

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**RİZE İLİ VE İLÇELERİNDEKİ DOĞAL GAMMA RADYOAKTİVİTE  
DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serdar DİZMAN**

**HAZİRAN 2006  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**RİZE İLİ VE İLÇELERİNDEKİ DOĞAL GAMMA RADYOAKTİVİTE  
DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ**

**Serdar DİZMAN**

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27.06.2006  
Tezin Savunma Tarihi : 19.07.2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Selami KARSLIOĞLU**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT**

**Trabzon 2006**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlanmıştır. Çalışmada, Rize ili ve ilçelerinin doğal  $\gamma$  radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi üzerine araştırma gerçekleştirildi.

Bu tezin hazırlanması aşamasında karşılaştığım bütün güçlüklerin aşılmasında, her türlü desteği ve imkanı sağlayarak beni yönlendiren, engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU'na saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tezin yazılmasında ve diğer problemlerin aşılmasında bana yardımcı olan sevgili arkadaşım Arş. Gör. Recep KESER'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Filiz KORKMAZ GÖRÜR'e ve Arş. Gör. Yavuz KESİCİOĞLU'na en içten dileklerle teşekkür ederim.

Lisans derslerimi aldığım Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Fen-Edebiyat Fakültesi öğretim üyelerine ve Rize Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Manevi desteklerini her zaman üzerinde hissettiğim, beni yetiştiren ve bugün bulunduğum yerde olmamda sonsuz katkıları olan aileme de şükranlarımı sunuyorum.

Serdar DİZMAN

Rize 2006

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	II
İÇİNDEKİLER .....	III
ÖZET .....	V
SUMMARY .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ .....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Doğal Radyasyon .....	3
1.3. Yapay Radyasyon.....	5
1.4. Radyoaktivite .....	7
1.4.1. Radyoaktivite ve Radyoaktif Bozunma Kanunu.....	7
1.4.2. Ardışık Bozunma Kanunu .....	10
1.4.2.1. Geçici Denge.....	12
1.4.2.2. Sürekli Denge.....	13
1.4.3. Bozunma Türleri .....	13
1.4.3.1. Alfa ( $\alpha$ ) Bozunması .....	14
1.4.3.2. Beta ( $\beta$ ) Bozunması .....	15
1.4.3.3. Gama ( $\gamma$ ) Bozunması .....	16
1.4.3.4. Kendiliğinden Fisyon .....	18
1.5. Doğal Radyoaktiflik .....	18
1.6. İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar .....	21
1.7. Radyasyon Dozu ve Birimleri.....	22
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
2.1. Çalışılan Bölgenin Coğrafi Yapısı .....	26
2.2. Deneysel Sistem.....	29
2.3. InSpector 1000 Portatif Dedektör .....	29
2.4. Deneysel Yöntem .....	30

2.4.1. Enerji Kalibrasyonu.....	30
2.4.2. Spektrometre Sisteminin Çalıştırılması ve Verilerin Analizi .....	32
2.4.3. Zaman Düzeltmesi ve İstatistiksel Hata .....	47
2.4.4. Ölü Zaman Düzeltmesi ( Dead Time).....	49
3. BULGULAR.....	51
3.1. Rize.....	51
3.2. Derepazarı.....	51
3.3. İyidere.....	52
3.4. İkizdere .....	53
3.5. Kalkandere .....	53
3.6. Hemşin.....	54
3.7. Pazar .....	54
3.8. Çayeli.....	55
3.9. Çamlıhemşin .....	55
3.10. Fındıklı .....	56
3.11. Ardeşen.....	56
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....	57
4.1. Rize.....	57
4.2. Derepazarı.....	58
4.3. İyidere.....	58
4.4. İkizdere .....	58
4.5. Kalkandere .....	59
4.6. Hemşin.....	59
4.7. Pazar .....	59
4.8. Çayeli.....	60
4.9. Çamlıhemşin .....	60
4.10. Fındıklı .....	60
4.11. Ardeşen.....	61
5. ÖNERİLER.....	68
6. KAYNAKLAR .....	69
ÖZGEÇMİŞ .....	72

## ÖZET

Bu çalışmada, Rize ili ve ilçelerindeki doğal gama radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi amaçlandı ve gerçekleştirildi. Çalışmadaki ölçümler InSpector1000 marka portatif gama dedektörü ile alındı.

Rize ili ve ilçelerinde belirlenen istasyonlarda belirli periyotlarda düzenli olarak ölçümler alındı. Alınan ölçümlerdeki spektrumlar Genie-2000 programı yardımıyla analiz edildi. Rize ili ve ilçelerinin  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{137}Cs$  ve  $^{40}K$  radyoaktif çekirdeklerinin ortalama doğal gama radyoaktivite değerleri tayin edildi. Bu radyonüklidlerin aktivite değerleri ve soğurulan doz eşdeğerleri hesaplandı.

Sonuçlar grafik ve tablolar halinde verilerek tartışıldı. Ortalama aktivite değerleri  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{137}Cs$  ve  $^{40}K$  radyonüklidleri için sırasıyla  $(0,076 \pm 0,024) \mu Ci$ ,  $(0,136 \pm 0,020) \mu Ci$ ,  $(0,038 \pm 0,006) \mu Ci$ ,  $(0,152 \pm 0,061) \mu Ci$  bulundu.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal Radyoaktivite, Gama Aktivitesi, Soğurulan Doz Eşdeğeri

## SUMMARY

### Measurement of Natural Radioactivity Level In Rize-centre and Towns of Rize

In this study, the level of natural gamma radioactivity in Rize and its towns (Ardeşen, amlıhemşin, ayeli, Der pazarı, Fındıklı, Hemşin, İkidere, İyidere, Kalkandere, Pazar) have been determined. The measurements in the study have been obtained by portable gamma detector InSpector1000.

Data have been collected regularly from previously determined stations in Rize and its towns. The spectrums obtained in the measurements were analyzed by the programme Genie–2000. First, we determined the average level of natural gamma radioactivity of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  radioactive nuclides in Rize and its towns. Then, activity level and absorbed dose equivalence of the radionuclides were calculated.

The results have been presented by graphics and tables. Average activity levels determined were  $(0,076 \pm 0,024)$   $\mu\text{Ci}$ ,  $(0,136 \pm 0,020)$   $\mu\text{Ci}$ ,  $(0,038 \pm 0,006)$   $\mu\text{Ci}$ ,  $(0,152 \pm 0,061)$  for  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  radionuclides, respectively.

**Key Words :** Natural Radioactivity, Gamma Activity, Absorbed Dose Equivalent

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi .....	4
Şekil 2. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri .....	5
Şekil 3. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri .....	6
Şekil 4. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları .....	6
Şekil 5. Nötron sayısına karşılık Proton sayısı grafiği.....	8
Şekil 6. Ardışık bozunma grafiği .....	12
Şekil 7. Ra-226 çekirdeğinin $\alpha$ bozunma şeması .....	17
Şekil 8. Co-60 çekirdeğinin $\beta^-$ bozunma şeması .....	17
Şekil 9. Doğal Radyoaktif Th-232 Serisi.....	20
Şekil 10. Doğal Radyoaktif U-238 Serisi .....	21
Şekil 11. Rize ilinin Türkiyede'ki yeri ve ilçeleri .....	26
Şekil 12. Inspector 1000 portatif dedektör .....	29
Şekil 13. Standart Cs-137 radyoaktif kaynağının spektrumu .....	31
Şekil 14. Enerjinin kanallara göre değişimi .....	31
Şekil 15. Derepaazarı ilçesinden alınmış spektrum örneği .....	32
Şekil 16. Ardeşen ilçesinden alınmış spektrum örneği .....	34
Şekil 17. Çamlıhemşin ilçesinden alınmış spektrum örneği .....	35
Şekil 18. Çayeli ilçesinden alınmış spektrum örneği.....	37
Şekil 19. Fındıklı ilçesinden alınmış spektrum örneği.....	38
Şekil 20. Hemşin ilçesinden alınmış spektrum örneği.....	40
Şekil 21. İkizdere ilçesinden alınmış spektrum örneği .....	41
Şekil 22. İyidere ilçesinden alınmış spektrum örneği.....	43
Şekil 23. Kalkandere ilçesinden alınmış spektrum örneği .....	44
Şekil 24. Pazar ilçesinden alınmış spektrum örneği .....	46
Şekil 25. Pik analizi için net alan hesabı.....	48
Şekil 26. $^{88}\text{Y}$ in bozunma şeması.....	49
Şekil 27. Bölgelere göre U-238 aktivite dağılımı .....	61



Şekil 28. Bölgelere göre Th-232 aktivite dağılımı.....	62
Şekil 29. Bölgelere göre K-40 aktivite dağılımı .....	62
Şekil 30. Bölgelere göre Cs-137 aktivite dağılımı .....	63
Şekil 31. Rize ili ve ilçelerinin rakımına göre U-238 aktivite dağılımı .....	64
Şekil 32. Rize ili ve ilçelerinin rakımına göre Cs-137 aktivite dağılımı.....	64
Şekil 33. Rize ili ve ilçelerinin rakımına göre Th-232 aktivite dağılımı.....	65
Şekil 34. Rize ili ve ilçelerinin rakımına göre K-40 aktivite dağılımı .....	65

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Bazı bölgelerdeki doğal radyasyon doz düzeyleri .....	5
Tablo 2. Radyasyon dozunun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı .....	7
Tablo 3. Doğal radyoaktif seriler.....	19
Tablo 4. Soğurulan radyasyonlar için Kalite Faktörü.....	23
Tablo 5. Radyasyon ölçümü için nicelikler ve birimleri.....	23
Tablo 6. Standart kaynağın 1 Mayıs 2006'daki özellikleri .....	30
Tablo 7. Derepaşarı ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor .....	33
Tablo 8. Ardeşen ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor .....	34
Tablo 9. Çamlıhemşin ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor.....	36
Tablo 10. Çayeli ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor .....	37
Tablo 11. Fındıklı ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor .....	39
Tablo 12. Hemşin ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor .....	40
Tablo 13. İkizdere ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor.....	42
Tablo 14. İyidere ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor .....	43
Tablo 15. Kalkandere ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor.....	45
Tablo 16. Pazar ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor.....	46
Tablo 17. Rize ili gama spektrometreleri analiz sonuçları.....	51
Tablo 18. Derepaşarı ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları .....	52
Tablo 19. İyidere ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları .....	52
Tablo 20. İkizdere ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları .....	53
Tablo 21. Kalkandere ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları .....	53
Tablo 22. Hemşin ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları.....	54
Tablo 23. Pazar ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları .....	54
Tablo 24. Çayeli ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları.....	55
Tablo 25. Çamlıhemşin ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları .....	55
Tablo 26. Fındıklı ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları.....	56
Tablo 27. Ardeşen ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları .....	56
Tablo 28. Rize ili merkez ve ilçelerinde doğal radyasyon doz düzeyleri .....	66
Tablo 29. Türkiye'deki bazı bölgelerin doğal radyasyon doz düzeyleri .....	66

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

İnsanoğlu var oluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir.

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. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgar yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler. İnsanlar, içinde yaşadıkları doğal çevrede bulunan bu kaynaklardan yayınlanan değişik tipteki radyasyonlara her zaman maruz kalmaktadır. Gözlenen en yaygın doğal radyasyon kaynakları  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  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 (TAEK), Araştırma ve Eğitim Merkezleri (ANAEM-ÇNAEM) ve benzeri milli ve uluslararası kuruluşlar tarafından yapılmaktadır.

Radyasyon dozlarını hesaplamaya yönelik yapılmış bazı çalışmalara örnek olarak,

A. Martinez Aguiree, 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  $\text{mBq/L}$  aralığında, Th konsantrasyonlarının ortalama 0.1  $\mu\text{Bq/L}$  olduğunu bulmuşlardır.

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.

N. M. Ibrahiem 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.

Mustafa Bakaç, Çine Çayı'nın Büyük Menderes Nehrine döküldüğü yerden başlayarak yukarıya doğru her 2 km'de bir toprak, sediment ve su numuneleri toplamıştır. Numunelerin alındığı her noktada gama (cps) radyometrik ölçümleri yapmıştır. Sediment örneklerinde asidik liçing yöntemi ile U(ppm) ölçümleri ve su örneklerinde kolektör yöntemi ile Ra-226 değerlerini ölçmüştür.

Gürsel Karahan, 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 tespit etmişlerdir.

R. Keser ve ark. (2004), Rize ili Fırtına Vadisi toprak numunelerinde bulunan doğal U-238'in ortalama aktivitesini 65 Bq/kg, doğal Th-232'nin ortalama aktivite değerini 64 Bq/kg, Fırtına Vadisi sediment numunelerinde bulunan U-238'in ortalama aktivite değerini yaklaşık 50 Bq/kg, Th-232'nin ortalama aktivite değerini yaklaşık 53 Bq/kg hesaplamışlardır.

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.

Bu çalışmada, Rize ve ilçelerinde doğal radyoaktif türleri ve düzeylerini radyoaktif tarama yaparak belirlemeye çalıştık. Çalışmamızda, Rize merkez, Derepazarı, İyidere, İkizdere, Kalkandere, Hemşin, Pazar, Çayeli, Çamlıhemşin, Fındıklı ve Ardeşen'de portatif

gama spektrometresi (Canberra Inspector 1000) kullanılarak yerden 1m yükseklikte, havadaki doğal  $\gamma$  radyoaktivite değerleri ölçülmeye çalışılmıştır.

Çalışmada verilerin toplanması, analizlerin yapılması ve tartışma kısımları, Rize merkez ve ilçeler için önce ayrı ayrı sonrada tümü arasında kıyaslama yapılarak tez hazırlanmıştır.

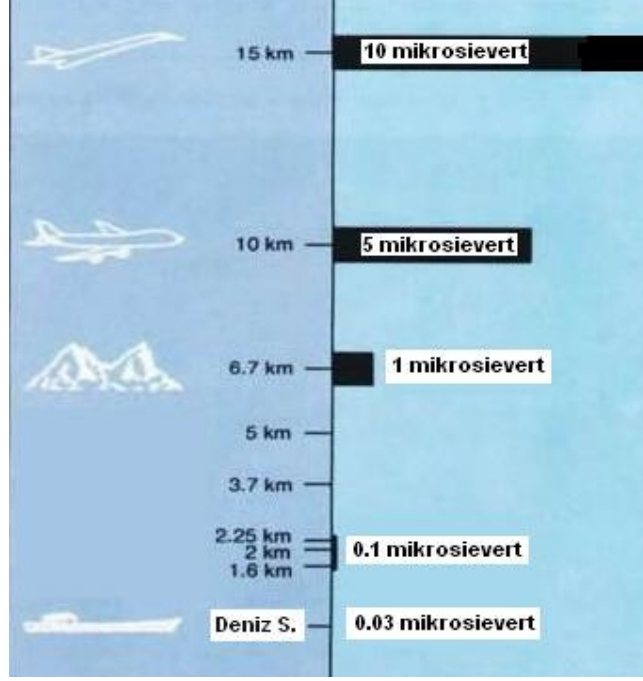
## 1.2. Doğal Radyasyon

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Bu yüzden bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalır. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.39 mSv / yıl'dır.

Fosil yakıtlar doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerirler. Bu tür elementler yakıt içinde iken bir radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal radyasyon düzeyinde az da olsa bir artışa neden olur. Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının da katkısıyla topraktan maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.46 mSv/yıl dır.

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özelikle  $^{40}\text{K}$  (Potasyum-40) radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kaldığımız iç (dâhili) radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.23 mSv kadardır.

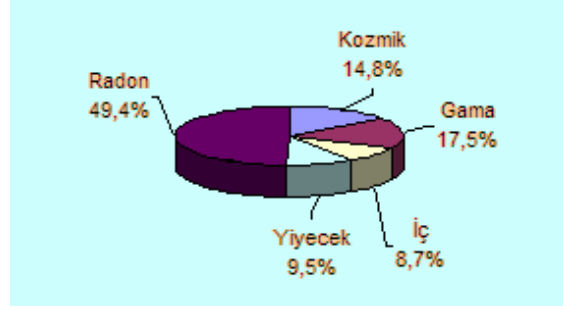
Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık 0.25 mSv/yıl'dır. Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar bu ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar.



Şekil 1. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi (TAEK)

Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum-226 izotopunun ( $^{226}\text{Ra}$ ) bozunması sırasında salınan “radon gazı”dır. Bu bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken maalesef radon toprak yüzeyine doğru yükselir. Eğer bu gaz, yayılmalar sonucu seyrelirse herhangi bir sorun oluşturmaz. Radon gazının yayıldığı yüzey üzerinde bulunan evlerde iyi bir havalandırma sisteminin olması gerekir. Böyle bir havalandırma yoksa radon gazı evin içinde dışarıdakinden yüzlerce kata çıkabilmektedir. Bu gaz teneffüs edildiği takdirde akciğerlere geçici olarak yerleşip, radyoaktif serinin alt üyelerinin oluşmasına ve tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına neden olabilir.

Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1,3 mSv/yıl’dır. Radon gazı hariç doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı bir etkisi görülmez. Şekil 2’de doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları oransal olarak gösterilmektedir. Tablo 1’de ise değişik bölgelerde ölçülen doğal radyasyon seviyeleri verilmektedir.



Şekil 2. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri (TAEK)

Tablo 1. Bazı bölgelerdeki doğal radyasyon doz düzeyleri (TAEK)

Bölge	Radyasyon dozu (mSv/yıl)
Brezilya (Guarapari kumsalları)	788.40
İran (Ramsar)	148.92
Hindistan (Kerela)	15.80
Kars (Digor)	1.58
Mersin (Akkuyu)	0.53
Ankara	0.44

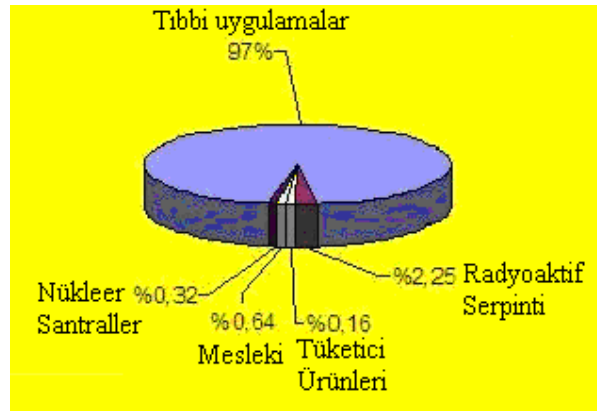
### 1.3. Yapay Radyasyon

Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, birçok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise alternatifleri yok gibidir.

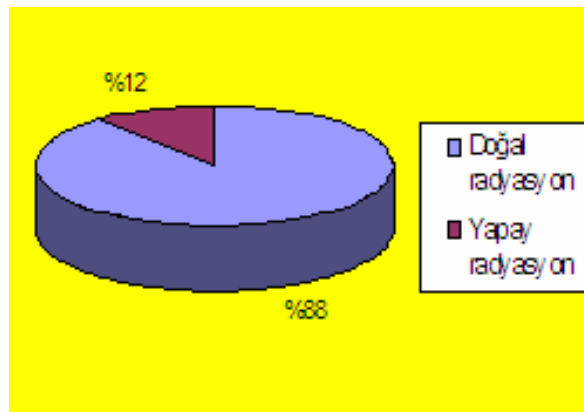
Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon

kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Şekil 3’de yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri gösterilmektedir. Şekil 4’de doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozuna oransal katkıları gösterilmektedir.



Şekil 3. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri (TAEK)



Şekil 4. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları (TAEK)



Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2,7 mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Radyasyon dozunun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı (TAEK)

<b>Radyasyon Kaynakları</b>	<b>Radyasyon Dozu (mSv)</b>
Kozmik	0.390
Gama Işınları	0.460
İç Işınlama	0.230
Radon	1.300
Tıbbi	0.300
Serpinti	0.007
Mesleki	0.002
Atıklar	0.001
Toplam	2,690

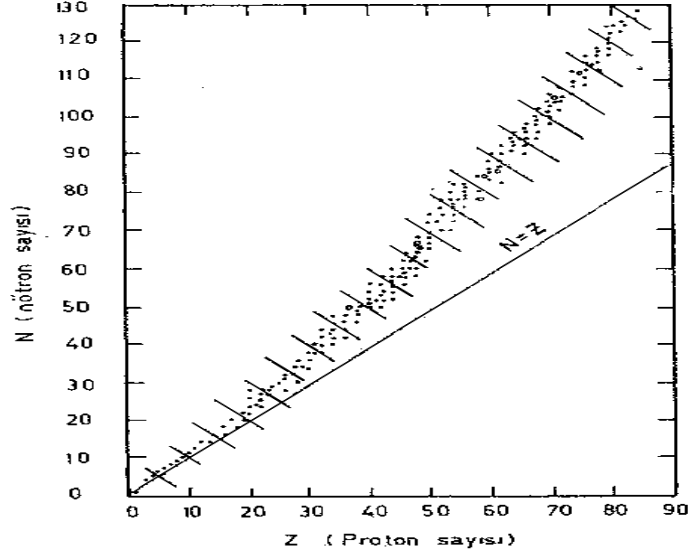
## 1.4. Radyoaktivite

### 1.4.1. Radyoaktivite ve Radyoaktif Bozunma Kanunu

Atom numarası (Z) aynı kütle numarası (A) veya nötron sayısı (N) farklı çekirdeklere izotop denir. Kararlı izotoplar, üzerlerinde herhangi fazla bir enerji bulundurmeyen ve zaman içinde kendiliklerinden değişmeye uğramayan çekirdeklerdir. Buna karşı kararsız radyoaktif 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 5'te 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 5. Nötron sayısına 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 ancak komşuları ile ve çoğunlukla çekirdek nükleer kuvvetleri ile etkileşirler. Bu nedenle ağır çekirdekler için itici Coulomb kuvveti daha hâkim duruma gelir ve çekirdek, enerji bağlamında, proton sayısından büyük sayıda nötrona sahip olma eğilimi gösterir.

Yaklaşık olarak 250 kararlı izotop bulunmaktadır. Kararlı izotopların sayısı Z'nin ve N'nin tek ya da 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.

Kararsız çekirdekler, taşıdıkları fazla enerjii parçacık salmak veya ışına yapmak suretiyle atarlar. Bu, kendi kendine dönüşüm yapma veya ışına yapma olayına radyoaktivite denir. Bir çekirdeğin kendi kendine parçacık salarak başka izotopa dönüşmesine veya aynı izotopun başka bir durumuna dönüşmesi olayına da radyoaktif bozunma denir.

Bir radyoizotopa ait radyoaktif atomların kendi kendine radyoaktif bozunması zamandan bağımsızdır. Tamamıyla tesadüfî bir karakter gösterir. Parçalanma sayısı, sadece mevcut atom sayısı ile orantılıdır ve zaman birimindeki ortalama bozunma sayısından bahsedilir.

Deneyisel sonuçlar radyoaktif bozunmanın üstel özellikte olduğunu göstermektedir. Radyoaktif bozunmada;  $\lambda$ , birim zamanda bozunma olasılığını gösteren bozunma sabiti olmak üzere,  $dt$  zamanı içerisinde herhangi bir çekirdeğin bozunma olasılığı  $\lambda dt$  dir.  $t$  anında  $N$  radyoaktif çekirdek varsa,  $t + dt$  zamanı içerisinde bozunan çekirdek sayısı;

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

bağıntısı ile verilir. Denklemin sol tarafında bulunan eksi işareti artan zamanla radyoaktif atomların sayısının azalmakta olduğunu (ters orantılı) ifadesidir.  $t = 0$  anında  $N_0$  tane radyoaktif çekirdek olduğu farzedilir ve (5) bağıntısının her iki yanını  $N$ 'ye bölünüp, integrali alınır ve 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 sayısının zamanla (6) bağıntısına göre değişim gösterdiği bu kanuna radyoaktif bozunma kanunu denir. Denklem (6)'dan her iki tarafın zamana göre türevi;

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

olarak bulunur. Burada  $A$  aktivitedir. Saniyedeki bozunma olarak aktivite birimi Becquerel'dir.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ bozunma/saniye}$$

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

Kaynakların radyoaktivitelerinin diğer bir birimi de Curie'dir.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ bozunma/saniye}$$

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

Radyoaktif maddelerle ilgili önemli diğer bir karakteristik değer yarılanma zamanıdır. Başlangıçta  $N_0$  atom ihtiva eden bir radyoaktif madde atomlarının sayısı yarıya ininceye kadar bozunması esnasında geçen zamana o radyoaktif elementin yarı-ömrü denir. Yarı-

ömür  $T_{1/2}$  ile gösterilir. Bu yarı-ömrü tayin etmek için (6) denkleminde  $t = T_{1/2}$  ve  $N = N_0 / 2$  olarak alındığında yarılanma zamanı ile bozunma sabiti arasında;

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

bağıntısı elde edilir.

Bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süreye ortalama ömür ( $\tau$ ) denir.  $t$  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 yazılabilir. Paydadaki terim toplam bozunma sayısıdır. İntegral alınırsa,

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

bulunur. Ortalama ömür basit olarak bozunma sabitinin tersidir.

#### 1.4.2. 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,  $\lambda_1$  katsayısı ile ürüne bozunacak ana elementin atomlarının sayısı  $N_1$  olsun. Ürün elementinin atomlarının sayısını  $N_2$  ile gösterelim. Bunlarda  $\lambda_2$  bozunma katsayısı ile bir elemente bozunacaklardır. Bu kararlı elementteki atomların sayısı ise  $N_3$  olsun. Bunlara ilaveten  $t = 0$  iken  $N_1 = N_{10}$ ,  $N_2 = N_{20} = N_3 = N_{30} = 0$  olduğunu farzedelim. Bu durumda, aktifliğin saniyedeki bozunma sayısı şeklindeki tanımından 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 bozduklarını göstermektedir. (13) bağıntısıyla  $N_3$  atomlarının üretim hızı elde edilir.

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

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

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, ürün çekirdeğin  $t$  anındaki sayısı için,

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

elde edilir.  $N_3$ 'ü bulmak için (13) bağıntısında  $N_2$  yerine konursa,

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

Her iki tarafın integrali alınır ve gerekli işlemler yapılırsa,

$$\int dN_3 = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} \left[ \int_0^t e^{-\lambda_1 t} dt - \int_0^t e^{-\lambda_2 t} dt \right]$$

$$N_3 = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} \left( -\frac{1}{\lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \Big|_0^t + \frac{1}{\lambda_2} e^{-\lambda_2 t} \Big|_0^t \right)$$

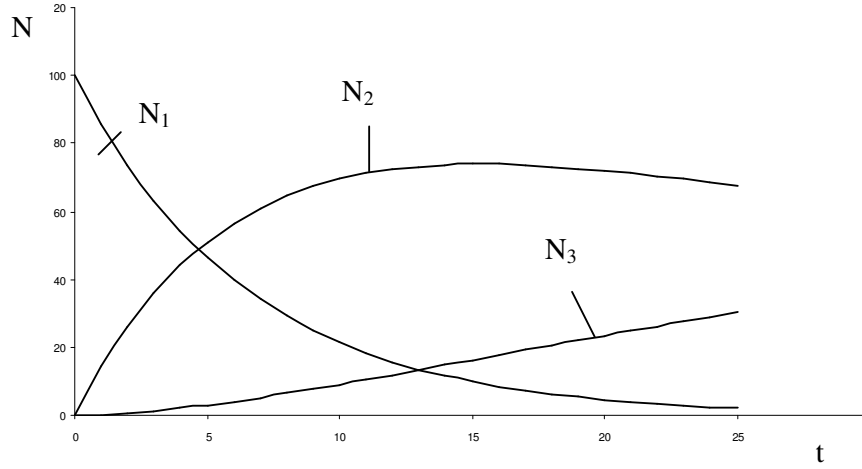
$$N_3 = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} \left( -\frac{1}{\lambda_1} e^{-\lambda_1 t} + \frac{1}{\lambda_1} e^0 + \frac{1}{\lambda_2} e^{-\lambda_2 t} - \frac{1}{\lambda_2} e^0 \right)$$

$$N_3 = -\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10}$$

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

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

elde edilir. (14), (18) ve (19) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan çekirdeklerin  $N_1$ ,  $N_2$  ve  $N_3$  sayıları bulunabilir. Bunların zamanla değişimi Şekil 6'daki gibidir.



Şekil 6. Ardışık bozunma grafiği

Tabiatta kendiliğinden radyoaktif olan,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , Np ve Ac serilerinin üyelerini (Bak.Bölüm 1.5) ardışık bozunmaya örnek olarak verebiliriz.

#### 1.4.2.1. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin  $\lambda_1$  bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da  $\lambda_2$  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  $\lambda_2$  bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir.

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

#### 1.4.3. 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.

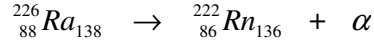
### 1.4.3.1. Alfa ( $\alpha$ ) Bozunması

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.  $\alpha$  bozunumuna bir örnek,



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

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

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

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  $\alpha$  parçacığının kütlesidir. Kendiliğinden bozunmanın olabilmesi için  $Q > 0$  olması gereklidir. Ayrıca Q değeri kinetik enerjideki artışa da eşit olduğundan (25) ifadesi,

$$Q = K_{\bar{u}} + K_\alpha \quad (26)$$

şeklinde olup sırasıyla  $K_{\bar{u}}$  ve  $K_\alpha$  ürün çekirdeğin ve  $\alpha$ -parçacığının kinetik enerjileridir.

Enerji ve momentumun korunumundan yola çıkarak A; ana çekirdeğin, A-4, ürün çekirdeğin kütle numaraları olmak üzere  $\alpha$ -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  $\alpha$ -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.

### 1.4.3.2. Beta ( $\beta$ ) 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.  $\beta^-$  Bozunması :  $\beta^-$  yayınlanması işleminde elektrik yükünün korunumu bir nötronun bir protona dönüşmesini, yani atom numarasının bir artmasını gerektirir. Bozunma denklemi,



şekindedir. Bu ifade, nötronun bozularak bir proton, bir elektron ve bir antinötrino parçacığının meydana geldiğini göstermektedir. Nötronun 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,

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

şekindedir ve  $K_0$ , bozunma enerjisine eşittir.

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



şekindedir. 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.

**3. 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,  $K_\nu$  ve  $K_\gamma$  saçılan nötrino ve gama ışınlarının kinetik enerjileridir.

### 1.4.3.3. Gama ( $\gamma$ ) 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 fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir. Çekirdek ne kadar yüksek enerji seviyesinde uyarılmış olarak kalmışsa, çıkacak gama ışınları o kadar yüksek enerjili olacaktır.

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

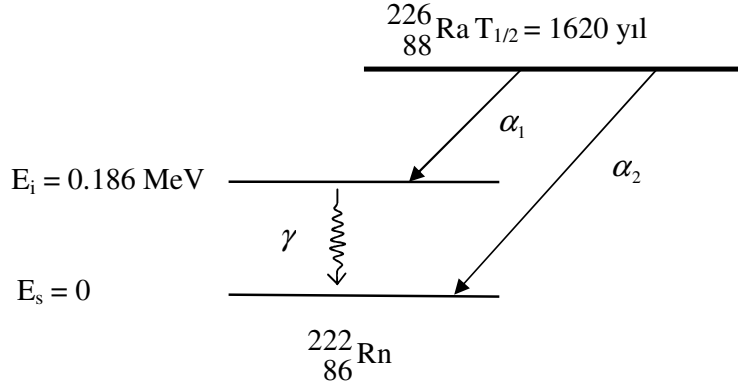
$$E = h\nu = E_i - E_f \quad (35)$$

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.

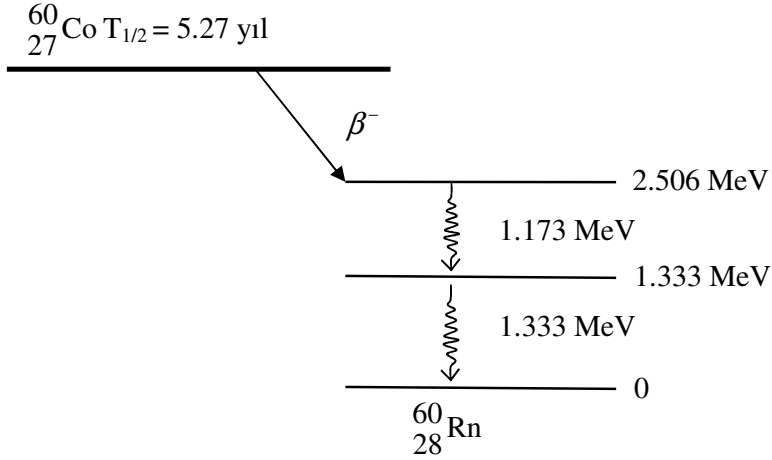
$\gamma$  yayınlaması ile yarışan bir olay iç dönüşümdür. Bu olayda bir çekirdek enerjisini doğrudan doğruya bir atom elektronuna aktararak bozunur serbest elektron gözlenir. Bu  $\beta$  bozunumunda çok farklıdır. Z ve N sayıları değişmez, atom uyarılmış durumda kalır.

Ra-226 çekirdeğinin  $\alpha$  bozunma şemasını Şekil 7'deki gibi gösterebiliriz. Yatay düz çizgiler, çekirdeğin enerji düzeylerini göstermektedir. Ra-226 farklı enerjilerde  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  gibi iki alfa ışını çıkarmaktadır ve  $\alpha_1$ 'i takiben bir gama ışını da çıkmaktadır.

Co-60'ın  $\beta^-$  bozunma şeması Şekil 8 ile temsil edilebilir. Burada çekirdek  $\beta^-$  bozunumuna uğradıktan sonra taban duruma geçebilmek için iki farklı enerjide  $\gamma$  ışını salmaktadır.



Şekil 7. Ra-226 çekirdeğinin  $\alpha$  bozunma şeması



Şekil 8. Co-60 çekirdeğinin  $\beta^-$  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-ömlere sahiptirler.

#### 1.4.3.4. Kendiliğinden Fisyon

Fisyon, atom çekirdeğinin bölünmesi olayıdır. Genellikle fisyonun, bir reaktörde olduğu gibi doğal olmayan yapay koşullarda olduğu düşünülür. Oysa bazı çekirdeklerde fisyon bir radyoaktif bozunma şeklinde kendiliğinden oluşur. Bu olay reaktörlerde nötronla oluşturulan fisyonu benzer, ancak fisyonu başlatmak için çekirdeğin nötron yakalamasına gerek yoktur. Kendiliğinden fisyonunda bir ağır çekirdek daha hafif iki çekirdeğe bölünür. Son çekirdekler  $\alpha$  veya  $\beta$  bozunumunun aksine, kesin olarak belirlenemez. Fakat tüm ortağırlıklı çekirdek aralığı boyunca istatistik olarak dağılır.  $^{256}\text{Fm}$  ( $t_{1/2} = 2,6$  saat) ve  $^{254}\text{Cf}$  ( $t_{1/2} = 60,5$  gün) kendiliğinden fisyonu örnek olarak verilebilir.

#### 1.4. 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.

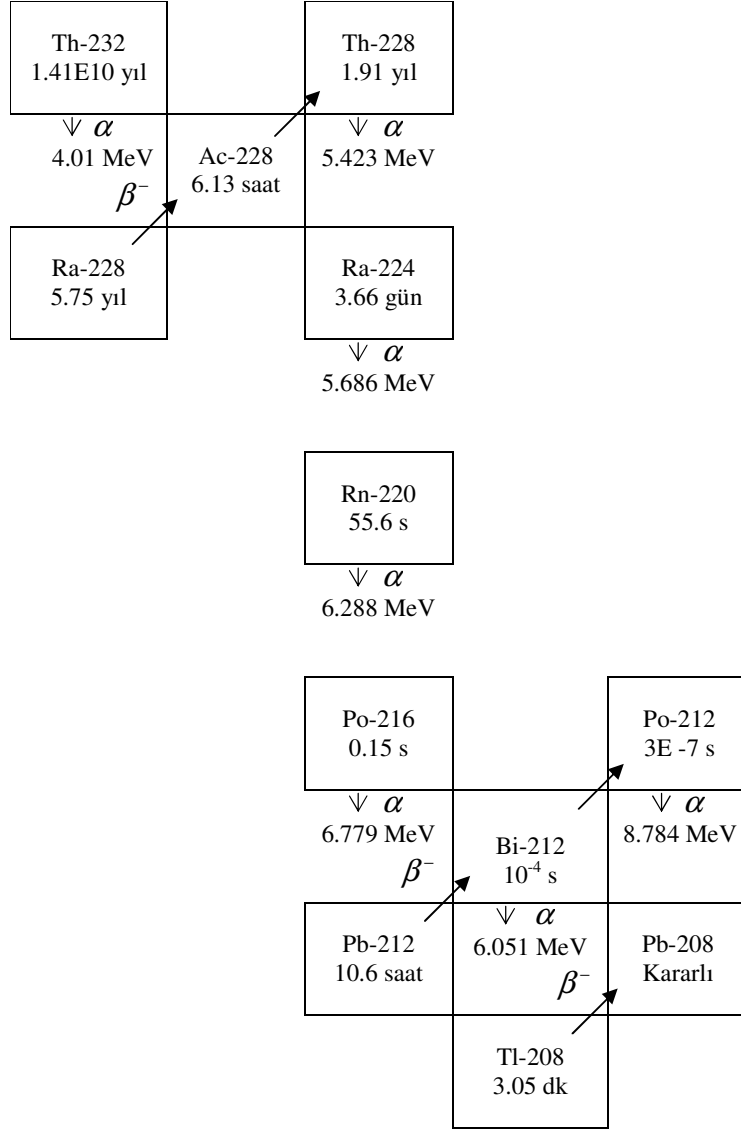
$Z = 81$  ile  $Z = 92$  arasında olan ve doğal olarak bulunan radyoaktif izotoplar, A kütle numaralarına bağlı olarak, aşağıdaki dört seriden birine dahildirler.

Tablo 3. Doğal radyoaktif seriler

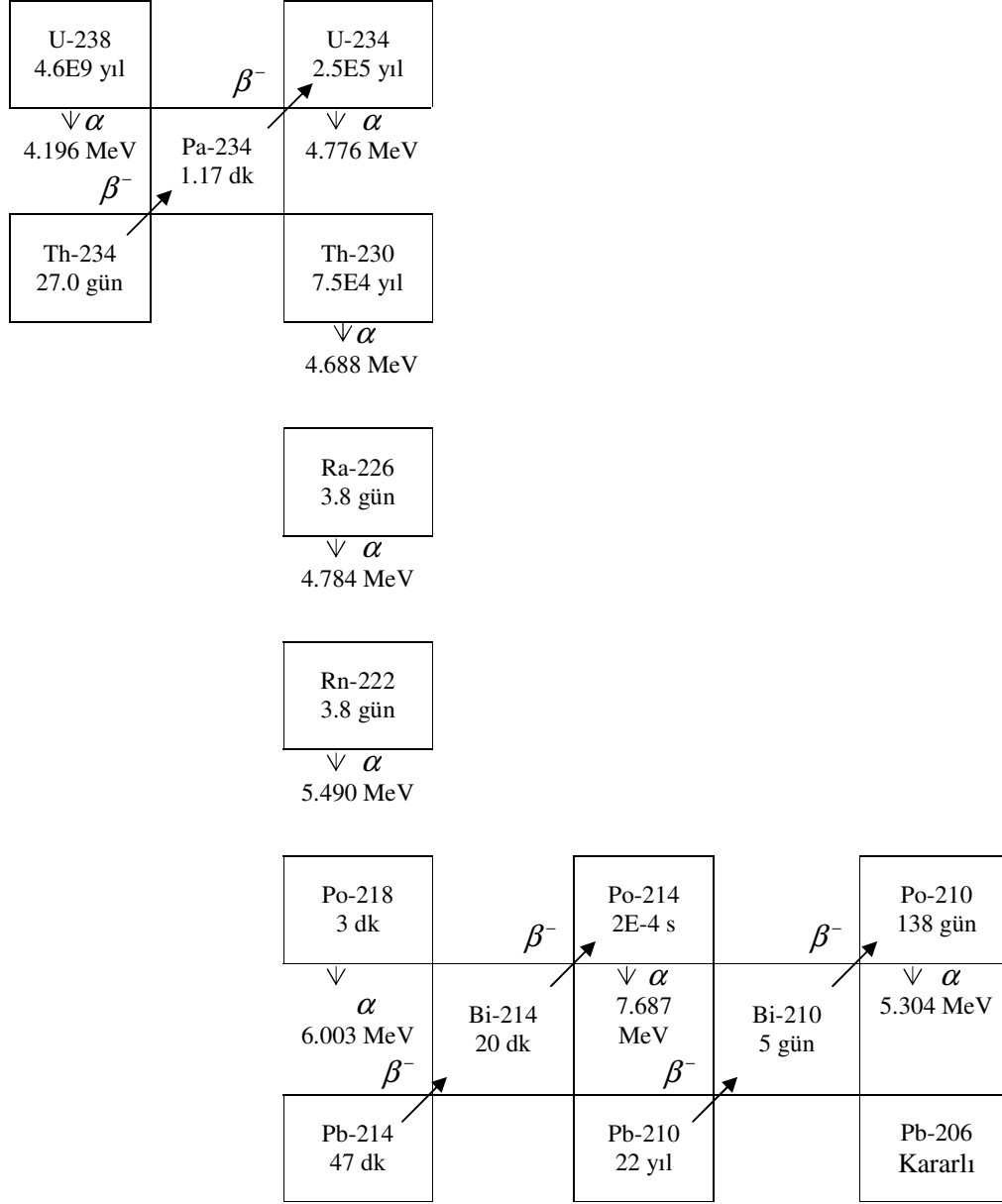
Seri Adı	Türü	Son Çekirdek ( Kararlı )	En Uzun Ömürlü Üyesi	
			Çekirdek	Yarı Ömür ( Yıl )
Toryum	4n	<sup>208</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	1,41 x 10 <sup>10</sup>
Neptinyum	4n + 1	<sup>209</sup> Bi	<sup>237</sup> Np	2,14 x 10 <sup>6</sup>
Uranyum	4n + 2	<sup>206</sup> Pb	<sup>238</sup> U	4,47 x 10 <sup>9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

Tablodaki Türü sütunundaki 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. 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

### 1.6. 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,  $\gamma$ -ışınları ve nötronlardır.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonların enerjileri, iyonlaşma meydana getiren x-ışını ve gama ışınlarının enerjilerinden daha küçük (dalga boyları 100 nm'den daha büyük) olan radyasyonlardır. Maddeden geçerken maddede iyonlaşma meydana getiremezler. 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 ( $\lambda$ ), frekans (f) ve enerjileri (E) ile tarif edilirse; iyonlaştırıcı radyasyonlar enerjileri, optik radyasyonlar dalga boyları, elektromagnetik radyasyonlar ise frekansları ile belirtilirler.

### 1.7. 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.  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad}$ '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.  $\beta$  ve  $\gamma$  ışınları bu tip radyasyona örnektir. Örneğin  $\alpha$  parçacıkları gibi diğer tip radyasyonlar enerjilerini çok hızlı kaybederler ve çok kısa bir yol boyunca tüm enerjilerini aktarırlar. Hücrenin 1 rad'lık  $\alpha$  radyasyonundan hasar görme olasılığı, 1 rad'lık  $\gamma$  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 etki



(RBE) kavramı kullanılır. RBE değerleri  $\alpha$  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 ( $\beta$  ve  $\gamma$ 'lar) QF'leri 1 civarındadır. Birim uzunluk başına daha fazla enerji aktaran radyasyonların ( $\alpha$ 'lar) QF'leri 20'ye kadar değişir. Tablo 4'te bazı QF değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Soğurulan Radyasyonlar için Kalite Faktörü

Radyasyon	QF
X-ışınları, $\beta$ , $\gamma$	1
Düşük enerjili p, n (~keV)	2 - 5
Yüksek enerjili p, n (~keV)	5 - 10
$\alpha$	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.

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

Böylece farklı radyasyonların yutulmaları sonucu oluşan biyolojik etki aynı birimle (DE) ifade edilebilmektedir. 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 canlı sistemlerdeki etkisinin (doz eşdeğeri) ölçülmesinden, hangisini isteyeceğimize bağlı olarak birçok farklı yol vardır. Tablo 5'te bu değişik ölçümler ile bu ölçümlerin ifade edildiği geleneksel ve SI birimlerinin bir özeti verilmiştir.

Tablo 5. 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 (Gy)
Doz eşdeğeri (DE)	Biyolojik etki	Rem	Sievert (Sv)

Halkın ve radyasyonla çalışanların radyasyon dozu için standartlar, zamanın belirli bir periyodunda (genellikle çeyrek veya yılbaşına) rem cinsinden ifade edilir. Doğal tabansayım kaynaklarından (kozmetik ışınlar ve  $^{40}\text{K}$ , 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.

Fotoğraf filmi üzerine düşen bir ışın demeti, filmi güneşli ya da kapalı bir havada çok ya da az karartır. Aynı şekilde birim alana saniyede çarpan tanecik (foton) sayısı (ya da ışın demetinin akısı) çoğaldıkça, çarptığı yüzeye, örneğin vücuda daha çok enerji aktarılacağından, etki ve dolayısıyla genellikle hasar da büyüyor. Örneğin 100.000 Bq'lık noktasal bir Cs-137 kaynağı, %92 olasılıkla 0,662 MeV'luk gama ışınları (fotonları) yaydığında, kaynaktan 40 cm uzaklıktaki bir insanın vücuduna çarpan ışın demetinin akısı (Noktasal kaynağın bir kürenin merkezinde bulunduğu ve yaydığı ışınların r yarıçaplı kürenin tüm iç yüzeyine doğru yayıldığı göz önüne alınarak):

$100.000 \text{ (bozunma/saniye)} \times 0,92 \gamma/4\pi r^2 = 100.000 \times 0,92/(4 \times 3,14 \times 1600) = 4,58 \gamma/\text{cm}^2\text{s}$   
 Noktasal kaynaktan  $r = 40 \text{ cm}$  uzaklıktaki bir insanın vücut yüzeyinin  $\text{cm}^2$ 'sinin saniyede hedef olduğu enerjisi:  $4,58 \gamma/\text{cm}^2\text{s} \times 0,662 \text{ MeV} = 3,03 \text{ MeV}/\text{cm}^2\text{s}$ . Ancak, vücut yüzeyinden vücuda giren her bir gama ışını vücutta soğurulmadığı için vücuda sadece belirli bir miktar enerji aktarır. Vücutun her cm derinliği başına enerjilerini bir miktar aktararak soğurulan gamaların oranının hesaba katılması gerekir ki, bu da lineer toplam enerji soğurma katsayısıyla ( $\mu$ ) veriliyor (Bu enerjideki gamalar ve vücut için  $\mu = 0,032 / \text{cm}$ ). Buradan vücutun  $\text{cm}^3$ 'üne 1 saniyede aktarılan enerji ya da doz hızı:  $3,03 \text{ MeV} / \text{cm}^2\text{s} \times 0,032 / \text{cm} = 0,096 \text{ MeV} / \text{cm}^3\text{s}$ ; 1 saatteyse:  $0,096 \times 3600 \text{ s/h} = 345 \text{ MeV} / \text{cm}^3\text{h}$  ya da enerji doz birimlerinde:

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 6,242 \times 10^{12} \text{ MeV} \text{ ve } 1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

Dhızı =  $345 \times 1,6 \times 10^{-13} \text{ J} / \text{cm}^3\text{h} = 0,55 \times 10^{-10} \text{ J} / \text{cm}^3\text{h}$  ve  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$  ve vücut dokusu yoğunluğu da  $1 \text{ g}/\text{cm}^3$  alınarak

$$\text{Dhızı} = 0,55 \times 10^{-7} \text{ Gy/h} = 0,055 \mu\text{Gy/h}$$

Bu doz hızı vücuda 1 saatte aktarılan  $\gamma$ -dozu olup örneğin günde kabaca 10 saat bu radyasyon kaynağına hedef olan bir kişinin alacağı doz  $500 \mu\text{Gy/h} = 0,5\text{mGy}$  ve 300 günde de  $150 \text{mGy}$  olur. Gama ışınları için kalite katsayısı 1 olduğundan Gray yerine Sievert (Sv) alınarak toplam eşdeğer doz olarak  $150 \text{mSv}$  buluruz (300 günde alınan doz).

Kitle ışınlaması örneği: Yukarıdaki dozu örneğin 100000 kişilik bir kitleden her biri almışsa:  $150\text{mSv} \times 100000 = 15 \times 10^6$  kişi  $\times$  mSv =  $15000$  kişi  $\times$  Sv ve  $0.05 / \text{Sv}$  kanser risk katsayısı hesaba katıldığında  $15000 \text{Sv} \times 0.05/\text{Sv} = 750$  kişi elde edilir ki bu 100000 kişilik kitle içinden rasgele 750 kişinin kansere yakalanıp ölebileceği anlamını taşır. Bu yaklaşık hesaplama yöntemi, 1986/1987 yıllarında çay çuvallarını sırtlarında taşıdığı düşünülen işçilerin, vücut dışından ışınlama yoluyla hasar riski düzeyini gösteren bir örnek olabilir (20 kg çay çuvalı ve yukarıda verilen toplam radyoaktivite öngörülerek). Ayrıca, insan vücudu için tüm hasar riski hesaplanırken, vücut içine sindirim ve solunum yoluyla alınan radyoaktif maddelerin vücutta oluşturduğu dozların, hesaplanan dış radyasyon dozlarına eklenmesi de gerekmektedir. Diğer yandan çaydaki radyoaktivitenin sabit kalmayacağı, hem çeşitli çay örneklerinde ve günlerde farklı değerler alacağı ve hem de aktivitesinin radyoaktif parçalanmayla zamanla azalacağı göz önüne alındığında hasar riskinin, yukarıdaki kaba hesaplamayla bulunan sonuca uymayacağı da açık. Bu nedenle yukarıdaki hesaplama, okurlara bu konuda bugün izlenen yaklaşık yöntemi formül kullanmadan, radyasyon fiziği temel kavramlarıyla, mantık sıralamasıyla açıklamak için sadece bir örnek niteliğinde.[Unsclear Report]

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması sırasında Rize ili, merkez ve ilçelerinin doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla Rize ili ve ilçelerinin merkezlerinden belli aralıklarla ölçümler alındı.

### 2.1. Çalışılan Bölgenin Coğrafi Yapısı

Rize kuzeydoğu Anadolu'da; Doğu Karadeniz kıyı şeridinin doğusunda,  $40^{\circ} 21'$  ve  $41^{\circ} 25'$  doğu boylamları ile  $40^{\circ} 33'$  ve  $41^{\circ} 20'$  kuzey enlemleri arasında yer alır. Batıdan Trabzon'un Of, güneyden Erzurum'un İspir, Doğudan Artvin'in Yusufeli ve Arhavi ilçeleri ve kuzeyden Karadeniz ile çevrili olan Rize'nin göller hariç yüzölçümü  $3920 \text{ km}^2$  dir. Rize yeryüzü şekilleri bakımından üç ayrı bölüme ayrılır. İl topraklarının %78 gibi bir bölümü dağlarla kaplıdır.



Şekil 11. Rize ilinin Türkiye'deki yeri ve ilçeleri

İlde, akarsuların Karadeniz'e döküldüğü kesimindeki küçük ovacıklar haricinde pek ova yoktur. İlde eğimin çok olması nedeni ile kısa ama bol, hızlı ve düzensiz akan pek çok akarsu vardır. İl toprakları kıyından başlayarak Güneye doğru birden yükselir. Kimi yerlerde dağlar Karadeniz'e dik olarak iner. Kıyından 10–15 km. güneyde, yükselti 400–500 metreye ulaşır. Daha güneyde ise, dağların yükseltileri 2500–3000 metreyi de aşar. Bu yüksek dağlar arasında ekonomik bakımdan önem taşıyan yaylalar vardır. Platoların il alanı içindeki payı %21 dir. Güneydeki yüksek dağlardan doğan irili ufaklı birçok akarsu, il topraklarında vadiler açmıştır.

Yeryüzü şekilleri açısından il alanının %78'ini dağlar ,%21'ini platolar ve %1 gibi düşük bir bölümünü ise ovalar oluşturmaktadır. İl alanının büyük bir bölümünü oluşturan dağlar kıyıya koşut olarak uzanır. Bu dağlar, Doğu Karadeniz kıyı dağlarının devamıdır. Bu dağların yükseltileri il alanında, batıdakine göre bir hayli artar. Doğu karadeniz kıyı dağları il alanı içerisinde kuzey doğu yönünde bir yay çizer ve daha kütleli bir sıra dağ görünümü alır. Batıdan doğuya doğru olarak yükselir. Bu dağlarla deniz arasında kalan alan yüksek bir yayla görünümündedir.

Derepazarı: Rize'nin 9 km batısında bulunan Derepazarı 1990 yılında ilçe olmuştur. İlçenin 7 köyü ve 11 mahallesi vardır. Şehir nüfusu 4240 ve toplam nüfusu 10381'dir.

İyidere: Rize'nin 15 km batısında sahil kesiminde yer almaktadır.1991 yılında ilçe olmuştur. 7 köyü ve 8 mahallesi bulunmaktadır. Şehir nüfusu 5791 ve toplam nüfusu 11445'dir.

Kalkandere: Rize'ye 28 km uzaklıkta bulunup ilin iç batı kesiminde yer almaktadır. 1957 yılında ilçe olan kalkandere aynı yıl belediye yönetimine kavuşmuştur. İlçenin 20 köyü ve merkeze bağlı 13 mahallesi bulunmaktadır. Şehir nüfusu 8263 ve toplam nüfusu 21978'dir.

İkizdere: İlçe merkezi yüksekliği 2000 metreyi bulan sarp ve yüksek Rize dağlarının birleştiği derin derin bir vadiye kurulmuştur. Doğuda Çağrankaya dağları batıda Rüzgarlı köyü ve Manle dağları bulunmaktadır. Karşılıklı birbirine bakan bu iki dağın vadisinde çamlık deresi ile cimil deresinin birleştiği yerde kurulan ilçe iki dere anlamında kullanılan ikizdere adını almıştır. İlçe 898 km<sup>2</sup> yüz ölçümü ile Rize'nin en geniş ilçesidir. İkizdere

1952 yılında ilçe olmuştur. İlçede 28 köy bulunmaktadır. Şehir nüfusu 3643 ve toplam nüfus ise 15295'dir. Sahilden 36 km iç kesimde yer alan ilçe il merkezine 54 km uzaklıktadır.

Hemşin: Daha önce Pazar ilçesine bağlı olan Hemşin 1990 yılında ilçe olmuştur. Şehir nüfusu 2766 ve toplam nüfusu 3770'dir. 18 km'lik asfalt yolla sahile bağlanmaktadır. İlçe yüksek ve dik yamaçlar arasında dar bir vadiye yerleşmiştir.

Pazar: 1864 yılında ilçe olmuştur. Rize 1924 yılında il olduğu zaman yalnızca Pazar ilçesi vardı. İlçeye bağlı 45 köy ve 9 mahalle bulunmaktadır. Şehir nüfusu 11068 ve toplam nüfusu 37241'dir.

Çayeli: Rize'nin 19 km doğusunda yer alan Çayeli ilçesinde 17 mahalle ve 47 köy bulunmaktadır. Şehir nüfusu 25990 ve toplam nüfusu 56203'dür. 1944'te Çaybaşı adıyla ilçe olup sonrada adı Çayeli olarak değiştirildi. 473 km<sup>2</sup> alana sahip ilçenin %38'i ormanlık, %15,6 çaylık, %11'i çalılık, %10'u mera ve %3,2'si kullanılmamaktadır.

Çamlıhemşin: Sahile 21 km, Rize'ye 65 km uzaklıkta bulunmaktadır. 1960 yılında ilçe olan Çamlıhemşin'in 6 mahallesi ve 25 köyü bulunmaktadır. Şehir nüfusu 2829 toplam nüfusu 10566'dır.

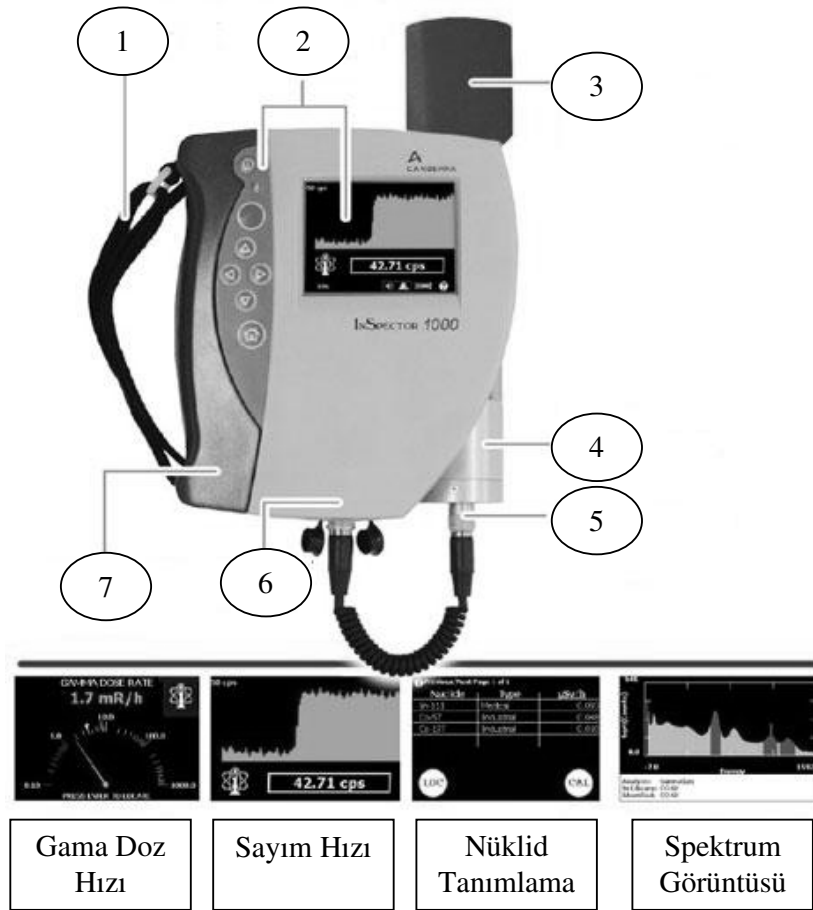
Fındıklı: İlçe Rize'nin 63 km doğusunda bulunmaktadır. 8 mahallesi ve 20 köyü vardır. 1947 yılında ilçe olmuştur. Şehir nüfusu 7022 toplam nüfusu 16129'dur. Önceleri Artvin'e bağlı olan ilçe 1953 yılında Rize'ye bağlanmıştır.

Ardeşen: Rize'nin 47 km doğusunda yer alan Ardeşen'nin 14 mahallesi ve 25 köyü vardır. Şehir nüfusu 17340 ve toplam nüfusu 39761'dir. 1953 yılında ilçe olmuştur. Fırtına deresinin denize döküldüğü yerde oluşturduğu geniş ve düz bir arazi üzerine yerleşmiştir.

## 2.2. Deneysel Sistem

Spektrumların elde edilmesi için InSector 1000 Portatif Gama Dedektörü kullanıldı. Çok kanallı analizöre sahip bu dedektör ile her bir bölgede 10000 s sayım alındı ve elde edilen spektrumlar Genie-2000 programı yardımıyla nüklidlerin belirlenmesi ve aktivite değerlerinin ölçülmesi işlemi için bilgisayara aktarıldı.

## 2.3. InSector 1000 Portatif Dedektör



Şekil 12. InSector 1000 Portatif Dedektör

- 1- Ayarlanabilir tutma kayışı
- 2- Temel işlemler için dokunmatik ekran
- 3- Yüksek duyarlılıklı dedektör

- 4- Tak – Kullan özellikli akıllı prob (i-prob)
- 5- Bağlantı uçları
- 6- Bütünleştirilmiş GM tüpü
- 7- Ergonomik şekliyle elde rahatça taşıma

InSpektör 1000, doz ve sayım hızı ölçümlerinde, nüklid belirlenmesinde ve aktivitelerinin ölçülmesinde kullanılabilir. Bu modlar tek bir dokunuşla kolayca seçilebilir.

Yüksek voltaj güç sağlayıcı (HV) ve önyükselteç probun içerisine yerleştirilmiştir. Dedektör, akıllı probu (i-prob) otomatik olarak algılar.

## 2.4. Deneysel Yöntem

### 2.4.1. Enerji Kalibrasyonu

Elde edilen spektrumların analiz edilebilmeleri için her kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece ortamda bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir.

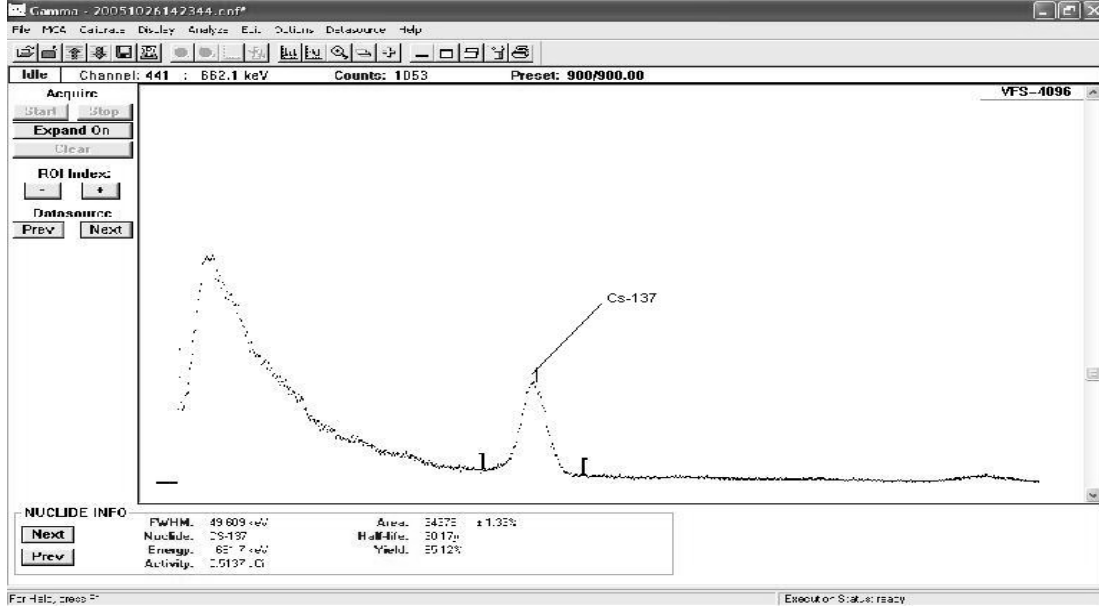
Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için, önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart bir kaynağa ihtiyaç vardır. Bu çalışmada kullanılan standart kaynağa ait bilgi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6. Standart kaynağın 1 Mayıs 2006'daki özellikleri.

İzotop	Enerji (MeV)	Gama/s	% Hata	Yarı-ömür
Cs-137	0.662	2441	±0.2	30.17 y

Enerji kalibrasyonu için dedektör önüne konulan standart kaynağın 10000 s'lik spektrumu elde edildi.

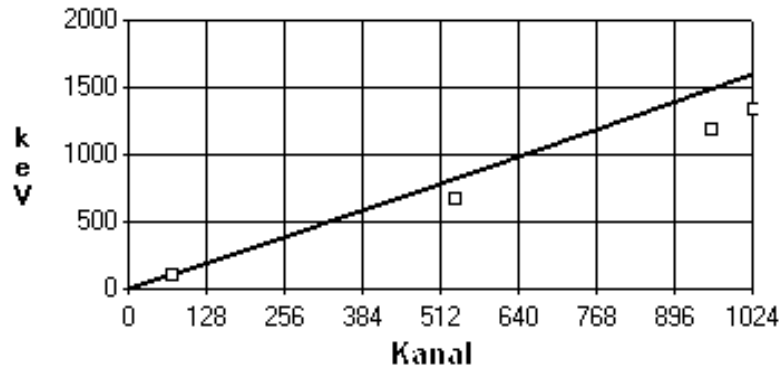




Şekil 13. Standart Cs-137 radyoaktif kaynağının spektrumu

Enerjinin hangi kanala karşılık geldiği tespit edildi. MCA sistemi tarafından kanal numarası ile enerji arasında aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

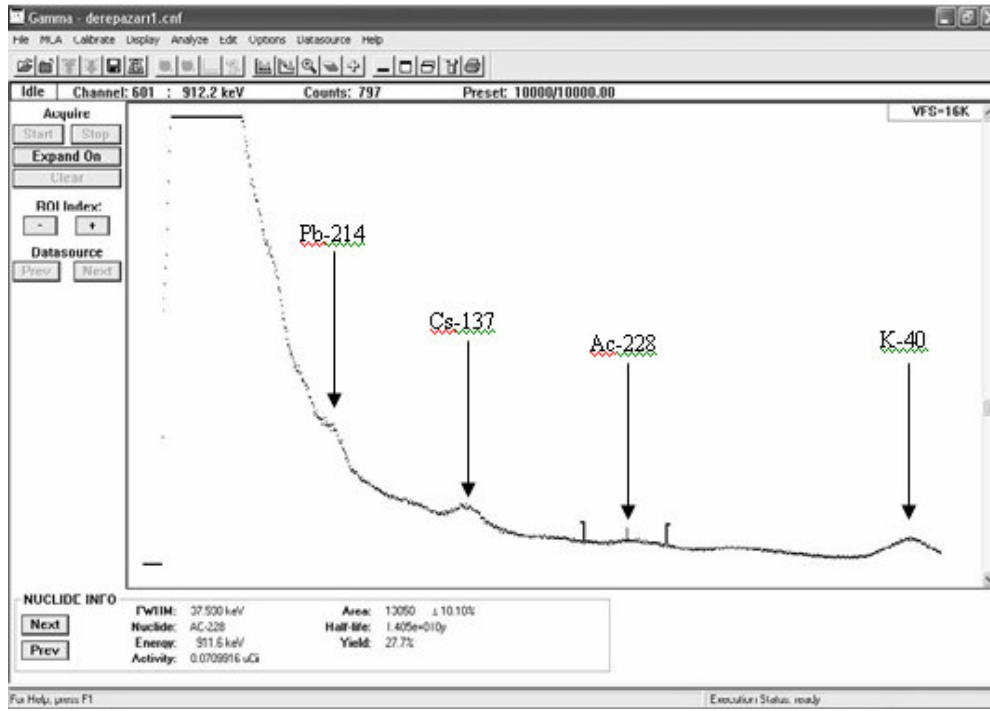
$$\text{Enerji (keV)} = -10.000 + 1.496 * \text{ch} + 6.40\text{E-}005 * \text{ch}^2$$



Şekil 14. Enerjinin kanallara göre değişimi

### 2.4.2. Spektrometre Sisteminin Çalıştırılması ve Verilerin Analizi

Rize'nin merkez ve ilçelerinde GPS (Küresel Yer Belirleme Sistemi) ile konumları tayin edilmiş noktalarda yerden 1m yükseklikte portatif dedektör sistemi çalıştırıldı. Spektrum sayım süresi 10000 s olarak ayarlandı. Seçilen süre kadar sayılarak spektrum elde edildi. Elde edilen spektrumlar ölçüm alınan her bölge için ve bu spektrumlara ait raporlar aşağıda tek tek gösterilmektedir. Sayılan her bir bölgeye ait spektrum analiz edilmek üzere hafızaya alındı.



Şekil 15. Derepazarı ilçesinden alınmış spektrum örneği

Tablo 7. Derepażarı ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor

```
*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****
```

Filename: C:\derepażarı

Report Generated On : 31.05.2006 10:16:33  
 Sample Title : InSpector 1000 spectrum  
 Spectrum Description :  
 Sample Identification :  
 Sample Type :  
 Sample Geometry :

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 Size : 1.000E+000

Sample Taken On : 02.05.2006 13:40:35  
 Acquisition Started : 02.05.2006 13:40:35  
 Live Time : 9971.6 seconds  
 Real Time : 10000.0 seconds

Dead Time : 0.28 %

Energy Calibration Used Done On : 11.05.2005  
 Efficiency Calibration Used Done On : 30.06.2004  
 Efficiency ID : 3X3\_UNSHIELDED

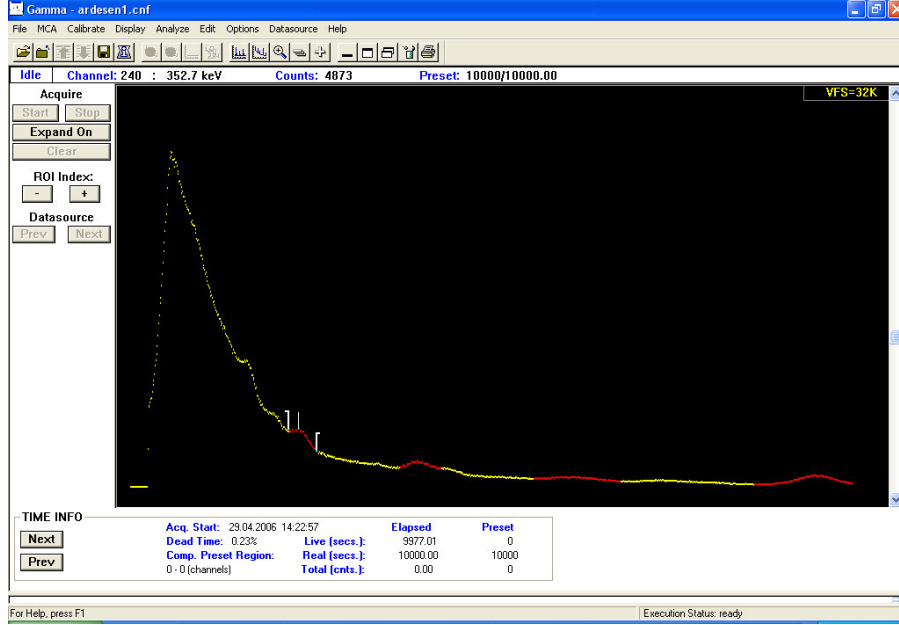
```
*****
*****      P E A K   A N A L Y S I S   R E P O R T      *****
*****
```

Detector Name: Scionix3x3  
 Sample Title: InSpector 1000 spectrum  
 Peak Analysis Performed on: 31.05.2006 10:16:33  
 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	103-	330	247.03	363.44	1.50	-2.36E+005	7281.83	2.08E+006
2	383-	531	417.33	625.44	49.78	1.84E+004	1966.51	2.00E+005
M 3	596-	894	641.50	975.96	104.37	1.04E+004	305.26	9.50E+004
m 4	596-	894	779.27	1194.57	110.20	1.30E+004	288.74	9.77E+004

M = First peak in a multiplet region  
 m = Other peak in a multiplet region  
 F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma



Şekil 16. Ardeşen ilçesinden alınmış spektrum örneği

Tablo 8. Ardeşen ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor

```

*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****

Filename: D:\ardesen.cnf

Report Generated On           : 18.06.2006 12:01:59

Sample Title                   : InSpector 1000 spectrum
Spectrum Description          :
Sample Identification         :
Sample Type                   :
Sample Geometry               :

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 Size                   : 1.000E+000

Sample Taken On               : 29.04.2006 14:22:57
Acquisition Started          : 29.04.2006 14:22:57

Live Time                     : 9977.0 seconds
Real Time                     : 10000.0 seconds

Dead Time                     : 0.23 %

Energy Calibration Used Done On : 11.05.2005
Efficiency Calibration Used Done On : 30.06.2004
Efficiency ID                  : 3X3_UNSHIELDED

```

Tablo 8'in devamı

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

```
Detector Name: Scionix3x3
Sample Title:  InSpector 1000 spectrum
Peak Analysis Performed on:  18.06.2006 12:01:59
Peak Analysis From Channel:    1
Peak Analysis To Channel:     1024
```

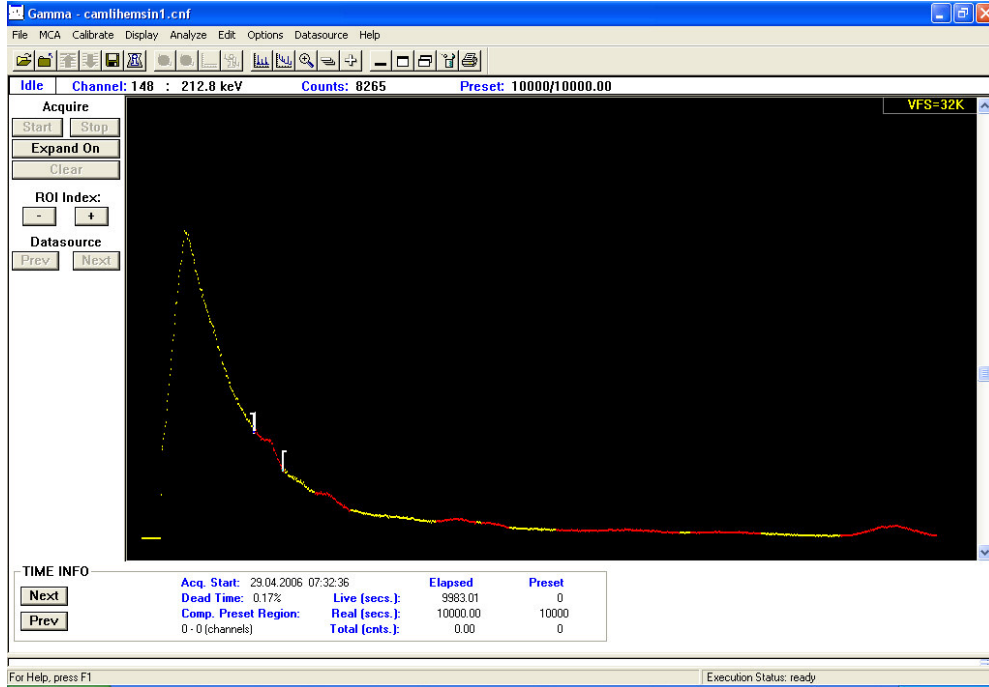
	Peak No.	ROI start	ROI end	Peak centroid	Energy (keV)	FWHM (keV)	Net Peak Area	Net Area Uncert.	Continuum Counts
M	1	24-	89	44.67	56.95	22.55	2.22E+005	822.07	2.08E+005
m	2	24-	89	62.35	83.51	28.28	3.78E+005	980.64	5.96E+005
	3	102-	519	168.54	243.94	1.82	-5.11E+005	9939.55	2.42E+006
M	4	578-	879	633.31	963.04	105.72	1.49E+004	303.95	8.79E+004
m	5	578-	879	770.92	1181.26	111.51	1.40E+004	264.29	8.06E+004
	6	890-	999	945.95	1462.32	67.49	2.37E+004	763.26	3.96E+004

M = First peak in a multiplet region

m = Other peak in a multiplet region

F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma



Şekil 17. Çamlıhemşin ilçesinden alınmış spektrum örneği

Tablo 9. Çamlıhemşin ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor

```

*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****
Filename: D:\camlihemsin

Report Generated On           : 18.06.2006 12:02:59

Sample Title                  : InSpector 1000 spectrum
Spectrum Description         :
Sample Identification        :
Sample Type                  :
Sample Geometry              :

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 Size                   : 1.000E+000

Sample Taken On              : 29.04.2006 07:32:36
Acquisition Started         : 29.04.2006 07:32:36

Live Time                    : 9983.0 seconds
Real Time                    : 10000.0 seconds

Dead Time                    : 0.17 %

Energy Calibration Used Done On : 11.05.2005
Efficiency Calibration Used Done On : 30.06.2004
Efficiency ID                 : 3X3_UNSHIELDED

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

```

```

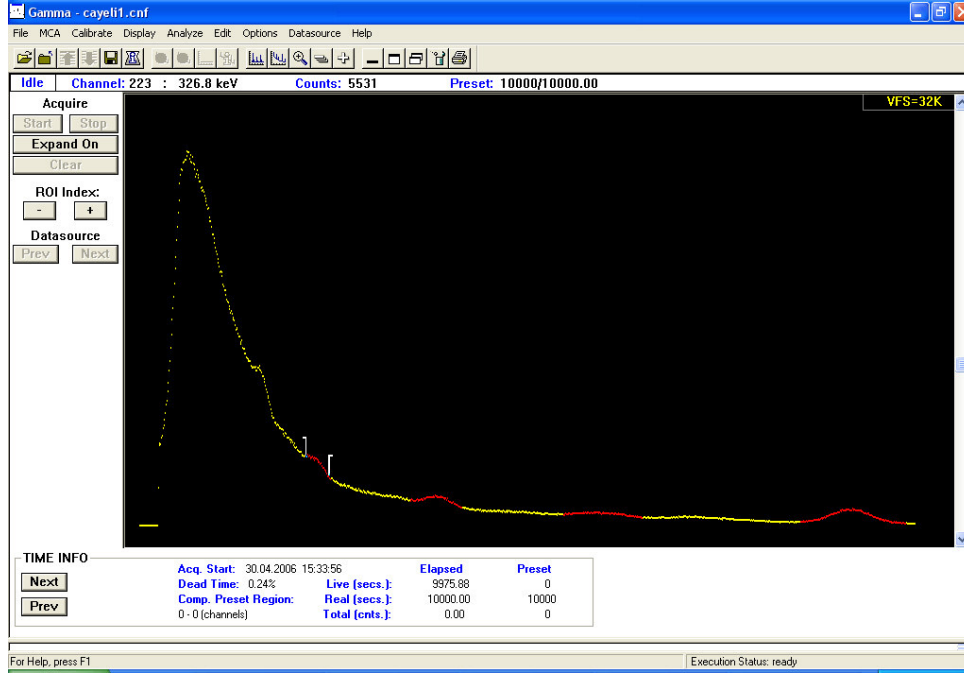
Detector Name: Scionix3x3
Sample Title: InSpector 1000 spectrum
Peak Analysis Performed on: 18.06.2006 12:02:59
Peak Analysis From Channel: 1
Peak Analysis To Channel: 1024

```

Peak No.	ROI start	ROI end	Peak centroid	Energy (keV)	FWHM (keV)	Net Peak Area	Net Area Uncert.	Continuum Counts
1	101-	324	166.80	241.30	2.61	-1.33E+005	5736.77	1.30E+006
M 2	374-	565	408.14	611.19	45.93	1.19E+004	304.12	8.79E+004
m 3	374-	565	446.36	670.46	48.55	8.59E+003	268.26	9.32E+004
M 4	573-	877	635.60	966.65	154.79	1.20E+004	306.09	9.18E+004
m 5	573-	877	768.62	1177.59	119.33	1.38E+004	268.61	7.26E+004
6	888-	999	943.83	1458.89	72.02	2.97E+004	726.74	3.46E+004

M = First peak in a multiplet region  
m = Other peak in a multiplet region  
F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma



Şekil 18. Çayeli ilçesinden alınmış spektrum örneği

Tablo 10. Çayeli ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor

```

*****
*****      GAMMA SPECTRUM ANALYSIS      *****
*****

Filename: D:\cayeli.cnf

Report Generated On           : 18.06.2006 11:56:40

Sample Title                  : InSpector 1000 spectrum
Spectrum Description         :
Sample Identification         :
Sample Type                   :
Sample Geometry               :

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 Size                   : 1.000E+000

Sample Taken On              : 30.04.2006 15:33:56
Acquisition Started         : 30.04.2006 15:33:56

Live Time                    : 9975.9 seconds
Real Time                    : 10000.0 seconds

Dead Time                    : 0.24 %

Energy Calibration Used Done On : 11.05.2005
Efficiency Calibration Used Done On : 30.06.2004
Efficiency ID                  : 3X3_UNSHIELDED

```

Tablo 10'un devamı

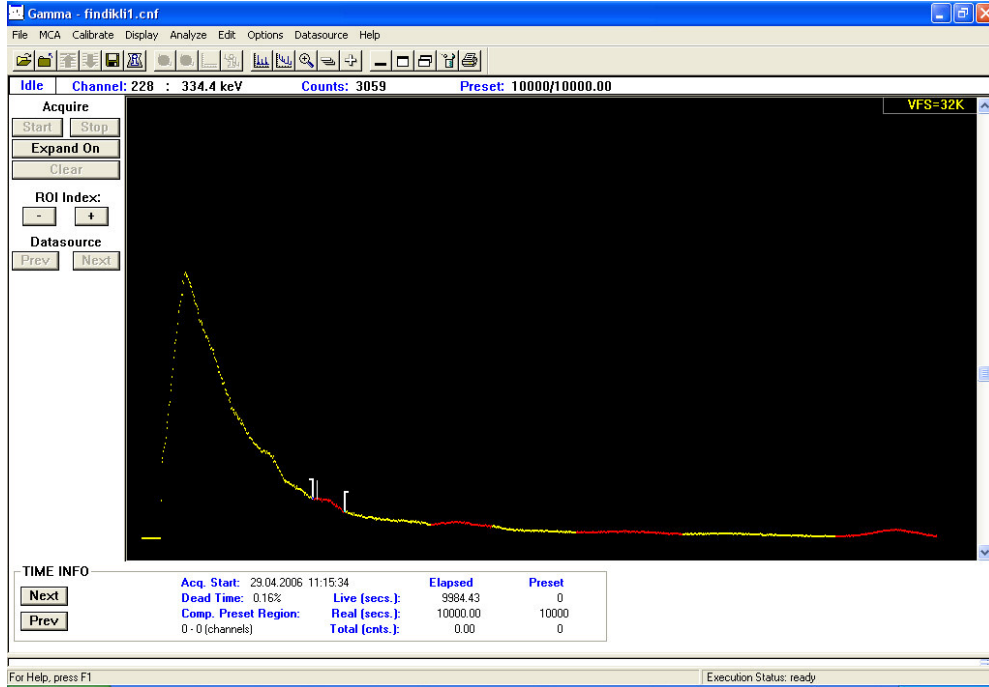
```
*****
*****          P E A K    A N A L Y S I S    R E P O R T          *****
*****
```

```
Detector Name: Scionix3x3
Sample Title: InSpector 1000 spectrum
Peak Analysis Performed on: 18.06.2006 11:56:40
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
M	1	24-	88	46.31	59.41	24.17	2.46E+005	994.57	2.72E+005
m	2	24-	88	63.92	85.88	29.78	3.74E+005	1098.12	6.43E+005
	3	97-	315	162.03	234.06	11.38	-1.63E+005	7020.13	2.00E+006
	4	363-	472	396.38	593.01	48.80	1.81E+004	1569.01	1.67E+005
M	5	556-	853	613.71	932.16	120.90	1.95E+004	352.10	1.18E+005
m	6	556-	853	747.36	1143.72	120.80	1.86E+004	303.54	1.05E+005
	7	859-	999	932.55	1440.67	84.95	6.14E+004	856.24	3.57E+004

M = First peak in a multiplet region  
m = Other peak in a multiplet region  
F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma



Şekil 19. Fındıklı ilçesinden alınmış spektrum örneği



Tablo 11. Fındıklı ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor

```

*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****

Filename: D:\findikli.cnf

Report Generated On           : 18.06.2006 12:04:52

Sample Title                  : InSpector 1000 spectrum
Spectrum Description         :
Sample Identification        :
Sample Type                  :
Sample Geometry              :

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 Size                   : 1.000E+000

Sample Taken On              : 29.04.2006 11:15:34
Acquisition Started         : 29.04.2006 11:15:34

Live Time                    : 9984.4 seconds
Real Time                    : 10000.0 seconds

Dead Time                    : 0.16 %

Energy Calibration Used Done On : 11.05.2005
Efficiency Calibration Used Done On : 30.06.2004
Efficiency ID                  : 3X3_UNSHIELDED

```

```

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

```

```

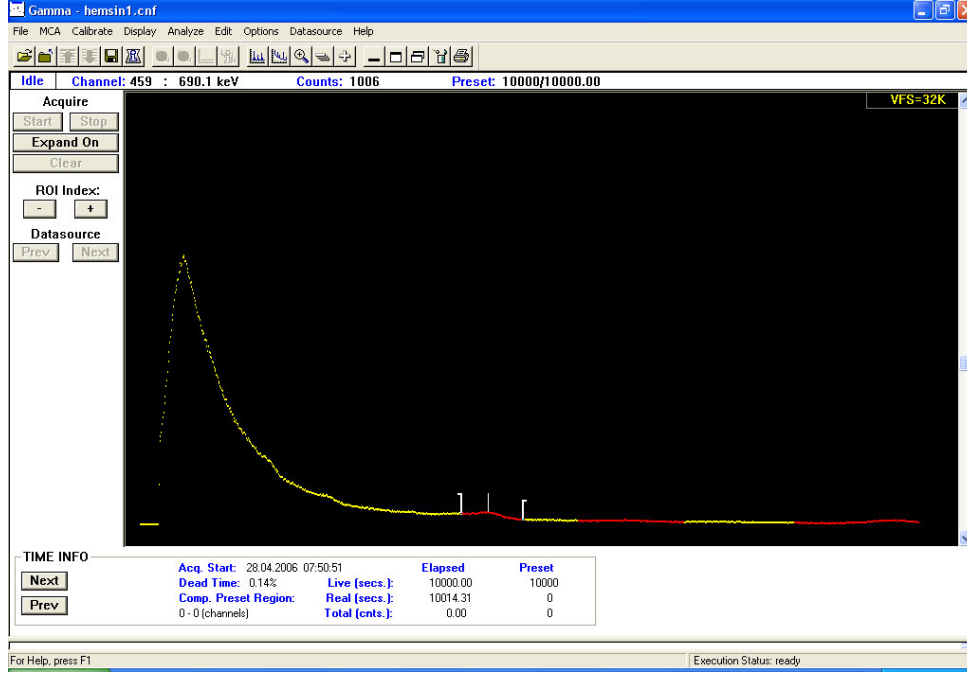
Detector Name: Scionix3x3
Sample Title: InSpector 1000 spectrum
Peak Analysis Performed on: 18.06.2006 12:04:52
Peak Analysis From Channel: 1
Peak Analysis To Channel: 1024

```

Peak No.	ROI start	ROI end	Peak centroid	Energy (keV)	FWHM (keV)	Net Peak Area	Net Area Uncert.	Continuum Counts
1	25-	84	54.84	72.23	56.97	4.98E+005	1933.04	4.01E+005
2	101-	324	167.54	242.42	1.50	-1.11E+005	5348.99	1.14E+006
M 3	381-	506	410.82	615.35	45.91	9.20E+003	287.92	6.97E+004
m 4	381-	506	446.77	671.10	48.48	5.96E+003	251.36	7.79E+004
M 5	583-	876	633.65	963.58	110.59	8.07E+003	244.57	5.91E+004
m 6	583-	876	770.40	1180.42	116.45	9.04E+003	223.98	5.74E+004
7	886-	999	944.97	1460.73	65.37	1.77E+004	649.47	2.78E+004

M = First peak in a multiplet region  
m = Other peak in a multiplet region  
F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma



Şekil 20. Hemşin ilçesinden alınmış spektrum örneği

Tablo 12. Hemşin ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor

```
*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****
```

Filename: D:\hemsin.cnf

```
Report Generated On           : 18.06.2006 12:00:27

Sample Title                   : InSpector 1000 spectrum
Spectrum Description           :
Sample Identification          :
Sample Type                    :
Sample Geometry                :

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 Size                    : 1.000E+000

Sample Taken On               : 28.04.2006 07:50:51
Acquisition Started           : 28.04.2006 07:50:51

Live Time                     : 10000.0 seconds
Real Time                      : 10014.3 seconds

Dead Time                      : 0.14 %
```

## Tablo 12'nin devamı

Energy Calibration Used Done On : 11.05.2005  
 Efficiency Calibration Used Done On : 30.06.2004  
 Efficiency ID : 3X3\_UNSHIELDED

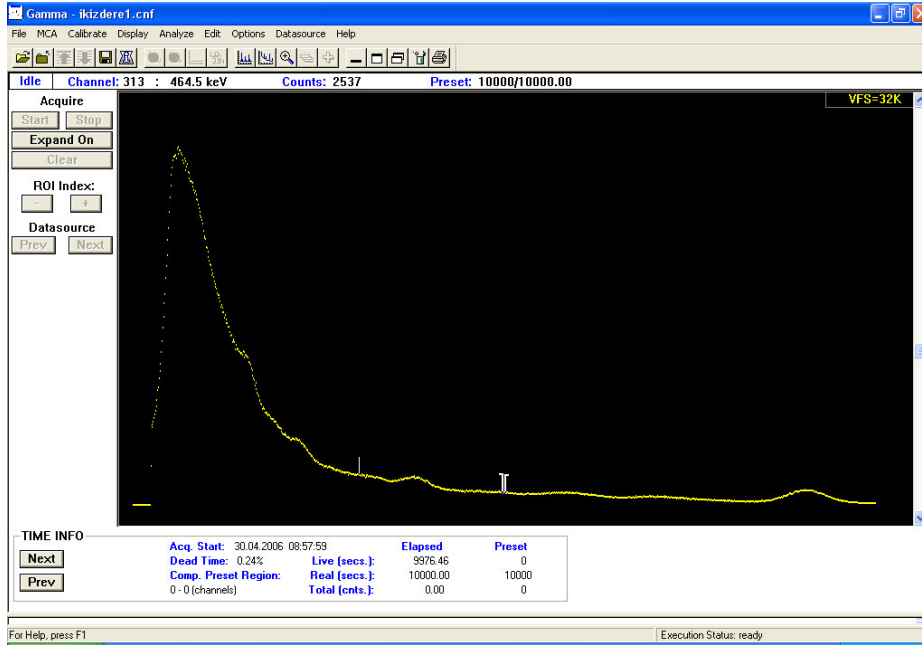
\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* P E A K A N A L Y S I S R E P O R T \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

Detector Name: Scionix3x3  
 Sample Title: InSpector 1000 spectrum  
 Peak Analysis Performed on: 18.06.2006 12:00:27  
 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	104-	331	247.57	364.26	2.79	-1.23E+005	4992.59	9.80E+005
2	429-	526	458.90	689.94	42.77	8.62E+003	841.05	5.39E+004
M 3	615-	841	649.91	989.24	44.66	-1.90E+002	416.08	2.25E+004
m 4	615-	841	777.81	1192.25	50.25	-3.59E+002	786.62	1.87E+004

M = First peak in a multiplet region  
 m = Other peak in a multiplet region  
 F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma



Şekil 21. İkizdere ilçesinden alınmış spektrum örneği

Tablo 13. İkizdere ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor

```
*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****
```

Filename: D:\ikizdere.cnf

```
Report Generated On           : 18.06.2006 11:49:38

Sample Title                  : InSpector 1000 spectrum
Spectrum Description         :
Sample Identification        :
Sample Type                  :
Sample Geometry              :

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 Size                   : 1.000E+000

Sample Taken On              : 30.04.2006 08:57:59
Acquisition Started         : 30.04.2006 08:57:59

Live Time                    : 9976.5 seconds
Real Time                    : 10000.0 seconds

Dead Time                    : 0.24 %
```

```
Energy Calibration Used Done On : 11.05.2005
Efficiency Calibration Used Done On : 30.06.2004
Efficiency ID                    : 3X3_UNSHIELDED
```

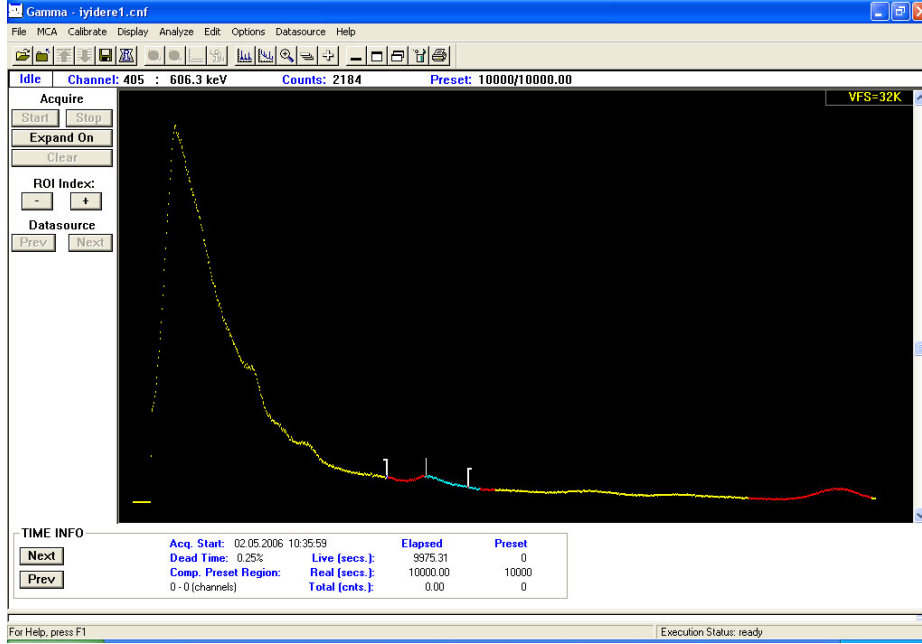
```
*****
*****      P E A K   A N A L Y S I S   R E P O R T      *****
*****
```

```
Detector Name: Scionix3x3
Sample Title: InSpector 1000 spectrum
Peak Analysis Performed on: 18.06.2006 11:49:39
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	96-	312	159.84	230.74	4.86	-1.68E+005	6972.04	1.99E+006
	2	360-	463	392.16	586.48	51.88	2.09E+004	1474.65	1.55E+005
M	3	547-	848	605.60	919.38	115.24	1.84E+004	347.44	1.18E+005
m	4	547-	848	736.50	1126.46	117.13	1.81E+004	301.05	1.06E+005
	5	849-	999	926.52	1430.93	87.07	6.27E+004	868.21	3.47E+004

M = First peak in a multiplet region  
m = Other peak in a multiplet region  
F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma



Şekil 22. İyidere ilçesinden alınmış spektrum örneği

Tablo 14. İyidere ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor

```
*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****
```

Filename: D:\iyidere.cnf

```
Report Generated On           : 18.06.2006 11:52:49

Sample Title                  : InSpector 1000 spectrum
Spectrum Description         :
Sample Identification        :
Sample Type                  :
Sample Geometry              :

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 Size                   : 1.000E+000

Sample Taken On              : 02.05.2006 10:35:59
Acquisition Started         : 02.05.2006 10:35:59

Live Time                    : 9975.3 seconds
Real Time                    : 10000.0 seconds

Dead Time                    : 0.25 %
```

```
Energy Calibration Used Done On : 11.05.2005
Efficiency Calibration Used Done On : 30.06.2004
Efficiency ID : 3X3_UNSHIELDED
```

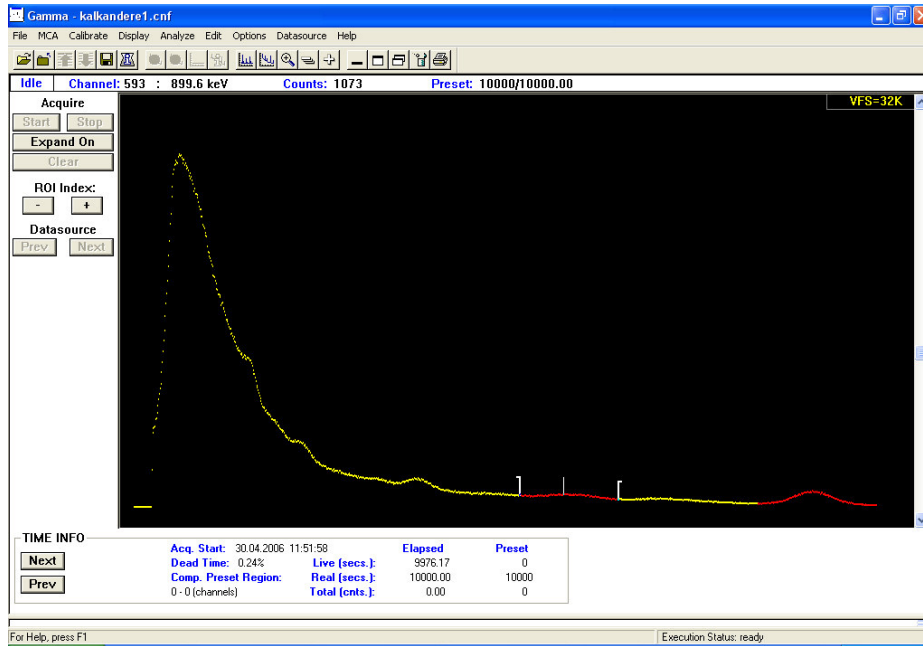
## Tablo 14'ün devamı

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

```
Detector Name: Scionix3x3
Sample Title:  InSpector 1000 spectrum
Peak Analysis Performed on: 18.06.2006 11:52:49
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	102-	325	167.92	243.00	5.59	-1.67E+005	6817.71	1.85E+006
	2	377-	521	408.77	612.18	48.25	2.08E+004	1898.16	1.90E+005
M	3	579-	884	634.79	965.37	119.47	1.78E+004	333.07	1.05E+005
m	4	579-	884	771.50	1182.19	120.01	1.64E+004	287.99	9.68E+004
	5	891-	999	945.08	1460.90	69.64	2.91E+004	821.11	4.59E+004

M = First peak in a multiplet region  
m = Other peak in a multiplet region  
F = Fitted singlet



Şekil 23. Kalkandere ilçesinden alınmış spektrum örneği

Tablo 15. Kalkandere ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor

```
*****
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****
*****
```

Filename: D:\kalkandere

```
Report Generated On           : 18.06.2006 11:54:46

Sample Title                  : InSpector 1000 spectrum
Spectrum Description         :
Sample Identification        :
Sample Type                  :
Sample Geometry              :

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 Size                   : 1.000E+000

Sample Taken On              : 30.04.2006 11:51:58
Acquisition Started          : 30.04.2006 11:51:58

Live Time                     : 9976.2 seconds
Real Time                     : 10000.0 seconds

Dead Time                     : 0.24 %
```

```
Energy Calibration Used Done On : 11.05.2005
Efficiency Calibration Used Done On : 30.06.2004
Efficiency ID                     : 3X3_UNSHIELDED
```

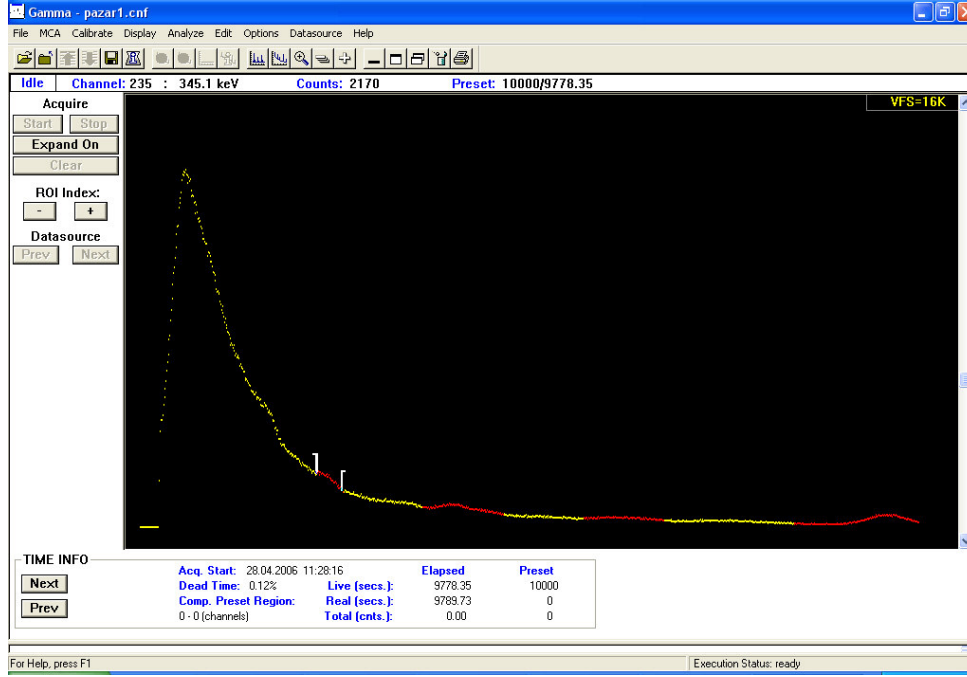
```
*****
*****      P E A K   A N A L Y S I S   R E P O R T      *****
*****
```

```
Detector Name: Scionix3x3
Sample Title: InSpector 1000 spectrum
Peak Analysis Performed on: 18.06.2006 11:54:46
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	97-	450	394.48	590.06	6.68	-4.75E+005	9599.08	2.56E+006
M	2	552-	853	610.01	926.34	113.90	1.95E+004	347.36	1.15E+005
m	3	552-	853	743.66	1137.84	117.60	1.84E+004	300.65	1.05E+005
	4	857-	999	930.92	1438.03	84.86	6.04E+004	866.57	3.63E+004

M = First peak in a multiplet region  
m = Other peak in a multiplet region  
F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma



Şekil 24. Pazar ilçesinden alınmış spektrum örneği

Tablo 16. Pazar ilçesinden alınmış olan spektruma ait rapor

```

*****
*****      GAMMA SPECTRUM ANALYSIS      *****
*****

Filename: D:\pazar.cnf

Report Generated On       : 18.06.2006 12:01:06

Sample Title              : InSpector 1000 spectrum
Spectrum Description     :
Sample Identification     :
Sample Type               :
Sample Geometry          :

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 Size              : 1.000E+000

Sample Taken On          : 28.04.2006 11:28:16
Acquisition Started     : 28.04.2006 11:28:16

Live Time                : 9778.4 seconds
Real Time                : 9789.7 seconds

Dead Time                : 0.12 %

Energy Calibration Used Done On : 11.05.2005
Efficiency Calibration Used Done On : 30.06.2004
Efficiency ID             : 3X3_UNSHIELDED

```



Tablo 16'nın devamı

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

```
Detector Name: Scionix3x3
Sample Title:  InSpector 1000 spectrum
Peak Analysis Performed on:  18.06.2006 12:01:06
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
M	1	24-	86	43.52	55.22	21.90	1.23E+005	569.42	1.04E+005
m	2	24-	86	61.27	81.89	27.22	1.77E+005	671.61	2.89E+005
	3	103-	511	170.04	246.21	1.50	-2.47E+005	6748.12	1.13E+006
M	4	586-	893	639.94	973.50	162.27	7.00E+003	37.80	5.20E+004
m	5	586-	893	785.79	1204.99	123.22	7.20E+003	35.87	4.10E+004

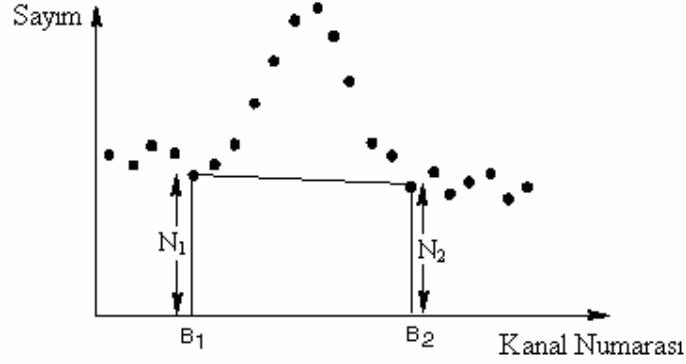
```
M = First peak in a multiplet region
m = Other peak in a multiplet region
F = Fitted singlet
```

```
Errors quoted at 1.000 sigma
```

### 2.4.3. Zemin Düzeltmesi ve İstatistiksel Hata

Piklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi işlemi için InSpector1000, PC ile bağlantı yapılarak elde edilen spektrum dosyaları bilgisayarın hafızasına aktarıldı. Bilgisayarda kurulu olan Genie-2000 isimli analiz programı çalıştırıldı. Her bir spektrum Genie-2000 programında açılarak, her bir pik için ilgili alan bölgeleri seçildi (ROI). Her pikin sınırları ROI bölgelerinin rengini değiştirmekle oluşturuldu. Her bir pik ayrı ayrı incelenerek en küçük hataya sahip net alanı verecek şekilde pik alanları işaretlendi. Daha önceden kalibrasyon işlemi yapıldığı için piklerin merkez kanalına karşılık gelen enerji değerleri bulundu. Bu enerjilere karşılık gelen izotoplar tablolara bakılarak tespit edildi.

Aktivite hesabı: Piklerin altındaki net alanlar toplam alandan zemin çıkarılarak elde edilen sayma sayılarının toplamıdır.



Şekil 25. Pik analizi için net alan hesabı

Eğer yukarıdaki şekilde pik altındaki toplam sayım  $P$  ve  $B_1$  ve  $B_2$  pikin başlangıç ve bitiş noktaları ise, net alan

$$A = P - \frac{n}{2}(B_2 - B_1)$$

burada  $n = B_1$  kanalındaki sayım ve  $B_2$  kanalındaki sayım değerlerinin toplamıdır

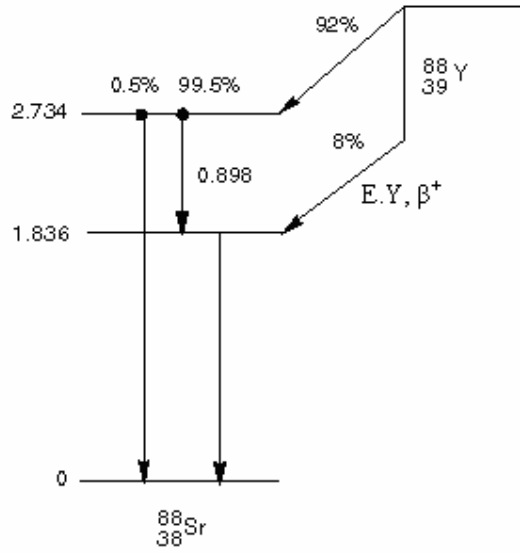
$$(n = N_1 + N_2)$$

Standart sapması

$$\sigma_A = \sqrt{P + \frac{n}{2}(B_1 + B_2)}$$

ile verilir.

Saniyedeki sayma (CPS), pik altındaki net alanın ( $A$ ) pik elde etmek için ölü zaman düzeltilmeli sayım süresine bölümüdür. Dedektör verimi ve doğal radyoaktif serilerinde izotopların dallanma oranları da hesaba katılarak;



Şekil 26.  $^{88}\text{Y}$  in bozunma şeması

Aktivite, mikroCurie ( $\mu\text{Ci}$ ) biriminde:  
ifadesi kullanılarak elde edilmiştir.

$$\mu\text{Ci} = \frac{\text{Net Alan}}{(\text{Sayım Süresi}) \times (\text{Verim}) \times (\text{Dallanma Oranı}) \times (3.7 \times 10^4)}$$

#### 2.4.4. Ölü Zaman Düzeltmesi ( Dead Time)

PC ile dedektör arasında bağlantı kurularak, dedektörle elde edilen spektrum dosyaları bilgisayarın hafızasına aktarıldı. Bilgisayarda kurulu olan Genie-2000 isimli analiz programı çalıştırıldı ve her bir spektrum için program yardımıyla rapor elde edildi. Elde edilen bu raporlarda ölü zaman değerleri gösterilmektedir. Ölü zaman;

$$\text{Ölü Zaman ( Dead Time)} = \text{Gerçek zaman (Real Time)} - \text{Canlı Zaman (Live Time)}$$

ifadesiyle bulunur. Örnek olarak, Kalkandere ilçesinden alınmış spektruma ait raporu ele alırsak;

```
*****  
*****      G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S      *****  
*****
```

Filename: D:\kalkandere

```
Report Generated On      : 18.06.2006 11:54:46  
  
Sample Title            : InSpector 1000 spectrum  
Spectrum Description    :  
Sample Identification    :  
Sample Type             :  
Sample Geometry         :  
  
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 Size            : 1.000E+000  
  
Sample Taken On        : 30.04.2006 11:51:58  
Acquisition Started    : 30.04.2006 11:51:58  
  
Live Time              : 9976.2 seconds  
Real Time              : 10000.0 seconds  
  
Dead Time              : 0.24 %
```

Raporun son satırında görüldüğü gibi;

Dead Time = Real Time – Live Time = 10000,0 – 9976,2 = 0,24 %

işlemi sonucu bulunur.

### 3. BULGULAR

Önceki bölümde anlatılan yöntemlerle, Rize ili ve ilçelerindeki doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi için alınan sayımların gama spektrometrik analizleri yapılarak, her bir bölge içerisinde bulunan radyoaktif izotopların aktiviteleri elde edilerek sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Rize ili ve ilçelerindeki ölçümlerin alındığı noktaların koordinatları GPS (Küresel Yer Belirleme Sistemi) sistemiyle belirlenmiştir.

#### 3.1. Rize

Rize ilinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları N 41° 00' 44,0" E 40° 21' 41,6" olarak ölçülmüştür. Rakım 8m'dir. Rize için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 17'de gösterilmektedir.

Tablo 17. Rize ili gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	0.136 $\pm$ 0.020
U-238	0.076 $\pm$ 0.024
K-40	0.152 $\pm$ 0.061
Cs-137	0.038 $\pm$ 0.006

#### 3.2. Derepaşarı

Derepaşarı ilçesinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları N 41° 00' 44,0" E 40° 21' 41,6" olarak ölçülmüştür. Rakım 8m'dir. Derepaşarı için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 18'de gösterilmektedir.

Tablo 18. Derepazarı ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	$0.045 \pm 0.007$
U-238	$0.060 \pm 0.004$
K-40	$1.140 \pm 0.014$
Cs-137	$0.019 \pm 0.002$

### 3.3. İyidere

İyidere ilçesinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları  $41^{\circ} 11' 47,6''$  E  $40^{\circ} 21' 41,5''$  olarak ölçülmüştür. Rakım 8m'dir. İyidere için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 19'da gösterilmektedir.

Tablo 19. İyidere ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	$0.046 \pm 0.007$
U-238	$0.123 \pm 0.014$
K-40	$1.136 \pm 0.019$
Cs-137	$0.017 \pm 0.002$

### 3.4. İkizdere

İkizdere ilçesinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları  $40^{\circ} 46' 132,6''$  E  $40^{\circ} 33' 34,6''$  olarak ölçülmüştür. Rakım 520m'dir. İkizdere için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 20'de gösterilmektedir.

Tablo 20. İkizdere ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	$0.048 \pm 0.007$
U-238	$0.060 \pm 0.004$
K-40	$1.172 \pm 0.015$
Cs-137	$0.038 \pm 0.002$

### 3.5. Kalkandere

Kalkandere ilçesinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları  $40^{\circ} 46' 132,6''$  E  $40^{\circ} 33' 34,6''$  olarak ölçülmüştür. Rakım 126m'dir. Kalkandere için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 21'de gösterilmektedir.

Tablo 21. Kalkandere ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	$0.040 \pm 0.007$
U-238	$0.030 \pm 0.004$
K-40	$1.014 \pm 0.053$
Cs-137	$0.017 \pm 0.002$

### 3.6.Hemşin

Hemşin ilçesinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları  $41^{\circ} 02' 55,4''$  E  $40^{\circ} 53' 52,5''$  olarak ölçülmüştür. Rakım 280m'dir. Hemşin için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 22'de gösterilmektedir.

Tablo 22. Hemşin ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	$0.031 \pm 0.004$
U-238	$0.037 \pm 0.002$
K-40	$0.461 \pm 0.011$
Cs-137	$0.023 \pm 0.001$

### 3.7.Pazar

Pazar ilçesinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları N  $41^{\circ} 10' 51,0''$  E  $40^{\circ} 50' 6,8''$  olarak ölçülmüştür. Rakım 7m'dir. Pazar için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 23'de gösterilmektedir.

Tablo 23. Pazar ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	$0.028 \pm 0.004$
U-238	$0.025 \pm 0.009$
K-40	$0.556 \pm 0.012$
Cs-137	$0.013 \pm 0.001$



### 3.8.Çayeli

Çayeli ilçesinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları N 41° 05' 18,3" E 40° 40' 25,2" olarak ölçülmüştür. Rakım 8m'dir. Çayeli için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 24'te gösterilmektedir.

Tablo 24. Çayeli ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	0.060 $\pm$ 0.005
U-238	0.043 $\pm$ 0.002
K-40	1.014 $\pm$ 0.013
Cs-137	0.025 $\pm$ 0.002

### 3.9.Çamlıhemşin

Çamlıhemşin ilçesinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları N 41° 2' 33,7" E 41° 00' 26,7" olarak ölçülmüştür. Rakım 295m'dir. Çamlıhemşin için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 25'de gösterilmektedir.

Tablo 25. Çamlıhemşin ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	0.044 $\pm$ 0.005
U-238	0.041 $\pm$ 0.003
K-40	1.034 $\pm$ 0.038
Cs-137	0.024 $\pm$ 0.002

### 3.10. Fındıklı

Fındıklı ilçesinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları N 41° 16' 18,9" E 41° 8' 30,5" olarak ölçülmüştür. Rakım 5m'dir. Fındıklı için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 26'da gösterilmektedir.

Tablo 26. Fındıklı ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	0.054 $\pm$ 0.005
U-238	0.053 $\pm$ 0.003
K-40	0.951 $\pm$ 0.012
Cs-137	0.030 $\pm$ 0.002

### 3.11. Ardeşen

Ardeşen ilçesinde ölçümlerin alındığı noktanın koordinatları N 41° 11' 47,7" E 40° 59' 54,6" olarak ölçülmüştür. Rakım 8m'dir. Ardeşen için ölçülen değerlerin analiz sonuçları Tablo 27'de gösterilmektedir.

Tablo 27. Ardeşen ilçesi gama spektrometreleri analiz sonuçları

Radyoizotop	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
Th-232	0.071 $\pm$ 0.005
U-238	0.122 $\pm$ 0.003
K-40	1.148 $\pm$ 0.013
Cs-137	0.071 $\pm$ 0.002

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan spektrometrik analizler sonucunda Rize ili ve ilçelerinde bulunan doğal radyonüklidlerin aktivitesi belirlendi. Rize ili ve ilçelerinin doğal radyoaktivitesindeki  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  radyoaktif çekirdeklerinin ortalama doğal (background)  $\gamma$  radyoaktivitesi tayin edildi. Aşağıda Rize İlinin merkez ve ilçeleri için ayrı ayrı değerlendirme yapılmaktadır.

##### 4.1 Rize

$^{40}\text{K}$ 'ın atom numarası 19 olup periyodik tablonun alkali metaller grubunda yer almaktadır.  $^{40}\text{K}$ 'ın Rize merkezdeki ölçümlerinden çıkan sonuç değerleri düzensiz olup, değerler 0,334–1,704  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri ise  $0,152 \pm 0,061 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{232}\text{Th}$ 'nin atom numarası 90 olup periyodik tablonun aktinidler grubunda yer almaktadır. Ölçümlerden çıkan sonuç değerler 0,01–0,380  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,136 \pm 0,020 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{137}\text{Cs}$ 'nin atom numarası 55 olup periyodik tablonun alkali metaller grubunda yer almaktadır.  $^{137}\text{Cs}$ , fisyon ürünü olup tabiatta doğal olarak bulunmamaktadır. Yıllardan beri yapılan nükleer denemeler veya nükleer kazalar sonucunda atmosfere atılan bu ve benzeri fisyon ürünü radyonüklidler radyoaktif yağışlar ile yere düşerler. Özellikle Çernobil kazasıyla kazanın etkili olduğu bölgelerde Cs-137 oranları oldukça yükselmiş, etkilenen yerlerde büyük kontaminasyonlara (kirlenmelere) sebep olmuştur. Ülkemizde, o dönem bayağı etkilenmiştir. Ölçümlerden çıkan sonuç değerler 0,011–0,096  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,038 \pm 0,006 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{238}\text{U}$ 'in atom numarası 92 olup periyodik tablonun aktinidler grubunda yer almaktadır. Ortalama aktivite değeri  $0,076 \pm 0,024 \mu\text{Ci}$ 'dir.

#### 4.2. Derepazarı

$^{40}\text{K}$ 'ın Derepazarı ölçümlerinden çıkan sonuç değerler 1,0646–1,2075  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $1,140 \pm 0.014 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{238}\text{U}$ 'ın Derepazarı ölçümlerinden çıkan sonuç değerler 0,0213–0,0339  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,030 \pm 0.004 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{232}\text{Th}$ 'nin Derepazarı ölçümlerinden çıkan sonuç değerler 0,03–0,071  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,045 \pm 0.007 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{137}\text{Cs}$ 'nin Derepazarı ölçümlerinden çıkan sonuç değerler 0,0124–0,0270  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,019 \pm 0.002 \mu\text{Ci}$ 'dir.

#### 4.3. İyidere

$^{40}\text{K}$ 'ın İyidere ölçümlerinden çıkan sonuç değerler 1,4060–1,8853  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $1,136 \pm 0.019 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{238}\text{U}$ 'ın İyidere ölçümlerinden çıkan sonuç değerler 0,0108–0,4160  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,123 \pm 0.014 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{232}\text{Th}$ 'nin İyidere ölçümlerinden çıkan sonuç değerler 0,0189–0,0898  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,046 \pm 0.007 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{137}\text{Cs}$ 'nin İyidere ölçümlerinden çıkan sonuç değerler 0,0063–0,0242  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,017 \pm 0.002 \mu\text{Ci}$ 'dir.

#### 4.4. İkizdere

$^{40}\text{K}$ 'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,9878–1,5443  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $1,172 \pm 0.015 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{238}\text{U}$ 'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0351–0,0943  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,06 \pm 0.004 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{232}\text{Th}$ 'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0166–0,0890  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,048 \pm 0.007 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{137}\text{Cs}$ 'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0204–0,0548  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,038 \pm 0.002 \mu\text{Ci}$ 'dir.

#### 4.5. Kalkandere

$^{40}\text{K}$  'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,2826–1,6194  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $1,014 \pm 0.053 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{238}\text{U}$  'in ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0115–0,0421  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,03 \pm 0.004 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{232}\text{Th}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0129–0,0649  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,04 \pm 0.007 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{137}\text{Cs}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0067–0,0245  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,017 \pm 0.002 \mu\text{Ci}$  'dir.

#### 4.6. Hemşin

$^{40}\text{K}$  'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,3740–0,541  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,461 \pm 0.011 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{238}\text{U}$  'in ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0264–0,051  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,037 \pm 0.002 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{232}\text{Th}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0296–0,0315  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,031 \pm 0.004 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{137}\text{Cs}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0183–0,0296  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,023 \pm 0.001 \mu\text{Ci}$  'dir.

#### 4.7. Pazar

$^{40}\text{K}$  'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,299–0,7025  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,556 \pm 0.012 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{238}\text{U}$  'in ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0234–0,0275  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,025 \pm 0.009 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{232}\text{Th}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0206–0,0356  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,028 \pm 0.004 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{137}\text{Cs}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0115–0,0144  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,013 \pm 0.001 \mu\text{Ci}$  'dir.

#### 4.8. Çayeli

$^{40}\text{K}$  'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,4740–1,406  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,988 \pm 0.013 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{238}\text{U}$  'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0221–0,0688  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,043 \pm 0.002 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{232}\text{Th}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0266–0,0762  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,06 \pm 0.005 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{137}\text{Cs}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0128–0,0405  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,025 \pm 0.002 \mu\text{Ci}$  'dir.

#### 4.9. Çamlıhemşin

$^{40}\text{K}$  'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,722–1,241  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $1,034 \pm 0.038 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{238}\text{U}$  'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0322–0,0496  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,041 \pm 0.003 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{232}\text{Th}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0301–0,0586  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,044 \pm 0.005 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{137}\text{Cs}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0189–0,0289  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,024 \pm 0.002 \mu\text{Ci}$  'dir.

#### 4.10. Fındıklı

$^{40}\text{K}$  'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,7260–1,1129  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,951 \pm 0.012 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{238}\text{U}$  'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0222–0,0848  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,053 \pm 0.003 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{232}\text{Th}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0406–0,0643  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,054 \pm 0.005 \mu\text{Ci}$  'dir.

$^{137}\text{Cs}$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0121–0,0493  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,03 \pm 0.002 \mu\text{Ci}$  'dir.

#### 4.11. Ardeşen

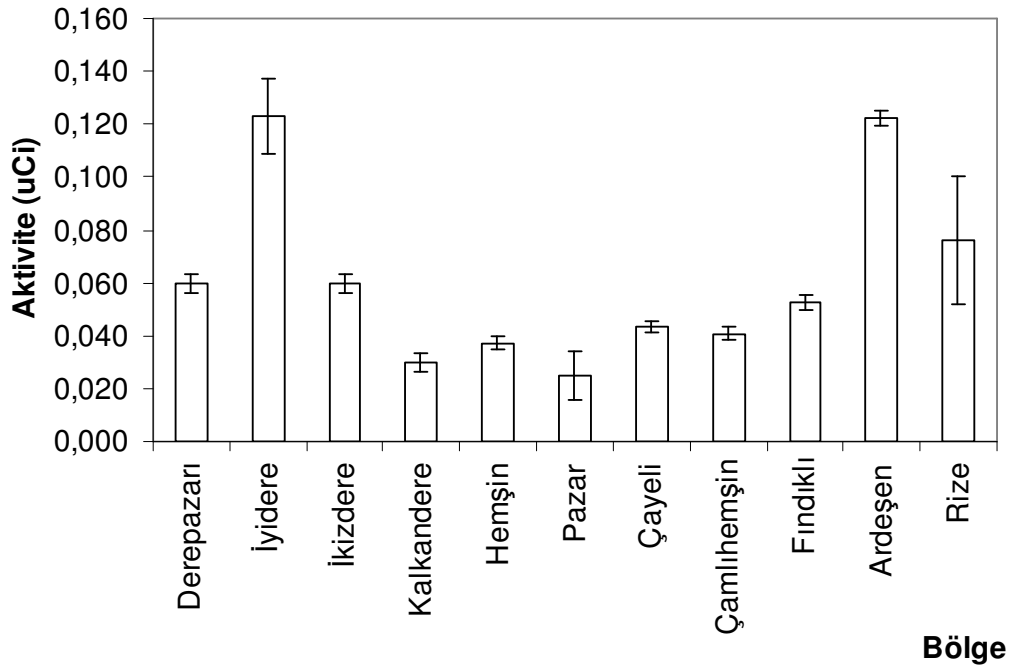
$^{40}K$  'ın ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,848–1,3275  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $1,148 \pm 0.013 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{238}U$  'in ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0386–0,325  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,122 \pm 0.003 \mu\text{Ci}$ 'dir.

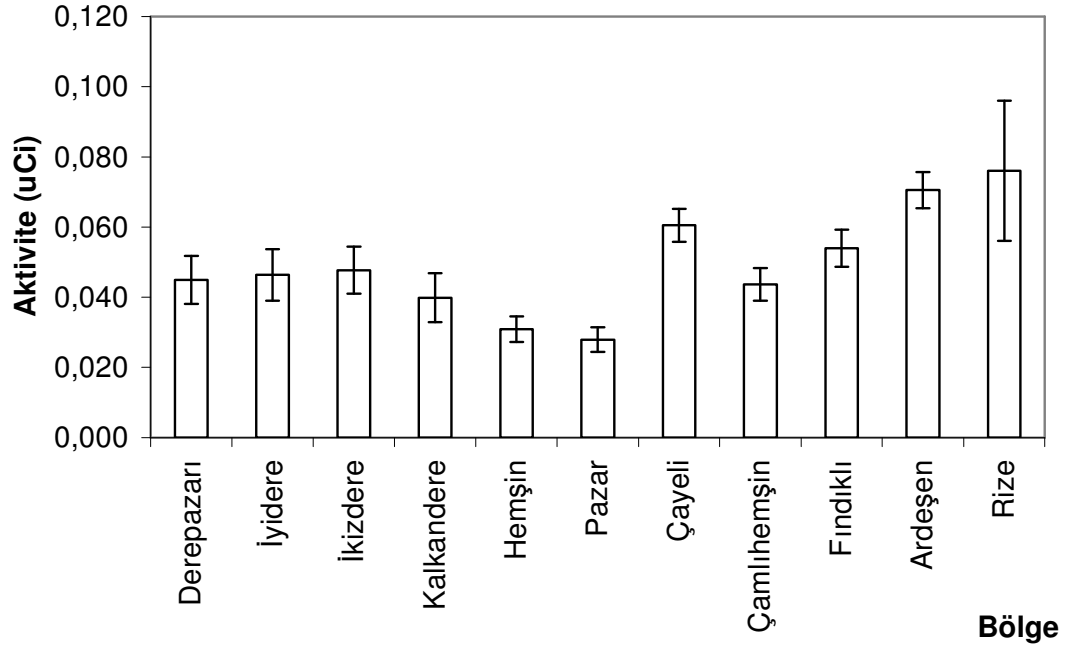
$^{232}Th$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0436–0,0925  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,071 \pm 0.005 \mu\text{Ci}$ 'dir.

$^{137}Cs$  'nin ölçümlerden çıkan sonuç değerleri 0,0183–0,189  $\mu\text{Ci}$  arasında değişmektedir. Ortalama aktivite değeri  $0,071 \pm 0.002 \mu\text{Ci}$ 'dir.

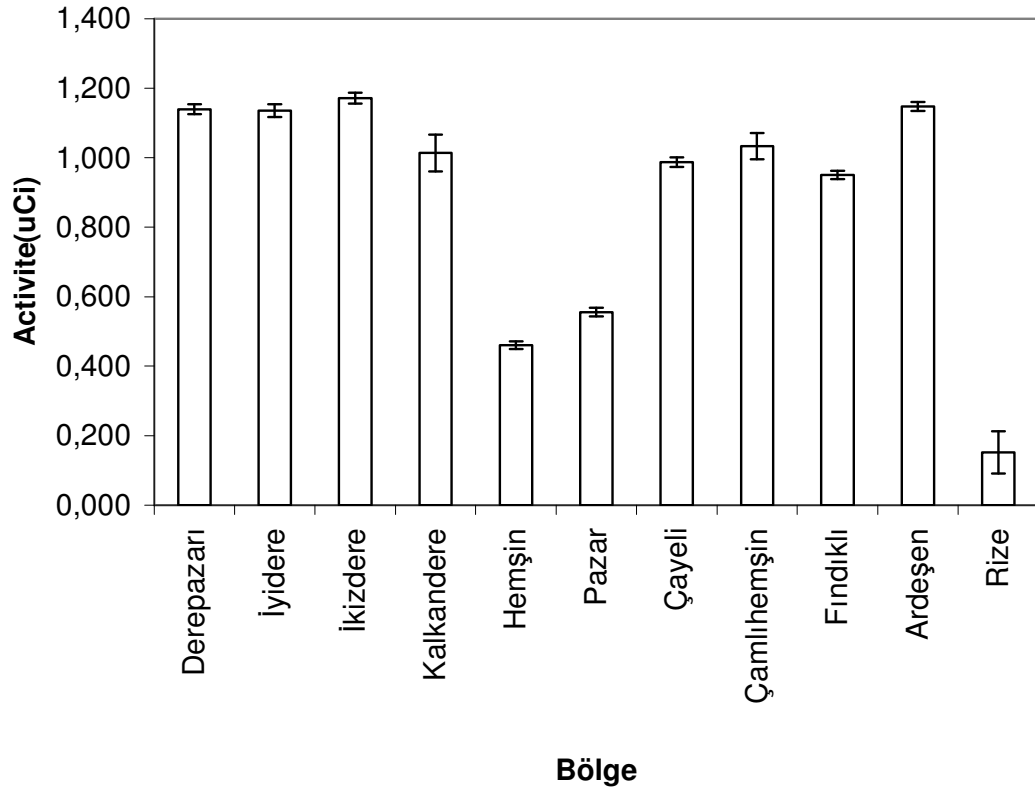
Bu sonuçlar  $^{238}U$  ,  $^{232}Th$  ,  $^{137}Cs$  ,  $^{40}K$  radyonüklidleri için grafik üzerinde tek tek gösterilirse;



Şekil 27. Bölgelere göre U–238 aktivite dağılımı

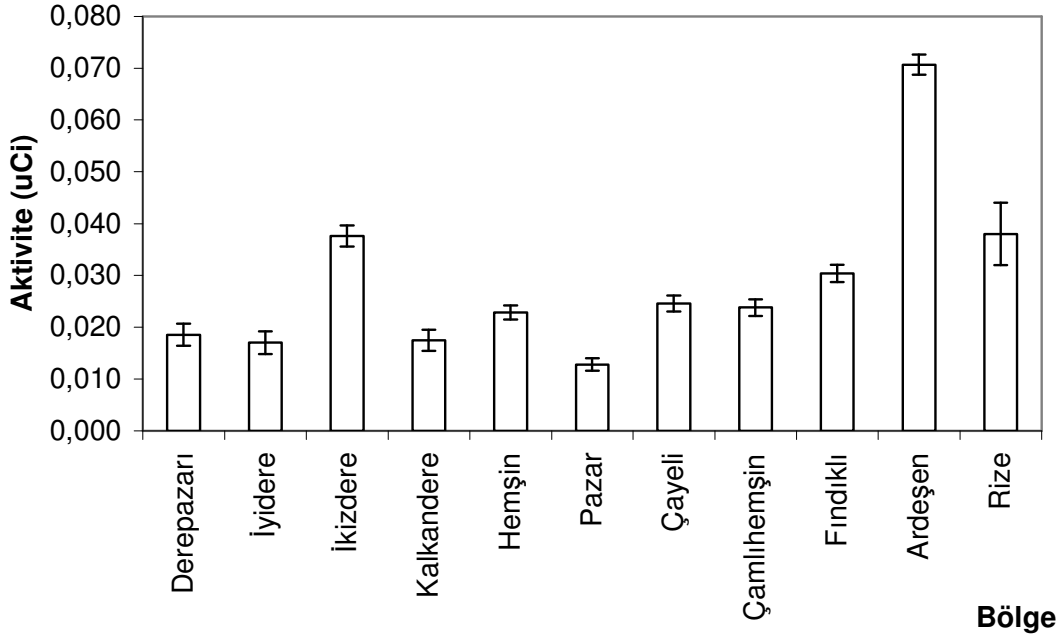


Şekil 28. Bölgelere göre Th-232 aktivite dağılımı



Şekil 29. Bölgelere göre K-40 aktivite dağılımı



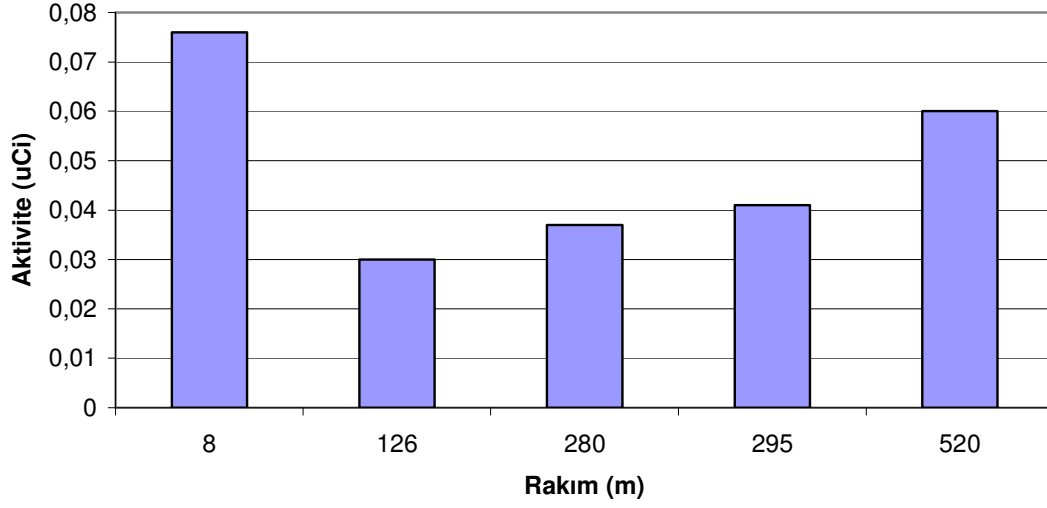


Şekil 30. Bölgelere göre Cs-137 aktivite dağılımı

Grafiklerden de görüleceği üzere;

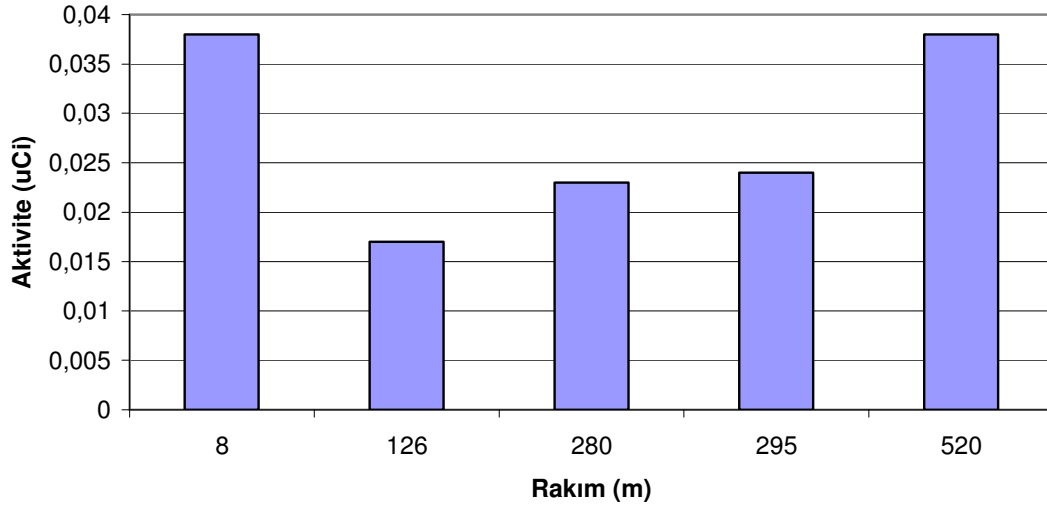
U-238 aktivitesi  $0.025 \pm 0.009$  değeriyle Pazar ilçesinde en az,  $0.123 \pm 0.014$  değeriyle İyidere ilçesinde en çok, diğer ilçelerde ise 0.030 ile 0.122 değerleri arasında, Th-232 aktivitesi  $0.028 \pm 0.004$  değeriyle Pazar ilçesinde en az,  $0.136 \pm 0.020$  değeriyle Rize merkezde en çok, diğer ilçelerde ise 0.031 ile 0.071 değerleri arasında, K-40 aktivitesi  $0.152 \pm 0.061$  değeriyle Rize merkezde en az,  $1.172 \pm 0.015$  değeriyle İkizdere ilçesinde en çok, diğer ilçelerde ise 0.461 ile 1.148 değerleri arasında, Cs-137 aktivitesi  $0.013 \pm 0.007$  değeriyle Pazar ilçesinde en az,  $0.071 \pm 0.012$  değeriyle Ardeşen ilçesinde en çok ve diğer ilçelerde ise 0.015 ile 0.038 değerleri arasında görülmektedir. Yukarıdaki grafiklerde de görüldüğü gibi, Rize ilinin sahil kesiminde bulunan ilçeleri, İyidere, Derepaarı, Çayeli, Pazar, Ardeşen ve Fındıklı da bile değerler değişiklik göstermektedir.

$^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  radyonükleidlerinin yüksekliğe (rakım) bağlı olarak aktivite değişimlerini ele alırsak, yalnız sahil kesimi ilçelerinin (İyidere, Derepaarı, Çayeli, Pazar, Ardeşen, Fındıklı) rakımları eşit olduğundan bu ilçeler için Rize- merkez değerlerini kullanacağız. İlçelerin rakımları Bulgular bölümünde belirtilmiştir.



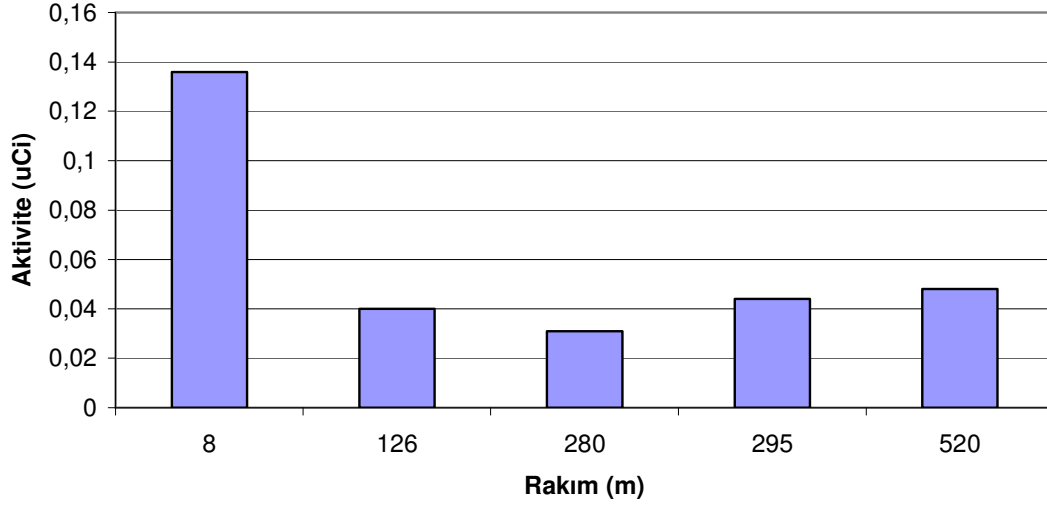
Şekil 31. Rize ili ve ilçelerinin rakımına göre U-238 aktivite dağılımı

Şekil 31'i incelediğimizde, genel olarak U-238 radyonükleoidinin, rakıma yani yüksekliğe bağlı olarak aktivitesinin arttığı görülmektedir.



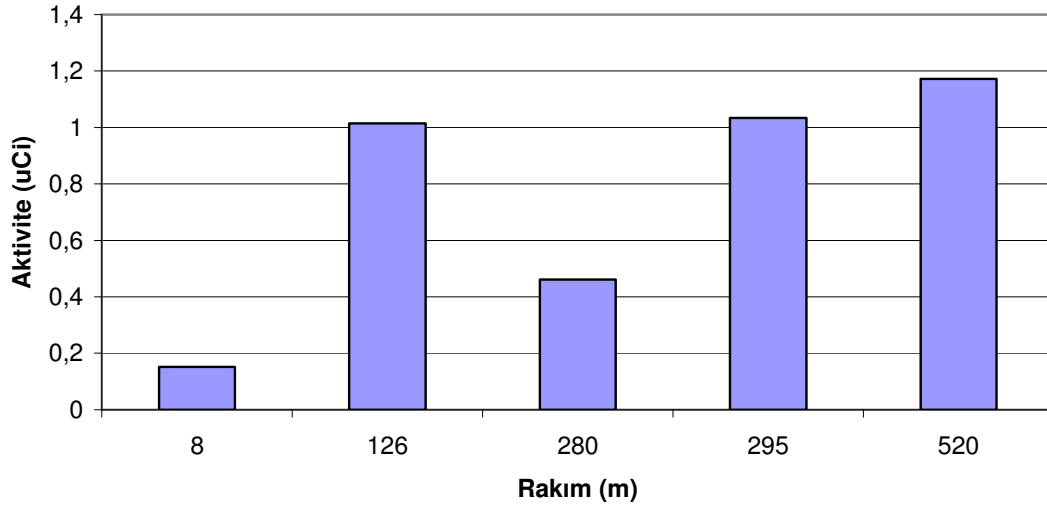
Şekil 32. Rize ili ve ilçelerinin rakımına göre Cs-137 aktivite dağılımı

Şekil 32'yi incelediğimizde, genel olarak Cs-137 radyonükleoidinin, rakıma yani yüksekliğe bağlı olarak aktivitesinin arttığı görülmektedir.



Şekil 33. Rize ili ve ilçelerinin rakımına göre Th-232 aktivite dağılımı

Şekil 33'ü incelediğimizde, Th-238 radyonükleoidinin, rakıma yani yüksekliğe bağlı olarak aktivitesinin düzensiz değerler gösterdiği görülmektedir.



Şekil 34. Rize ili ve ilçelerinin rakımına göre K-40 aktivite dağılımı

Şekil 34'ü incelediğimizde, genel olarak K-40 radyonükleoidinin, rakıma yani yüksekliğe bağlı olarak aktivitesinin arttığı görülmektedir.

Bu grafiklerden ve sonuçlardan doğal radyasyon dozunun yüksekliğe bağlı olarak arttığını söyleyebiliriz.

Rize ilinin doğal radyasyon doz düzeyini, diğer bölgelerle kıyaslamak yapmak için elimizde  $\mu\text{Ci}$  cinsinden bulunan değerlerimizi Sv (Sievert)'e dönüştürmek durumundayız. Ölçümlerde kullandığımız dedektörümüz aktiviteyi  $\mu\text{Ci}$  cinsinden ölçmesinin yanında Rem (Roentgen Equivalent Man) olarak ta ölçmektedir.  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem}$  olduğuna göre, değerlerimizi Sv'e dönüştürebiliriz. Bu dönüşümler yapıldıktan sonra bulunan değerler Tablo 28'de gösterilmektedir.

Tablo 28. Rize ili merkez ve ilçelerinde doğal radyasyon doz düzeyleri

	<b>mRem/h</b>	<b>mSv / y</b>
Hemşin	0,001925	0,16863
Pazar	0,002875	0,25185
Çayeli	0,004500	0,39420
İkizdere	0,005325	0,46647
Kalkandere	0,005500	0,48180
İyidere	0,005950	0,52122
Derepazarı	0,006275	0,54969
Çamlıhemşin	0,004550	0,39858
Fındıklı	0,002925	0,25623
Ardeşen	0,003833	0,33580
Rize-merkez	0,003609	0,31580

Kıyaslama yapabilmek için Türkiye'deki bazı bölgelerin radyasyon doz düzeyleri Tablo 29'da gösterilmektedir.

Tablo 29. Türkiye'deki bazı bölgelerin doğal radyasyon doz düzeyleri (TAEK)

BÖLGE	Radyasyon (mSv/Yıl)
Mersin (Akkuyu)	0.53
Ankara	0.44
İğdır (Alican)	0.88
Çanakkale	1.23
Kars (Digor)	1.58
Dünya Ortalaması	0,48

Tablo 28 ve Tablo 29'a bakılıp kıyaslama yapılacak olunursa, Rize ilinin ve ilçelerinin doğal radyasyon doz düzeyinin, Türkiye'deki diğer il ve ilçelerden farklılık göstermediğini, hatta Rize ili ve ilçeleri için ölçülen değerlerin yaklaşık olarak dünya ortalaması düzeyinde ve alt düzeylerde olduğunu görebiliriz.

Özetle, doğal radyasyon nedeniyle, bir kişinin yaşam süresince aldığı doz 100-200 mSv arasında. Çernobil gibi herhangi bir kaynaklı 1mSv'lik ek bir doz, kanser gibi bir hastalığın oluşumu için ne tetikleyici bir doz ne de bardağı taşıran ek bir doz olarak görülmeli. Böyle bir ek doz zaten sürekli olarak doğadan ve diğer kaynaklardan alınmakta olan dozun içinde yavaş yavaş, zamanla entegre olarak onu bir miktar yükselten bir doz olarak görülmeli ve buna göre bilimsel olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca doğal radyasyon dozunun oldukça büyük olan normal salınım aralığını da göz ardı etmemek gerekiyor. Ancak bu, özellikle büyük halk kitlelerini etkileyen düşük dozların önemsenmemesi anlamına da gelmemeli. Bugün bilim, son altmış yıldır büyük halk kitleleri üzerinde yapılan ayrıntılı çalışmalara karşın, düşük radyasyon dozlarının etkisini, gözlem ve deneyimlere dayalı olarak kanıtlayamıyorsa ve eğer gerçekten de böyle bir etki varsa, düşük radyasyon dozlarının etkisi bilimsel olarak yok denemez ama varda denemez.

## **5. ÖNERİLER**

Türkiye topraklarında, hava, su ve besin maddelerindeki radyoaktiviteyle ve bunlardan oluşabilecek radyasyon dozlarıyla ilgili kapsamlı bilimsel çalışmaların yapılabilmesi ve herhangi bir kaza durumuna hazırlıklı olunabilmesi için tüm Türkiye'yi kapsayan, üniversitelerin, araştırma merkezlerinin, endüstrinin ve hatta büyük belediyelerin ilgili birimleri ve laboratuvarları kurmaları önerilir. Ayrıca bunlarla ilgili yasa ve yönetmenliklerin çıkarılması da gereklidir.

## 6. KAYNAKLAR

- Aközcan, S., 2002, Manisa İli Yerleşim Alanı Topraklarında ICP-AES ve Gama Spektrometresi İle Element Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa
- 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., 1999, Çekirdek Fiziğinin Esasları, Yusuf Şahin, Balkanlar Matbaacılık, Erzurum.
- Atakan, Y., Radyasyon Fizikçisi, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bdergi/yeniufuk/icerik/iyonlayici.pdf>, 10 Nisan 2006.
- 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.
- Canbazoğlu, C. ve Doğru, M., Maden İlçesinde (Elazığ) Çevresel Gama Radyasyon Dozu Ölçümleri, VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 2003
- Çam, S. ve Ereeş, F. S., Manisa-Saruhanlı Yerleşim Alanında Doğal Radyonüklid Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 2003
- Gür, F. 1999, Doğal Dış Radyasyonun İzmir İlinde Yaşayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- 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.
- ICRP, International Commission on Radiological Protection . Age-Dependent Doses to Member of The Public from Intake of Radionuclides. Report 67. Pergamon, Oxford.
- Işık, Y. 2002, Küçük Menderes Havzasında Doğal Radyonüklid Konsantrasyonlarının Belirlenmesi ve Doz Dağılımının Hesaplanması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir.

- Karahan, G., 1997, İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Karahan, G., Öztürk, N. ve Bayülken, A. 2000, Assesment of Gamma Dose Rates Around İstanbul. J. Envrion. Radioactivity 47, 213–221.
- Keser, R., 2004, Fırtına Vadisi'nin Çamlıhemşin'den Yukarı Kısımının Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- 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, 10, 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., 1991, Van Gölü ve Çevresinin Kum ve Su Numunelerinin Gama Radyoaktivitesinin Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- 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  $\gamma$ -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

10.06.1981 tarihinde Rize'nin Pazar ilçesinde doğdu. İlkokulu İkiztepe İlköğretim Okulu'nda, ortaokulu Pazar Ortaokulu'nda ve liseyi Pazar Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'ne başladı. 2002 yılında mezun oldu. 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisansa başladı. Aynı yılın Aralık ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde Uzman olarak göreve başladı. Halen aynı görevini sürdürmektedir.