

**T.C.  
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEŞİTLİ BAL ÖRNEKLERİNDE RADYOAKTİVİTE VE AĞIR  
METAL ANALİZİ**

**Elif ALTEKİN**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Recep KESER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**RİZE 2014**

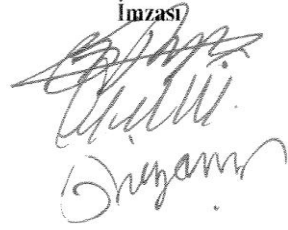
T.C.

**RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Çeşitli Bal Örneklerinde Radyoaktivite Ve Ağır Metal Analizi**

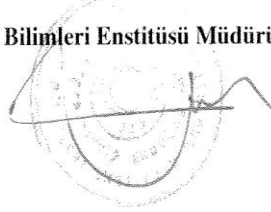
Bu çalışma 05/09/2014 tarihinde yapılan sınav ile Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı , Soyadı
TezDanışmanı:	Doç.Dr. Recep KESER
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Emre MENTEŞE
Jüri Üyesi:	Yrd. Doç. Dr.Nilay AKÇAY

İmzası  


**Prof.Dr. Selami ŞAŞMAZ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**



## ÖNSÖZ

Tezimin oluşturulmasında değerli bilgilerini sonuna kadar açan ve yol gösterici olan, fikir ve yardımlarını esirgemeyerek bana her zaman en doğru yolu gösteren, sabır ve desteğiyle, daima yanımda olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Recep KESER 'e,

Tezin daha ilk aşamasında güzel fikirleriyle bana iham veren kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Filiz KORKMAZ GÖRÜR'e,

Bilgi ve deneyimleri ile çalışmalarımda yardımcı olan ve beni her zaman destekleyen, Sayın Yrd. Doç. Dr. Nilay AKÇAY'a, Uzm. Dr. Serdar DİZMAN'a,

Tecrübeleriyle beni aydınlatan dostum, Esra DEMİR'e,

En zor anlarımda destekçim olan arkadaşlarım Simge MISIR ve Betül DEVİREN'e,

Her zaman yanımda olan Annem, Babam, Ağabeyim ve Kardeşim'e,  
Sevgili eşime,

Sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Elif ALTEKİN

Rize, Eylül 2014

## ÖZET

### Çeşitli Bal Örneklerinde Radyoaktivite ve Ağır Metal Analizi

Bu çalışmada Türkiye'nin Rize, Erzurum, Ankara şehirlerinden ve Gürcistan'ın Batum şehrinden toplanan 20 bal örneğinin gama spektrometrik analiz yöntemiyle  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivasyonları ölçülmüştür. Örneklerin % 80 inde  $^{137}\text{Cs}$  gözlenmiş olup  $^{137}\text{Cs}$  bulunan örneklerin % 50 sinin aktivite düzeyi 10 Bq/kg'dan düşüktür. Örneklerde  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesi  $1.28\pm 0.30$  Bq/kg ile  $105.09\pm 0.97$  Bq/kg arasında,  $^{40}\text{K}$  aktivitesi ise  $7.12\pm 1.57$  Bq/kg ile  $168.95\pm 6.77$  Bq/kg arasında bulunmuştur.

Çalışmada ayrıca, 18 farklı bal örneğinin krom, mangan, demir, bakır, çinko, kadmiyum, kurşun, kobalt ve nikel (Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Co, Ni) içerikleri, ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar Cr için,  $0.004\pm 0.0003$   $\mu\text{g/g}$  ile  $0.029\pm 0.0003$   $\mu\text{g/g}$  arasında; Mn için,  $0.023\pm 0.0000$   $\mu\text{g/g}$  ile  $3.898 \pm 0.0136$   $\mu\text{g/g}$  arasında; Fe için,  $0.160\pm 0.0008$   $\mu\text{g/g}$  ile  $0.693\pm 0.0024$   $\mu\text{g/g}$  arasında; Cu için  $0.044\pm 0.0004$   $\mu\text{g/g}$  ile  $0.116\pm 0.0007$   $\mu\text{g/g}$  arasında; Zn için,  $0.771\pm 0.0004$   $\mu\text{g/g}$  ile  $9.576\pm 0.0985$   $\mu\text{g/g}$  arasında; Cd için,  $0.008\pm 0.0003$   $\mu\text{g/g}$  ile  $0.016\pm 0.0007$   $\mu\text{g/g}$  arasında; Pb için  $0.036\pm 0.0038$   $\mu\text{g/g}$  ile  $0.185\pm 0.0065$   $\mu\text{g/g}$  arasında; Co için  $0.009\pm 0.0001$   $\mu\text{g/g}$  ile  $0.013\pm 0.0005$   $\mu\text{g/g}$  arasında ve Ni için  $0.018\pm 0.0016$   $\mu\text{g/g}$  ile  $0.065\pm 0.0013$   $\mu\text{g/g}$  arasında bulunmuştur.

Bal örneklerinde bulunan radyoaktiviteden dolayı gıda yoluyla radyasyon maruz kalma değerleri uluslararası izin verilen seviyelerde hesaplanmıştır. Ağır metal değerleri ise balların tüketilmesinin insan sağlığı açısından risk oluşturmayacak düzeydedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bal, gama radyoaktivite, Ağır metal, ICP-OES

## SUMMARY

### Radioactivity and Heavy Metal Analysis in Various Honey Samples

In this study, the contents of natural radionuclide  $^{40}\text{K}$  and fission product  $^{137}\text{Cs}$  and also heavy metal concentrations in floral honey samples from Rize, Erzurum, Ankara cities in Turkey and Batum from Gerorgia, were investigated. The results indicated that 80% of honey samples was contaminated by  $^{137}\text{Cs}$ , but the  $^{137}\text{Cs}$  contamination of 50% of the honey samples reached values lower than  $10\text{ Bqkg}^{-1}$ .

Activity concentrations of honey samples for  $^{137}\text{Cs}$ , ranged between  $1.28\pm 0.30\text{ Bq/kg}$  and  $105.09\pm 0.97\text{ Bq/kg}$ , and ranged for  $^{40}\text{K}$  between  $7.12\pm 1.57\text{ Bq/kg}$  and  $168.95\pm 6.77\text{ Bq/kg}$ .

In addition, the contents of heavy metals like cadmium, chrome, iron, lead, zinc, copper, nickel, cobalt and manganese in honey samples were analyzed using ICP-OES. Metal concentrations of honey samples ranged for Cr between  $0.004\pm 0.0003\text{ }\mu\text{g/g}$  and  $0.029\pm 0.0003\text{ }\mu\text{g/g}$ ; for Mn between,  $0.023\pm 0.0000\text{ }\mu\text{g/g}$  and  $3.898\pm 0.0136\text{ }\mu\text{g/g}$ ; for Fe between  $0.160\pm 0.0008\text{ }\mu\text{g/g}$  and  $0.693\pm 0.0024\text{ }\mu\text{g/g}$ ; for Cu between  $0.044\pm 0.0004\text{ }\mu\text{g/g}$  and  $0.116\pm 0.0007\text{ }\mu\text{g/g}$ ; for Zn between  $0.771\pm 0.0004\text{ }\mu\text{g/g}$  and  $9.576\pm 0.0985\text{ }\mu\text{g/g}$ ; for Cd between  $0.008\pm 0.0003\text{ }\mu\text{g/g}$  and  $0.016\pm 0.0007\text{ }\mu\text{g/g}$ ; for Pb between  $0.036\pm 0.0038\text{ }\mu\text{g/g}$  and  $0.185\pm 0.0065\text{ }\mu\text{g/g}$ ; for Co between  $0.009\pm 0.0001\text{ }\mu\text{g/g}$  and  $0.013\pm 0.0005\text{ }\mu\text{g/g}$  and for Ni between  $0.018\pm 0.0016\text{ }\mu\text{g/g}$  and  $0.065\pm 0.0013\text{ }\mu\text{g/g}$ .

The found activities of honey samples didn't exceed the highest permitted level of the radionuclide for food. Results also indicated that mean intake of heavy metals due to daily honey consumption would be generally tolerable and fairly satisfactory.

**Keywords:** Honey, gamma radioactivity, heavy metal, ICP-OES

## İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	I
ÖZET .....	II
SUMMARY .....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
Şekiller Dizini .....	VII
Tablolar Dizini .....	VIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....	IX
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Radyoaktivite Hakkında Genel Bilgi .....	5
1.2.1. Radyoaktif Bozunma .....	6
1.2.2. Radyoaktivite ve Radyasyon Ölçüm Birimleri .....	8
1.3. Radyonüklidler .....	9
1.3.1. Doğal Radyonüklidler .....	9
1.3.2. Yapay Radyonüklidler .....	10
1.4. Gama Işınlarnın Maddeyle Etkileşmesi ve Dedeksiyonu .....	11
1.4.1. Fotoelektrik Soğurma .....	12
1.4.2. Compton Saçılması .....	12
1.4.3. Çift Oluşumu .....	13
1.5. Gama Işını Dedektörleri .....	13
1.5.1. Yarıiletken Dedektörler .....	13
1.5.2. Gama Işınlarnın Enerji Ölçümleri .....	14
1.6. Ağır Metaller .....	16
1.6.1. Krom .....	17
1.6.2. Mangan .....	17
1.6.3. Demir .....	17
1.6.4. Bakır .....	18
1.6.5. Çinko .....	18
1.6.6. Kadmiyum .....	18
1.6.7. Kurşun .....	18
1.6.8. Kobalt .....	19

1.6.9. Nikel.....	19
1.7. ICP-OES Çalışma Prensipleri .....	19
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	21
2.1. Materyal .....	21
2.1.1. Bal Örneklerinin Toplanması.....	21
2.2. Metod .....	22
2.2.1. Gama Analizi İçin Örneklerin Hazırlanması .....	22
2.2.1.1. Gama Spektrometrik Ölçümler .....	23
2.2.1.2. Enerji Kalibrasyonu .....	23
2.2.1.3. Verim Kalibrasyonu.....	25
2.2.1.4. Minimum Dedeksiyon Limiti .....	26
2.2.2. Ağır Metal Analizi için Bal Örneklerinin Hazırlanması.....	27
2.3. Hesaplanan Radyasyon Parametreleri .....	27
2.3.1. Aktivite Konsantrasyonu .....	27
2.3.2. Soğurulan Gama Doz Hızı (D) .....	28
2.3.3. Yıllık Etkin Doz.....	28
2.3.4. Dış Tehlike İndeksi ( $H_{ex}$ ).....	28
2.3.5. Kanseri Risk Faktörü (ELCR) .....	29
3. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	30
3.1. Gama Spektrometrik Ölçüm Değerleri.....	30
3.1.1. Bal Örneklerinin Gama Aktivite Konsantrasyonları .....	30
3.1.2. Bal Örneklerinin Soğurulan Doz Hızı .....	33
3.1.3. Bal Örneklerinin Yıllık Etkin Doz Değeri.....	34
3.1.4. Bal Örneklerinin Dış Tehlike İndeksi .....	36
3.1.5. Bal Örneklerinin Kanseri Risk Faktörü .....	38
3.2. ICP-OES Ölçüm Değerleri .....	40
3.2.1. Krom .....	41
3.2.2. Mangan .....	42
3.2.3. Demir .....	43
3.2.4. Bakır.....	44
3.2.5. Çinko.....	45
3.2.6. Kadmiyum .....	46
3.2.7. Kurşun.....	47

3.2.8. Kobalt.....	48
3.2.9. Nikel.....	49
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
5. KAYNAKLAR .....	55



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çevresel radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları .....	2
Şekil 2. Çekirdeklere ait Kararlılık eğrisi .....	6
Şekil 3. Radyoaktif bozunma eğrisi .....	8
Şekil 4. <sup>137</sup> Cs bozunma şeması .....	11
Şekil 5. Yarıiletken dedektör şeması .....	14
Şekil 6. Dedektörün tek enerjili gama ışınları için verdiği tipik cevap .....	15
Şekil 7. (a) Detektör ve çevresindeki materyallere çarpan gama ışınları, (b) Düşük enerji bölgesinde oluşan pikler .....	16
Şekil 8. ICP-OES temel bileşenleri .....	20
Şekil 9. Gama analizi için hazırlanan bal örneği .....	23
Şekil 10. Gama Spektrometre sisteminin şematik gösterimi .....	23
Şekil 11. Verim değerlerinin enerjilere göre değişimi .....	26

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> Doğal radyoaktif seriler ve bazı özellikleri.....	10
<b>Tablo 2.</b> Bal örneklerinin alındığı yerler.....	21
<b>Tablo 3.</b> <sup>152</sup> Eu kaynağının özellikleri.....	24
<b>Tablo 4.</b> Standart kaynağın gama enerjilerindeki dedektörün verim değerleri.....	25
<b>Tablo 5.</b> Detektörle algılanan radyonüklidlerin minimum dedeksiyon limit değerleri..	26
<b>Tablo 6.</b> Bal örneklerinde gama aktivite konsantrasyonları (Bq/kg).....	29
<b>Tablo 7.</b> Önceden yapılmış çalışmalar ve sonuçları.....	31
<b>Tablo 8.</b> Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinde ve RTEÜ Nükleer Fizik Lab.da bulunan sonuçlar.....	32
<b>Tablo 9.</b> Bal Örneklerinin Soğrulan Doz Hızı .....	33
<b>Tablo 10.</b> Bal Örneklerinin Yıllık Etkin Doz değeri.....	34
<b>Tablo 11.</b> Bal Örneklerinin Dış Tehlike İndeksi .....	36
<b>Tablo 12.</b> Bal Örneklerinin Kanser Risk Faktörü .....	38
<b>Tablo 13.</b> Bal örneklerinin alındığı yerler.....	39
<b>Tablo 14.</b> Bal örneklerinin ağır metal konsantrasyonları (µg /g).....	39
<b>Tablo 15.</b> Bal örneklerinde ölçülen Krom miktarı .....	40
<b>Tablo 16.</b> Bal örneklerinde ölçülen Mangan miktarı .....	41
<b>Tablo 17.</b> Bal örneklerinde ölçülen Demir miktarı .....	42
<b>Tablo 18.</b> Bal örneklerinde ölçülen Bakır miktarı .....	43
<b>Tablo 19.</b> Bal örneklerinde ölçülen Çinko miktarı.....	43
<b>Tablo 20.</b> Bal örneklerinde ölçülen Kadmiyum miktarı .....	44
<b>Tablo 21.</b> Bal örneklerinde ölçülen Kurşun miktarı.....	46
<b>Tablo 22.</b> Bal örneklerinde ölçülen Kobalt miktarı .....	46
<b>Tablo 23.</b> Bal örneklerinde ölçülen Nikel miktarı .....	47
<b>Tablo 24.</b> Balda ağır metallerin araştırmasıyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ...	49
<b>Tablo 25.</b> Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen nektarlar ve meyve suları gibi gıdalarda bulunabilecek maksimum element miktarı.....	52

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A	: Kütle numarası
Bq	: Birim zamanda bozunma sayısı (Bozunma/s)
c	: Işık hızı ( $2.9979 \times 10^8$ m/s )
C	: Coulomb
Ci	: Curie
cps	: Birim zamanda sayım (counts per second)
D	: Soğurulan doz hızı (Gy)
e <sup>-</sup>	: Elektron
eV	: Elektron volt
FWHM	: Yarı maksimumdaki tam genişlik (full width at half maximum)
g	: Gram
Gy	: Gray
h	: Plank sabiti ( $6.626 \times 10^{-34}$ j.s )
HPGe	: Yüksek saflıkta germanyum detektör
IAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
ICP-OES	: İndüksiyon eşleşmeli plazma-optik emisyon spektrometresi
ICRP	: Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
keV	: Kiloelektronvolt
kg	: Kilogram
N	: Nötron sayısı
R	: Röntgen
Sv	: Sievert
Z	: Atom numarası
$\epsilon$	: Dedektör verimi
$\gamma$	: Gama ışını
$\lambda$	: Bozunma sabiti
$\Omega$	: Katı açısı

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

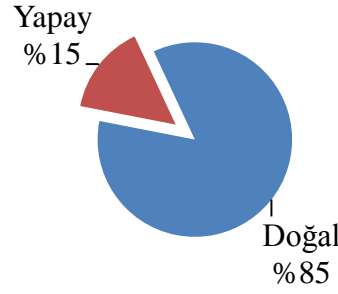
İnsanoğlu ve diğer canlilar s¼rekli olarak doğal ve yapay radyasyon kaynaklarına maruz kalmaktadır. D¼nyanın oluşumundan itibaren tabiatta yerini alan çok uzun ¼m¼rl¼ radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon d¼zeyi oluşturmuşlardır. Dolayısıyla canlilar yaşamları boyunca uzay ve g¼neřten gelen kozmik işınlar, yerk¼redeki toprak, kaya ve su kaynaklarından işınlanmaktadır. Maruz kalınan doğal radyasyon d¼zeyi yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, kutuplara olan uzaklık, hava şartları gibi etmenlere bağlı olarak değişir.

Yer kabuğunda bulunan uranyum ( $^{238}\text{U}$ ), toryum ( $^{232}\text{Th}$ ) ve aktinyum ( $^{235}\text{U}$ ) doğal radyoaktif serilerine ait radyon¼klitler ve bu serilerin dışında yer kabuğunda doğal olarak var olan radyoaktif potasyum ( $^{40}\text{K}$ ) vb. radyon¼klitler doğal radyoaktivitenin en ¼nemli kaynaklarını oluşurmaktadır. Uranyum, toryum, radyum ve radyoaktif potasyumun aktivite derişimleri sırasıyla 16-110 Bq/kg, 11-64 Bq/kg, 17-60 Bq/kg ve 140-850 Bq/kg arasında değişmektedir (UNSCEAR, 2000).

Canlilar, enerji ¼retimi, tıp, end¼stri, araştırma, tarım, hayvancılık gibi pek çok alanda kullanılan kaynaklar nedeni ile de radyasyona maruz kalmaktadır. N¼kleer teknoloji geliştirme ve uygulamaları, n¼kleer silah denemeleri, x-işınları ve yapay radyoizotopların çeşitli alanlarda kullanım ve uygulamaları ise yapay radyasyon etkisi oluşurmaktadır.

İnsanların bu doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından aldıkları yıllık etkin doz değerine en b¼y¼k katkı doğal kaynaklardan oluşan iyonize radyasyondan gelmektedir. şekil 1'de çevresel radyasyon kaynaklarından alınan doğal ve yapay radyasyon oranları verilmiştir (NCRP, 1987; UNSCEAR, 2000).

Her geçen g¼n artan evre kirliliği, insan sağlığı için zararlı etki g¼steren elementlerin havada birikmesine ve insan v¼cuduna alınmasına neden olmaktadır. Kurşun, kadmiyum, nikel gibi elementler besinlerde birikerek sindirim yoluyla insan v¼cuduna geçmektedir.



**Şekil 1.** Çevresel radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları

Bal; bal arılarınca nektar ve sakkaroz salgılarından elde edilerek, değişime uğratılan, peteklerde depolanan tatlı bir maddedir ve binlerce yıldır insanlığın özel ve kaliteli olan şeyleri ifade ettiği bir kavramdır (Genç ve Dadoloğlu, 2002).

İnsanlar balı sağlığı koruyucu, doğal bir besin olarak tüketmektedir. Bu amaçla yenen bir besinin istenmeyen elementler içermesi onun besin değerini düşürebileceği gibi insan sağlığını da olumsuz olarak etkileyebilir. Bu nedenle sağlıklı bir besin maddesi olarak bilinen ve aynı zamanda ilaç olarak kullanılan bir maddenin radyoaktivite konsantrasyon düzeyinin ve ağır metal seviyesinin belirlenmesi önemlidir.

Daha önce bal örneklerinde radyoaktivite düzeyinin belirlenmesiyle ilgili yapılmış çalışmalara örnek olarak Molzahn ve Assmann-Werthmüller, Almanya'daki funda, çiçek ve salgı ballarından oluşan örneklerde toplam  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{134}\text{Cs}$  miktarını, çiçek balları için 1986'da toplanan ballarda 0.5-130 Bq/kg, 1987'de toplanan ballarda 0.15-11 Bq/kg, 1988'de toplanan ballarda 0.15-3 Bq/kg, 1989'da toplanan ballarda 0.15-5 Bq/kg ve 1990'da toplanan ballarda 0.15-2 Bq/kg aralığında; salgı balları için 1986'da toplanan ballarda 0.5-180 Bq/kg, 1987'de toplanan ballarda 0.15-24 Bq/kg, 1988'de toplanan ballarda 0.15-167 Bq/kg, 1989'da toplanan ballarda 0.15-109 Bq/kg ve 1990'da toplanan ballarda 2.8-10 Bq/Kg aralığında; funda balı için 1981-1985 yılları arasında toplanan ballarda 11-18 Bq/kg ve 1988 yılında toplanan ballarda 7-651 Bq/kg aralığında tespit etmişlerdir. Salgı ballarında radyoaktivitenin çiçek ballarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak funda balının, 314.7 Bq/kg $\pm$  4.0 Bq/kg ile en yüksek ortalama aktivite değerine sahip olduğu görülmüştür (Molzahn ve Assmann-Werthmüller, 1993).

Handa ve arkadaşları, Çin, İtalya, Macaristan, Japonya ve Avustralya'dan 1995 yılında toplanan farklı bal örnekleriyle yaptıkları çalışmada  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{134}\text{Cs}$  gibi bazı radyonüklitlerin aktivitelerini tespit etmişlerdir. Bu çalışmaya

göre ballardaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi  $12.7\pm 1.2$  mBq/kg ile  $211.5\pm 5.1$  mBq/kg aralığında;  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi  $24.3\pm 1.2$  mBq/kg ile  $45.1\pm 4.9$  mBq/kg aralığında;  $^{214}\text{Pb}$  aktivitesi  $4.3\pm 0.2$  mBq/kg ile  $7.7\pm 0.3$  mBq/kg aralığında;  $^{214}\text{Bi}$  aktivitesi  $5.1\pm 0.2$  mBq/kg ile  $8.1\pm 0.3$  mBq/kg aralığında;  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesi yalnız dört bal örneğinde  $0.68\pm 0.13$  mBq/kg ile  $48.53\pm 0.38$  mBq/kg aralığında ve  $^{134}\text{Cs}$  aktivitesi yalnızca bir örnekte  $10.97\pm 0.47$  mBq/kg olarak bulunmuştur (Handa vd., 1996).

Borawska ve arkadaşları, Polonya'da 39 bal örneğinde yaptıkları çalışmada  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitelerini sırasıyla 0.5 Bq/kg ile 46.3 Bq/kg ve 20.5 Bq/kg ile 492.1 Bq/kg aralığında bulmuşlardır. Salgı ballarının aktivitesi çiçek ballarına göre daha yüksek bulunmuştur. Ancak Funda balı 24.3 Bq/kg ortalama ile en yüksek  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesine sahip bal olarak tespit edilmiştir (Borawska vd., 2000).

Porrini ve arkadaşları arı ürünlerinin çevresel kirliliğin izlenmesiyle ilgili yaptıkları çalışmada, İspanya'da  $^{137}\text{Cs}$  yayılımına sebep olan bir kaza sonrasında toplanan bal örneklerindeki  $^{137}\text{Cs}$  miktarında anormal bir artışın olduğunu ortaya koymuşlardır (Porrini vd., 2003).

Pöschl ve arkadaşları, Çek Cumhuriyeti'nden 2003-2010 yılları arasında toplanan 76 bal örneğinin  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitelerini araştırmışlardır. %40 verime sahip HPGe dedektörle yapılan çalışmada  $^{40}\text{K}$  aktivitesi 2.67Bq/kg-132.02 Bq/kg aralığında;  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesi ise 0.21 Bq/kg-39.16 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Bu çalışmada çiçek ballarında radyoaktivite konsantrasyonunun salgı ballarına göre daha düşük olduğu görülmüştür (Pöschl vd., 2011).

Bal örneklerinde ağır metal analiziyle ilgili daha önce yapılmış çalışmalara örnek olarak, Birge ve Price, ABD'de, bal arısı, polen ve balları atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) ile inceleyerek Ag, Be, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe metallerini araştırmışlardır. Bal örneklerinde Ag konsantrasyonu  $2.46$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  ile  $6.14$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  aralığında; Be konsantrasyonu  $9.90$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  ile  $10.0$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  aralığında; Cd konsantrasyonu  $704.2$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  ile  $1585.4$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  aralığında; Cr konsantrasyonu  $9.90$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  ile  $10.0$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  aralığında; Cu konsantrasyonu  $80.53$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  ile  $1294.98$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  aralığında; Ni konsantrasyonu  $98.33$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  ile  $139.53$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  aralığında; Pb konsantrasyonu  $983.3$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  ile  $1534.8$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  aralığında; Zn konsantrasyonu  $309.5$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  ile  $1273.4$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  aralığında; Fe konsantrasyonu ise  $983.3$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  ile  $999.6$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  aralığında bulunmuştur. Genel olarak en yüksek metal seviyesi polen örneklerinde ve en düşük metal seviyesi ise ballarda tespit edilmiştir ( Birge ve Price, 2001).

Erbilir ve Erdoğan, Kahramanmaraş'tan toplanan 21 bal örneğini atomik absorpsiyon spektrometresiyle (AAS) inceleyerek bal örneklerindeki Fe, Cu, Ni, Mn, Mg, Cd miktarlarını şu aralıklarda bulmuştur: Cu, 0-0.09 ppm, Cd, 0.31-0.34 ppm, Mn, 0-0.09 ppm, Fe, 0.04-1.21 ppm, Mg, 2.03-111.36 ppm. Ni ise minimum ölçülebilir değerlerin altında kalmıştır (Erbilir ve Erdoğan, 2005).

Demirezen ve Aksoy, Kayseri Erciyes Dağı ve çevresinden 2003 yılında toplanan ballarda yaptıkları çalışmada Cd, Pb, Ni ve Cu konsantrasyonunu sırasıyla 0.11-0.18 ppm, 0.1-0.85 ppm, 0.2-0.8 ppm, 0.15-0.66 ppm aralığında bulmuşlardır (Demirezen ve Aksoy, 2005).

Leblebici, yüksek lisans tezinde, Kayseri yöresinde bulunan 26 bal örneğinin ağır metal içeriğini ICP-OES ile tespit etmiştir. Bal örneklerinde en düşük ve en yüksek ortalama Zn konsantrasyonunu  $1.2939 \pm 0.011$   $\mu\text{g/g}$  ile  $5.3906 \pm 0.036$   $\mu\text{g/g}$ ; en düşük ve en yüksek ortalama Fe konsantrasyonunu  $0.5724 \pm 0.006$   $\mu\text{g/g}$  ile  $8.7431 \pm 0.096$   $\mu\text{g/g}$ ; en düşük ve en yüksek ortalama Cr konsantrasyonunu  $0.0939 \pm 0.007$   $\mu\text{g/g}$  ile  $1.8968 \pm 0.062$   $\mu\text{g/g}$ ; en düşük ve en yüksek ortalama Pb konsantrasyonunu  $0.0205 \pm 0.008$   $\mu\text{g/g}$  ile  $1.5062 \pm 0.103$   $\mu\text{g/g}$ ; en düşük ve en yüksek ortalama Mn konsantrasyonunu  $0.02734 \pm 0.005$   $\mu\text{g/g}$  ile  $1.5611 \pm 0.097$   $\mu\text{g/g}$ ; en düşük ve en yüksek ortalama Ni konsantrasyonunu  $0.0378 \pm 0.007$   $\mu\text{g/g}$  ile  $1.4399 \pm 0.072$   $\mu\text{g/g}$ ; en düşük ve en yüksek ortalama Cd konsantrasyonunu  $0.098 \pm 0.009$   $\mu\text{g/g}$  ile  $0.242 \pm 0.069$   $\mu\text{g/g}$ ; en düşük ve en yüksek ortalama Cu konsantrasyonunu  $0.0164 \pm 0.013$   $\mu\text{g/g}$  ile  $0.7258 \pm 0.084$   $\mu\text{g/g}$ ; en düşük ve en yüksek ortalama Se konsantrasyonunu  $0.0060 \pm 0.002$   $\mu\text{g/g}$  ile  $0.5801 \pm 0.009$   $\mu\text{g/g}$  olarak tespit edilmiştir (Leblebici, 2006).

Samimi ve arkadaşları, balda Arsenik ve Cadmium konsantrasyonlarını araştırmıştır. Ayrıca araştırmada Arjantin, Pakistan ve Türkiye'de yapılmış çalışmalar İran'ın Saveh kentinden toplanan ballarda bulunan ağır metal düzeyleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmaya göre İran Saveh balında ortalama  $0.0271$   $\mu\text{g/g}$  Cd ve  $4.28$   $\mu\text{g/g}$  As tespit edilmiştir (Samimi vd., 2010).

Bu çalışmamızda bal örneklerinin radyoaktivite ve ağır metal seviyeleri belirlenmiştir. Elde edilen radyoaktivite ve ağır metal konsantrasyonları ICRP ve UNSCEAR gibi uluslararası kuruluşların sınır değerleriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda tez, birinci bölüm konuyla ilgili genel literatür bilgileri, ikinci bölüm yapılan çalışmaları, üçüncü bölüm bulgular ve tartışmayı ve son olarak da çalışmanın devamıyla ilgili sonuçlar ve öneriler kısmını içermektedir.

## 1.2. Radyoaktivite Hakkında Genel Bilgi

1896 yılında Henry Becquerel'in uranyumun gözle görülmeyen ışınlar yaydığını belirlemesiyle tesadüfi bir şekilde keşfedilen radyoaktivite, kararsız olan bir elementin, enerji veya parçacık salarak kararlı ve başlangıçtakinden fiziksel ve kimyasal olarak farklı bir elemente dönüştüğü bir süreç olarak tanımlanabilir. Radyoaktif maddeler tarafından yayılan ışınların özellikleri ise, Ernest Rutherford tarafından aydınlatılmıştır. Rutherford 1898'de, uranyum tarafından yayınlanan ışınların iki türlü olduğunu buldu. Alfa ve beta ışınlarını keşfedildikten iki yıl sonra ise Villard gama ışınımını keşfetti.

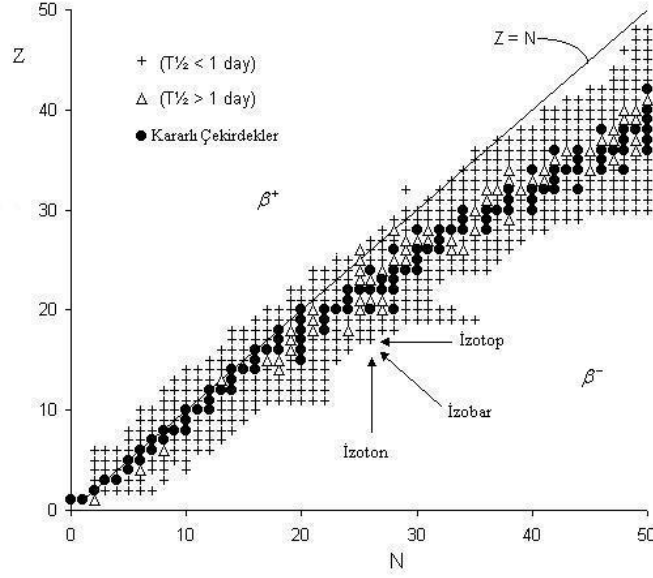
Atom numarası ( $Z$ ) aynı, kütle numarası ( $A$ ) veya nötron sayısı ( $N$ ) farklı çekirdeklere izotop atomlar denir. Kararlı izotoplar, üzerlerinde herhangi fazla bir enerji bulundurmayan ve kendiliklerinden değişmeye uğramayan çekirdeklerdir. Buna karşı kararsız radyoaktif çekirdekler ise; üzerlerinde taşıyabileceklerinden fazla enerji bulunan izotoplardır. Çekirdek kararlılığını belirleyen en büyük etken, atom çekirdeklerinde bulunan nötron ve protonların birbirlerine oranıdır.

Kararlı çekirdekler kararlı çekirdek bandında bulunur. Şekil 2'de  $Z < 20$  bölgesinde  $Z=N$ ,  $Z > 20$  bölgesinde ise  $N/Z > 1$  olur ve giderek 1'den uzaklaşır. Kararlı çekirdekler şeridi dışına çıkıldığı takdirde, çekirdekler kararsız hale geçer. Kararlı hale gelebilmek için radyoaktif ışınlar yapan bu tür çekirdekler, radyoaktif çekirdekler olarak bilinirler.

Ağır çekirdeklerde 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 hakim duruma gelir ve çekirdek, enerji bakımından, proton sayısından büyük sayıda nötrona sahip olma eğiliminde olur.

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.





Şekil 2. Çekirdeklere ait Kararlılık eğrisi

### 1.2.1. Radyoaktif Bozunma

Bir radyoizotopa ait radyoaktif atomların kendi kendine radyoaktif bozunması zamandan bağımsızdır. Deneysel sonuçlar radyoaktif bozunmanın üstel özellikte olduğunu göstermektedir. Şekil 2' de radyoaktif bozunma eğrisi verilmiştir.

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;

$$dN = -\lambda N dt \quad (1.1)$$

bağıntısı ile verilir. Bu denklemdeki eksi işareti zamanla radyoaktif çekirdek sayısının azalacağını gösterir.  $\lambda$  bozunma sabiti atomun bir karakteristiğidir ve sıcaklık, basınç gibi fiziksel ve kimyasal bir olaydan etkilenmez.

$t = 0$  anında  $N_0$  tane radyoaktif çekirdek olduğu farzedilir ve (1.1) bağıntısının her iki tarafı  $N$ 'ye bölünüp, integrali alınır ve sınır şartları yerine konursa;

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.2)$$

bağıntısı bulunur. Burada N herhangi bir t zamanındaki radyoaktif çekirdeklerin sayısıdır. Radyoaktif çekirdek sayısının zamanla (1.2) bağıntısına göre değişim gösterdiği bu kanuna radyoaktif bozunma kanunu denir. Denklem (1.2)'de her iki tarafın zamana göre türevi;

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N \quad (1.3)$$

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

Radyoaktif maddelerle ilgili diğer bir önemli karakteristik değer de yarılanma süresidir. Yarılanma süresi, başlangıçtaki atom sayısının ya da aktivite düzeyinin %50'sine inmesi için geçen süredir ( $T_{1/2}$ ). (1.2) denkleminde  $t = T_{1/2}$  ve  $N = N_0/2$  olarak alındığında yarılanma süresi ile bozunma sabiti arasında;

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (1.4)$$

bağıntısı elde edilir.

Bir radyoaktif maddenin içindeki atomların hepsi aynı anda bozunmaya uğramaz. Bir radyoaktif atomun yaklaşık olarak ne kadar zaman aktif kalacağı, ortalama ömür kavramı ile açıklanır. Ortalama ömür ( $\tau$ ) bozunma sabitinin tersine eşittir. Ayrıca ortalama ömür, bütün çekirdeklerin ömürleri toplanıp toplam çekirdek sayısına bölünerek hesaplanır.

$$T_{1/2} = \frac{t_1 dN_1 + t_2 dN_2 + \dots}{dN_1 + dN_2 + \dots} \quad (1.5)$$

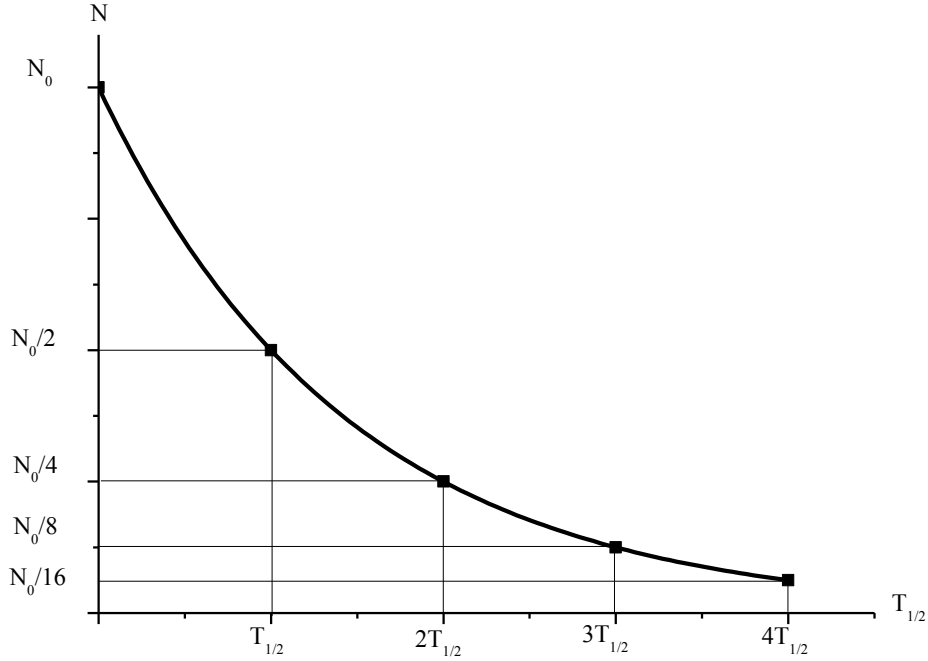
Denklem (1.5) integral şeklinde yazılırsa;

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t |dN/dt| dt}{\int_0^{\infty} |dN/dt| dt} \quad (1.6)$$

elde edilir ve integral alınırsa;

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (1.7)$$

olarak bulunur.



**Şekil 3.** Radyoaktif bozunma eğrisi

### 1.2.2. Radyoaktivite ve Radyasyon Ölçüm Birimleri

Aktivite birimi Becquerel (Bq) olup saniyede bir bozunma yapan herhangi bir radyoaktif maddenin aktivitesi olarak tanımlanmaktadır. Radyoaktif bir numunenin aktifliği Curie (Ci), Rutherford (rd) veya Becquerel (Bq) biriminde ifade edilebilir. Bu birimlerin birbiriyle ilişkisi

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

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ rd} = 10^6 \text{ Bq}$$

şeklinde dir. Aktiflik, bozunan aynı tür radyoaktif izotoplardan oluşan iki farklı kaynağın şiddetinin (birim zamanda saldıkları ışın ya da parçacık sayılarının) karşılaştırılmasında faydalı bir kavramdır. Örneğin 10 mCi'lik  $^{60}\text{Co}$  kaynağı, 1 mCi'lik  $^{60}\text{Co}$ 'dan 10 kat daha şiddetlidir. Fakat farklı radyonüklidlerin farklı bozunmalarını karşılaştırabilmek için ışınlama dozu, soğrulma dozu ve doz eşdeğeri ifadelerinin tanımlanması gerekmektedir.

Işınlama dozu Coulomb/kg (C/kg): Normal şartlar altında (0 °C ve 760 mm-Hg basıncında) havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan x veya γ radyasyonu miktarıdır.

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R (Röntgen)} \text{ veya } 1 \text{ R} = 2.5 \times 10^{-4} \text{ C/kg' dır.}$$

Soğrulan Doz (D) (Gy): Radyasyona maruz kalan bir maddenin birim miktarında soğrulan radyasyon enerjisi olarak ifade edilir. SI birim sisteminde soğrulan doz birimi Gray (Gy) olup, 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule (J)'luk enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyonun dozudur. Herhangi bir madde gramı başına 100 erg'lik enerji soğurursa buna da 1 rad denir.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J.kg}^{-1} = 100 \text{ erg.g}^{-1}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Doz eşdeğeri (Sv): Belirli bir radyasyonun bir biyolojik sistem üzerindeki etkisinin ölçüsüdür. Eşdeğer doz birimi Sievert (Sv) veya rem cinsinden ifade edilir.

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

### 1.3. Radyonüklidler

#### 1.3.1. Doğal Radyonüklidler

Doğal radyoizotoplar atom numaraları 81-92 arasında değişen ağır çekirdeklerden oluşur. Bu çekirdekler  $\alpha$  ve  $\beta$  yayınlamaya atom (Z) ve kütle numaralarını (A) sonuçta kararlı ve hafif bir çekirdeğe ulaşmaya kadar azaltırlar. Alfa bozunması A'yı dört birim değiştirir,  $\beta$  bozunması ise A sayısını değiştirmez ve böylece n bir tam sayı olmak üzere, kütle numaraları 4n, 4n+1, 4n+2, 4n+3 olan dört bağımsız bozunma serisi elde edilir. Bu dört seri Tablo 1'de verilmistir. Neptinyum serisinin en uzun ömürlü üyesinin yarılanma süresi, yerin oluşumundan bu yana geçen süreye göre çok kısa olduğundan bu seri doğal maddelerde gözlenmez (Krane, 2001).

**Tablo 1.** Doğal radyoaktif seriler ve bazı özellikleri

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek (kararlı)	Ana Çekirdek	Yarılanma süresi (yıl)
Toryum	4n	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1.4 \times 10^{10}$
Neptinyum	4n+1	$^{209}_{83}\text{Pb}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2.14 \times 10^6$
Uranyum	4n+2	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4.47 \times 10^9$
Aktinyum	4n+3	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7.04 \times 10^8$

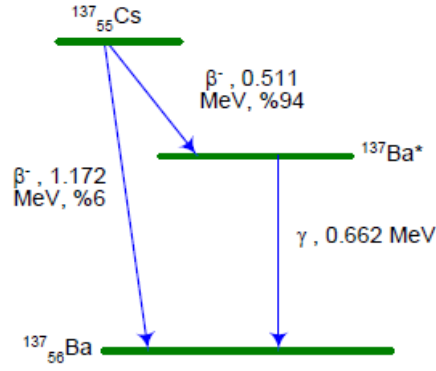
Dünyadaki doğal radyonüklidlerin tek kaynağı bu radyoaktif ağır element serileri değildir. Bu serilerden farklı olarak tabiatta tek başına bulunabilen ve kendilerine has özelliklere sahip olan bazı doğal radyonüklidler de vardır.  $^{40}\text{K}$  bu grubun en önemlilerindedir. Potasyum, temel bir elementtir ve vücutta yaşamsal bir öneme sahiptir. Doğal olarak bulunan potasyumun üç izotopundan sadece  $^{40}\text{K}$  kararsız olup, yarılanma süresi  $1.28 \times 10^9$  yıl'dır. Doğal potasyumun % 0.0117'sini  $^{40}\text{K}$  izotopu oluşturmaktadır. Doğal potasyum, toprakta çok bol bulunduğu için doğal gama radyasyon dozunun önemli bir kesrini  $^{40}\text{K}$  meydana getirmektedir.

70 kiloluk bir insan vücudunda 140 g potasyum vardır ve bu 0.0164 gram  $^{40}\text{K}$  izotopu içerir. Bu miktardaki  $^{40}\text{K}$  dakikada 266000 bozunma hızına sahiptir. Her 100 bozunmanın 89'unda 1.311 MeV maksimum enerjili beta parçacıkları ve 11'inde ise 1.46 MeV enerjili gama fotonu yayınlanır ( Eisenbud, 1987).

### 1.3.2. Yapay Radyonüklidler

Enerji, tıp, endüstri, araştırma, tarım gibi pek çok alanda  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  gibi doğal olmayan radyoizotoplar yapay yollarla üretilmektedir. İnsan yapımı bu radyonüklidlerin miktarları doğal miktarlara göre küçüktür ve çoğu kısa yarılanma sürelerine sahiptirler.

Potasyuma benzer kimyasal özelliklere sahip alkali bir metal olan sezyumun radyoaktif izotoplarından biri olan  $^{137}\text{Cs}$ , nükleer fisyonun önemli ürünlerinden bir tanesi olup 0.662 MeV enerjili gama bozunumu yapmaktadır (Şekil 4).  $^{137}\text{Cs}$ , 30.17 yıl gibi uzun bir fiziksel yarı ömre sahip olması nedeniyle ekosistemde uzun süre etkili olabilen ve biyolojik açıdan son derece önemli olan bir radyonükliddir.



**Şekil 4.**  $^{137}\text{Cs}$  bozunma şeması

$^{137}\text{Cs}$ 'nin genel olarak atmosferik yağışlar vasıtasıyla oluşan ana kaynağı 1954-1963 yılları süresince termonükleer silahların atmosferik denemeleridir. Daha sonra 1986'da meydana gelen Çernobil kazası ile radyolojik açıdan en önemli izotop olan  $^{137}\text{Cs}$ 'den Avrupa ve Asya'nın karasal ve denizel olmak üzere pek çok bölümü etkilenmiştir. Tyler ve arkadaşları 1960'lı yılların ortalarına kadar nükleer denemeler sonucu oluşan toplam  $^{137}\text{Cs}$ 'nin %90'ının yeryüzünde biriktiğini rapor etmişlerdir (Tyler vd., 2001).

#### 1.4. Gama Işınlarnın Maddeyle Etkileşmesi ve Dedeksiyonu

Gama ışınlarının kaynağı atom çekirdeğidir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklarından meydana gelir. Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta yayınlamasından sonra çoğu zaman kararlı durumda kalmayabilir. Bir başka deyişle, radyoaktif bozunmadan 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.

Gama ışınlarının dalga boyları  $10^{-10}$  m ile  $10^{-14}$  m arasındadır. Bu ışınlar yüksek derecede giricilik özelliğine sahiptirler. Bu nedenle canlı dokular tarafından soğurulduğunda ciddi zararlar oluştururlar. Tedbir olarak bu tür radyasyonun yanında çalışanlar, kalın kurşun tabaka benzeri iyi soğurucu maddelerle korunmalıdır.

Gama ışınları fotoelektrik soğurma, Compton saçılması ve çift oluşumu biçiminde madde ile etkileşebilirler.

### 1.4.1. Fotoelektrik Soğurma

Fotoelektrik soğurma olayında,  $h\nu$  enerjisiyle gelen foton,  $E_b$  bağlanma enerjisiyle bağlı bir elektronla etkileşir ve foton enerjisinin tümü soğurulur. Elektron  $E_e$  enerjisiyle atomdan uzaklaşır:

$$E_e = h\nu - E_b \quad (1.8)$$

Fotoelektrik soğurmadan sonra fotoelektrondan boş kalan yerin başka elektronlar tarafından doldurulması ile birlikte karakteristik x-ışınları yayınlanır. Bu x-ışınlarının soğurulması ve ikincil elektronların kinetik enerjilerine dönüşmeleri bir anlamda kayıp enerjii geri çağırarak olacaktır. Teorik olarak artık fotonların enerjisinin bir kısmı, geri tepen atomların kinetik enerjisine geçer ancak bu ihmal edilebilir.

### 1.4.2. Compton Saçılması

Compton saçılmasında foton, maddedeki bir atomun elektronu tarafından saçılır. Gama ışını, enerjisinin ( $E_\gamma$ ) düşüşüyle beraber ( $E_\gamma^1$ ) bir açıyla saçılabilir ve bu saçılmayla ortaya çıkan enerji kaybı, elektronlara kinetik enerji olarak geçer.

$$E_e = E_\gamma - E_\gamma^1 \quad (1.9)$$

Saçılan gama ışınının enerjisi saçılmadan sonra daha azdır. Ayrıca gama ışını bir ya da birden fazla Compton saçılması da yaşayabilir. Enerji düştükçe fotoelektrik soğurulmanın oluşması olasılığı da artar. Bundan dolayı gama ışını enerjisinin sadece bir kısmını da, (Compton saçılması ile) tamamını da (Compton Saçılması takip eden fotoelektrik soğurulmayla) kaybedebilir. Elektronun kinetik enerjisi, enerji ve çizgisel momentumun korunumu kullanılarak (1.10) denklemi ile hesaplanır.

$$E_e = E_\gamma - E_\gamma^1 = \frac{E_\gamma^1(1 - \cos \theta)}{mc^2 + E_\gamma(1 - \cos \theta)} \quad (1.10)$$

Burada  $m=9.11 \times 10^{-31}$  kg değeri ile elektronun durgun kütlesi ve  $c=3 \times 10^8$  m/s ışığın boşluktaki hızıdır.

### 1.4.3. Çift Oluşumu

Çift oluşumu işleminde gelen gama ışını çekirdeğin yakınılarında elektron-pozitron çifti üretecek şekilde yok olur. Bir elektron ya da pozitronun durgun kütlesi 0.511 MeV'dir. Dolayısıyla çift oluşumunun gerçekleşebilmesi için en az 1.02 MeV enerjili ( $2m_0c^2$ ) bir foton gerekir. Bu enerjiye karşılık gelen en büyük foton dalga boyu 1000 fm'dir.

Foton enerjisinin artan kısmı (1.11) denkleminde gösterildiği gibi elektron ve pozitronun kinetik enerjisi ( $T_e$ ) olur.

$$2m_0c^2 + T_e = E_\gamma \quad (1.11)$$

Daha sonra pozitron, elektronla çarpışarak birbirlerini yok eder ve iki tane 0.511 MeV'lik gama ışını üretirler. Bunlar da enerjilerinin tamamını ya da bir kısmını madde içinde Compton saçılması ve/veya fotoelektron soğurması ile kaybederler.

### 1.5. Gama Işını Dedektörleri

Nükleer radyasyonu tespit etmek için kullanılan tüm dedektörler benzer çalışma özelliklerine sahiptirler. Radyasyon dedektöre girer, dedektör materyalinin atomlarıyla etkileşir, enerjisinin bir kısmını veya tamamını kaybeder ve atom yörüngelerinden daha düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek için elektronik devrelerde akım pulsu ya da voltaj şekline dönüştürülür. Dedektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyonun tipine bağlıdır. Gama ışınlarının ölçümünde yarıiletken dedektörler ve sintilasyon dedektörleri yaygın olarak kullanılan dedektörlerdir.

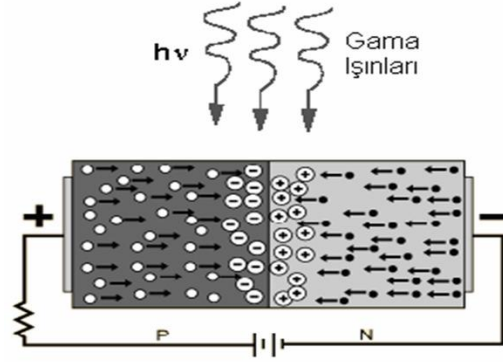
Bu dedektörlerin çalışması, gama ışınlarının kullanılan materyal içinde iyonlaşarak enerji kaybetmesi gerçeğine dayanır.

#### 1.5.1. Yarıiletken Dedektörler

Yarı iletken dedektörler, negatif yük (elektron) veya pozitif yük (boşluk) taşıyıcıları fazla olan n ve p tipi materyaller temas ettirilerek elde edilir. Ters besleme altında detektörde, elektron ve boşluktan arınmış bir hassas bölge oluşur. Dedektör veriminin yüksek olması için derin bir hassas bölge, derin hassas bölge elde etmek için de oldukça saf madde gerekir. Bir foton, eklem içinden geçtikçe, bir elektron, valans



bandından iletim bandına yükseltilir ve elektron-boşluk çifti üretilmiş olur. İçerdeki elektrik alan, elektronları eklemine pozitif, boşlukları da negatif tarafa doğru sürükler. Bu da bir sayıcı ile sayılabilen bir puls meydana getirir. Şekil 5’de yarıiletken dedektörlerin basit şematik gösterimi görülmektedir. Bu çalışmada Ortec marka GEM55P4-95 Model yüksek saflıkta Ge (HPGe) dedektörü kullanılmıştır.



**Şekil 5.** Yarıiletken dedektör şeması

### 1.5.2. Gama Işınlarının Enerji Ölçümleri

Dedektöre giren foton, dedektör kristali ile şu sıra ile etkileşebilir; Fotoelektrik soğurma yoluyla enerjisini direk dedektöre aktarabilir. Birkaç kez Compton saçılması yapar ve enerjisinin tamamını kaybetmeden dedektörü terk edebilir. Birkaç Compton saçılmasından sonra fotoelektrik soğurma yapar ve enerjisinin tümünü kaybedebilir. Çift oluşum ile bir elektron pozitron çifti üretir ve daha sonra oluşan pozitron bir elektron ile çift yok olur ve iki foton üretilir. Bu fotonlardan biri dedektörü terk edebilir. Çift oluşum yoluyla oluşan iki foton da, enerjilerini fotoelektrik soğurma ile dedektöre aktarabilir. Ya da çift yokolma fotonlarından her ikisi de dedektörü terk edebilir.

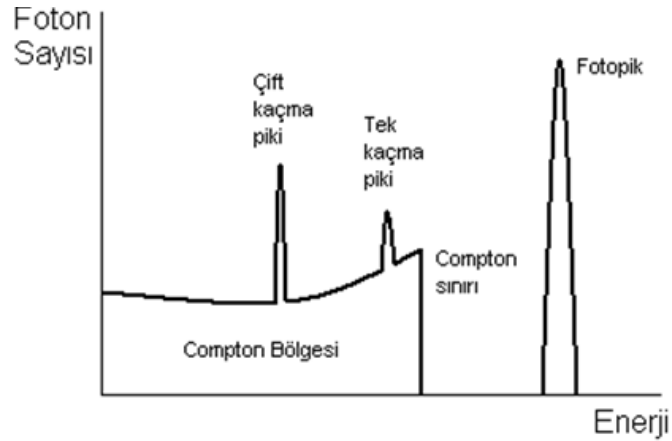
Eğer ilk foton, sonunda fotoelektrik soğurmaya maruz kalıyor ise, dedektör kristaline aktarılan enerji orijinal gama ışını enerjisine eşit olur. Yani, dedektöre giren gama ışını enerjisinde bir pik elde ederiz.

Tek bir Compton olayında saçılan elektrona aktarılan enerjiyi gözönüne alalım. Aşağıda verilen Denklem (1.12) kullanılarak elektronun kinetik enerjisini bulabiliriz;

$$E_e = E_\gamma - E_\gamma^1 = \frac{E_\gamma^1(1 - \cos \theta)}{mc^2 + E_\gamma(1 - \cos \theta)} \quad (1.12)$$

Dedektör içinde bütün açılarda saçılma olacağından dolayı, saçılan elektronun enerji aralığı  $\theta = 0^0$  ile  $\theta = 180^0$  değerleri yukarıdaki denklemde yazılarak elde edilir. Bu elektronların hepsi, dedektörde soğurular ve bunlar dedektörün enerji spektrumunun Compton bölgesine katkıda bulunur. Bu bölge,  $0^0$ 'dan Compton sınırı olarak bilinen bir maksimuma kadar uzanır.

Bir pozitron-elektron çifti,  $E_\gamma - 2mc^2$  'lik toplam kinetik enerji ile oluşur ve bu enerjinin dedektördeki kaybı fotopiki meydana getirir. Pozitron atom elektronu ile birleşerek çift yokolma meydana gelir ve iki tane 511 keV'lik foton üretilir. Bu iki foton hiçbir etkileşme yapmadan dedektörden dışarı çıkabilir veya Compton saçılma işlemleri ile tamamen ya da kısmen soğurulabilir. Böylece,  $E_\gamma - 2mc^2$  'de (her iki foton kaçarsa),  $E_\gamma - mc^2$  'de (fotonlardan biri kaçır diğeri soğurular ise) ve  $E_\gamma$ 'da (her ikisi de soğurular ise) pikler görmeyi bekleriz. Şekil 6, tüm bu pikleri ve Compton sınırını göstermektedir.



**Şekil 6.** Dedektörün tek enerjili gama ışınları için verdiği tipik cevap

Ölçülen enerji spektrumundaki pikler, yukarıda görüldüğü gibi belli bir genişliğe (FWHM -Full Width at Half Maximum– Yarı Yükseklikteki Tam Genislik) sahiptirler. Bu genişlik ölçme işleminin istatistiksel karakterinden kaynaklanır.  $FWHM=2,35\sigma$  ile hesaplanır. Standart sapma ( $\sigma$ ), istatistiksel dağılımın genişliğinin bir ölçüsüdür. Aynı zamanda  $\sigma = \sqrt{N}$  'dir. N, bir dedektörde bir fotonun ortaya çıkardığı fotoelektronların sayısıdır. N, radyasyon enerjisi E' ye bağımlı olduğundan  $FWHM = \sqrt{E}$  'dir. Dedektöre giren gama ışınları birden fazla, çoklu Compton saçılmaları yaparsa, Compton sınırı ile fotopik arasındaki enerji boşluğu doldurulacaktır.

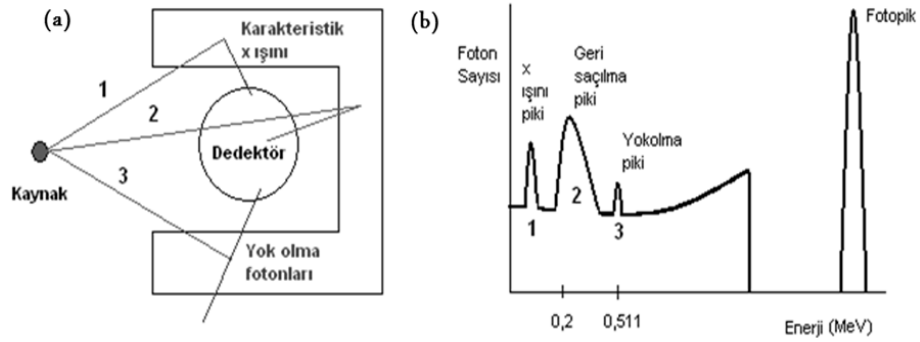
Ayrıca bu spektrumun düşük enerji bölgesinde çeşitli pikler oluşabilir (Şekil 6). Bunlardan biri, geri saçılma (backscatter) pikidir. Kaynaktan çıkan gama ışınları,

dedektör civarındaki materyallerden Compton saçılması yapabilir ve enerjisinin düşüşü ile beraber tekrar dedektöre girebilir. Geri saçılma pikinin enerji değeri, saçılma açısı  $\theta=\pi$  ve yüksek enerjiler için,

$$H\nu = \frac{m_0c^2}{2} \quad (1.13)$$

olarak verilir. Buradan, bu enerjinin 0.2-0.25 MeV civarında olduğu görülür.

En düşük enerji değerinde gözlenen pik ise, dedektör çevresindeki materyallerin gama ışınlarını fotoelektrik soğurması sonucunda, materyal çekirdeğinin foton yayınlamak yerine enerjisini atomun bir elektronuna aktarması (iç dönüşüm) ve boş kalan elektronun yerine başka bir elektronun düşmesi ile oluşan X- ışınlarını göstermektedir.



**Şekil 7.** (a) Detektör ve çevresindeki materyallere çarpan gama ışınları, (b) Düşük enerji bölgesinde oluşan pikler

Eğer kaynaktan çıkan gama ışınlarının enerjileri yüksek ise, dedektör çevresindeki materyallerde çift oluşum olasılığı olacaktır. Bu çift oluşum fotonlarından bir tanesi dedektöre girer ve 0.511 MeV değerinde yokolma piki gözlenir (Knoll, 1999).

## 1.6. Ağır Metaller

Ağır metalin tanımı daha çok çevresel problemler olduğunda ortaya çıkmakta ve nispeten yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirleyici olan metal olarak tarif edilmektedir. Gerçekte ağır metal tanımı fiziksel özellik açısından yoğunluğu  $5 \text{ g/cm}^3$ 'ten daha yüksek olan metaller için kullanılır. Bu grubun içine kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko olmak üzere 60'tan fazla metal girmektedir. Bu elementler doğaları gereği yer kürede

genellikle karbonat, silikat ve sülfür halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde bağlı olarak bulunurlar (Kahvecioğlu vd., 2007).

### **1.6.1. Krom**

Krom; kromaj, krom elik yapımı, kaynakçılık, dericilik, fotoğrafçılık ve boya sanayisinde kullanılmaktadır. Cr<sup>+6</sup> bileşikleri, deride alerjik dermatit yapabilir. Solunumla alınan krom tozları, farenjit ve bronşite neden olur. Cr<sup>+6</sup>'ya devamlı maruz kalındığı zaman, işçilerde burun bölmesinin delindiği görülür. Almanlar, 1936 yılında, krom tozuna maruz kalan işçilerde akciğer kanserinin oluştuğunu tespit etmiştir (Akyüz, 1997).

### **1.6.2. Mangan**

Mangan başlıca dökme demir ve çelikte, kükürdün zararlı etkisini gidermede, su boruları, ısıtma ve havalandırma sistem ve aletlerinde, bina, köprü, baraj, beton, yol kaplamaları ve benzeri yapılarda, ilaç, cam, gübre sanayinde ve tuğla yapımında kullanılmaktadır. Vücuttaki miktarı % 0,00005 kadar olup, demir, bakır ve çinko miktarından çok azdır. Organizmada en çok kemik, karaciğer, böbrek, pankreas, meme bezleri ve diğer salgı bezlerinde bulunur. İnsanlarda yüksek mangan tüketimi kronik mangan zehirlenmelerine neden olmaktadır (Şerifoğlu, 1993).

### **1.6.3. Demir**

Yeryüzünde en fazla bulunan elementlerden biri olan demir, modern endüstrinin temel maddesi olup ulaştırma araç ve gereçleri, inşaatlar, makine ve donatım, domestik uygulamalar, elik sanayi gibi, birçok kullanım alanına sahiptir. Demir, canlıların vücudunda tüm yaşam süreci içerisinde temel bir gereksinim olarak, yaşa, cinsiyete, beslenmeye ve sağlık durumuna göre değişik miktarlarda bulunmaktadır. Normal ağırlıkta (70 kg) bir insanın vücudunda toplam olarak 4–5 g (60-70 ppm) kadar demir bulunmaktadır. Demir canlı organizmalar için gerekli bir element olduğu gibi eksikliği veya fazlalığı vücutta çeşitli olumsuz etkilere neden olmaktadır. Gıda yolu ile fazla demir alınması sonucu meydana gelen bozukluklar metabolik ve genetik faktörlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Şerifoğlu, 1993).

#### **1.6.4. Bakır**

Fizyolojik faaliyetlerin devamı için gerekli bir element olan bakır, proteinlerin işlevlerinde rol oynamakta ve ayrıca vücuttaki tüm kimyasal tepkimelerde katalizör görevini yapmaktadır. Normal beslenme dışında bulaşma ve başka nedenlerle alınan bakır vücutta toksik etki yapmaktadır. Vücuda gereğinden fazla alınan bakır birikim yapmakta ve Wilson hastalığı olarak bilinmektedir. İnce bağırsakta bakır absorpsiyonuyla birlikte, karaciğer, böbrekler ve beyinde birikim yaparak vücutta birtakım bozukluklara neden olmaktadır (Şerifoğlu, 1993).

#### **1.6.5. Çinko**

Çinko metali başlıca galvaniz endüstrisinde, pirinç borular, elektrik devresi anahtarları, boya maddeleri, lastik, tekstil sanayi, çeşitli yağlama maddelerinin imali, gübre ve hayvan yiyecikleri, haddelenmiş çinko, kuru pil, deniz ve petrol boru hattı hizmetlerinde kullanılır. Çinko çok az miktarda (25-30 µg/g) insan vücudunda da bulunur (Şerifoğlu, 1993).

#### **1.6.6. Kadmiyum**

Kadmiyum metalinin en önemli kullanım alanı, elektroliz maddesi olarak tüketilmesidir. Çinko, kadmiyum, kurşun, bakır, demir ve çelik üretimi sırasında bu cevherlerin temizlenmesi ve saflaştırılması için uygulanan işlemler, kadmiyum kirliliğinin esas kaynağını oluşturur. Bu kadmiyumun çoğu atmosfere serbest bırakılır ve aynı zamanda PVC plastikleri, eski lastikler, metal artıkları, fosil yakıtların yakılması, atmosferik kadmiyum miktarının artmasına neden olmaktadır. Atmosfere ulaşan kadmiyum çok çabuk oksitlenerek kadmiyum oksit haline dönüşür ve serpinti yoluyla tekrar yeryüzüne döner. Bitkiler tarafından ise süper fosfat gübrenmesi sonucunda alınabilmektedir (Şerifoğlu, 1993).

#### **1.6.7. Kurşun**

Kurşun, gerek düşük erime noktası ve gerekse dayanıklılığı nedeniyle günümüz endüstrisinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Zamanımızda en fazla akümülatör yapımında kullanılmaktadır. İkinci olarak ise benzine, motor vuruntusunu önlemek için farklı tetra alkil kurşun bileşiklerinin ilave edilmesidir. Su borularının çoğu da kurşundan yapılmaktadır. Kurşun, hava, su ve topraktan bitki ve hayvanlara, gıda

zincirinin bir gereği olarak da bunları tüketen insanlara geçmektedir. Havadaki kurşun, genellikle bitkilerin yenebilen kısımları ve yapraklarında toplanmakta veya çiçeklerin içinde hapsedilmektedir (Şerifoğlu, 1993).

#### **1.6.8. Kobalt**

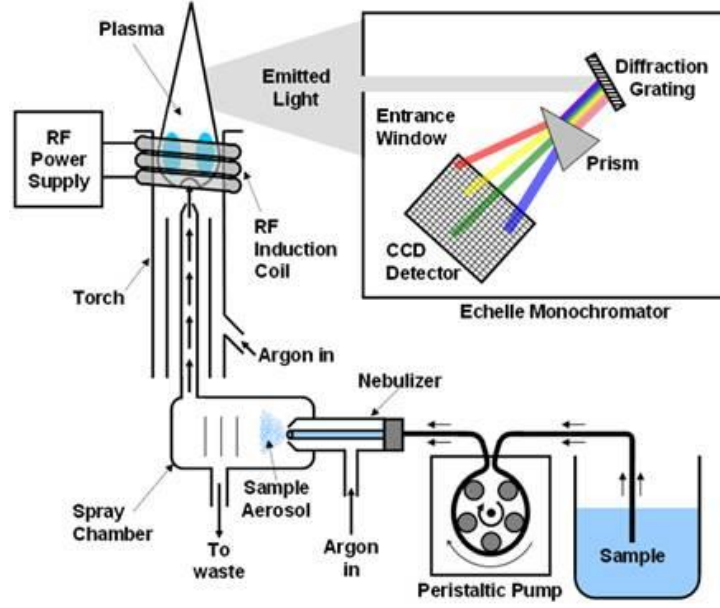
Kobalt stratejik ve endüstriyel uygulamalarda ve askeri alanda önemli kullanım alanlarına sahiptir. Kobalt, en çok süper alaşım olarak jet motor türbinlerinde kullanılırken, malzemelere manyetiklik özelliği kazandırma, korozyondan korunma ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla alaşımlarda, yüksek hız çeliklerinde, takım çeliklerinde, elmas takımlarında ve kesici uçlarda alaşım elementi olarak da kullanılır. Bileşikleri ise petrol ve seramik endüstrisinde katalizör ve boyalarda pigment, mürekkep ve verniklerde kurutma maddesi olarak kullanılır. Ayrıca pil elektrotlarında, her tip manyetik malzemelerde ve kayıt cihazlarında kullanılmaktadır (Kartal vd.,2004).

#### **1.6.9. Nikel**

Toprakta eser element olarak bulunan nikel, demir ve alüminyum silikatların latisinde yer almaktadır. Çoğunlukla sülfat ve oksitler halinde bulunan ve yeryüzünde bulunma sıklığı 24. sırada olan nikelin ortalama konsantrasyonu % 0.008'dir. Toplam rezerv  $130 \times 10^6$  ton olarak tahmin edilmektedir (Habashi, 1997). Nikele maruz kalan kişilerde, sağlıklı insanlara göre burun kanseri riski 150 kez, akciğer kanseri riski ise 5 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Nikel karbonille zehirlenmede, baş ağrısı, baş dönmesi, kusma, göğüste sıkışma, öksürük, soğuk ter, bilinç kaybı, görülen semptomlardır (Akyüz, 1997).

#### **1.7. ICP-OES Çalışma Prensibi**

Plazma, gaz halindeki iyon akımı olarak tanımlanabilir. Kolay iyonlaştırılabilmesi ve inert olması nedeniyle, ICP tekniğindeki plazma, argon gazı ile oluşturulur. Çok çeşitli yöntemlerle plazma oluşturmak mümkün olmakla beraber bu yöntemde elektromanyetik olarak, argon gazının indüksiyon sarımlarında bir radyo frekans (rf) jeneratörü ile etkileştirilmesiyle elde edilir.



**Şekil 8.** ICP-OES temel bileşenleri

Şekil 8’de görüldüğü gibi, örnek çözeltisi argon gazı ile birlikte silindirik bir kuvarz tüp içinden plazmaya pompalanır. Plazmayı oluşturacak argon gazı çapı bu silindirik tüpten biraz daha büyük olan ikinci bir kuvarz silindirin içinden geçirilir. Dış silindirin uç kısmına değişik sayıda indüksiyon sarımı sarılır ve bu sarımlar bir radyo frekans jeneratörüne bağlanır. Dıştaki silindirin ucunda, radyofrekans jeneratöründen gelen ve indüksiyon sarımlarından geçen akım nedeniyle bir elektromanyetik alan oluşur. ICP cihazlarında frekans 27 MHz’dir. Argon gazı akımında ilk elektronların oluşturulması, bir elektron kaynağı ile sağlanır ve elektronlar, indüksiyon sarımının oluşturduğu manyetik alanda hızlanarak, argon atomları ile çarpışırlar ve argon iyonları daha fazla sayıda elektronun oluşmasını sağlar. Bu işlemin tekrarlanması ile ortam sıcaklığı 6000–10000 K ( $+273 = 0C$ ) arasında değişen bir sıcaklığa ulaşır. Plazmanın içine giren örnek çözeltisi, atomlaşır ve uyarılır. ICP yönteminin üstünlükleri; yüksek sıcaklıklara ulaşabilmesi, örnek çözeltisinin plazma içerisinde oldukça uzun alıkonma süresine sahip olması ve atomlaştırma ve uyarma işlemlerini inert bir kimyasal çevrede gerçekleştirmesidir (Yıldız ve Genç, 1993).

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Materyal**

#### **2.1.1. Bal Örneklerinin Toplanması**

Çalışmada incelenen 20 bal örneğinin 16'sı Rize'nin Ardeşen, Fındıklı, Güneysu, İkizdere, Hemşin ve Pazar ilçelerinden; geri kalan 4'ü ise Ankara, Erzurum ve Batum (Gürcistan)' dan alınmış olup 2010-2013 yılları arasında hasat edilmiştir.

Ağırlıklı olarak orman gülü ve kestane içeren ballar, direkt olarak üreticiden alınarak ölçümler için hazırlanmıştır.

Bal örneklerinin numarası ve balın alındığı yer Tablo 2'de verilmiştir.



**Tablo 2.** Bal örneklerinin alındığı yerler

<b>Örnek</b>	<b>Alındığı yer</b>
1	Ardeşen, Rize
2	Ardeşen, Rize
3	İkizdere, Rize
4	Güneysu, Rize
5	Ardanuç, Artvin
6	İkizdere, Rize
7	Hemşin, Rize
8	Ardeşen, Rize
9	Pazar, Rize
10	Güneysu, Rize
11	Çayeli, Rize
12	Çamlıhemşin, Rize
13	Fındıklı, Rize
14	Güneysu, Rize
15	İyidere, Rize
16	İkizdere, Rize
17	Batum, Gürcistan
18	Kazan, Ankara
19	İspir, Erzurum
20	İspir, Erzurum

## **2.2. Metod**

### **2.2.1. Gama Analizi İçin Örneklerin Hazırlanması**

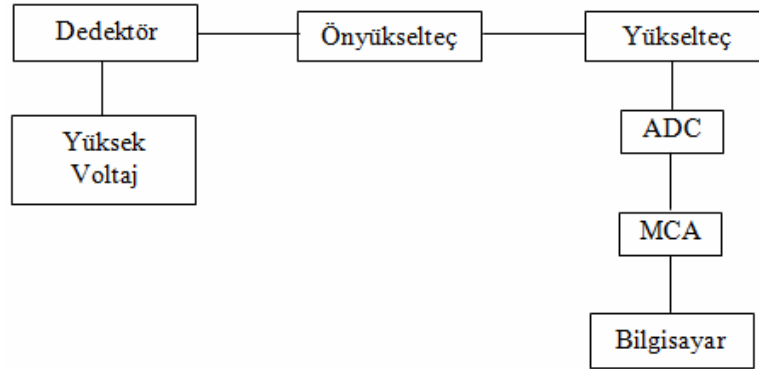
Her bir bal örneğinden 100'er gram tartılarak polietilen silindirik 100 mL'lik kaplara konulmuştur (Şekil 9). Kapların ağzı hava almayacak şekilde bantlanarak ölçümler için bekletilmiştir.



**Şekil 9.** Gama analizi için hazırlanan bal örneği

### 2.2.1.1. Gama Spektrometrik Ölçümler

Her bir bal örneği, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Laboratuvarında bulunan Ortec model GEM55P4-95 marka %55 bağlı verime sahip yüksek saflıkta Ge (HPGe) dedektörlerinde 30000 s sayıma bırakılmıştır. Spektrum alma ve analiz işlemleri çok kanallı analizöre (MCA) sahip bilgisayarda Genie 2000 v3.0 yazılımı kullanılarak yapıldı (Canberra, 2004). Bu çalışmada kullanılan gama spektrometre sisteminin akış diyagramı Şekil 10’da gösterilmiştir.



**Şekil 10.**Gama Spektrometre sisteminin şematik gösterimi

### 2.2.1.2. Enerji Kalibrasyonu

Gama spektrumundaki piklerin hangi enerjideki gamalar olduğunu belirlemek için çok ve farklı enerjili  $\gamma$  piklerine sahip bir kaynak kullanılarak enerji kalibrasyonu yapılır. Buda çok kanallı analizörde (MCA) elde edilen spektrumda, gama enerjilerinin analiz edilebilmesi için, kanalların her birinin hangi enerjiye karşılık geldiğinin

bilinmesini gerektirir. Böylece numunenin spektrumunda bulunan radyoaktif çekirdek türleri enerjilerine bakılarak belirlenebilir.

Gama enerjileri bilinen standart bir gama kaynağına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada enerji kalibrasyonu için bir çok farklı gama enerjisinde gama yayan  $^{152}\text{Eu}$  kalibrasyon kaynağı kullanıldı.  $^{152}\text{Eu}$  kaynağına ait bilgiler Tablo 3’de verilmiştir.

Enerji kalibrasyonu için, dedektör önüne konulan  $^{152}\text{Eu}$  standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara geldiği tespit edildi.

Enerji kalibrasyonu için, dedektör önüne konulan  $^{152}\text{Eu}$  standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara geldiği tespit edildi. Kalibrasyon eğrisinden enerji-kanal sayısı ilişkisi program tarafından fitlenerek kayma olup olmadığı sık sık kontrol edilmiştir.

**Tablo 3.**  $^{152}\text{Eu}$  kaynağının özellikleri

$^{152}\text{Eu}$ ( $T_{1/2} = 13.516$ y )		
$E_\gamma$ (keV)	$I_\gamma$ %	Gama/s
121.8	28.4	30719.65
244.7	7.5	8123.40
344.3	26.6	28772.63
411.1	2.2	2412.14
444.0	2.8	3050.33
778.9	13.0	1406.81
964.1	14.6	15792.50
1085.8	10.2	11043.93
1112.1	13.6	14710.82
1408.0	20.8	22498.90

### 2.2.1.3. Verim Kalibrasyonu

Dedektörün saydığı gama sayımlarının detektöre gelen gerçek gama sayısını belirleyebilmek için detektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gereklidir. İlgilenilen enerjilerdeki detektör verimleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \frac{N}{AI_\gamma \%} \quad (2.1)$$

$\varepsilon$  ; HPGe dedektörünün ilgilenilen gama enerjisindeki verimi,

$N$ ; ilgilenilen enerjideki toplam sayım hızı (sayım/zaman),

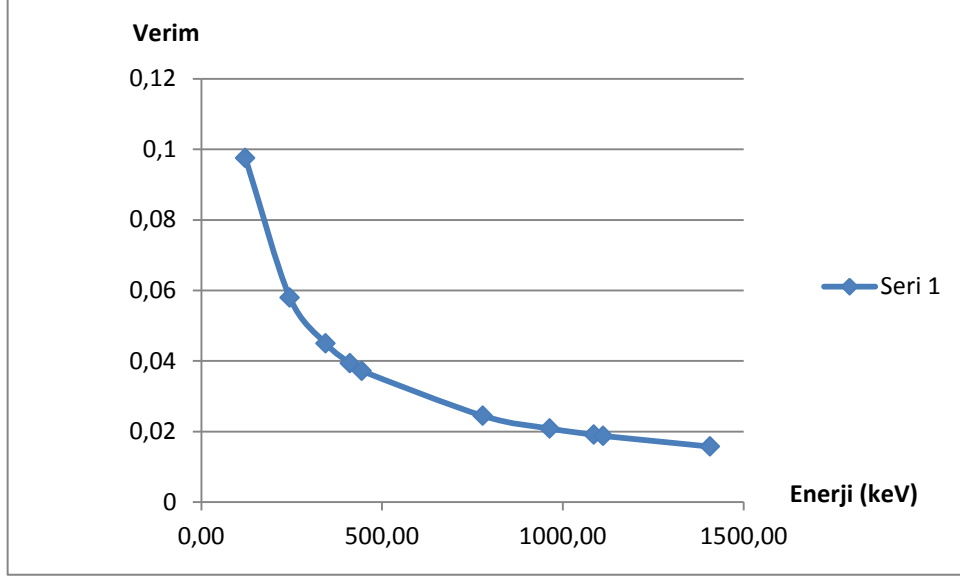
$A$ ; verim kalibrasyonu için kullanılan standart kaynağın o anki aktivitesi (boz/s),

$I_\gamma$  % ; gama ışınının bolluğu'dur.

Böylece farklı gama enerjileri için hesaplanmış olan verim değerlerinin (Tablo 4) ilgili gama enerjilerine karşı Excel yazılımında grafiği (Şekil 11) çizdirilerek eğri denklemi (2.2) elde edilmiştir.

$$\text{Verim} = 3.2918 x^{-0.732}$$

(2.2)



**Şekil 11.** Verim değerlerinin enerjilere göre değişimi

**Tablo 4.** Standart kaynağın gama enerjilerindeki dedektörün verim değerleri

E (KeV)	Verim
121.8	0.09789
244.7	0.05874
344.3	0.04575
411.1	0.040181
444.0	0.037979
778.9	0.025169
964.1	0.021531
1085.8	0.019736
1112.1	0.019393
1408.0	0.016318

#### 2.2.1.4. Minimum Dedeksiyon Limiti

Minimum dedeksiyon limiti, belli koşullar altında ölçüm sisteminin dedeksiyon kapasitesini ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Minimum Dedeksiyon Limiti (MDL) için kullanılan ifade denklem 2.3'te verilmiştir (IAEA, 1989).

$$MDL = 4.66\sqrt{\text{Background}} / t \cdot Y \cdot m \cdot \eta \quad (2.3)$$

Burada Background; arkaplan radyasyon değeri, t; sayım zamanı, Y; bolluk, m; kütle ve  $\eta$ ; fotopiktteki verimdir.

Çalışmada kullanılan dedektörün minimum dedeksiyon limit değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Detektörle algılanan radyonüklidlerin minimum dedeksiyon limit değerleri

Radyonüklid	Enerji (KeV)	MDL (Bq/Kg)
Cs-137	661.66	0.00
K-40	1460.1	0.23

### 2.2.2. Ağır Metal Analizi için Bal Örneklerinin Hazırlanması

Gama analizinden sonra her bir bal örneği, ağır metal analizi için çözme işlemine tabi tutulmuştur.

Bal örnekleri, porselen krozelere alınarak 120 °C' de etüvde 12 saat yakıldı. Etüvden alınan örnekler, kül fırınında 260 °C'de 12 saat bekletildi. Her bir örnekten 1g tartılarak cam behere alındı ve üzerine 10 mL % 65 lik HNO<sub>3</sub> ilave edildi. Isıtıcıda HNO<sub>3</sub> ün buharlaşması için beklenerek kalan çözelti santifrj tüplerine alınarak 15 mL ye tamamlanması için % 1 lik HNO<sub>3</sub> ilave edildi. Örnekler 3000 rpm de 20 dakika santifrj edildikten sonra kalan çözelti 25 mL lik balon jojelere aktarıldı. Daha sonra % 1 lik HNO<sub>3</sub> ile 25 mL ye tamamlandı ve saklama kaplarına konularak ICP-OES cihazında sayılmak üzere buzdolabında saklandı.

Bal örneklerinin içerdiği ağır metallerin incelenmesi için Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin-Elmer Optima 7000 DV ICP-OES cihazı kullanılmıştır.

## 2.3. Hesaplanan Radyasyon Parametreleri

### 2.3.1. Aktivite Konsantrasyonu

<sup>137</sup>Cs ve <sup>40</sup>K radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonlarını belirlemek için gama-ışını analiz yapılmıştır. <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonu doğrudan gama ışını spektrumundaki pikten Denk. (2.4) kullanılarak tayin edilmiştir.

$$A(\text{Bq/kg}) = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayma Süresi} \times \text{Verim} \times \text{Dallanma Oranı} \times \text{Kütle}} \quad (2.4)$$

### 2.3.2. Soğurulan Gama Doz Hızı (D)

Yüzeyden 1 m yükseklikteki havada soğurulan gama doz hızını hesaplamak için spesifik aktivite konsantrasyonları belli dönüşüm faktörleri ile çarpılır (UNSCEAR, 2000).

$$D = aC_K + bC_{Cs} \quad (2.5)$$

Burada  $C_{Cs}$  ve  $C_K$  sırasıyla  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  ın Bq/kg biriminde spesifik aktiviteleridir.  $a$  doz oranı,  $^{137}\text{Cs}$  için ( $0.43 \times 10^{-10} \text{ Gy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$ ) ve  $b$ ,  $^{40}\text{K}$  için ( $0.30 \times 10^{-10} \text{ Gy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$ ) olarak alınır.

### 2.3.3. Yıllık Etkin Doz

Soğurulan doz için doz dönüşüm faktörü (DCF) 0.7 Sv/Gy ve dış ortamda maruz kalma faktörü (OF) 0.2, T ise zamanı ifade edecek şekilde ( $8760 \text{ h y}^{-1}$ ) (UNSCEAR, 2000) alınarak yıllık etkin doz aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$AEDE (\mu\text{Svy}^{-1}) = D \times DCF \times OF \times T$$

$$\text{Etkin Doz Hızı (mSv/y)} = \text{Doz Hızı (nGy/h)} \times 8760 \text{ h} \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 10^{-6} \quad (2.6)$$

### 2.3.4. Dış Tehlike İndeksi ( $H_{ex}$ )

Dış tehlike indeksi denklem 2.7 ile hesaplanır.

$$H_{T,r} = \sum (U_i C^r) g_{T,r} \quad (2.7)$$

Burada  $U_i$ , yıllık tüketilen bal miktarı ve  $C^r$  ilgili radyonüklidlerin Bq/kg biriminde spesifik aktiviteleridir.  $g$  ise doz dönüşüm faktörleri olarak alınır. Radyasyon zararının önemsiz olabilmesi için  $H_{ex}$ ' in değeri 1 den küçük olmalıdır (ICRP, 1990).

### 2.3.5. Kanser Risk Faktörü (ELCR)

Bal örneklerinin  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitelerine göre kansere yol açma risk faktörü denklem (2.8) ile hesaplanır.

$$ELCR = AEDE \times DL \times RF \quad (2.8)$$

Burada AEDE, yıllık etkin doz değeri; DL, yaşam süresi; RF ise risk faktörü olarak kullanılır (ICRP, 1990).



### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.1. Gama Spektrometrik Ölçüm değerleri

##### 3.1.1. Bal Örneklerinin Gama Aktivite Konsantrasyonları

Bal örnekleri bölüm 2.2. de anlatıldığı gibi hazırlanarak örneklerde spektrum alma işlemi gerçekleştirildi. Elde edilen spektrumların analizleri yapılarak  $^{40}\text{K}$  (1460 keV) ve  $^{137}\text{Cs}$  (661 keV) radyoizotopların gama radyoaktivite değerleri Tablo 6' da verilmiştir.

**Tablo 6.** Bal örneklerinde gama aktivite konsantrasyonları (Bq/kg)

Örnek	Cs-137	K-40
1	16.22±0.62	73.92±4.92
2	30.85±0.81	147.10±6.92
3	5.83±0.36	70.80±4.45
4	13.52±0.56	46.55±4.86
5	2.52±0.41	13.22±2.90
6	43.30±0.29	129.31±5.34
7	4.57±0.36	33.84±2.43
8	51.44±0.95	83.44±5.37
9	12.10±0.58	84.72±6.19
10	1.28±0.30	49.67±3.86
11	14.97±0.80	46.79±4.74
12	12.22±0.48	48.16±3.76
13	37.20±0.79	74.58±4.33
14	105.09±0.97	168.95±6.77
15	7.13±0.13	160.75±2.07
16	5.85±0.49	76.55±4.76
17	0.00	11.87±1.82
18	0.00	7.12±1.57
19	0.00	20.38±2.35
20	0.00	21.84±2.04
Ortalama	18.20±0.55	68.48± 4.07

Yapılan ölçümler sonucu bal örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değeri  $0 - 105.09 \pm 0.98$  Bq/kg aralığında bulunmuştur. Ortalama  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu  $18.20 \pm 0.55$  Bq/kg değerindedir. İncelenen bal örneklerinden 16'sında  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu  $1.28 \pm 0.30 - 105.09 \pm 0.98$  Bq/kg aralığında iken 17, 18, 19 ve 20 numaralı 4 bal örneğinde  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonuna rastlanmamıştır.

$^{40}\text{K}$  konsantrasyonunun en düşük ve en yüksek değeri  $7.12 \pm 1.57 - 168.95 \pm 6.77$  Bq/kg olarak ölçülmüştür. Ortalama  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonu ise  $68.48 \pm 4.07$  Bq/kg olarak ölçülmüştür.

$^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonunun en yüksek ölçüldüğü 14 numaralı bal örneğinde ( $105.09 \pm 0.97$  Bq/kg),  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonunun da en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Ancak 15 numaralı bal örneğinin  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu düşükken ( $7.13 \pm 0.13$  Bq/kg),  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonunun yüksek olması  $^{40}\text{K}$  ile  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu arasında doğrudan bir ilişki olmadığını göstermektedir.

Bal örneklerinde radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi konusunda daha önce yapılmış çalışmalarla, bu çalışmanın sonuçlarının verildiği Tablo 7 aşağıdadır. Tabloda yazarlar, çalışmanın yapıldığı ülke, çalışmanın yapıldığı tarih ve ölçüm sonuçları yer almaktadır.

**Tablo 7.** Önceden yapılmış çalışmalar ve sonuçları

Kaynak	Çalışmanın yapıldığı yer	Tarih	Bulunan değerler (Bq/kg)	
			<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K
Molzahn, D. and Werthmüller, U., 1993	Almanya	1986-1990	0.5-0.15	
Handa vd., 1996	Çin İtalya Macaristan Japonya Avusturya	1995	0.68-48.53	12.7-211.5
Alexenitser, M.L., Bodnarchuk, L.I., 1999	Ukrayna	1986-1989	0-4430	
Barisic vd., 2002	Hırvatistan Slovenya Avusturya Almanya	1987-1995	1-51	
Devillers vd., 2002	Fransa	1986-1989 2000-2001	1-425 0-2	
Pöschl vd., 2011	Çek Cumhuriyeti	2003-2010	0.208-39.16	2.67-132.02
Bu çalışmada	Türkiye	2010-2013	1.28-105.09	7.12-168.95

Tablo 7'ye göre, bizim çalışmamızda bulunan <sup>137</sup>Cs sonuçları, Molzahn ve arkadaşlarının Almanya'da, Handa ve arkadaşlarının Çin, İtalya, Macaristan, Japonya ve Avusturya'da, Barisic ve arkadaşlarının Hırvatistan, Slovenya, Avusturya ve Almanya'da ve Pöschl ve arkadaşlarının Çek Cumhuriyeti'nde yaptığı çalışmalarda elde edilen sonuçlardan yüksek çıkmıştır.

Bal örneklerimizdeki <sup>40</sup>K sonuçları ise Pöschl ve arkadaşlarının Çek Cumhuriyeti'nde yaptığı çalışmanın sonuçlarından daha yüksek bulunmuştur. Ancak Dünya sağlık örgütüne (WHO) ve Uluslararası Atom Enerjisi Kurumuna göre (IAEA) bulunan sonuçlar insan sağlığını olumsuz etkileyecek sınır değerlerin çok aşağısındadır.

Bu kuruluşlar tarafından sınır değerler 1000 Bq/Kg olarak belirlenmiştir (IAEA, 1996; Codex, 1995).

Bulunan sonuçların teyit edilmesi açısından Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na bağlı Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinde ölçümler tekrarlanmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Tablo 8'de, bal örneklerinin Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinde ve RTEÜ Nükleer Fizik Lab.da ölçümleri sonucu elde edilen değerleri verilmiştir.

**Tablo 8.** Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinde ve RTEÜ Nükleer Fizik Lab.da bulunan sonuçlar

Örnek no	ÇNAEM'de		RTEÜ Nükleer Fizik Lab.'da	
	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K
12	14.88±1.12	65.37±2.03	12.22±0.48	48.16±3.76
14	124.29±6.02	202.17±7.33	105.09±0.97	168.95±6.77

### 3.1.2. Bal Örneklerinin Soğrulan Doz Hızı

Bal örneklerinin gama aktivite konsantrasyonları belirlendikten sonra bölüm 2.3.2 de anlatıldığı şekilde denklem 2.5 kullanılarak her bir bal örneği için soğrulan gama doz hızı hesaplanmış ve Tablo 9'da verilmiştir.

**Tablo 9.** Bal Örneklerinin Soğrulan Doz Hızı

Örnek	Doz hızı (D)(nGy/h)
1	3.67
2	7.25
3	3.22
4	2.41
5	0.64
6	6.86
7	1.59
8	5.13
9	4.01
10	2.17
11	2.46
12	2.44
13	4.32
14	10.42
15	7.13
16	3.47
17	0.51
18	0.31
19	0.88
20	0.94
Ortalama	3.49

Bal örneklerinin soğrulan doz hızı hesaplandığında en düşük ve en yüksek değerin 0.31-10.42 (nGy/h) olduğu görülmüştür. En düşük doz hızına sahip örneğin en düşük  $^{40}\text{K}$  ile  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonuna sahip olan 18 numaralı örnek olduğu; en yüksek doz hızına sahip bal örneğinin ise en yüksek  $^{40}\text{K}$  ile  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonuna sahip olan 14 numaralı örnek olduğu görülmüştür.

### 3.1.3. Bal Örneklerinin Yıllık Etkin Doz değeri

Bal örneklerinin gama aktivite konsantrasyonları belirlendikten sonra bölüm 2.3.3 de anlatıldığı şekilde denklem 2.6 kullanılarak her bir bal örneği için yıllık etkin doz değerleri hesaplanmış ve Tablo 10'da verilmiştir.

**Tablo 10.** Bal Örneklerinin Yıllık Etkin Doz değeri

Örnek	Yıllık etkin doz değeri(AEDE)
	( $\mu$ Sv/y)
1	4,50
2	8,89
3	3,95
4	2,95
5	0,79
6	8,41
7	1,95
8	6,29
9	4,91
10	2,67
11	3,02
12	2,99
13	5,30
14	12,78
15	8,74
16	4,25
17	0,63
18	0,38
19	1,07
20	1,15
Ortalama	4,28

Bal örneklerinin yıllık etkin doz değeri hesaplandığında en düşük ve en yüksek değerin 0.38-12.78 ( $\mu\text{Sv/y}$ ) olduğu görülmüştür. En düşük yıllık etkin doz değerine sahip örneğin en düşük  $^{40}\text{K}$  ile  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonuna sahip olan 18 numaralı örnek olduğu; en yüksek yıllık etkin doz değerine sahip bal örneğinin ise en yüksek  $^{40}\text{K}$  ile  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonuna sahip olan 14 numaralı örnek olduğu görülmüştür.

#### **3.1.4. Bal Örneklerinin Dış Tehlike İndeksi**

Bal örneklerinin gama aktivite konsantrasyonları belirlendikten sonra bölüm 2.3.4'te anlatıldığı şekilde denklem 2.7 kullanılarak her bir bal örneği için yıllık etkin doz değerleri hesaplanmış ve Tablo 11'de verilmiştir.

**Tablo 11.** Bal Örneklerinin Dış Tehlike İndeksi

Örnek	Dış Tehlike İndeksi (Sv/y) ( $10^{-6}$ )
1	0,71
2	1,38
3	0,54
4	0,49
5	0,12
6	1,45
7	0,28
8	1,27
9	0,72
10	0,34
11	0,51
12	0,48
13	1,01
14	2,58
15	1,13
16	0,58
17	0,08
18	0,05
19	0,13
20	0,14
Ortalama	0,70



Bal örneklerinin dış tehlike indeksi hesaplandığında en düşük ve yüksek değerin 0.05-2.58 ( $\mu\text{Sv/y}$ ) olduğu görülmüştür. En düşük yıllık etkin doz değerine sahip örneğin en düşük  $^{40}\text{K}$  ile  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonuna sahip olan 18 numaralı örnek olduğu; en yüksek yıllık etkin doz değerine sahip bal örneğinin ise en yüksek  $^{40}\text{K}$  ile  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonuna sahip olan 14 numaralı örnek olduğu görülmüştür. Bal örneklerinin tamamında dış tehlike indeksi 1 den küçük olarak bulunmuştur.

### **3.1.5. Bal Örneklerinin Kanser Risk Faktörü**

İnsan yaşamı boyunca bal tüketerek kanser olma riskinin ne kadar olduğunu ifade eden bu kavram, bölüm 2.3.5 de anlatıldığı gibi denklem 2.8 ile hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 12’de verilmiştir. Hesaplamalarda insan ömrü 70 yıl olarak ve risk faktörü 0.05 olarak alınmıştır (ICRP, 1990).

**Tablo 12.** Bal Örneklerinin Kanser Risk Faktörü

Örnek	Kanser Risk Faktörü (10 <sup>-3</sup> )
1	0,002
2	0,003
3	0,001
4	0,001
5	0,000
6	0,003
7	0,001
8	0,002
9	0,002
10	0,001
11	0,001
12	0,001
13	0,002
14	0,004
15	0,003
16	0,001
17	0,000
18	0,000
19	0,000
20	0,000
Ortalama	0,001

70 yıl ömrü olan bir insanın, incelenen bal örneklerini tüketerek kansere yakalanma riski Tablo 12’de verilmiştir. Görüldüğü gibi sonuçlar çok düşük olmakla beraber en yüksek sonuç, en yüksek  $^{40}\text{K}$  ile  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonuna sahip olan 14 numaralı örnekte bulunmuştur.

Hesaplanan tüm parametrelere bakıldığında, belirlenen sınır değerlerin altında kaldığı ve insan yaşamı için herhangi bir risk oluşturmadığı belirlenmiştir.

### 3.2. ICP-OES Ölçüm Değerleri

Çalışmamızda, 18 farklı bal örneğinin ağır metal içerikleri araştırılmış olup bal örneklerinin alındığı yerleri gösteren Tablo 13 aşağıda verilmiştir.

**Tablo 13.** Bal örneklerinin alındığı yerler

Örnek	Alındığı Yer
1	Ardeşen, Rize
2	Fındıklı, Rize
3	Ardeşen, Rize
4	İyidere, Rize
5	Pazar, Rize
6	Çamlıhemşin, Rize
7	Hemşin, Rize
8	Kazan, Ankara
9	Çayeli, Rize
10	İspir, Erzurum
11	Güneysu, Rize
12	Ardeşen, Rize
13	Ardanuç, Artvin
14	Batum, Gürcistan
15	İyidere, Rize
16	İkizdere, Rize
17	Güneysu, Rize
18	İkizdere, Rize

Bal örneklerinde krom, mangan, demir, bakır, çinko, kadmiyum, kurşun, kobalt ve nikel (Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Co, Ni) içerikleri ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 14’de gösterilmiştir.

**Tablo 14.** Bal örneklerinin ağır metal konsantrasyonları ( $\mu\text{g/g}$ )

Metaller	Min $\pm$ S.hata	Maks. $\pm$ S.hata	Ortalama $\pm$ S.hata
Cr	0.004 $\pm$ 0.0003	0.029 $\pm$ 0.0003	0.007 $\pm$ 0.0004
Mn	0.023 $\pm$ 0.0000	3.898 $\pm$ 0.0136	0.603 $\pm$ 0.0084
Fe	0.160 $\pm$ 0.0008	0.693 $\pm$ 0.0024	0.424 $\pm$ 0.0026
Cu	0.044 $\pm$ 0.0004	0.116 $\pm$ 0.0007	0.064 $\pm$ 0.0086
Zn	0.771 $\pm$ 0.0004	9.576 $\pm$ 0.0985	3.976 $\pm$ 0.0416
Cd	0.008 $\pm$ 0.0003	0.016 $\pm$ 0.0002	0.011 $\pm$ 0.0002
Pb	0.036 $\pm$ 0.0038	0.185 $\pm$ 0.0065	0.078 $\pm$ 0.0036
Co	0.009 $\pm$ 0.0001	0.013 $\pm$ 0.0005	0.010 $\pm$ 0.0004
Ni	0.018 $\pm$ 0.0016	0.065 $\pm$ 0.0013	0.041 $\pm$ 0.0014

### 3.2.1. Bal Örneklerinde Ölçülen Krom Konsantrasyonları

Çalışmada incelenen bal örneklerinde bulunan krom elementi miktarı Tablo 15’de verilmiştir. Bal örneklerinde ölçülen en düşük ve en yüksek krom konsantrasyonu 0.004 $\pm$ 0.0003-0.029 $\pm$ 0.0003  $\mu\text{g/g}$  aralığında olup ortalama krom konsantrasyonu 0.007 $\pm$ 0.0004  $\mu\text{g/g}$ ’dir. Bal örneklerindeki en düşük konsantrasyona sahip metal kromdur.

**Tablo 15.** Bal örneklerinde ölçülen Krom miktarı

Örnek	Element miktarı ( $\mu\text{g/g}$ ) $\pm$ s.hata
1	0.006 $\pm$ 0.0001
2	0.005 $\pm$ 0.0001
3	0.005 $\pm$ 0.0005
4	0.005 $\pm$ 0.0001
5	0.006 $\pm$ 0.0004
6	0.005 $\pm$ 0.0001
7	0.029 $\pm$ 0.0003
8	0.004 $\pm$ 0.0002
9	0.004 $\pm$ 0.0001
10	0.004 $\pm$ 0.0001
11	0.004 $\pm$ 0.0001
12	0.004 $\pm$ 0.0003
13	0.005 $\pm$ 0.0001
14	0.005 $\pm$ 0.0000
15	0.005 $\pm$ 0.0003
16	0.004 $\pm$ 0.0001
17	0.008 $\pm$ 0.0007
18	0.019 $\pm$ 0.0016

### 3.2.2. Bal Örneklerinde Ölçülen Mangan Konsantrasyonları

Çalışmada incelenen bal örneklerinde bulunan Mangan miktarları Tablo 16’da verilmiştir. Buna göre en düşük ve en yüksek mangan konsantrasyonu 0.023 $\pm$ 0.0000-3.898 $\pm$ 0.0136  $\mu\text{g/g}$  ve ortalama mangan konsantrasyonu 0.603 $\pm$ 0.0084  $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülmüştür.

**Tablo 16.** Bal örneklerinde ölçülen Mangan miktarı

Örnek	Element miktarı ( $\mu\text{g/g}$ ) $\pm$ s.hata
1	0.068 $\pm$ 0.0002
2	0.119 $\pm$ 0.0001
3	0.431 $\pm$ 0.0030
4	0.240 $\pm$ 0.0001
5	0.214 $\pm$ 0.0008
6	0.024 $\pm$ 0.0000
7	0.101 $\pm$ 0.0004
8	0.043 $\pm$ 0.0000
9	0.263 $\pm$ 0.0031
10	0.023 $\pm$ 0.0000
11	0.107 $\pm$ 0.0004
12	0.561 $\pm$ 0.0015
13	0.482 $\pm$ 0.0062
14	1.519 $\pm$ 0.0214
15	0.342 $\pm$ 0.0028
16	0.793 $\pm$ 0.0034
17	3.898 $\pm$ 0.0136
18	1.620 $\pm$ 0.0866

### 3.2.3. Bal Örneklerinde Ölçülen Demir Konsantrasyonları

Çalışmada incelenen bal örneklerinde bulunan Demir miktarları Tablo 17’de verilmiştir. Demir, bal örneklerinde 0.160 $\pm$ 0.0008-0.693 $\pm$ 0.0024  $\mu\text{g/g}$  aralığında ölçülmüş olup ortalama değeri 0.424 $\pm$ 0.0026  $\mu\text{g/g}$ ’dır.

**Tablo 17.** Bal örneklerinde ölçülen Demir miktarı

Örnek	Element miktarı ( $\mu\text{g/g}$ ) $\pm$ s.hata
1	0.068 $\pm$ 0.0002
2	0.160 $\pm$ 0.0007
3	0.340 $\pm$ 0.0007
4	0.253 $\pm$ 0.0024
5	0.214 $\pm$ 0.0022
6	0.284 $\pm$ 0.0019
7	0.531 $\pm$ 0.0022
8	0.375 $\pm$ 0.0019
9	0.370 $\pm$ 0.0007
10	0.357 $\pm$ 0.0032
11	0.346 $\pm$ 0.0030
12	0.303 $\pm$ 0.0021
13	0.639 $\pm$ 0.0024
14	0.658 $\pm$ 0.0058
15	0.581 $\pm$ 0.0004
16	0.640 $\pm$ 0.0033
17	0.678 $\pm$ 0.0006
18	0.669 $\pm$ 0.0118

### 3.2.4. Bal Örneklerinde Ölçülen Bakır Konsantrasyonları

Çalışmada incelenen bal örneklerinde bulunan Bakır miktarları Tablo 18’de verilmiştir. Çalışmamızdaki bal örneklerinde en düşük ve en yüksek bakır konsantrasyonu 0.044 $\pm$ 0.0004-0.116 $\pm$ 0.0007  $\mu\text{g/g}$  ve ortalama bakır konsantrasyonu 0.064 $\pm$ 0.0086  $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülmüştür.

**Tablo 18.** Bal örneklerinde ölçülen Bakır miktarı

Örnek	Element miktarı ( $\mu\text{g/g}$ ) $\pm$ s.hata
1	0,044 $\pm$ 0.0001
2	0,044 $\pm$ 0.0004
3	0,071 $\pm$ 0.0064
4	0,079 $\pm$ 0.0006
5	0,047 $\pm$ 0.0006
6	0,046 $\pm$ 0.0005
7	0,064 $\pm$ 0.0005
8	0,058 $\pm$ 0.0002
9	0,056 $\pm$ 0.0002
10	0,046 $\pm$ 0.0001
11	0,045 $\pm$ 0.0002
12	0,068 $\pm$ 0.0002
13	0,067 $\pm$ 0.0001
14	0,073 $\pm$ 0.0007
15	0,074 $\pm$ 0.0006
16	0,116 $\pm$ 0.0006
17	0,091 $\pm$ 0.0007
18	0,058 $\pm$ 0.0010

### 3.2.5. Bal Örneklerinde Ölçülen Çinko Konsantrasyonları

Çalışmada incelenen bal örneklerinde bulunan Çinko miktarları Tablo 19'da verilmiştir. Bal örneklerinde en düşük ve en yüksek çinko konsantrasyonu  $0.771\pm 0.0004$ -  $9.576\pm 0.0985$   $\mu\text{g/g}$  ve ortalama çinko konsantrasyonu  $3.976\pm 0.0416$   $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülmüştür.



**Tablo 19.** Bal örneklerinde ölçülen Çinko miktarı

Örnek	Element miktarı ( $\mu\text{g/g}$ ) $\pm$ s.hata
1	3,930 $\pm$ 0.0247
2	0,771 $\pm$ 0.0004
3	1,572 $\pm$ 0.0158
4	1,864 $\pm$ 0.0150
5	0,930 $\pm$ 0.0169
6	1,105 $\pm$ 0.0167
7	5,058 $\pm$ 0.1512
8	7,697 $\pm$ 0.0230
9	1,626 $\pm$ 0.0039
10	7,169 $\pm$ 0.0107
11	2,454 $\pm$ 0.0095
12	9,576 $\pm$ 0.0985
13	4,263 $\pm$ 0.0558
14	7,859 $\pm$ 0.0636
15	4,244 $\pm$ 0.0462
16	5,802 $\pm$ 0.0539
17	1,367 $\pm$ 0.0184
18	4,273 $\pm$ 0.1251

### 3.2.6. Bal Örneklerinde Ölçülen Kadmiyum Konsantrasyonları

Yapılan çalışmada incelenen bal örneklerinde bulunan Kadmiyum miktarları Tablo 20’de verilmiştir. İncelenen bal örneklerinde en düşük ve en yüksek kadmiyum konsantrasyonu  $0.008\pm 0.0003$ - $0.016\pm 0.0002$   $\mu\text{g/g}$  ve ortalama kadmiyum konsantrasyonu  $0.011\pm 0.0002$   $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülmüştür.

**Tablo 20.** Bal örneklerinde ölçülen Kadmiyum miktarı

Örnek	Element miktarı ( $\mu\text{g/g}$ ) $\pm$ s.hata
1	0,010 $\pm$ 0.0007
2	0,008 $\pm$ 0.0000
3	0,009 $\pm$ 0.0001
4	0,008 $\pm$ 0.0001
5	0,009 $\pm$ 0.0004
6	0,008 $\pm$ 0.0001
7	0,016 $\pm$ 0.0002
8	0,010 $\pm$ 0.0002
9	0,008 $\pm$ 0.0003
10	0,011 $\pm$ 0.0003
11	0,010 $\pm$ 0.0000
12	0,012 $\pm$ 0.0002
13	0,016 $\pm$ 0.0001
14	0,011 $\pm$ 0.0002
15	0,012 $\pm$ 0.0001
16	0,010 $\pm$ 0.0004
17	0,014 $\pm$ 0.0002
18	0,009 $\pm$ 0.0000

### 3.2.7. Bal Örneklerinde Ölçülen Kurşun Konsantrasyonları

Yapılan çalışmada incelenen bal örneklerinde bulunan Kurşun miktarları Tablo 21'de verilmiştir. Çalışmamızda bal örneklerinde düşük ve en yüksek kurşun konsantrasyonu 0.036 $\pm$ 0.0038-0.185 $\pm$ 0.0065  $\mu\text{g/g}$  aralığında ve ortalama kurşun konsantrasyonu 0.078 $\pm$ 0.0036  $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülmüştür.

**Tablo 21.** Bal örneklerinde ölçülen Kurşun miktarı

Örnek	Element miktarı ( $\mu\text{g/g}$ ) $\pm$ s.hata
1	0,185 $\pm$ 0.0065
2	0,059 $\pm$ 0.0032
3	0,069 $\pm$ 0.0403
4	0,057 $\pm$ 0.0033
5	0,064 $\pm$ 0.0011
6	0,128 $\pm$ 0.0079
7	0,087 $\pm$ 0.0027
8	0,051 $\pm$ 0.0024
9	0,049 $\pm$ 0.0025
10	0,048 $\pm$ 0.0054
11	0,036 $\pm$ 0.0037
12	0,053 $\pm$ 0.0045
13	0,115 $\pm$ 0.0025
14	0,096 $\pm$ 0.0052
15	0,080 $\pm$ 0.0014
16	0,103 $\pm$ 0.0038
17	0,059 $\pm$ 0.0013
18	0,064 $\pm$ 0.0016

### 3.2.8. Bal Örneklerinde Ölçülen Kobalt Konsantrasyonları

Çalışmamızda incelenen bal örneklerinde bulunan Kobalt miktarları Tablo 22’de verilmiştir. Bal örneklerinde düşük en düşük ve en yüksek kobalt konsantrasyonu 0.009 $\pm$ 0.0001-0.013 $\pm$ 0.0005  $\mu\text{g/g}$  aralığında ve ortalama kobalt konsantrasyonu 0.010 $\pm$ 0.0004  $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülmüştür.

**Tablo 22.** Bal örneklerinde ölçülen Kobalt miktarı

Örnek	Element miktarı ( $\mu\text{g/g}$ ) $\pm$ s.hata
1	0,013 $\pm$ 0.0005
2	0,010 $\pm$ 0.0007
3	0,010 $\pm$ 0.0007
4	0,010 $\pm$ 0.0004
5	0,010 $\pm$ 0.0001
6	0,011 $\pm$ 0.0002
7	0,009 $\pm$ 0.0002
8	0,009 $\pm$ 0.0000
9	0,009 $\pm$ 0.0003
10	0,010 $\pm$ 0.0004
11	0,009 $\pm$ 0.0007
12	0,009 $\pm$ 0.0001
13	0,009 $\pm$ 0.0001
14	0,009 $\pm$ 0.0002
15	0,010 $\pm$ 0.0001
16	0,010 $\pm$ 0.0005
17	0,009 $\pm$ 0.0002
18	0,010 $\pm$ 0.0003

### 3.2.9. Bal Örneklerinde Ölçülen Nikel Konsantrasyonları

Çalışmamızda incelenen bal örneklerinde bulunan Nikel miktarları Tablo 23'te verilmiştir. Bal örneklerinde en düşük ve en yüksek nikel konsantrasyonu 0.018 $\pm$ 0.0016-0.065 $\pm$ 0.0013  $\mu\text{g/g}$  aralığında ve ortalama nikel konsantrasyonu 0.041 $\pm$ 0.0014  $\mu\text{g/g}$  olarak ölçülmüştür.

**Tablo 23.** Bal örneklerinde ölçülen Nikel miktarı

Örnek	Element miktarı ( $\mu\text{g/g}$ ) $\pm$ s.hata
1	0,019 $\pm$ 0.0015
2	0,018 $\pm$ 0.0016
3	0,026 $\pm$ 0.0015
4	0,021 $\pm$ 0.0007
5	0,022 $\pm$ 0.0011
6	0,019 $\pm$ 0.0207
7	0,064 $\pm$ 0.0011
8	0,046 $\pm$ 0.0008
9	0,052 $\pm$ 0.0013
10	0,065 $\pm$ 0.0012
11	0,042 $\pm$ 0.0014
12	0,039 $\pm$ 0.0004
13	0,061 $\pm$ 0.0013
14	0,065 $\pm$ 0.0025
15	0,055 $\pm$ 0.0017
16	0,052 $\pm$ 0.0018
17	0,044 $\pm$ 0.0007
18	0,034 $\pm$ 0.0006

Bal örneklerinde ağır metal düzeylerinin belirlenmesi konusunda daha önce yapılmış çalışmalarla, bu çalışmanın sonuçlarının verildiği Tablo 24 aşağıdadır. Tablo 24'te yazarlar, çalışmanın yapıldığı ülke ve ölçüm sonuçları yer almaktadır.

**Tablo 24.** Balda ağır metallerin araştırmasıyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalar

Kaynak	Çalışmanın yapıldığı yer	Element miktarları (µg/g)
Birge, W.J. and Price, D.J., 2001	ABD	Cd 0.704-1.585 Cr 0.009-0.01 Cu 0.08-1.294 Pb 0.983-1.534 Ni 0,098-0.139 Zn 0.309-1.273 Fe 0.983-0.999
Erbilir, F. ve Erdoğan, Ö., 2005	Türkiye	Cd 0.31-0.34 Cu 0.00-0.009 Mn 0.00-0.09 Fe 0.04-1.21
Demirezen, D. ve Aksoy, A., 2005	Türkiye	Cd 0.11-0.18 Cu 0.15-0.66 Pb 0.1-0.85 Ni 0.2-0.8
Leblebici, Z., 2006	Türkiye	Cd 0.098-0.242 Cr 0.093-1.896 Cu 0.0164-0.725 Pb 0.0205-1.506 Ni 0,0378-1.439 Zn 1.293-5.390 Fe 0.572-8.7431
Samimi vd., 2010	Irak ve Türkiye	Cd 0.0271

**Tablo 24**'ün devamı

---

Bizim çalışmamız	Türkiye	Cd 0.008-0.016
		Cr 0.004-0.029
		Cu 0.044-0.116
		Pb 0.036-0.185
		Ni 0,018-0.065
		Zn 0.771-9.576
		Fe 0.160-0.693
		Mn 0.023-3.898
		Co 0.009-0.013

---

Tablo 24'e bakıldığında, bizim çalışmamızdaki bal örneklerinin ağır metal konsantrasyonları daha düşük olarak belirlenmiştir. Lelebici, Kayseri'de toplanan ballarda yaptığı çalışmada Fe, Cr, Pb, Ni, Cd ve Cu konsantrasyonlarını daha yüksek bulmuştur. Bizim çalışmamızda ise Zn ve Mn konsantrasyonları daha yüksek olarak belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnsan sağlığını korumak ve korumaya yönelik önlem almak, bilimsel araştırmaların en öncelikli ve önemli konusudur. Hayatımızda çok önemli bir besin maddesi olarak tükettiğimiz balın içeriğinde radyoaktivite ve ağır metal seviyesinin belirlenmesi ve insan sağlığına etkilerinin araştırılması, bu çalışmada hedeflenmiştir.

Yapılan ölçüm ve değerlendirmeler sonucunda bal örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  ve doğal  $^{40}\text{K}$  radyoizotoplarına rastlanmıştır. Bu sonuç, 1986'da Çernobil'de meydana gelen nükleer kaza sonrası salınan radyoizotopların doğada hala var olduğunu göstermektedir. Kaza sonucunda atmosfere yayılarak etrafa serpiyen  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopu, toprakta birikmekte, toprakta yetişen bitkiye geçmekte ve bitkiden bal yapan arılar tarafından tutularak balın yapısına karışmaktadır.

Farklı bal örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  düzeylerinin farklı olması, balın toplandığı bölgenin toprak ve bitki yapısına bağlı olarak değişmektedir. Örneklerden 4 tanesinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesi ölçülememişken %80'lik kısmında  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin sıfırdan büyük olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ölçülen  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonları, daha önce bu konuda farklı ülkelerde yapılan çalışmalardan daha yüksek bulunmuştur. En yüksek  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu 14 numaralı örnekte 105.09 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu sonuç, uluslararası kuruluşların belirlediği sınır düzeyinden çok düşük olup insan sağlığı açısından herhangi bir tehlike oluşturmayacak düzeydedir.

Bal örnekleri için soğrulan doz hızı, yıllık etkin doz değeri, dış tehlike indeksi ve kanser risk faktörü hesaplanmış olup tüm örnekler için bu değerlerin izin verilen sınır değerlerinin çok altında olduğu görülmüştür.

Arıcılık faaliyetleri yapan bölgenin, toprak ve bitki açısından da radyoaktivite analizlerinin yapılması, ülkemizin radyoaktivite haritası oluşturularak arıcılığın bu haritaya uygun olarak yapılması ve düzenli olarak radyoaktivite düzeylerinin araştırılarak kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Çalışmada ayrıca, bal örneklerinde Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Co ve Ni metal düzeyleri araştırılmıştır. Bulgular ve tartışma bölümünde verilen sonuçlar değerlendirildiğinde, bal örneklerinin ağır metal kirliliğinin, daha önce yapılmış olan çalışmalarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Dünya Sağlık Örgütü tarafından nektarlar ve meyve suları gibi gıdalarda bulunabilecek maksimum element miktarı Tablo 25'te gösterilmiştir (FAO/WHO, 2005).



**Tablo 25.** Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen nektarlar ve meyve suları gibi gıdalarda bulunabilecek maksimum element miktarı

Element	Maximum düzey ( $\mu\text{g/g}$ )
Cd	0.03
Pb	0.3
Fe	15
Cu	5
Zn	5

Bu çalışma kapsamında yapılan ölçümler sonucunda tüm bal örneklerinin, ağır metal içeriği bakımından sağlık riski oluşturmayacak düzeyde olduğu ve belirlenen sınır seviyelerinin altında çıktığı görülmüştür. Yalnız Çinko elementi bakımından 7, 8, 10, 12, 14 ve 16 numaralı örnekler sınır değerinin üzerinde bulunmuştur. Bunun nedeni olarak, Çinko elementinin balın toplandığı ve işlendiği ekipmanlar tarafından bala aktarılmış olması gösterilebilir. Ayrıca arıcılık faaliyetlerinin yerleşim bölgelerinin yakınında yapılması sonucu; endüstri, sanayi, tarım ilaçları vb. unsurlar bal örneklerindeki yüksek Çinko kirliliğinin nedeni olabilir.

Endüstri, trafik, sanayi, yoğun tarım ilaçları kullanımı, çevredeki metal konsantrasyonunu arttırdığından, arıcılık faaliyetleri yerleşim bölgelerinden uzakta yapılmalı ve düzenli aralıklarla ölçümler tekrarlanarak dikkatle takip edilmelidir.

## 5. KAYNAKLAR

- Akyüz, M., 1997.** Van'da Tüketime Sunulan Yerli Ve İnan Ballarının Fiziksel, Kimyasal, Ve Duyusal Niteliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.Y.Ü. Sağ. Bil. Ens, Van, Türkiye, 78.
- Alexenitser M.L., Bodnarchuk L.I., 1999.** Beekeeping products as bioindicators of radioactive contamination in a certain zone, *Apiacta*, 34, 93–96.
- Anonymous, 2005.** Codex Alimentarius Commission Joint FAO/WHO, Food Standards Programme Recommended European-Regional Standard for Honey.
- Barisic', D., Bromenshenk, J.J., Kezic', N. and Vertac'nik, A., 2002.** The Role Of Honey Bees In Environmental Monitoring In Croatia. Taylor and Francis, 160-185.
- Birge W.J. and Price D.J., 2001.** Analysis of Metals and Polychlorinated Biphenyl (PCB) Residues in Honeybees, Honey and Pollen Samples Collected from the Paducah Gaseous Diffusion Plant and Other Areas. Division of Waste Management Kentucky Department for Environmental Protection, Kentucky , ABD.
- Borawska M.H., Kapala J., Hukalowicz K., ve Markiewicz R., 2000.** Radioactivity of honeybee honey, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 64, 617-621.
- Canberra, 2004.** Gamma Acquisition and Analysis, Basic Spectroscopy Software. User Manuel, Canberra Industries, Inc. USA.
- Codex, 1995.** Codex General Standard For Contaminants And Toxins In Food And Feed. Codex standart, 193.
- Demirezen D., Aksoy A., 2005.** Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP- OES) Kullanılarak Bal Örneklerinde Ağır Metal Tayini. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18, 569-575.
- Devillers, J., Doré, J.C., Viel, C., Marengo, M., Poirier-Duchêne, F., Galand, N. and Subirana, M., 2002.** Elemental Analysis of French Acacia Honey. Taylor and Francis, 151-159.
- Eisenbud, M., 1987.** Environmental Radioactivity, Third Edition, ISBN. 0-12-235153, Academic Pres, Inc., London, 265-268.
- Erbilir, F., Erdogrul, Ö., 2005.** Determination of heavy metals in honey in Kahramanmaras city, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 109, 181-187.
- Genç, F., Dadoloğlu, A., 2002.** Arıcılığın Temel Esasları, Atatürk Ü. Ziraat Ofset Tesisi, 233.
- Habashi, F., 1997.** Handbook of Extractive Metallurgy. WILEY-VCH, 1. Baskı, ISBN: 3-527-28792-2, 1997, 309s.

- Handa Y, Hirai Y, Matsubara T and Sakurai H. 1996.** Radioactivity Due to Several Radionuclides Detected in Honey of Different Geographical Origins. American Bee Journal, 307-309
- IAEA, 1989.** Measurement of Radionuclides in food and Environment, 295.
- IAEA, 1996.** International Basic Safety Standatrs for Protection Against Ionizing Radiation and fort he Safety of Radiation Sources, 115.
- ICRP, 1990.** International Commission on Radiological Protection . Age-Depentent Doses to Member of The Public from Intake of Radionuclides. Report 67. Pergamon, Oxford.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal G., Güven A. and Timur S., 2007.** Metallerin Çevresel Etkileri –I. (erişim adresi: [www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf), erişim tarihi: 13.05.2007).
- Kartal, G., Kahvecioğlu, Ö., Güven, A. ve Timur, S., 2004.** Metallerin Çevresel Etkileri-II. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Metalurji Dergisi, 137, 46-51.
- Knoll, F., K., 1999.** Radiation Detection and Measurement. John Willey and Sons. 3rd edition.
- Krane, S. K., 2001.** Nükleer Fizik 1. Cilt Ders Kitabı, Palme Yayıncılık, 1. Baskı, 405.
- Leblebici, Z., 2006.** Kayseri Yöresinde Bulunan Bazı Bal Örneklerinde Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye, 71.
- Molzahn, D. and Assmann-Werthmüller U., 1993.** Caesium radioactivity in Several Selected species of Honey. The Science of the Total Environment, 130-131:95-108
- NCRP, 1987.** Exposure of the population of the United States and Canada from natural background radiation. Report No. 94, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland.
- Porrini C., Sabattini A.G., Girotti S., Ghini S., Medrzycki P., Grillenzoni F., Bortolotti L., Gattavecchio E ve Celli G., 2003.** Honey Bees and Bee Products as monitors of the environmental contamination. Apiacta, 38, 63-70.
- Pöschl M., Pridal A., Duchova I., 2011.** Radioactivity of Honeybee Honey in the Czech Republic. Analele Universitatii din Craiova, Seria Agricultura, 225-230.
- Samimi A., Maymand OE., Mehrtabatabaei S., 2010.** Determination of Cadmium and Arsenic Pollution by Bee Honey Based on the Study on Ja'far abad area from Saveh City from Iran. Water and Geoscience, 199-202.
- Şerifoğlu, G.A., 1993.** Ege bölgesi ballarının bazı ağır metal birikimlerinin saptanması, Doktora Tezi, E.Ü. Fen. Bil. Ens., İzmir, Türkiye.

**Tyler A. N., Carter S., Davidson D. A., Long D. J. and Tipping, R., 2001.** The extent and significance of bioturbation on <sup>137</sup>Cs distributions in upland soils. *Catena*, 43, 81-99.

**UNSCEAR, 2000.** United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation.

**Yıldız, A., Genç, Ö., 1993.** Enstirumental Analiz. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, A-64, Ankara.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Elif ALTEKİN, 12/11/1987' de Rize'nin Ardeşen ilçesinde doğdu. İlk öğretimi Ardeşen Yavuz Selim İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2005 yılında Pazar 75. Yıl İMKB Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fatih Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Rize Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2011 yılında Rize Güneysu Şehit Kemal Mutlu Anadolu Öğretmen Lisesi'nde Fizik öğretmeni olarak göreve başladı. Evliliği sebebiyle 2014 Ağustos'ta İstanbul Kartal Disk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'ne tayin oldu. Halen bu okulda Fizik öğretmenliği görevine devam etmektedir.