T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MALATYA'DA YETİŞEN KAYISILARDA DOĞAL RADYASYON MİKTARI TAYİNİ

Adem ŞA

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MALATYA'DA YETİŞEN KAYISILARDA DOĞAL RADYASYON MİKTARI TAYİNİ

Adem ŞA

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
1.GİRİŞ 1
1.1. Radyasyon 2
1.2.Radyasyon Kaynakları 2
1.2.1. Kozmik ışınlar 3
1.2.2. Karasal ışınım 4
1.3. Doğal ve Yapay Radyoaktivite 5
1.3.1. Kararlı çekirdekler 5
1.3. İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon 7
1.4. Radyoaktif Bozunma Kanunu (Aktivasyon Hesabı) 7
1.5.Bozunma Türleri 11
1.5.1. Alfa bozunumu 11
1.5.2. Beta bozunumu 13
1.5.3. Elektron yakalama 15
1.5.4. Gama bozunumu ($\boldsymbol{\gamma}$) 15
1.6. Gama Işınlarının MaddeTarafından Soğurulması 16
1.7. Gama Işınının Madde ile Etkileşimi 17
1.7.1. Fotoelektrik olay 18
1.7.2. Compton saçılması 19
1.7.3. Çift oluşumu 22
1.8. Doğal Radyoaktif Seriler 24
1.9. Radyasyon Birimleri 28
1.9.1. Aktivite birimi (Bq) 29
1.9.2. Soğurulmuş doz 29
1.9.3. Eşdeğer doz (Rem) 30
1.9.4. Işınlama doz birimi (R) 31
1.10. Radyasyon Ölçümü ve Sayaçları 31
1.10.1. Sintilasyon dedektörü 32
1.10.1.1. Fotoçoğaltıcı tüp 33
1.10.1.2. Organik ve inorganik sintilatörler 34
1.11. Gama Spektroskopisi 35
1.12. Ölçme ve Sayım 39
1.12.1. Spektrum için pik alanı 40
1.12.2. Enerji kalibrasyonu 42
1.12.3. Verim kalibrasyonu 42
1.13. Kayısının (Apricot) Özellikleri 43
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 46
3. METARYAL ve YÖNTEM 49
3.1. Bölgelerin Tanıtılması 49
3.2. Materyal 51
3.3. Yöntem 52
3.3.1. Gama spektrometrik analizler 52
3.4. Kayısı örneklerinin toplanması ve sayıma hazırlığı 53
3.4.1. Ölçme işlemi 55
3.4.2. Ölçmede hata 56
3.4.3. Ölçülebilen en küçük aktivite (MDA) 57

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 58
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 61
KAYNAKLAR 63

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MALATYA'DA YETİŞEN KAYISIDA DOĞAL RADYASYON MİKTARI TAYİNİ

Adem ŞA

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yunus BABUR
Yıl: 2022 Sayfa: 66

Bu çalışmanın amacı Malatya ili Kale, Battalgazi, Akçadağ, Doğanşehir, Pötürge ve Hekimhan ilçelerinde yetişen ve güneşte kurutulmuş kayısılarda bulunan doğal radyasyonun belirlenmesidir. Malatya yöresine özgü olan kayısılar yurt içi tüketimin yanı sıra yurt dışına da ihraç edilmektedir. Bu nedenle Malatya'ya özgü kayısının büyüme aşamasında doğadan ne kadar radyasyon aldığı ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) nın belirlediği belirlediği sınırlar içinde olup olmadığı araştırılmıştır. Bunun için yetiştiricilerden her biri yarım kilogram ağırlığındaki 6 farklı jeolojik bölgeden doğal kuru kayısı örneği alınmıştır. Yeterli kurutmadan sonra numuneler otomatik öğütmeye tabi tutuldu ve ^{40}K, ^{238}U, ve ^{232}Th aktiviteleri bir NaI(Tl) Gama Radyasyon detektörü kullanılarak ölçüldü. Ölçüm sonucunda tüm ilçelerin ^{40}K, ^{238}U, ve ^{232}Th radyoaktivitesinin ortalama değerleri sırasıyla 570.3 Bq/Kg, 10.4 Bq/Kg, ve 2.6 Bq/Kg olarak belirlenmiştir.

ANAHTARKELİMELER: Radyosyon, Doğal radyoaktivite, Kurutulmuş kayısı, Sintilatör, Gama Spektroskopisi

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF THE AMOUNT OF NATURAL RADIATION IN APRICOTS GROWN IN MALATYA REGION

Adem ŞA

Harran University
Graduate School of Natural And Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Yunus BABUR
Year: 2022 Page: 66

The aim of this study is to determine the natural radiation found in dried apricots grown in Kale, Battalgazi, Akçadağ, Doğanşehir, Pötürge and Hekimhan districts of Malatya province and dried in the sun. Apricots, which are unique to the Malatya region, are exported abroad as well as domestic consumption. For this reason, it has been investigated how much radiation Malatya apricot receives from nature during the growth stage and whether it is within the limits set by the International Atomic Energy Agency (IAEA). For this, a sample of natural dried apricots from 6 different geological regions weighing half a kilogram each was taken from the breeders. After sufficient drying, the samples were subjected to automatic grinding and their ^{40}K, ^{238}U, and ^{232}Th activities were measured using an NaI(Tl) Gamma Radiation detector. As a result of the measurement, the average values of ^{40}K, ^{238}U, and ^{232}Th radioactivity of all districts were determined as 570.3 Bq/Kg, 10.4 Bq/Kg, and 2.6 Bq/Kg, respectively.

KEYWORDS: Radiation, Natural radioactivity, Dried apricot, Scintillator, Gamma Spectroscopy

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumu belirlenerek tez çalışmamın yürütülmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yunus BABUR'a, tez çalışmam boyunca bana yol göstermekle birlikte benim cefamı çeken Sayın Dr. Öğretim Üyesi Mehmet KOŞAL'a ve ayrıca beni bu günlere getiren tüm aileme sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Radyasyonun kaynaklara göre dağılımı 3
Şekil 1.2. Proton-nötron kararlılık kuşağı 6
Şekil 1.3. Radyoaktif olan çekirdeğin üstel olarak bozunumu 9
Şekil 1.4. Alfa bozunumu 12
Şekil 1.5. Beta bozumumu 13
Şekil 1.6. Gama Bozunumu 16
Şekil 1.7. Fotoelektrik Olay 19
Şekil 1.8. Compton saçılması 20
Şekil 1.9. Çift Oluşumu 23
Şekil 1.10. γ ışını madde ile etkileşmesindeki enerji bölgelerinin gösterimi 24
Şekil 1.11. U (Aktinyum)'in bozunum serisi 25
Şekil 1.12. U Bozunum Serisi 26
Şekil 1.13. Th Bozunum Serisi 27
Şekil 1.14. Sintilasyon sayacı 33
Şekil 1.15. Foto çoğaltıcı tüp 33
Şekil 1.16. Kristalin enerji bandı: Soldaki NaI, sağdaki NaI(TI) 34
Şekil 1.17. Detektöre giren gama ışınının etkileşme yolları 36
Şekil 1.18. Dedektörün tek enerjili gama ışınları için vereceği cevap 37
Şekil 1.19. Çoklu Compton saçılması sonunda oluşan Compton bölgesi 37
Şekil 1.20. Detektör çevresinde materyale çarpan gama ışınları ve düşük enerji bölgelerinde oluşan pikler 38
Şekil 1.21. Dedektör ve enerji ölçüm sisteminin şematik gösterimi 39
Şekil 1.22. Pik alanının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin gösterimi 40
Şekil 1.23. a.Yaş kayısı , b. Kurutulmuş kayısı .....
Şekil 3.1. Doğanşehir, Akçadağ, Kale, Pötürge, Battalgazi ve Hekimhan ilçelerinin coğrafi konumları. 43
Şekil 3.2. Sintilasyon dedektörü bilgisayar bileşenleri 52
Şekil 3.3. Kayısıların kurultulmuş hali ve öğütülmesi 53
Şekil 3.4. Numunelerin etüvde kurutulması 54
Şekil 3.5. Ölçüm kaplarına konulan kaysı numuneleri 54
Şekil 3.6. Gama spektrumundaki pik alanı hesaplanması 55
Şekil 4.1. Malatyanın ilçelerinin kayısı örneklerinde elde edilen uranyum ve toryum radyoaktivite konsantrasyonları grafikleri 59
Şekil 4.2. Malatya ilçelerinin kayısı numunelerindeki potasyum radyoaktivite konsantrasyon grafiği 60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Radyasyon birimler ve dönüşüm faktörleri ……29
Çizelge 1.2. Taze ve kuru kayısının 100 gramında bulunan besin maddeleri…….45
Çizelge 4.1. Malatya ilçelerinin Kayısı örneklerinde elde edilen radyoaktivite konsantrasyonlar……..……59

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Aktivite
α	Alfa
ADC	Analog Sayısal Dönüştürücü
Bq	Becquerel
β	Beta
UNSCEAR	Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
Ci	Curie
MCA	Çok Kanallı Analizör
E	Dedektör verimi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
Rem	Eşdeğer doz birimi (Eski)
γ	Gama
Gy	Gray
τf	Hızlı bileşen için bozunma sabiti
c	Işıkhızı
Q	Kalite faktörü
M	Kütle (Kg)
μ	Mikro
n	Nano
N_{net}	Net pikalanı
MDA	Ölçülebilen En Küçük Aktivite
PA	ÖnYükseltici
p	Piko
R	Röntgen
T	Sayım süresi(s)
Sv	Sievert
Ram	Soğrulmuş doz birimi (Eski)
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
IAEA	Uluslararası AtomEnerjisiAjansı
SI	Uluslararası Birimler Sistemi
ICRU	Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu
N	Uyarılmış durum sayısı
$t_{1/2}$	Yarılanma süresi
τs	Yavaş bileşen için bozunma sabiti
P_γ	Yayınlanma olasılığı (%)
PC	Yazıcı
HV	YüksekVoltajKaynağı
HPGe	Yüksek Saflıkta Germanyum
MA	Yükseltici

1. GİRİŞ

Yaşamları boyunca tüm canlılar yaşamış olduğu çevrede daima radyasyona maruz kalırlar. Bahsi geçen radyasyon doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır. Yaşam ortamı doğal tabiat olan canlılar yaşadıkları süre boyunca en çok doğal radyasyona maruz kalırlar. Doğal radyasyon kaynakları toprak, içme suyu, hava ve yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar, uzaydan gelen kozmik ışınlar ve yediğimiz gıdalar sayılabilmektedir. Bununla birlikte doğal radyasyon bölgelerin jeolojik yapısı, bulunan yerin deniz sevyesinden yüksekliği ve kimyasal özelliklerine göre farklı olabilir. Yapay radyasyon ise nükleer güç santralleri, endüstriyel çalışmalar ve tıp alanında kullanılan bazı cihazlar sayılabilir. Nükleer reaktördeki kazalar sonucunda meteorolojik olaylardan dolayı başka yerlere taşınan yapay radyoaktif çekirdekler de yapay radyasyon ve topraktaki doğal radyasyona katkı sağlamaktadır. Canlıların maruz kaldığı doz oranı yaklaşık olarak %85'i doğal radyasyona ve yaklaşık olarak %15'i yapay radyasyondan kaynaklanır (Karam ve Leslie, 2005). Doğal radyasyonun oluşmasını sağlayan önemli bir kısmı topraktan gelir. Canlıların maruz kaldığı topraktaki doğal radyasyon ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif seri elementleri ve bunların parçalanma ürünleri sonucunda oluşmaktadır. Bu sebeple doğal radyasyon düzeylerinin duyarlılıkla belirlenmesi, canlıların gelecekteki yaşamlarında karşılaşabileceği tehlikeli sağlık problemlerinin belirlenmesinde faydalı olacaktır.

Yaptığımız bu çalışmada kullanılan kayısılar, Malatya ilinin 6 farklı ilçesinde (Doğanşehir, Hekimhan, Kale, Akçadağ, Battalgazi ve Pötürge) farklı bahçelerde yetişmiş ve Güneş 'te kurutulmuş kayısılardır. Biz, ilgili bölgeye giderek, güneşte kurulmuş kayısı örneklerini üreticilerden satın aldık.

Topladığımız bu numunelerde doğal radyoaktif elementlerin (^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K) radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemek için Şanlıurfa Harran Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında yer alan NaI (TI) sintilasyon dedektörü ile gama spektroskopisi cihazını kullandık. Sonuç olarak, kuru kayısı üzerinden yaptığımız bu çalışma ile bu ilçelerin topraklarının radyasyon kirliği ve insan sağlığı üzerindeki etkisinin olup olmadığı belirlenmiş olacaktır.

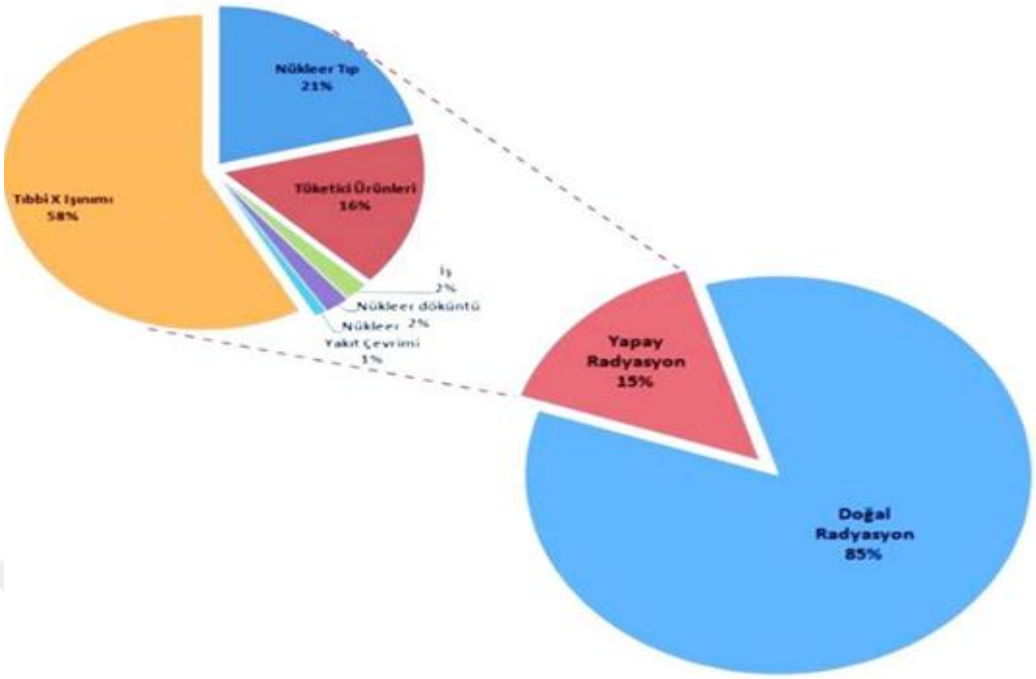
1.1. Radyasyon

Elektronmanyetik dalga ve parçacık olarak enerji yayılımı ve enerji aktarımı Radyasyon olarak isimlendirilir. Genelikle radyasyon, enerji düzeylerine göre düşük ve yüksek enerjili, türlerine göre ise elektromanyatik ve parçacık ve kaynaklarına göre ise yapay radyasyon ve doğal radyasyon olarak tanımlanmaktadır (CNSC, 2012).

Doğadaki elementlerin bir bölümü kararlı bir bülümü de kararsız çekirdeklere sahip ve kararlı olan bir çekirdekteki nötron sayısı n proton sayısı p den daha yüksektir ve yaklaşık n/p oranı 1,5 seviyesinde olup kararlı olan bir çekirdek proton ve nötronları nükleer kuvvetler sayesinde birbirine bağlar ve çekirdek bu kuvvet ile dengelenmiştir. Ama çekirdek kararsız ise birarada kalamaz. Bundan dolayı çekirdek fazla enerjisini salacaktır. n/p oranı hafif izotoplar için 1 ve ağır olan çekirdekler için bu oran büyür. Bu oran farkının açılması çekirdeklerin kararsız olduğu değerlere varılıp ağır ve kararlı çekirdek olan Bizmut (Bi) sahip olduğu fazla enerjisi sebebiyle kararsız olup bunun gibi kararsız olan bu çekirdeklere de radyoaktif veya radyoizotop olarak adlandırılır. Bu çekirdekler sahip olduğu enerjilerini salarak kararlı olmaya uğraşması durumuna radyoaktivite veya radyoaktif bozunma olarak adlandırılır. Herhangi bir müdahaleyle durdurulması mümkün değildir. Bu sebeple kontrol edilemeyen bir olaydır. Üstel bir fonksiyon şeklinde radyoaktivite azalarak tükenir (İskender, 2005).

1.2. Radyasyon Kaynakları

Yeryüzünde yaşayan canlılar toprak, su, hava ve vücutta bulunan doğal radyasyonla insan kaynaklı üretilen yapay radyasyon kaynakları ışınımı etkisinde Şekil 1.1'de radyasyonun kaynaklara göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 1.1. Radyasyonun kaynaklara göre dağılımı(Drury, 2012)

Yeryüzünde yaşayan canlılar, 13.75 milyar yıldır evrende oluşmuş kozmik ışınların etkisi ve 4.6 yıldır Güneş sisteminin oluşumundan beri Dünyanın sismik yapısından kaynaklı doğal radyoaktif maddelerin etkisi altında yaşamaktadır (Drury, 2012).

1.2.1. Kozmik ışınlar

Uzaydan dünyamıza ulaşan yüksek enerjiye sahip parçacıklar sürekli dünyamıza ulaşmaktadır. Bu parçacıkların bir kısmı güneş patlamaları sırasında dünyamıza ulaşmaktadır. Kozmik ışınımlar, atmosfer bileşenlerinin çekirdeği ile etkileşime girerek farklı şekiller de radyasyon üretmekte ve kozmik ışınların kozmojenik olan radyoaktif çekirdekler üretirler. Bu çekirdekler; ^{3}H, ^{7}Be, ^{14}C ve ^{22}Na'dur. Dünyanın atmosferi ile manyetik alanı kozmik radyasyonu azaltmaya çalışırken yeryüzünde bazı yerler, diğer yerlere göre çok fazla kozmik ışın alır (UNSCEAR, 2000). Yaşadığımız dünyanın manyetik alanı ile saptırılan kozmik ışınların yoğunluğu ekvatordan kutuplara gidildikçe ve yer yüzünden yukarılara çıkıldıkça artış göstermektedir.

Kozmik ışınların parçacıklarının enerjileri 10^2 MeV - 10^5MeV arasında değişiklik göstermektedir (Değerliler, 2007). Kozmik ışınların neden olduğu radyasyon deniz seviyesinden yükseklik ile orantılıdır. Yükseklik arttıkça radyasyonun dozu miktarı da artar. Bir gökdelenin 40. katındabulunan bir kişi 4. katta bulunan birisine göre daha fazla kozmik ışınla karşılaşmakta ve kozmik ışınlar binalardan da geçebilirler.

1.2.2. Karasal ışınım

Karasalışınım dünyanın oluşumundan bu yana yerkabuğunda doğal olarak bulunurlar. Bundan dolayı insan vücudu da dâhil olmak üzerekaya, toprak, su, hava yani tüm çevrede bulunmaktadır. Yapı malzemeleri olan taş ve toprak radyoaktivite içerebilir ve canlılar hem bina dışında hem de bina içlerinde de radyasyona maruz kalmaktadırlar. Alınan radyasyon dozmiktarı, bölgedeki yer şekillerine ve binalarda kullanılmakta olan yapı malzemelerine göre değişiklik gösterir.

İnsan vücudunun dışsal kaynaklar ile radyasyona maruz kalması yarı ömrü uzun olan ^{238}U ile ^{232}Th ve ^{40}K çekirdeklerinden açığa çıkan gama radyasyonundan dolayıdır. Buradaki radyoaktif çekirdekler insan vücudunda bulunmakla birlikte gama ışınlarıyla çeşitli organların ışınlanmasına sebep olur ve karasal meydana gelen çekirdekler çevrenin jeolojisine bağlı olmakla birlikte bölgedeki kayaç yapısına göre değişiklik gösterir (Cottingham ve Greenwood, 2001). Magmatik ve tortul kayaçlarda fazla miktarda bulunmakta ve bu türdeki kayaçlar dan havaya, toprağa ve suya geçiş yapar (Wahl, 2010).

Yediğimiz yiyeceklerden, içtiğimiz sıvılardan ve teneffüs ettiğimiz havadan vücudumuza radyoaktif maddeleri alır ve radyasyona sürekli olarak maruz kalırız. İnsan vücudunda bulunan radyoaktif izotopa örnek olarak ^{40}K verebiliriz. Vücudumuzda bulunan doğal radyoizotoplardan maruz kalınan radyasyon dozu yıllık ortalaması yaklaşık olarak 2.4mSv dir. En çok bulunan radyoaktif radyum izotopunun (^{226}Ra) doğal radyasyon seviyesini yükselten önemli faktörlerden biri radon gazıdır. Radon gazı, kaya parçalarının ve tüm toprak yüzeylerinin yanı sıra yapı

malzemelerinden ortamasalınır. Radonun aktivitesi zayıf olduğundan, nefes alındığında dokulardaki çözünürlüğü az olduğu için dokulara kimyasal bir şekilde bağlanmaz. Radon bozunma ürünleri parçacıklara tutunmayoluyla radyoaktif aerosoller oluşturabilir ve bu şekilde taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Dünya genelinde Radon gazından maruz kalınan ortalama doz miktarı 1.3 mSv/yıldır. Karasal ışınımlar dünyanın var olduğundan bu yana radyoaktif çekirdekler olarak bilinmekte ve dünyanın yaşı ile aynı büyüklükteki yarı ömre sahip radyoaktifler bulunmaktadır (UNSCEAR, 2000).

1.3. Doğal ve Yapay Radyoaktivite

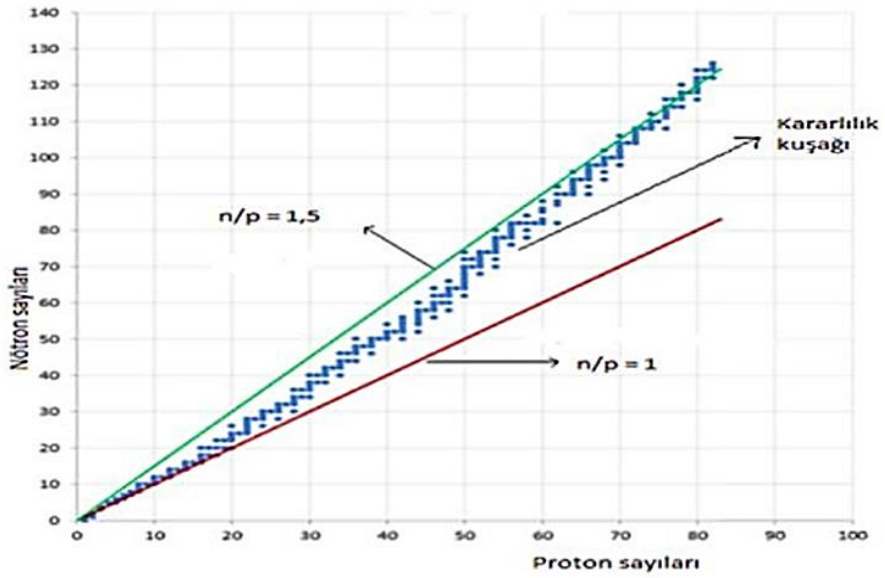
Kararsız çekirdekler kararlı hale geçmek için herhangi bir etki olmadan kendi içerisindeki fazla olan enerjilerini dışarı atan elementlere doğal radyoaktif element ve bu elementlerden fazla olan enerjiyi dışarıya atma olayına ise doğal radyoaktivite olarak adlandırılır. Doğada kararlı durumda bulunmakta olan izotoplar ise doğal olmayan yollarla yani yapay yollarla radyoaktif duruma getirilebilir ve bu olay yapay radyoaktivite olarak isimlendirilir (İskender, 2005).

Günlük hayatta kozmik ışınlardan dolayı etkisinde kalınan radyasyonun dünyadaki ortalama değeri 0.39 mSv/yıl'dır. Kısa ömürlü doğal radyoaktif çekirdeklerin saldığı gama ışınları ile yeryüzünden alınan radyasyon dozunun dünyadaki ortalaması 0.46 mSv/yıl ve doğal radyasyon ile toplam alınan ortalama yıllık doz değeri 2.4 mSv dır (Değerliler, 2007). Doğal radyasyon kaynaklarından yapılan ışımalar kozmik ışınlardan ya da toprakta bulunan doğal radyoaktif izotoplarıdır.

1.3.1. Kararlı çekirdekler

Güçlü nükleer kuvvet çekirdekte proton ve nötronları birarada tutan ve menzili çok az olup (yaklaşık 2 fm) doğada bulunan en güçlü kuvvettir. Proton ve nötronlar arasında etkili olan çekici bir kuvvettir.

Protonlar, çekirdek kuvveti ile birbirini çekerler. Ama Coulomb (elektrostatik) kuvvetinden dolayıda birbirlerini iterler. Şekil.1.2'de gösterilen eğri, nötron sayısına ve proton sayısına bağlı grafiğini gösterir. N=Z olduğunda kararlılık olarak tanımlanmaktadır. Bu kararlılık eğrisinin etrafındaki bölge ise kararlılık bölgesi olarak tanımlanır. N/Z> 1 olduğunda ağır çekirdeklere doğru gidildiği anlaşılmaktadır. Hafif çekirdeklerin daha kararlı olabilmesi için proton ve nötron sayılarının eşit olması gerekir. Ağır olan çekirdeklerde N sayısı Z'den daha büyükse bu çekirdekler daha kararlı ve Z sayısının artmasıyla Coulomb kuvvetinin şiddetinde de artma gözlenir. Sadece çekici kuvvete neden olan nötronlar çekirdeğin kararlı olabilmesi için daha çok nötrona gereksinim duyup ve yüksek atom numaralı elementlerin protonlar arasındaki itme kuvveti büyük miktarda nötron ilave edilmesiyle dengelenemez. Buradaki durum atom numarası (Z=83) değeriyle sınırlı (Serway, 1996) olup $^{209}_{83}Bi$ kararlı olan ağır çekirdek için nötron sayısının atom numarasına (N/Z) oranı yaklaşık 1.5 ve N/Z > 1.5 değerleri için çekirdekler kararlı durumda değildir.



Şekil 1.2. Proton-nötron kararlılık kuşağı (Serway, 1996)

1.3. İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

Yüklü parçacıklar elektromanyetik dalga yayınlar. Elektromanyetik dalganın yayılma doğrutusuna dik elektrik ve manyetik bileşenleri bulunur ve bileşenler birbirlerine diktir. Uzayda bu iki bileşen titreşim yaparak ilerler. Bu bildiğimiz foton olup enerji paketi olarak bilinir. Yeterli enerjiye sahip elektromanyetik dalgalar yüklü parçacıklarla etkileşerek parçacıkların uyarılması ve iyonize olmasına neden olabilir (Ömer, 2021). Belirli kütle ve enerjiye sahip olan hızlı hareket eden parçacıklara parçacık radyasyonu ve belli bir enerjisi fakat kütlesi olmayan radyasyon biçimine de dalga tipi radyasyonu denir. Bu radyasyonlar kendi içinde İyonlaştırıcı ve iyonlaştıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki çeşidi olup çarptığı maddede yüklü parçacıklar oluşturmuyorsa iyonlaçtırıcı olmayan radyasyon ancak çarptığı bu maddede yüklü olan parçacıklar oluşturuyorsa iyonlaştırıcı radyasyon olarak tanımlanır. İyonizasyon herhangi bir madde de ve tüm canlıların vücudunda meydana gelme ihtimali olup bundan dolayı bu iyonlaştırıcı radyasyon türünde önlem alınmadığında bütün canlılar için son derece zararlı olabilecek bir radyasyon türüdür. Doğadaki iyonlaştırıcı radyasyonlar; X ışınları, beta parçacıkları, gama ışınları, nötronlar ve alfa parçacıkları olarak beş guruba ayrılmaktadır (İskender, 2005).

1.4. Radyoaktif Bozunma Kanunu (Aktivasyon Hesabı)

Radyoaktif bozunma olayında yapılmış olan çalışmalar neticesinde radyoaktif bozunma olayının üstel yasaya uyduğu ve bunun adına radyoaktif bozunma yasası denilmiştir. Radyoaktif olan madde içerisideki çekirdeğin hangi zamanda bozunacak olması bilinemediğinden bu radyoaktif bozunum zamanla rastgele gerçekleşen bir olaydır. Bozunum olayında herhangi bir Δt zaman dilimindeki bozunan çekirdeklerin sayısı O andaki N(t) bozunmamış radyoaktif çekirdek sayısı ile orantılıdır. Bunun amacı, N(t)'nin zamana göre değişimlerini bulmaktır. Bu bilgilerden yola çıkarak λ (bozunum/s) bozunma sabitini tanımlandı, sabit atom çekirdeğinin karakteristiğidir ve basınç ya da sıcaklık gibi kimyasal veya fiziksel olaylardan etkilenmemektedir. Kararsız bir çekirdeğin bozunması tamamen rastgele olup ve bir çekirdeğin hangi zaman bozunacağını kesin olarak tahmin edilemez. Bu nedenle herhangi bir anda bir

çekirdek bozunabilir. Böylece t ile t+dt zaman içinde bozunmuş olan çekirdekler dN(t) değeri, t anında radyoaktif çekirdeklerin sayısı N(t) ve dt bozunma zamanı ile orantılıdır.

$$dN(t) \sim N(t).dt \tag{1.1}$$

λ bozunum sabiti orantı olarak alınırsa,

$$dN(t) = -\lambda.N(t).dt \tag{1.2}$$

denklemi kurulabilir.

Radyoaktif olan çekirdekler bozunum hızları farklı ve aynı zamanda her birinin bozunma sabiti (λ) bulunur. Eksi (-) işareti radyoaktif bozunumla çekirdeklerin sayısındaki azalmadır(Henriksen, 2003). Buradaki denklemin çözümü (1.2) eşitliğinin integrali alınarak C bir integrasyon sabiti,

$$N(t) = C.e^{-\lambda t} \tag{1.3}$$

şeklinde bulunur.

t=0 başlangıç anında radyoaktif çekirdeklerin sayısı N_0 ise $C=N_0$ bulunur.

$$N(t)=N_0.e^{-\lambda t} \tag{1.4}$$

Radyoaktif olan bir çekirdeğin yarısının bozunması için geçen süreye yarılanma süresi denir. Eşitlik (1.4)'te $N = N_0/2$ yazılarak yarı ömür,

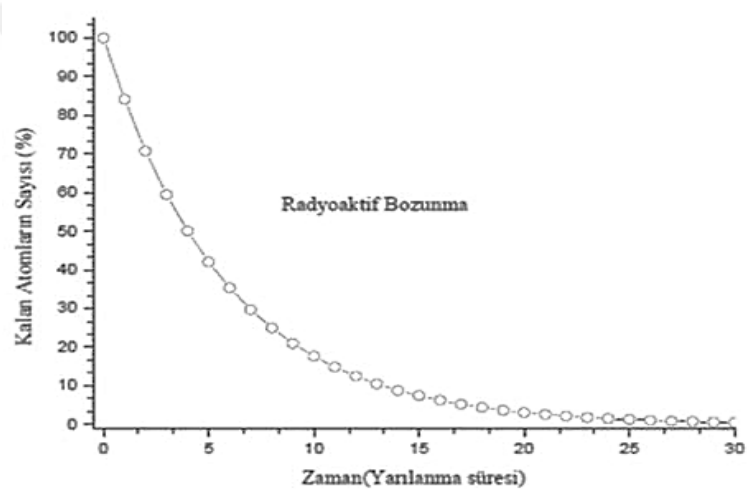
$$t_{1/2} = \frac{ln2}{\lambda} \tag{1.5}$$

Radyoaktif özelliği fazla olan maddeler hızlı ve radyoaktif özelliği az olan meddeler ise geç tükeneceğini gösterir. Radyoaktif çekirdeklerin yarı-ömürleri 10^{19} yıl

ile 10^{-23} saniye arasında değişmektedir (Mueller ve Sherrill, 1993). Radyoaktif bozunma ortalama ömür ile de karakterize edilebilir. Her atom çekirdeği bozunması belli bir süre ve ortalama ömür de tüm çekirdeğin ömürünün aritmetik ortalaması olup τ ile gösterilir ve bozunma sabiti

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \tag{1.6}$$

ile ifade edilir (Yaramış, 1985).



Şekil 1.3. Radyoaktif olan çekirdeğin üstel olarak bozunumu (Gilmore, 2008)

Radyoaktif bozunum yasasınca bozunumdan kalmış olan çekirdek sayısı ve radyoaktif herhangi bir numune örneğindeki radyasyon değeri belirlendiği zaman burada dolaylı yoldan bozunmuş radyoaktif çekirdeklerin adetine ulaşılabilir. Burada numunenin bozunmamış olan çekirdek sayısını ölçmektense t_1 ve t_2 aralığındaki yayınlanan radyasyonları gözlemleyerek bozunumların sayısı ölçülmesi ve t ile $t+\Delta t$ zaman aralığındaki radyoaktif çekirdekteki değişimde ΔN şeklinde adlandırırsak

$$|\Delta N| = N(t) - N(t + \Delta t) = e^{-\lambda t}(1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (1.7)$$

Denklemi çıkarılır. $\Delta t << t_{1/2}$ yani Δt aralığı λ^{-1}'den küçük değere sahip ise;

$$\left(1 - e^{-\lambda \Delta t}\right) = 1 - 1 + \lambda \Delta t = \lambda \Delta t \quad (1.8)$$

Bu ifadeyi (1.7) de yerine yazarsak

$$|\Delta N| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t \quad (1.9)$$

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t \quad (1.10)$$

Aktivite, birim zamanki bozunum adedi olarak tanımlanmaktadır. SI birim sisteminde aktifliğin ölçüm birimi Bq olup saniyedeki bozunum sayısınaeşit olan Bq, diğer aktiflik birimi olan Curie ise bir saniyede 3.7×10^{10} bozunum sayısına karşılık gelmekte ve aktiflik A ile gösterilip, eşitlik (1.10)'dan

$$A(t) = \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1.11)$$

t zamandaki aktivitesi ile bağıntı. Burada,

$$A_0 = \lambda N_0 \quad (1.12)$$

t=0 anındaki aktiviteyi göstermektedir.

Dedektör vasıtası ile numunenin radyoaktivite ölçüm hesaplamaları

$$A = \frac{N}{\varepsilon . P_y . t . m} \quad (1.13)$$

ifadesi ile bulunur (Gilmore, 2008). Eşitlikte

A: Aktivite

N: pik altında kalan net alan

ε: Detektörün verimi (ilgilenilen enerji alanda)

P_y: gama yayınlanma olasılığı

t: sayım zamanı (s)

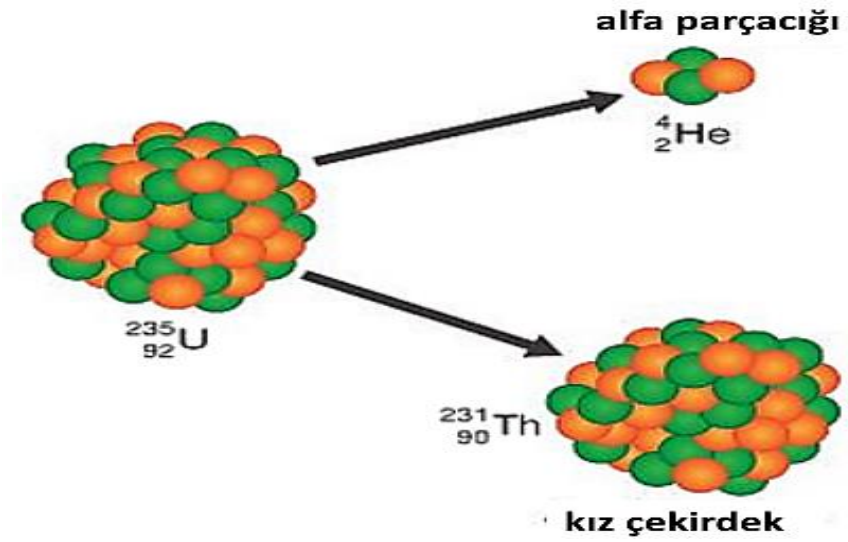
m: Numunenin net kütlesi

1.5. Bozunma Türleri

Bozunma türleri Beta(β), Gama(γ) ve Alfa(α) olmak üzere üçe ayrılır. Kararsız halde bulunan radyoaktif çekirdek α ya da β parçacığı salarak kararlı bir çekirdek olmak ister. Gama buzunumunda ise kütle numarasına bağlı olarak sınıflandırıldığında daha kararlı izobara yaklaşması yani beta ve alfa'dan farklı olarak uyarılmış bir çekirdek değişmeden taban duruma bozunmasıdır.

1.5.1. Alfa bozunumu

İki adet proton ve iki adet nötrondan meydana gelmiş yüklü olan Helyum ($_2He^4$) çekirdeği olan alfa buzunumu (Şekil 1.4) α sembolü ile gösterilir. Alfa bozunumu yapan çekirdeğin parçalanması durumunda atom numarası fazla olan izotoplarda doğal radyoaktif atomlarda genellikle görülür. Alfa parçacıklarını durdurmak çok kolaydır. Çok küçük ka+lınlıktaki maddeler ile durdurulması mümkün. Alfa parçacığı bulundurduğu bu elektrik yükü ile bir madde içinden geçtiğinde bu geçiş yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma enerjisi meydana getirmektedir ve bundan dolayı enerjisini hızlıca kaybetmesini sağlar. Alfa parçacıkları enerjisini hızlıca kaybettiği için erişme uzaklıkları çok kısa olup ve bundan dolayı da dış radyasyon tehlikesi yoktur (İskender, 2005).



Şekil 1.4. Alfa bozunumu (İskender, 2005)

Alfa(α) bozunma denklemi;

$$^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X'_{N-2} + \alpha \quad (1.14)$$

Burada bulunan X, ana çekirdek, X' ürün çekirdeğidir. A; çekirdekteki kütle numarası ve Z; atom numarasını göstermektedir. Bozunma da proton ve nötron sayıları korunur.

Alfa bozunum denklemine göre öncelikli olarak enerji korunumu göz önünde bulundurulmalıdır. Başlangıçtaki enerji X' in $m_x c^2$ durgun kütle enerjisi. Sonunda X' ve α 'yı içermektedir ve her biri hareketlidir. Toplam enerji $m_{x'}c^2 + T_{x'} + m_\alpha c^2 + T_\alpha$ şeklindedir. Buradaki T son parçacıkların kinetik enerjisidir. Enerji korunumundan yola çıkarak

$$m_x c^2 = m_{x'}c^2 + T_{x'} + m_\alpha c^2 + T_\alpha \quad (1.15)$$

$$T_{x'} + T_\alpha = [m_x - m_{x'} - m_\alpha]c^2 \quad (1.16)$$

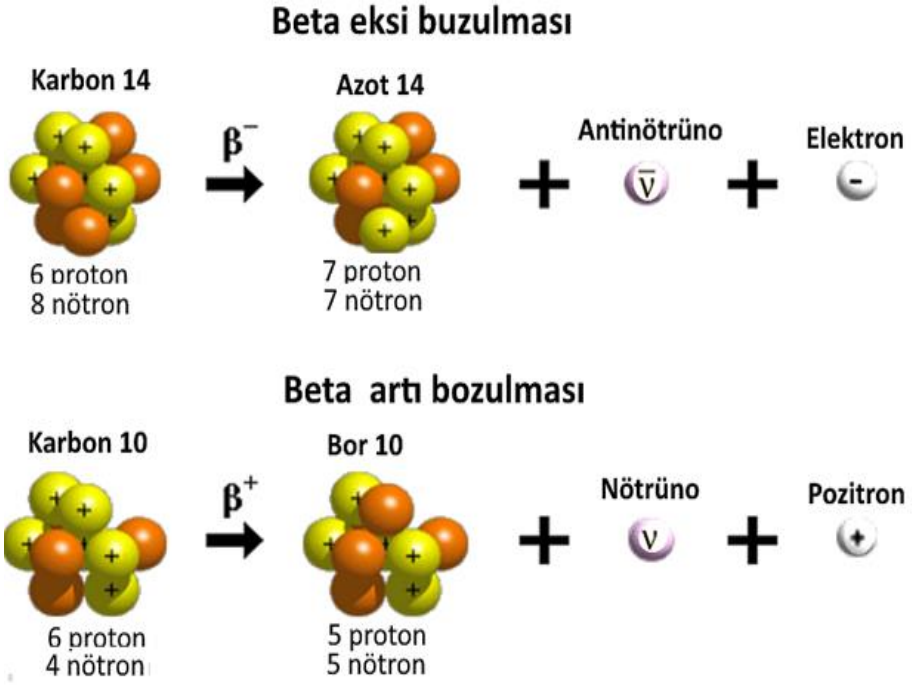
$$Q = T_{x'} - T_a \quad (1.17)$$

$$Q = [m_x - m_{x`} - m_a]c^2 \qquad (1.18)$$

Dış etki olmaksızın kendikendine bozunma olması için Q>0 olmalıdır (Krane, 2011).

1.5.2. Beta bozunumu

Çekirdekte bulunan fazla enerji çekirdeğin içinde bir kütle oluşturup, çekirdekteki birikmiş fazla yükü alır ve dışarıya doğru beta ışınımı olarak atar. Çıkan ışınlar ise negatif ya da pozitif yüklü elektronlar olarak adlandırılır. Burada pozitif yüklü elektronlara β^+ ve negatif yüklü iyonlara da β^- şeklinde gösterilir. Beta bozunumunda çekirdekte bulunmakta olan fazla enerji proton fazlalığından kaynaklanıyorsa β^+, bu enerji nötron fazlalığından dolayı kaynaklanıyorsa β^- olarak meydana gelir (Şekil 1.5). Alfa parçacıkları ve beta parçacıkları belirli bir kütle ve yüke sahip oldukları için madde içinden geçtiklerinde, bu geçtikleri yollar üzeründe iyonlaşma olmaktadır. Beta parçacıklarının iyonlaşmaları alfa parçacıklarının iyonlaşmalarından küçüktür (İskender, 2005).



Şekil 1.5. Beta bozumumu (Krane, 2011)

Temel β bozunma işlemleri,

$p \rightarrow n + e^{+} + \nu$ pozitif β bozunumu (β^{+})

$n \rightarrow p + e^{-} + \nu^{-}$ negatif β bozunumu (β^{-})

$p + e^{-} \rightarrow n$ elektron yakalanması (ε)'dır (Krane, 2011).

β^{-} yayınlanırken bir nötronun bir protona dönüşür ve elektrik yükünün korunmasını sağlar. Yayınlanırken atom numarası bir artar. Bozunum denklemi,

$$n \rightarrow p + e^{-} + \nu^{-} \tag{1.19}$$

$$^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow ^{A}_{Z+1}Y + \beta^{-} \tag{1.20}$$

Burada nötronun radyoaktif dönüşümüsonucu bir elektron, bir nötrino ve bir proton parçacığı oluşur. Nötrino elektrik yükü yokur. Burada bozunma enerjisi ise

$$Q = [m_x - (m_y m_e)]c^2 \tag{1.21}$$

Çekirdeğin kütlesini atomik kütleye çevirmek için Z adet elektron kütlesi eklenirse,

$$Q = [m_x + Zm_e - (m_y + Zm_e + m_e)]c^2 \tag{1.22}$$

$$Q = [m_x - m_y]c^2 \tag{1.23}$$

olur.

β^{+}, pozitron bozunum olarak isimlendirilir ve burada β^{+} bozunması sonucu bir proton, nötrona dönüşerek bu olayda çekirdekteki atom numarası bir azalmaktadır. Bu bozunum denklemi ise,

$$p \rightarrow n + e^{+} + \nu \tag{1.24}$$

$$^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow ^{A}_{Z-1}X' + \beta^{+} \quad (1.25)$$

Bozunma enerji ise;

$$Q=(m_x-\{m_y+m_e\})^2 \quad (1.26)$$

$$Q=(m_x+Zm_e-\{m_y+Zm_e+m_{+e}\})c^2 \quad (1.27)$$

$$Q=[m_x-m_y-2m_e]^2 \quad (1.28)$$

Pozitron parçalanmasındaki enerji, iki elektron kütlesine aynı miktarda enerjiden daha küçüktür. Sebebi ise çekirdekten bir pozitron yayınlanınca atomun nötr kalabilmesinden dolayı dış taraftaki kabuktan bir elektronun çıkmasıdır.

1.5.3. Elektron yakalama

β^+ bozunmasında diğer yöntem ise elektron yakalamasıdır, elektron yakalamada da çekirdeğin en yakın yörüngesinde dolanan elektronun çekirdek tarafından yakalanarak bir protonun bir nötrona dönüşmesidir. Bu bozunum olayında meydana gelen enerji, ana çekirdek ile ürün çekirdeği arasındaki kütlenin farkına denk gelmektedir. Elektron yakalama enerjisi,

$$Q = [m_x-m_y]^2 \quad (1.29)$$

Şeklinde olur. Buradaki enerji β^+ bozunmasında (1.29) enerji iki elektron kütlesinden fazladır (Aybers ve Karasulu, 1980).

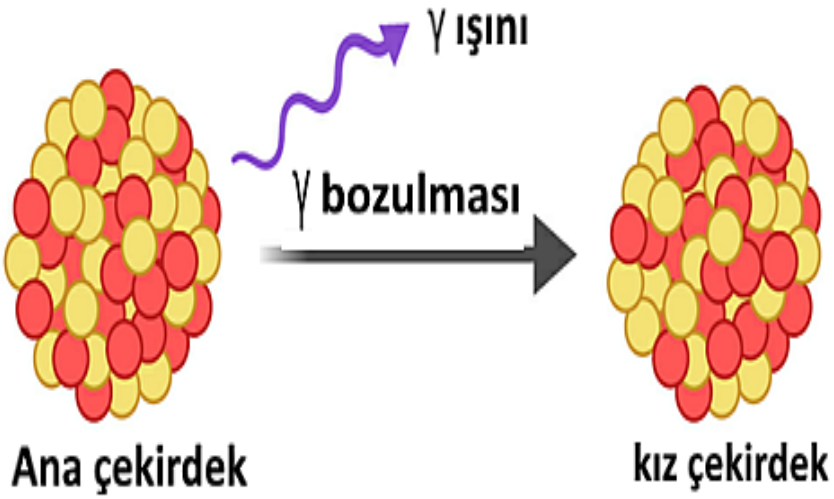
1.5.4. Gama bozunumu (γ)

Gama ışınların γ ile gösterilirler ve kaynak atomun çekirdeğidir. Çekirdeğindeki enerji seviyelerinin farklı olmasından dolayı meydana gelirler. Bir çekirdek α ya da β

parçacığı yayınladığında kararlı halde olmayabilir. Burada bu bozunmadan sonra çekirdek uyarılmış durumunda kalabilir (Şekil 1.6). Bu geriye kalmış olan çekirdeğin enerjisini elektromanyetik radyasyon şeklinde yayınlayarak kararlı hale gelirler. Beta ışınlarına göre gama ışınları daha yüksek enerjili ışınlar olup X ışınları ile gama ışınları alfa parçacıkları ve beta parçacıklarına göre maddenin içerisine etki oranı daha fazladır. İyonlaşma etkilerinde ise daha az ve gama ışınlarının yükleri yoktur bu nedenle manyetik ve elektrik alanda sapmazlar (İskender, 2005). Dalga boyu λ veya frekansı f ile temsil edilen γ ışınları ise E=h.f enerjili fotonlar olup yüksek enerji bandı seviyesinden (E_i) küçük enerji bandı seviyesine (E_f) geçmekte olan bir çekirdekten salınan gama ışın enerjisi ise;

$$E=h.f=E_i-E_f \tag{1.30}$$

E_f durumunda bulunan elektronun temel seviyeye gelmeden önce foton yayınlar (Aybers, N. ve Karasulu, M., 1980).



Şekil 1.6. Gama Bozunumu (Aybers ve Karasulu, 1980)

1.6. Gama Işınlarının MaddeTarafından Soğurulması

Gama ışınlarındaki soğurulmanın özelliği; homojen bir gama ışını demetinin, madde içinden geçtiğinde radyasyonun azalmasıdır.

I_0 şiddetindeki gama ışını Δx kalınlığı olan bir yapı üzerine geldiğinde, ışın yapı içerisinden geçerken değişme (ΔI); kalınlık ve gelen I şiddeti ile doğru orantılı olmaktadır.

$$\Delta I = -\mu . I_0 . \Delta x \tag{1.31}$$

Soğurulma katsayısı olarak orantı sabitine μ denir. Gama ışını fotonlarının hepsi eşit enerjiye sahipise, μ katsayısı x'ten bağımsız ve eşitlik(1.31)'in integrali alınarak

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \tag{1.32}$$

İlk şiddeti I_0 olan bir demetin malzemenin x kalınlığı arasından geçtikten sonra radyasyonunun I şiddetini vermesidir. Şiddet,

$$I = B.h.\upsilon \tag{1.33}$$

Buradaki B akıdır. Yani birim zamanda birim yüzeyden geçen fotonların sayısıdır. E = h.υ bir foton enerjisi olmaktadır. Buna göre eşitlik (1.33),

$$\frac{B}{B_0} = e^{-\mu x} \tag{1.34}$$

1.7. Gama Işınının Madde ile Etkileşimi

Alfa ve beta parçacıklarının madde ile etkileşmesi, gama ışınlarının madde ile etkileşmesinden oldukça farklıdır. Gama ışınları çok büyük bir giriciliğe sahip ve aynı zamanda radyasyon olan gama ışınları ve X ışınları madde içinde karakteristik bir üstel soğurma olur. Alfa ve beta parçacıkları enerjilerini elektronlarla çarpışmalar sonucunda kaybederler böylelikle gittiçe yavaşlayıp tamamen dururlar. Gama ışın demeti, ince soğurucu üzerine geldiğinde demetten foton alır. Bu olay; fotonun soğurulduğu veya dışarısına saçılmasıdır. Δx kalınlığında soğurucu malzemeden geçen fotonların sayısı, Δx kalınlığına ve malzemeye gelenfotonların sayısı ile

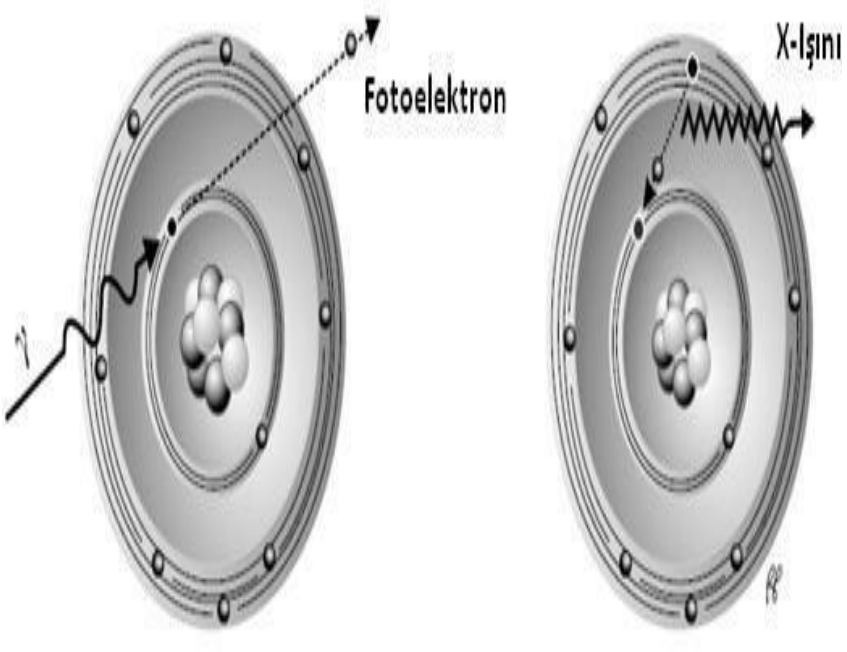
orantılıdır. Gama ışınlarının soğurulmasında üç durum oluşur. Bu durumlar Compton saçılması, fotoelektrik olay, γ ışınları ile birlikte atom çekirdeklerinin elektrik alanları arasındaki karşılıklı etkileşimnde çift oluşumudur (Kaplan, 1965).

1.7.1. Fotoelektrik olay

E=h$\boldsymbol{\nu}$ enerjili foton madde üzerine gönderilir. Bu enerji, elektronun çekirdeğe olan bağlanma enerjisinden (B.E=ϕ eşik enerji) büyükse malzemeyi oluşturan atomdan K enerjili bir elektronun açığa çıkmasına neden olur. Bu elektrona fotoelektron adı denilir (Şekil 1.7). Bu olay, gama ışının malzeme üzerine gönderilmesinde de geçerlidir.

Aşağıdaki şekiller, gelen ışığın enerjisi ile metallerden çıkan elektronların kinetik enerjisi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Atomun çekirdeğine yakın iç yörüngelerde elektron yayınlanması sonucu dış yörüngelerdeki elektronlarından birisi bu daha düşük olan yörüngeye geçer ve bu olayın sonucunda x ışını yayınlanmış olur.



Şekil 1.7. Fotoelektrik Olay (Das ve Ferel, 2003)

Fotoelektrik olayda fotonun enerjisi elektronun kinetik enerjisi ile elektronun bağlanma enerjisinin toplamıdır.

$$E_\gamma = B_e + T_e \tag{1.35}$$

Fotoelektrik olayında X-ışınının enerjisi (keV) büyük bir tesir kesitine sahip olmakla birlikte aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\sigma \approx \frac{Z^5}{(\mathrm{hu})^{\frac{7}{2}}} \mathrm{E}\gamma < m_e c^2 \tag{1.36}$$

$$\sigma \approx \frac{Z^5}{(\mathrm{hu})} \mathrm{E}\gamma > m_e c^2 \tag{1.37}$$

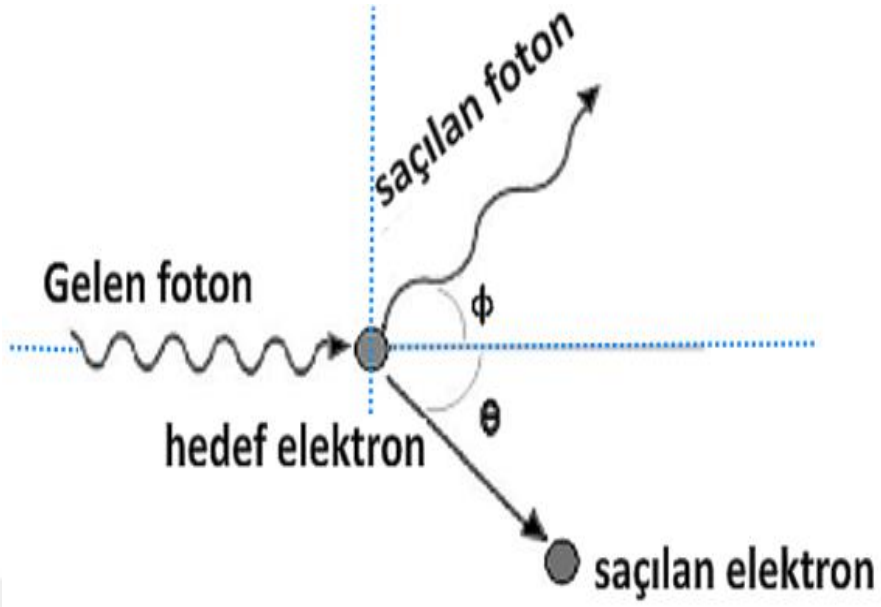
Burada yüksek atom numaralılar için etkileşme mekanizması çok önemlidir (Das ve Ferel, 2003).

1.7.2. Compton saçılması

Yüksek enerjili foton, hedef elektron üzerine gönderilirse, çarpışmadan sonra yeni bir foton meydana gelir ve hedef elektron hareketlenir. Bu olaya compton saçılması denir. Hareketli elektrona eşlik eden dalga boyu:

$$\lambda = \frac{h}{mc}$$

Enerjisi yüksek olan x ışınları fotonu ile hedef atomunun elektronu çarpıştıktan sonra foton ve elektronun saçılması olayına comton saçılması denir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Compton saçılması (Kaplan, 1965; Taylor, ve ark. 2004)

1900 'lü yıllarından sonra X ışınlarının madde ile etkileşimi hızla araştırılmaya başlanmış ve dalga boyu bilinen bir X ışınının atomlar ile etkileşime girdiği ve gelen X ışınlarının θ açısı ile farklı bir dalga boyunda saçılmış olarak görülür. Klasik fizikteki elektromanyetizmaya da dağınık olan ışınların dalga boyu ilk dalga boyuna eşit olması tahmin edilip çok sayıda deney ile dağınık ışınların dalga boyunun ilk dalga boyundan fazla olduğu bulunup dalga boyu değişimi aşağıda verilmiştir:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e C}\,(1 - \cos\theta) \tag{1.38}$$

Eşitlikte λ': saçılmadan sonraki fotonun dalga boyudur. λ: saçılmadan önceki fotonun dalgaboyudur. h: Planck sabitidir. m_e: elektronun durgun kütlesidir. c: ışık hızıdır. θ: fotonun saçılma açısıdır.

Denklem 1.38 daki Compton dalga boyu olarak bilinir ve $\frac{h}{m_e C}$ sabit bir sayı ve elektron için isemiktarı 0.024 Ångströmdür. Bu dalga boyu metreye çevirilirse 2.43×10^{-12} metredir. Comptondaki enerji korunum formülü,

$$E_\gamma + E_e = E_{\gamma'} + E_{e'} \tag{1.39}$$

Burada:

E_γ:Gelen fotonunenerjisi ,

E_e:Elektronunenerjisi

$E_{\gamma'}$:Saçılan fotonunenerjisi

$E_{e'}$: Saçılan elektronunenerjisidir.

Gelen foton ile saçılan fotonun hızları ışık hızı(c) dır:

$$c = \upsilon.\lambda \tag{1.40}$$

Bu eşitlikte, frekansın (υ) ve dalga boyu (λ) ters orantılıdır. Eşitlik (1.40)'tan yola çıkılıp eşitlik (1.38)'da λ yerine c/υ yazılır ise,

$$\frac{c}{\upsilon'} - \frac{c}{\upsilon} = \frac{h}{m_e C}\,(1 - \cos\theta) \tag{1.41}$$

$$\frac{1}{\upsilon'} = \frac{1}{\upsilon} + \frac{h}{m_e C^2}\,(1 - \cos\theta) \tag{1.42}$$

Eşitliğin iki tarafıda ters çevrilirse,

$$\upsilon' = \frac{1}{\frac{1}{\upsilon} + \frac{h}{m_e C^2}(1 - \cos\theta)} \tag{1.43}$$

Denklemin sağ tarafın üst ve altını υ ile çarpıldıktan sonra elde edilen denklemin iki tarafı ise h ile çarpılırsa,

$$h\upsilon' = \frac{h\upsilon}{1 + \frac{h\upsilon}{m_e C^2}(1 - \cos\theta)} \tag{1.44}$$

Saçılan fotonun enerjisi, ilk enerjisi ve saçılma açısı (θ) cinsinden bulunur. Saçılan elektron ise,

$$T = h\upsilon' - h\upsilon = \frac{\frac{h\upsilon}{m_e C^2}(1-\cos\theta)}{1+\frac{h\upsilon}{m_e C^2}(1-\cos\theta)} \quad (1.45)$$

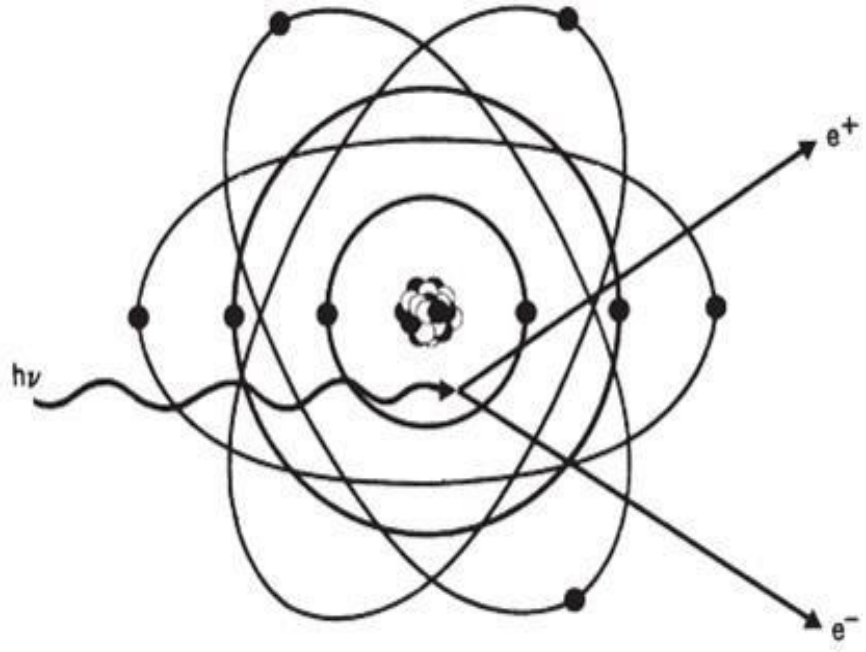
Verilen denklemkinetik enerjisi ve elektronun kinetik enerjisi cosθ = -1 veya θ = 180^o ise maksimum değerdedir. Böylelikle foton doğrudan geriye saçılmış olur. Bu durumda elektronun enerjisi,

$$T_{max} = \frac{h\upsilon}{1+\frac{m_e C^2}{2h\upsilon}} \quad (1.46)$$

şeklinde olur (Kaplan, 1965; Taylor, ve ark. 2004).

1.7.3. Çift oluşumu

Yüksek enerjili bir foton bir çekirdek yakınından geçerken bir pozitrona ve bir elektron dönüşmesine çift oluşumu denilir. Foton yeteri kadar yüksek enerjiye sahip olduğunda çekirdeğe yaklaşabilir ve çekirdekten uzaklaşmaya başladığında zıt yüklü parçacıklar meydana gelir ve bu olay fotonun çift oluşumu olur (Şekil 1.9).



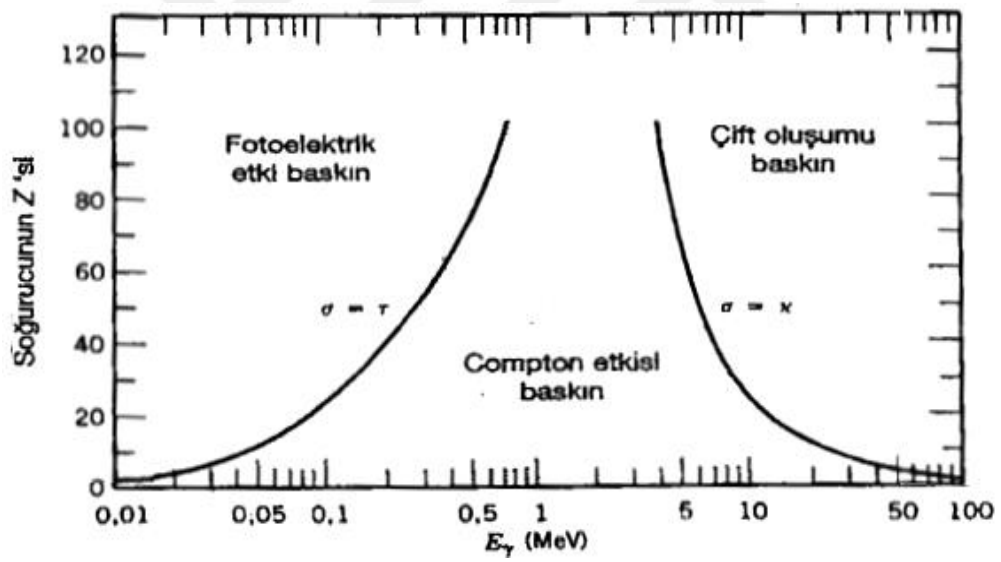
Şekil 1.9. Çift Oluşumu (Das, A., Ferel, T., 2003)

Enerji korunumu,

$$E_\gamma = T_+ + mc^2 + T_- + mc^2 \quad (1.47)$$

Burada T_+ pozitron ve T_- elektron enerjisini gösterir.

Bu çift oluşum olayında, momentum korunumu için ağırlığı fazla olan atom olamlıdır. Ama atoma verilen geri tepme enerjisi Denklem (1.47)'deki diğer terimlerle karşılaştırılırsa ihmal edilebilir. Pozitron kütlesi ile elektronun kütlesi birbirine eşit olduğu için pozitron-elektron çift oluşumundaki eşik enerjisi için $hu \approx 2m_ec^2 = 1.02MeV$ şeklinde olacaktır.

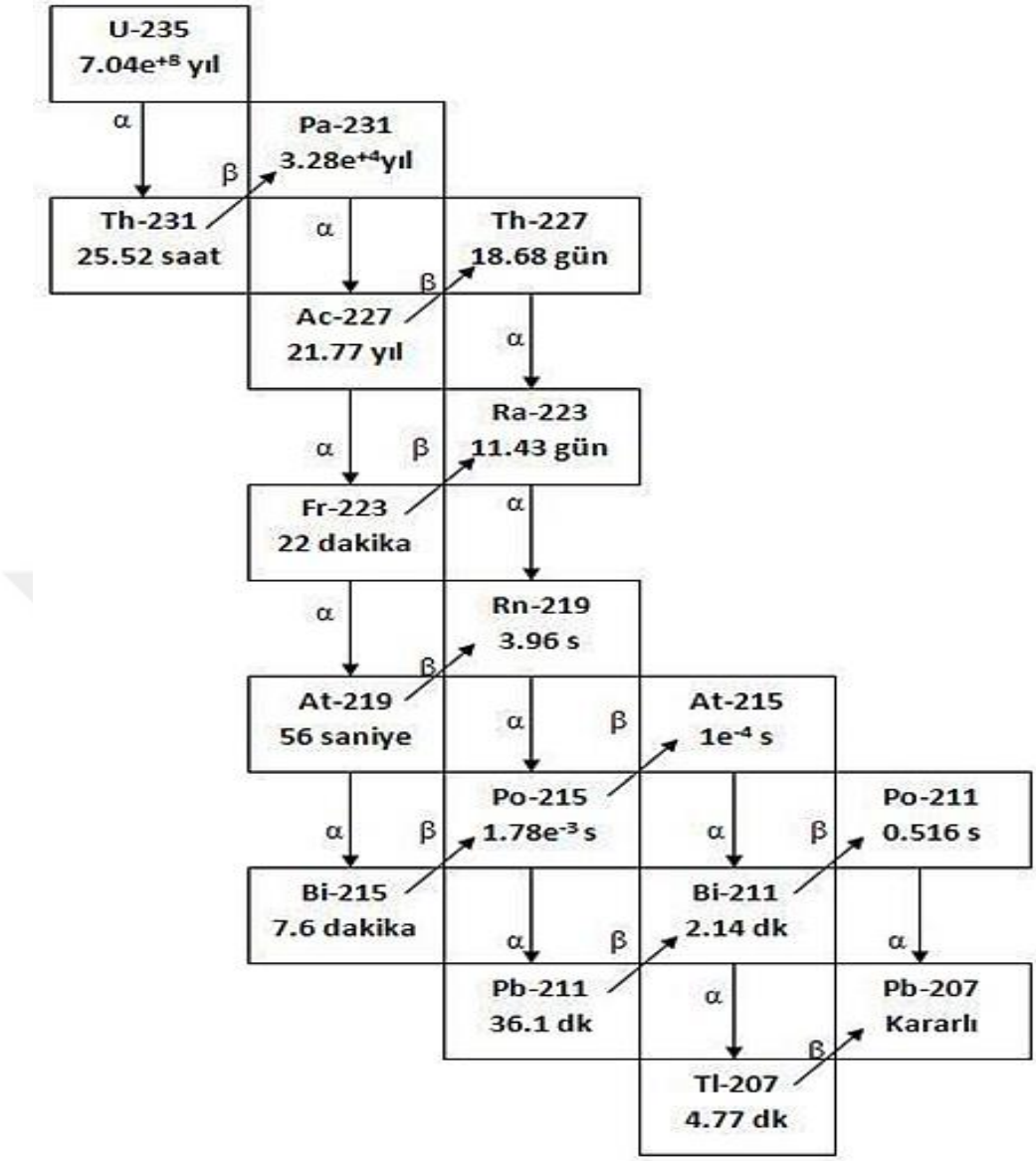


Şekil 1.10. γ ışını madde ile etkileşmesindeki enerji bölgelerinin gösterimi (Krane, K. S., 2011)

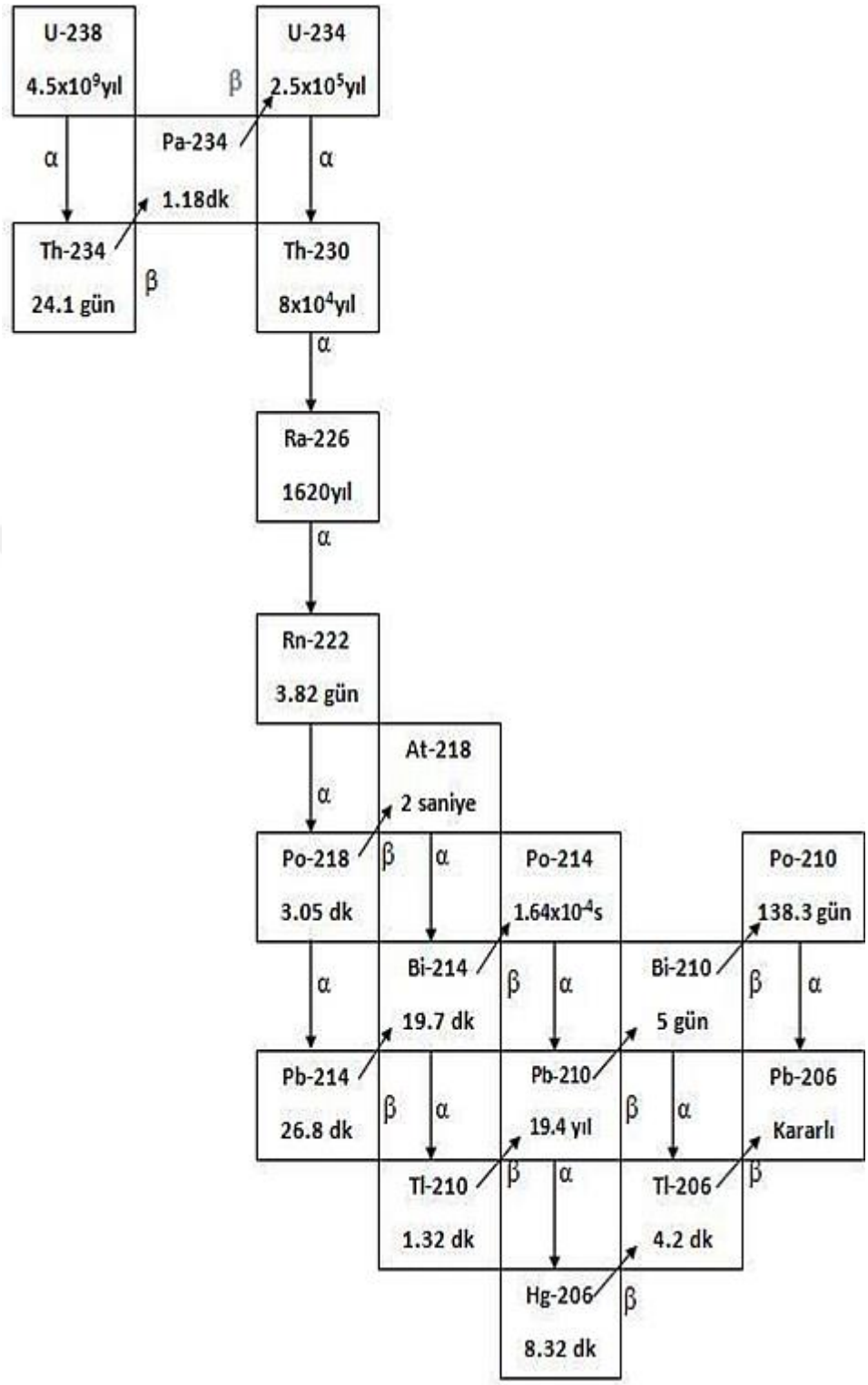
Sadece yüksek enerjili fotonlar için önemli olan çift oluşumu (Şekil 1.10) diğer iki saçılmaya göre daha önemli olduğunu göstermektedir. Çift oluşumundaki tesir kesiti olan Z^2 ile değişmektedir. Buradaki Z atom numarası olarak ifade edilmekte olup çift oluşumu eşik değerden hızlı bir şekilde yükselir ve burada foton enerjisinin 10 MeV denbüyük olması durumunda kayıp enerji mekanizmalarında daha baskın olmaktadır (Krane, 2011; Das ve Ferel, 2003).

1.8. Doğal Radyoaktif Seriler

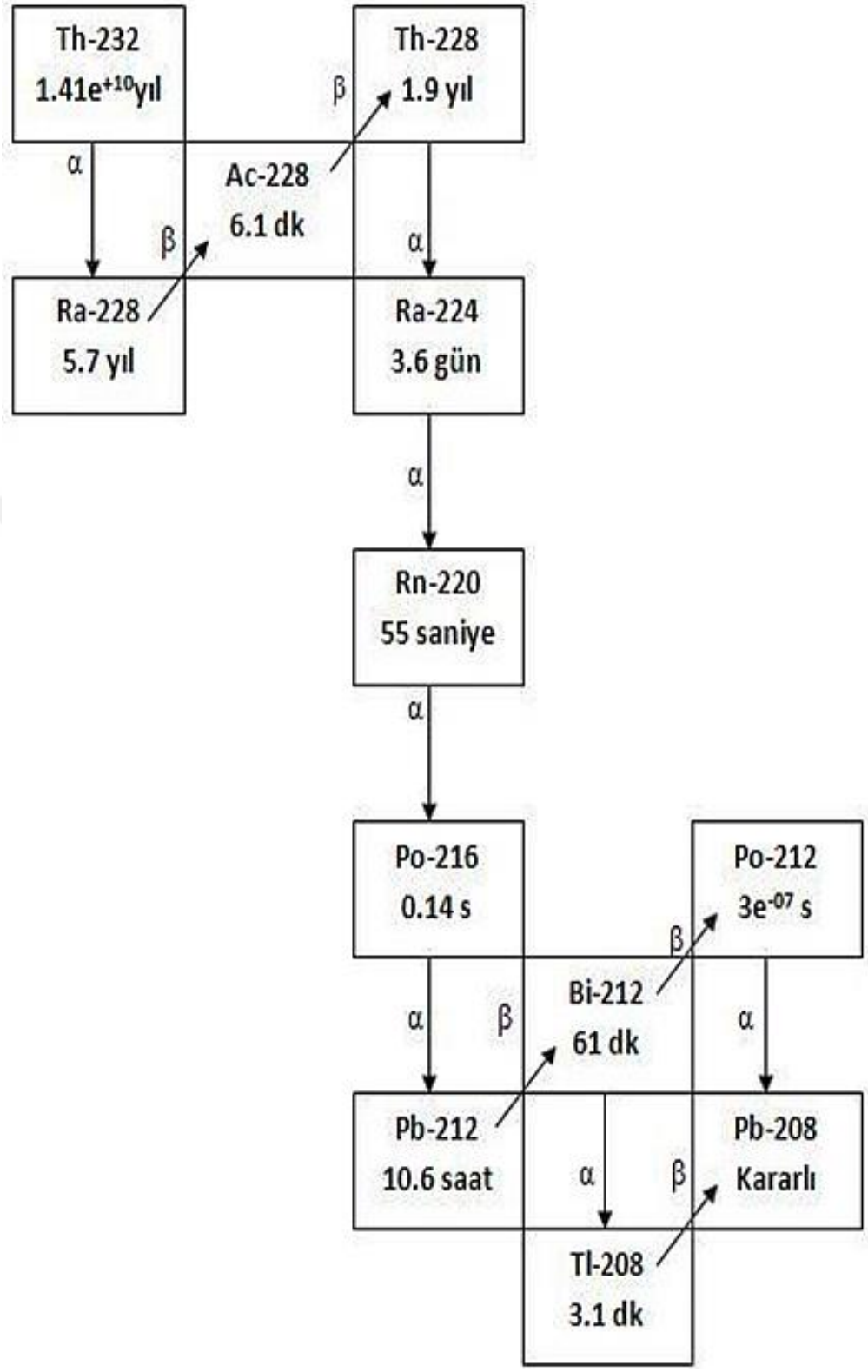
Doğadaki radyoaktif elementlerde yapılmış kimyasal ve fiziksel araştırmalarda her bir radyoaktif çekirdeğin periyodik sistemindeki son kısımlarda bulunan üç radyoaktif seri olan birinin üyesi olduğu görülür. Serinin başında veya yakınında bulunan elementlere dayanarak, uranyum, toryum ve aktinyum seri adı verilmiştir. Uranyumun serisinde her üye için kütle sayısı, n birtam sayı olmak üzere (4n+2) olarak gösterilir ve uranyum serisine "4n+2" serisi adı verilir. Toryum ve Aktinyum serisinde, kütle sayılarını veren ifadeler aktinyum için (4n+3), toryum için(4n)'dir. Kütle sayıları (4n+1) olan doğal radyoaktif çekirdek serisi yoktur (Kaplan, 1965).



Şekil 1.11. U (Aktinyum)'in bozunum serisi (Lederer ve ark. 1968)



Şekil 1.12. U Bozunum Serisi (Aybers ve Karasulu, 1980)



Şekil 1.13. Th Bozunum Serisi (Lederer ve ark.1968)

1.9. Radyasyon Birimleri

Herhangi bir radyoaktif maddenin bozunması sırasında çekirdekten salınan parçacık veya fotona radyasyon diyoruz. Aslında bu bir enerji ışımasıdır. Radyasyon enerjisinin canlı dokuda oluşturabileceği olası zararlar hakkında günümüzde pek çok bilgi mevcuttur. Radyasyona maruz kalan canlı dokularda biriken enerji miktarı ise dozolara kadlandırılırken herhangi bir radyoaktif çekirdekten kaynaklı olabilir. Doz miktarları, vücudun hangi bölgelerinin ve ne kadarının radyasyon sonucu ışınlandığı, etkilenen kişi sayısı ve bu sürenin fazla olması ile ilişkili olarak farklı şekilde ifade edilir (UNEP, 2016). Radyasyonu ve etkilerini belirlemek için değişik birimler kullanılır.

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesine (ICRU) göre ifade edilen aktivitebirimi Curidir. Tanım olarak karşılığı ise bir gram radyumdaki aktivite miktarıdır (Öksüz, 2016; Henriksen, 2003). Bu kuruluş tarafından farklı radyasyon dozlarıiçin belirtilen ölçüm birimleri Çizelge 1.1'de verilmektedir. 1971 yılında ise aktivite veradyasyon doz birimleri, uluslararası birim(SI) sistemleri doğrultusunda belirlenmiştir. SI birim sisteminde aktivite birimi olan Becquerel, saniyedeki bozunan çekirdek sayısı olarak ifade edilir. Her iki birim sistemindeki ifadeler arasında ise Çizelge1.2'de verilmiş olan dönüşüm faktörleri ile işlem yapılabilmektedir. Soğurulan doz birimi, radyasyon enerjisinin bir kilogram doku başına düşen soğurulma oranını vermektedir. SI birim sisteminde soğurulmuş dozun karşılığı Gray(Gy) ve adını radyasyon biyolojisinde önden gelen İngiliz fizikçi Harold Gray 'den almıştır.

Farklı tip iyonize edici radyasyonların soğurulmuş dozlarının olası biyolojik etkileri bakımından ele alınabilmesi için ağırlıklı doz hesabı yapılmalıdır. Eşdeğer doz olarak ifade edilen ağırlıklı dozun birimi Sievert (Sv) 'dir İsveçli Rolf Sievert'in adından gelmektedir (L'Annunziata,2012). Işınlamabirimi ise radyasyon birimleri içerisinde hem γ ışınları hemde X ışınları için havanın iyonlaştırılma miktarının ölçüsü olarak yer almaktadır. Işınlama birimi olan Röntgen (R) ise, her iki birim sistemi içerisinde de değişmemektedir (Gönen, 2012).

Çizelge 1.1. Radyasyon birimler ve dönüşüm faktörleri (Gönen, 2012)

NİCELİK	ÖLÇÜLEN	SI BİRİMİNDE SEMBOLÜ	ESKİ BİRİM	DÖNÜŞÜM FAKTÖRLERİ
Aktivite	Bozunma hızı	Becquerel(Bq)	Curie	$1Bq=2.7\times10^{-11}Ci$
Soğurulan Doz	Enerji Soğurulması	Gray(Gy)	Rad	1Gy= 100 rad
Eşdeğer Doz	Biyolojik Etkinlik	Sievert(Sv)	Rem	1Sv = 100 rem
Işınlama	Havadaki İyonlaşma	Röntgen(C/Kg)	R	1C/kg=3876R

1.9.1. Aktivite birimi (Bq)

Radyoaktif numunenin radyoaktivitesi, bozunma/saniye olarak adlandırılır. Bir saniyede 3.7×10^{10} bozunan radyoaktif madde miktarıdır, eskibirimdeki ifadesi ise bir Curie (Ci) şeklinde ifadelendirilir. Günümüzde ise radyasyonun aktivitesini tanımlayan ifade Becquerel (Bq) olarak tanımlanmaktadır. Becquerel dönüşümleri aşağda verilmiştir.

$1Bq=1bozunma/s$

$1Ci = 3.7\times10^{10}Bq$

$1Bq=2.703\times10^{-11}Ci$

1.9.2. Soğurulmuş doz

Soğurulmuş doz birimi iyonlaştırıcı radyasyonun birim kütlede maddeye verdiği enerji miktarı olup soğurulma şiddeti Uluslararası Birim Sisteminde (SI) Gray (Gy) ile belirlenmiştir. 1 Gy doz; maddedeki 1 kilogramın 1 joule enerji soğurduğu radyasyon miktarı olarak bilinir (Önen, 1992).

Soğurulmuş doz için her ortam ve her çeşitteki iyonlaştırıcı radyasyonlar olarak ifade edilip vebirimi aynı zamanda Rad ile gösterilir. Bu doz birimi hem foton hem de parçacık özellikli soğurulan enerji miktarını gösteren radyasyona uygulanan büyüklük ve radyasyonla birlikte soğurucu maddenin bir özelliğini gösterir:

$1Gy$=$1J/kg$

$1Gy$=$100Rad$

$1Rad$=$10^{-2}J/kg$=$100erg/g$

1.9.3. Eşdeğer doz (Rem)

İyonlaştırıcı radyasyonun zararlı olan biyolojik etkisini ölçmede klasik kullanımdan gelen röntgen equivalentman kelimelerinin baş harflerden oluşan rem kullanılır. Rem, önceden kullanılan eski bir birim olup SI eşdeğer dozun birimi olarak J/kg türünde ifadelendirilmektedir. Ayrıca özel ismi Sievert (Sv) ve genel olarak karşımıza çıkan radyasyon düzeylerinin yanında çok büyük olmakla birlikte radyasyon değeri olan Sv'ın yüzde 0.1 seviyesinde yer alır. Bu sebepten ötürü miliSievert (mSv) kullanmak kolay olup (Yeşilbağ, 2008) ve biyolojik doz birimi olanrem aynı biyolojik etkiyi meydana getiren bir Röntgenlik X ve γ ışınının meydana getirdiği radyasyon miktarı ve uluslararası birim sistemindeki eşdeğer dozun birim ifadesi joule/kg ve ismi ise Sievert (Sv) şeklinde ifade edilir (Önen, 1992).

$1\ Sv$=$100rem$

$1Sv$=$1J/kg$

Soğurulmuş doz (rad) ve kalite faktörünün (Q) çarpımı eşdeğer doza eşittir. Kalite faktörü, birbirinden farklı radyasyon çeşitlerinin biyolojik etkilerindeki değişimleri, radyasyondan muhafaza hesaplamalarını biraraya getirmek için kullanılmaktadır (Yaren ve ark.,2005 ve Mavi, 2010).

$$Rem=RadxQ$$

1.9.4. Işınlama doz birimi (R)

X ışınları ve γ ışınlarının havadaki atom ve moleküllerin iyonlaştırma ölçüsü yani ışınlama doz değeri olarak tanımlanıp Uluslararası birim sistemine göre birimi C/kgdır. Röntgen (R) birimi ise normal hava şartlarında 273 Kelvin (K) ve 1 atmbasınç altında hava ortamının 1 kg'lık kısmında $2.58.10^{-4}$ $Coulomb$ elektriksel yükünden negatif ve pozitif iyonlar meydana getiren X ve γ ışınları için adlandırılır (Mavi, 2010).

$$1R=2.58\times10^{-4}C/kg$$

1.10. Radyasyon Ölçümü ve Sayaçları

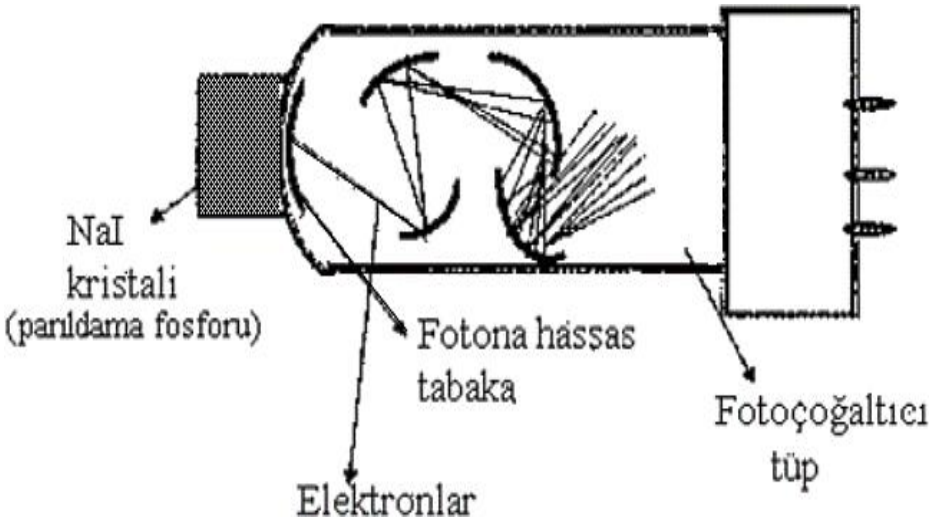
Radyasyonun ölçülmesinin sebebi, radyasyon ile maddenin etkileşmesi içindir. Dedektörler tarafından radyasyonun ölçümleri ve algılanması yapılır. Radyasyonun ışık, ses ve ısı gibi bu tür etkilere sahip olmadığından radyasyonun varlığının belirlenmesinde nitel gözlem eksik kalmakla birlikte sistemleri benzerlik gösterir. Radyasyonda dedektörün karşılatığı materyalinin atomlarıyla etkileşir. Bu etkileşim esnasında dedektör enerjisinin tamamını veya bir kısmını kaybederek materyalden daha küçük enerjili elektronlar yayılarak elektronik devreler ile voltaj veya akım pulsu haline dönüştürülerek analizi yapılır.

Radyasyonu belirlemek, enerjisini ölçmek, yayınlandığıanı bulmak için farklı tipte dedektörler geliştirlmiştir. Dedektör seçiminde; çözünürlük verim ve ölçümün amacına ve ortama elverişli olması göz önünü alınır. Ayırca gama veya x ışınlarının enerji seviyeleri gibi bir takım değerlere dikkat edilmesi gerekmektedir. Dedektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyonun tipine bağlıdır. Kullanılan dedektörler; gazlı dedektörler, yarıiletken dedektörler ve sintilasyon dedektörleridir.

1.10.1. Sintilasyon dedektörü

Radyasyon detektöre girdikten sonra detektör materyalindeki atomlar ile etkileşmesi sonucunda enerjisinin tamamını ya da bir kısmını kaybeder. Uyarılan elektron üst yörüngeden alt yörüngeye geçtiği zaman enerjisinin bir kısmını ortama salar elektronik devre tarafından alınan bu enerji voltaj ya da akım pulsu haline geçer (Şekil 1.14). Ölçmede dedektör materyalinin tercih edilmesi bulmaya çalışılan radyasyon tipi ve radyasyon ile ilgili istenilen bilgiye bağlıdır. Burada gama ışınları üzerinde yapılan çalışmalarda gama ışınları ölçümünde kullanılan dedektör bir NaI (Tl) kristal yapılı sintilasyon detektörden faydalanılmıştır. Gama ışınları ölçülürken kullanılan dedektörün çalışma prensibi de materyalin içindeki enerjinin iyonlaşarak kaybetmesi şeklinde yorum yapılabilir (Bayata, 2007). Kristalin gama ışınları ile oluşturduğu etkileşim sonucu oluşan fotoelektronların pozitron-elektron çiftleri ve compton elektronlarının sahip oldukları kinetik enerjilerini bu kristalin atomlarına verirler. Daha sonra bu atomları iyonize ederler ve bu iyonize edilmiş atomlar kararlı hale gelirken dış ortama enerjisini foton olarak yayar (Değerlier, 2007).

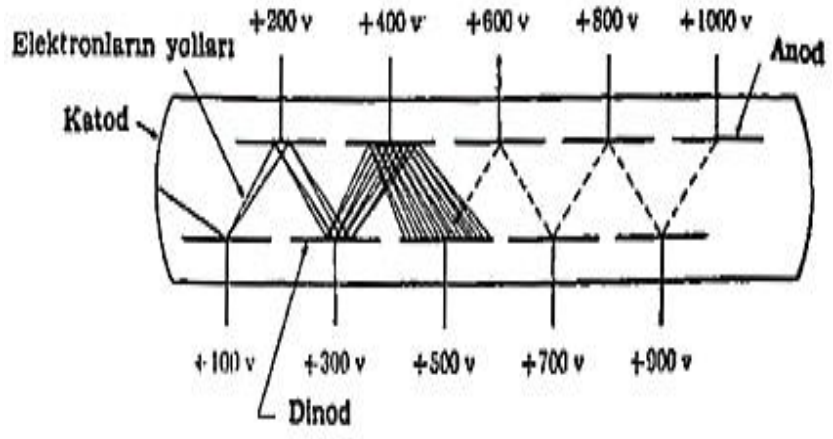
Sintilasyon dedektörü fosfor olarak bilinen katı, sıvı ve gaz olan maddeler kullanımasına dayanmaktadır. Gelen parçacığın çarpması sonucu sintilatör atomları uyarılır ve taban durumlarına döner iken görünen ışık yayarlar. Katı olan sintilatör bir tarafı diğer tarafı fotoçoğaltıcı tüpe yapıştırılmış ve tümü ışığı geçirmeyecek bir kılıfla kapalıdır. Fotoçoğaltıcı tüp, foton enerjisini elektrik sinyaline dönüstürür. 8 ile 14 arasında elektrod içermekte olup dinot (dynode) adı verilir. Dinotlar ard arda yüksek voltajda olacak biçimde montaj edilmiştir.



Şekil 1.14. Sintilasyon sayacı (Değerlier, 2007)

1.10.1.1. Fotoçoğaltıcı tüp

Fotoçoğaltıcı tüp tepesi fotokatot olarak bilinmektedir (Şekil 1.15). İş fonksiyonu yeterince düşük ise sintilatöre bir foton çarptığında bir elektron ortaya çıkar. Bundan sonra elektron bir elektronilk dinota doğru hızlandırılıp dinota çarptığında elektron yeteri kadar kinetik enerji sahip olacak ve 2 ya da 5 kat elektron yayılacaktır. Bundan sonra elektronlar ikinci dinota doğru hızlandırılıp ve böylece çoklu olay başlayacaktır. En son dinota çarpan elektronlar 10^6 veya daha fazla bir sayıda olur. Böylelikle elektronlar foto çoğaltıcı tüp çıkış yaptığında elektrik sinyallerine dönüşecektir.



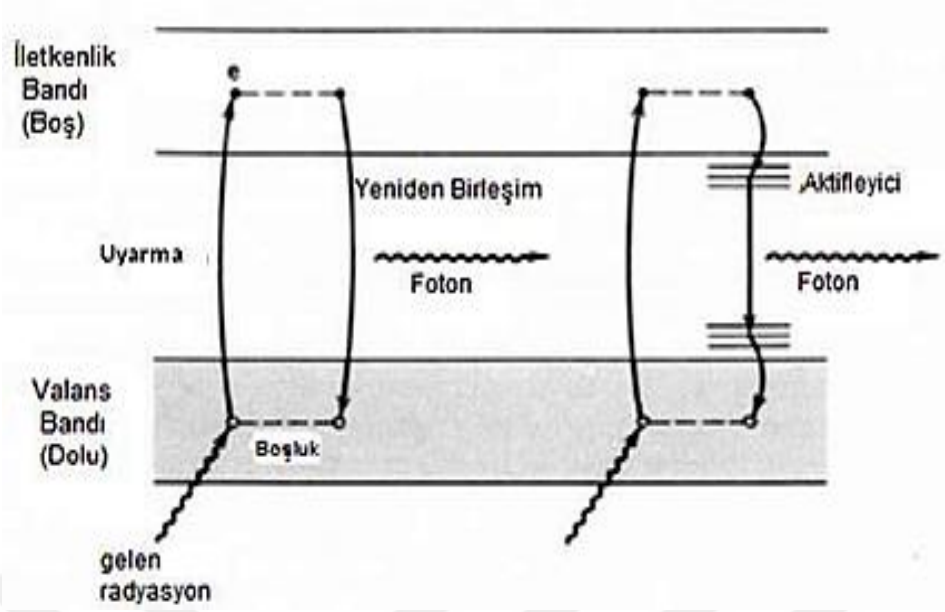
Şekil 1.15. Foto çoğaltıcı tüp (Kaplan, 1965)

Meydana gelen radyasyon enerjisi, biriken yük ile orantılı bir şekilde analizörün içinde ölçülmesiyle voltaj darbesi oluşturur ve oluşan darbe radyasyon enerjisi ile orantılı olacaktır. Sintilisyon detektörünün en önemli özelliklerinden birisi ölçme verimleri diğer dedektörlere oranla çok yüksek olmalarındandır. Sintilatör kristalin katı olması beta ışını için madde ile az miktarda etkilesen, gama ışını için faydalı dedektör oluşturur. Gözleme için sıvı sintilatör de kullanılabilmektedir. Ayrı anlarda yapılan deneyler veya bir organizmanın değişik parçaları direk sıvı sintilatör bulunduran küçük kaplara konur. Bu durum enerjisi düşük olan ${}_{1}^{3}H$ ile ${}_{6}^{14}C$ dan ayrılan beta ışınları için uygundur. Fotoçoğaltıcı tüpü bir elektrik sinyali için kullanılabilir (Bayata, 2007). Kullandığımız bu dedektörler sayım ile birlikte enerji ayırımı için kullanılabilmekte, dedektörlerdeki fotoçoğaltıcı tüpün ve kullanılmakta olan fosforun miktarını değiştirmek şartıyla farklı radyasyonların dedekte edilmesi mümkün olmaktadır.

1.10.1.2. Organik ve inorganik sintilatörler

Kullandığımız sintilatör cihazları organik veya inorganik olabilir ve gama ışın dedektörlerinde daha çok kullanılan dedektörler doğada bulunan inorganik maddelerden, sodyumiyodür (NaI) yada sezyum iyodür (CsI) benzeri olan alkali halindeki tuzlardan oluşur. Bu gibi bileşiklerin foton salma olasılıklarını arttırmak ve ışığın soğurulmasını düşürmek için biraz katkı maddesi katılırken en çok kullanılan Talyum ve Sodyum aktivatörlerdir. Genellikle çoğu detektör NaI (Tl) talyum aktifleştirici ile sodyum iyodürkristalini veya CsI (Na) sodyum aktifleştirici ile sezyum iyodürü biçiminde açıklanmaktadır (Krane, 2002).

İnorganik NaI kristalinin valans bandı hemen hemen dolu ve iletim bandı hemen hemen boş olmaktadır (Şekil 1.16) ve bandlararası enerji aralığı 3.9 eV civarında olup gelen foton enerjisi bir elektronu uyarması sonucu iletkenlik bandına geçerir. Bu elektron iletim bandından sintilasyon fotonu yayınlayarak valans bandına geri iner.



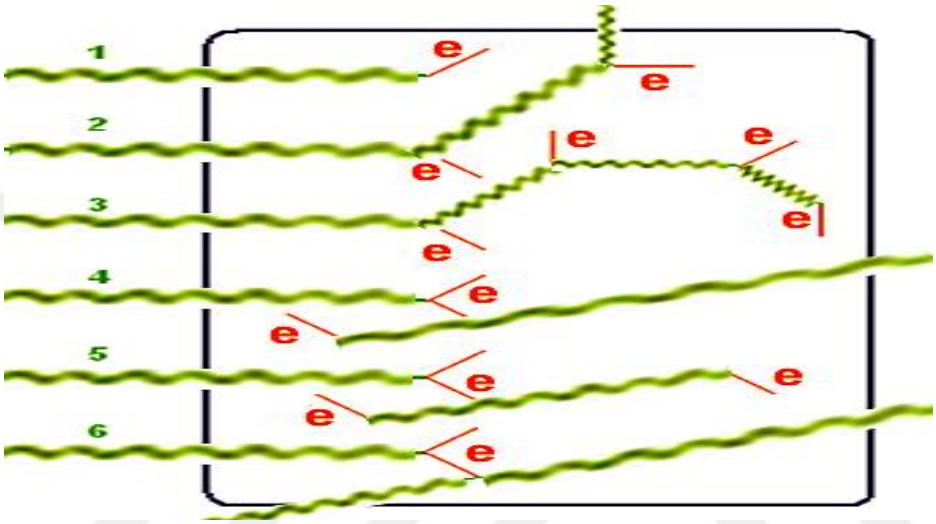
Şekil 1.16. Kristalin enerji bandı: Soldaki NaI, sağdaki NaI (TI), (Krane, 2002)

1.11. Gama Spektroskopisi

Radyoaktif çekirdekleri tespit etme yöntemlerinden gama spektroskopisi ölçüm yapan hassas analitik tekniklerden birisidir. Gama fotonunun madde ile etkileşiminde, Compton saçılması, fotoelektrik olayı ve çift oluşumu ile enerjisini maddedeki elektronlara verir. Gama radyasyonu enerjisi her çekirdek için karakteristik vekesiklidir. Gama spektroskopisinin temel amacı dedektörden alınan sinyalleri işleyerek oluşmuş olan ve ayrıca enerjinin soğurulmasına karşılık gelmekte olan spektrumdaki pikin incelemesinin yapılması (Şahiner, 2010) olup spektrumun oluşmasında dedektöre gelen fotonun dedektör kristali ile etkileşimleri önemli ve dedektöre giren foton (Şekil1.17) ’de gösterildiği gibi, dedektör kristali ile etkileşebilir;

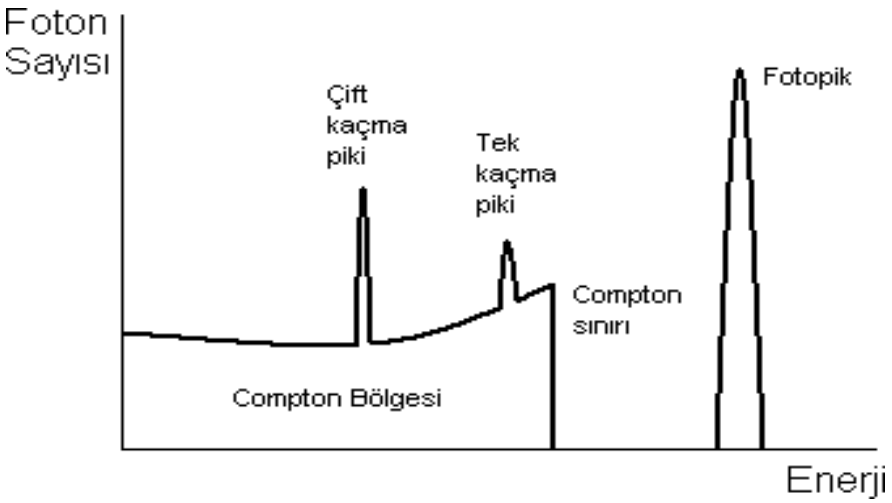
1) Enerjisini direk dedektöre fotoelektrik soğurma olayıyla aktarabilir.
2) Compton saçılması yaparak enerjisini kaybetmeden dedektörü terk edebilir.
3) Compton saçılması yaparak enerjisinin tamamını kaybederek dedektörü terk edebilir.

4) Çift üretimi sonucu bir pozitron elektron çifti oluşur ve oluşmuş olan çift daha sonra yok olur ardından iki foton meydana gelir. Meydana gelen fotonlardan birisi dedektörden ayrılabilir.
5) Burada çift üretim ile oluşmuş olan iki fotonun enerjisi fotoelektrik soğurma yoluyla detector içerisine aktarabilmekte.
6) Çift yok olmada fotonlarının pozitron ve elektron dedektörden ayrılır.



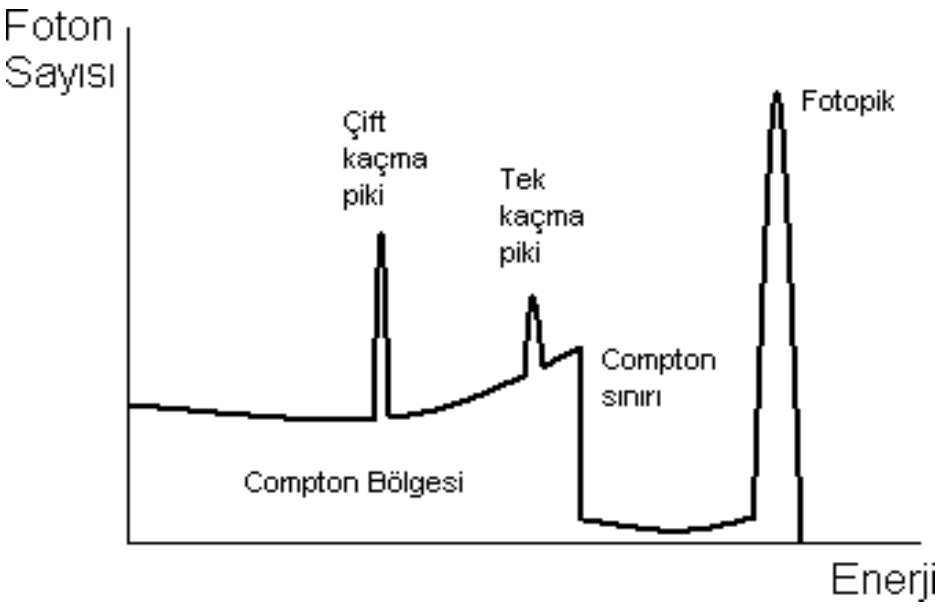
Şekil 1.17. Detektöre giren gama ışınının etkileşme yolları (Knoll, 1999)

Burada eğer birinci fotonun saçılması sonucunda fotoelektrik soğrulmaya maruz kalırsa dedektör kristalineaktarılan enerji, gama enerjisi ile eşittir ve detektöre aktarılan bu gama enerjisi ile pik oluşur. Compton saçılmasında elektronlar dedektör içerisinde soğurulurken dedektörün enerji piki compton saçılma alanına yardımda bulunmakta ve bu bölgede ise yani sıfır saçılma açısı değerinden Comptonun sınırı ifadesi olarak bilinmekte olan bir maksimum saçılma açı değerine kadar uzanmakta olup Şekil 1.20 'de gösterilmektedir. Burada elektron ve pozitron çifti $E_{\gamma-mc^2}$ kadar kinetik enerjiyle oluşturulurken bu kinetik enerjinin dedektörde kayıp olması foto piki oluştururken pozitron atomu elektron ile birleşmesi sonucu çift oluşumunun yok olmasına sebep olur. Böylelikle iki adet foton meydana gelir. Burada meydana gelen iki fotonetkileşme olmadan detektörün içinden çıkar ya da compton saçılma ile bir kısmı veya tamamı soğurulabilmekte ve böylelikle $E_{\gamma-mc^2}$ her iki fotonun kaçması sonucu şeklinde olur. Eğer $E_{\gamma-mc^2}$ fotonlardan biri soğurulur diğeri kaçarsa E_{γ}' da her iki fotonda soğurulması sonucunda pikler aşağıda Şekil 1.18'deki gibi olur.



Şekil 1.18. Dedektörün tek enerjili gama ışınları için vereceği cevap (Knoll, 1999)

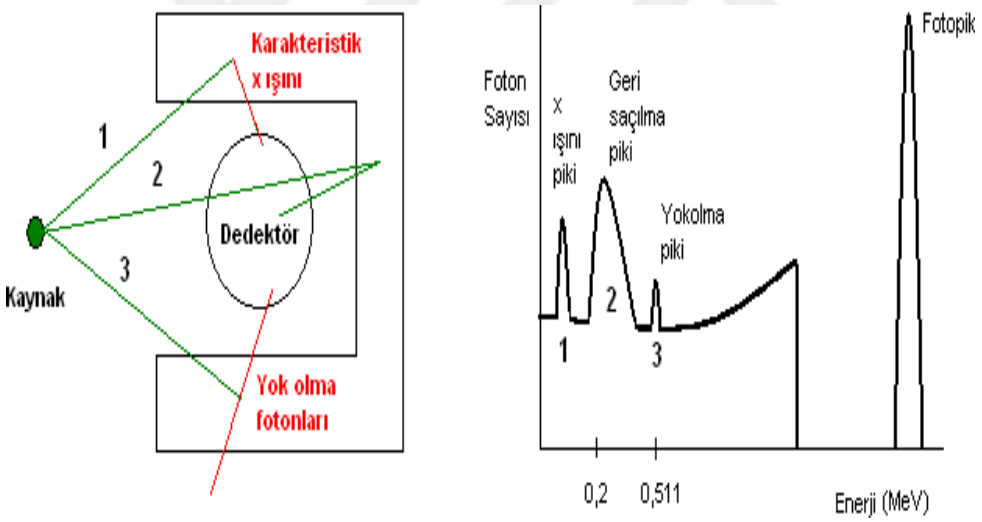
Dedektörün içerisine girmekte olan gama ışınları birden çok Compton saçılması yapar ise compton sınırıyla foto pik ortasındaki enerjinin boşluğunu kapatacaktır. Bu olay Şekil 1.19'da gösterilmiştir. Burada foto pik, kaçma pikleri ve Compton bölgesinin bağıl genliğine, detektör boyutlarına ve şekline bağlı olmaktadır. Büyük detektör için Compton saçılması yapmış olan fotonların enerjisi ya da 511 keV ile yok olma, yani fotonların dışarıya çıkma olasılığı azdır.



Şekil 1.19. Çoklu Compton saçılması sonunda oluşan Compton bölgesi (Knoll, 1999)

Spektrumun düşük enerji bölgesinde Şekil 1.20'de görüldüğü gibi değişik pikler meydana gelebilir ve bunlardan birisi geri saçılma pikidir. Kaynağımızdan dışarı saçılan gama ışınları dedektör etrafındaki materyallerden Compton saçılmasını meydana getirebilir. Saçılma ile enerjisi azalan foton tekrar dedektöre dönebilir. Burada enerjisi düşük bölgede gözlemlenen pik, dedektör etrafındaki materyalin bu gama ışınları fotoelektrik soğurma sonrasında materyalin fotonun enerjisini atomun içindeki bir elektrona aktarmasıyla içte bir dönüşüm yaparak boş kalmış elektron yerine diğer bir elektronun gelmesinden dolayı oluşmuş olan X ışınlarını gösterir.

Kaynağın içerisinde dışarı çıkmakta olan gama ışınının enerjisi fazla olursa dedektör etrafındaki materyalde çift oluşumun olasılığı doğacak. Bu çift oluşumu sonucu meydana gelen bir foton detektör içerisine girer. Neticede 511 keV kadar yok olmap iki gözlenir (Knoll, 1999).

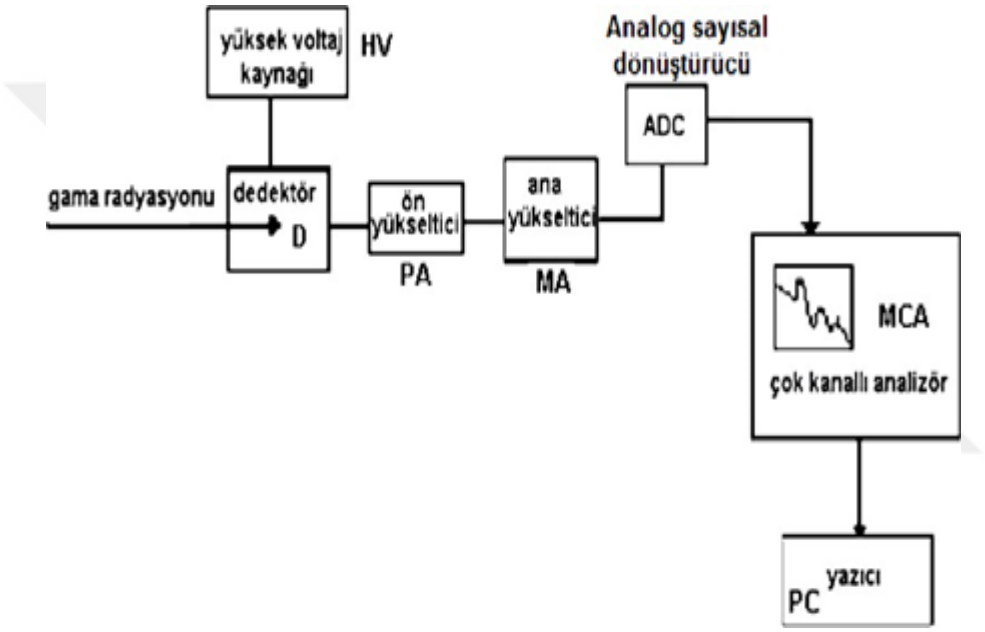


Şekil 1.20. Detektör çevresinde materyale çarpan gama ışınları ve düşük enerji bölgelerinde oluşan pikler (Knoll, 1999)

Gama spektrometresinin analizinin avantajları şunlardır: Aynı numune içinde değişik radyoaktif olan çekirdekler farklı ve eş zamanlı olarak analiz edilebilmekte, karmaşık bir kimyasal ayırma yöntemi gerektirmez, numunenin hazırlanması kolay ve çabuktur. Bu ölçmedeki kararlılık ve verinin işlenmesindeki analiz ve doğruluk bilgilerinin güvenirlilik dereceleri yüksek olup çevre radyoaktivitelerinin ölçümünde özellikle gama spektrometresi kullanılmaktadır (Şahiner, 2010).

1.12. Ölçme ve Sayım

Enerji ölçmec ihazları, dedektör tarafından gönderilen sinyalleri işler ve soğurulan enerjiyle orantılı olarak spektrumdaki piklerin analizlerini yapar. Dedektörden alınan sonuç radyasyon kaynağının dedektöre gönderdiği enerjiyle doğru orantılı olan yük miktarıdır. Enerji ölçüm sistemleri elektronik olup bu sistemlerin amacı elektrik yüklerini toplayarak ölçer ve sayısal veri olarak kaydedip işlemektir (Şekil 1.21), (Çavaş, 2006; Değerlier, 2007).



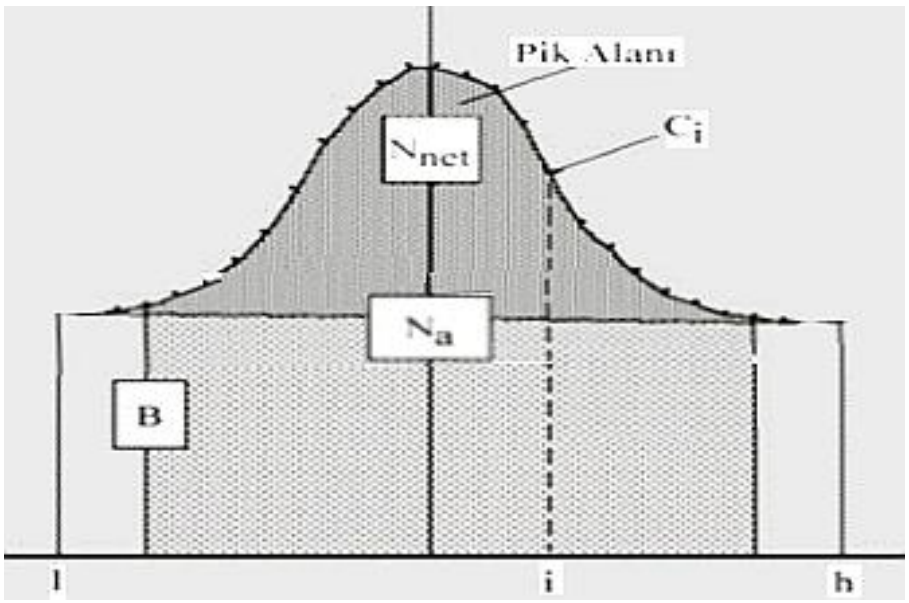
Şekil 1.21. Dedektör ve enerji ölçüm sisteminin şematik gösterimi (Tamkaş, 2013)

Sistem çalışmasının prensibi ise şuş ekildedir: Bir yüksek gerilim güç kaynağıtarafından desteklenen NaI (TI) sintilasyon dedektörünün arka tarafına bağlı olan ön yükseltici yeralmaktadır. Ön yükselticinin çıkış sinyali ana yükselticiye gelir ve buradaki sinyal yükseltilir ve puls şekillendirmesi yapılmakta daha sonra yükseltici içerisinden çıkan sinyal analog-dijital sinyal dönüştürücü (ADC) aracılığıyla bilgisayardaki 2041 (kanal sayısı bu değer olamaz) kanaldan meydana gelen arayüzey kartına gelmektedir. Buradaki sinyal çok-kanallı analizör (ORTEC 927 ASPEC MCA) ekran üzerinde spektrum olarak şekillenir. Analizör, "MAESTRO" bilgisayar yazılım programı ile gözlenir. Buradaki fonksiyonlu ve çokkanallı olan analizöregirenher bir pulsun yüksekliğine göre kanallardan birinde sayım olarak kaydedilir. Buradaki

kanalların her biri bir enerji değerine karşılık gelmekte ama buradaki pulsların yükseklikleri fotoçoğaltıcı tüpe uygulanmakta olan yüksek gerilim enerjisi ve yükselticinin kazancına bağlı olarak değişmektedir. Bu da enerji değerini değiştirmekte ve bu sistemde enerjinin kalibrasyonun yapılması gerekmektedir (Tamkaş, 2013).

1.12.1. Spektrum için pik alanı

Radyasyon enerjilerini elektronik sistemler yardımıyla sayısal verilere dönüştürülür. Sayısal veriler ile grafik çizilir. Bu grafikler spektrumlar oluşturur. Dedektör içerisine giren radyasyonlar spektroskobik ölçümlerde enerjilerine göreayırt edilerek kaydedilir. Kaynağın dedektöre aktardığı enerji miktarı, sintilasyon dedektörlerinde dinotlarda elektronların çoğaltma olasılıklarındaki değişimler, sintilasyon ışığının gelme yüzdesi ve çıkışta verilen sinyallerin istatistiksel dağılımı göstermektedir. Bu istatistiksel dağılımın her bir enerji değeri, MCA kanalında enerjinin sayma sayılarının değerlerini göstermekte ve bu istatistik dağılımı değerleri Gauss dağılımına benzer bir dağılım ile ifade edilir ve ölçme işlemleri yapılır. Yaygın olarak kullanılan Covel Metodu tek bir pikin alanını doğru şekilde hesaplamada kullanılır. Şekil 1.22 da alanı hesaplanacak pik verilmiştir.



Şekil 1.22. Pik alanının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin gösterimi (ORTEC, 2006)

Yukardaki şekilde fon radyasyonu (background)

$$B = \left(\sum_{i=l}^{l+2} C_i + \sum_{i=h-2}^{h} C_i\right)\frac{h-l+1}{6} \quad (1,48)$$

Şeklinde bulunur.

B: Fon radyasyou alanı
h: Pikin üst sınırı
l: Pikin alt sınırı
h-l+1: Pikteki tüm kanalların sayısı
Ci: i. kanaldaki sayım
6: kullanılan kanal sayısı (her bir kenarda ilave üçer tanedir)

$$N_a = \sum_{i=1}^{h} C_i \quad (1.49)$$

Piki belirleyen kanal numaralarını denklem 1.49'de yerine yazarsak

$$N_a = \sum_{i=l+3}^{h-3} C_i \quad (1.50)$$

Pik altındaki kalan net alanını hesaplayabilmek için Denklem 1.50'den fon sayımını çıkartırız. Böylelikle net alan

$$N_{net} = N_a - \frac{B(h-l-5)}{(h-l+1)} \quad (1.51)$$

$$\sigma_{Nnet} = \sqrt{N_a + B\left(\frac{h-l-5}{6}\right)\left(\frac{h-l-5}{h-l+1}\right)} \quad (1.52)$$

bağıntısı ile bulunur (ORTEC, 2006).

1.12.2. Enerji kalibrasyonu

Enerji kalibrasyonu her ölçme işleminden önce yapılır ve enerji kalibrasyonu yapmamızın temel sebebi bilgisayarın hafızasındaki enerjisi önceden bilinen radyasyonun spektrumunu ölçmek ve spektrumdaki pik konumunun (kanal numarasının) hangi enerji düzeyine denk geldiğini belirlemektir. Bu sayede numunede bulunan radyoaktif çekirdek çeşitleri bulunur (Yeşilbağ, 2008). Kalibrasyon yapılırken seçilen enerjinin kullanılan spektrometrenin tüm aralığını kapsayacak biçimde olmasına dikkat edilmelidir. Kalibrasyonun hesaplanması için enerji değerleri belli olan çekirdeklerden meydan agelen standard kaynaklar gerekmektedir. Bu çalışmadakiNaI (TI) dedektörü için ^{137}Cs'in 661 keV enerjideki piki, ^{60}Co'ın 1173 keV, 1333 keV, ^{40}K'ın 1461 keV enerjideki piki enerjilerindeki pikleri kalibre edilmiştir.

1.12.3. Verim kalibrasyonu

Kaynaktan yayınlanmış olan γ ışınları sayısı ile spektrumda yapılan sayımların sayısı arsındaki ilişkiyi verim sağlar. Radyoaktivite değerinin belirlenmesi için spektrumdaki verime ve pik alanına gerek duyulurken pik veriminin aktivitesi bilinmekte olan standart kaynakların kullanılması ile bulunabilir. Bu işlem ile belirli enerjilerdeki pik alanının dedektörün ve kaynağın geometrik yapısına da bağlı olarak kaynak tan yayımlanan γ ışını sayısı ile bağlantı ilişkilendirilmiştir. Verim kalibrasyonunu yapabilmek için belli standartlara sahip radyonüklid seçilmelidir. Pik verimi şekildeki gibi söyle ifade edilir:

$$\epsilon = \frac{Net\ sayım}{A.P_{\gamma}.t} \tag{1.53}$$

A: Gama standart kaynağında bulunan radyonüklidlerin bilinen aktivitesi.

P_{γ}: Gama ışınının yayınlanma olasılığı.

t: Kaynağın dedektördeki sayımsüresi.

Buradaki çalışma, TAEK ‘ten gelen ve belirli miktarda aktivite değerine sahip radyoizotoplar içeren standart numune örneği ile kalibrasyon yapılmıştır. Verim eğrisinden ilgili gama enerji değerlerine karşılık gelmekte olan verimin değerlerive sistem hataları okunmuş olup yapılan hesaplamalarda kullanılmıştır.

1.13. Kayısının (Apricot) Özellikleri

Kayısı (Prunus armeniaca L.) Rosales takımındaki Rosaceae familyasının Prunoideae bir alt familyasının Prunus cinsine girmektedir. Kayısının rengi, turuncudan açık sarıya kadar çok geniş aralıklı renk (kırmızı, kırmızı-yeşil, sarı, açık sarı, koyu turuncu, turuncu) çeşitliliğine sahiptir (Şekil 0.23). Kayısının şekilleri; yuvarlak, kalp, oblong, oval ve eliptik şekilindedir. Ağırlığı 20 ile 80 gram civarında olup Türkiye’nin farklı bölgelerinde kayısı üretim alanları olup fakat bu bölgelerde genellikle bölgenin iklim şartlarına ve yemek kültürüne uygun kaysı türleri yetiştirilmektedir. Malatya- Elâzığ- Sivas- Erzincan bölgesinde genellikle Hacıhaliloğlu, Şekerpare, Hasanbey, Çataloğlu, Soğancı, Kabaaşı, Aprikoz, Teberze, Çöloğlu, Tokaloğlu, Zerdali çeşitleri bölgelerde yetiştirilmektedir (vikipedi)

a b



Şekil 1.23. a.Yaş kayısı (Bali, 2018), b. Kurutulmuş kayısı (İha, 2020)

Kayısının geçmişi hakkındaki bilgiler sınırlı olup daha kapsamlı veriler Çin'de bulunmaktadır. Geçmişte kayısı türünün kültür bitkisi olarak Çin'de yetiştirilmesi ile ilgili eski kayıtlar 4000 yıl öncesine aittir. Çin'in İmparatorlarından olan Yu (M.Ö.2205– 2198) döneminde kayısı ile ilgili nasıl bir tarımın yapıldığına değinmektedir. Yine Çinli filozoflardan olan Konfüçyüs (M.Ö. 551–479) talebelerine felsefe derslerini "Kayısı Ağacı Tapınağı'nda (Xing Tan Ge)" vermiştir (Faust ve ark. 1998).

Günümüzde ise kayısının Batı'ya yayılması ile ilgili farklı açıklamalar bulunmaktadır. Bazı uzmanlara göre ise kayısının Orta Asya'dan Anadolu'ya Büyük İskender'in Seferleri ile getirildiği düşünülmektedir. Makedonya'nın kralı olan Büyük İskender'in M.Ö. 334 tarihinde Asya'ya yaptığı seferler sırasında Transkafkaslar ve İran üzerinden Anadolu'ya getirildiği düşünülmektedir. Bir diğer görüşe göre ise kayısının yayılmasında Romalı askerlerin önemli rolü olup Yakın Doğu da denilmekte olan Kafkasya, Suriye ve İran'ı hakimiyetlerine almak için M.Ö. II. yüzyıldan sonra çabalamışlardır. Yakın Doğu'da görev yapan ve sürekli hareket halinde olan Romalı askerler kayısıyı ilk defa gördükten sonra beraberinde getirerek kaysının yayılmasında önemli rol almışlardır (Bailey ve Hough 1979, Layne ve ark. 1996, Faust ve ark. 1998).

Malatya'da yetişen kayısıların önemli özelliklerinden birisi olan suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM) ve yüksek organik asit miktarının düşük olmasıdır. Malatya'da yetişen kayısıların kuru madde miktarı % 20–30 arasında değişiklik gösterirken diğer yabancı ve yerli kayısı türlerinde % 12-16 arasında kuru madde miktarı değişiklik göstermektedir.

Kayısının, inorganik ve organik madde içeriği bakımınndan zengin olup insan sağlığı için önemli meyveler arasındadır. Kayısının kendine özgü aromasının olmasının sebebi myrcene, linalul, benzil alkol ve laktonlar gibi uçucu olan maddelerden kaynaklanmaktadır. Kayısı, fenolik maddeler ve E, C, A vitaminleri açısından oldukça zengindir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. Taze ve kuru kayısının 100 gramındaki besin maddeleri (Asma, 2000)

Besin türü	Kuru	Taze
Enerji (cal)	260	51
Kül (g)	3.0	0.7
A vitamini (β-karoten) (I.U)	10.9	2.7
Kalsiyum (mg)	67	16
Potasyum (mg)	979	281
Niasin (mg)	3.3	1.6
Riboflavin (B2 vitamini) (mg)	0.16	0.04
Demir (mg)	5.5	0.5
Posa (g)	3.0	0.6
Su (%)	25	85.3
Fosfor (mg)	108	23
Yağ (g)	0.5	0.2
Sodyum (mg)	26	1.0
Protein (g)	5	1
Karbonhidrat (g)	66.5	12.8
Tiamin (B1 vitamini) (mg)	0.01	0.03
C vitamini (mg)	12	10

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez konusuyla aynı özellik taşıyan bazı çalışmaları bu bölümde anlatıldı. Yapılan bu çalışmalarda su, toprak vb. maddelerdeki radyasyon seviyeleri belirtilmiştir. Ölçülen bu değerler canlıların sağlığı bakımından uluslararası kuruluşların önerdiği sınır değerleri ile karşılaştırma yapılmış ve Türkiye ile dünyadaki gerçekleştirilen doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesine ile ilgili alışmalar aşağıda sunulmuştur.

Türkiye'nin Nevşehir ilinde yapılan çalışmada farklı tarlalardan alınan 21 adet örnek alınmıştır. Toplanan bu fasulye örneklerinin doğal radyoaktivitesi gama spektrometresi ile belirlenmiş ve numunelerdeki ^{226}Ra 1.04 Bq/kg, ^{232}Th 0.89 Bq/kg ve ^{40}K 461.47 Bq/kg olarak bulunmuş. Bölgedeki fasulyelerin tüketilmesinden dolayı yıllık etkin doz değerleri yetişkinler, bir yaşını doldurmuş bebekler ve çocuklar için hesaplamalar yapılmış olup sırayla yetişkinler, çocuklar ve bebekler de üç radyonüklit kaynaklı yılda etkin doz eşdeğeri ortalaması10.73 µSv/y, 15.12 µSv/y ve 22.16 µSv/y olarak hesaplanmış (Gürhan, 2019).

Şanlıurfa 'daki yapılan çalışmada 45 farklı numune örneklerinde saflığı yüksek (HPGe) dedektörü kullanarak ölçümler gama spektrometresi ile yapılmıştır. Bu toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite seviyelerini ölçülmünü yapmış ve bu ölçümler sonucunda ^{40}K, ^{232}Thve ^{238}U radyonüklitlerin konsantrasyon ortalamaları sıra ile 298.6 Bq/kg, 24.95 Bq/kg ve 20.8 Bq/kg değerleri bulmuştur. Aynı zamanda 53 adet faklı su örneklerinin doğal radyoaktiviteleri ise LB770-PC 10 kanallı düşük seviyesindeki beta-alfa sayım sistemindeki toplam beta aktivitesi 0.1324 Bq/L ve toplam alfa aktivitesi için 0.038 Bq/L şeklinde ölçülmüştür. Bu değerler toprakta bulunan doğal radyoaktivite seviyesinin sınırları içinde bulunmuştur. Fakat suda ölçülen alfa ve beta toplam değerleri ise yüksekolduğu tespit edilmiştir (Bozkurt ve ark., 2007).

2016 yılında Bitlis'te yapılan bir çalışmada madenlerden çıkartılarak ve inşaatta kullanılacak Ahlat taşı, volkanik olan cam ve sünger taşı örneklerindeki doz değerleri ve doğal radyoaktivite ölçülmü yapılmıştır. NaI(Tl) sintilasyondedektörü kullanarak ^{226}Ra 'un konsantrasyon değeri 29.6±5.9 ile 228.2±38,1 Bq/kg aralığında, ^{232}Th'un 10.8±5.4 ile 95.5±26.1 Bq/kg aralığında ve ^{40}K'un konsantrasyon değeri 249.3±124.7ile2580.1±266.9 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ölçülen numunelerin yaymış olduğu ve zararlı olabilecek radyasyonun değerini ölçmek için Rn'in konsantrasyonun soğurulmuş doz değeri hesaplanmıştır. Rn konsantrasyon değeri 89.2 ± 12.0 Bq/m3 ile 1141.0 ± 225.0 Bq/m3 olarak ölçülmüş ve soğurulmuş doz değerleri 81.3 ± 20.5 ile 420.6 ± 42.8 nGy/h ölçülmüş olup bulunan bu değerlerden bazılarının bilinen doz sınırlarını geçtiği görülmüştür (Kayakökü ve ark.,2016).

Rizedeki alınan çay numunelerinde yapay ve doğal radyoaktivite değerlerine bulmak için 11 ilçeden ve 32 istasyondan çay numuneleri toplanmış olup HPGe dedektörü ile istasyonlardaki ^{40}K, ^{232}Th, ^{137}Cs ve ^{238} U ortalama aktiviteleri sırası ile 372.25 Bq/kg, 4.93 Bq/kg, 11.98 Bq/kg ve 4.60 Bq/kg şeklinde hesaplanmış. İlçeler için çay örneklerinde ortalama ^{238}U, ^{137}Cs, ^{40}K ve ^{232}Th aktiviteleri sırasıyla 4.19 Bq/kg, 10.50 Bq/kg, 341.19 Bq/kg ve 4.14 Bq/kg olarak hesaplanmış ve çay numunelerindeki ^{40}K, ^{137}Cs, ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklitlerinde yıllık olarak tüketimden doğabilecek yıl bazlı değerleri, istasyonlar için doz eşdeğerleri 3.434µSv/yıl ile 19.060µSv/yıl değerleri ve ilçelerin değerleri ise için 10.867 µSv/yıl ile1 4.488 µSv/yıl bulunmuştur (Kabamaklı, 2019).

Kanada ülkesinde yapılmış bir çalışmada 28 adet toprak örneğinde ki ^{226}Ra ^{232}Th, ^{40}K doğal ve ^{137}C santropojenik çekirdeklerin aktivite konsantrasyonları koaksiyel bir germanyum dedektörü kullanılarak hesaplanmıştır. Ortalama aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 15.6 Bq/kg, ^{232}Th için 12.3 Bq/kg, ^{40}K için 415.8 Bq/kg ve ^{137}Cs için 0.8 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Vanden ve Protz, 1999).

Şanlıurfa da yapılan bir çalışmada farklı bölgelerden toplanan biber numunelerinde gama spektroskopik sistem yardımı ile radyoaktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Bu konsantrasyonlar ^{40}K, ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklitlerin aktiviteleri blirlenmiştir. Kurutularak toplanmış biber numunelerinin aktiviteleri ^{40}K, ^{238}U ve ^{232}Th için sırasıyla ortalama değerleri 844.99 Bq/kg, 21.57 Bq/kg ve 19.53 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Kabul, 2019).

Irak'ın Necef ilindeki bir yerel pazardan toplanan sebze ile meyvelerde yapılan bir çalışmada belirli aktiviteyi ölçmek için yıllık etkin doz ve doğal radyoaktivite ölçülmüştür. Bu çalışmada gama ışını spektrometresi kullanılan örnekler sonucu gösteriyorki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K için sebze örneklerinde ortalama spesifik aktiviteler 5.21 Bq/kg, 4.76 Bq/kg ve 186.15 Bq/kg dir. Sebze örneklerinde toplam yıllık etkin doz yetişkinler, çocuklar (10 yaşında) ve bebeklerde sırayla 0.117 mSv, 0.122 mSv ve 0.179 mSv olarak tahmin edilirken meyve örneklerinde toplam ortalama yıllık etkin doz ise yetişkinler, çocuklar (10 yaşında) ve bebeklerde sırayla 0.141 mSv, 0.295 mSv ve 0.388 mSv olduğu ifade edilmiştir (Ali Abid Abojassim ve ark, 2016).

3. METARYAL ve YÖNTEM

3.1. Bölgelerin Tanıtılması

Malatyanın ilçelerinden olan Pötürgenin şehir merkezine uzaklığı 74 km ve yüz ölçümü ise 1.181 km^2 dir. Rakımı ise 1.250 metredir. Pütürge İlçesi arazi bakımından sarp ve engebelli olup düz arazi ise sınırlı sayıdadır. Pütürge İlçesi Şiro Çayının Fırat Nehrine dökülen vadisinin tabanı ile birlikte ve vadinin çevresindeki dağlık kesimlerden oluşmaktadır. İlçenin yerleşimi tepelik ve dağılık alanlara yoğunlaşmış olup tarıma elverişli arazilerde yine tepe ve dağların yamaç kısımlarındadır. Ayrıca Nemrut Dağı ilçenin doğu sınırlarında yer almaktadır.

Doğu Anadolunun yukarı fırat kısmında bulunan Doğanşehir ilçesi, Malatya iline bağlı olup Güney Batısında yer almakta ve Doğanşehir'in yüzölçümü ise 1,364 km2 dir. Doğanşehir yüzölçüm bakımından Türkiye'de 202. sıradadır. İlçenin konumunun koordinatları ise Kuzey enlemi 38° 5' 36.2904" ve Doğu boylamı 37° 52' 41.2212" şeklindedir. İlçenin Malatya ya olan uzaklığı 49-kilometre uzaklıkta olup rakımı ise 1223 metredir. İlçenin batısında Elbistan ve Nurhak, Doğusunda Çelikhan, Güneyinde Gölbaşı ve Tut, Kuzeyinde Akçadağ ilçesi ve Kuzey Doğusunda ise Yeşilyurt yer almaktadır. Güneydoğu Torosları ilçenin Güney ve Doğu kollarında yer almaktadır. Sultansuyu vadisinin etrafında irili ufaklı ovalar yeralmakta olup bu ovaların tamamına ise Doğanşehir Ovası adı verilir. İlçenin bir diğer önemli ovası ise Sürgü Çayı'nın alüvyonlar ile kaplanmasından meydana gelmiş olan Sürgü Ovası'dır. Ayrıca I.derece deprem bölgesinde yer almaktadır.

Akçadağ İlçesi 38^0 kuzey enlemi ile 37^0 doğu boylamı arasında yer alır ve Akçadağ alanının morfolojisi yapı ve litoloji ile birlikte etkisi sonucunda gelişmiştir. Akçadağ, hem dağılık hemde ova konumunda olup başlıca düz arazileri Ören Düzü, Arga Düzü ve Erhaç Düzü isimleriyle anılmaktadır. Güneydoğu Torosların önemli kollarından birisi olan Akçadağ'da Sultansuyu ve Tohma ile onların kollarından meydana gelen küçük dereler yer almaktadır. Yüksek dağlar ve tepeler genellikle

volkanik birimler ve kireç taşlarından oluşmaktadır. Alçak alanlar ise kırıntılı çökellerin yuzeylendiği kesimlerdir. Bölgedeki yükseklikler 900 m. ile 2017 m. arasında degişir. Akçadağ karasal iklim hakimdir.

Kale ilçesi ise Fırat nehrinin çizmiş olduğu yay içerisinde olup Kuzey yarım kürenin 38-39^0 doğu meridyenleri ve 38-39^0 derece kuzey paralelleri arasında bulunmaktadır. İlçenin doğusunda Elazığ, Batısında Battalgazi, Güneyinde Pütürge, Kuzeyinde ise Karakaya Baraj Gölü Sahası bulunur. Ülkemizin Doğusu ile Batısı arasında önemli bir geçit olan Kömürhan Boğazı ve Kömürhan Köprüsü kale sınırları içerisinde bulunmaktadır. Mevsimlere göre yağış dağılımı kış ve ilkbaharda eşit derecede olduğu görülmektedir. İlçenin bir tarafı şak dağlarıyla çevrili diğer tarafı ise baraj gölü ile çevrili olup doğal bitki örtüsü bakımından yoksundur. İlçenin eskiden büyük birbölümü meşe ormanları ile kaplı iken zamanla yok olmuştur. İlçede yer şekillenmesi Alp kıvrımlaşması ile gerçekleşmiştir. Daha sonra meydana gelen tektonik hareketler esnasında kıvrılma ve kırılmalarla bazı kesimler yükselmiş bazılarıda çökmüştür. İl sınırlarında büyük bir aşınma olup çöküntü alanları alüvyonlarla dolmuş ve güneydoğu toroslarının kollarını oluşturan toros dağları meydana gelmiştir.

Battalgazi Malatya'nın Kuzey Doğusu ile Kuzey Yarım kürede yer almakta olup konum olarak 38-39^0 derecelik doğu meridyenleri ve 38-39^0 derecelik kuzey paralelleri arasında yer alır. İlçenin yüz ölçümü 235 km^2 olup Güneydoğu Torosların devamında yer alan Beydağlarının sardığı Malatya'nın kuzeyindedir. İlçenin Yüksek dağı olmamakla birlikte tamamı düzlük alandan oluşmuş olup toprak yapısında bulunan kuvaterner ve aluviyal çökelleri yer almakta ve Alüvyon çökeller genellikle çakıl, kum, silt ve kil ara tabakalı çamurdan oluşur.

Hekimhan İlçesi 38^0 kuzey enlemleri ile 37^0 doğu boylamları arasında ve Doğu Anadolu bölgesinin Yukarı Fırat kısmında yer almakta olup coğrafi olarak dağlık ve engebellidir. Hekimhan ilçesinin yüzölçümü 1869 km^2, rakımı ise 1040 metre olup dağları ağaçsız ve dik olmasından dolayı sağanak yağışlar ile birlikte taşkınlar ve erozyon meydana gelmektedir. Merkezden geçen Kuruçay ve Yağca Çayı hekimhanın

akarsuları olup Alp kıvrımlaşması sonrasında oluşmuştur. İlçenin jeolojik yapısı, III. Jeolojik zaman diliminin sonu ile IV. Zaman diliminin başında tektonik hareketler sırasında oluşmuştur. Kıvrılma ve Kırılmalarla bazı kısımlar yükselmiş veya çökmüş olan İlçede ayrıca şiddetli aşınmalar meydana gelmiş ve çöküntü alanları ise alüvyonlarla dolup taşmıştır. Bundan dolayı ilçede III. Zaman diliminde konglomeralar ve yaşlı kalker oluşmuştur. İlçede volkanik küller ise çok yaygın olmakla birlikte yükseltisi 915-950 metre aralığında farklılık gösteren çöküntü alanlarının kuzeyi yeşil ve beyaz marnlarla kaplanmıştır.



Şekil 3.1. Doğanşehir, Akçadağ, Kale, Pötürge, Battalgazi ve Hekimhan ilçelerinin coğrafi konumları.

3.2. Materyal

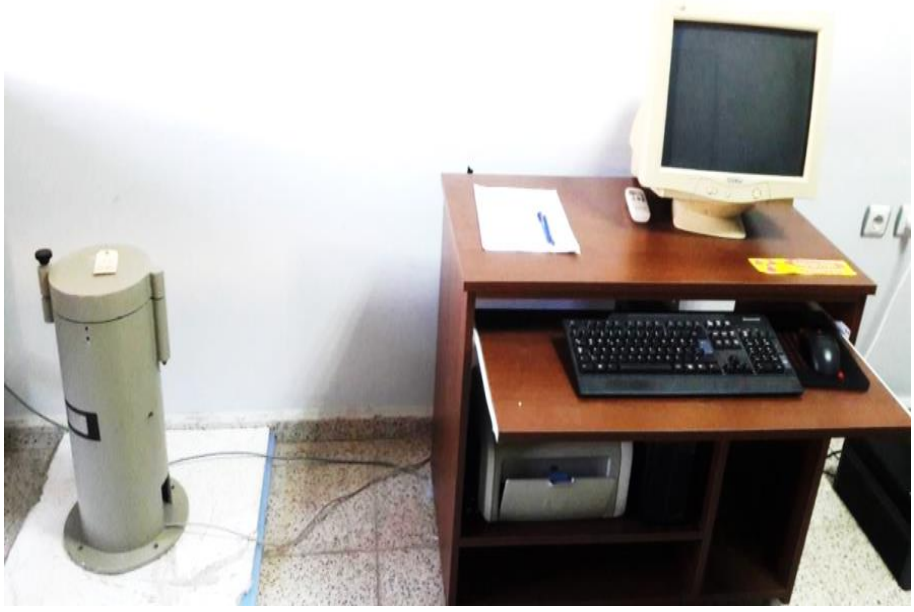
Doğal radyasyonu meydana getiren radyoaktivite ve radyoizotopların seviyelerini tespit etmede kullanılan birden çok radyoanalitik yöntem kullanılmakta olup bunlar arasında en önemlileri alfa ile gama spektrometresidir. Orantılı sayaçlar ve sıvı sintilasyon sayımı ile toplam beta ve alfa sayımı gibi en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Yarıiletken dedektörler ve sintilasyon dedektörlerini kullanıp radyoaktivite konsantrasyonu gama spektrometrik yöntemiyle ölçüm yapılmakta ve

NaI(Tl) Sintilasyon dedektörün verimi çok ise çözme gücü düşük ve Yarıiletken (HPGe) dedektörü verimi düşük çözme gücü yüksek olan dedektörlerdir. Gama spektrometrik yöntemi sayesinde radyokimyasal ayırma sürecine gerek olmaksızın direkt, hızlı, zararsız ve ayrı radyonüklitler eş zamanlı olarak ölçüm yapılabilmektedir (Gilmore, 2000).

3.3. Yöntem

3.3.1. Gama spektrometrik analizler

Gama spektrometrik dedektörde kristalegelmekte olan gama ışınlarının enerjisi ile orantılı olarak pulslar meydana gelir. Meydana gelen bu pulslar yükselteçte işlem görerek birsinyal oluşturur. Meydana gelen bu sinyal sayısal dönüştürücü sayesinde (ADC) sayısal değerler şekline dönüştürülüp burdan çok kanallı analizörde (MCA) spektrum pikine dönüştürülerek kaydedilip ölçüm yapılmaktadır. Bu çalışma Şekil 3.2'de gösterilmiş olan elektronik sistemler ve NaI (TI)sintilasyon dedektörü kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.2. Sintilasyon dedektörü bilgisayar bileşenleri

3.4. Kayısı örneklerinin toplanması ve sayıma hazırlığı

Akçadağ, Doğanşehir, Hekimhan, Pötürge, Battalgazi ve Kale İlçelerinin coğrafyasını kapsayacak şekilde bölgelerden kurutulmuş kayısı numuneleri toplandı. Her ilçeden yarım kilo olmak üzere toplam 3 kilogram olarak yeteri miktarda numune alındı. Kurutulmuş kayısı numunelerindeki nemi azaltmakve öğütme sonucu toz haline getirmek için cam beher kaplara konularak etüvde 50 ile 60 ^{0}C derece sıcaklığında bir hafta boyunca fırında kurumaya bırakıldı. Kayısı özelliği olan içindeki özsuyundan dolayı uzun süre etüvde bekletildi ve kurutuldu. Kurutulan kayısılar temizlenerek yabancı maddelerden arındırıldı. Daha sonra kayısılar öğütülerek toz haline getirildi (Şekil 3. 1).



Şekil 3.3. Kayısıların kurultulmuş hali ve öğütülmesi

Kurutulmuş kaysıların toz haline getirilmesi işleminden sonra etüvde yaklaşık olarak 50 – 60 ^{0}C'de 24 saat süre ile kurutulmaya bırakıldı (Şekil 3.4). Yapılan bu işlem ile ölçüm sonucuna etkiedecek olan ve hataya sebepo labilecek nemden tamamen arınmış olmasıdır.



Şekil 3.4. Numunelerin etüvde kurutulması

Etüvde kurutulan kayısılar darası alınmış ölçüm kaplarına konulup hava almayacak şekilde kapakları kapatılıp (Şekil 3.5) daha sonra sızdırmaz hale getirilen ölçüm kapları ^{226}Ra ve Radyumun ürün çekirdeği ^{222}Rn olan ve bunlar arasındaki kalıcı denge olmasındandolayı yaklaşık olarak 30 gün bekletilmeye bırakıldı. Böylelikle toz haline getirilmiş kayısı numuneleri radyoaktivite ölçme işlemine hazır hale getirildi.

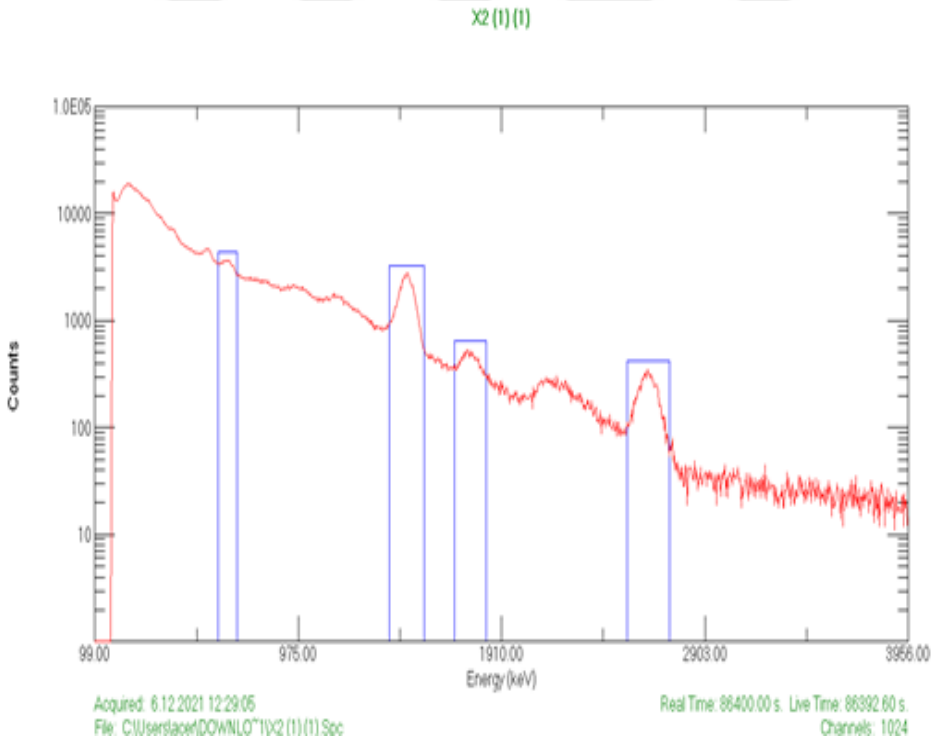


Şekil 3.5. Ölçüm kaplarına konulan kaysı numuneleri

3.4.1. Ölçme işlemi

Plastik ve silindir şeklinde olan kaplar içerisine konulan kaysı numuneleri konuldu. Daha sonra ölçme işlemine hazır hale gelen Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Radyasyon Ölçüm Laboratuarı'nda enerji kalibrasyonu yapılmış olan ORTEC marka NaI(TI) sintilasyon dedektörü bulunur. Gama spektrometrik sayım cihazında 6 tane numunenin her biri için 86400 saniye ilesayım süresi boyunca spektrum piki kaydedildi.

Sintilasyon dedektörlerinin çözünürlüğü az olduğundan dolayı birbirine yakın enerji değerlerine sahip radyasyonların radyasyonların üst üste binme olasılıklarının az olduğu spektrum pikleri seçilip ve bu piklerin toplam alanları spektrumda işaretlendi (Şekil 3.6). Görüldüğü gibi pik alanının hesabı bilgisayarda bulunan programdan faydalanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. Gama spektrumundaki pik alanı hesaplanması

Hesaplanan toplam alanlardan taban sayım alanları çıkartılıp net alanlar bulundu. Aktivite değerlerinin hesaplanma işlemi ise (1.13) formül ile hesaplandı. Kabın boş ve dolu olarak kütle ölçümü yapılır ve iki ölçme arasındaki fark alındığında numunenin net kütlesi bulunumuş ve her bir numune için bulunan bu net kütleler Aktivite formülünde yerine yazılır.

Kurutulmuş kayısı numunelerinde bulunan Th ile U'ya ait radio aktivitelerin değerleri radyonüklitlerin bozunum ürünleri olarak bilinen doğal radyonüklitlerin gama spektrumu ile elde edilen piklerden hareketle belirlenmektedir. U'e ait radyoaktivite konsantrasyonu bulunurken bozunum serisi içerisinde bulunan ^{214}Bi'ün 1764 keV enerji pikinden faydalanıldı. Th'nin radyoaktivite konsantrasyonu belirlenirken bu serideki ^{208}Tl'un 2614KeV enerjili piki alındı. Bu örneklerden deayrıca ^{40}K'ın 1461keV enerjisindeki pik değerinden faydalanılarak bu radyonüklitin radio aktivite konsantrasyonu belirlenmiş oldu.

3.4.2. Ölçmede hata

Radyasyonun ölçümlerinde çeşitli belirsizlik ya da hata kaynaklarına sebep olmakla birlikte genel olarak belirsizlik sebepleri; dedektör verimi, nets ayım işlemleri, gama ışınının yayınlama olasılığı, kütle ölçümleri ve düzeltme faktörlerinden kaynaklanabilmektedir. Spektrumdaki en net sayım aralığı bulunduğu zaman numune ile elde edilebilen sayımdan boş olan sayımlar çıkarılarak işlemler yapılır.

$$N_{net}=N_{dolu}-N_{boş} \tag{3.1}$$

Burada net sayımdaki belirsizliğin ayrı herbir sayımdaki belirsizliklerinin toplanması ile bulunmakta olup net sayımdaki belirsizlik

$$\sigma_{Net} = \sqrt{(\sigma N_{dolu})^2 + (\sigma N_{boş})^2} \tag{3.2}$$

verilen ifade ile bulunur.

Aktivitenin hesap Denklemi (1.13) ile verildiği için belirsizlik bütün değişkenlerin orantısal hatalarının toplamı ile bulunur. σ_A: aktivite hesabındaki belirsizliktir. σ_N: net sayımdaki belirsizliktir. $\sigma_{P\gamma}$: gama fotonu yayınlama olasılığındaki belirsizliktir. σ_{ε}: dedektör verimindeki belirsizliktir. σ_m: numunelerin kütlesinin ölçümündeki belirsizlik olmak üzere σ_A yı denklem halinde yazarsak.

$$\frac{\sigma_A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{P\gamma}}{P\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2} \quad (3.3)$$

Buradaki A her bir numunenin ayrı ayrı hesaplanan aktivite değerleridir.

3.4.3. Ölçülebilen en küçük aktivite (MDA)

MDA belli seviyelerde ölçülen yada değerlendirilen aktivite değeri olarak bilinip ve MDA; sayım zamanına, sayım cihazına, arka fon sayım oranına bağlı ve bir numunenin karakteristik değeri değil. Nükleer sayma programlarındaki kapsam faktörü % 95 güvenilirlik seviyesinde 1.645 olarak kullanılırken MDA değerinin hesaplanması için çevre radyoaktivite ölçümünün doğruluğu ile geçerliliği önemli ve bir sayım cihazından elde edilmiş olan aktivite değerinin geçerliliği için MDA dan yüksek olması gerekmektedir. Bu çalışmadaki MDA değerlerinin hesaplanmasında aşağıda verilmiş olan denklem (3.4) kullanıldı.

$$MDA = \frac{1{,}645.\sigma_{Nb}}{\varepsilon.P\gamma.t.m} \quad (3.4)$$

MDA: Ölçülebilen en küçük aktvite değeri
σ: İlgilenilen fotopiklerin arka fondaki standart sapması ya da herbir ayrı fotopikin net sayım değerlerin karekökü
Pγ: Gama yayılma olasılığı
ε: Dedektör verimi
t: m örneğin kütlesi ve Ölçme zamanı

Bu çalışmadaki bütün aktivite değerleri MDA değerinden büyük olarak çıkmışt

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışmamızda Malatya'nın Doğanşehir, Akçadağ, Pötürge, Battalgazi, Hekimhan ve Kale ilçelerinden alınan yarım kiloluk kurutulmuş kayısı örneklerinin doğal radyoaktivite konsantrasyonları bulundu. Kaysı örneklerinin ölçümü 3x3 NaI (Tl) sintilasyon dedektörü içeren gama spektrometre sistemi vasıtasıyla yapıldı.

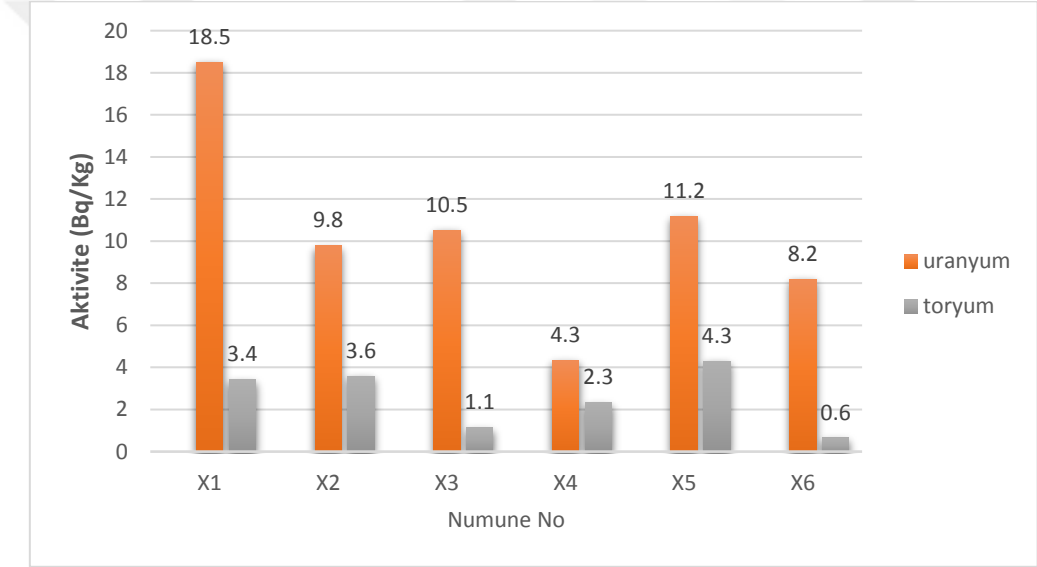
Doğanşehir, Akçadağ, Pötürge, Battalgazi, Hekimhan ve Kale ilçelerinden alınan örneklerde elde edilen radyoaktivite konsantrasyonları Çizelge 4. 1 de verilir. Bu değerlerden Uranyum ve toryumun aktivite konsantrasyon değişimleri grafik olarak Şekil 4.1 de verilir.

Şekil 4.1 incelendiğinde X1 ile gösterilen Kale ilçesinde Uranyum aktivite konsantrasyon miktarının diğer ilçelere göre yaklaşık 2 kat fazla olduğu görülür (18.3BqKg^{-1}). En az uranyum konsantrasyonu X4 ile gösterilen Doğanşehire aittir(4.3 BqKg^{-1}) . Bu değer ve diğer ilçe değerleri için yapılan hesaplanan ortalama Uranyum aktivite konsantrasyon 10.4 BqKg^{-1} olup Uluslararası *Atom Enerjisi Ajansı* nın belirlediği seviye 35 BqKg^{-1} dir.

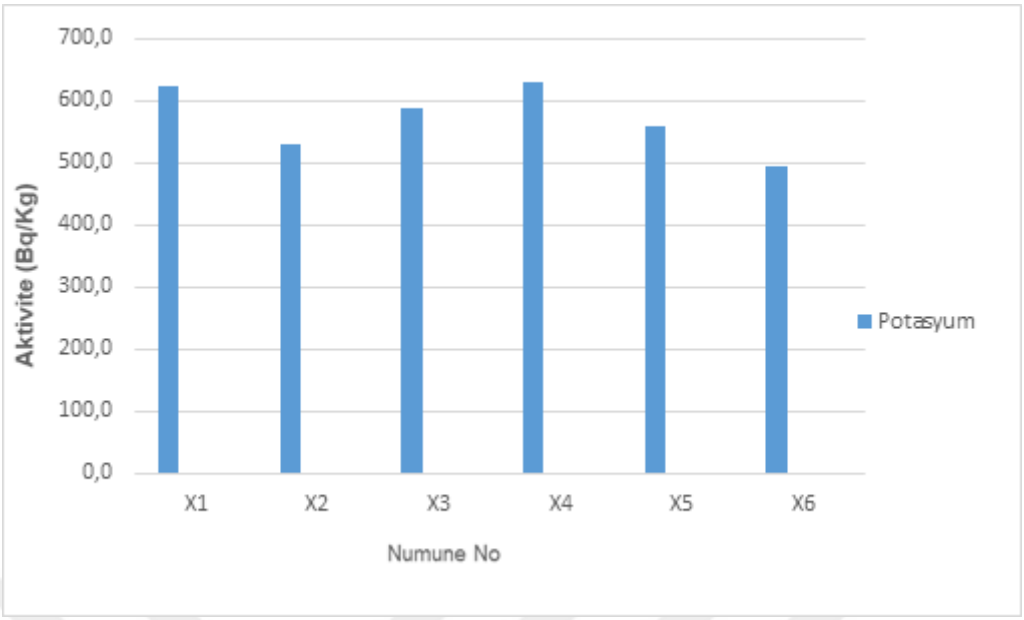
Şekil 4.1 den toryum için yapılan analizlerde bölge ortalamasının 2.6 BqKg^{-1} olup, Toryum aktivite konsantrasyonunun da Uluslararası *Atom Enerjisi Ajansı* nın belirlediği 45 BqKg^{-1} seviyeden düşük olduğu görülür.

Çizelge 4. 1 Malatya ilçelerinin Kayısı örneklerinde elde edilen radyoaktivite konsantrasyonları

Numune No	YerAdı	K-40 (Bq/Kg)	U-238 (Bq/Kg)	Th-232 (Bq/Kg)
X1	KALE	623.9	18.5	3.4
X2	BATTALGAZİ	530	9.8	3.6
X3	PÖTÜRGE	587.1	10.5	1.1
X4	DOĞANŞEHİR	629.2	4.3	2.3
X5	AKÇADAĞ	558.2	11.2	4.3
X6	HAKİMHAN	493.4	8.2	0.6
Bölge Ortalaması		570.3	10.4	2.6



Şekil 4.1. Malatyanın ilçelerinin kayısı örneklerinde elde edilen uranyum ve toryum radyoaktivite konsantrasyonları grafikleri



Şekil 4.2. Malatya ilçelerinin kayısı numunelerindeki potasyum radyoaktivite konsantrasyon grafiği

Şekil 4.2 Analiz edildiğinde tüm örneklerin Potasyum radyoaktivite konsantrasyonlarının 500 $BqKg^{-1}$ üzerinde olduğu görülür. Bu değerler Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı nın toprak için belirlediği 400 $BqKg^{-1}$ değerinden oldukça yüksektir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmamızda Malatya'nın Kale, Battalgazi. Pötürge, Akçadağ, Doğanşehir ve Hekimhan ilçelerinde radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi için deneysel çalışmalar ve araştırmalar yapıldı.

Tezdeki bu çalışmada Kale, Battalgazi. Pötürge, Akçadağ, Doğanşehir ve Hekimhan İlçelerinin toplanan yarım kilo kadar kurutulmuş kayısı örneklerinin radyoaktivite konsantrasyonlarını gama spektroskopik sayım sisteminde ölçümlerini yaptık. Gama spektroskopik ölçüm sayesinde tüm numunelerde ^{40}K, ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları bu radyonüklitlerin bozunma ürünleri olan doğal radyoniklitler aracılığıyla belirlenmiştir.

^{40}K aktivitesinin kurutulmuş kayısı numunelerindeki en yüksek değer Doğanşehir İlçesi için 629.2 Bq/Kg olarak bulundu ve en düşük değer ise Hekimhan ilçesiiçin 493.4 Bq/Kg olarak ölçüldü. Bütün ilçelerdeki kayısı numunelerindeki ortalama değer 570.3 Bq/Kg olarak bulundu.

^{238}U aktivitesinin kurutulmuş kayısı numunelerindeki en yüksek değer Kale İlçesi için 18.5 Bq/Kg ve en düşük değer ise Doğanşehir ilçesi için 4.3 Bq/Kg. Bütün ilçelerin kayısı numunelerindeki ortalama değer ise 10.4 Bq/Kg olarak bulundu.

^{232}Th aktivitesinin kurutulmuş kayısı numunelerindeki en yüksek değer Akçadağ İlçesi için 4.3 Bq/Kg ve en düşük değeri için ise Hekimhan 0.6 Bq/Kg olarak ölçüldü. Bütün kayısı numunelerindeki ortalama değer ise 2.6 Bq/Kg oarak bulundu.

Sonuç olarak, Malatya ilçelerinden farklı noktalarından alınan kayısı örnekleri kurutularak toz haline getirilerek elde edilen numuneler üzerinde yaptığımız analizlerde ortalama radyoaktivite konsantrasyonları ^{40}K için 570 Bq/Kg, ^{238}U için 10.4 Bq/Kg ve ^{232}Th için 2.6 Bq/Kg olarak ölçülmüştür.

Önceki yapılan çay örnekleri üzeride Kabamaklı (2019) ‘nın yaptığı ortalama aktiviteleri sonuçları sırası ile ^{40}K için 372.25 Bq/kg, ^{238}U için 4.60 Bq/kg ve ^{232}Th için 4.93 Bq/kg büyüklüğünde hesaplanmıştır. İkinci bir örnek Şanlıurfa da (Kabul, 2019) ‘ün yaptığı Güneşte kurutulmuş Şanlıurfa Biberi(isot) üzerinde yaptığı çalışmada ortalama aktivite değerleri ^{40}K için 844.99 Bq/kg, ^{238}U için 21.57 Bq/kg ve ^{232}Th 19.53 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ali Abid Abojassim ve ark, (2016) nın Irak’ta kayısı üzerinde yapılan bir çalışmada ^{40}K, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Bu bulunan konsantrasyon değerleri sırasıyla ^{40}K için 290.2 Bq/Kg, ^{238}U uranyum için belirlenememiş ve ^{232}Th 2.37 Bq/Kg olarak ölçülmüştür. Irakta, yapılan sebze örnekleri üzerinde yapılan aynı çalışmada ortalama spesifik aktiviteler ^{40}K için 186.15 Bq/kg , ^{238}U için 5.21 Bq/kg ve ^{232}Th için 4.76 Bq/kg olarak hesaplamışlardır. Bu değerler arasında farklılar bulunmakla birlikte doğal ortam bölgeleri farklı olduğundan sonuçlarda farklılık beklenir.

Bizim çalışmamız sonucunda hesapladığımız, ortalama aktivite konsantrasyon ^{40}K için 570 Bq/Kg, ^{238}U için 10.4 Bq/Kg ve ^{232}Th için 2.6 Bq/Kg değerleri göz önüne alınarak bu değerlerlerden Potasyumun radyoaktivite konsantrasyonu Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı raporunda ^{40}K için verilen 400 Bq/Kg değerinden ortalama 170 Bq/Kg yüksektir. Diğer iki radyoizotop için ölçülen ^{238}U için 10.4 Bq/Kg ve ^{232}Th için 2.6 Bq/Kg değerleri Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) nın belirlediği uranyum için 33 Bq/Kg ve Toryum için 18 Bq/Kg seviyelerin altında olup, bulgularımız dünya ortalamasından düşük çıkmıştır.

KAYNAKLAR

ABOJASSIM, Natural radioactivity levels in some vegetables and fruits commonly used in Najaf Gavornorate, Iraq.

AKÖZCAN, S., 2002. Manisa İli Yerleşim Alanı Topraklarında ICP-AES ve Gama Spektrometresi ile Element Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

ASMA, B., M., 2000. Kayısı Yetiştiriciliği, Evin Ofset, Malatya.

AYBERS, N. ve Karasulu, M., 1980. Nükleer Enerjiye Giriş, 1, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Genel Yayınları, İstanbul.

BAİLEY, C.H. and Hough, L.F., 1979. Apricots. Advances in Fruit Breeding. P: Purdue University Press. West Lafayette, Indiana, U.S.A.

BALİ, E. (2018.06.14).Kayısı üreticileri: Kayısıyı dalından indirmek bile zarar https://www.evrensel.net/haber/354908/kayisi-ureticileri-kayisiyi-dalindan-indirmek-bile-zarar.

BAYATA, S., 2007. Çatalağzı Termik Santrali ve Çevresinde Radyoaktivite Ölçümü, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

BOZKURT, A., YORULMAZ, N., KAM, E., KARAHAN, G. and OSMANLIOĞLU, A.E., 2007. Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey. Radiation Measurements, 42:1387– 1391.

CNSC Canadian Nuclear Safety Commission (2012). Introduction to Radiation. ISBN 978-1-100-21572-3, PWGSC catalogue number CC172-93/2012E-PDF.

ÇAVAŞ, M., (2006). NaI(TI) Detektörü ile Topraktaki Radyasyonun Ölçümü ve Maruz Kalınan Dozların Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

DEĞERLİLER, M., 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

DAS, A. and Ferel, T., 2003. Introduction to Nuclear and Particle Physics, 2, World Scientific, Singapore.

DRURY L. O.C., 2012. Origin of cosmic rays, Astroparticle Physics. Volumes 39–40, December 2012, Pages 52-60 doi.org/10.1016/j.astropartphys.

FAUST M., Suranyi D. and Nyujto F., 1998. Origin and Dissemination of Apricot. Horticultural Reviews Vol: 22, 1998, pp.248-249.

GILMORE, G.R., 2008.PracticalGamma-ray Spectrometry.2ndEdition,Gordon R. GilmoreNuclear TrainingServicesLtdWarrington, UK, 387p

GÖNEN, E., 2012. Edirne İli Çevresel Radyoaktivitenin Belirlenmesi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 83s.

GÜRHAN, Ş., 2019. Nevşehir Bölgesinde Farklı Tipte Yetiştirilen Fasulye Bitkisinin Doğal Radyoaktivitesinin Gama Spektrometresi Yöntemiyle Belirlenmesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir, 47s.

HEKİMHAN, (2018.10.12). Hekimhan. HTTP://hekimhan.net/hekimhan/cografya.

HENRIKSEN T., MAILLIE, H. D., 2003. Radiation and Health, CRC, Cleveland, 240p.

İHA, Ertv. (2020.10.21). Malatya'da kuru kayısı fiyatı yüzde 100 arttı. Ertv. https://www.ertv.com.tr/malatya/malatyada-kuru-kayisi-fiyati-yuzde-100-artti-h4315.html.

İSKENDER, S., 2005. Türkiye'de ve Dünya'da Enerji & Nükleer Enerji Gerçeği, Birinci Baskı, Türkiye Teknik Elemanlar Vakfı Yayınları, Ankara.

KABAMAKLI, B., 2019. Çernobilden 30 Yıl Sonra Rize İli ve İlçelerindeki Çay Örneklerinde Doğal ve Yapay Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Rize, 56s.

KAPLAN, I., 1965. Nükleer Fizik, Berksoy Matbaası, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, 630, İstanbul.

KARAM, P.A. and LESLİE, S.A., 2005. Changes In Terrestrial Natural Radiation Levels Over The History Of Life. Radioactivity in the Environment , Volume 7, 2005, Pages 107-117 Elsevier. DOI:10.1016/S1569-4860(04)07011-1

KAYAKÖKÜ, H., KARATEPE, Ş. and DOĞRU, M., 2016. Measurements of radioactivity and dose assessments in some building materials in Bitlis, Turkey. Applied Radiation and Isotopes, 115: 172–179.

KNOLL, G. F., 1999. Radiation detection and Measurement, 3, John Wiley & Sons Inc., United States of America.

KRANE, K.S., 2002. Nükleer Fizik, Ankara.

KRANE, K.S., 2011. Nükleer Fizik, 1, 2, Palme Yayıncılık, Ankara.

LAYNE, R.E.C. Bailey C.H., Hough L.F., 1996. Apricots. In: Fruit Breeding, Vol:1: Tree and Tropical Fruits, pp. 79–111. Eds. By J. Janick and J.M. Moore, John Willey and Sons, New York.

LEDERER, C.M., HOLLANDER, J.M. and PERLMAN, I., 1968. Table of Isotopes, 6, John Wiley & Sons, New York.

LILLEY, J.S., AYDIN, A., SARPÜN. H. and TEL E., 2018. NükleerFizik İlkelerveUygulamalar, NobelAkademik Yayıncılık, Ankara,416s.

ANNUNZIATA, L. and MICHEAL, F., 2012. Handbook of Radioactivity Analysis, 3rd ed., Academic, Cambridge, Massachusetts, 1418p.

MAVİ, B., 2010. Isparta‟daki Bazı Yapı Malzemelerinde Doğal Radyoaktivite Tayini, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 104s.

MUELLER, A.C. and SHERRILL, B.M., 1993. Nuclei At The Limits Of Particle Stability. Annu. Rev. Nuc/. Part. Sci. 1993.43:529-583.

ORTEC, 2006. GamaVision-32 Gamma-Ray Spectrum Analysis and MCA Emulator for Microsoft Windows 2000 Professional and XP Professional A66-B32 Software User‟s Manual, Advanced Measurement Technology, :143-145.

ÖKSÜZ, İ., 2016. İzmit Körfezindeki 238U, 232Th, 40K ve 137Cs Spesifik Aktivitelerinin Ölçülmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 68s.

ÖMER, H., 2021. Saudi Journal of Biological Sciences. Volume 28, Issue 10, October 2021, Pages 5585-5592. Science Direct. doi.org/10.1016/j.sjbs.05.071

ÖNEN, S., 1992. RadyasyonFiziği (İyonlayıcı ve İyonlayıcı olmayan) ve Radyasyondan Korunma, SEK Yayınları, Ankara, 198s.

SINGH, S., SINGH, B. and KUMAR, A., 2003. Natural radioactivity measurements in soil samples from Hamirpur district, Himachal Pradesh, India, Radiation Measurements, 36: 547-549.

SUJO, L.C., CABRERA, M.E.M., VILLALBA, L., VILLALOBAS, M.R., MOYE, E.T., LEON M.G., GARCIA- TENORIO, R., GARCIA, F. M., PERAZA, E.F.H. and AROCHE, D.S., 2004. Uranium-238 and thorium-232 series concentrations in soil , radon-222 indoor and drinking water concentra, Chihuahua, Mexico, 77(2): 205-219.

ŞAHİNER, E., 2010. Doğal Radyoaktif İzotoplarda Gerçek Çakışma Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

ŞİRİN, M., 2006. Çekirdek Fiziği, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, İstanbul.

TAMKAŞ, M., 2013. C12(p, γ)N13 Reaksiyonunun Tesir Kesiti Ölçümleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TAYLOR, J.R., ZAFİRATOS, C.D. ve DUBSON, M.A., 2004. Modern Physics for Scientists and Engineers, 2, Prentice Hall.

TÜRKİYE Atom Enerjisi Kurumu, Radyasyon Ölçüm Sistemleri, http://www.taek.gov.tr, 27 Aralık 2014.

UNEP, 2016. Radiation Effects and Sources, ISBN: 97892-807-3517-8.

VANDEN BYGAART, A. And PROTZ, R., 1999. Gamma radioactivity in podzolicsoils of Northern Ontario, Canada, Journal of Environmental Radioactivity, 42: 51 – 64.

YARAMIŞ B., 1985. Nükleer Fizik Cilt-1, İTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, İstanbul.

YAREN, H. ve KARAYILANOĞLU, T., 2005. Radyasyon ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri, TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 4:199-208.

YEBOAH, J., BOADU, M. and DARKO, E.O., 2001. Natural radioactivity in soils and rocks within the greater accra region of Ghana, Journal Of Radioanalytical And Nuclear Chemistry, Vol 249: 629-632.

YEŞİLBAĞ, Y.Ö., 2008. Artvin ve Ardahan İlleri Ev İçi Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 102s.

YILMAZ, N.C., 2019. Yozgat İli Çevresinin Yüzeysel Toprak Yapısındaki Doğal Radyoaktivitenin Belirlenerek Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir, 53s.

WANG, N., et al., 2005, Determination of Radioactivity Level of 238U, 232Th and 40K in Surface Medium in Zhuhai City by in-situ Gamma-ray Spectrometry, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 42, No. 10: 888–896.