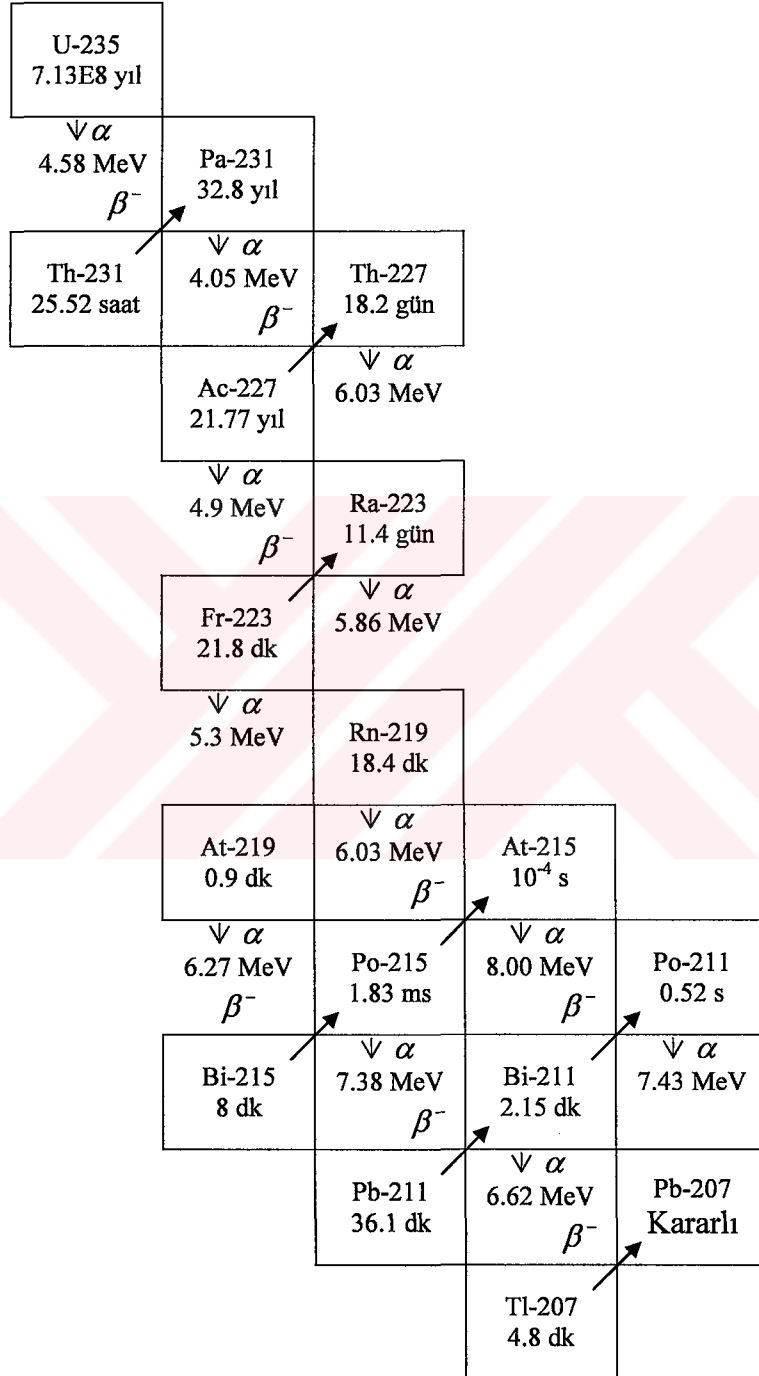
$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (19)$$

elde edilir. (14), (18) ve (19) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan atomların sayısı bulunabilir.

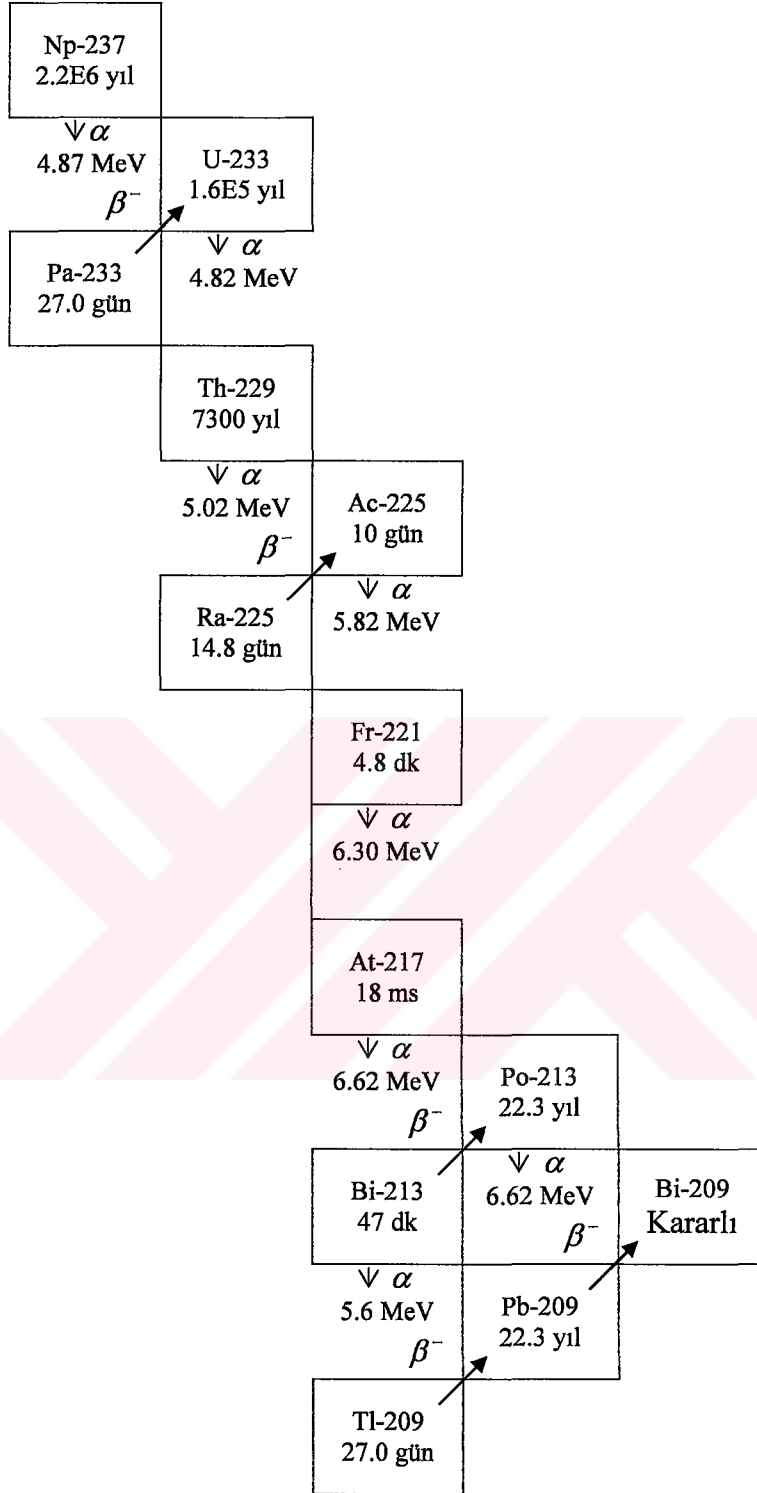


Şekil 4. Ardışık bozunma grafiği

Tabiatta kendiliğinden radyoaktif olan maddeleri (Bölüm 1.3. Doğal Radyoaktivlik) ardışık bozunmaya örnek olarak verebiliriz. Şekil 5 ve Şekil 6'da radyoaktif serilerden Aktinyum ve Neptinyum'un bozunma şemaları gösterilmektedir.



Şekil 5. Aktinyum Radyoaktif Bozunma Serisi



Şekil 6. Neptinyum Radyoaktif Bozunma Serisi

1.2.3.1. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da λ_2 bozunma sabitiyle bozunduğunu düşünelim. Eşitlik (18),

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t})$$

ifadesinde $\lambda_2 < \lambda_1$ olduğunda yeterli derecede uzun bir zaman sonunda $e^{-\lambda_1 t}$ terimi $e^{-\lambda_2 t}$ 'ye göre ihmal edilebilir olacağından,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \quad (20)$$

elde edilir. Bu ise belli bir zamandan sonra birinci ürün elementinin kendisi için belirlenmiş olan λ_2 bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir.

1.2.3.2. Sürekli Denge

Eşitlik (18)'de $\lambda_1 \ll \lambda_2$ durumunu ele alalım. $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ yazabiliriz. Böylece bu ifade,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (21)$$

olarak elde edilir. Bundan başka şayet t , 1. ürünün ortalama ömrüne kıyasla çok büyükse yani $t \gg 1/\lambda_2$ ise o zaman ürün çekirdeğin miktarı, zamanın artmasıyla $e^{-\lambda_2 t}$ terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşacak ve denge durumunda, Eşitlik (21),

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (22)$$

olarak elde edilir. λ_1 çok küçük olduğundan $\lambda_1 N_{10} \approx 0$ olacaktır. Buradan ana çekirdeğin çok büyük yarı-ömre sahip olduğu görülür.

1.2.4. Bozunma Türleri

Radyoaktivitenin keşfinden sonra bilim adamları bu ışınların tabiatını anlamak, yani yüklü parçacıklar mı yoksa elektromagnetik ışınlar mı olduklarını anlamak için çeşitli metotlarla incelemeler yapmışlardır. Radyoaktif maddelerden çıkan ışınlar fotoğraf levhasını karartmak, uygun maddeler üzerinde fluoresans uyarmak ve havayı iyonlaştırmak gibi tesirler göstermektedirler. Bilim adamları, radyoaktif ışınımın doğası hakkında en iyi sonucu magnetik saptırmalar metodu ile elde etmişlerdir. Yapılan incelemeler

neticesinde radyoaktif ışınların tatbik edilen magnetik alan içerisindeki davranışlarına göre üç çeşit oldukları sonucuna varmışlardır.

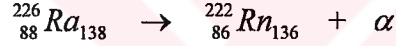
1.2.4.1. Alfa (α) Bozunması

Rutherford ve Royd tarafından yapılan araştırmalar sonunda alfa radyasyonunun ${}^4_2\text{He}$ çekirdeklerinden ibaret olduğu bulunmuştur. Her alfa parçacıkları iki proton ve iki nötrondan oluşur ve +2 pozitif yük taşır. Atom ağırlıkları büyük olan polonyum, toryum, radyum uranyum gibi kararsız izotoplar ve parçacık hızlandırıcıları tarafından yayınlanır.

Alfa bozunması işleminde ana çekirdek iki proton ve iki nötron kaybederek kütlesi dört birim, yükü ise iki birim azalır. Bu işlem



bağıntısı ile temsil edilebilir. Burada X, ana çekirdeği, Y ürün çekirdeği, A; çekirdeğin kütle numarasını, Z; atom numarasını göstermektedir. α bozunumuna bir örnek,



dır. Burada yarı-ömür 1600 yıldır ve α -parçacığının kinetik enerjisi yaklaşık 4.8 MeV'dir.

E_i ve E_f sistemin bozunmadan önceki ve sonraki toplam enerjileri olsun. Enerjinin korunumu yasaından,

$$E_i = E_f \quad (24)$$

olmalıdır. Buradan sistemin bozunma enerjisi (Q),

$$Q = [M(A,Z) - M_Y(A-4,Z-2) - M_\alpha(4,2)] c^2 \quad (25)$$

bağıntısı ile verilir. Burada $M(A, Z)$ bozunan, $M_Y(A-4, Z-2)$, ürün çekirdeğin, $M_\alpha(4, 2)$ ise α parçacığının kütlesidir. Kendiliğinden bozunmanın olabilmesi için $Q > 0$ olması gereklidir. Ayrıca Q değeri kinetik enerjideki artışa da eşit olduğundan (25) ifadesi,

$$Q = K_U + K_\alpha \quad (26)$$

şeklinde olup sırasıyla K_U ve K_α ürün çekirdeğin ve α -parçacığının kinetik enerjileridir.

Enerji ve momentumun korunumundan yola çıkarak A; ana çekirdeğin, A-4, ürün çekirdeğin kütle numaraları olmak üzere α -parçacıklarının kinetik enerjileri için,

$$K_\alpha = \frac{M}{M + m} Q \quad (27)$$

ifadesini yazabiliriz. Büyük A'larda $(A-4)/A$ ifadesi 1'e yakın olacağından α -parçacığı Q bozunma enerjisinin büyük bir kısmını alacaktır.

Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV 'in altında olup bunları çok küçük kalınlıktaki bir madde ile durdurmak mümkündür.

1.2.4.2. Beta (β) Bozunması

Çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu işlem 3 farklı şekilde gerçekleşebilir. Her üçünde de elektrik yükünün korunabilmesi için başka bir yüklü parçacığın bulunması gerekir

1. β^- Bozunumu : β^- yayınlanması işleminde elektrik yükünün korunumu bir nötronun bir protona dönüşmesini, yani atom numarasının bir artmasını gerektirir. Bozunma denklemi,



şeklindedir. Bu ifade, nötronun bozularak bir proton, bir elektron ve bir antinötrino parçacığının meydana geldiğini göstermektedir. Nötrinin elektrik yükü olmadığından, varlığı diğer son parçacıkların kimliğini etkilemez. Bozunma enerjisi,

$$Q_{\beta^-} = [M(A,Z) - M(A,Z+1)] c^2 \quad (29)$$

şeklinde yazılır. K_0 kinetik enerjideki net artış olmak üzere,

$$K_0 = K_{\beta^-} + K_X + K_Y = (K_{\beta^-})_{\max} + K_\gamma \quad (31)$$

şeklindedir ve K_0 , bozunma enerjisine eşittir.

2. β^+ Bozunumu : Bu işlem pozitif beta bozunumu veya pozitron bozunumu olarak adlandırılır ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır. β^+ bozunması bir protonun bir nötrona dönüşmesi olayıdır. Böylece çekirdeğin atom numarası bir azalır ve bozunma denklemi,



şeklindedir. Bozunma enerjisi,

$$Q_{\beta^+} = [M(A,Z) - M(A,Z-1)] c^2 = 2 m_e c^2 + K_0 \quad (31)$$

dır. Burada K_0 ,

$$K_0 = K_{\beta^+} + K_X + K_Y = (K_{\beta^+})_{max} + K_\gamma \quad (32)$$

olarak kinetik enerji artışlarının toplamıdır. Bu bozunmanın olabilmesi için $Q > 0$ olması gerekir. Bu şart ancak, ana çekirdek ile ürün çekirdeğin durgun kütle farklarının iki elektronun durgun kütlelerinden büyük olduğu durumlarda sağlanır.

1. Elektron Yakalama : Bu işlemde ise çekirdek etrafında en yakın yörüngede dönen elektron çekirdek tarafından yakalanır ve bir proton bir nötrona dönüşür. Bozunma denklemi,



şeklindedir. Bu durumda bozunma enerjisi,

$$Q = [M(A,Z) - M(A,Z-1)] c^2 = K_0 \quad (34)$$

şeklindedir. Burada K_0 ,

$$K_0 = K_\nu + K_\gamma$$

şeklindedir. Burada $M(A, Z-1)$, oluşan çekirdeğin kütlesi, K_ν ve K_γ saçılan nötrino ve gama ışınlarının kinetik enerjileridir.

1.2.4.3. Gama (γ) Bozunması

Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta yayınlamasından sonra çoğu zaman kararlı durumda kalmayabilir. Bir başka deyişle, radyoaktif parçalanmadan sonra geride kalan çekirdek uyarılmış halde kalabilir. Bu çekirdek, oluştuğundan çok kısa bir zaman sonra bir veya birkaç gama ışını yayınlamak üzere üzerindeki fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir. Çekirdek ne kadar yüksek enerji seviyesinde uyarılmış olarak kalmışsa, çıkacak gama ışınları o kadar yüksek enerjili olacaklardır.

Yüksek bir enerji durumundan; (E_i), daha düşük bir enerji durumuna; (E_f) geçen bir çekirdekte yayınlanan gama ışınının enerjisi;

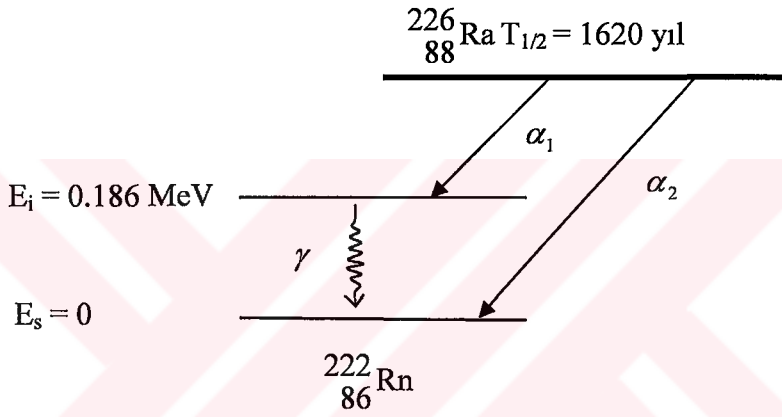
$$E = h\nu = E_i - E_f \quad (35)$$

bağıntısı ile verilir. Şayet E_f temel hale karşılık ise daha fazla foton yayınlanması mümkün olmayacak, ancak aksi halde çekirdek temel hale gitmeden önce bir veya daha fazla foton yayınlacaktır.

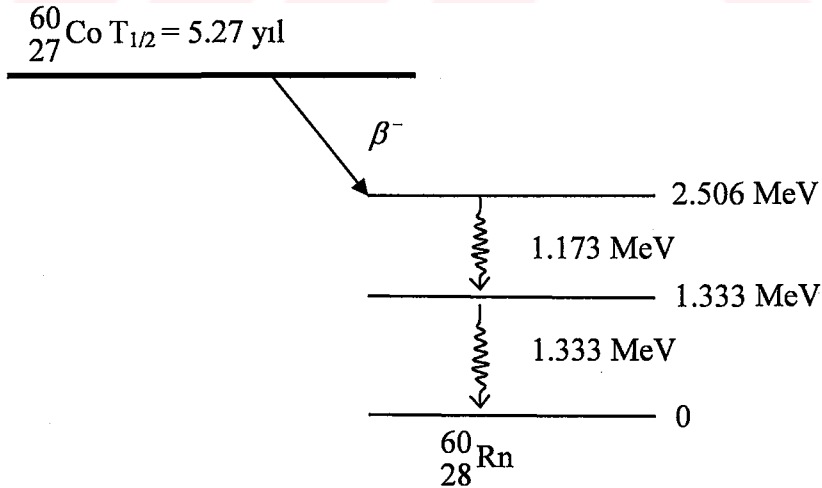
γ yayınlanması ile yarışan bir olay iç dntşmdr. Bu olayda bir çekirdek enerjisini doğrudan doğruya bir atom elektronuna aktararak bozunur serbest elektron gözlenir. Bu β bozunumunda çok farklıdır., Z ve N sayıları değişmez, atom uyarılmış durumda kalır.

Ra-226 ekirdeğinin α bozunma şemasını şekil 7'deki gibi gösterebiliriz. Yatay düz çizgiler, çekirdeğin enerji düzeylerini göstermektedir. Ra-226 farklı enerjilerde α_1 , α_2 gibi iki alfa ışını çıkarmaktadır ve α_1 'i takiben bir gama ışını da çıkarmaktadır.

Co-60'ın β^- bozunma şeması şekil 8 ile temsil edilebilir. Burada ekirdek β^- bozunumuna uğradıktan sonra taban duruma geçebilmek için iki farklı enerjide γ ışını salmaktadır.



şekil 7. Ra-226 ekirdeğinin α bozunma şeması



şekil 8. Co-60 ekirdeğinin β^- bozunma şeması

Alfa ve beta bozunmasından farklı olarak, gama bozunması çekirdeğin atom veya kütle numarasında bir değişikliğe sebep olmaz. Alfa ve beta yayınlayıcılara kıyasla gama yayınlayıcılar çok küçük yarı-ömürlere sahiptirler.

1.2.4.4. Kendiliğinden Fisyon

Fisyon, atom çekirdeğinin bölünmesi olayıdır. Genellikle fisyonun, bir reaktörde olduğu gibi doğal olmayan yapay koşullarda olduğu düşünülür. Oysa bazı çekirdeklere fisyon bir radyoaktif bozunma şeklinde kendiliğinden oluşur. Bu olay reaktörlerde nötronla oluşturulan fisyonla benzer, ancak fisyonu başlatmak için çekirdeğin nötron yakalamasına gerek yoktur. Kendiliğinden fisyonunda bir ağır çekirdek daha hafif iki çekirdeğe bölünür. Son çekirdekler α veya β bozunumunun aksine, kesin olarak belirlenemez. Fakat tüm ortağırlıklı çekirdek aralığı boyunca istatistik olarak dağılır. ^{256}Fm ($t_{1/2} = 2.6$ saat) ve ^{254}Cf ($t_{1/2} = 60.5$ gün) kendiliğinden fisyonla örnek olarak verilebilir.

1.3. Doğal Radyoaktiflik

Tabii radyoizotopların hemen hemen hepsi $Z = 81$ ile $Z = 92$ atom numaraları arasındaki bölgede bulunmaktadır. Bunun sebebi büyük Z 'li elementlerde protonlar arasındaki Coulomb itmesinin bu elementleri daha az kararlı yapmasıdır. Bu elementler radyoaktif bozunmaları ile doğal olarak birbirlerini takip eden elementler oluşturarak doğal radyoaktif serileri meydana getirirler.

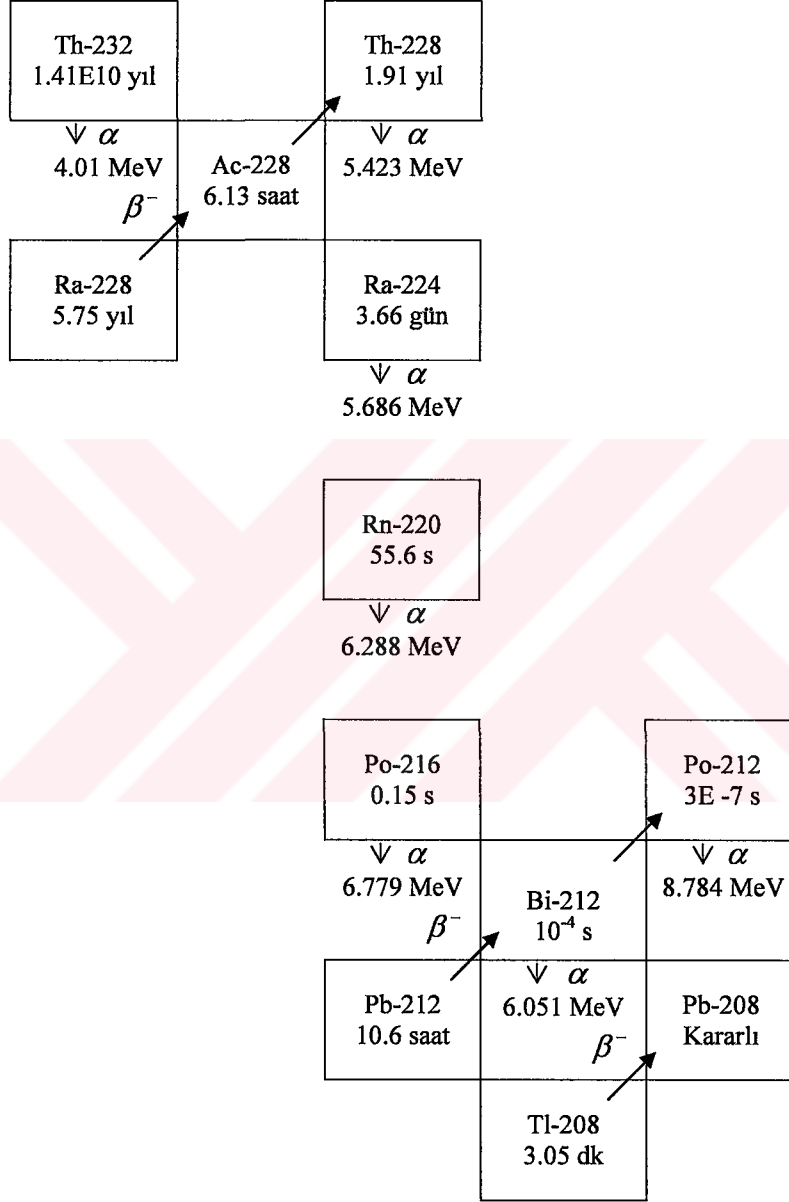
$Z = 81$ ile $Z = 92$ arasında olan ve doğal olarak bulunan radyoaktif izotoplar, A kütle numaralarına bağlı olarak, aşağıdaki dört seriden birine dahildirler.

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek (Kararlı)	En Uzun Ömürlü Üyesi	
			Çekirdek	Yarı Ömür (Yıl)
Toryum	$4n$	^{208}Pb	^{232}Th	$1,41 \times 10^{10}$
Neptinyum	$4n + 1$	^{209}Bi	^{237}Np	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	$4n + 2$	^{206}Pb	^{238}U	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	$4n + 3$	^{207}Pb	^{235}U	$7,04 \times 10^8$

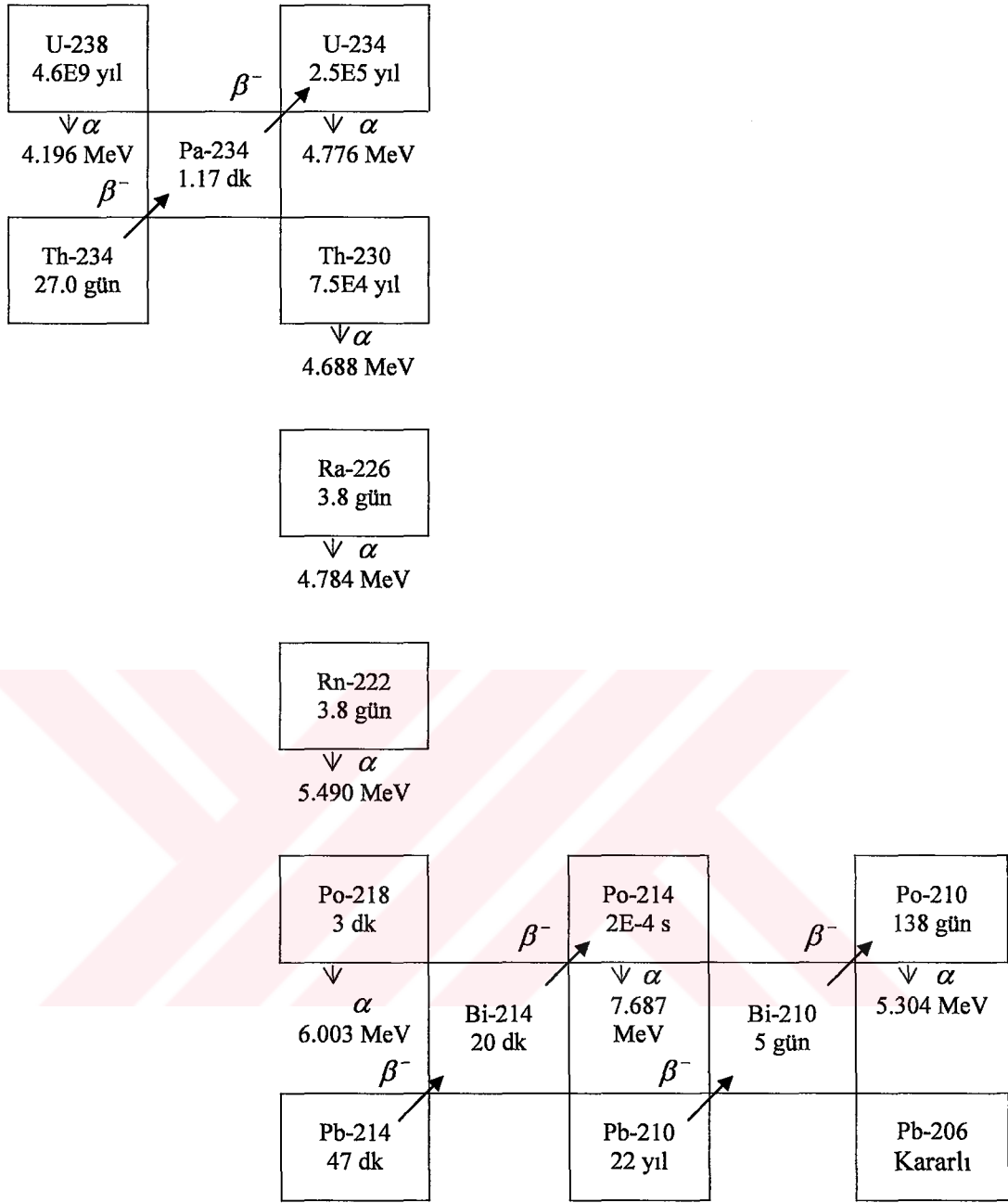
Burada n bir tam sayıdır. Bir alfa bozunmasında kütle dört birim değişeceğinden ve bir beta veya gama bozunmasında kütlede bir değişme olmayacağından bu gruplardan birinde başlayan bir bozunma işlemi yine aynı grupta bitecektir.

Bu serilerin varlığı, neptinyumun bulunduğu seri hariç, her serideki ana elementlerin uzun ömürlü olması gerçeğine göredir. Neptinyum serisinin ana elementinin nisbeten kısa

yarı-ömürlü olmasından dolayı ($t_{1/2} = 2.2 \times 10^6$ yıl) bu elementler tabiatta bulunmaz. Bölüm 2.2.3.'deki Şekil 5; Aktinyum serisine, Şekil 6 Neptinyum serisine ve aşağıda Şekil 9; toryum serisine, Şekil 10 ise uranyum serisine ait yarı-ömürleri, bozunma çeşitlerini ve maksimum bozunma enerjilerini göstermektedir.



Şekil 9. Doğal Radyoaktif Th-232 Serisi



Şekil 10. Doğal Radyoaktif U-238 Serisi

1.4. İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar

İyonlaştırıcı radyasyon bir maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyon meydana gelmesi yani iyonlaşma olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir. İyonlaştırıcı radyasyonlar önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşididir. Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar; alfa parçacıkları, beta parçacıkları, x - ışınları, γ - ışınları ve nötronlardır.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, iyonlaşma meydana getiren x-ışını ve gama ışınlarından enerjileri daha küçük ve dalga boyları 100 nm'den daha büyük olan radyasyonlardır. Maddeden geçerken maddede iyonlaşma meydana getirmezler. İyonlaştırıcı radyasyonların aksine iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar insanlar tarafından algılanabilirler. Bu sebeple de, sürekli olmamakla birlikte genellikle hasar meydana getirmeden önce gerekli korunma tedbirleri alınabilir.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, optik radyasyonlar ve elektromagnetik radyasyonlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Bütün radyasyonlar gibi, iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar da aynı fizik kanununa uyarlar ve dalga boyu (λ), frekans (f) ve enerjileri (E) ile tarif edilirse; iyonlaştırıcı radyasyonlar enerjileri, optik radyasyonlar dalga boyları, elektromagnetik radyasyonlar ise frekansları ile belirtilirler.

1.5. Radyasyon Dozu ve Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalan materyallerin enerji soğurma hızları farklıdır. Bu nedenle değişik maddelerde iyonlaşma ile enerji soğurulmasının tanımlanmasında bir standardın olması gerekmektedir. Bu niceliğe, soğurulan doz, D, denir ve maddenin birim kütlesi başına iyonlaştırıcı radyasyon tarafından depo edilen enerjinin bir ölçüsüdür.

Soğurulan dozun en yaygın kullanılan birimi rad (radiation absorbed dose) olup, 1 gram madde tarafından 100 erg'lik enerji soğurulmasına eşittir. Soğurulan doz için SI birimi gray (Gy)'dir ve kilogram başına madde tarafından 1 joule'lük enerji soğurulmasına eşittir. 1 Gy = 100 Rad'tır.

İnsanların radyasyondan korunmaları için, standartların tanımlanmasında farklı tipteki radyasyonların biyolojik etkilerinin bazı ölçümleri gereklidir. Bazı radyasyonlar enerjilerini oldukça uzun bir yol boyunca aktarırlar. Öyle ki küçük bir aralıkta (örneğin tipik bir insan hücresinin büyüklüğü) oldukça az enerji aktarılır. β ve γ ışınları bu tip radyasyona örnektir. Örneğin α parçacıkları gibi diğer tip radyasyonlar enerjilerini çok hızlı kaybederler ve çok kısa bir yol boyunca tüm enerjilerini aktarırlar. Hücrenin 1 rad'lık α radyasyonundan hasar görme olasılığı, 1 rad'lık γ radyasyonuna göre çok daha fazladır. Bu farklılıkların nicel olarak belirlenebilmesi için belirli bir radyasyon dozunun aynı biyolojik etkiyi yapan X-ışını dozuna oranı olarak tanımlanan bağıl biyolojik etkinlik (RBE) kavramı kullanılır. RBE değerleri α radyasyonu için 1'den 20'ye kadar değişir. RBE, ölçülmesi oldukça zor bir nicelik olduğundan onun yerine, birim mesafede aktarılan enerjiye göre belirli bir radyasyon tipi (ve enerji) için hesaplanan kalite faktörü (QF)

kullanılır. Birim uzunluk başına nispeten az enerji aktaran radyasyonların (β ve γ 'lar) QF'leri 1 civarındadır. Birim uzunluk başına daha fazla enerji aktaran radyasyonların (α 'lar) QF'leri 20'ye kadar değişir. Tablo 1'de bazı QF değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Soğurulan Radyasyonlar için Kalite Faktörü

Radyasyon	QF
X-ışınları, β , γ	1
Düşük enerjili p, n (~keV)	2 - 5
Yüksek enerjili p, n (~keV)	5 - 10
α	20

Belirli bir radyasyonun biyolojik sistem üzerindeki etkisi radyasyonun D soğurulan doz ve QF kalite faktörüne bağlıdır. Doz eşdeğeri DE, bu iki niceliğin çarpılmasıyla elde edilir.

$$DE = D \cdot QF \quad (36)$$

Doz D, rad cinsinden ölçüldüğünde doz eşdeğeri, rem (roentgen equivalent man) cinsinden ölçülür. D için SI sisteminde gray kullanılırsa doz eşdeğeri birimi sievert (Sv)'dir. 1 Sv = 100 rem olarak alınır.

Bu nedenle radyasyonun şiddetinin tanımlanmasında yalnız bozunma hızının (aktiflik) sayılması veya yaşayan sistemlerdeki etkisinin (doz eşdeğeri) ölçülmesinden hangisini isteyeceğimize bağlı olarak bir çok farklı yol vardır. Tablo 2'de bu değişik ölçümler ile bu ölçümlerin ifade edildiği geleneksel ve SI birimlerinin bir özeti verilmiştir.

Tablo 2. Radyasyon Ölçümü için Nicelikler ve Birimleri

Nicelik	Ölçüm	Geleneksel Birim	SI Birimi
Aktiflik (A)	Bozunma hızı	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)
Poz (X)	Havadaki iyonlaşma	röntgen (R)	Kilogram başına coulomb (C/kg)
Soğurulan doz (D)	Enerji soğurulması	rad	gray (G)
Doz eşdeğeri (DE)	Biyolojik etkinlik	Rem	sievert (Sv)

Halkın ve radyasyonla çalışanların radyasyon dozu için standartlar, zamanın belirli bir periyodunda (genellikle çeyrek veya yıl başına) rem cinsinden ifade edilir. Doğal tabansayım kaynaklarından (kozmetik ışınlar ve ^{40}K , uranyum ve toryum serileri gibi doğal olarak bulunan radyoaktif izotoplar) her yıl yaklaşık 0.1–0.2 rem alınmaktadır. Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (International Commission on Radiation Protection, ICRP) yıllık tüm-vücut soğurulan doz sınırlarını halk için 0.5 rem/yıl ve işleri gereği radyasyonla çalışanlar için 5 rem/yıl olarak belirlemiştir.

1.6. Bölgenin Jeolojik Yapısı

Fırtına vadisi alanı Doğu Pondit kuşağında yer almaktadır. Bölgede değişik yaşlarda ve farklı litolojik özelliklerde kayaç birimleri gözlenir. Hakim kayaç birimi volkaniklerdir. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen veriler ışığı altında topografik olarak üstten alta doğru arazinin jeolojik yapısı ve özellikleri şöyledir.

Alüvyonlar ve Sekiler (Al): Daha çok büyük dere yatakları ile denize yakın kesimlerde izlenmektedir. Bunlar alttaki yaşlı birimlerden türeyen değişik boyuttaki volkanik kökenli kum ve çakıllardan oluşmuş, kötü boylanmalı güncel oluşuklardır.

Hamidiye Formasyonu (Pl): Kötü katmanlanma gösteren, kum ve kil mercikleri içerik, gevşek çimentolu çakıl taşlarından oluşmuştur. Çakıl boyutları birkaç cm'den 30–40 cm'ye kadar değişmektedir. Çakıllar volkanik kökenli olup kötü boylanmıştır. Birim genelde yatay konumdadır. Birimin kalınlığı 50m olarak belirlenmiştir.

Çayırbağ Formasyonu (Krü-4b): formasyon yeşilimsi gri, pembemsi ve morumsu gri renk tonlarında görülen riyolit – riyodasit ve piroklastlarından oluşur. Lavların soğuması sırasında oluşan prizmatik kolon yapıları ve tabakamsı akıntı yapıları iyi gelişmiştir. Birimin kalınlığı 100-200 m arasında değişir. Formasyonun üzerinde uyumlu olarak Kampaniyen-Maestrichtien yaşlı Bakırköy formasyonunun bulunması nedeniyle yaşı Kampaniyen-Maestrichtien olarak kabul edilmektedir.

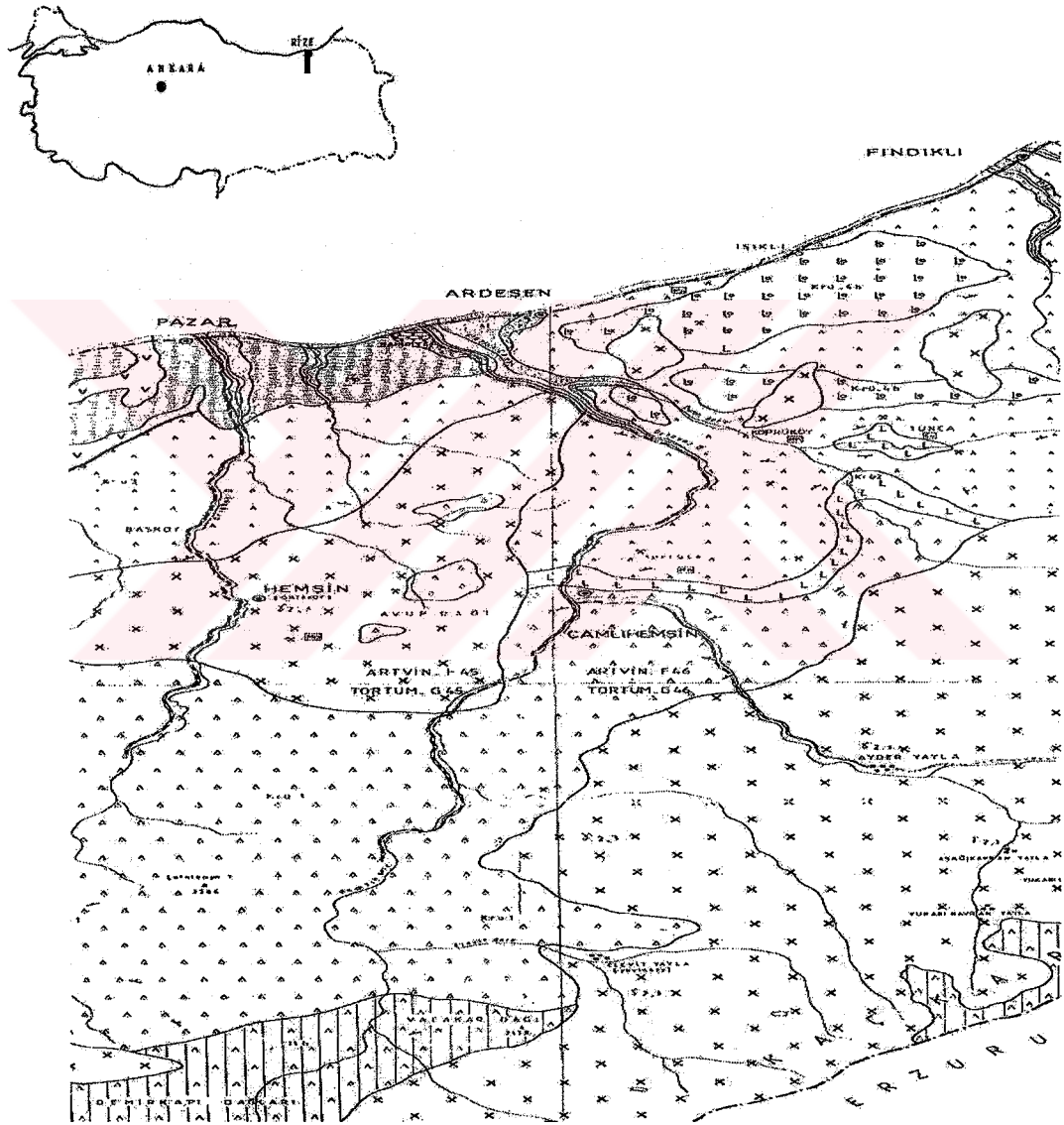
Çağlayan formasyonu (Krü-3): Bazalt-andezit lav ve piroklastlarıyla birlikte ara tabakalı kırmızı biyomikrit, marn ve kumtaşlarından oluşur. Birimin kalınlığı yaklaşık 800 m civarındadır. Birime, içerisindeki kırmızı mikritik kireçtaşlarının içerdiği mikrofosillere dayanılarak Santoniyen-Kampaniyen yaşı verilmiştir.

Kızılkaya formasyonu (Krü-2): Birim genellikle pembemsi gri ve gri-beyaz renkli riyodasit – dasitik lav ve piroklastlarından oluşur. Lavlarda kolonlu ve akıntılı (fludal) yapılar izlenir. Piroklastik seviyeler formasyonun daha çok tavan kesimlerinde görülür. Birimin kalınlığı 400-500 m civarındadır. Yaşı göreceli olarak Santoniyen-Kampaniyen yaş aralığında kabul edilmektedir.

Çatak Formasyonu (Krü-1): Bazalt-andezit karakterli lav ve piroklastlar ile kumtaşı, çamurtaşı, marn ve silttaşı ara tabakalarından oluşan bazik volkanotortul bir istif yapısına sahiptir. Birim genel olarak gri-yeşil renklidir. Birimin kalınlığı 750-1000 m arasında değişir. Formasyonun içerdiği mikrofosillere göre birime Koniasiyen-Santoniyen yaşı verilmiştir.

Kaçkar Granitoidleri : Doğu Karadeniz bölgesinin doğu kesiminde yer alan ve bölgenin en yüksek zirvelerini oluşturan Kaçkar Dağları, granitoidlerin yaygın olarak izlendiği yerlerdir. Kaçkar granitoidleri granitten gabroya kadar değişim göstermekte ve Jura öncesi dönemden Eosen sonuna kadar bir çok magmasal evrede yerleşmişlerdir.

İnceleme alanında Üst Kretase volkanitleri içerisine sokulum yapmış ve dokanakları boyunca kontakt metamorfizma meydana getirmiş olan granitoidler Kaçkar granitoidi olarak tanımlanmıştır.



Şekil 11. Bölgenin Jeolojik Haritası

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması sırasında Fırtına Nehri ve çevresinin doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla 2003 yılı Ağustos ayında Çamlıhemşin ilçesinden başlayıp yukarı doğru gidilerek nehrin doğduğu Hapivanak Yaylası'na kadar nehir sistematik bir şekilde araştırıldı. Bu çalışmalar sırasında kullanılan deneysel yöntemler arazi ve laboratuvar olmak üzere iki bölümde anlatılacaktır.

2.1. Arazi Çalışmaları

Her 1 km'de bir toprak, sediment ve su numuneleri toplandı. Toprak numuneleri, nehrin kenarından ortalama 50 m uzaklıkta ve toprak yüzeyinden 10 cm derinliğe inilerek yapılmıştır. Numuneler alınırken rastlanan bitki ve kök artıkları, çürümüş ağaç yaprak ve dalları gibi biyolojik kalıntılar ayrılmış ve örneğe sokulmamıştır. Yalnız toprak almaya dikkat edilerek çakıl ve taşlar da numune dışına bırakılmıştır. Toprak numuneleri radyoaktif sayımlara yetecek miktarda (1-1.5 kg) alınmıştır. Numuneler önceden etiketlenmiş temiz, ağızları kapanabilen naylon torbalara konmuştur.

Sediment numuneleri her 1 km'de nehri yüzeyinde 10 cm derinliğe inilerek, toplanmıştır. Toplanan sediment numunelerindeki yabancı maddeler ayıklandıktan ve suları süzöldükten sonra önceden etiketlenmiş 2 kg'lık naylon torbalara konulmuştur.

Su numuneleri için, 1.5 lt'lik vida kapaklı polietilen pet şişeleri kullanılmıştır. Her bir numune şişesi kimyasal teknik ile yıkanmış, kurutulmuş ve ağızları kapatılıp numaralandırılmıştır.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Toprak ve sediment numunelerinin gama spektrometrik analiz değerlendirmeleri Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Sağlık Fiziki Bölümü laboratuvarında ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMÜ) Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Laboratuvarı'nda ayrı ayrı yapılmıştır.

Su numunelerinin radyoaktivite analizleri ÇNAEM Sağlık Fiziki Bölümü laboratuvarında, kimyasal analizi ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Su Ürünleri Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

2.2.1. OMÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı

2.2.1.1. Deneysel Sistem

Bu çalışmada Ondokuz Mayıs Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarındaki yüksek ayırma güçlü gama spektrometre sistemi kullanılmıştır. (Şekil 12.) Kullanılan sistem şu bölümlerden oluşmaktadır.

1. Ge(Li) Dedektörü

Çalışmada kullanılan yüksek saflıktaki lityum katkılanmış Ge(Li) dedektörünün özellikleri :

Bağıl Verim	10%
Ayırma Gücü	2.0 keV (FWHM) 4.0 keV (FWTM)
Geometri	Sonu kapalı silindirik
Çap	46 mm
Uzunluk	42 mm
Pencerenin Aktif Alanı	16 cm ²
Deplasyon Voltajı	+3500 V
Tavsiye Edilen Besleme	+4000 V dc
Tavsiye Edilen Besleme Kapasitansı	1 pf
Dedektörün Pencereden Mesafesi	5 mm
Tavsiye Edilen Besleme Kaçak Akımı	0.01 nA

2. Önyükselteç

Önyükselteç, dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Elektronik katlar için pulsları şekillendirir ve büyütür. Dedektör ile elektronik devre arasında empedans uyumunu sağlar. Önyükseltecin ilk devresi dedektöre çok yakın yerleştirilmiş bir alan etkili transistördür. Hemen hemen bütün dedektörler çok düşük genlikte pulslar ürettiklerinden ve uzun kablo durumunda sinyal kapasitif yüklenme gürültüsü arasında kaybolabileceğinden düşük gürültülü gerçek sinyalleri elde edebilmek için önyükselteçler dedektöre çok kısa kablolarla bağlanmışlardır.

3. Yüksek Voltaj (H.V.)Güç Kaynağı

Yüksek voltaj güç kaynağının amacı dedektöre besleme gerilimini sağlamaktır. Ge(Li) dedektörün H.V. güç kaynağı maksimum 5000 volta kadar ayarlanabilir. Çalışma sırasında HV güç kaynağı eldeki dedektörün gerektirdiği +4000 V olarak kullanılmıştır.

4. Spektroskopi Yükselteci

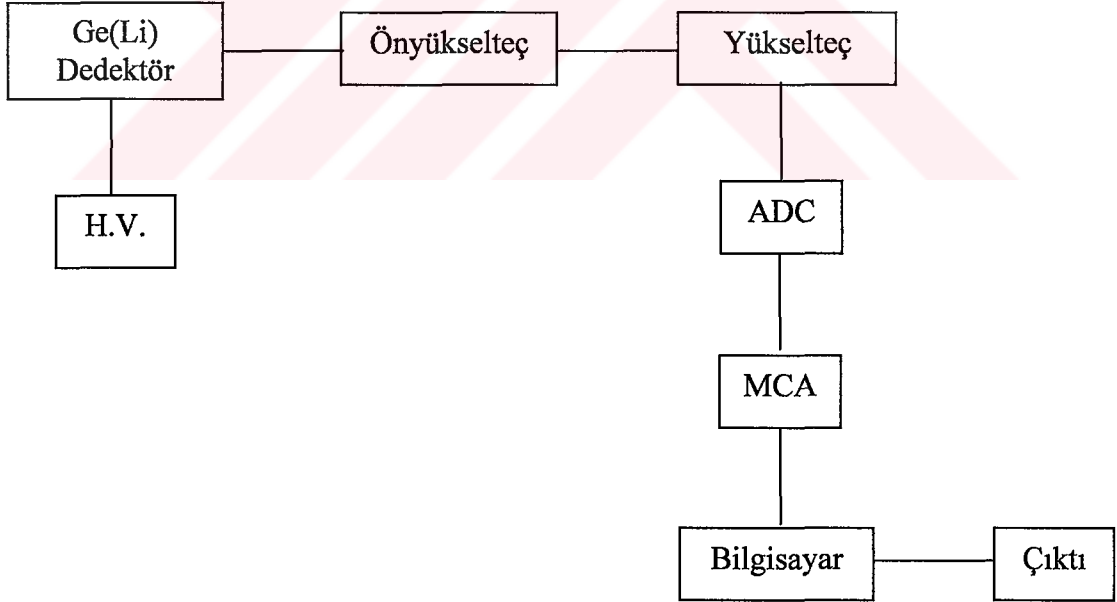
Önyükselteçten gelen pulsları büyütür, sinyallere ayırır, puls yüksekliğini ayarlar. Gelen ve çıkan pulslar arasında doğrusal bir ilişki kullanılarak sinyalleri büyütür. Kazancı kontrol eder.

5. Analog Dijital Çevirici (ADC)

Spektroskopi yükseltecinden gelen sinyalleri genlikleri ile orantılı olarak sayısal sisteme dönüştürür. Burada ölü zaman (dead time) çok önemlidir. Ölü zaman, birim zaman başına kazanç veya dönüşümün artmasıyla orantılı olarak artar. Yani ADC'nin meşgul olduğu zamandır. ADC genellikle puls yüksekliği analizinde kullanılır.

6. 5100 MCA Kartı

Bu birim ADC'deki verileri depolayıp spektrum olarak gösteren, verilerin hafızada saklanması, analizini ve rapor olarak verilmesini sağlayan, enerji kalibrasyonu yapan bir programdır. ADC'den gelen sinyalleri büyüklüklerine göre sıralayıp, hafızadaki adres skalasında sayan ve her bir saymayı adresteki hafızaya ilave eder. Bu işlem tesbit edilen süre içerisinde deneyden elde edilen enerji dağılım spektrumu toplanıncaya kadar sürer. Daha küçük veya büyük sayıda kanallar kullanılabildiği gibi MCA kanalları genellikle 1024 ile 4096 arasındaki bölgelerde seçilir.



Şekil 12. Gama Spektrometre Sistemi Blok Şeması

2.2.1.2. Deneysel Yöntem

1. Enerji Kalibrasyonu :

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumları analiz edilebilmeleri için, her kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir.

Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart bir kaynağa ihtiyaç vardır. Tablo 3.'de kalibrasyon için kullanılan standart kaynağa ait bilgiler verilmektedir.

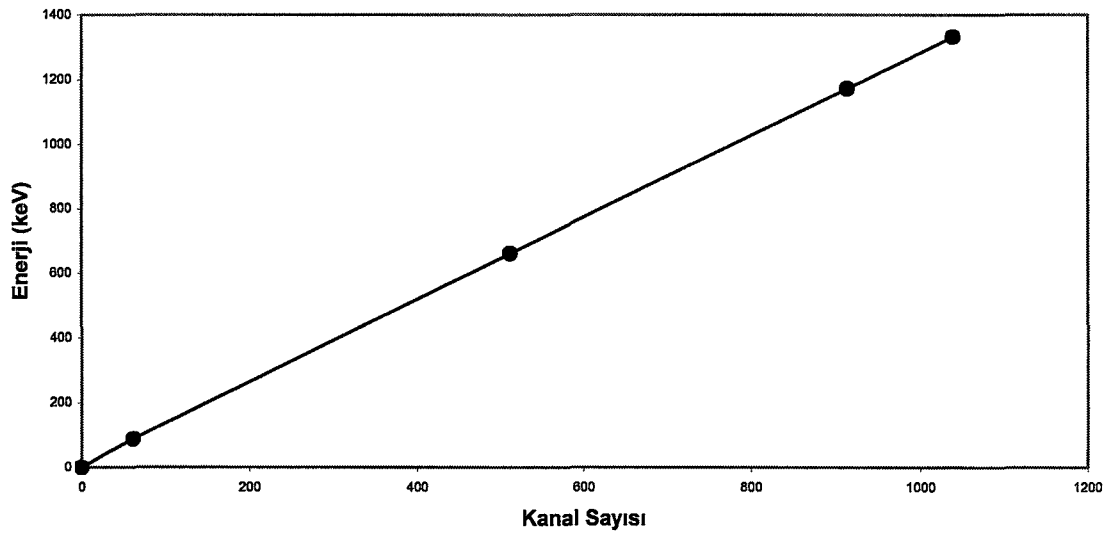
Tablo 3. Standart Kaynağın Özellikleri

İzotoplar	Enerji (MeV)	Hata (\pm %)	Yarı-ömür
Cd-109	0.88	0.2	462 gün
Cs-137	0.662	0.2	30.17 yıl
Co-60	1.333	0.1	5.27 yıl
Co-60	1.173	0.1	5.27 yıl
K-40	1.460	0.1	1.28×10^9 yıl

Enerji kalibrasyonu için dedektörün önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara geldiği tesbit edildi. Sonuçlar Tablo 5.'de verilmiştir. S100 programı tarafından en küçük kareler metoduna uydurularak elde edilen bağıntı

$$E = -8.879 \times 10^{-7} K^2 + 1.275 \times K + 9.537 \quad (39)$$

şeklindedir. Bu bağıntı enerji kalibrasyon bağıntısı olup K, kanal sayısıdır. Enerjinin kanallara göre değişimi grafik halinde Şekil 13.'de gösterilmiştir.



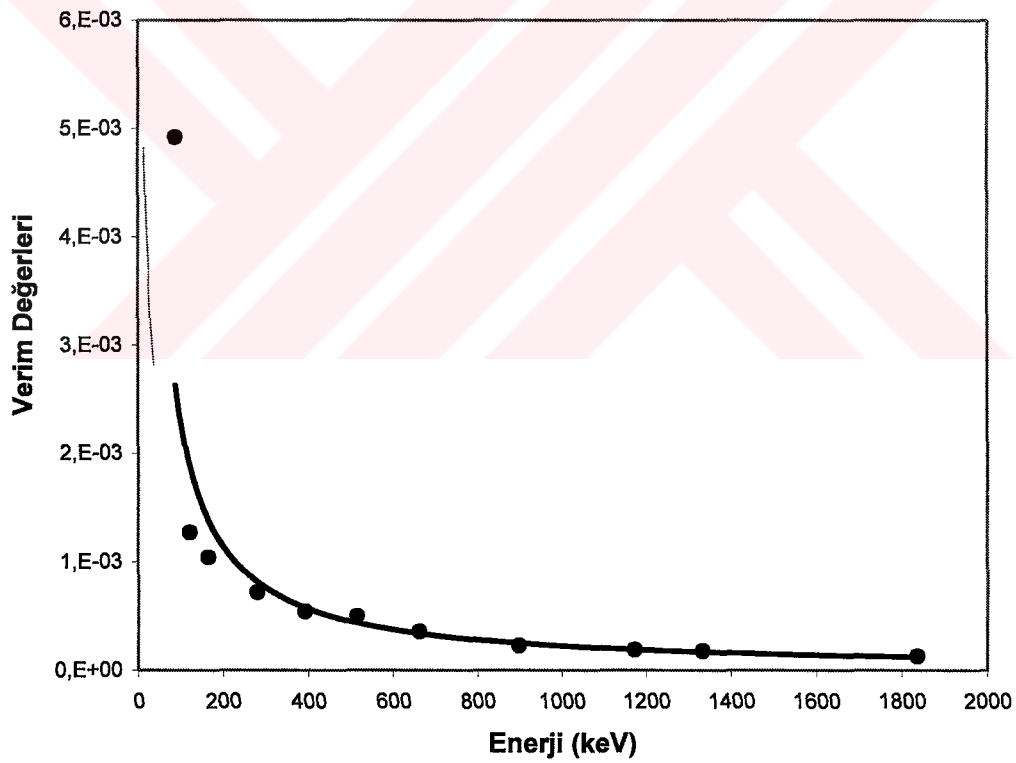
Şekil 13. Enerjinin Kanallara göre değişimi

Tablo 4. Standart kaynak için enerjilerin kanallara göre değişimi

Kanal Numarası	Ener (keV)
41.46	88
365.56	662
647.69	1172
735.57	1332
806.59	1460

2. Verim Kalibrasyonu

Dedektör gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Ge(Li) dedektörünün enerji dedeksiyon verimi 80 keV ile 100 keV arasında maksimum değere sahiptir. Bu enerjilerin altında ve üstünde verim azalır.



Şekil 14. Dedektörün Veriminin Enerjilere Göre Değişimi

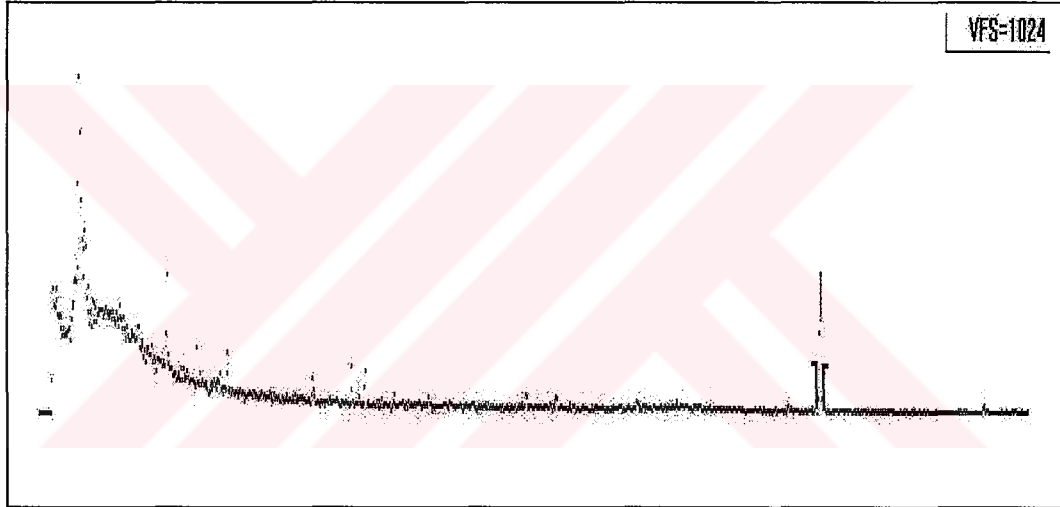
2.2.1.3. Örneklerin Analize Hazırlanması

Kum ve toprak numuneleri Çamlıhemşin ilçesinden başlayıp yukarı doğru gidilerek nehrin doğduğu Hapivanak Yaylası'na kadar (30 km) her 1 km'de bir belirlenen

istasyonlardan laboratuara getirilmiştir. Böylece bu çalışmada 60 tane numunenin gama radyoaktivitesi ölçümleri yapılmıştır. Numuneler tartıldıktan sonra dedektör önündeki kurşun bloklardan yapılmış numune odasına yerleştirildi.

2.2.1.4. Gama Spektrometre Sisteminde Spektrumların Alınması

Ölçüm alınacak numune, dedektörün hemen önündeki numune odasına konulduktan sonra, bilgisayardan S100 programı çağırılarak, MCA alt programı seçilip çalıştırıldı. Sonra dedektör sistemi çalıştırılarak HV güç kaynağı +4000 V'a çıkartıldı. Numune sayım süresi istenilen süreye (4000 s) ayarlandı. Sayıma hazırlanan numune seçilen süre kadar sayılarak spektrum elde edildi. Tipik bir spektrum örneği Şekil 15.'de, spektruma ait rapor Tablo 5.'de görülmektedir.



Şekil 15. 2 Nolu Sediment Numunesinin Gama Işını Spektrumu

Tablo 5. 2 Nolu Sediment Numunesine Ait Rapor Örneği

```

*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****
Filename: C:\GENIE2K\CAMFILES\2nolu_sediment.CNF
Report Generated On       : 19.06.2004 23:55:26
Sample Title              : Z2K.MCA
Sample Identification     : 42
Peak Locate Threshold    : 5.00
Peak Locate Range (in channels) : 1 - 65535
Peak Area Range (in channels) : 1 - 65535
Identification Energy Tolerance : 1.000 keV
Sample Taken On         :
Acquisition Started     : 04.09.2003 17:00:08
Live Time                : 4000.0 seconds
Real Time                : 4000.6 seconds
Dead Time               : 0.01 %
Energy Calibration      : -8.879E-007xCh^-2 + 1.275xCh + 9.537 keV

```

Tablo 5'in devamı

Peak Analysis Report : 19.06.2004 23:55:26

 ***** P E A K A N A L Y S I S R E P O R T *****

 Detector Name:
 Sample Title:
 Peak Analysis Performed on: 19.06.2004 23:55:26
 Peak Analysis From Channel: 1
 Peak Analysis To Channel: 1024

Peak No.	ROI start	ROI end	Peak centroid	Energy (keV)	FWHM (keV)	Net Peak Area	Net Area Uncert.	Continuum Counts
1	13-	18	16.00	39.12	2.67	3.57E+002	44.49	6.51E+002
2	40-	46	43.08	86.31	4.21	1.38E+003	81.15	2.72E+003
3	131-	137	134.00	245.41	2.37	4.13E+002	45.02	8.51E+002
4	162-	168	165.00	299.88	1.74	8.88E+001	34.44	5.82E+002
5	193-	199	196.00	354.47	2.50	1.60E+002	31.63	4.44E+002
6	321-	327	324.00	581.08	2.21	1.25E+002	21.93	1.89E+002
7	335-	343	339.00	607.76	2.48	1.16E+002	24.68	2.30E+002
8	806-	813	809.65	1458.76	3.59	5.35E+002	24.31	2.78E+001

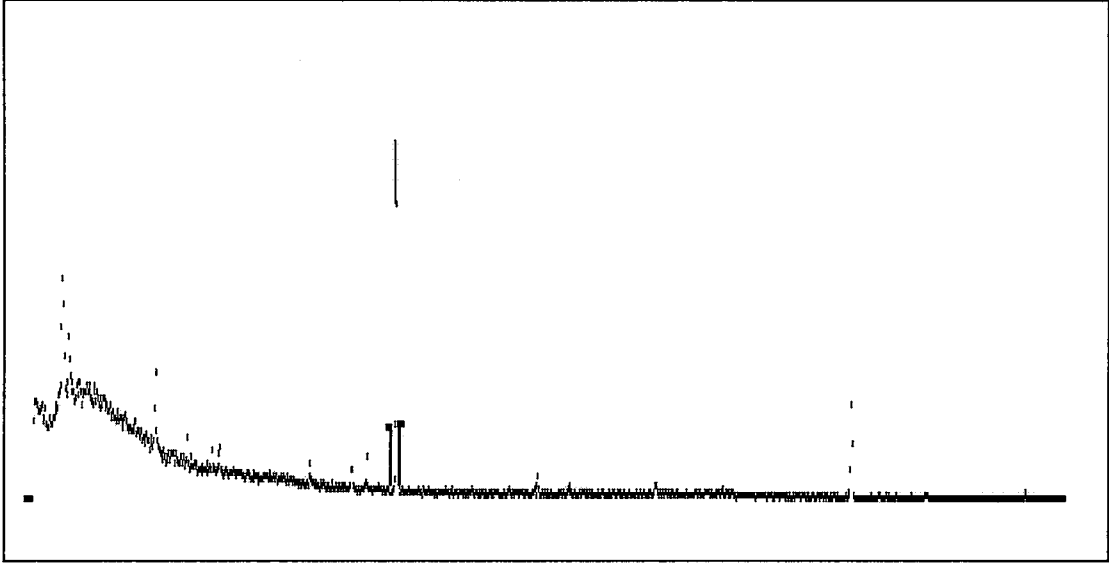
2.2.1.5. Spektrumların Analizi

Pikleri belirleme ve değerlendirme: Spektrumdaki her bir pik için ilgili alan bölgeleri (Region Of Interest, ROI) seçildi. Her bir pikin sınırları ROI bölgelerinin rengini değiştirmekle oluşturuldu. Her bir pik ayrı ayrı sırayla ilgilenerek en küçük hataya sahip net alanı verecek şekilde pik alanları işaretlendirildi. Daha sonra kalibrasyon katsayıları bilgisayar programına verilerek piklerin merkez kanallarına karşılık gelecek enerji değerleri bulundu. Bu enerjilere karşılık gelen doğal radyoaktif izotoplar tablolara bakılarak tespit edildi.

Aktivite hesabı : Piklerin altındaki net alanlar toplam alandan zemin çıkarılarak elde edilen sayma sayılarının toplamıdır. Saniyedeki sayma (cps), pik altında kalan alanın pik elde etmek için geçen süreye bölümüdür. Dedektör verimi de hesaba katılarak aktivite için:

$$Aktivite \ (Bq / kg) = \frac{Net \ Sayım}{Sayım \ Süresi \ x \ Verim \ x \ Numune \ Kütlesi} \quad (37)$$

bağıntısı kullanıldı. Burada Net Alan, numune sayımından boş sayım çıkarılarak bulunmuştur.



Şekil 16. 14 Nolu Toprak Numunesinin Gama Işını Spektrumu Örneği

Tablo 6. 14 Nolu Toprak Numunesine Ait Rapor Örneği

```

*****
****          G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S          ****
*****
Filename: C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\RECEPK\Z14T.MCA
Report Generated On       : 20.06.2004 00:56:23
Sample Title              : Z14T.MCA
Spectrum Description      : Z14T.MCA-FCNVT[S100]
Sample Identification      : 98
Peak Locate Threshold     : 5.00
Peak Locate Range (in channels) : 1 - 65535
Peak Area Range (in channels) : 1 - 65535
Identification Energy Tolerance : 1.000 keV
Acquisition Started      : 17.09.2003 01:01:51
Live Time                 : 4000.0 seconds
Real Time                 : 4008.3 seconds
Dead Time                 : 0.21 %
Energy Calibration        : -8.879E-007xCh^-2+1.275xCh+9.537 keV
Peak Analysis Report      : 20.06.2004 00:56:23
*****
****          P E A K   A N A L Y S I S   R E P O R T          ****
*****
                Peak Analysis Performed on: 20.06.2004 00:56:23
Peak Analysis From Channel : 1
Peak Analysis To Channel   : 1024
Peak ROI ROI Peak Energy FWHM Net Peak Net Area Continuum
No. start end centroid (keV) (keV) Area Uncert. Counts
1 131- 138 135.00 246.90 3.05 6.30E+002 61.61 1.57E+003
2 163- 169 166.00 301.83 1.86 1.03E+002 44.19 9.78E+002
3 337- 344 341.00 612.50 2.12 1.86E+002 27.86 2.94E+002
4 365- 374 370.00 664.08 2.29 1.69E+003 49.18 3.24E+002
5 810- 819 815.08 1459.13 3.23 7.31E+002 28.35 3.25E+001

```

2.2.2. ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Laboratuvar Çalışmaları

2.2.2.1. Deneysel Sistem

Deneysel çalışma süresince toprak ve sediment numunelerinin gama spektrometrik analizleri, yüksek saflıkta çok kanallı germanyum spektroskopisi kullanılarak yapıldı. Gama Spektrometre Cihazı, 0,33 MeV' de % 15-16'lık bir relatif verime sahip olup; yüksek saflıkta Ge dedektörü, önyükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden ibarettir. Şekil 12.'de sistemin düzeneği verilmektedir.

2.2.2.2. Deneysel Yöntem

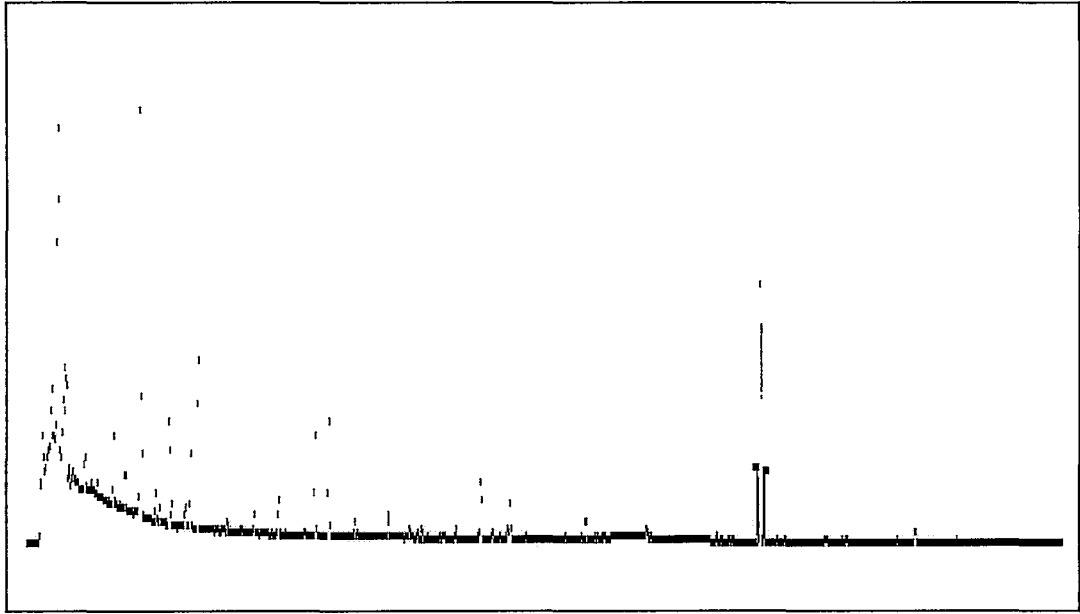
Samsun OMÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda kullanılan Ge(Li) dedektörünün sayıma hazırlanması için gerekli olan enerji ve verim kalibrasyon işlemleri (2.2.1.2. Deneysel Yöntem) benzer şekilde İstanbul – ÇNAEM Sağlık Fiziği Laboratuvarında kullanılmış olan Ge(Li) dedektör sistemi için de yapıldı.

2.2.2.3. Örneklerin Analize Hazırlanması

Çalışma bölgesinden toplanan toprak ve sediment örneklerinden 10'ar adet ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Laboratuvarı'na götürüldü. Burada numuneler kurutulması için bekletildi ve elendikten sonra her bir numune dedektörün numune odasına uygun olarak önceden hazırlanmış marinelli kaplara konuldu ve kapların kapakları sıkıca yapışkanla kapatıldı. Numuneler içindeki radyum ve ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için 3 hafta bekletildi. Bekleme sonunda numuneler tartıldıktan sonra, içerisindeki radyonüklidler Ge(Li) dedektörünün bulunduğu gama spektrometresi ile analiz edildi.

2.2.2.4. Gama Spektrometre Sisteminde Spektrumların Alınması

Numune, dedektörün hemen önündeki kurşunla kaplı numune odasına konulduktan sonra, bilgisayardan Genie-2000 programı çalıştırıldı. Sonra dedektör sistemi çalıştırılarak HV güç kaynağı +4000 V'a çıkartıldı. Numune sayım süresi istenilen süresi 50000 s olarak ayarlandı. Sayıma hazırlanan numune, seçilen süre kadar sayılarak spektrum elde edildi. Bir spektrum örneği Şekil 17.'de, spektruma ait rapor Tablo 7.'de görülmektedir.



Şekil 17. 19 Nolu Sediment Numunesinin Gama Işını Spektrumu Örneği

Tablo 7. 19 Nolu Sediment Numunesine Ait Rapor Örneği

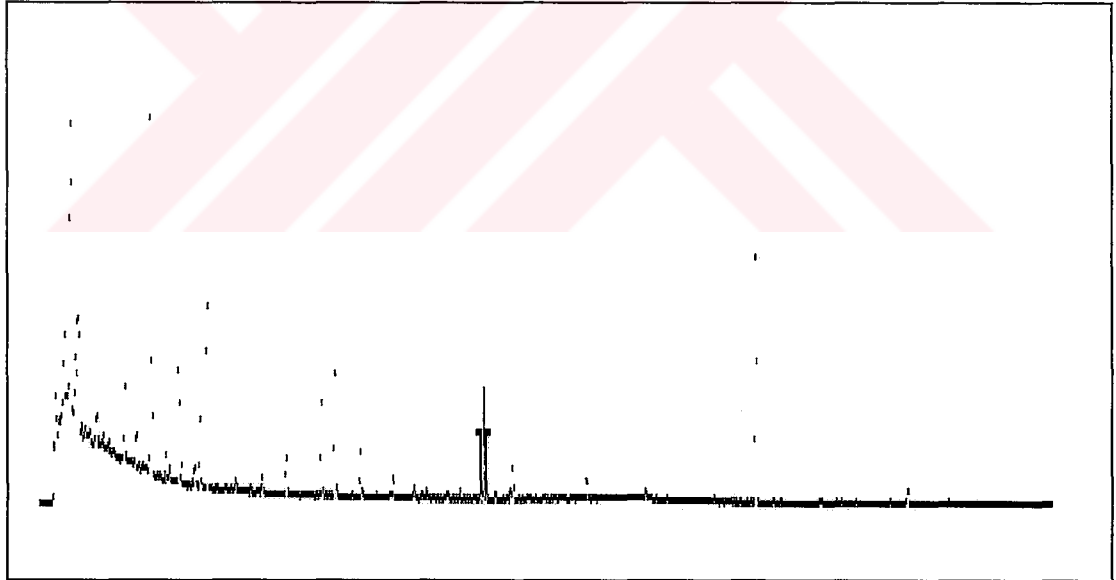
```

*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****
Filename: C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\RECEPK\Z19K.MCA
Report Generated On       : 20.06.2004 01:51:22
Sample Title              : Z19K.MCA
Peak Locate Threshold     : 5.00
Peak Locate Range (in channels) : 1 - 65535
Peak Area Range (in channels) : 1 - 65535
Identification Energy Tolerance : 1.000 keV
Acquisition Started      : 29.04.2004 05:08:46
Live Time                 : 50000.0 seconds
Real Time                 : 50012.9 seconds
Dead Time                 : 0.03 %
Energy Calibration Used Done On : 13.04.2004
Peak Analysis Report      : 20.06.2004 01:51:22
*****
*****      P E A K   A N A L Y S I S   R E P O R T      *****
Peak No.  ROI start end  Peak centroid  Energy (keV)  FWHM (keV)  Net Peak Area  Net Area Uncert.  Continuum Counts
1         76- 95    83.73  41.60  2.17  6.90E+003  102.85  6.11E+003
2         76- 95    90.76  45.13  2.18  6.40E+003  133.29  1.37E+004
3        115- 131  125.25  62.44  1.45  5.32E+003  390.26  4.68E+004
4        139- 162  148.26  73.99  1.34  1.73E+004  180.76  2.47E+004
5        139- 162  152.80  76.27  1.35  2.61E+004  207.27  2.36E+004
6        164- 192  167.15  83.47  1.45  2.91E+003  122.92  1.80E+004
7        164- 192  173.05  86.43  1.45  8.53E+003  145.75  2.16E+004
8        164- 192  178.42  89.13  1.46  5.64E+003  129.90  1.84E+004
9        164- 192  184.55  92.20  1.46  9.44E+003  147.15  1.73E+004
10       192- 202  197.40  98.65  1.27  5.48E+002  214.63  1.91E+004
11       204- 213  209.42  104.69  1.34  9.10E+002  197.86  1.69E+004
12       251- 267  256.64  128.39  1.30  2.62E+003  290.21  2.60E+004
13       281- 295  285.89  143.07  0.90  6.64E+002  250.83  2.16E+004

```

Tablo 7'nin devamı

14	304-	311	306.62	153.47	1.22	9.55E+002	150.53	1.07E+004
15	363-	378	370.10	185.33	1.52	6.51E+003	242.27	1.73E+004
16	412-	425	416.54	208.64	1.38	2.84E+003	199.05	1.33E+004
17	463-	491	475.14	238.05	1.51	3.51E+004	203.70	7.69E+003
18	463-	491	481.04	241.01	1.52	7.02E+003	106.45	7.01E+003
19	532-	543	538.01	269.61	1.68	2.76E+003	144.17	7.19E+003
20	544-	564	552.31	276.78	1.35	7.98E+002	217.71	1.28E+004
21	581-	602	587.92	294.65	1.43	9.18E+003	114.55	5.16E+003
22	581-	602	597.60	299.51	1.44	2.07E+003	70.31	4.49E+003
23	647-	658	653.06	327.35	1.48	1.57E+003	125.17	5.63E+003
24	668-	683	673.90	337.81	1.54	6.95E+003	165.13	6.69E+003
25	693-	713	700.98	351.40	1.54	1.60E+004	210.98	7.74E+003
26	811-	824	815.73	408.99	1.47	7.68E+002	116.80	4.65E+003
27	917-	934	922.45	462.55	1.90	2.02E+003	131.78	4.64E+003
28	1007-	1028	1017.50	510.26	1.79	4.23E+003	151.38	4.98E+003
29	1116-	1130	1120.45	561.93	1.31	2.96E+002	96.66	3.13E+003
30	1150-	1172	1161.84	582.70	1.70	1.03E+004	165.45	4.40E+003
31	1206-	1220	1213.90	608.83	1.66	1.12E+004	141.45	3.07E+003
32	1312-	1335	1318.18	661.17	1.82	1.84E+003	58.80	2.05E+003
33	1312-	1335	1326.16	665.18	1.82	3.97E+002	38.94	1.99E+003
34	1442-	1457	1448.96	726.80	1.69	2.05E+003	101.82	2.76E+003
35	1525-	1543	1530.91	767.94	1.80	8.22E+002	48.30	2.04E+003
36	1525-	1543	1538.88	771.94	1.80	3.38E+002	38.20	1.74E+003
37	1554-	1572	1565.53	785.31	1.98	6.15E+002	97.23	2.62E+003
38	1579-	1591	1583.79	794.47	1.77	1.09E+003	75.52	1.74E+003



Şekil 18. 19 Nolu Sediment Numunesinin Gama Işını Spektrumu Örneği

Tablo 8. 19 Nolu Sediment Numunesine Ait Rapor Örneği

```

*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****
Filename: C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\RECEPK\ Z9T.CNF
Report Generated On       : 20.06.2004 02:06:35
Peak Locate Threshold    : 5.00

```

Tablo 8'in devamı

Peak Locate Range (in channels) : 1 - 65535
 Peak Area Range (in channels) : 1 - 65535
 Identification Energy Tolerance : 1.000 keV
 Sample Size : 1.000E+000 Unit
 Sample Taken On :
 Acquisition Started : 28.04.2004 04:47:10
 Live Time : 50000.0 seconds
 Real Time : 50007.6 seconds
 Dead Time : 0.02 %

 *** P E A K A N A L Y S I S R E P O R T ***

Detector Name: ACCUSB

Sample Title: Z9T.CNF

Peak Analysis Performed on: 20.06.2004 02:06:35

Peak Analysis From Channel: 1

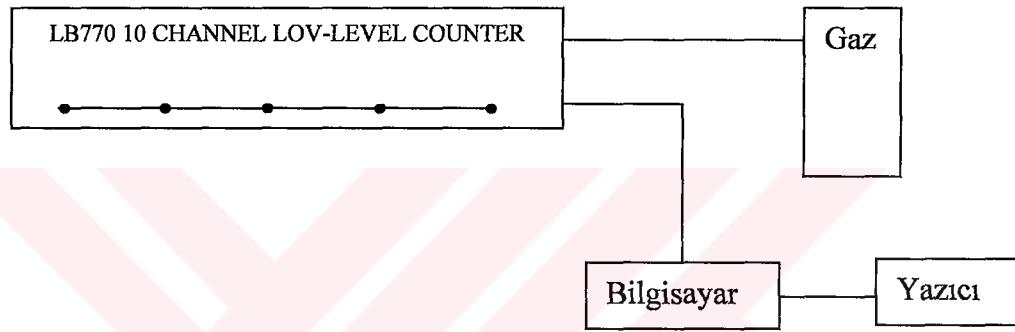
Peak Analysis To Channel: 4096

Peak No.	ROI start	ROI end	Peak centroid	Energy (keV)	FWHM (keV)	Net Peak Area	Net Area Uncert.	Continuum Counts
1	77-	95	83.80	41.64	2.22	3.73E+003	76.74	3.22E+003
2	77-	95	90.81	45.16	2.24	3.44E+003	98.47	7.29E+003
3	115-	129	125.22	62.42	1.41	3.96E+003	259.47	2.19E+004
4	138-	159	148.32	74.02	1.38	8.87E+003	132.22	1.36E+004
5	138-	159	152.85	76.29	1.38	1.35E+004	151.38	1.29E+004
6	163-	192	167.02	83.41	1.50	1.44E+003	93.05	1.17E+004
7	163-	192	173.04	86.43	1.50	4.68E+003	111.03	1.25E+004
8	163-	192	178.47	89.15	1.51	2.68E+003	96.29	1.20E+004
9	163-	192	184.35	92.11	1.51	6.15E+003	117.51	1.13E+004
10	192-	205	198.18	99.04	1.02	-2.47E+002	202.35	1.49E+004
11	245-	267	256.43	128.28	1.47	1.87E+003	287.96	2.09E+004
12	362-	377	370.02	185.29	1.53	3.59E+003	189.97	1.08E+004
13	412-	424	416.66	208.70	1.43	1.34E+003	146.44	7.61E+003
14	468-	487	475.18	238.07	1.48	1.71E+004	144.31	4.78E+003
15	468-	487	481.16	241.07	1.48	3.60E+003	79.31	4.51E+003
16	528-	544	538.25	269.72	1.66	1.22E+003	145.29	6.36E+003
17	547-	558	552.18	276.71	1.23	6.21E+002	106.41	4.26E+003
18	582-	609	587.94	294.66	1.47	5.64E+003	90.24	3.17E+003
19	582-	609	597.84	299.63	1.48	1.05E+003	52.26	2.96E+003
20	645-	660	653.04	327.34	1.57	7.54E+002	121.07	4.62E+003
21	668-	686	673.89	337.80	1.46	3.41E+003	140.88	4.78E+003
22	692-	708	700.98	351.40	1.53	9.26E+003	148.43	4.09E+003
23	812-	823	815.54	408.90	1.19	3.69E+002	81.43	2.48E+003
24	914-	928	922.22	462.44	1.62	9.92E+002	88.32	2.37E+003
25	1008-	1029	1017.47	510.24	1.89	2.47E+003	118.12	3.06E+003
26	1148-	1168	1161.89	582.73	1.61	5.16E+003	118.69	2.39E+003
27	1208-	1219	1213.90	608.83	1.65	6.74E+003	100.66	1.35E+003
28	1310-	1323	1318.23	661.19	1.72	2.31E+003	83.90	1.72E+003
29	1445-	1460	1448.83	726.74	1.63	9.83E+002	75.50	1.53E+003
30	1523-	1544	1530.78	767.87	1.80	6.35E+002	37.79	1.07E+003
31	1523-	1544	1538.91	771.95	1.80	2.31E+002	28.28	9.67E+002
32	1561-	1576	1565.52	785.31	1.71	2.77E+002	65.89	1.35E+003
33	1577-	1593	1583.63	794.39	1.83	4.74E+002	68.93	1.36E+003
34	1709-	1722	1714.49	860.07	2.22	5.79E+002	57.60	9.88E+002
35	1806-	1826	1815.50	910.77	1.95	3.19E+003	93.80	1.55E+003
36	1854-	1872	1860.65	933.43	1.90	2.51E+002	67.73	1.28E+003
37	1917-	1937	1922.29	964.37	1.87	5.91E+002	33.73	7.69E+002

2.3. Su Numunelerinin Radyoaktivite Ölçümleri

2.2.3.1. Deneysel Sistem

Su numunelerinin radyoaktif analizleri için, ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Laboratuvarında bulunan Berthold marka LB770 model 10 Kanallı (Dedektörlü) Düşük Seviyeli Alfa-Beta sayım cihazı kullanılmıştır. Bilgisayar kontrollü 10 Kanallı Düşük Seviyeli LB770 Sayım Cihazı, 10 numunenin alfa ve beta sayımlarını (radyoaktivite ölçümlerini) aynı anda yapabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Dedeksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir.



Şekil 19. Alfa-Beta sayım cihazı blok diyagramı

Dedeksiyon ortamı olarak en çok kullanılan gazlar argon, ksenon, izobütan, helyum ve metandır. Bir tüp, bu gazlardan biri veya ikisinin karışımı ile doldurulup içine iki elektrot konular. Gaz içinde meydana gelen iyonlar zıt işaretli elektrotlarda toplanırlar. İyonların elektrotlarda toplanmasından meydana gelen elektrik akımı laboratuvar sayım cihazının elektronik devresinde dedekte edilir.

Alfa veya beta sayımında kullanılan bu gaz akışlı orantılı sayıcılar genellikle yarım küre şeklinde bir sayım odasına sahiptir. Ortalarında tungstenden yapılmış bir tel halka bulunur. Tel, anot görevi, oda duvarları da katot görevi görür. Akışkan gaz, oda içinden geçirilerek oda içinde pozitif iyonlar oluşturulur. Alfa sayıcılarında kullanılan akışkan gaz %90 argon ve %10 metan karışımı içermektedir. Alfa sayıcısı penceresizdir. Cihazın sayma verimi %50 civarında ve temel seviye sayımı dakikada 0,1'in altındadır. Beta sayıcısında akışkan gaz olarak %0,95'i izobütan ve kalanı helyum olan gaz karışımı kullanılmaktadır.. Cihazın sayma verimi %55-65 arasında ve temel seviyesi dakikada 1 sayımdan küçüktür. Beta sayıcısı 0,8 mg/cm² kalınlığında alfa parçacıklarını tutma görevini yapan bir pencereye sahiptir. Beta sayıcısının

aynı zamanda antikoincidans devresi olup uzaydan gelen kozmik ışınların oluşturacağı iyonizasyonu, dolayısıyla meydana gelecek ilave sayımları ortadan kaldırma işlevi görür.

2.2.3.2. Örneklerin Analize Hazırlanması

Su numuneleri 500 ml 'lik temiz beherlere aktarılarak, 50-60 °C'lik bir ısıtıcı üzerine bırakıldı. Buharlaşma işlemi beher içerisindeki suyun %10'u kalıncaya kadar sürdürüldü. Buharlaşma esnasında beher duvarlarına yapışan maddeleri önlemek için beher içersine birkaç damla %1'lik HNO₃ katıldı. Buharlaşma işlemi, beherde kalan konsantre su önceden darası ve boş sayımı alınmış planşet içine planşeti taşmayacak şekilde azar azar aktararak kuruluk kalıncaya kadar sürdürüldü. Buharlaşma işlemi bittikten sonra planşet içerisinde kalan çökelti tartılarak kayıt edildi. Planşet 105 °C sıcaklığındaki bir etüv makinesi içine konularak iyice kurutuldu. Daha sonra sayım alınmaya başlandı.

2.4. Su Numunelerinin Kimyasal Analizleri

Su numunelerinin kimyasal analizleri KTÜ Rize Su Ürünleri Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Numuneler, çalışma bölgesinde belirlenen istasyonlardan 1'er litrelik, steril, ışık geçirmez kaplarda alınarak 6 saat içerisinde laboratuvara getirilmiştir. Su numunelerinin kimyasal analizinde MERCK marka NOVA 30 Model Spectroquant kullanılmıştır.

Her analiz için uygun miktarlarda su numuneleri test kitlerinde ifade edilen oranlarda (Tablo 9.) kullanılmış olup; pH, sıcaklık ve bulanıklıkla ilgili işlemler yapılarak su numuneleri kimyasal analize hazırlanmıştır.

Spectroquant ile direkt olarak, Zn, Ca, Cd, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Ni, Na ve K elementlerinin konsantrasyon değerleri ölçülmüştür.

Tablo 9. Test kitleri ve ölçüm aralıkları

Kimyasal Element	Ölçüm Aralığı mg/l
Çinko (Zn)	0.025-1.00
Kalsiyum (Ca)	10-250
Bakır (Cu)	0.05-8.00
Demir (Fe)	0.09-4.00
Kurşun (Pb)	0.10-5
Magmezyum (Mg)	5-75
Nikel (Ni)	0.10-6
Sodyum (Na)	10-300
Potasyum (K)	5-50

3. BULGULAR

Önceki bölümde anlatılan yöntemlerle, Fırtına Vadisi'nin doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi için toplanan toprak ve sediment numunelerinin gama spektrometrik analizleri yapılarak, her bir numune içerisinde bulunan radyoaktif izotopların aktiviteleri, su numunelerinin toplam alfa-beta radyoaktivite ve kimyasal analizleri elde edilerek sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir.

3.1. Toprak ve Sediment Numunelerinin Gama Spektrometrik Analiz Sonuçları

Toprak ve sediment numunelerinin gama spektrometrik analizleri Samsun OMÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda ve belirli bölgelerden 10'ar numunenin gama spektrometrik analizleri TAEK Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fizigi Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu iki ölçüm arasında kullanılan verim çarpanının elde edilmesi şu şekilde olmaktadır. (37) numaralı denklemi tekrar yazarsak,

$$Aktivite (Bq / kg) = \frac{Net Sayım}{Sayım Süresi \times Verim \times Numune Kütlesi} \quad (37)$$

aktivite; Net Sayıma, Sayım Süresine, dedektörün verimine ve analiz edilen numunenin kütlesine bağlıdır.

M kütleli numunenin iki ayrı dedektörde elde edilen aktivite değerleri için;

i) 4000 s'de alınan ölçüm sonucunda hesaplanan aktivite A_1

ii) 50000 s'de elde edilen aktivite ise A_2 olsun.

A_1 ve A_2 değerleri için:

$$A_1 = \frac{Net Alan_1}{(4000s) \times Verim_1 \times M} \quad (38)$$

$$A_2 = \frac{Net Alan_2}{(50000s) \times Verim_2 \times M} \quad (39)$$

Bu iki aktivite değerinin oranı alınırsa;

$$\frac{A_1}{A_2} = 12.5 \times \frac{Net Alan_1}{Net Alan_2} \times \frac{Verim_2}{Verim_1} \quad (40)$$

olarak elde edilir. Net alan değeri; ilgilenen enerjideki pikin altındaki alandan boş sayımın çıkarılmasıyla elde edilir.

Bir örnek olarak 19 numaralı sediment numunesinde 1460 keV için bu değerler:

$$\text{Toplam Alan}_1 = 921 \pm 3.1 \% \text{Boş Sayım}_1 = 170 \pm 8.66\%$$

$$\text{Toplam Alan}_2 = 23883 \pm 0.79\% \text{Boş Sayım}_2 = 215 \pm 0.95\%$$

$$\text{Verim}_1 = 0.000151635 \text{Verim}_2 = 0.004647$$

Böylece;

$$\frac{\text{Net Alan}_1}{\text{Net Alan}_2} = 0.0317$$

$$\frac{\text{Verim}_2}{\text{Verim}_1} = 30.646$$

Bu değerler yerine yazılırsa; 1460 keV enerjili pik için OMÜ FEF Nükleer Fizik laboratuvarındaki Ge(Li) dedektörü ile elde edilen aktivite değeri ile ÇNAEM Sağlık Fiziği laboratuvarında kullanılan Ge(Li) dedektöründe elde edilen aktivite değeri arasındaki verim katsayısı 12.15 olarak elde edilir. Diğer enerjilerdeki verim katsayı değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 10. Verim katsayı değerleri

Enerji (keV)	Verim Katsayısı
351	4.54
583	11.10
609	11.15
661	9.45
911	9.45
1460	12.15

ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Laboratuvar'ında ölçülemeyen diğer numunelerin aktiviteleri, OMÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda elde edilen aktive değerleri üzerinde bu verim katsayı düzeltmeleri yapılarak elde edilmiştir.

Tablo 11. ÇNAEM ve Samsun OMÜ Sediment Numuneleri Gama Spektrometreleri Analiz Sonuçları *

İstasyonlar	²³⁸ U Serisi			
	²¹⁴ Pb		²¹⁴ Bi	
1	15,77±0,32	15,61±1,41	14,90±0,30	14,69±3,23
4	22,90±0,46	22,66±2,04	21,14±0,42	20,84±4,58
7	38,67±0,77	38,27±3,44	48,27±0,97	47,58±10,47
9	49,02±0,98	48,52±4,37	45,11±0,90	44,46±9,78
12	60,98±1,22	60,35±5,43	56,24±1,12	55,43±12,19
16	54,52±1,09	53,96±4,86	45,78±0,92	45,13±9,93
19	52,27±1,05	51,73±4,66	46,37±0,93	45,71±10,06
22	67,42±1,35	66,73±6,01	63,81±1,28	62,89±13,84
28	89,85±1,80	88,93±8,00	83,36±1,67	82,16±18,08

İstasyonlar	²³² Th Serisi			
	²²⁸ Ac		²⁰⁸ Tl	
1	61,05±2,44	59,99±22,20	19,91±0,60	19,86±6,55
4	33,94±1,36	33,36±12,34	29,36±0,88	29,30±9,67
7	69,81±2,79	68,61±25,39	42,03±1,26	41,94±13,84
9	34,06±1,36	33,47±12,38	37,37±1,12	37,29±12,31
12	55,40±2,22	54,45±20,15	56,59±1,70	56,48±18,64
16	50,90±2,04	50,02±18,51	51,68±1,55	51,57±17,02
19	57,92±2,32	56,92±21,06	62,67±1,88	62,54±20,64
22	65,18±2,61	64,06±23,70	76,04±2,28	75,88±25,04
28	106,53±4,26	104,70±38,74	68,38±2,05	68,24±22,52

*Birinci sütun ÇNAEM, ikinci sütun OMÜ’de alınan sonuçlardır.

Tablo 11'in devamı

İstasyonlar	⁴⁰ K		¹³⁷ Cs	
1	92,46±0,92	90,96±10,91	1,57±0,06	1,54±0,59
4	51,41±0,51	50,57±6,07	0,87±0,03	0,86±0,33
7	105,73±1,06	104,01±12,48	1,80±0,07	1,76±0,67
9	544,87±5,45	536,01±64,32	3,41±0,14	3,35±1,27
12	1472,10±14,72	1448,17±173,78	5,10±0,20	5,01±1,90
16	1152,93±11,53	1134,19±136,10	5,90±0,24	5,80±2,20
19	1189,19±11,89	1169,86±140,38	4,06±0,16	3,99±1,52
22	1605,26±16,05	1579,16±189,50	9,23±0,37	9,07±3,45
28	161,34±1,61	158,72±19,05	2,74±0,11	2,69±1,02

Tablo 12. ÇNAEM ve Samsun OMÜ Toprak Numuneleri Gama Spektrometreleri Analiz Sonuçları *

İstasyonlar	²³⁸ U Serisi			
	²¹⁴ Pb		²¹⁴ Bi	
2	15,06±0,30	14,90±1,34	13,53±0,27	13,33±2,93
5	77,07±1,54	76,28±6,87	63,99±1,28	63,07±13,88
7	80,30±1,61	79,48±7,15	71,36±1,43	70,34±15,48
11	56,29±1,13	55,71±5,01	42,79±0,86	42,18±9,28
14	54,52±1,09	53,96±4,86	45,78±0,92	45,13±9,93
17	93,19±1,86	92,23±8,30	86,24±1,72	85,00±18,70
20	75,64±1,51	74,87±6,74	62,61±1,25	61,71±13,58
23	76,23±1,52	75,45±6,79	71,96±1,44	70,93±15,60
26	66,38±1,33	65,69±5,91	61,68±1,23	60,80±13,38
29	70,64±1,41	69,92±6,29	61,18±1,22	60,30±13,27

*Birinci sütun ÇNAEM, ikinci sütun OMÜ'de alınan sonuçlardır.

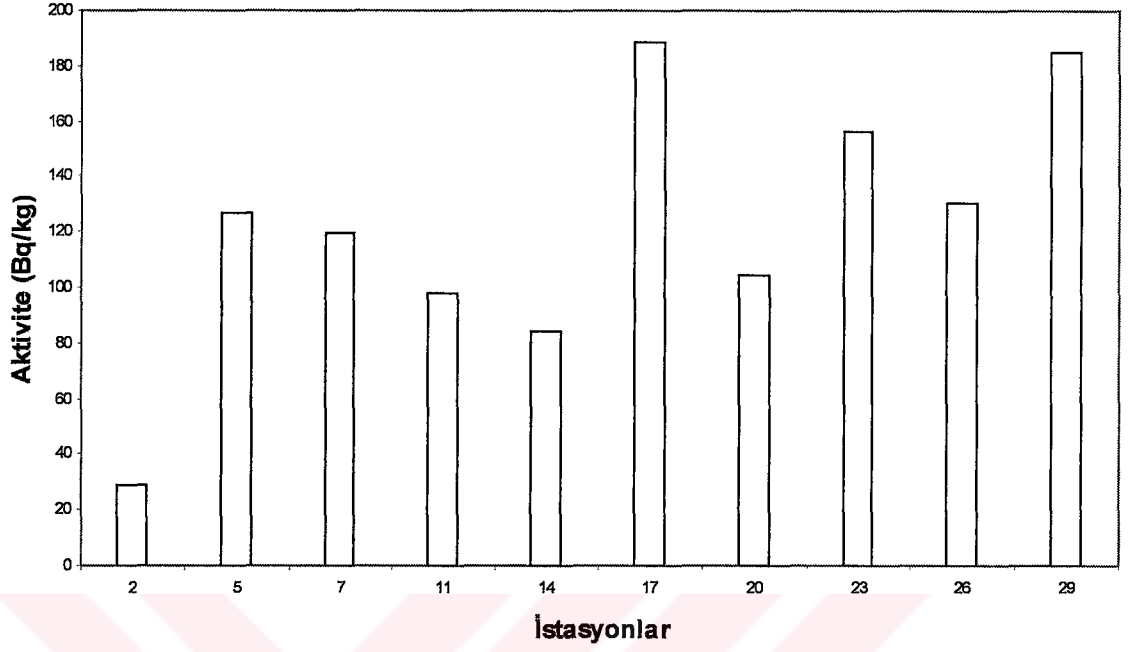
Tablo 12'nin devamı

İstasyonlar	²³² Th Serisi			
	²²⁸ Ac		²⁰⁸ Tl	
2	15,75±0,63	15,48±5,73	17,41±0,52	17,37±5,73
5	69,76±2,79	68,56±25,37	71,82±2,15	71,67±23,65
7	73,33±2,93	72,07±26,67	76,09±2,28	75,93±25,06
11	58,64±2,35	57,63±21,32	59,76±1,79	59,63±19,68
14	50,90±2,04	50,02±18,51	51,68±1,55	51,57±17,02
17	86,60±3,46	85,11±31,49	105,23±3,16	105,01±34,65
20	63,24±2,53	62,15±23,00	68,84±2,07	68,69±22,67
23	74,71±2,99	73,43±27,17	83,11±2,49	82,93±27,37
26	73,71±2,95	72,44±26,80	82,53±2,48	82,35±27,18
29	66,93±2,68	65,78±24,34	70,28±2,11	70,13±23,14

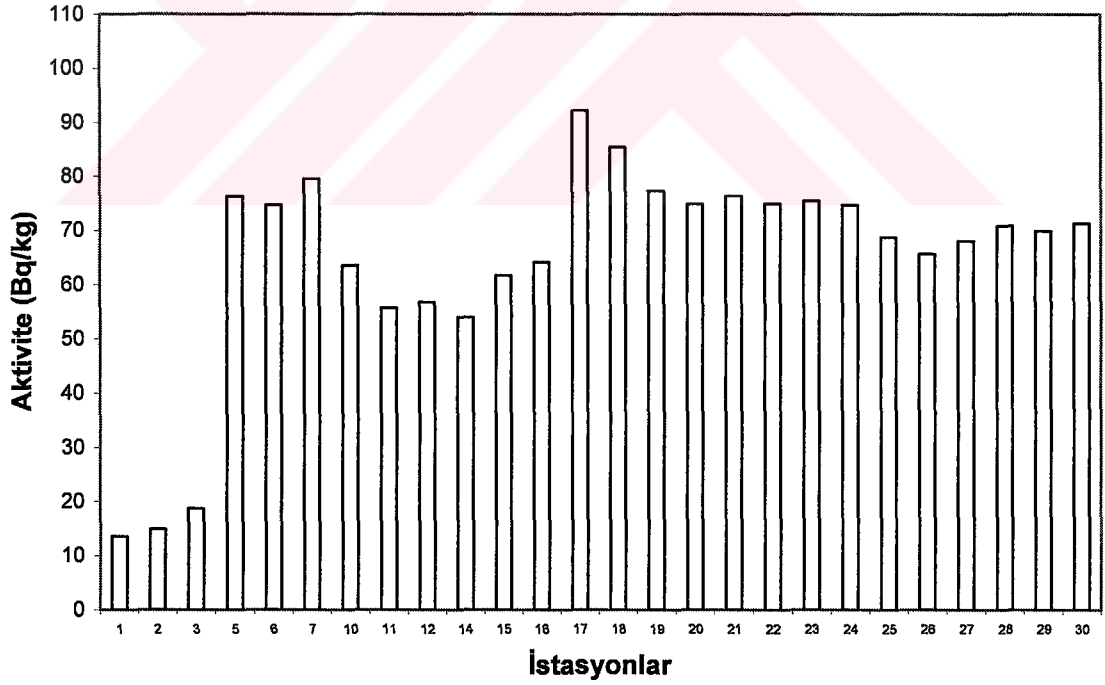
İstasyonlar	⁴⁰ K		¹³⁷ Cs	
	2	378,26±3,78	372,11±44,65	18,95±0,76
5	1033,12±10,33	1016,33±121,96	60,12±2,40	59,09±22,45
7	989,63±9,90	973,55±116,83	80,52±3,22	79,14±30,07
11	863,62±8,64	849,58±101,95	232,44±9,30	228,45±86,81
14	1152,93±11,53	1134,19±136,10	59,90±2,40	58,87±22,37
17	784,95±7,85	772,19±92,66	99,21±3,97	97,50±37,05
20	936,76±9,37	921,54±110,58	103,12±4,12	101,35±38,51
23	1019,17±10,19	1002,60±120,31	121,09±4,84	119,01±45,22
26	744,90±7,45	732,79±87,93	78,46±3,14	77,11±29,30
29	1234,65±12,35	1214,58±145,75	55,10±2,20	54,16±20,58

*Birinci sütun ÇNAEM, ikinci sütun OMÜ'de alınan sonuçlardır.

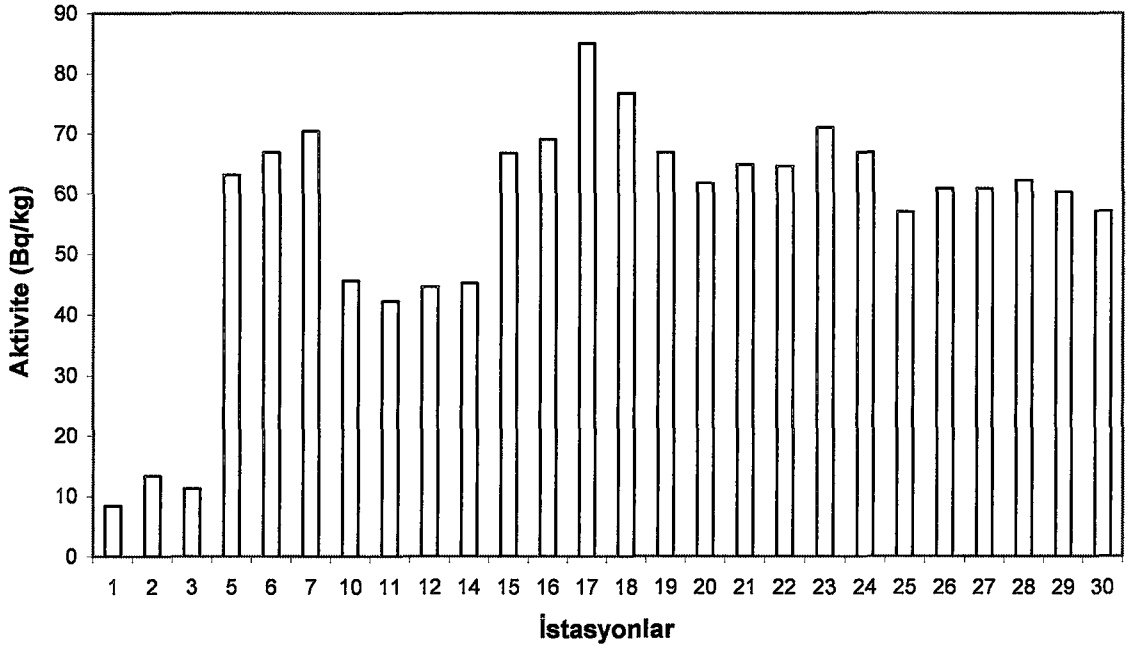
3.1.1. Toprak Numunelerinin Gama Spektrometrik Analiz Sonuçları



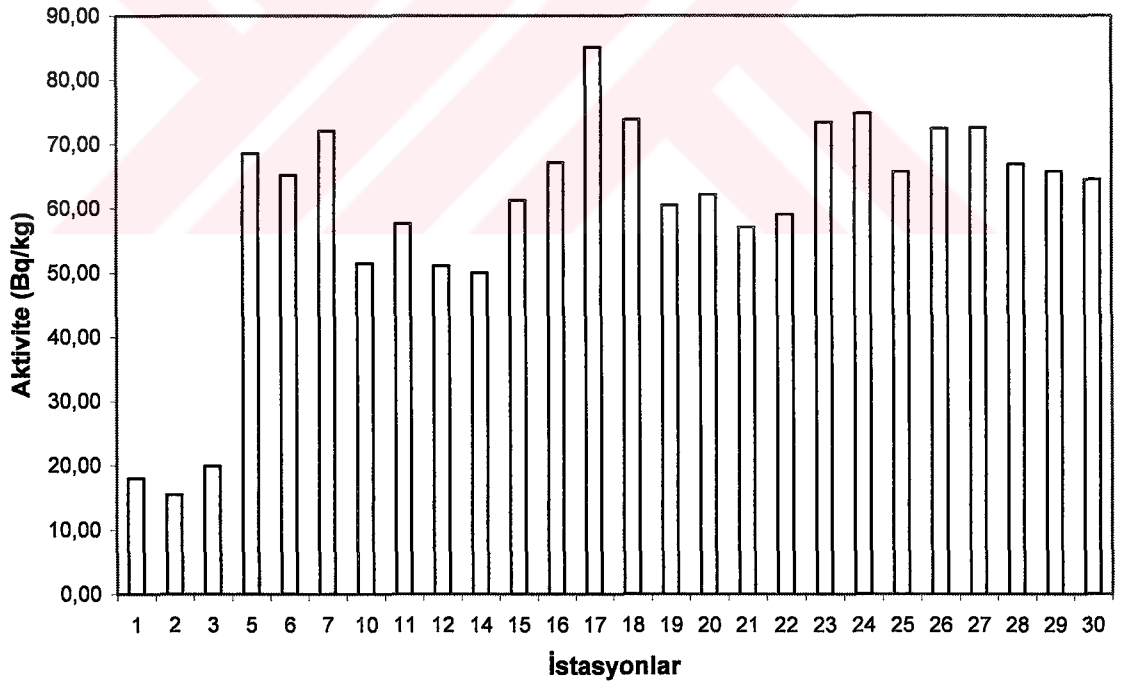
Şekil 20. Toprak numunesinde bulunan Ra-226 konsantrasyonu



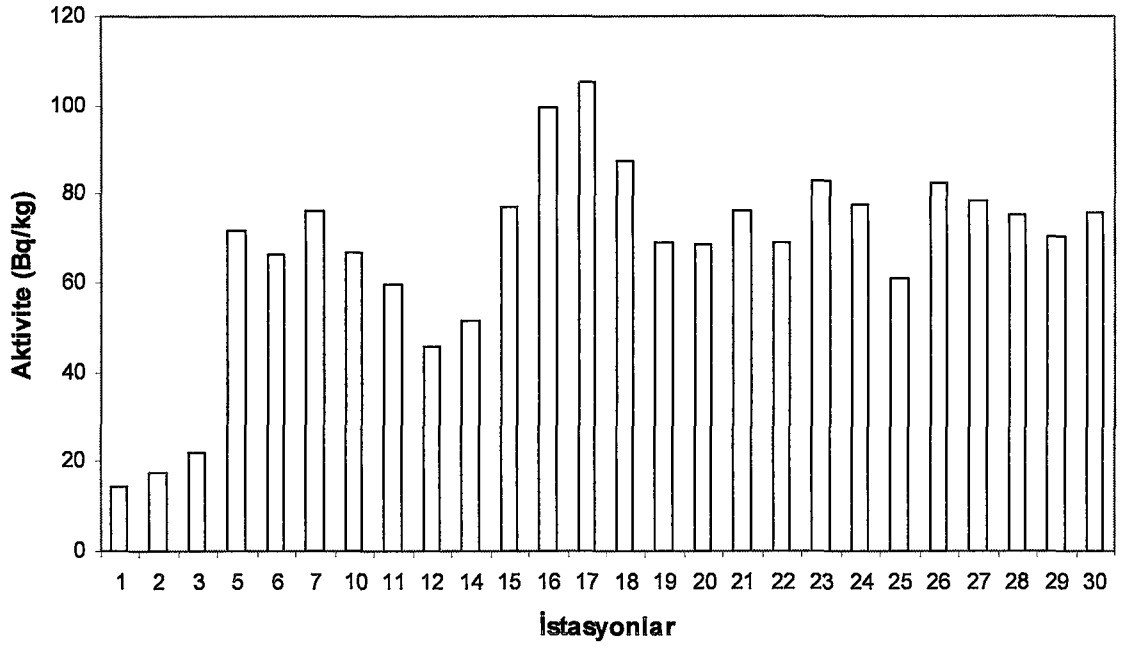
Şekil 21. Toprak numunesinde bulunan Pb-214 konsantrasyonu



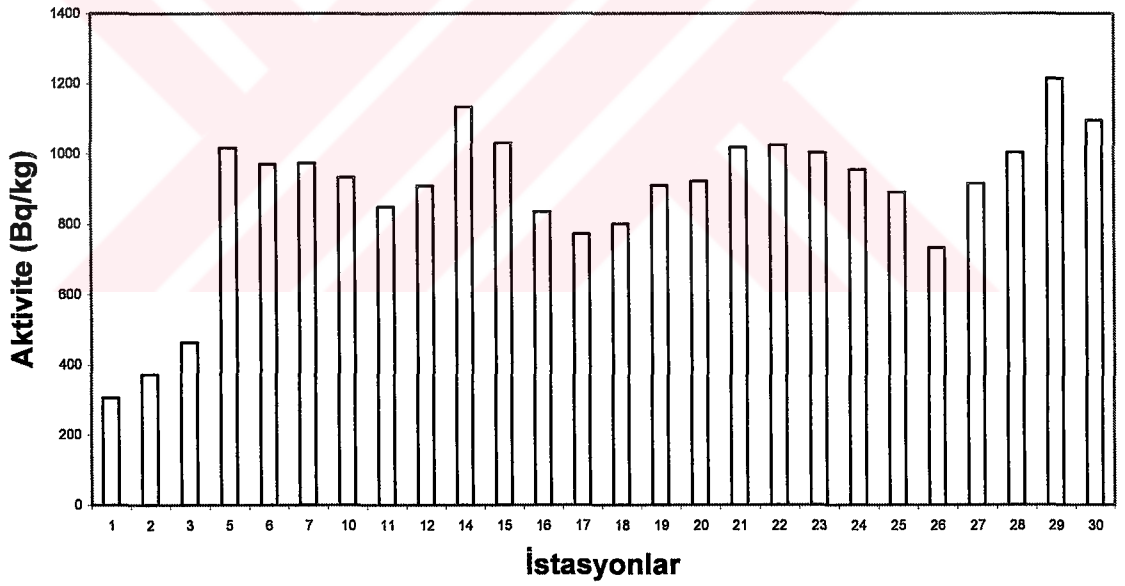
Şekil 22. Toprak numunesinde bulunan Bi-214 konsantrasyonu



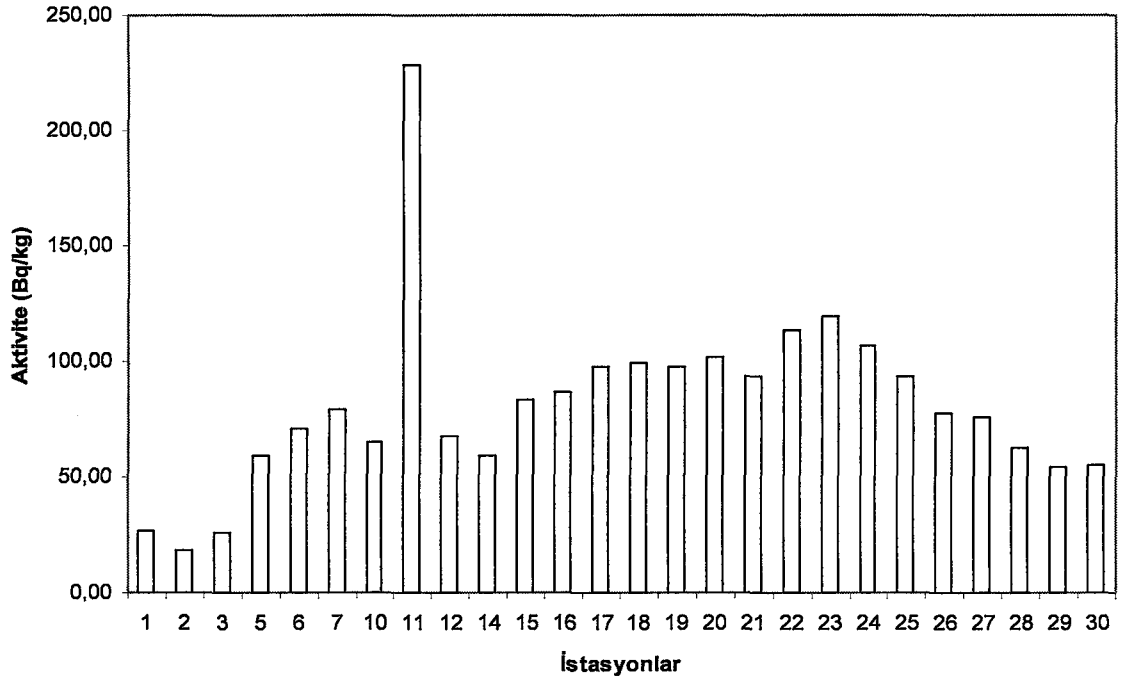
Şekil 23. Toprak numunesinde bulunan Ac-228 konsantrasyonu



Şekil 24. Toprak numunesinde bulunan Tl-208 konsantrasyonu

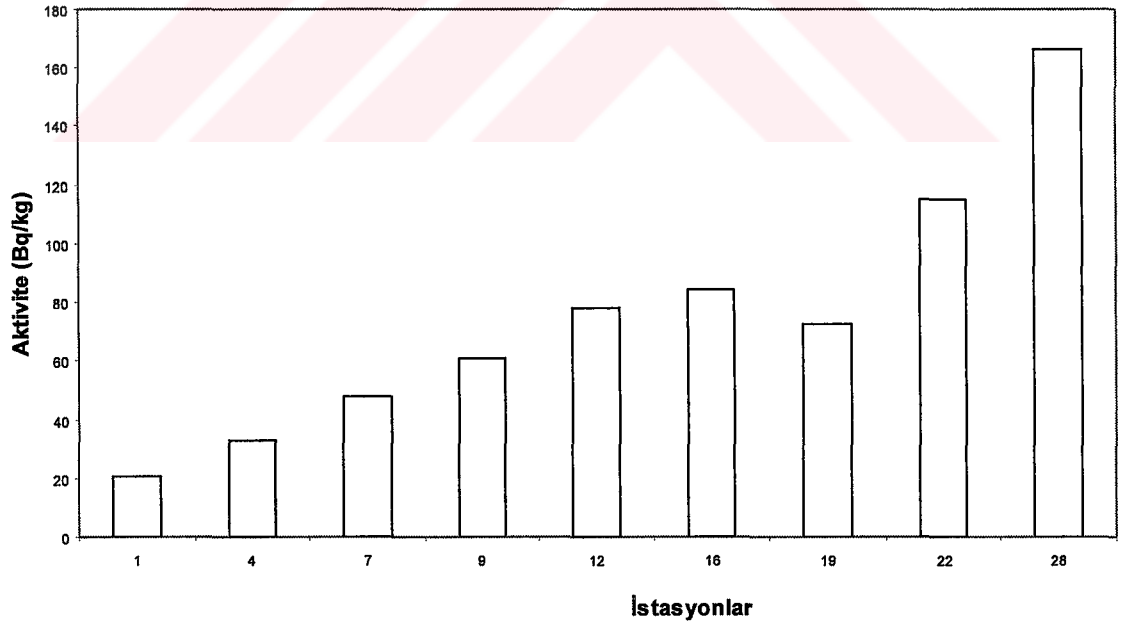


Şekil 25. Toprak numunesinde bulunan K-40 konsantrasyonu

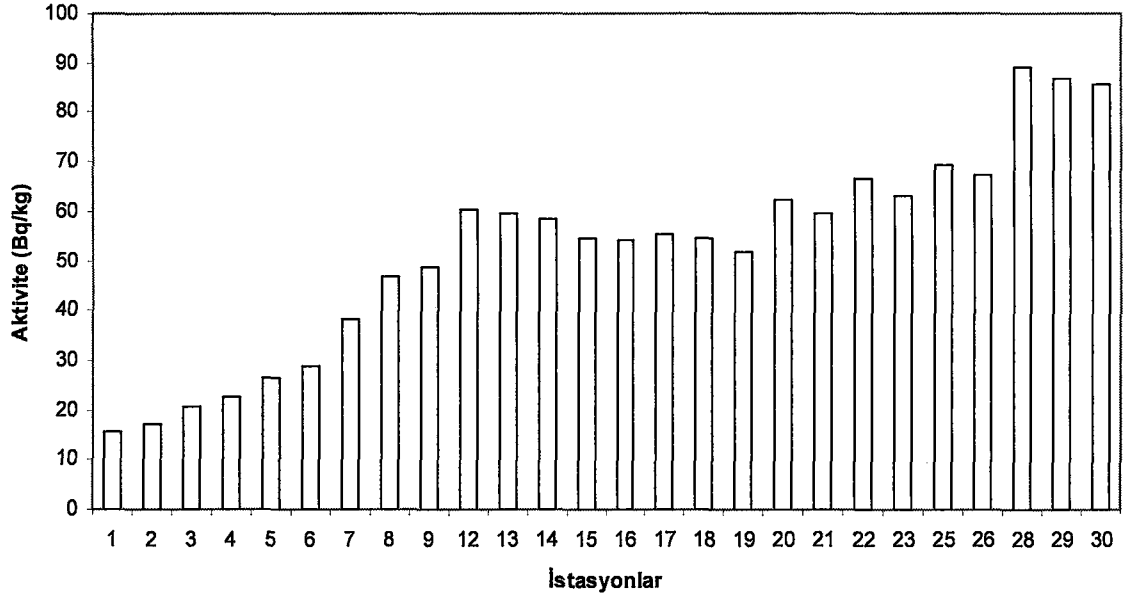


Şekil 26. Toprak numunesinde bulunan Cs-137 konsantrasyonu

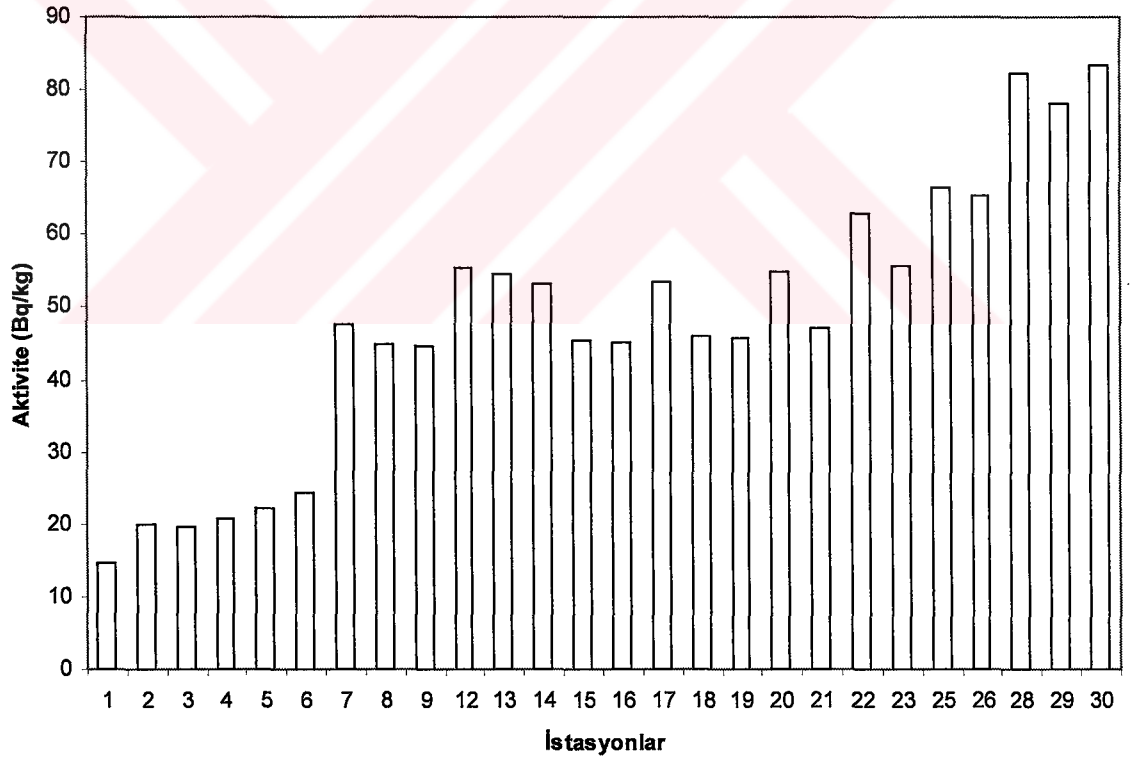
3.1.2. Sediment Numunelerinin Gama Spektrometrik Analiz Sonuçları



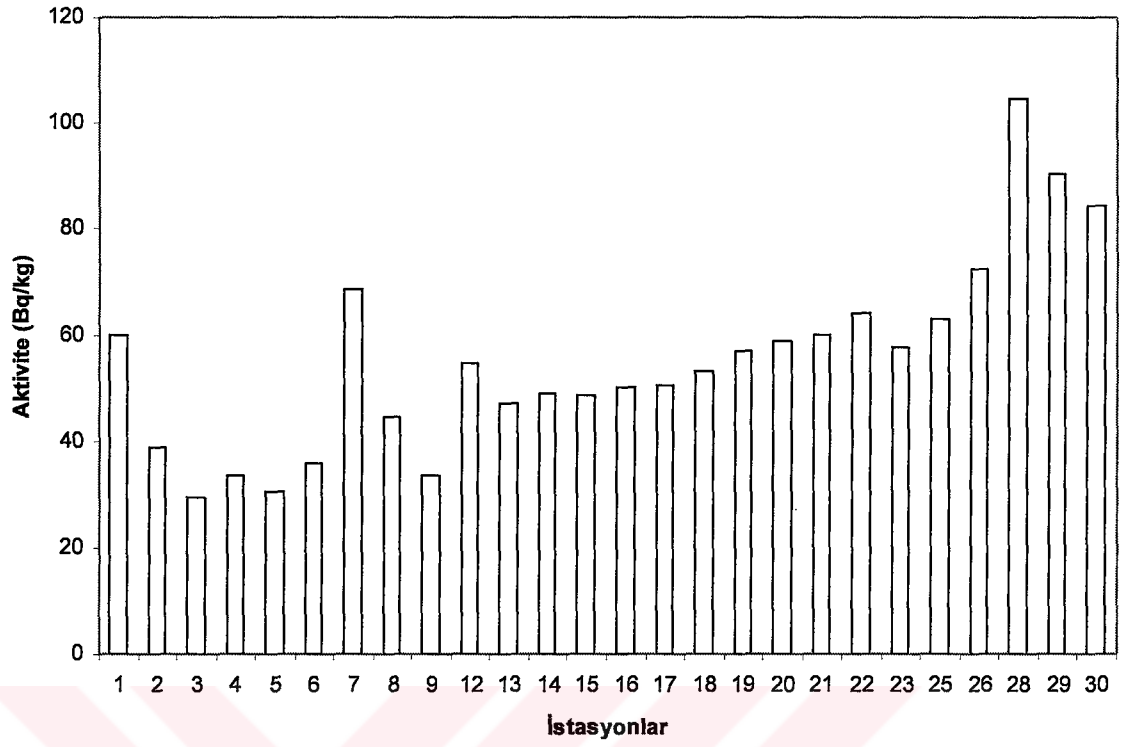
Şekil 27. Sediment numunesinde bulunan Ra-226 konsantrasyonu



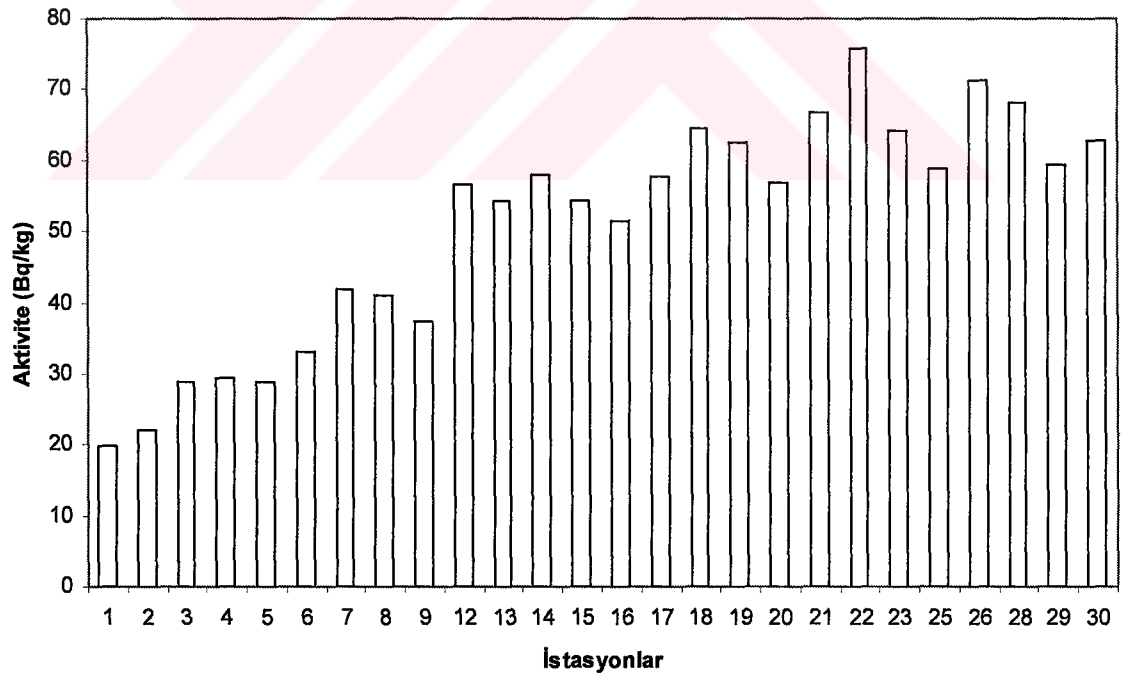
Şekil 28. Sediment numunesinde bulunan Pb-214 konsantrasyonu



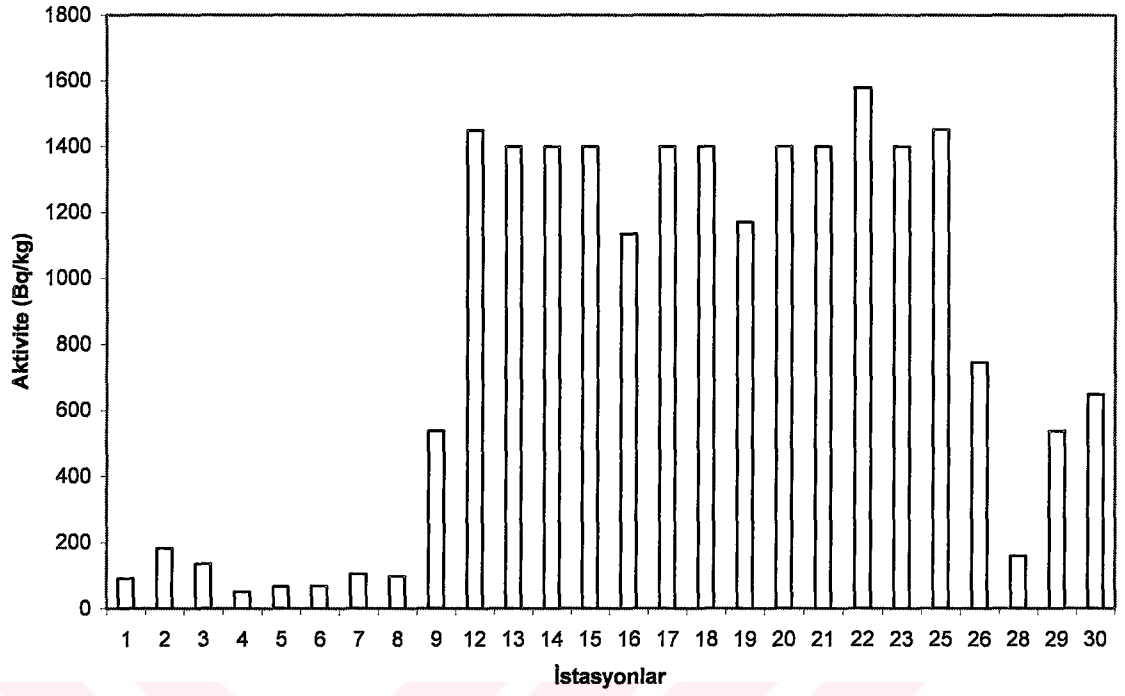
Şekil 29. Sediment numunesinde bulunan Bi-214 konsantrasyonu



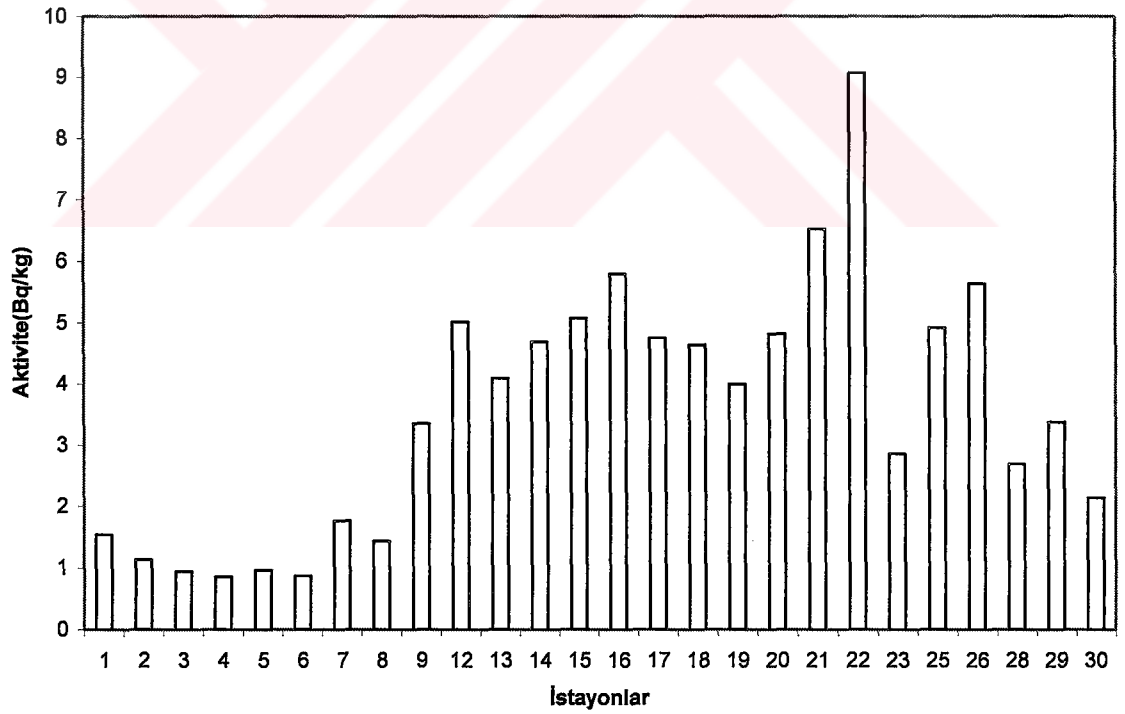
Şekil 30. Sediment numunesinde bulunan Ac-228 konsantrasyonu



Şekil 31. Sediment numunesinde bulunan Tl-208 konsantrasyonu

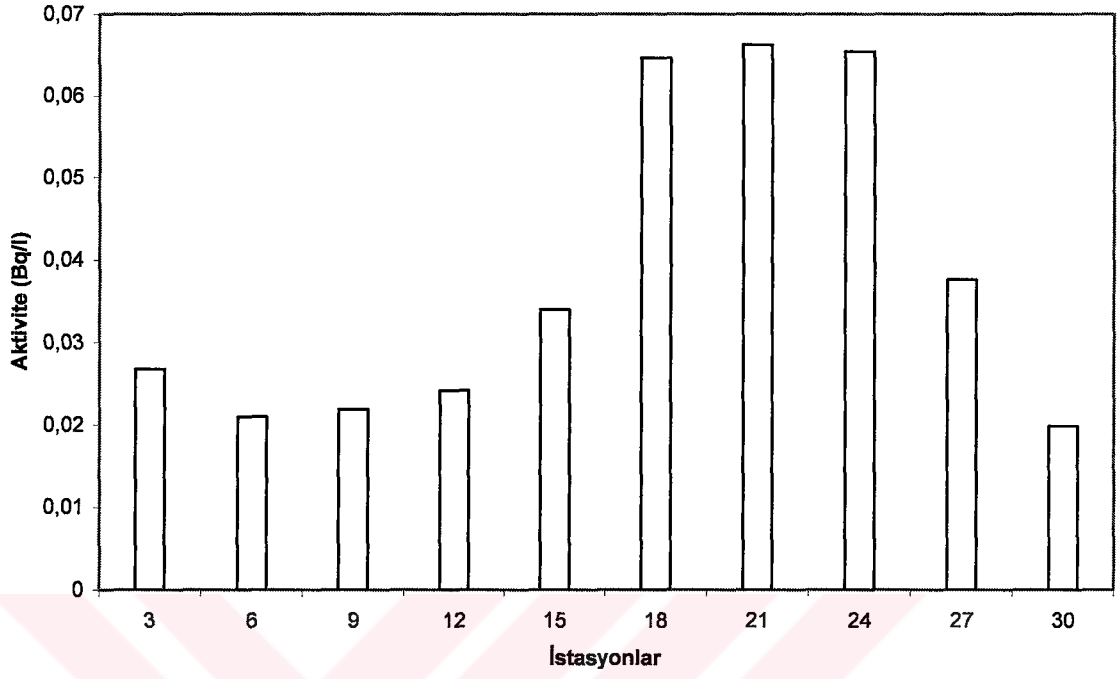


Şekil 32. Sediment numunesinde bulunan K-40 konsantrasyonu

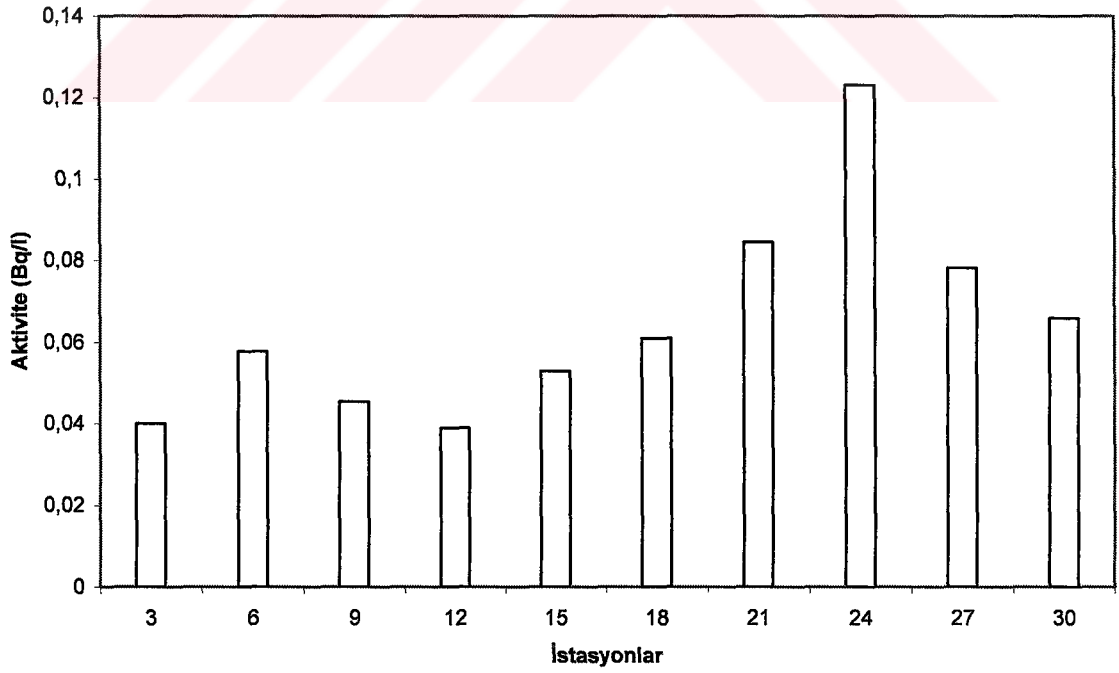


Şekil 33. Sediment numunesinde bulunan Cs-137 konsantrasyonu

3.2. Su Numunelerinin Alfa –Beta Spektrometrik Analiz Sonuçları

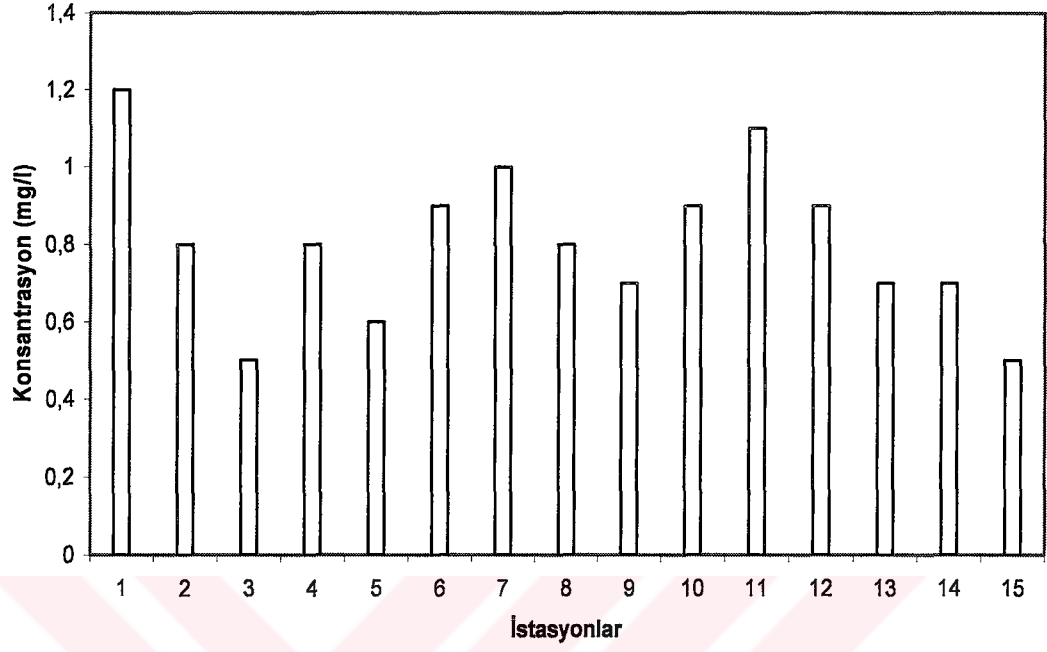


Şekil 34. Su numunelerinde toplam alfa konsantrasyonu (Bq/l)

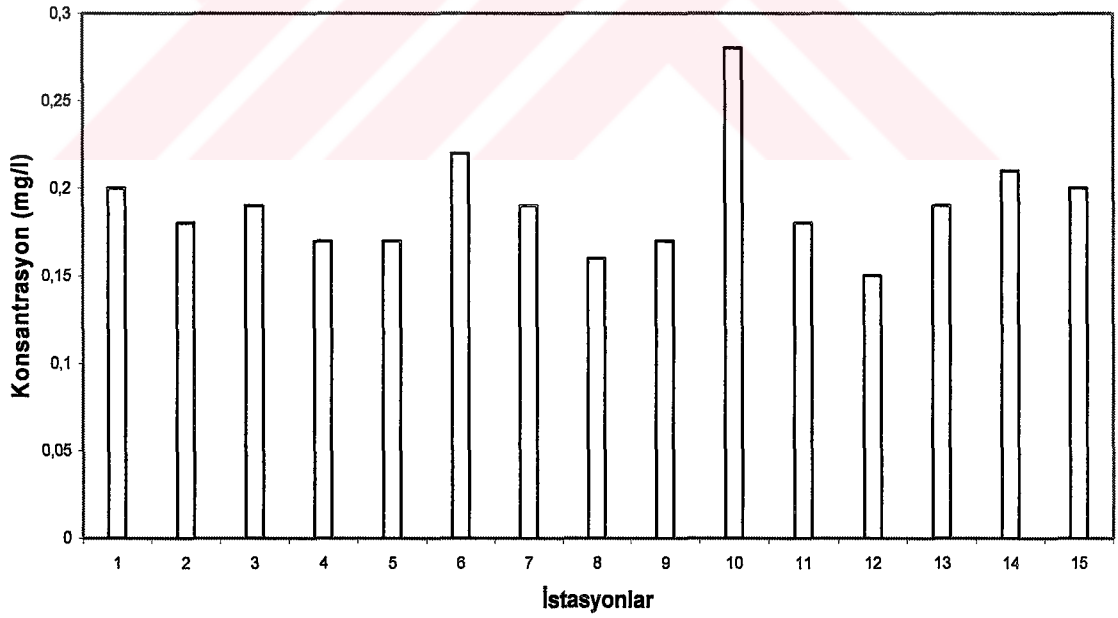


Şekil 35. Su numunelerinde toplam beta konsantrasyonu (Bq/l)

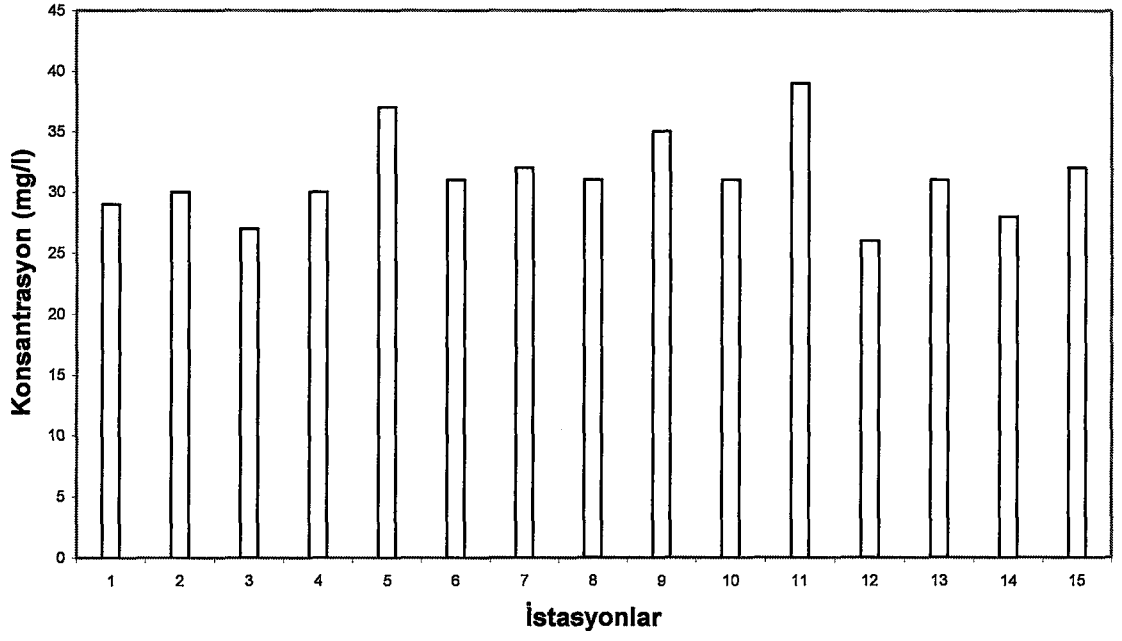
3.3. Su Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları



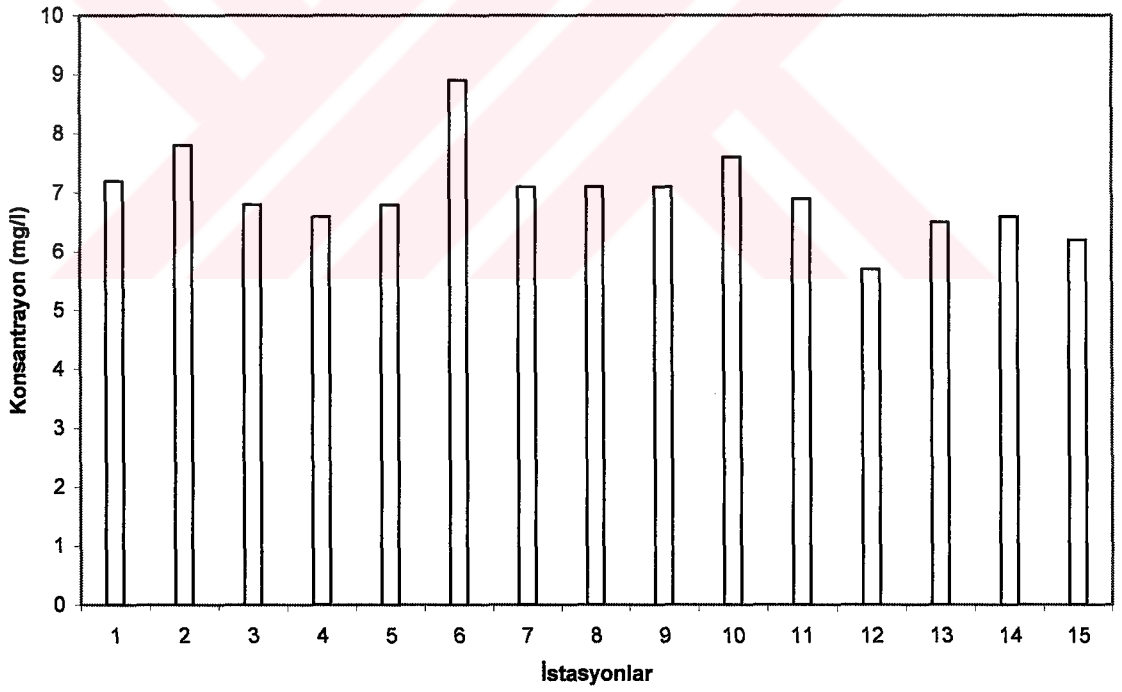
Şekil 36. Su numunelerinde K konsantrasyonu (mg/l)



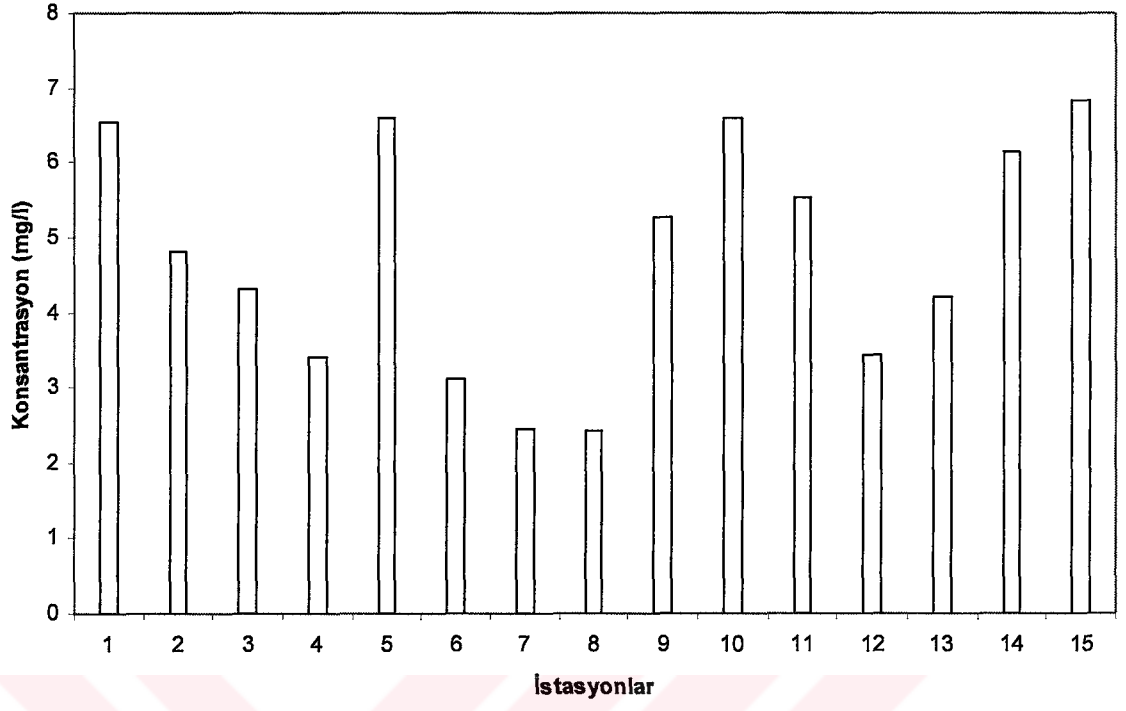
Şekil 37. Su numunelerinde Pb konsantrasyonu (mg/l)



Şekil 38. Su numunelerinde Ca konsantrasyonu (mg/l)



Şekil 39. Su numunelerinde Mg konsantrasyonu (mg/l)



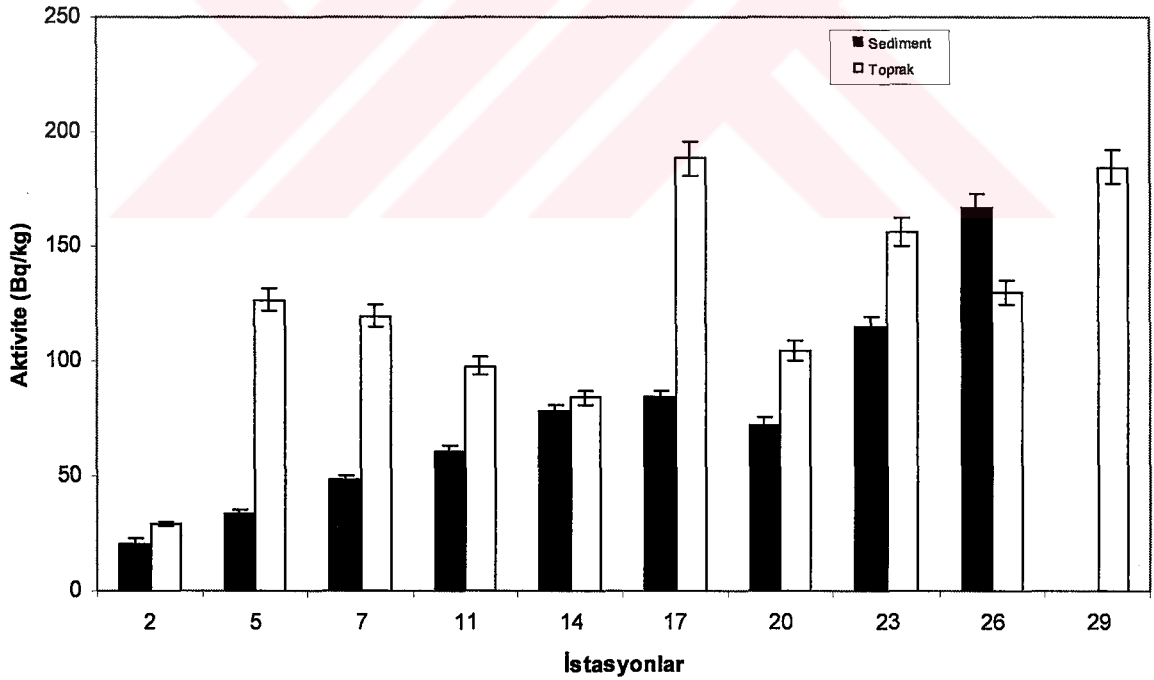
Şekil 40. Su numunelerinde Zn konsantrasyonu (mg/l)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

4.1. Toprak ve Sediment Numunelerinde Bulunan Doğal Radyonüklidlerin Gama Spektrometrik Analiz Sonuçları

Yapılan spektrometrik analizler sonucunda toprak örneklerinde bulunan bütün doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları tayin edildi. Fırtına Vadisi toprağı örneklerinde bulunan ^{238}U ve ^{232}Th 'ye ait radyoaktivite konsantrasyonları, bu radyonüklidlerin bozunma ürünleri olan doğal radyonüklidler cinsinden ifade edildiler. Aşağıda her radyonüklit için ayrı ayrı değerlendirme yapılmaktadır.

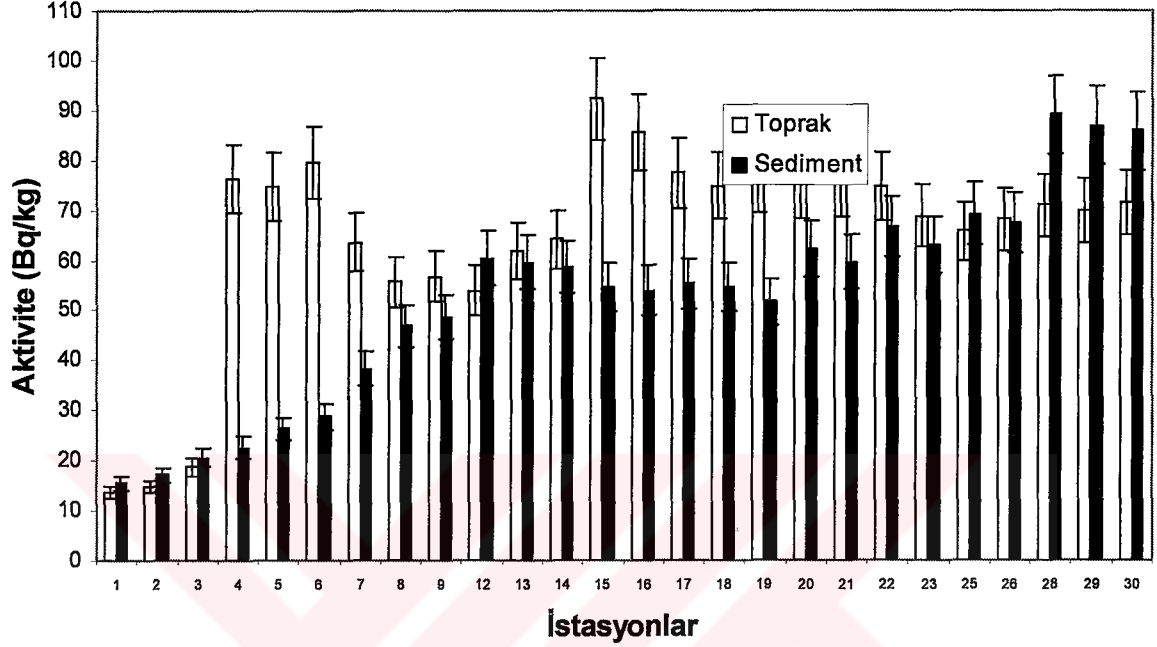
^{226}Ra , ^{238}U 'ün bozunma ürünü olup, enerji spektrumunda 186,0 keV'de %0,36 bollukta bir piki vardır. ^{226}Ra 'nın Fırtına Vadisi toprağındaki dağılımı düzensiz olup aktivite değerleri, birbirine yakın yerlerde bile farklı çıkmaktadır. Bölgelerdeki değerler 15-185 Bq/kg arasında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu 73 Bq/kg'dır. ^{226}Ra 'nın sedimentteki aktivite dağılımı ise oldukça düzgün bir şekilde yukarı bölgelere gidildikçe artmaktadır.



Şekil 41. Sediment ve Toprak numunelerinde ^{226}Ra aktivite değişimi

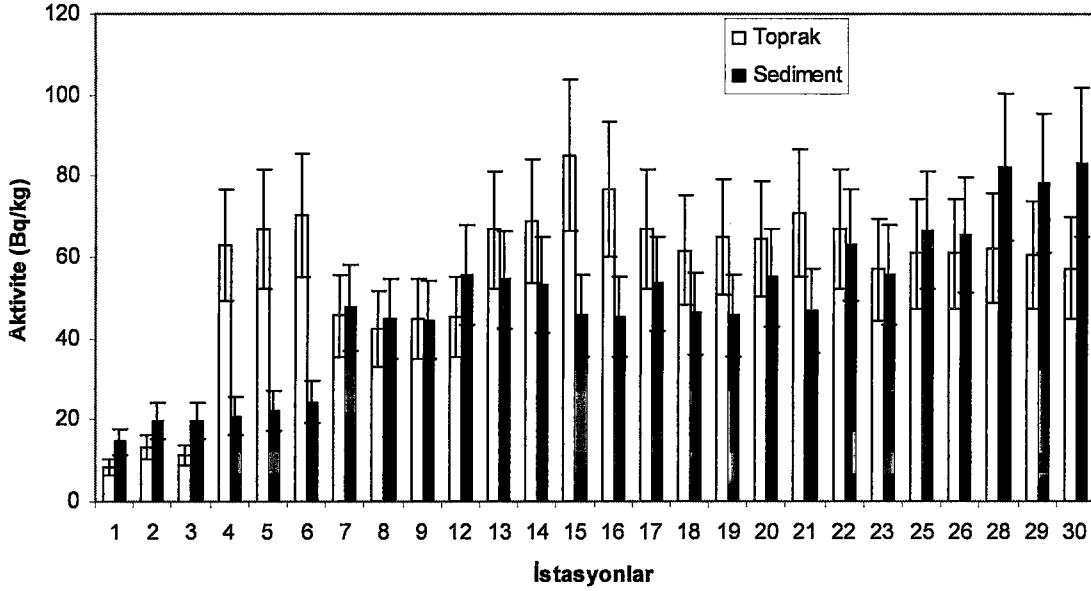
Sediment numunelerinin bölgelerdeki aktivite konsantrasyonları 15-167 Bq/kg aralığında değişmekte ve ortalama aktivite konsantrasyonu 50 Bq/kg olmaktadır. Sedimentlerin, toprak numunelerinden daha az ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu içerdiği görüldü.

^{214}Pb , ^{238}U 'in bozunma ürünüdür. Toprakta aktivite konsantrasyonu 14-92 Bq/kg aralığında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu 65 Bq/kg'dır. Sedimentteki aktivite konsantrasyonu 16-89 Bq/kg ve ortalama değeri 52 Bq/kg olarak elde edilmiştir. Toprakta ^{214}Pb seviyesi hemen hemen sabit kalmıştır ancak sediment numunelerinde ise yukarı doğru gidildikçe aktivasyon konsantrasyonu artmaktadır.



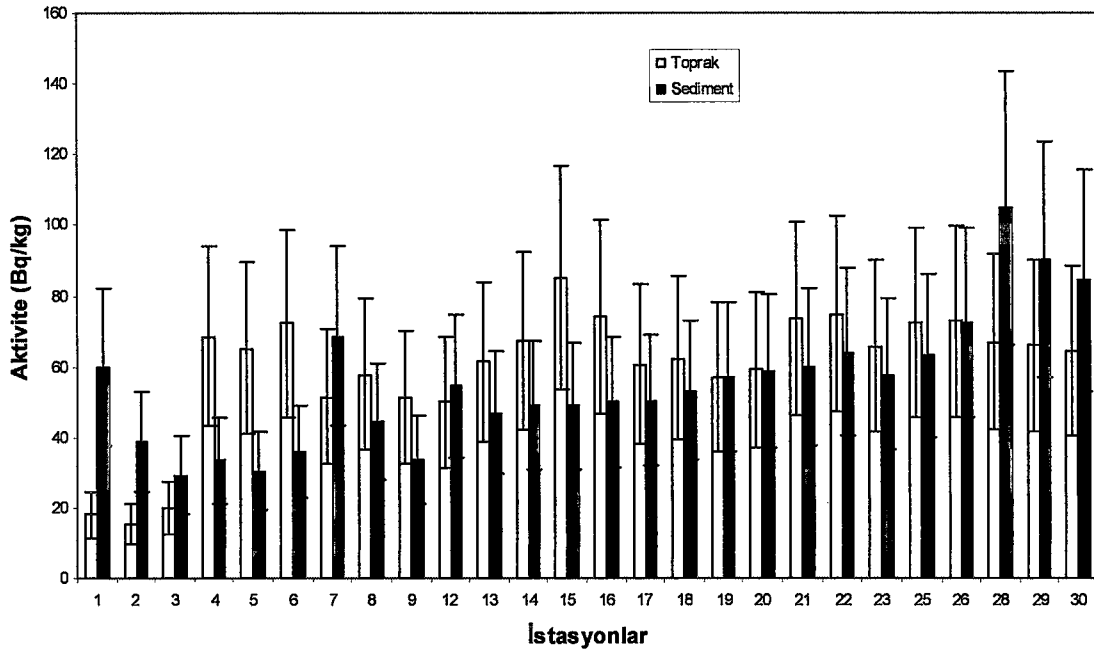
Şekil 42. Sediment ve Toprak numunelerinde ^{214}Pb aktivite değişimi

^{214}Bi , doğal radyoaktif U-238 serisinin bir ürünüdür. Toprakta aktivite konsantrasyonları 8-85 Bq/kg arasında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu 56 Bq/kg olmaktadır. Sediment numunelerinde 15-83 Bq/kg arasında değişmekte ve ortalama aktivite konsantrasyonu 48 Bq/kg olmaktadır. Sediment numunelerinde ^{214}Bi aktivite konsantrasyonu yukarı bölgelere gidildikçe artmaktadır.



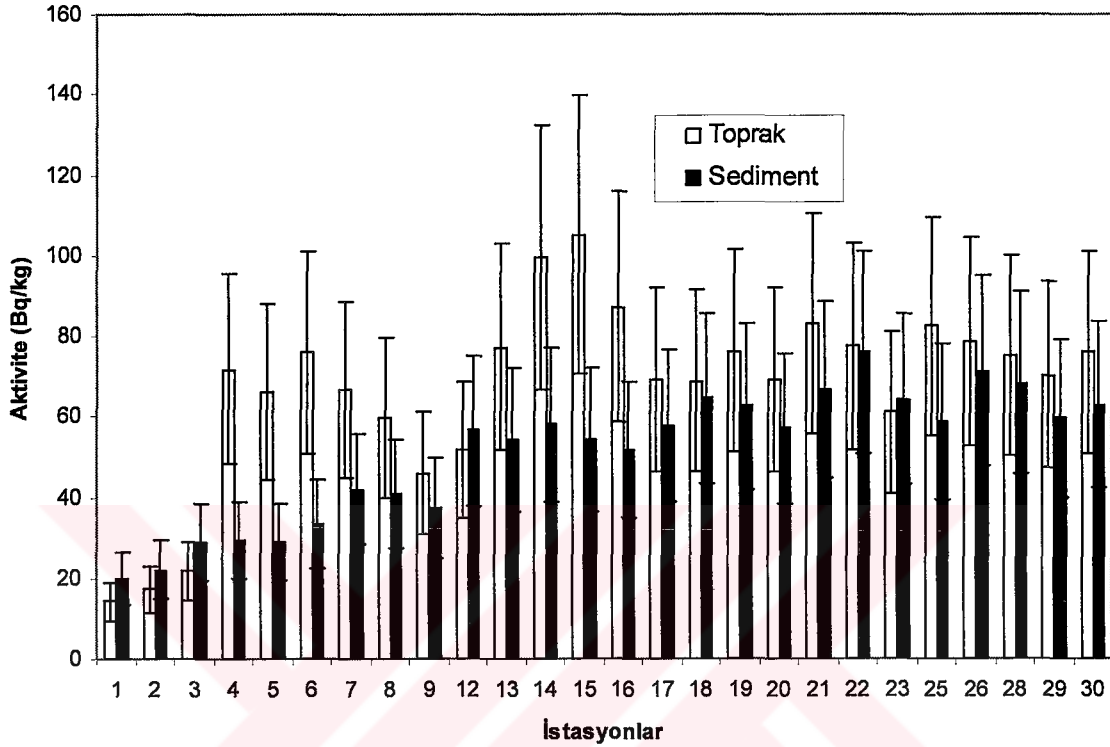
Şekil 43. Sediment ve Toprak numunelerinde ^{214}Bi aktivite değişimi

^{228}Ac , toryum serisindedir. Toprakta aktivite konsantrasyonu 15-85 Bq/kg aralığındadır. Ortalama değeri 60 Bq/kg'dır. Sedimentte ise en düşük aktivite değeri 29 Bq/kg en yüksek aktivite değeri ise 105 Bq/kg olup ortalama değeri 55 Bq/kg'dır. ^{228}Ac aktivite konsantrasyonları, sediment ve toprakta hemen hemen aynı seviyede olup yukarı bölgelere gidildikçe oldukça küçük bir artış göstermektedir.



Şekil 44. Sediment ve Toprak numunelerinde ^{228}Ac aktivite değişimi

^{208}Tl , ^{232}Th 'nin bozunuma uğramasıyla ortaya çıkar. Toprak numunelerindeki ortalama aktivite değeri 67 Bq/kg, sediment numunelerindeki ortalama aktivitesi 51 Bq/kg olarak ölçülmüştür.



Şekil 45. Sediment ve Toprak numunelerinde ^{208}Tl aktivite değişimi

Literatürlerde, genellikle uranyum ve toryum serilerinde bulunan radyonüklidler ayrı ayrı değil, ^{238}U ve ^{232}Th serileri olarak verilir ve bütün hesaplamalar bu iki radyonüklid için yapılır. Ya her iki seride bulunan radyonüklidlerin ortalamaları, ya da bu iki serideki radyonüklidlerden bolluğu en yüksek olan radyonüklidin aktivitesi, ^{238}U ve ^{232}Th için alınır.

Sonuçlarımızı diğer bölgelerde yapılmış değerlerle kıyaslayabilmek için bu çalışmamızda ^{238}U ve ^{232}Th aktivitelerini, bu iki seride bulunan radyonüklidlerin ortalamaları olarak aldık.

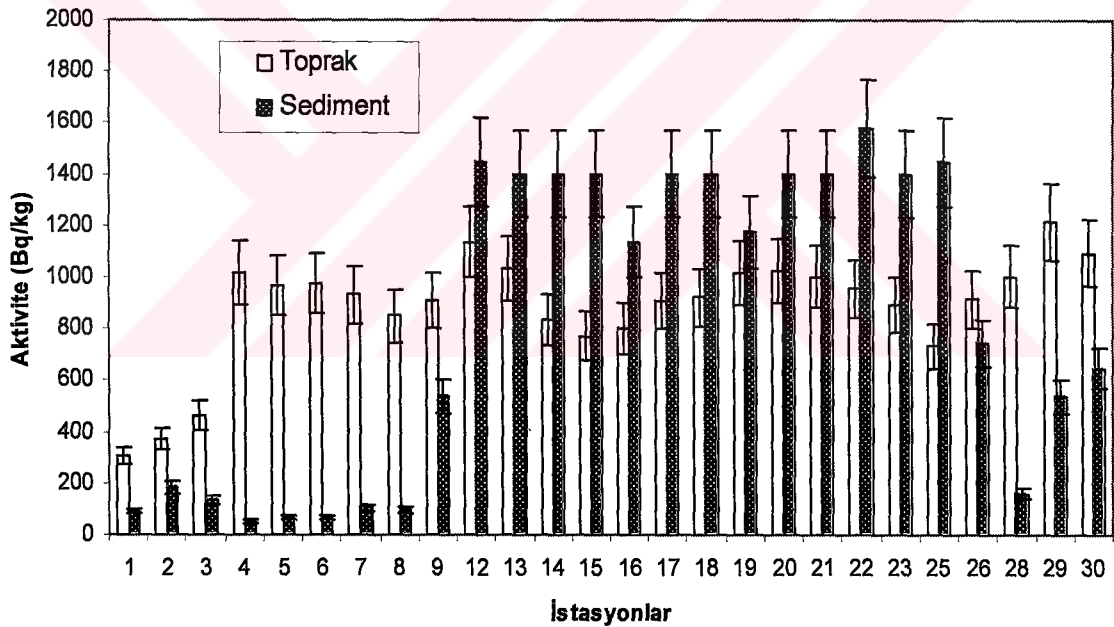
Böylece; Fırtına Vadisi toprak numunelerinde bulunan doğal ^{238}U 'in ortalama aktivitesi 65 Bq/kg, doğal ^{232}Th 'nin aktivitesi ortalama değeri 64 Bq/kg olarak bulunur.

Fırtına Vadisi sediment numunelerinde bulunan ^{238}U 'in ortalama aktivite konsantrasyonu yaklaşık 50 Bq/kg, ^{232}Th 'nin ortalama aktivite konsantrasyonu yaklaşık 53 Bq/kg'dır.

Gediz Nehri ve çevresinde yapılan doğal radyonüklid incelenmesinde ^{238}U 'in aktivite konsantrasyonu yaklaşık olarak toprakta 105 Bq/kg, sedimentte 86 Bq/kg ortalama değere sahiptir (Bakaç, 1998). Buna göre; Gediz Nehri çevresindeki doğal radyonüklid ^{238}U ve ^{232}Th 'aktivite konsantrasyon seviyesi Fırtına Vadisi'ndeki konsantrasyon değerinden büyüktür.

İstanbul toprak örneklerindeki ^{238}U ' in ortalama aktivite konsantrasyonu yaklaşık 21 Bq/kg, ^{232}Th nin ortalama aktivite konsantrasyonu yaklaşık 37 Bq/kg dır(Karahan, 1994). Fırtına Vadisi toprağındaki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu İstanbul ilindeki değerinden daha büyüktür.

^{40}K , toprakta oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Fırtına Vadisi toprak numunelerindeki konsantrasyonu 306-1215 Bq/kg arasında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu 886 Bq/kg'dır. Sediment numunelerindeki ortalama değeri 823 Bq/kg'dır.

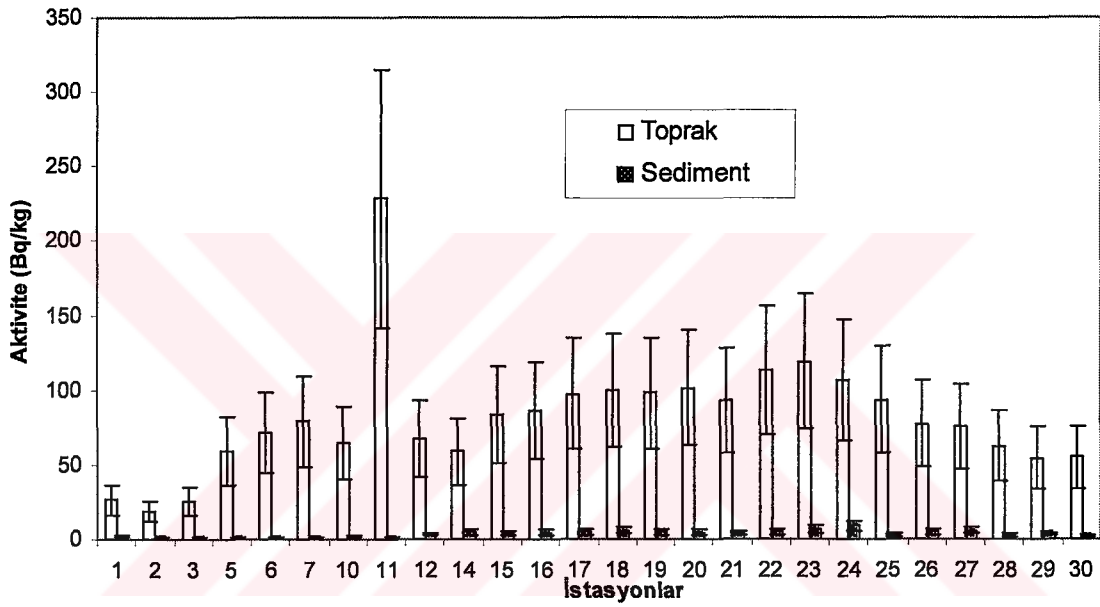


Şekil 46. Sediment ve Toprak numunelerinde ^{40}K aktivite değişimi

^{137}Cs , fisyon ürünü olup tabiatta doğal olarak bulunmamaktadır. Uzun yıllardan beri yapılan nükleer denemeler veya nükleer kazalar sonucunda atmosfere atılan bu ve benzeri fisyon ürünü radyonüklidler radyoaktif yağışlar ile yere düşerler. Zamanla, yağmur veya akıntı sularıyla toprağın derinliklerine inebilirler. Özellikle Çernobil kazasıyla kazanın çok etkili olduğu bölgelerde Cs-137 oranları oldukça yükselmiş, etkilenen yerlerde büyük

kontaminasyonlara sebep olmuştur. Ülkemizde, o dönem bayağı etkilenmiştir. Radyoaktif bulutlarla yere inen yağmurlar özellikle, karadeniz bölgesinde kirlenmelere sebep olmuştur.

Fırtına Vadisi toprağında ve sedimentinde ^{137}Cs radyonüklidinde rastlanmıştır. Topraktaki ^{137}Cs 'nin ortalama değeri 81 Bq/kg, sedimentteki ortalama değeri 4 Bq/kg olarak elde edilmiştir. Topraktaki ^{137}Cs 'nin aktivitesi, sedimentteki aktivitesinden oldukça fazla olduğu görülmüştür. Gediz havzasından toplanan toprak numunelerinde ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu 3.85 Bq/kg'dır(Gür, 2002). Buna göre Fırtına Vadisi toprak numunelerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun Gediz havzasında bulunan değerden fazla olması kontaminasyonun daha fazla olduğunu açıkça göstermektedir.



Şekil 47. Sediment ve Toprak numunelerinde ^{137}Cs aktivite değişimi

Radyoaktif madde yüklü bulutların en fazla yağmur döktüğü yerler, bu çalışmamızda da görüldüğü gibi Cs-137 aktivitesinin çok yüksek olduğu yerlerdir. Yani Fırtına Vadisi boyunca yüksek olan yerler, Çernobil kazasında en fazla etkilenen yerlerdir.

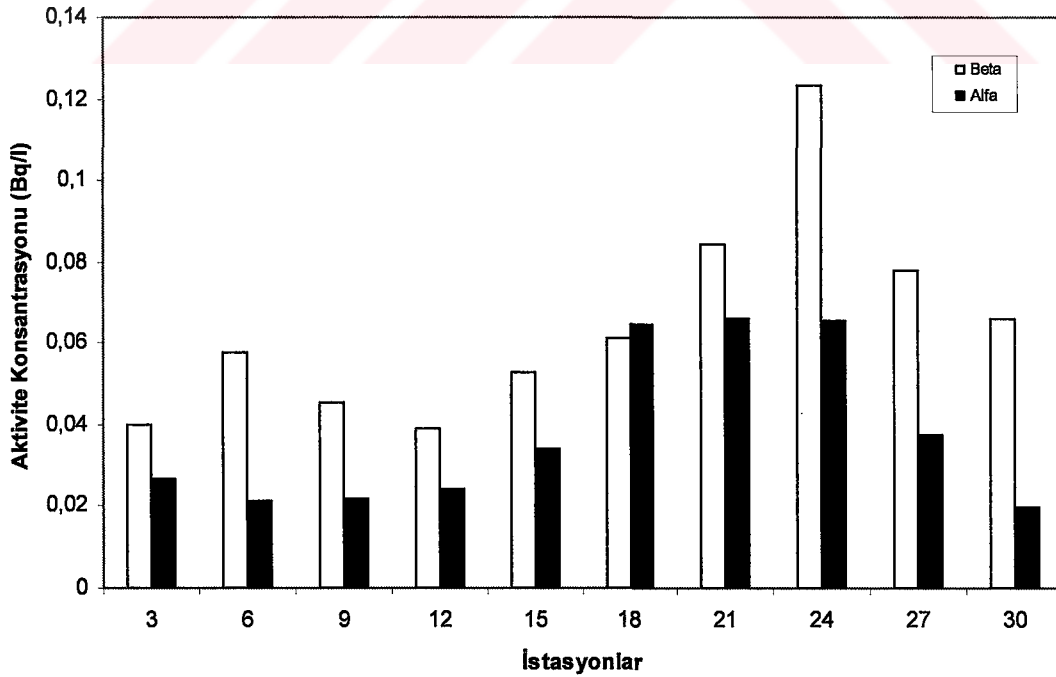
4.2. Su Numunelerinde Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Sonuçları

Tablo 13. Su numunelerindeki toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları

Örnekler	T_{α} (Bq/l)	T_{β} (Bq/l)
3	0.0268±0.0027	0.04±0.0034
6	0.021±0.003	0.0578±0.0034
9	0.0219±0.0037	0.0454±0.0045
12	0.0242±0.0037	0.0389±0.004
15	0.034±0.0032	0.0529±0.0043
18	0.0646±0.0046	0.0609±0.0042
21	0.0662±0.0092	0.0845±0.008
24	0.0654±0.0043	0.1231±0.0044
27	0.0376±0.0034	0.0781±0.0036
30	0.0198±0.0029	0.0659±0.0034

Tablodan da görüldü gibi su numunelerindeki toplam alfa aktivite konsantrasyonu 0.0198-0.0662 Bq/l aralığında değişmekte ve ortalama olarak 0.03815 Bq/l değerini almaktadır. Toplam beta aktivite konsantrasyonu 0.0389-0.1231 Bq/l aralığında değişmekte ve ortalama 0.06475 Bq/l değerini almaktadır.

Su numunelerindeki toplam beta aktivitesinin, toplam alfa aktivitesinden büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 48. Fırtına deresi suyunda ölçülen toplam alfa, toplam beta aktivite konsantrasyonları değişimi

4.3. Su Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

Fırtına Deresi'nde 15 istasyon belirlenerek toplanan su örneklerinde :

Potasyum; 0.5 mg/l minimum değeri ile 1.20 mg/l maksimum değer aralığında, ortalama olarak 0.81 mg/l değerinde bulunmaktadır. Bu değerler arasındaki standart sapması 0.20mg/l'dir.

Kurşun; 0.15 mg/l minimum değeri ile 0.28 mg/l maksimum değer aralığında, ortalama olarak 0.19 mg/l değerinde bulunmaktadır. Bu değerler arasındaki standart sapması 0.03 mg/l'dir.

Magnezyum; 5.57 mg/l minimum değeri ile 8.9 mg/l maksimum değer aralığında, ortalama olarak 6.99 mg/l değerinde bulunmaktadır. Bu değerler arasındaki standart sapması 0.74 mg/l'dir.

Kalsiyum; 26 mg/l minimum değeri ile 39 mg/l maksimum değer aralığında, ortalama olarak 31.27 mg/l değerinde bulunmaktadır. Bu değerler arasındaki standart sapması 3.52 mg/l'dir.

Çinko; 2.43 mg/l minimum değeri ile 6.82 mg/l maksimum değer aralığında, ortalama olarak 4.77 mg/l değerinde bulunmaktadır. Bu değerler arasındaki standart sapması 1.57 mg/l'dir.

Bakır; tüm değerler ölçümün alt limit değeri (0.05 mg/l)'nin altındadır.

Mangan; tüm değerler ölçümün alt limit değeri (0.10 mg/l)'nin altındadır.

Demir; tüm değerler ölçümün alt limit değeri (0.05 mg/l)'nin altındadır.

Nikel; tüm değerler ölçümün alt limit değeri (0.10 mg/l)'nin altındadır.

Kadmiyum; tüm değerler ölçümün alt limit değeri (0.025 mg/l)'nin altında olduğu tespit edilmiştir.

İstasyonlardaki veriler arasında önemli bir fark olmadığı ortaya çıkmıştır.

5. ÖNERİLER

Toplanan numunelerde radyoizotopların türünün tam olarak tayin edilebilmesi için alfa spektrometrik analizlerinin yapılmasına ihtiyaç vardır.

Ülkemizin radyoaktif kaynaklarının tam olarak bilinmemesi, insan sağlığının korunması açısından radyolojik risk tahminine yönelik bilgi vermesi, gelecekte radyoaktif kirliliğin değişiminin değerlendirilmesine ve izlenmesine yönelik kontrolün sağlanması açısından bu konularda bilimsel çalışmalar düzenli olarak yapılmalıdır.



6. KAYNAKLAR

- Al-Jundia, J., Al-Bataina, B. A., Abu-Rukah, Y. ve Shehadeh, H. M. 2003, Natural Radioactivity Concentrations in Soil Samples Along the Amman Aqaba Highway, Jordan, Radiation Measurements 36: 555 – 560.
- Arya, P. A., Çekirdek Fiziğinin Esasları, Yusuf Şahin, Balkanlar Matbaacılık, Erzurum, 1999.
- Bakaç, M. 1998, Gediz Nehri ve Çevresinin Radyoaktif, Major ve İz Element Seviyelerinin Belirlenerek Faktör Analiz Yöntemi İle İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bayvas, F., Radyoaktivite Radyasyon ve Nükleer Enerji, 1989.
- Gür, F. 1999, Doğal Dış Radyasyonun İzmir İlinde Yaşayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, E.Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü.
- ICRP, International Commission on Radiological Protection . Age-Dependent Doses to Member of The Public from Intake of Radionuclides. Report 67. Pergamon, Oxford.
- Ibrahiem, N., Abd El Ghani, A. H., Shawky, S. M., Ashraf, E. M. ve Farouk, M. A. 1993, M., Measurement of Radioactivity Levels in Soil in the Nile Delta and Middle Egypt, Health Phys. 64(6), 620-627.
- Karahan, G., Öztürk, N. ve Bayülken, A. 2000, Assesment of Gamma Dose Rates Around İstanbul. J. Envrion. Radioactivity 47, 213-221.
- Knoll, G., F., Radiation Detection and Measurement, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- Krane, K. S., Introductory Nuclear Physics, Canada, 1988.
- Krane, K. S., Nükleer Fizik, Başar Şarer, 1. Cilt, Palme Yayıncılık, Ankara, 2001.
- Kumar, A. ve Singh, B. 2003, Natural Activities of U-238, Th-232 and K-40 in Some Indian Building Materials, Radiation Measurements 36, 465 – 469.
- Kumru, M. N. ve Bakaç, M. 2002, Gediz Nehri'nden Ege Denizi'ne Taşınan Doğal Radyoaktivitenin (Radyum) Belirlenmesi, Çev-Kor, Cilt: 10 Sayı: 43,22-25.
- Lavi, N., Groppi, F. ve Alfassi, Z. B. 2004, On the Measurement of K-40 in Natural and Synthetic Materials by the Method of High-Resolution Gamma-Ray Spectrometry, Radiation Measurements 38, 139 – 143.

- Mohanty, A.K. 2004, Natural Radioactivity in the Newly Discovered High Background Radiation Area on the Eastern Coast of Orissa, India, Radiation Measurements 38,153 – 165.
- MTA 1998, Rize İlinin Çevre Jeolojisi Raporu, Ankara.
- Öner, F., Van Gölü ve Çevresinin Kum ve Su Numunelerinin Gama Radyoaktivitesinin Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 1991.
- Segovia, N., Gaso, M. I., Alvarado, E., Pena, P., Armienta, M. A. ve Reyes, A. V. 2003, Environmental Radioactivity Studies in The Soil of a Coniferous Forest, Radiation Measurements 36, 525 – 528.
- Strezov, A. 1996, Natural Radionuclide and Plutonium Content in Black Sea Bottom Sediments, Health Phys. 70(1), 70-80.
- UNSCEAR 1993, Ionizing Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations Sales Publication E.94.IX.2. United Nations, New York.
- Williams, W., S. C., Nuclear and Particale Physics, Oxford Science Publications, Oxford, 1991.
- Zaidi, J., H., Arif, M., Ahmad, S., Fatima, I. ve Qureshi, I. H. 1999, Determination of Natural Radioactivity in Building Materials Used in the Rawalpindi/Islamabad Area by γ -ray Sepctrometry and Instrumental Neutron Activation Analysis, Applied Radiation and Isotopes 51, 559-564.
- Zhmodik, S., M. 2003, Mapping of Uranium and Phosphorus in Sediments of Lakes Baikal and Issyk-Kul by Neutron-Induced Autoradiography, Radiation Measurements 36, 567 – 579.

ÖZGEÇMİŞ

14.05.1980 tarihinde Samsun'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Samsun'da tamamladı. 1997 yılında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümün'e başladı. 2001 yılında OMÜ Fen-Edebiyat Fakülte 3.'lüğü ve Fizik Bölüm 1.'liği ile mezun oldu. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisansa başladı. Aynı yıl Aralık ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Fen-Edebiyat Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmakta, ayrıca aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.

