

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİMDALI

**VAN VE ÇEVRESİNDE YETİŞTİRİLEN BAZI YÖRESEL ÜRÜNLERDE DOĞAL
RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: ÇİĞDEM ÖTER
DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. ÖZLEM SELÇUK ZORER

VAN-2013

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİMDALI

**VAN VE ÇEVRESİNDE YETİŞTİRİLEN BAZI YÖRESEL ÜRÜNLERDE DOĞAL
RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: ÇİĞDEM ÖTER

VAN-2013

KABUL VE ONAY SAYFASI

Kimya Anabilim Dalı'nda Yrd. Doç. Dr. Özlem SELÇUK ZORER danışmanlığında, Çiğdem ÖTER tarafından sunulan “**Van ve Çevresinde Yetiştirilen Bazı Yöresel Ürünlerde Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 07/01/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Özlem SELÇUK ZORER

İmza:

Üye: Yrd. Doç. Dr. Zeki YALÇINKAYA

İmza:

Üye: Yrd. Doç. Dr. Tekin ŞAHAN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18/01/2013 tarih ve 2013/2-II sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza
Prof. Dr. Dr. Turgut AYGÜN
Enstitü Müdürü

ÖZET

VAN VE ÇEVRESİNDE YETİŞTİRİLEN BAZI YÖRESEL ÜRÜNLERDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖTER, Çiğdem

Yüksek Lisans Tezi, Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Özlem SELÇUK ZORER

Ocak 2013, 58 sayfa

Bu çalışmada, Van ve çevresinde yetişen bazı yöresel ürünlerin doğal radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, belirlenen ürünlerden örnekler alınarak içeriğindeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ölçülmüştür.

Besin maddelerinde doğal olarak bulunan radyoizotop konsantrasyonu bölgenin doğal fon seviyelerine, iklimine ve tarım uygulamalarına bağlı olarak değişir. Aynı şekilde beslenme alışkanlıkları da bölgeden bölgeye, ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Buna bağlı olarak, çalışmada Van halkının beslenme alışkanlıkları göz önünde bulundurularak örnekleme işlemi farklı yerlerden yapılmıştır. Bu amaçla Van ve çevresinden alınan örnekler üç farklı gruba ayrılmış ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Birinci grupta bitki örnekleri incelenmiş ve bitki örnekleri içinde en yüksek toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları uçkun1 örneğinden alınmıştır. İkinci grup meyve-sebze örneklerini içermekte olup en yüksek toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları kavun örneğinde tespit edilmiştir. Üçüncü grupta diğer besin maddeleri ve içme suyu örnekleri incelenmiş ve en yüksek toplam alfa aktivitesi balık (İnci Kefali) örneğinden en yüksek toplam beta aktivitesi ise ceviz3 örneğinden alınmıştır.

Bu örneklerin, toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemek için gaz akışlı orantılı sayaç sistemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre analiz edilen ürünlerin radyoaktivite değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Van, Doğal radyoaktivite, Besin, Toplam alfa, Toplam beta.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE NATURAL RADIOACTIVITY LEVELS IN SOME REGIONAL FOODSTUFFS CULTIVATED IN VAN AND ITS SURROUNDINGS

ÖTER, Çiğdem

Msc Thesis, Chemistry Science

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Özlem SELÇUK ZORER

January 2013, 58 pages

In this study, it is purposed that the natural radioactivity values are determined in some regional foodstuffs cultivated in Van and its surroundings. In accordance with this purpose, the gross alpha and gross beta radioactivity levels in content of samples are measured by sampling in from established products.

The natural radioisotope concentration found in foodstuffs, changes depending on natural background levels, climate and agricultural applications of the region. Similarly, food habits show the differences from region to region and from country to country. Therefore, by regarding the food habits of community in Van in study, the sampling is made from the different locations. For this purpose, the samples taken from Van and its surroundings are divided into three different groups and compared among themselves. In the first group, the plants samples are investigated and the highest gross alpha and beta activity concentrations are obtained from rhubarb1 in the plant samples. The second group contains fruit-vegetable samples and the highest gross alpha and beta activity concentrations are determined in the melon sample. In the third group, the other foodstuffs and drinking water samples are examined and the highest gross alpha and beta activities are obtained from fish (pearl mullet) and walnut3 samples, respectively.

To determine the gross alpha and gross beta radioactivity concentrations of these samples, gas flow proportional counter is used. According to obtained results, the radioactivity values of analyzed products are compared with each other.

Key words: Van, Natural radioactivity, Foodstuff, Gross alpha, Gross beta.

ÖN SÖZ

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup, sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar. Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta, bunlar da zamanla çeşitli organlarda birikmektedir. Kozmik ışınlardan ve yerkürede bulunan doğal ve yapay radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz için insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır.

Bu çalışmada, Van ilinde yetiştirilen besin ürünlerinden bazıları seçilerek örnekler alınmıştır. Daha sonra bu örneklerin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

Yüksek lisans çalışmalarım süresince bana ihtiyaç duyduğum her alanda yardımcı olan, bilgi ve deneyimini benimle paylaşan ve bana yol gösteren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Özlem SELÇUK ZORER'e teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmalarımın son aşamasında bana laboratuvarlarından yararlanmama fırsatı tanıyan Tarım İl Gıda Kontrol Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme ve varlıklarıyla hayatıma değer katan arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.

Çiğdem ÖTER

İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON	3
2.1. Radyoaktivite	3
2.1.1. Doğal radyoaktivite	4
2.1.1.1. Doğal radyoaktif seriler	5
2.1.2. Yapay radyoaktivite	10
2.2. Radyasyon Çeşitleri	12
2.2.1. Alfa parçacıkları	12
2.2.2. Beta parçacıkları	13
2.2.3. Gama ışınları	13
2.2.4. X ışınları	13
2.2.5. Nötronlar	14
2.3. Radyoaktif Bozunma Ürünleri	14
2.3.1. Alfa bozunması	15
2.3.2. Beta bozunması	16
2.3.3. Gama bozunması	17
2.4. Radyasyon Birimleri	18
2.4.1. Aktivite birimi	18
2.4.2. Işınlama birimi	19
2.4.3. Soğurulmuş doz	19
2.4.4. Doz eşdeğeri	19
2.5. Radyoaktif Bozunma Kinetiği	20
2.5.1. Yarılanma süresi	22
2.5.2. Aktivite	22

2.5.3. Kararlılık kuşağı	24
2.6. Radyasyon Kaynakları	26
2.6.1. Doğal radyasyon kaynakları	26
2.6.2. Yapay radyasyon kaynakları	27
2.7. Radyasyon Ölçüm Sistemleri	28
2.7.1. İyon detektör odası	29
2.7.2. Geiger Müller detektörü	29
2.7.3. Orantı sayaçlar	30
2.7.4. Sintilasyon detektörleri (parıldama)	32
2.7.5. Yarı iletken detektörler	32
2.7.6. Nötron detektörleri	33
3. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	34
4. ÇALIŞMA ALANI VE SAYIM SİSTEMİ	36
4.1. Van'ın İlçeleri	37
4.2. Araştırmada Kullanılan Ölçüm Yöntemi	38
4.2.1. Alfa ve beta sayım sistemi	38
4.2.2. Sayım sisteminin kalibrasyonu	40
4.2.3. Örneklerin toplanması ve sayıma hazırlanması	41
5. MATERYAL VE YÖNTEM	42
5.1. Materyal	42
5.1.1. Deneyleerde kullanılan araç ve gereçler	42
5.1.2. Kullanılan maddeler	42
5.2. Yöntem	43
6. BULGULAR ve TARTIŞMA	44
7. SONUÇ	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

	sayfa	
Şekil 2.1.	Uranyum bozunum serisi	6
Şekil 2.2.	Toryum bozunum serisi	7
Şekil 2.3.	Aktinyum bozunum serisi	8
Şekil 2.4.	Neptünyum bozunum serisi	9
Şekil 2.5.	Radyasyon türlerinin gericilik özellikleri	14
Şekil 2.6.	Alfa parçacığı radyasyonu	15
Şekil 2.7.	Beta parçacığı radyasyonu	17
Şekil 2.8.	Gama ışını radyasyonu	18
Şekil 2.9.	Aktifliğin üstel değişimi	24
Şekil 2.10.	Aktifliğin üstel değişiminin yarı logaritmik değişimi	24
Şekil 2.11.	Kararlı çekirdeklere ait kararlılık kuşağı ve kararlı izotopların oluşturduğu bant	25
Şekil 2.12.	İyon odası detektörleri	29
Şekil 2.13.	Geiger-Müller detektörü	30
Şekil 2.14.	Gazlı sayaç şematik şekli	31
Şekil 2.15.	Sintilasyon detektörleri	32
Şekil 2.16.	Yarı iletken detektör	33
Şekil 4.1.	Van ili ve ilçeleri	36
Şekil 4.2.	Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzenek	39
Şekil 4.3.	Gaz akışlı alfa ve beta sayım cihazı	40
Şekil 5.1.	Bitki örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri	45
Şekil 5.2.	Bitki örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri	45
Şekil 5.3.	Bitki örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin karşılaştırılması	46
Şekil 5.4.	Meyve ve sebze örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri	47
Şekil 5.5.	Meyve ve sebze örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri	48
Şekil 5.6.	Meyve ve sebze örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin karşılaştırılması	48
Şekil 5.7.	Diğer örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri	50
Şekil 5.8.	Diğer örneklerin toplam beta radyoaktivite seviyeleri	51

Şekil 5.9. Diğer örneklerin toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin karşılaştırılması

52

ÇİZELGELER DİZİNİ

		sayfa
Çizelge 2.1.	Toryum, Uranyum ve Aktinyum elementlerine ait bazı özellikler	5
Çizelge 2.2.	Uranyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri ve yayınladıkları parçacık türleri	6
Çizelge 2.3.	Toryum serisi ürünlerinin yarı ömürleri ve yayınladıkları parçacık türleri	7
Çizelge 2.4.	Aktinyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri ve yayınladıkları parçacık türleri	8
Çizelge 2.5.	Neptünyum serisi ürünlerinin yarılanma ömürleri ve yayınladıkları parçacık türleri	9
Çizelge 2.6.	Doğal radyoaktif çekirdeklerin bazı özellikleri	10
Çizelge 2.7.	Radyasyon doz birimleri	20
Çizelge 2.8.	Radyasyon dozunun doğal ve yapay kaynaklara göre dağılımı	28
Çizelge 5.1.	I. Grup için kütle ve toplam alfa/beta radyoaktivite değerleri	44
Çizelge 5.2.	II. Grup için kütle ve toplam alfa/beta radyoaktivite değerleri	47
Çizelge 5.3.	III. Grup için kütle ve toplam alfa/beta radyoaktivite değerleri	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$t_{1/2}$: Yarı ömür
y	: Yıl
sn	: Saniye
dk	: Dakika
Bq	: Becquerel (bekerel)
mSv	: Milisievert
cm	: Santimetre
m	: Metre
V	: Volt
MeV	: Mega elektron volt
C/kg	: Coulomb / kilogram
R/h	: Röntgen / saat
Si/h	: Sievert / saat
μ Sv	: Mikrosievert
nSv	: Nanosievert
nGy	: Nanogray
mg	: Miligram
$^{\circ}$ C	: Santigrat Sıcaklığı
Bq/g	: Becquerel/gram
Bq/kg	: Becquerel/kilogram
Bq/l	: Becquerel/litre

Kısaltmalar

IAEA	: Atom Enerjisi Ajansı
SSCB	: Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
G-M	: Geiger-Müller

1. GİRİŞ

Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Bu nedenle insanoğlu var olduğundan bu yana sürekli radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Doğal radyasyon kaynakları; dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, bu ışınların oluşturduğu kozmojenik radyonüklitler, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar ve bunların bozunma ürünleridir. Yapay radyasyon kaynakları; nükleer silah denemeleri ve nükleer kaza sonucu meydana gelen radyoaktif serpintilerden, nükleer yakıt çevrimi ve nükleer güç üretiminden çevreye salınan radyonüklitlerdir. Doğal ve yapay radyasyon kaynakları çevresel radyoaktiviteyi oluşturmaktadır.

Çevremizde var olan radyoizotoplar başlıca üç kaynağa dayanmaktadır. Birinci kaynak yerkürenin kendisidir. Dünyanın oluşumu sırasında bildiğimiz çok sayıda elementin yanında radyoaktif elementler de oluşmuştur. Bunların arasından kısa ömürlüler daha insanlık onları tanıyamadan tükenip gitmişlerdir. Ömürleri dünyanın milyar yılla ölçülen yaşı mertebesinde olanlar, miktarca azalarak günümüze kadar gelmişlerdir. Uranyum-238, uranyum-235, toryum-232 ve potasyum-40 bu radyoizotoplardandır. Söz konusu kaynaklardan; uranyum-238, uranyum-235 ve toryum-232 çok uzun ömürlü radyoaktif maddeler olup milyarlarca yıldan beri sürüp gelen radyoaktif bozunmalar ile başka radyoizotoplar üreten zayıf fakat tükenmez birer kaynağıdır.

Çevresel radyoizotopların ikinci kaynağı; atmosferin üst tabakalarında kozmik radyasyonun sebep olduğu nükleer dönüşüm olayıdır. Örnek olarak uzaydan gelen yüksek enerjili nötronlar, çarptıkları azot atomlarını karbon-14 radyoaktif izotopuna, lityum atomlarını ise trityum radyoizotopuna dönüştürürler. Bu üretim çok küçük bir verimle fakat kesintisiz süregelmiştir (Özden, 1983). Çevresel radyoizotopları oluşturan üçüncü kaynak ise insan faaliyetleridir. İyot-131, iyot-129, stronsiyum-90, sezyum-137, plütonyum-239 gibi radyoizotoplar; nükleer silah denemeleri, nükleer kazalar, nükleer yakıt çevrimi ve nükleer güç üretimi sonucunda çevreye verilmişlerdir.

Besinler için belli radyasyon sınırları tespit edilmiştir. Bu miktarlar en zararsız sınır olarak, kilogramda olmak üzere 2000 becquereldir. Çünkü bu miktar radyasyonlu besinleri bir yıl boyunca yesek dahi, sağlık için zararsız doz olan 500 miliremi aşmamış oluruz. Bir nükleer kaza ya da savaşta en çok aşağıdaki besinler etkilenecektir.

- 1) Süt.
- 2) Kekik, çay, maydanoz gibi yeşil bitkiler.
- 3) Eğer o bölgede varsa, nehir balıkları (Büyük denize radyasyon bulaşsa dahi ileri derecede sulanacağından balıklara yansımaz),
- 4) Çeşitli tahıl ürünleri (Özden, 1990; Daşdağ, 1990).

Bir röntgen çekiminde 300-500 milirem ışın alınır. Bir kilosunda 1000 becquerel radyasyon bulunan fındıktan bir yıl boyunca 100 gram yemiş olursak vücudumuza geçecek radyasyon miktarı; 100 miliremdir. Bu bir röntgen çekiminde alacağımız radyasyondan daha azdır.

Günde 20 bardak çay içersek ve çayda 20.000 becquerel radyasyon olsa bizim vücudumuza girecek olan miktar; 50 miliremdir. Bu ise İstanbul Ankara arası beş uçak yolculuğuyla alınabilecek radyasyona denktir. Süt direkt alındığı ve içinde çok tehlikeli olan radyoaktif kalsiyum ve stronsiyum tutunabileceği için tehlikeli bölgenin civarından gelen sütlerden uzun bir süre içmemekte fayda vardır.

2. RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON

2.1. Radyoaktivite

1800'lerin sonlarına doğru, Alman Fizikçisi Wilhelm Röntgen, bir elektron demetinin cama çarptığında, yeni ve garip bir ışının oluştuğunu keşfetti. Bu ışınlar bilinmeyen bir yapıda olduklarından, "X ışınları" olarak isimlendirildi. Bu keşiften iki ay sonra, Fransız Fizikçi Henry Becquerel, değişik elementleri siyah foto grafik plakalarla sardığı bir deney yaptı. Amaç bu elementlerin ışın yayıp yaymadıklarını gözlemektir. Becquerel, uranyum gibi bir kaç elementin herhangi bir enerji girişi olmadan enerjili ışınlar yaydıklarını buldu. Becquerel'in deneyinin anlamı, bazı doğal olayların, bazı elementlerin enerjili X ışınları yaymalarından sorumlu olduklarıdır. Bu da göstermektedir ki, bazı elementler natürel olarak kararsızdırlar. Çünkü bu elementler, değişik enerji çeşitlerini kendiliklerinden salmaktadırlar. X ışınları gibi, enerjili parçacıkların kararsız atomların bozunumlarından salınmalarına radyoaktivite denir. Bundan sonra Fransız fizikçiler Pierre ve Marie Curie, radyoaktif olaylardan elde edilen diğer elementler üzerinde çalışmaya başlamışlar ve 1898 yılında radyumu keşfetmişlerdir.

Doğada mevcut elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı, bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptirler. Kararlı bir çekirdekte, çoğu durumda nötron sayısı (N) proton sayısından (Z) biraz daha fazla ve N/Z oranı yaklaşık olarak 1.50 civarında olup, proton ve nötronlar birbirlerine nükleer kuvvetlerle çok sıkı bir şekilde bağlıdırlar ve hiçbir parçacık çekirdek dışına çıkamaz. Böylece çekirdek kararlı halde kalır. Ancak, çekirdek kararsızsa, yüksek enerjiye sahip olacak ve parçacıkları bir arada tutamayacaktır. En basit çekirdek olan Hidrojen çekirdeğinin dışındaki tüm çekirdekler nötron ve protonlardan oluşmuştur. N/Z oranı hafif izotoplarda 1 iken, ağır çekirdeklere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. Bu oran arttıkça çekirdeklerin artık kararlı olmadığı bir düzeye ulaşılır. En ağır kararlı çekirdek Bi-209'dur. Daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsızdırlar. Böyle çekirdeklere radyoaktif çekirdek veya radyoizotop adı verilir. Bunlar fazla enerjilerinden kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar ki bu olaya radyoaktivite veya radyoaktif parçalanma denir. Bu olay

üstel bir fonksiyon şeklinde zayıflayan bir tempo ile azalarak kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder. Radyoaktivite doğal ve yapay olarak iki şekilde meydana gelir.

2.1.1. Doğal radyoaktivite

Uranyum ve toryum içeren doğal minerallerin radyoaktif bozunumları, nükleer fizik çalışmalarının başlamasında büyük rol oynamışlardır. Daha kısa yarı-ömürlü çekirdekler bozularak yok olduklarından bugün sadece uzun ömürlü bozunmalar gözlenmektedir. ^{235}U ve ^{238}U son derece uzun ömürlü olmasaydı bugün doğada hiçbir uranyum izotopu bulunmayacak ve muhtemelen nükleer teknoloji ya da nükleer silah olmayacaktı (Krane, 2001).

1895 yılında Henry Becquerel'in radyoaktiviteyi keşfiyle doğal radyoaktivite kavramı günlük hayatımızda yerini aldı. Yer kabuğunda mevcut olan, dünyanın oluşumundan itibaren var olan atom numarası 83'ten büyük olan atomlar bu grubun içine sokulabilir. Volkanik kayalarda (granit ve tortul kayalar) oldukça yüksek radyasyon seviyesine rastlanılır (Amutha ve ark., 2005). İnsan üzerine etkileri bakımından kozmik radyasyon ve bunların atmosferimizle etkileşmesi sonucunda meydana getirdikleri radyoaktif parçacıklar da ihmal edilemeyecek kadar önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle deniz seviyesinden yüksek rakımlı bölgelere çıkıldıkça radyasyon oranı önemli ölçüde artış göstermektedir.

Doğal radyoaktiviteden, atomun çekirdek yapısının açıklanması, dünya yaşının tahmini ve okyanusların dibinde bulunan sediment oluşum oranlarının ölçülmesi gibi çeşitli alanlarda faydalanılır. Çevresel örneklerde doğal radyoaktivite seviyelerini belirleme çalışmaları, nükleer enerjinin insanoğlunun hizmetine girmesi ve nükleer santrallerde üretilen radyoaktif maddelerin çevreye verdikleri zararların araştırılmaya başlanmasıyla hız kazanmıştır. Bu tür çalışmalar, hem doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi hem de nükleer santrallerin kurulduğu bölgelere yakın oturan insanların çevresel doğal radyasyonların yanı sıra nükleer santrallerden kaynaklanan radyasyonlara da maruz kaldıklarının tespiti açısından önemlidir.

2.1.1.1. Doğal radyoaktif seriler

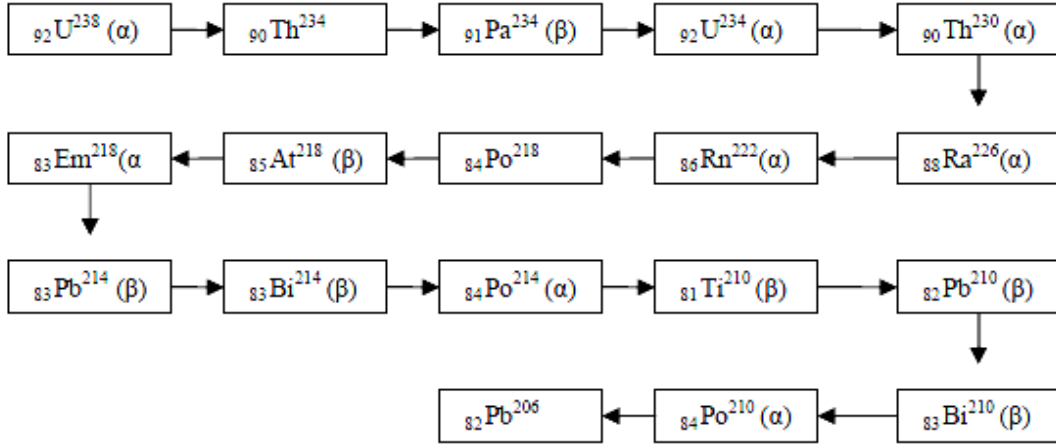
Doğal radyoaktif izotopların birçoğu ağır elementlerden oluşmaktadır. Bu ağır elementler üç seride toplanmaktadır. Bunlar toryum, uranyum ve aktinyum serileridir. Bu isimler seride mevcut olan radyoaktif izotoplardan en uzun yarı ömürlü olana aittir. n bir tam sayı olmak üzere bu seriler, $4n$, $4n+2$, $4n+3$ denklemleri ile tanımlanır. n değeri seriye bağlı olarak 51 veya 52'den 58 veya 59'a kadar değişir. Bu denklemlerle serideki radyoaktif çekirdeklerin kütle numaraları elde edilir. Alfa bozunması yapan bir radyonüklitin kütle numarası dört birim azalır. Beta bozunumu yapan radyonüklitin kütle numarası değişmez. Bu nedenle bu serilerden herhangi birinde bir bozunma gerçekleşirse, oluşan yeni element yine aynı serinin bir üyesi olur. Bu üç seriye adını veren toryum, uranyum ve aktinyum elementlerine ait bazı özellikler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Toryum, Uranyum ve Aktinyum elementlerine ait bazı özellikler

Seri Adı	Türü	En Son Bozunma Ürünü	Radyoaktif çekirdek	Yarı ömür ($t_{1/2}$)
Toryum	$4n$	^{208}Pb	^{232}Th	1.39×10^{10}
Uranyum	$4n+2$	^{206}Pb	^{238}U	4.51×10^9
Aktinyum	$4n+3$	^{207}Pb	^{235}U	7.13×10^8

Bu üç seriden farklı olan ve neptünyum serisi olarak adlandırılan bir radyoaktif seri daha vardır. Neptünyum serisi yapay bir radyoaktif seridir. Neptünyum serisi $4n+1$ denklemiyle tanımlanır. Neptünyum serisindeki en uzun ömürlü radyoaktif elementin yarı ömrü, dünyanın yaşıyla kıyaslandığında çok kısa olduğu için bugün doğal maddelerde gözlenmemektedir (^{237}Np ile başlar, ^{209}Bi ile kararlılığa ulaşır).

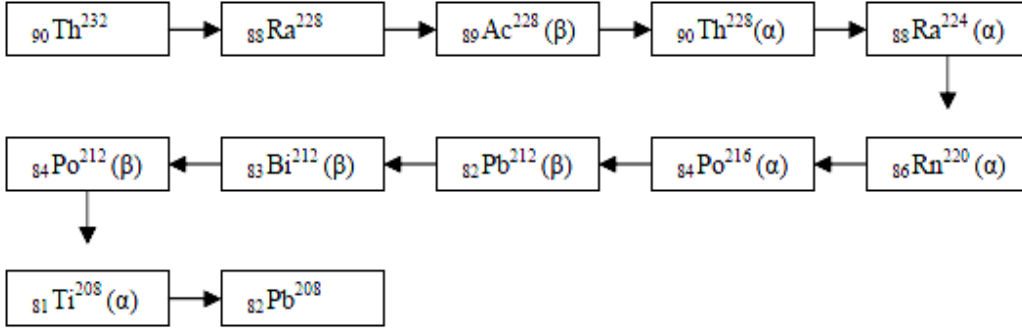
Bu radyoaktif serilere ait bozunum şemaları Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te; serilere ait ürünlerin yarı ömürleri ve yayınladıkları parçacık türleri ise Çizelge 2.2, Çizelge 2.3, Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'te gösterilmektedir (Davutoğlu, 2008).



Şekil 2.1. Uranyum bozunum serisi.

Çizelge 2.2. Uranyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri ve yayınladıkları parçacık türleri

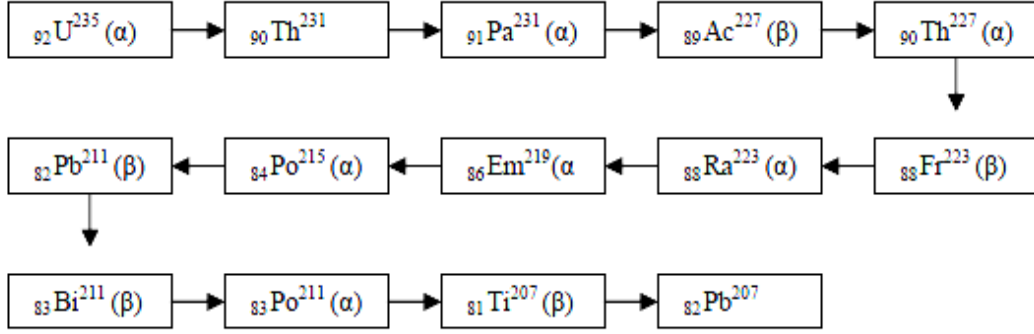
Çekirdek	Yarı ömür	Yayınladığı parçacık türü
${}_{92}^{238}\text{U}$	4.51×10^9 yıl	α
${}_{90}^{234}\text{Th}$	24.10 gün	β
${}_{91}^{234}\text{Pa}$	1.75 dakika	β
${}_{92}^{234}\text{U}$	2.48×10^5 yıl	α
${}_{90}^{230}\text{Th}$	8.0×10^4 yıl	α
${}_{88}^{226}\text{Ra}$	1.622 yıl	α
${}_{86}^{222}\text{Rn}$	3.825 gün	α
${}_{84}^{218}\text{Po}$	3.05 dakika	β
${}_{85}^{218}\text{At}$	2 saniye	β
${}_{83}^{218}\text{Em}$	0.019 saniye	α
${}_{83}^{214}\text{Pb}$	26.8 dakika	β
${}_{83}^{214}\text{Bi}$	19.7 dakika	α
${}_{84}^{214}\text{Po}$	1.64×10^{-4} saniye	β
${}_{81}^{210}\text{Tl}$	1.32 dakika	β
${}_{82}^{210}\text{Pb}$	19.4 yıl	β
${}_{83}^{210}\text{Bi}$	5.00 gün	β
${}_{84}^{210}\text{Po}$	138.40 gün	β
${}_{82}^{206}\text{Pb}$	Karalı	-



Şekil 2.2. Toryum bozunum serisi.

Çizelge 2.3. Toryum serisi ürünlerinin yarı ömürleri ve yayınladıkları parçacık türleri

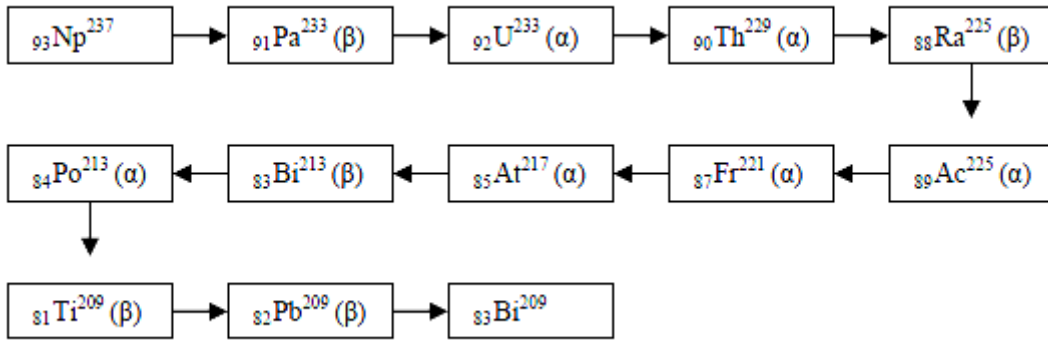
Çekirdek	Yarı ömür	Yayınladığı parçacık türü
${}_{90}^{232}\text{Th}$	1.39×10^{10} yıl	α
${}_{88}^{228}\text{Ra}$	6.7 yıl	β
${}_{89}^{228}\text{Ac}$	6.13 saat	β
${}_{90}^{228}\text{Th}$	1.91 yıl	α
${}_{88}^{224}\text{Ra}$	3.64 gün	α
${}_{86}^{220}\text{Rn}$	52 saniye	β
${}_{84}^{216}\text{Po}$	0.158 saniye	α
${}_{82}^{212}\text{Pb}$	10.64 saat	β
${}_{83}^{212}\text{Bi}$	60.5 dakika	β
${}_{84}^{212}\text{Po}$	3.04×10^{-7} saniye	β
${}_{81}^{208}\text{Tl}$	3.1 dakika	α
${}_{82}^{208}\text{Pb}$	Kararlı	-



Şekil 2.3. Aktinyum bozunum serisi.

Çizelge 2.4. Aktinyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri ve yayınladıkları parçacık türleri

Çekirdek	Yarı ömür	Yayınladığı parçacık türü
$^{235}_{92}\text{U}$	7.13×10^8 yıl	α
$^{231}_{90}\text{Th}$	25.64 saat	β
$^{231}_{91}\text{Pa}$	3.43×10^4 yıl	α
$^{227}_{89}\text{Ac}$	21.8 yıl	β
$^{227}_{90}\text{Th}$	18.4 gün	α
$^{223}_{88}\text{Fr}$	21 dakika	β
$^{223}_{88}\text{Ra}$	11.68 gün	α
$^{219}_{86}\text{Em}$	3.92 saniye	α
$^{215}_{84}\text{Po}$	1.83×10^{-3} saniye	α
$^{211}_{82}\text{Pb}$	36.1 dakika	β
$^{211}_{83}\text{Bi}$	2.16 dakika	β
$^{211}_{84}\text{Po}$	0.52 saniye	α
$^{207}_{81}\text{Tl}$	4.78 dakika	β
$^{207}_{82}\text{Pb}$	Kararlı	-



Şekil 2.4. Neptünyum bozunum serisi.

Çizelge 2.5. Neptünyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri ve yayınladıkları parçacık türleri

Çekirdek	Yarı ömür	Yayınladığı parçacık türü
${}_{93}^{237}\text{Np}$	2.2×10^6 yıl	α
${}_{91}^{233}\text{Pa}$	27.4 gün	β
${}_{92}^{233}\text{U}$	1.62×10^5 yıl	α
${}_{90}^{229}\text{Th}$	7.34×10^3 yıl	β
${}_{89}^{225}\text{Ra}$	141.8 gün	β
${}_{89}^{225}\text{Ac}$	10.0 gün	α
${}_{87}^{221}\text{Fr}$	4.8 dakika	α
${}_{85}^{217}\text{At}$	0.018 saniye	α
${}_{83}^{213}\text{Bi}$	47 dakika	β
${}_{84}^{213}\text{Po}$	4.2×10^{-6}	α
${}_{81}^{209}\text{Tl}$	2.2 dakika	β
${}_{82}^{209}\text{Pb}$	3.32 saat	β
${}_{83}^{209}\text{Bi}$	Kararlı	-

Yukarıda bahsettiğimiz serilere girmeyen radyoaktif elementler de vardır. Bu elementlerin listesi Çizelge 2.6'da verilmiştir. Bu radyoaktif elementlerin çoğunun yarı ömrü oldukça uzun, doğal bollukları çok az ve dolayısıyla doğada herhangi bir maddedeki aktiflikleri düşüktür. Çizelgedeki iki elementin yarı ömrü diğerlerine göre

oldukça kısadır. Bunlar trityum (^3H) ve karbon (^{14}C) radyoizotoplarıdır. Bu iki element kozmik ışınların atmosferle yaptığı nükleer reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır.

Bu reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.



Çizelge 2.6. Doğal radyoaktif çekirdeklerin bazı özellikleri (Hodgson ve ark.,1997)

Sembol	Z	N	A	Yüzde bolluk	Yarı ömür(y)	Bozunma türü
H	1	2	3		12.3	β^-
C	6	8	14		5730	β^-
K	19	21	40	0.0117	1.3×10^9	β^- , EC, γ
V	23	27	50	0.25	1.4×10^{17}	β^- , EC, γ
Rb	37	50	87	27.8	5×10^{10}	β^-
In	49	66	115	95.7	4×10^{14}	β^-
Te	52	78	130	34.5	3×10^{21}	β , β^-
La	57	81	138	0.09	1×10^{11}	β^- , β^-
Ce	58	84	142	11.1	$>5 \times 10^{16}$	β , β^-
Nd	60	84	144	23.8	2.4×10^{15}	A
Sm	62	85	147	15.0	1×10^{11}	A
Lu	71	105	176	2.6	4×10^{10}	β^- , γ
Re	75	112	187	62.6	4×10^{10}	β^-

^{14}C radyoizotopu, ömrü bitmiş organik maddelerin yaşını tayin etmede kullanılır. Kozmik ışınlar sürekli olduğu için yaşayan bir organizma, sürekli olarak ^{14}C radyoizotopunu depolar. Ömrü bittikten sonra, ^{14}C 'un gram başına aktifliği bulunarak organik maddenin yaşı hesaplanabilir.

2.1.2. Yapay radyoaktivite

Atmosferde ve yeraltında yapılan nükleer silah denemeleri, nükleer silah üretimi, nükleer güç üretimi, nükleer yakıt çevrimi, radyoizotop üretimi ve kullanımı ile nükleer kazalardan çevreye verilen radyonüklitler çevre radyoaktivite seviyesinde artışa neden olan yapay radyasyon kaynaklarıdır. Ancak, küresel radyoaktif kirlenmenin en önemli

kaynağı, 1945-1980 yılları arasında atmosferde gerçekleştirilen nükleer silah denemeleri sonucu meydana gelen radyoaktif serpintilerdir.

Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi, belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak; bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine, tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır (Togay, 2002). Radyasyon, tıpta teşhis etmek ve kanserli hücreleri öldürmek gibi iki farklı amaçla kullanılır. Uzun zamandır kullanılmakta olan teşhis yönteminde X ışınları hastadan geçirilerek görüntüsü elde edilmektedir. Bazı hastalıkların teşhisi için hastaya yutturulan radyoaktif maddelerden çıkan gama ışınlarının görüntüsünden bilgi elde edilir.

Kanser hücreleri radyoterapi ile tedavi edilir. Radyoterapide yüksek enerjili X-ışınları, Kobalt-60 veya benzeri kaynaklardan yayınlanan gama ışınları kullanılır. Radyasyonun tıpta kullanılması, toplum için en çok radyasyon alınan yapay radyasyon kaynağını oluşturur. Alınan radyasyon dozunun yıllık dünya ortalaması 0.3 mSv'dir.

Radyoaktif maddeler geçmişteki atom bombası denemeleri ve diğer uygulamalar nedeniyle atmosferimizde bulunmaktadır. Bu radyoaktif maddelerden insanlar çeşitli yollarla doz alırlar. Yeryüzünde birikmiş veya yerleşmiş radyoaktif maddeler vücudumuzu dışarıdan ışınlarken, solunum ve sindirim sistemiyle vücudumuz içine girenler de iç ışınlamaya neden olurlar.

Nükleer güç endüstrisi, nükleer yakıt çevriminin her safhasında çevreye çok az miktarda radyoaktif madde salar. Bu salınımlardan alınan yıllık radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.008 mSv'dir.

2.2. Radyasyon Çeşitleri

Doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri radyasyon olarak adlandırılır. Radyasyonu temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlar iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyon, etkileştiği maddelerde yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyon oluşumu yani iyonizasyon olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde insanlar için zararlı olabilecek radyasyon çeşididir. İyonlaştırıcı radyasyonlar; parçacık ve dalga tipi olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden küçük parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahiptir ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Dalga tipi radyasyonlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir (Kobyay, 2009).

Başlıca beş çeşit iyonlaştırıcı radyasyon vardır. Bunlar; alfa parçacıkları, beta parçacıkları, X ışınları, gama ışınları ve nötronlardır.

2.2.1. Alfa parçacıkları

Alfa parçacığı, iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeğidir. Alfa parçacıkları, daha çok tabiatta oluşmuş ve atom ağırlıkları büyük olan polonyum, toryum, radyum ve uranyum gibi doğal radyoaktif izotoplardan yayınlanırlar. Büyük kütleleri nedeniyle çevrelerindeki maddeyi geçerken hızla soğurulduklarından kısa erişimlidirler. İnce bir kağıt, her çeşit kumaş ve insan derisi alfa parçacıklarını soğurmaya yeterlidir. Fakat yüksek iyonlaştırıcı olma özelliklerinden dolayı, bu ışınlar tehlikelidir. Solunum ve sindirim sistemlerine herhangi bir yolla girdiklerinde zararlı etkileri çok büyük olur.

2.2.2. Beta parçacıkları

Beta parçacıkları, bir elementin çekirdeğindeki proton veya nötronların fazlalığından dolayı çekirdeğin yayınladığı yüksek enerjili elektronlardır. Çekirdekteki enerji fazlalığı proton fazlalığından meydana geliyorsa β^+ , nötron fazlalığından meydana geliyorsa β^- yayımlanır. Bu ışınların yüksek enerjili olanları bile birkaç milimetre kalınlığındaki metal levha ile durdurulabilir. Beta ışınması yapan radyoaktif çekirdeklere örnek olarak; Potasyum (K-40), Stronsiyum (Sr-90) ve Karbon (C-14) gösterilebilir.

2.2.3. Gama ışınları

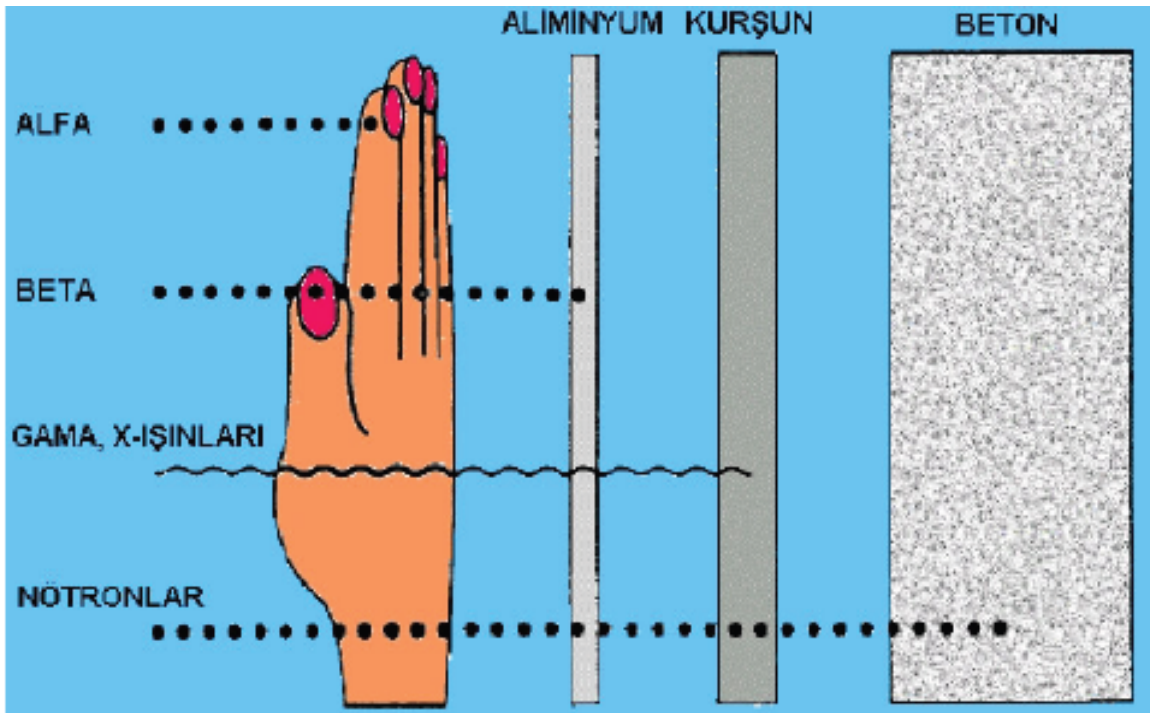
Gama ışınları, yüksek enerjili fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgalar olup, dalgalar halinde yayıldıklarından giricilikleri daha fazladır. Elektrik olarak yüksüz ve kütleleri yoktur. Gama yayınlanması çoğunlukla alfa ve beta bozunmasından sonra olur, çekirdeğin yapısını değiştirmez. Örneğin havada birkaç yüz metre, kurşunda 8-10 cm gittikleri halde yine de tümüyle soğurulamazlar. Gama saçan maddelere birkaç örnek olarak; Sezyum (Cs-137), Kripton (Kr-88), Kobalt (Co-60) verilebilir.

2.2.4. X ışınları

X ışınları, görünür ışık dalgaları ve mor ötesi ışınları gibi dalga şeklindedir. Bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektronlar o atomun ilk halkalarından elektronlar koparılır. Atomdan kopan bu elektronun yerine daha yüksek seviyelerden (üst halkalardan) elektronlar atlayarak kopan elektronun yerindeki boşluğu doldururlar. Bu sırada ortaya çıkan enerji fazlalığı X-ışını şeklinde dışarı salınır. Çekirdek içerisinde bulunan protonlardan bir tanesi hareketi esnasında atomun ilk halkalarındaki elektronu yakalar ve nötrleşir. Yakalanan bu elektronun halkasındaki boşalan yere diğer bir halkadan bir elektron atlamasıyla X-ışını meydana gelebilir.

2.2.5. Nötronlar

Nötronlar yüksüz parçacıklardır ve bu özelliklerinden ötürü herhangi bir madde içerisine kolaylıkla nüfuz edebilirler. Doğrudan bir iyonlaşmaya sebep olmazlar. Ancak atomlarla etkileşmeleri, iyonlaşmaya neden olan alfa, beta, gama veya X ışınlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Nötronlar sadece kalın beton, su veya parafin kütleleri ile durdurulabilirler. Şekil 2.5'te radyasyon türlerini ve bunların giriciliklerini görebiliriz.



Şekil 2.5. Radyasyon türlerinin giricilik özellikleri.

2.3. Radyoaktif Bozunma Türleri

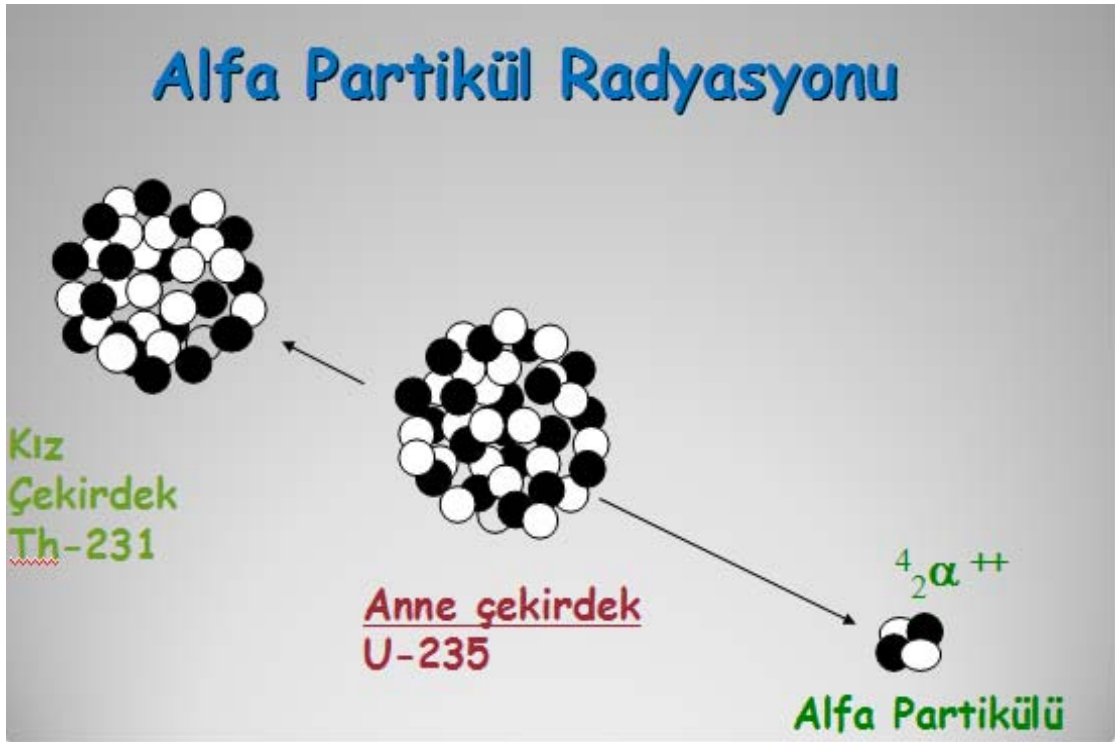
Yapılan incelemeler neticesinde radyoaktif ışınların tatbik edilen manyetik alan içerisindeki davranışlarına göre üç çeşit olduğunu göstermiştir.

2.3.1. Alfa bozunması

Daha çok atom numarası 83'ten büyük olan elementlerde gözlenen bir bozunma olayıdır. Alfa ışınları esas itibarıyla Helyum çekirdeği olup enerjileri 4–9 MeV arasında değişen pozitif yüklü parçacıklardır. Bir başka deyişle her alfa parçacığı, 2 proton ve 2 nötrondan oluşmaktadır. Alfa bozunması işleminde ana çekirdek iki proton ve iki nötron kaybederek kütlesi dört birim, yükü ise iki birim azalır. Bu işlem aşağıdaki şekildedir.



Burada X'e ana çekirdek Y'ye ürün çekirdek denir. Alfa bozunması meydana geldiğinde bir element başka bir elemente dönüşür. Alfa bozunmasına kendiliğinden meydana gelen bozunma denir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Alfa parçacığı radyasyonu.

2.3.2. Beta bozunması

Beta ışınları, kararsız atom çekirdeklerinden yayınlanan yüksek enerjili elektronlardır. Kararsız çekirdekte protonlar ve nötronlar arasındaki çekirdek kuvvetleri daha yakından incelendiğinde enerji fazlalığından kurtulmak için nükleonlarda bazı değişiklikler olduğu göze çarpar. Bu değişiklikler protonların nötronlara, nötronların da protonlara dönüşmesi şeklindedir. Çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu işlem üç farklı şekilde gerçekleşebilir. Her üçünde de elektrik yükünün korunabilmesi için başka bir yüklü parçacığın bulunması gerekir.

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

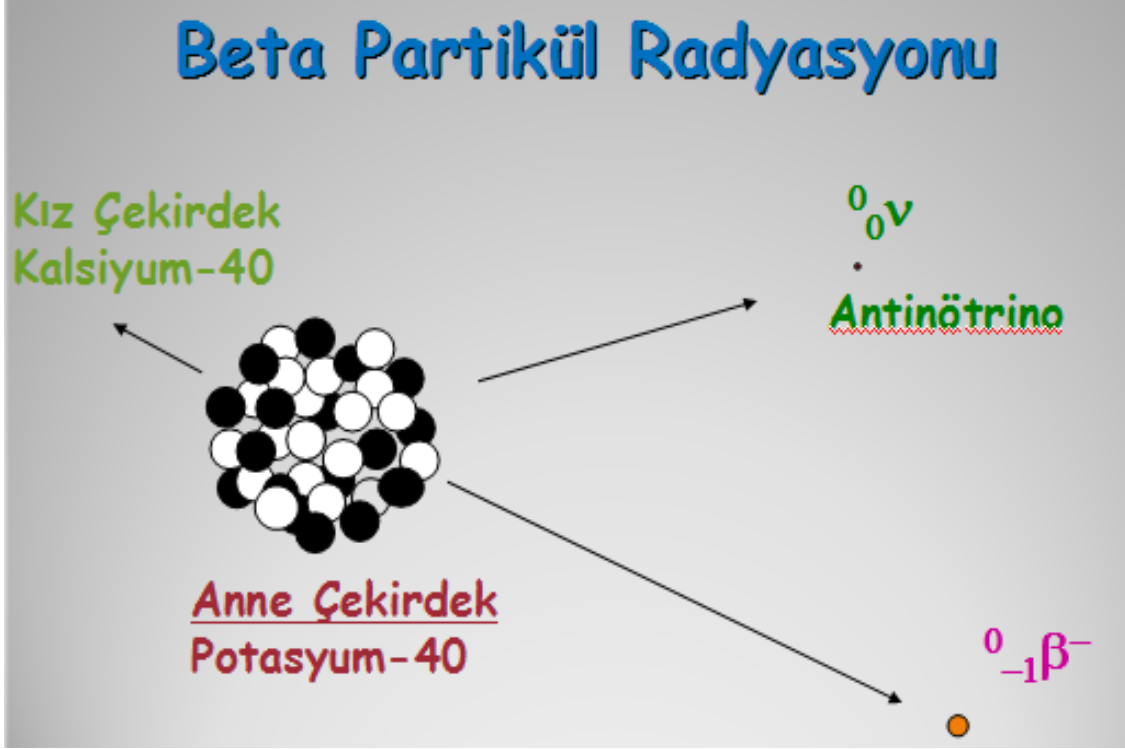


şeklindedir. Bu ifade, nötronun bozularak bir proton, bir elektron ve bir antinötrino parçacığına dönüştüğünü göstermektedir. Nötrinonun elektrik yükü olmadığından, varlığı diğer son parçacıkların kimliğini etkilemez.

β^+ Bozunumu (Pozitron): Bu işlem pozitron bozunumu olarak adlandırılır ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır. Böylece çekirdeğin atom numarası bir azalır. Bozunma denklemi aşağıdaki şekildedir.



Şekil 2.7'de beta parçacık radyasyonu gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Beta parçacığı radyasyonu.

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



2.3.3. Gama bozunması

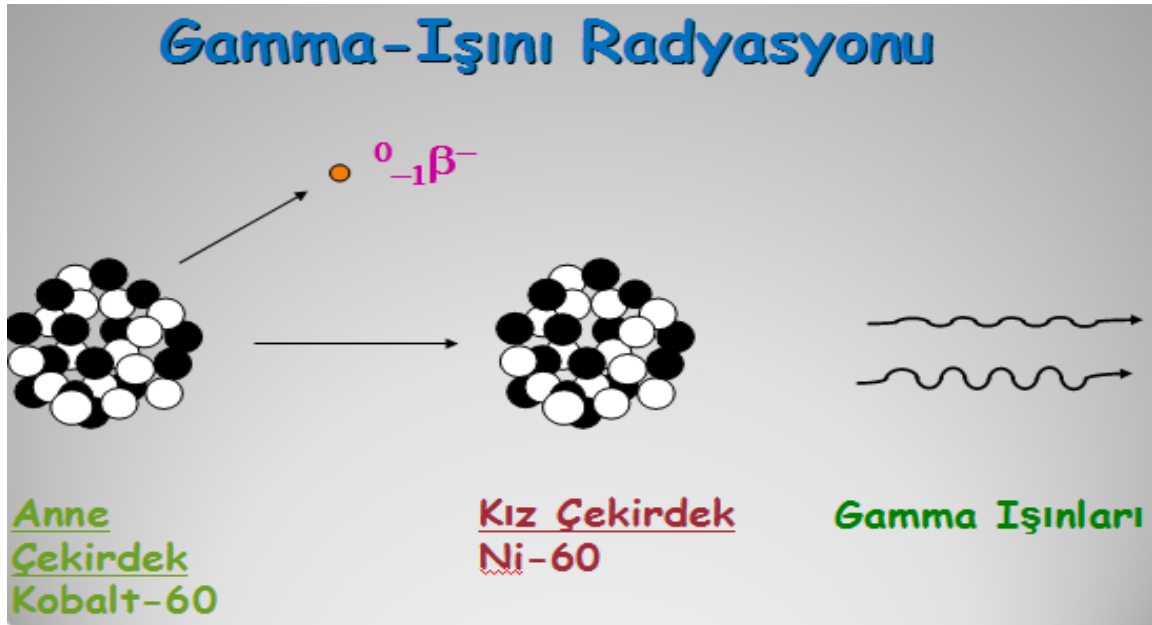
Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta yayınlamasından sonra çoğu zaman kararlı durumda kalmayabilir. Bazen radyoaktif parçalanmadan sonra geride kalan çekirdek uyarılmış halde kalabilir. Bu çekirdek, oluştuğundan çok kısa bir zaman sonra

bir veya birkaç gama ışını yayınlamak üzere fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir.

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



Gama ışını radyasyonu Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Gama ışını radyasyonu.

2.4. Radyasyon Birimleri

2.4.1. Aktivite birimi

Curie (Ci); 1 saniyedeki 3.7×10^{10} parçalanmaya karşılık gelir.

Becquerel (Bq); 1 saniyedeki 1 parçalanmaya karşılık gelir.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad (2.11)$$

2.4.2. Işınlama birimi

Röntgen (R); normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1kg'ında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır.

Coulomb/kilogram (C/kg); normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır.

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R} \quad (2.12)$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \quad (2.13)$$

2.4.3. Soğurulmuş doz

Radiation Absorbed Doz (rad); ışınlanan maddenin 1 kg'ında 10^{-2} Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

Gray (Gy); ışınlanan maddenin 1 kg'ında 1 Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} \quad (2.14)$$

$$1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy} \quad (2.15)$$

2.4.4. Doz eşdeğeri

Röntgen equivalent man (rem); 1 Röntgenlik X veya γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır.

$$\text{Rem}=(\text{rad})\times(\text{WR})^* \quad (2.16)$$

Sievert (Sv); 1 Gy'lik X ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

$$\text{Sv}=(\text{Gy})\times(\text{WR})^* \quad (2.17)$$

$$1 \text{ Sv}=100 \text{ rem} \quad (2.18)$$

$$1 \text{ rem}=0.01 \text{ Sv} \quad (2.19)$$

(WR)*; “Radyasyon ağırlık faktörü” olarak adlandırılır. Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak ve aynı zamanda radyasyondan korunma hesaplarını basitleştirmek için kullanılan bir faktördür (Büyükuslu, 2007). Çizelge 2.7’de eski ve yeni kullanılan radyasyon birimleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.7. Radyasyon Doz Birimleri

	ESKİ	YENİ	DÖNÜŞÜM
Aktivite	Curie (Ci)	Bequerel (Bq)	1 Ci=3.7x10 ¹⁰ Bq
Işınlanma Dozu	Röntgen (R)	C/Kg	1C/Kg=3876 R
Soğurulmuş Doz	Rad	Gray (Gy)	1 Gy=100 Rad 1 Sv=0.01 Gy
Doz Eşdeğeri	Rem	Sievert (Sv)	1Sv=100 Rem 1 Rem=0.01 Sv

2.5. Radyoaktif Bozunma Kinetiği

Kararsız olan çekirdekler alfa, beta, gama bozunumları yaparak kararlı hale gelmeye çalışırlar. Kararsız çekirdekler yaptıkları bozunumlarla bir enerji seviyesinden başka bir enerji seviyesine geçmiş olurlar. Bu tür kendiliğinden geçişler radyoaktif bozunma (parçalanma) olarak adlandırılır (Das ve Ferbel, 1994).

Rutherford ve Soddy radyoaktifliğin keşfinden sonra, radyoaktif bozunma üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda, radyoaktif bozunmanın exponansiyel yasaya uyduğunu göstermişlerdir. Buna radyoaktif bozunma yasası denir. Radyoaktif bozunma istatistiksel (rastgele) bir olaydır. Bu nedenle bir atomun ne zaman bozunacağı bilinemez. Çünkü atomlar biyolojik sistemlerde olduğu gibi belirli bir yaşa sahip değildirler (Enge, 1966; Das ve Ferbel, 1994).

Bir radyoaktif maddenin bozunması tümüyle maddeye ait değildir. Maddenin içindeki her bir atomun bozunması maddenin toplam bozunmasını etkiler.

Belirli bir çekirdeğin parçalanacağı zaman tamamen tahmin edilemediğinde radyonüklitin bozunması istatistiksel bir süreçtir. Bununla birlikte, bu bozunma süreci bir çekirdeğin birim zamanda bozunacağı ihtimaline bağlıdır. Bu olasılık, radyonüklitin radyoaktif bozunma sabiti (dönüşüm sabiti, λ) olarak bilinir. Birim zamanda radyoaktif madde parçalanmasına ait atomların sayısı dN/dt , t anında mevcut radyoaktif atomların toplamı N , ve orantılılık sabiti λ ile orantılıdır.

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (2.20)$$

Bu eşitliğin integrali alınır, aşağıdaki denklem elde edilir.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.21)$$

Burada N_0 ; mevcut radyoaktif atomların başlangıçtaki sayısı ve N ; t anında belirlenen radyoaktif atomların sayısıdır. Denklem (2.20) tekrar yazılırsa;

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.22)$$

elde edilir. Denklem (2.22), parçalanma hızı kadar mevcut radyoaktif atomlarının sayısının da zamanla üstel olarak azaldığını gösterir.

2.5.1. Yarılanma süresi

Bir radyoaktif maddedeki çekirdeklerin yarısının bozunması için geçen süreye yarı ömür denir.

Denklem (2.21)'de N yerine $N_0/2$ ve t yerine $t_{1/2}$ konulursa aşağıdaki eşitlikler elde edilir;

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2.23)$$

$$\lambda t_{1/2} = \ln 2 = 0.693 \quad (2.24)$$

$$t_{1/2} = 0.693/\lambda \quad (2.25)$$

Denklem (2.21) radyoaktif bozunma kanununun formül şeklindedir. Radyoaktif bozunma kanunundaki üstel ifade atomların bozunmasının sonsuz zaman gerektirdiğini göstermektedir. Bir radyoaktif atomun bozununcaya kadar geçirdiği süre ortalama olarak verilir. Bu süre, bozunma sabitinin tersi olan radyonüklitin ortalama ömrüdür,

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.26)$$

2.5.2. Aktivite

Radyoaktif bozunma yasası, bozunmadan kalan çekirdek sayısını vermektedir. Radyoaktif bir numunedeki radyasyonu belirlerken radyasyon sayısını detekte ederek dolaylı yoldan bozunmuş çekirdeklerin sayısına ulaşılır. t ile $t+\Delta t$ zaman aralığında çekirdek sayısındaki değişim ΔN dersek;

$$|\Delta N| = N(t) - N(t + \Delta t) = N_0 e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (2.27)$$

ifadesi elde edilir. Sayımın yapıldığı Δt aralığı λ^{-1} 'den çok daha küçük ise (yani $\Delta t \ll t_{1/2}$) ikinci üstel ifadenin açılımındaki yüksek mertebeli terimleri ihmal edebiliriz ve

$$|\Delta N| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t \quad (2.28)$$

elde edilir. Denklem (2.28)'in sonsuz küçük limiti alınır;

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.29)$$

elde edilir. Radyoaktif bir maddenin aktivitesi birim zaman başına bozunma sayısı olarak tanımlanır. SI sisteminde aktifliğin birimi Becquerel'dir. Becquerel saniyede bir parçalanmaya eşittir. Diğer bir aktiflik birimi ise Curie'dir. Bir Curie saniyede 3.7×10^{10} bozunmaya karşılık gelir. Aktifliği A ile gösterirsek ifade (2.29)'dan;

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.30)$$

elde edilir. Denklem (2.29)'dan anlaşılacağı üzere, ΔN sayısının numunenin aktifliğini vermesi için, aldığımız zaman aralığının yarı ömürden çok küçük olması gerekmektedir (Krane 2001, Hodgson ve ark.1997).

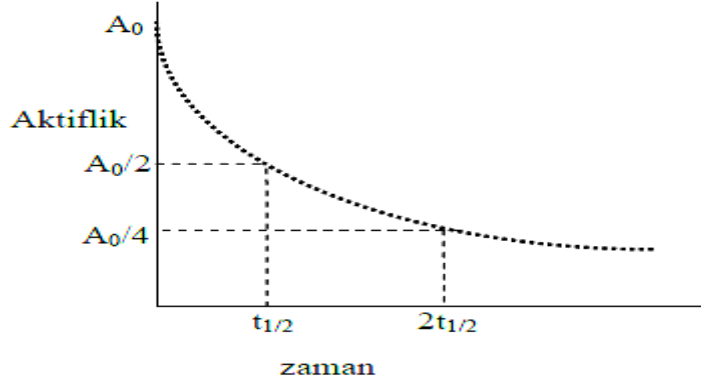
(2.30) ifadesinin logaritması alınır;

$$\ln A(t) = \ln A_0 - \lambda t \quad (2.31)$$

elde edilir.

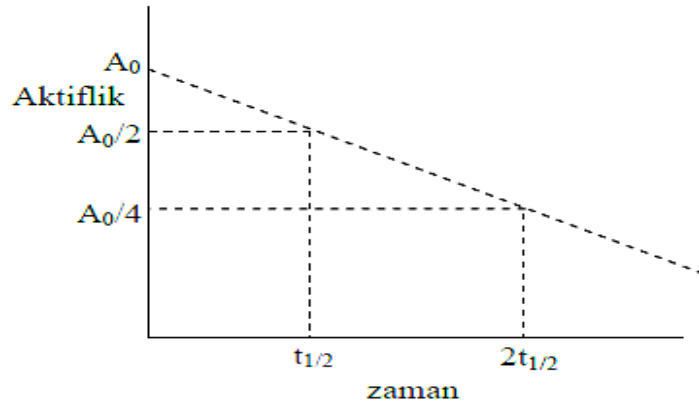
Deneysel olarak herhangi bir numunedeki aktiflik, belli zaman aralıkları içinde bozunma sayılarını artarda alarak zamana göre çizilebilir. Bu grafik eğimi $-\lambda$ olan bir doğrudur. Böylece radyoaktif bozunmanın yarı ömrü tespit edilebilir. Bu ölçme yöntemi çok kısa ve uzun yarı ömürlü numuneler için verimli sonuçlar vermez. Bunun nedeni, eğer yarı ömür çok uzun olursa, belirlenen zaman aralıkları da çok uzun olmalıdır. Aksi halde kısa süreler içinde bozunmalar fark edilemez. Eğer yarı ömür çok kısa olursa, yine bu zaman aralıkları içinde bozunma değişimi gözlenmeden numunenin aktifliği biter (Krane, 2001).

Eğer bozunumları fark edebilecek yarı ömre sahip bir numunedeki aktifliğin zamana bağlı değişimi çizilirse eksponansiyel olarak bir azalma gözlenir. Bu değişim Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Aktifliğin üstel değişimi.

Bu değerler yarı logaritmik olarak çizilirse Şekil 2.10 elde edilir.

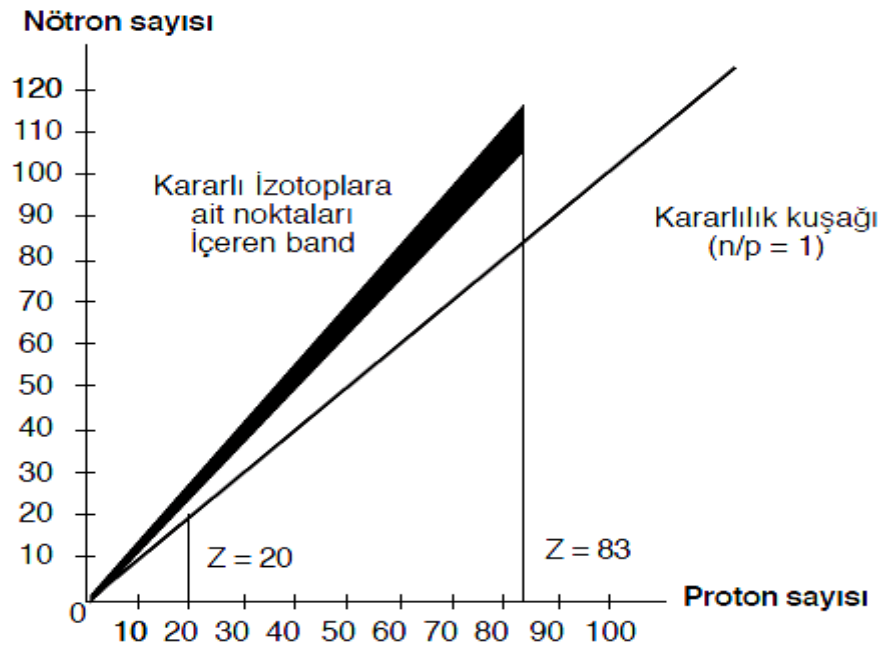


Şekil 2.10. Aktifliğin üstel değişiminin yarı logaritmik değişimi.

2.5.3. Kararlılık kuşağı

Kararsız atomların fazla enerjilerini vererek kararlı hale dönüşmek için kendilerini yeniden düzenlemeleri işlemine radyoaktif bozunma adı verilir. Z değerleri $Z=92$ 'ye (uranyum) kadar olan çekirdekler doğal olarak bulunmasına karşın bu çekirdeklerin tümü kararlı değildir. Atom numarası (Z) küçük olan çekirdekler, eşit sayıda nötron ve protona ($N=Z$) sahip olma eğilimi gösterirler. Ancak Z arttıkça $N>Z$

olacak şekilde artar. Şekil 2.11’de kararlılık doğrusuna komşu çekirdekler gösterilmiştir. Bu şekle göre kabaca, küçük Z değerleri için $N \approx Z$, büyük Z değerleri için ise $N \approx 1.6 Z$ ’dir. Ağır çekirdeklerde nötron sayısının proton sayısını aşmasının nedeni çekirdek kuvvetinin kısa ve Coulomb kuvvetinin uzun menzilli olmasıdır. Protonlar çekirdek içerisindeki tüm diğer protonlarla Coulomb kuvvetleri yoluyla etkileşirken, nükleonlar komşuları ile çoğunlukla çekirdek kuvvetleri ile etkileşirler. Bu nedenle ağır çekirdekler için itici Coulomb kuvveti daha önemli duruma gelir ve çekirdek, enerji bağlamında proton sayısına eşit nötrona sahip olma eğilimi göstermez. Şekil 2.11’de nötron sayısına karşı proton grafiği görülmektedir.



Şekil 2.11. Kararlı çekirdeklere ait kararlılık kuşağı ve kararlı izotopları oluşturduğu bant.

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

2.6. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu varoluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler (Köklü, 2006).

Radyasyon kaynaklarını, doğal ve yapay olmak üzere, iki sınıfa ayırabiliriz.

2.6.1. Doğal radyasyon kaynakları

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

Atmosferin üst tabakalarına ulaşan kozmik radyasyonun yoğunluğu dünyanın manyetik alanının etkisiyle azalmaktadır. Böylece en fazla ışın yoğunluğu ve doz hızı jeomanyetik kutuplarda, en düşük ışın yoğunluğu ve doz hızı ise ekvator bölgesinde ortaya çıkmaktadır. Başka bir deyişle, dünyanın manyetik alanı kozmik radyasyona karşı kısmen bir kalkan görevi yapmaktadır.

Fosil yakıtlar doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerirler. Fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal

radilyasyon düzeyinde az da olsa bir artışa neden olur. Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının da katkısıyla topraktan maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.46 mSv/yıl'dır.

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (zellikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu Őekilde maruz kaldığımız ić (dahili) radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.23 mSv/yıl kadardır. Yiyecek, ićecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık 0.25 mSv/yıl'dır. Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde ićerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar bu ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar.

Doęal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğında yaygın bir Őekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (²²⁶Ra) bozunması sırasında salınan "radon gazı"dır. Bu bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak ićerisinde kalırken radon toprak yüzeyine doğru yükselir.

Radon gazının yayıldığı yüzey üzerinde bulunan evlerde iyi bir havalandırma sisteminin olması gerekir. Böyle bir havalandırma yoksa radon gazı evin ićinde dışarıdakinden yüz kat hatta bin kat daha fazla olacaktır. Bu gaz teneffüs edildiği takdirde akciğerlere gećici olarak yerleşip tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına neden olabilir. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1.3 mSv/yıl'dır. Radon gazı harić doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı, ciddi bir etkisi görülmez.

2.6.2. Yapay radyasyon kaynakları

İnsanoęlu, teknolojik geliřiminin gereęi olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyaćı duymuřtur. Bu kaynaklar, birćok iřin daha iyi, daha kolay, daha ćabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak saęlar. Bazı durumlarda ise alternatifleri yok gibidir.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaćla kullanılan X ıřınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, ćok az da olsa nükleer gć üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketiciler

ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır.

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı Çizelge 2.8'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 2.8. Radyasyon dozunun doğal ve yapay kaynaklara göre dağılımı

DOĞAL		YAPAY	
Kozmik	0.39 mSv	Serpinti	0.007 mSv
Gama	0.46 mSv	Mesleki	0.002 mSv
İç	0.23 mSv	Atıklar	0.001 mSv
Radon	1.30 mSv	Tüketici Ürn.	0.0005 mSv
Yiyecek	0.25 mSv	Tıbbi	0.30 mSv

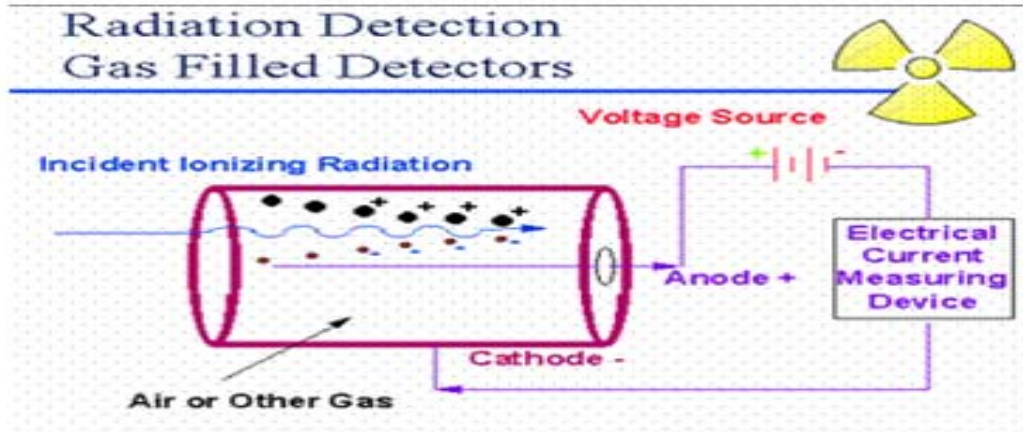
Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir (IAEA, 1996).

2.7. Radyasyon ölçüm sistemleri

Radyasyonun varlığının anlaşılması duyu organları ile mümkün olmadığından, algılanması ve ölçümleri radyasyona hassas cihazlar ile yapılır. Radyasyonun ölçülmesinin temeli, radyasyon ile maddenin etkileşmesi esasına dayanır. Radyoaktif olarak bilinen atomların çekirdeği kararsız olduklarından radyoaktivite özelliği gösterirler. Yani kararsız çekirdekler parçalanır ve parçalanma sonucu yeni bir çekirdek ve parçalanma ürünleri meydana gelir. Atom çekirdeklerindeki bu değişiklikler sonucu radyasyon yayımlanır.

2.7.1. İyon odası detektörü

İyon odaları X, gama ışınları ve beta parçacıkları ölçümünde kullanılırlar. Şekil 2.12’de iyon odası detektörü görülmektedir.

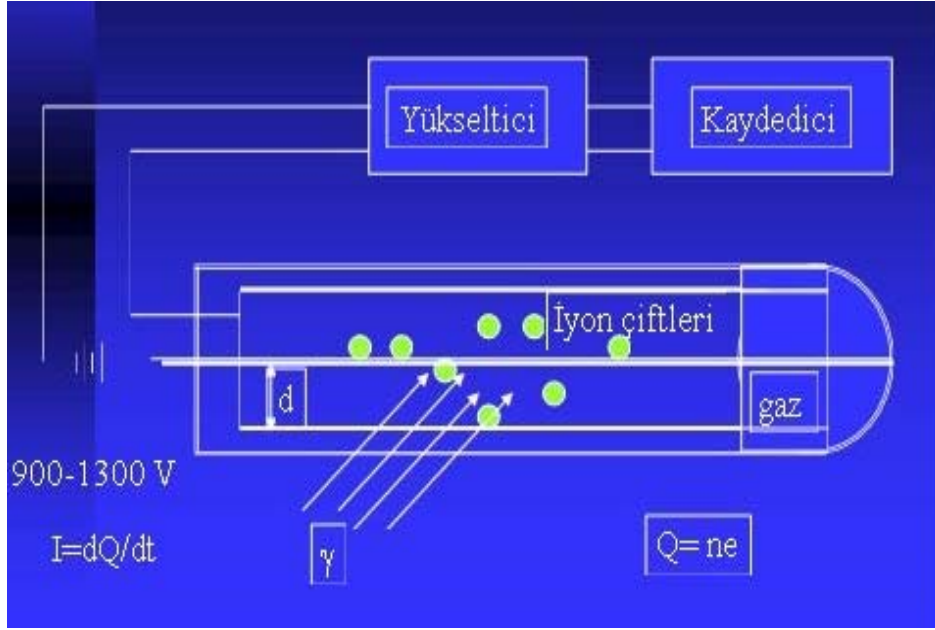


Şekil 2.12. İyon odası detektörü.

Alçak radyasyon şiddetine duyarlı olmamakla beraber yüksek doz şiddetlerini ölçmede son derece yararlıdır. Çeşitli radyasyonları ayırt etme özelliği yoktur. 60-300 volt’luk çalışma aralığında etkindir. Gaz olarak genellikle atmosfer basıncında hava kullanılır. Göstergeleri, genellikle C/kg.sn, (x)R/h veya (x)Sv/h şeklindedir.

2.7.2. Geiger-Müller detektörü

G-M, 900-1300 V’luk çalışma aralığında etkindir. Bu detektörlerle; az iyonlaşma meydana getiren yüklü parçacıklar, düşük enerjili X ve gama ışınları ölçülür. Bu detektörle parçacık enerjisinin ölçülmesi ve parçacık cinslerinin bir birinden ayrılması söz konusu değildir. Odanın önüne yerleştirilen bir zırh ile beta parçacıkları tutulup, yalnız gama ışınları sayılabilir. Şekil 2.13’te Geiger-Müller detektörü görülmektedir.



Şekil 2.13. Geiger-Müller detektörü.

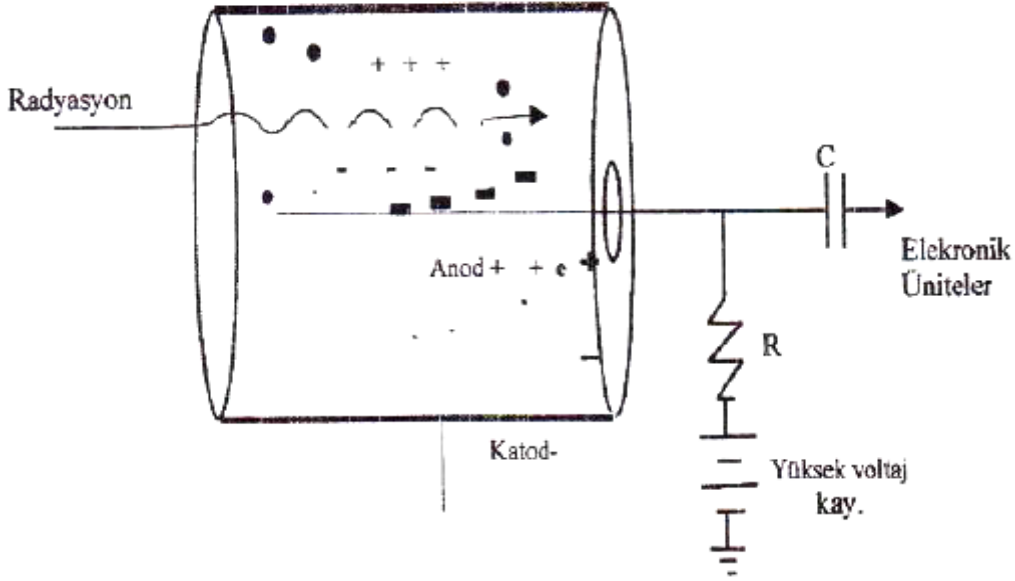
2.7.3. Orantılı sayaçlar

Çalışma voltajı orantılı bölgede olup, meydana gelen yüksek alan şiddeti ile anottaki yük miktarı, dolayısıyla voltaj pulsu büyür. Bu tip detektörlerle;

1. Düşük enerjili X ve gama ışınları,
2. İyon odasına açılan naylon veya mikalardan yapılmış ince pencere ile alfa parçacıklarının ölçümü yapılır.

Gazın çoğaltma faktörü 10^5-10^6 ve çalışma voltaj aralığı 1500-4000 V'tur. Orantılı cihazların α ve β radyasyonlarını ayırt etme özelliği vardır.

Alfa ve beta gibi yüklü parçacıkların sayılmasında kullanılan en yaygın yöntem, bu parçacıkların bir gaz içinde meydana getirdikleri iyonlaşmadan yararlanmaktır. Parçacıkların gaz içinde meydana getirdiği iyonları, bir elektrik alanı yardımıyla bir elektrot üzerinde toplamak suretiyle yüklü parçacığın deteksiyonu yapılır. Bu tür deteksiyon yapan radyasyon sayaçlarına 'Gazlı Sayaç' denir. Ana kısımda neon, argon, metan gibi gazlarla doldurulmuş bir odacık vardır. Bu odacığın duvar kısmı katottur. Odacığın orta kısmında ise katottan çok iyi yalıtılmış bir merkezi elektrot yani anot bulunmaktadır (Şekil 2.14).

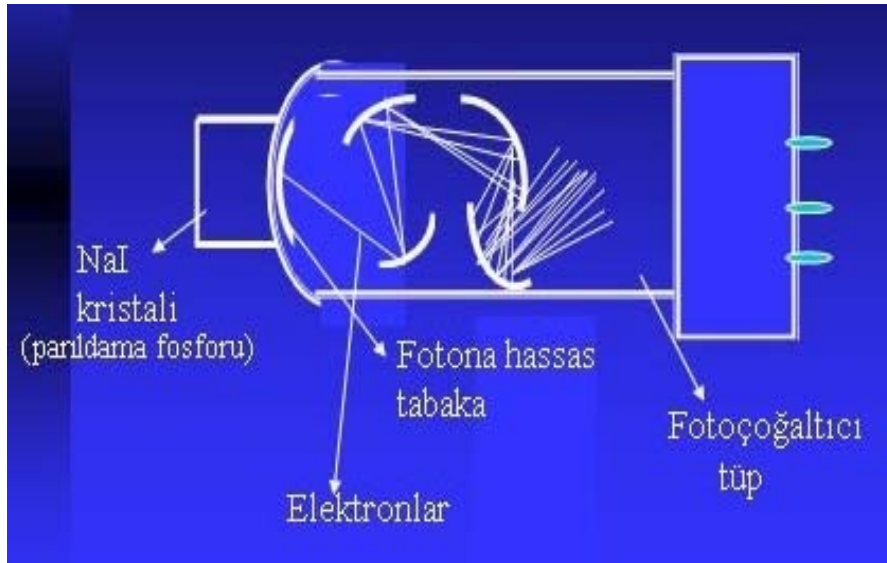


Şekil 2.14. Gazlı sayaç şematik şekli.

Anot ve katot arasına yüksek bir voltaj uygulanmıştır. Gelen yüklü bir parçacık ortamdaki gaz moleküllerini (+) ve (-) yüklü iyonlarına ayırır. Oluşan iyonlardan (-) yüklüleri, yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanının doğrultusunda merkezi elektroda (anot) ve (+) yüklüleri odacık duvarına (katot) doğru hareket ederler. Anotta toplanan elektronlar bir anot akımı oluşturur ve bu akım RC devresiyle bir voltaj pulsuna dönüştürülür. Oluşan pulsların yükseklikleri, nükleer parçacıkların cinsine, oluşan iyonların sayısına ve orantılı sayacın bir özelliği olarak sayaca uygulanan voltaja bağlıdır; ortamdaki elektrik alanından bağımsızdır. Bu pulslar ön yükseltici ve lineer yükseltici kısımlarında genlikleri yükseltildikten sonra, çok kanallı bir analizöre gelir. Bu analizörde alfa/beta'ların sahip olduğu minimum ve maksimum enerji seviyelerine göre, alfa/beta sürekli spektrumu elde edilir. Alfaların öz iyonlaştırması betalarından çok büyük olduğu için, ikisinin birden yayımlandığı bir ortamda puls boyları çok farklıdır. Ancak anot ile katot arasına uygulanan çalışma voltajı uygun bir şekilde ayarlanırsa, hem alfalar hem de betalar birbirinden bağımsız olarak, aynı anda sayılabilir. Alfaların puls yüksekliğinin daha büyük olması nedeniyle alfa spektrumu için alt eşik, beta spektrumu için üst eşik kullanılır. Bu şekilde orantılı bölgede çalışan bir sayaç elde edilmiş olur.

2.7.4. Sintilasyon detektörleri (parıldama)

Elektrona verilen enerji onu ortamdaki yerinden koparmaya yeterli olmadığı zaman uyarılan elektron, tekrar eski haline dönerken görünür ışık yayar. Sintilasyon fosforlarının yaydığı ışık, foto çoğaltıcı tüpler tarafından toplanarak, voltaj pulsu haline getirilir. Meydana gelen pulsun büyüklüğü radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Bu detektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır. Bu detektörlerde foto çoğaltıcı tüpü ve kullanılan fosforu değiştirmek suretiyle değişik tipte radyasyonların deteksiyonu mümkündür. Bunlar; alfa parçacıklarını ölçmek için gümüşle aktive edilmiş ZnS fosforu, beta parçacıklarını ölçmek için naftalin ve stilben, düşük enerjili X ve gama ışınını ölçmek için talyumla aktive edilmiş NaI kristali kullanılır. Şekil 2.15'te sintilasyon detektörü görülmektedir.



Şekil 2.15. Sintilasyon detektörleri.

2.7.5. Yarı iletken detektörler

Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) gibi yarı iletken maddelerden yapılır. Bu detektörler radyasyonun bu maddelerde oluşturduğu iyonizasyon ilkesi ile çalışırlar. Genellikle radyasyonun enerjisini ölçmek için kullanılırlar (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Yarı iletken detektör.

2.7.6. Nötron detektörler

Diğer radyasyonların ölçüldüğü sistemlerle (n,α) , (n,β) , (n,p) ve (n,γ) reaksiyonları sonucunda oluşan ikincil iyonlayıcı ışınlar ölçülür. Nötron etkileşmesinden doğan izotopun kendisi radyoaktif olabileceğinden bu yöntem çoğunlukla indium, tantal ve altın plakaları bir araya getirerek kaza dozimetresinde kullanılır.

3. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Williem ve ark. (1992), SSCB'nin Çernobil kazasından etkilenen bölgelerinde besin örneklerinin radyoaktif kirliliği üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Rusya, Ukrayna ve Belarus kökenli 23 tarım ürünüde Çernobil kazasının etkileri incelenmiştir. Rusya'dan alınan peynir örneklerinde ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr ve ^{40}K aktiviteleri sırasıyla; 3 Bq/kg, 24 Bq/kg, 30 Bq/kg ve 25 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ukrayna'daki patates örneklerinde ise ^{137}Cs , ^{134}Cs ve ^{40}K aktiviteleri ise sırasıyla; 4 Bq/kg, 33 Bq/kg ve 176 Bq/kg olarak bulunmuştur.

Green ve ark. (1997), patates yumrusunda radyonüklitlerin dağılımı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaya göre aktinit aktivitelerinin çoğu patatesin soyulmasıyla ortadan kalkmaktadır. Önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi ^{137}Cs , yumru boyunca düzenli bir şekilde dağılmaktadır. Buna karşın yumrunun bütünü için ^{90}Sr aktivitesinin %50'sinden fazlasının patatesin kabuğunda bulunduğu belirtilmiştir.

Djingova ve Kuleff (2002), Bulgaristan'da nükleer santraller civarında yetişen bazı yabancı ve yenilebilen bitkiler belirlemiştir. Yaptıkları çalışmada Kozloduy yakınlarındaki yabancı bitkilerden Karahindiba'nın ^{40}K ve ^{137}Cs aktiviteleri sırasıyla 2130 ± 280 Bq/kg; 3.0 ± 0.2 Bq/kg iken Karakavak bitkisinin ^{40}K ve ^{137}Cs aktiviteleri ise 950 ± 65 Bq/kg; 2.3 ± 0.3 Bq/kg olarak bulunmuştur. Güney Bulgaristan civarından toplanan yenilebilen bitki örneklerinden soğanın ^{40}K ve ^{60}Co aktiviteleri sırasıyla 329 ± 15 Bq/kg, 0.05 Bq/kg; patatesin ise ^{40}K ve ^{60}Co aktiviteleri sırasıyla 30 ± 5 Bq/kg, 0.04 Bq/kg olarak bulunmuştur.

Yu ve ark. (1997), Hong Kong'da tüketilen 6 balık türü üzerinde radyoaktivite çalışması yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında tüm örneklerde ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitleri belirlenmiştir ve bunların aktivite değerleri sırasıyla 0.01- 0.2 ve 41.23 - 111.47 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Ayrıca bu balıklardan kefalın ^{238}U aktivitesi <0.034 Bq/kg, ^{137}Cs aktivitesi 0.015 (61.5%) Bq/kg; ot sazanının ^{238}U aktivitesi <0.15 Bq/kg, ^{137}Cs aktivitesi ise 0.1 (11.2%) Bq/kg olarak belirlenmiştir.

Green ve ark. (1997), meyvelerde radyonüklit transferi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Cs, Pu ve Am radyonüklitleri için transfer faktörleri, yeşil sebzeler ve meyveler için aynı iken; ^{90}Sr transfer faktörünün elma için diğer örneklerden

farklı değere sahip olduğu kabul edilmiştir. Kavunun ^{137}Cs ve ^{241}Am transfer faktörleri sırasıyla 4.1×10^{-4} ve 7.1×10^{-4} ; frenküzümünün ise ^{137}Cs ve ^{241}Am için transfer faktörleri 3.3×10^{-3} ve 2.2×10^{-5} olarak bulunmuştur.

Froidevaux ve ark. (2004), Batı Avrupa'nın farklı bölgelerinde üretilen peynir türlerinde radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada elde edilen verilere göre ^{90}Sr için en yüksek aktivite değeri 1.13 Bq/kg, en düşük aktivite değeri ise 0.29 Bq/kg'dır. $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ aktivitesi 27 mBq/kg'dan daha düşük; $^{239/240}\text{Pu}$ aktivitesi <0.3 mBq/kg; ^{137}Cs aktivitesi <0.1 Bq/g ve ^{40}K aktivitesi ise 1.31-2.15 Bq/g olarak belirtilmiştir.

Al-Kharouf ve ark. (2008), Ürdün'de yetiştirilen tarım ürünlerindeki uranyum aktivitelerini belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla hem toprak hem de bitki örnekleri toplanmıştır. Yapılan çalışmalara göre, bu örneklerden karpuz posasının 1 kg'ının tüketilmesiyle alınacak ^{238}U ve ^{234}U için maksimum doz değerleri sırasıyla 3.1 ve 4.7 nSv/y olarak belirlenmiştir. Radyum eşdeğer aktivitesinin ise 1-370 Bq/kg değerini aştığında tehlikeli olacağı belirtilmiştir.

Badran ve ark. (2003), Mısır'da tüketilen bazı sebze türlerinde ^{40}K ve ^{137}Cs seviyelerini belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmaya göre Mısır'daki sebze türlerinde ^{137}Cs kaynaklı kirliliğe çok fazla rastlanmamıştır. Buna karşın yeşil bezelye ile yeşil yapraklı sebzelerde ^{137}Cs için konsantrasyon değerleri yüksek bulunmuştur. Bu değerler sırasıyla 1.74 ± 1.27 ve 4.25 ± 4.10 Bq/kg'dır. Tatlı biber, domates, soğan ve patlıcan için ise hem ^{137}Cs hem de ^{40}K konsantrasyon değerlerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, sebze örneklerindeki ^{137}Cs ve ^{40}K konsantrasyon değerleri 0.85 ± 1.43 ve 95 ± 71 Bq/kg'dır.

Ryan ve ark. (2005), Avusturya'nın kuzeyinde yetiştirilen yerli sebze ve meyvelerde uranyum serisi radyonüklitlerin belirlenmesi için çalışma yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında kullanılan sebze ve meyvelerde ^{210}Po ve ^{226}Ra 'un radyasyon dozu uranyum ve toryum izotoplarından daha düşük değerde iken; ^{210}Pb daha yüksek konsantrasyon değerine sahiptir. *Buchanania Obovate* meyvesinin ^{238}U , ^{230}Th ve ^{226}Ra konsantrasyon değerleri sırasıyla, 0.218 ± 0.006 , 0.159 ± 0.006 ve 5.06 ± 0.13 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra *Dioscorea Bulbifera* kök bitkisinin ^{238}U , ^{230}Th ve ^{226}Ra konsantrasyon değerleri ise sırasıyla, <0.06 , <0.3 ve 0.26 ± 0.02 Bq/kg olarak bulunmuştur.

4. ÇALIŞMA ALANI VE SAYIM SİSTEMİ

Van Gölü Havzası'nda yaklaşık 1 milyon insan yaşamaktadır. İlin ekonomisi tarım, hayvancılık, turizm ve balıkçılığa dayalıdır. İklimi sert olduğundan tarım pek fazla gelişmemiştir. Bununla birlikte yetiştirilen tarımsal ürünler arasında; kuru yem bitkisi, buğday, şeker pancarı, patates bulunmaktadır. Az miktarda da arpa, kavun, karpuz, domates, baklagiller, elma, ceviz ve sebze yetiştirilir. Van'ın ekonomisinde hayvancılık ön planda gelmektedir. Bölgedeki tarımsal faaliyetler kısıtlı olduğu için de genel olarak mera otlatmasına dayalı hayvancılık yapılmaktadır. Bu nedenle, bölgede azımsanmayacak sayıda küçükbaş ve büyükbaş hayvan yetiştirilmektedir. Hayvancılık daha çok yaylacılık yöntemleri ile yapılmaktadır. Hayvansal ürünlerin başında Van'a özgü otlu peynir gelmektedir. Arıcılık, tavukçuluk, Van Gölü başta olmak üzere göllerde ve diğer akarsularda balıkçılık yapılmaktadır. Van Gölü'nden yılda yaklaşık 15.000 ton inci kefali üretilmekte (Sarı, 2000; 2001), bu gıda stoku da daha çok konserve haline getirildikten sonra bölgede tüketilmektedir. Yörede üretilen hububat yetersiz olmakla birlikte yine çoğunlukla aynı bölgede tüketilmektedir. Bu kapalı iktisadi ortam nedeniyle bölgenin doğal özelliklerinden kaynaklanabilecek çevresel etkilerin hem bitkiler üzerinde, hem besi hayvanları üzerinde hem de insanlar üzerindeki olası olumsuz etkilerinin belirlenip değerlendirilmesi, gelecekteki olası olumsuz etkiler açısından da izlenmesi gerekir. Şekil 4.1'de Van ili ve ilçeleri görülmektedir.



Şekil 4.1. Van ili ve ilçeleri.

4.1. Van'ın İlçeleri

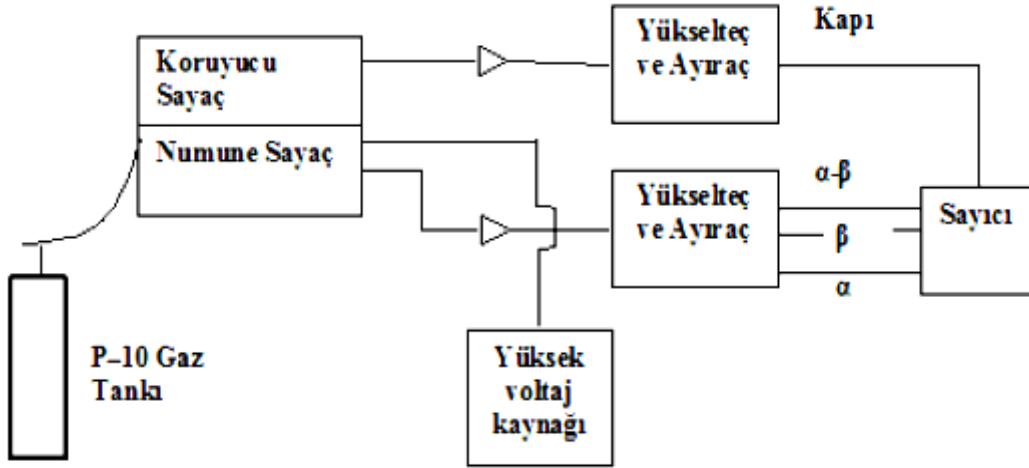
Merkez, Bahçesaray, Başkale, Çaldıran, Çatak, Edremit, Erciş, Gevaş, Gürpınar, Muradiye, Özalp ve Saray'dır. Merkezde yetiştirilen tarım ürünleri tahıl, sebze ve meyvedir. Bahçesaray'ın başlıca tarım ürünleri, buğday, arpa ve cevizdir. Önemli ölçüde bal üretimi yapılmaktadır. Başkale'de tarıma elverişli bölgelerde arpa, buğday ve patates yetiştirilir. Çaldıran Ovası'nın büyük bölümü ise otlak ve mera olarak kullanılır. Ovanın sulanabilen kısımlarında arpa ve buğday yetiştirilir. Çatak'ın başlıca tarım ürünleri tahıldır. Meyvecilik gelişmiş olup, armut ve ceviz üretimi önemlidir. Ayrıca önemli ölçüde otlu peynir üretimi yapılır. Edremit'te tahıl, sebze ve meyve yetiştirilir. Erciş'in ekonomisi tarıma dayalıdır. Başlıca tarım ürünleri buğday, arpa, şekerpancarı ve patatestir. Meyvecilik gelişmiş olup, elma, armut, kayısı ve üzüm yetiştirilir. Sebzeçilik gelişmiştir. Gevaş'ta süt, peynir, yapağı ve deri en önemli hayvani ürünlerdir. Bölgenin otlu peyniri meşhurdur. Göl kıyısındaki düzlüklerde tarım yapılır. En fazla elde edilen tarım ürünü şekerpancarıdır. Ayrıca az miktarda buğday, arpa, patates, ceviz, elma elde edilir. İlçede arıcılık gelişmiştir. Gürpınar'da süt, peynir, tereyağı, et, yapağı ve deri önemli hayvani ürünlerdir. İlçenin kuzeyindeki düzlüklerde tarım yapılır. Başlıca tarım ürünleri buğday, arpa, yem bitkileri, patates, soğan, fasulye, ceviz ve elmadır. Muradiye Ovası'nda tarım yapılır. Başlıca tarım ürünleri şekerpancarı, buğday ve arpadır. Yaylalarda yazın kurulan mandıralarda tereyağı ve bölgeye ait otlu peynir üretilir. Özalp'ın küçük düzlüklerinde tarım yapılır. Başlıca tarım ürünleri buğday, arpa ve patatestir. Saray Ovası'nda tarım yapılır. Başlıca tarım ürünü tahıldır. Ayrıca az miktarda patates yetiştirilir.

4.2. Araştırmada Kullanılan Ölçüm Yöntemi

4.2.1. Alfa ve beta sayım sistemi

Çevresel örneklerin düşük seviyeli toplam alfa-beta radyoaktivite değerlerinin tayini için, yüklü parçacıkların gaz içinde meydana getirdikleri iyonizasyondan yararlanılarak, iyonları elektrik alan yardımıyla bir elektrot üzerinde toplamak suretiyle yüklü parçacığın deteksiyonunu sağlamak en uygun yöntemdir. Bu tür deteksiyon yapan sayaçlar gaz akışlı sayaçlardır. Gaz akışlı orantılı sayaçlar doğal radyoaktivite seviyelerine ilişkin ölçümler için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun nedeni, spesifik radyoizotop analizleri ile karşılaştırıldığında hayli düşük maliyetli olmaları, sonuca çabuk ulaşılması ve özgün radyoizotopların değerlendirilmesi için yeterli ön bilgiyi sağlamalarıdır (Selçuk Zorer, 2006).

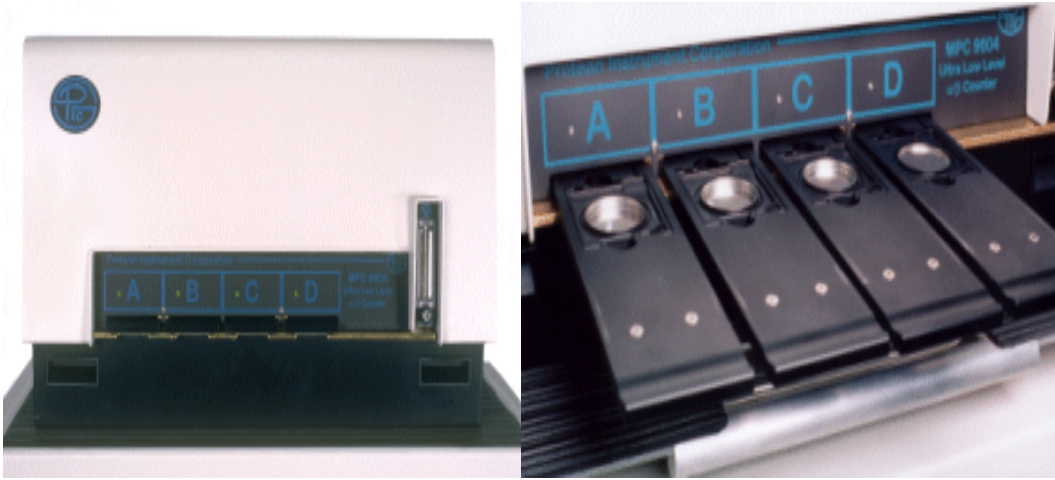
Gaz dolgulu detektörler; X-ışınları ve düşük enerjili gama ışınları için kullanılır. Gaz dolgulu bir detektör, pozitif olarak yüklenmiş bir anot tel içeren ve gazla doldurulmuş metal bir odadır. Gazın içinden geçen bir foton, serbest elektronlar ve pozitif iyonlar üretir. Elektronlar anot tele doğru çekilirler ve bir elektrik pulsu birleşebilirler. Yeterli derecede yüksek bir voltajda, hemen hemen bütün elektronlar toplanırlar ve bu durumda detektör iyonlaşma odası adını alır. Daha yüksek bir voltajda, elektronlar diğer atomları iyonlaştırmak için yeterli yüksek enerjilerde anoda doğru hızlanırlar ve böylece daha çok sayıda elektron oluşur. Bu durumda detektör orantılı sayaç olarak isimlendirilir. Daha yüksek voltajda, elektron çoğalması daha fazla artar ve toplanan elektronların sayısı başlangıç iyonizasyonundan bağımsızdır. Bu durumda detektör Geiger-Müeller sayıcısı adını alır. Bu tüplerden elde edilen büyük çıkış pulsu bütün fotonlar için aynıdır. Daha fazla voltaj uygulanması durumunda, tüpte sürekli bir boşalma meydana gelir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzenek.

Bu çalışmada da gaz akışlı orantılı sayıcı kullanılmıştır. Bu tip alfa ve beta sayıcıları, deteksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir. Deteksiyon ortamında en çok kullanılan gazlar argon, ksenon, izobütan, helyum ve metandır. Bir tüp, bu gazlardan biri veya ikisinin karışımı ile doldurulup içine iki elektrot konulur. Gaz içinde meydana gelen elektrik akımı laboratuvar sayım cihazının elektrik devresinde algılanır.

Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite sayımları için sayım cihazı olarak ince pencere, çok iyi zırhlanmış, gaz akışlı, antikoincidans, orantılı sayıcı kullanılması uygun olmaktadır. Çevresel örneklerde ölçülen doğal radyoaktivite konsantrasyonları genellikle çok düşük seviyelerde olduğundan, kullanılacak bu tür cihazlarla çok düşük doğal sayım seviyesine (background) ulaşmak ve yüksek duyarlılık özelliklerini sağlamak mümkün olmaktadır. Şekil 4.3'te çalışmada kullanılan gaz akışlı orantılı alfa ve beta cihazı görülmektedir.



Şekil 4.3. Gaz akışlı orantılı alfa ve beta sayım cihazı.

Her sayıcı içinde örnek olmaksızın; çevresel, kozmik ve sayıcının yapıldığı malzemeden kaynaklanan doğal sayım (background) değeri vardır. Sayıcının yapımında uygun malzeme seçimi ve zırhlanması boş sayımın önemli oranda düşmesine neden olmaktadır.

Sayıcının verimini etkileyen diğer bir faktör de, geri saçılma (back-scattering) olayıdır. Radyasyon tipi ve enerjisinin bir fonksiyonu olan ve artan atom numarası ile arttığı belirlenen geri saçılmanın neden olduğu hatalardan kaçınmak için örnek ve standardın aynı fiziksel ve geometrik özelliklere sahip olmasını sağlamak gereklidir. Sayım sonucunu etkileyen başka bir faktör ise, geometrik etkidir. Radyasyon, kaynaktan küresel yani 4π geometri ile çıkar ve sayıcı tarafından algılanan kısmı sayılabilir. En yüksek verim, örneğin sayıcının hassas hacmi içinde bulunması ile elde edilmektedir.

4.2.2. Sayım sisteminin kalibrasyonu

Kalibrasyon, bir ölçü aleti veya ölçme sisteminin gösterdiği değerler ile ölçülen bilinen değerleri arasındaki ilişkiyi belli koşullar altında oluşturan işlemler dizisi olarak tanımlanır. Bir başka deyişle, bir ölçme aleti veya düzeneğinin doğru sonuçlar verecek şekilde ayarlanmasıdır.

Ölçüm yapılacak örneklerin radyoizotop karışım içerikleri bilinmediğinden sayım sisteminin kalibrasyonu ve kullanılacak standardının seçimi burada önem

taşımaktadır. Bilinen miktarlarda standart çekirdek içeren kalibrasyon kaynaklarının; sayılacak örneklerin alanı, yoğunluğu, kalınlığı ve aktivite dağılımı ile benzer özellikleri taşıyacak şekilde hazırlanması gerekmektedir.

Kullanılan sayım sisteminin kalibrasyonunda alfa için ^{241}Am ve beta için ^{90}Sr standart kalibrasyon kaynakları kullanılmıştır. Kalibrasyon işlemi için sırasıyla aşağıdaki işlemler yapılmıştır:

- * Öncelikle mevcut kalibrasyon kaynaklarından (^{241}Am ve ^{90}Sr) 0 ile 100 mg arasında en az 10 alfa ve 10 beta kalibrasyon kaynağı hazırlanır.

- * Hazırlanan bu kaynaklarda alfa ve beta için ayrı ayrı 10.000 sayımın yapıldığı süreler belirlenir.

- * Daha sonra Kütle Atenüasyon Eğrisi Metodu belirlenir. Bu metot alfa ve beta için ayrı ayrı belirlenmelidir. Her biri için metot belirlenirken önceden hesaplanan 10.000 sayımın yapıldığı maksimum süreler kullanılmalıdır.

- * Sonra her bir alfa ve beta kaynağı ayrı ayrı cihaza tanıtılmalıdır. Tanıtma işleminde kaynakların kütlelerinin doğru şekilde yazılmasına dikkat edilmelidir.

- * Tanıtma işleminden sonra tüm alfa ve beta kaynakları sırayla A detektöründe sayılır.

- * B, C ve D detektörlerinde ise sadece 0 mg kütleyle sahip olan alfa ve beta kaynakları sayılır.

- * Son olarak kalibrasyon metodu belirlenir. Kalibrasyon metodunda farklı matematiksel eşitliklerle verilen denklemlere ait eğriler incelenir ve en uygun kalibrasyon eğrisi seçilerek kalibrasyon işlemi tamamlanır.

4.2.3. Örneklerin toplanması ve sayıma hazırlanması

Bu yüksek lisans tez çalışması çerçevesinde, Van ilinde yetiştirilen bazı yöresel ürünlerde doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmalar; çalışma bölgesinin belirlenmesi, örneklerin toplanması ve hazırlanması, örneklerde doğal radyoaktivite seviyesinin tayin edilmesi ve son olarakta sonuçların değerlendirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Materyal

5.1.1. Deneylerde kullanılan araç ve gereçler

α/β Counter cihazı (Protean Instrument Corporation)

Hassas Terazi (Precisa)

Etüv (Nüve)

Elektrikli Isıtıcı (Stuart)

Buzdolabı

Kül fırını

Elek

Plastik poşet

Porselen havan

Değirmen

Desikatör

%90 Argon-%10 Metan gaz karışımı (P-10 gazı)

Cam malzeme olarak: Beher, porselen kroze, petri kabı, erlen.

5.1.2. Kullanılan maddeler

Üzüm (*Vitis Vinifera*)

Otlı Peynir

Salamura Peynir

Heliz (*Prangos pabularia* L.)

Sirmo (*Allium vineale*)

Ceviz1 (*Juglans regia*)

Ceviz2

Ceviz3

Armut (*Pyrus Salicifolia*)

Domates (*Solanum* Ly.)

Tuzlu Balık

İnci Kefali (*Chalcarburnus Tarichi*)

Kavun (*Cucumis Melo*)

Uçkun1 (*Rheum Ribes*)

Uçkun2

Tuz

Lahana (<i>Brassica Oleracea</i>)	İçme Suyu
Patates (<i>Solanum Tb.</i>)	Elma1 (<i>Malus Sylvestris</i>)
Kişniş (<i>Coriandrum St.</i>)	Elma2

5.2. Yöntem

Öncelikle Van ili civarında bazı yöresel ürünler (otlu peynir, tuzlu balık, patates, elma, ceviz vb.) belirlenerek, bu ürünlerden örnekleme yapıldı. Örnekleme yapılan ürünler, havası boşaltılmış-vakumlu plastik poşetlere alınarak her biri ayrı ayrı etiketlendi. Analiz için laboratuara getirilen numuneler türlerine göre farklı işlemlere tabi tutuldu. Üzerinde toprak ve çamur kalıntısı olan örnekler, bu artıklardan temizlenerek yıkandı ve ardından saf su ile tekrar yıkandı. Yeşil yapraklı numuneler temizlendikten sonra küçük parçalar halinde kesilerek petri kaplarına konuldu ve 80 °C'ta 24 saat süreyle kurutuldu. Kurutulan numuneler türlerine göre porselen havan veya değirmende öğütülerek homojenize hale getirildi. Diğer numuneler ise temizlendikten sonra yine küçük parçalar haline getirilerek kül fırınında yakıldı. Kül etme işlemi için, kül fırınının sıcaklığı 400°C'den başlanarak yarım saat arayla 50°C yükseltildi ve 600°C'ye ulaşılarak örnekler kül haline getirildi. Bu numuneler de homojenize hale getirilmesi amacıyla değirmende öğütüldü. Öğütülen tüm örnekler 200 mesh'lik elekte elenerek toz haline getirildi.

Toz halindeki numuneler nem kapmamaları için desikatörde bekletildi. Örnekler ortak özellikleri göz önünde bulundurularak 3 grup altında toplandı. Bu gruplar bitkiler, meyve ve sebzeler ve diğerleridir. Her bir grup için; toz haline getirilmiş numunelerden yaklaşık 300 mg olacak şekilde tartılarak, darası alınmış paslanmaz çelikten planşetlere aktarıldı. Planşetlerin kütleleri tekrar belirlenerek not edildi. Ve örnek kütleleri hesaplandı.

Yapılan bu işlemlerin ardından, tüm örneklerdeki toplam-alfa ve toplam-beta aktivite konsantrasyonları, gaz akışlı düşük background sayımlı Alfa/Beta Counter cihazı ile literatürde belirtildiği gibi belirlendi (Selçuk Zorer, 2006). Örneklerin sayım süresi 1500 dk olarak seçildi ve her bir örnek üç tekrarlı olarak sayılarak elde edilen sonuçlar değerlendirildi.

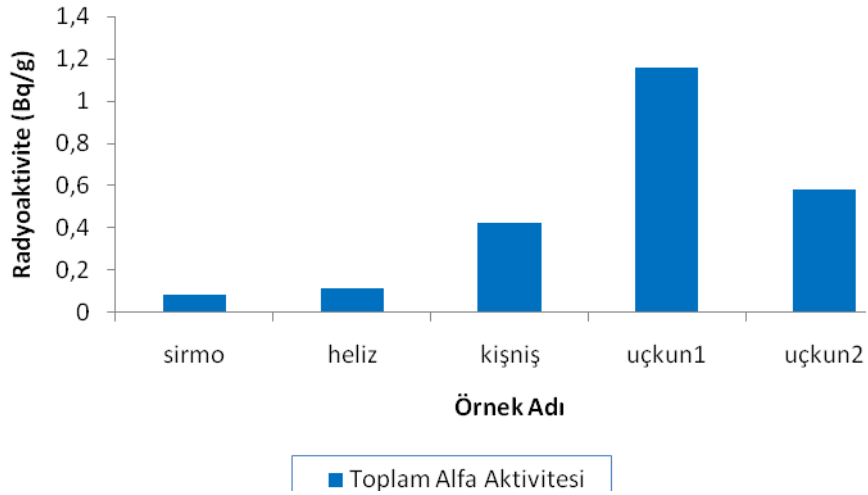
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Van'ın farklı yerlerinden alınan numunelerin toplam alfa ve beta aktivitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle alınan 22 numune; I. Grup bitkiler, II. Grup meyve ve sebzeler, III. Grup diğerleri olmak üzere 3 grup altında toplanmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo halinde verilmiş ve sonrasında sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. I. Grup örnekler için kütle ve toplam alfa/beta radyoaktivite değerleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. I. Grup için kütle ve toplam alfa/beta radyoaktivite değerleri

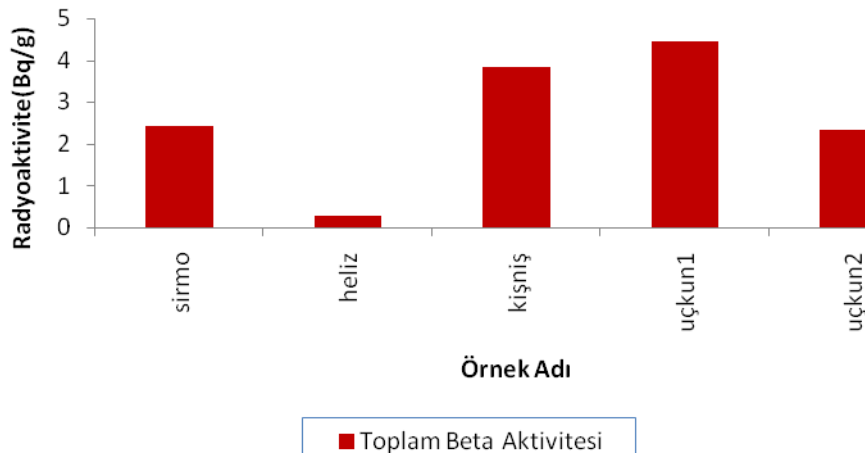
I. Grup		BİTKİ		
Örnek Adı	Plansset+Örnek Kütlesi (g)	Net Örnek Kütlesi (g)	Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/g)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/g)
Sirmo	8.1305	0.2781	0.083 ± 0.075	2.436 ± 0.990
Heliz	8.1414	0.2806	0.118 ± 0.075	0.285 ± 0.110
Kışniş	8.1222	0.2635	0.422 ± 0.256	3.823 ± 1.463
Uçkun1	7.9852	0.2186	1.157 ± 0.708	4.452 ± 1.772
Uçkun2	7.7867	0.2103	0.581 ± 0.355	2.318 ± 0.888

I. Grupta bulunan; sirmo, heliz, kışniş, uçkun1 (Erek) ve uçkun2 (Gürpınar) örneklerine ait toplam alfa ve beta radyoaktivite değerleri Şekil 5.1 ile Şekil 5.2'de, bu değerler karşılaştırmalı olarak da Şekil 5.3'te verilmiştir.



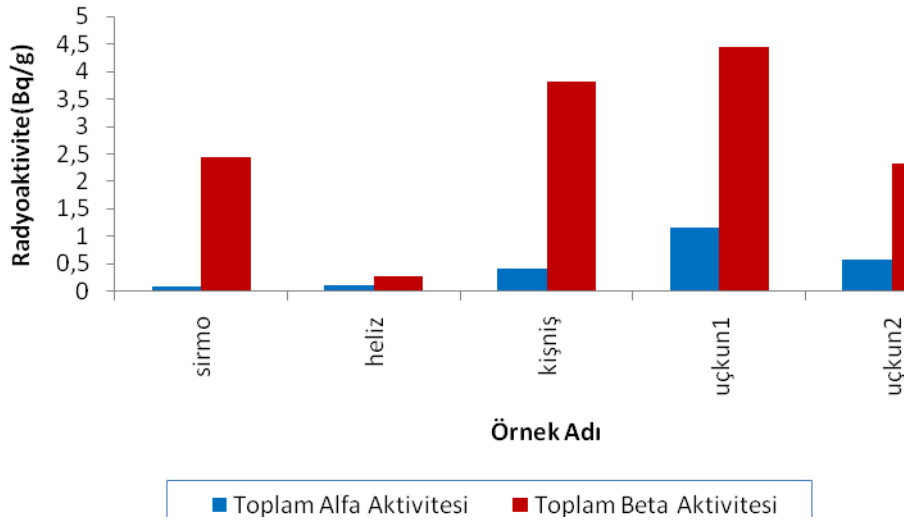
Şekil 5.1. Bitki örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri.

Bitki örneklerinin toplam alfa radyoaktivite sonuçlarına göre (Şekil 5.1) en yüksek toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu uçkun1’de 1.157 ± 0.708 Bq/g, en düşük toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu ise sirmo bitkisinde 0.083 ± 0.075 Bq/g olarak bulunmuştur.



Şekil 5.2. Bitki örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Bitki örneklerinin toplam beta radyoaktivite sonuçlarına göre ise (Şekil 5.2), en yüksek toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değeri uçkun1’de 4.452 ± 1.772 Bq/g ve en düşük toplam beta aktivitesi ise heliz bitkisinde 0.285 ± 0.110 Bq/g olarak bulunmuştur.



Şekil 5.3. Bitki örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin karşılaştırılması.

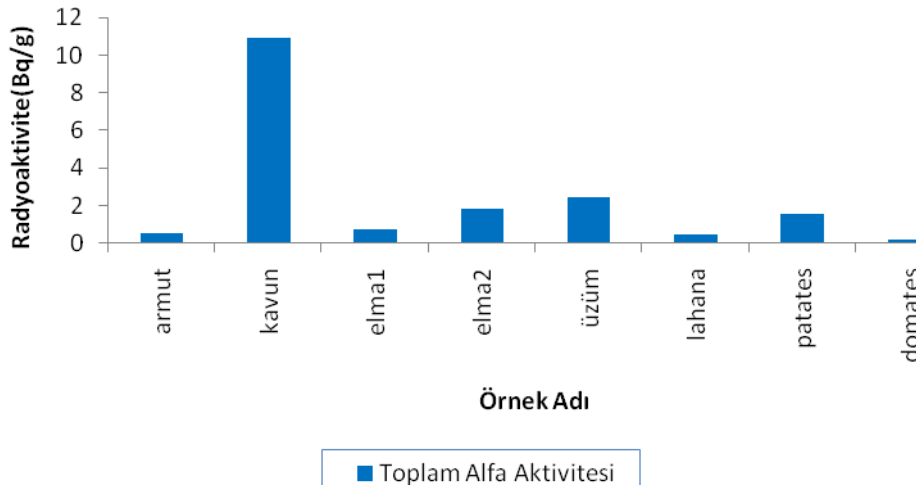
Bitki örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite değerlerinin karşılaştırılmış sonuçlarına göre (Şekil 5.3), uçkun1'in toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları en yüksek değerde bulunmuştur. Green (1997)'in yaptığı çalışmada da, uçkun (*Rheum Ribes*) numunelerinin topraktan ^{241}Am ile ^{137}Cs 'yi transfer etme oranlarını belirtmiştir. Alfa emitörü olan ^{241}Am için transfer faktörü 5.5×10^{-5} ve beta emitörü olan ^{137}Cs için transfer faktörü 5.3×10^{-4} olarak belirtilmiştir. Elde edilen veriler kıyaslandığında bu yüksek radyoaktivite konsantrasyon değerleri açıklanabilir. Bunun yanı sıra heliz bitkisinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyon değerleri paralellik gösterirken; sirmo, uçkun2 ve kişniş bitkilerinde toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değerlerinin, toplam alfa radyoaktivite konsantrasyon değerlerinden yüksek çıktığı gözlenmiştir.

Çizelge 5.2'de II. Grup örnekler için kütle ve toplam alfa/beta radyoaktivite değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. II. Grup için kütle ve toplam alfa/beta radyoaktivite değerleri

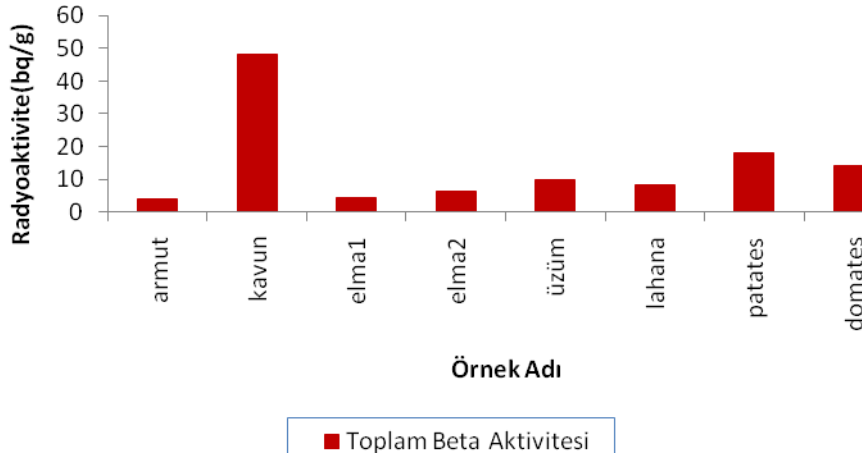
II. Grup MEYVE VE SEBZE				
Örnek Adı	Plañşet+Örnek Kütlesi (g)	Net Örnek Kütlesi (g)	Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/g)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/g)
Armut	8.1234	0.3071	0.542 ± 0.337	3.885 ± 1.578
Kavun	8.2318	0.3289	10.885 ± 6.711	48.285 ± 19.720
Elma1	8.1471	0.2896	0.758 ± 0.470	4.452 ± 1.808
Elma2	7.8254	0.2717	1.835 ± 1.112	6.132 ± 2.348
Üzüm	8.1150	0.2671	2.445 ± 1.481	9.895 ± 3.789
Lahana	8.1619	0.2858	0.489 ± 0.306	8.177 ± 3.321
Patates	8.1587	0.2768	1.592 ± 0.983	18.022 ± 7.319
Domates	7.8188	0.1122	0.184 ± 0.131	14.109 ± 6.482

II. grupta yer alan; armut, kavun (Alaköy), elma1 (Ekşi) ve elma2 (Tatlı), üzüm (Erciş), lahana (Erciş), patates (Erciş) ve domates (Karasu) örneklerine ait toplam alfa ve beta radyoaktivite değerleri Şekil 5.4. ile Şekil 5.5'te bu değerler karşılaştırmalı olarak Şekil 5.6'da verilmiştir.



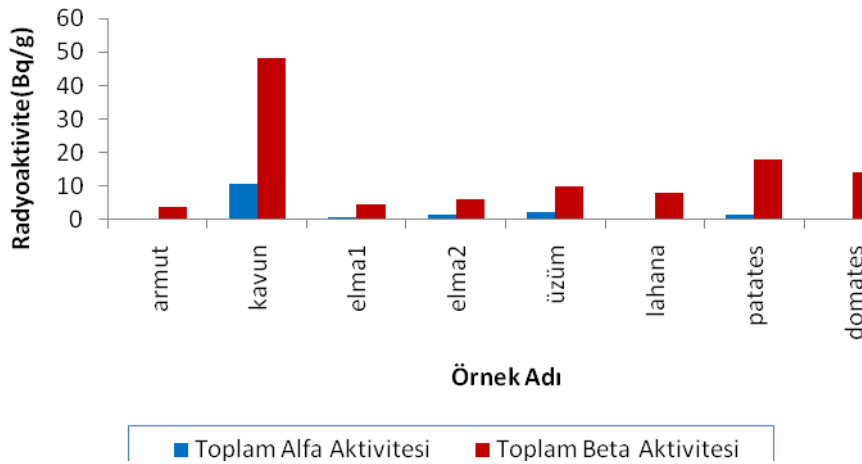
Şekil 5.4. Meyve ve sebze örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri.

Meyve ve sebze örneklerinin toplam alfa radyoaktivite sonuçlarına göre (Şekil 5.4), en yüksek toplam alfa konsantrasyon değeri kavunda 10.885 ± 6.711 Bq/g ve en düşük toplam alfa radyoaktivite konsantrasyon değeri ise 0.184 ± 0.131 Bq/g olarak domateste bulunmuştur.



Şekil 5.5. Meyve ve sebze örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Meyve ve sebze örnkelerinin toplam beta radyoaktivite sonuçlarına göre ise (Şekil 5.5), en yüksek toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu, kavunda 48.285 ± 19.720 Bq/g ve en düşük toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu ise armutta 3.885 ± 1.578 Bq/g olarak bulunmuştur.



Şekil 5.6. Meyve ve sebze örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin karşılaştırılması.

Meyve ve sebze örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyon değerleri karşılaştırıldığında (Şekil 5.6), kavunun en yüksek toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyon değerine sahip olduğu, özellikle toplam beta radyoaktivite konsantrasyonunun gruptaki diğer örneklerin sonuçlarına göre çok yüksek olduğu gözlenmiştir. Green (1997) yaptığı çalışmada, kavun numunesinin topraktan ^{241}Am ile ^{137}Cs 'yi transfer etme oranlarını belirtmiştir. Alfa emitörü olan ^{241}Am için transfer faktörü 7.2×10^{-4} ve beta emitörü olan ^{137}Cs için transfer faktörü 4.1×10^{-4} olarak belirtilmiştir. Kavun numunesine ait değerler her iki çalışmada da yüksek bulunmuştur. Armut, elma1, elma2, üzüm ve lahanada toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyon değerleri paralellik gösterirken; patates ve domatestede toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları, toplam alfa konsantrasyon değerine göre daha yüksek bulunmuştur. Djingova (2002)'nin yaptığı çalışmada; patates, domates, lahanada ve üzüm örnekleri için bir beta emitörü olan ^{137}Cs konsantrasyon değerleri sırasıyla 0.24 ± 0.02 , 0.22 ± 0.02 , 0.15 ± 0.02 ve 0.22 ± 0.02 Bq/kg olarak belirtmiştir. Bu bilgiler, çalışma sonucu elde edilen verilerle uyum göstermektedir. Aynı zamanda tarımda topraktaki verimi artırmak için kullanılan suni gübreleme (sunî gübreler radyoaktif ^{32}P içermektedir) gibi bazı insan aktiviteleri de lokal olarak topraktaki yüzey radyoaktiviteyi artırmaktadır (Karahana, 1997). Ayrıca tarımsal gübreler uranyum, toryum ve bunların bozunma ürünleri ile birlikte K-40 radyoizotopu gibi iz elementleri içermektedir (NCRP, 1987). Bu durum göz önüne alınarak, tarımsal alan olarak kullanılan kesimlerde suni gübrelemeden kaynaklanan ve sulama ile diğer alanlara da taşınabilen bölgesel bir radyoaktivite artışından söz edilebilir. Gübrelere bulunan bu radyoizotoplar topraktan bitkilere transfer edilebilmekte ve bu transfer besin zinciri şeklinde bitkilerden hayvanlara ve insanlara geçebilmektedir.

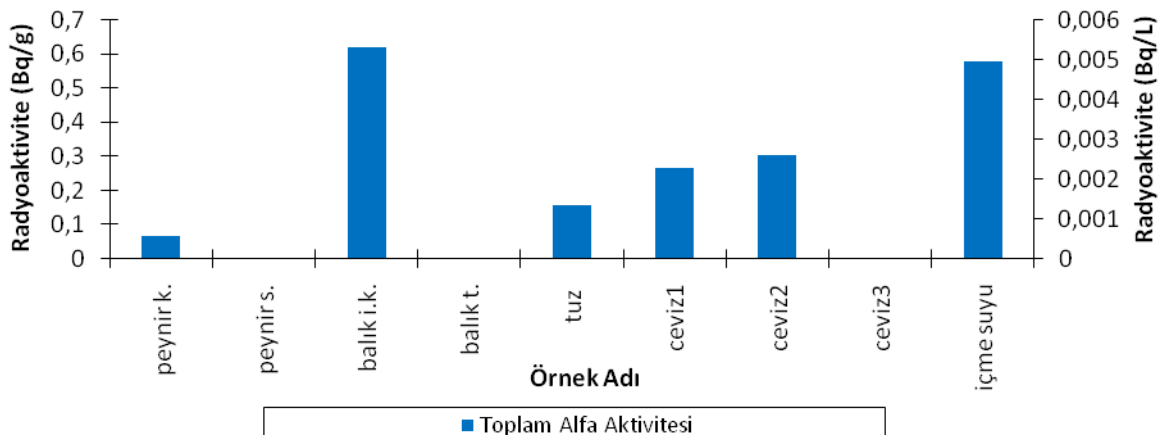
Çizelge 5.3'te III. Grup örnekler için kütle ve toplam alfa/beta radyoaktivite değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. III. Grup için kütle ve toplam alfa/beta radyoaktivite değerleri

III. Grup	DİĞER			
	Örnek Adı	Planşet+Örnek Kütlesi (g)	Net Örnek Kütlesi (g)	Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/g)
Peynir (küp)	8.0425	0.2887	0.070 ± 0.048	0.514 ± 0.197
Peynir (salamura)	8.1332	0.2913	DLA*	1.389 ± 0.566
Balık (İnci Kefali)	8.1145	0.2939	0.625 ± 0.379	2.863 ± 1.096
Balık (Tuzlu)	8.1213	0.2717	DLA	1.554 ± 0.632
Tuz	8.2569	0.3909	0.163 ± 0.122	0.157 ± 0.062
Ceviz1	8.1341	0.2848	0.272 ± 0.166	1.506 ± 0.577
Ceviz2	8.1135	0.2888	0.307 ± 0.187	1.764 ± 0.675
Ceviz3	8.1613	0.2871	DLA	3.124 ± 0.269
İçme suyu	7.9347	0.033	0.005 ± 0.002 (Bq/L)	0.455 ± 0.098 (Bq/L)

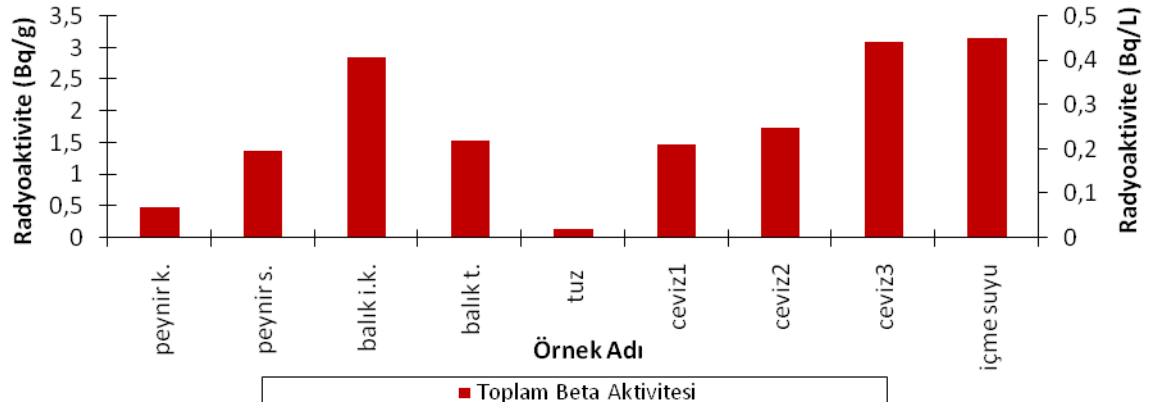
*Deteksiyon Limitinin Altında

III. grupta bulunan; küp ve salamura peyniri, inci kefali, tuzlu balık, tuz (Canik), içme suyu ile ceviz1 (Edremit), ceviz2 (Gevaş) ve ceviz3 (Adilcevaş) örneklerine ait toplam alfa ve beta radyoaktivite değerleri Şekil 5.7 ve 5.8’de, karşılaştırmalı değerleri ise Şekil 5.9’da verilmiştir.



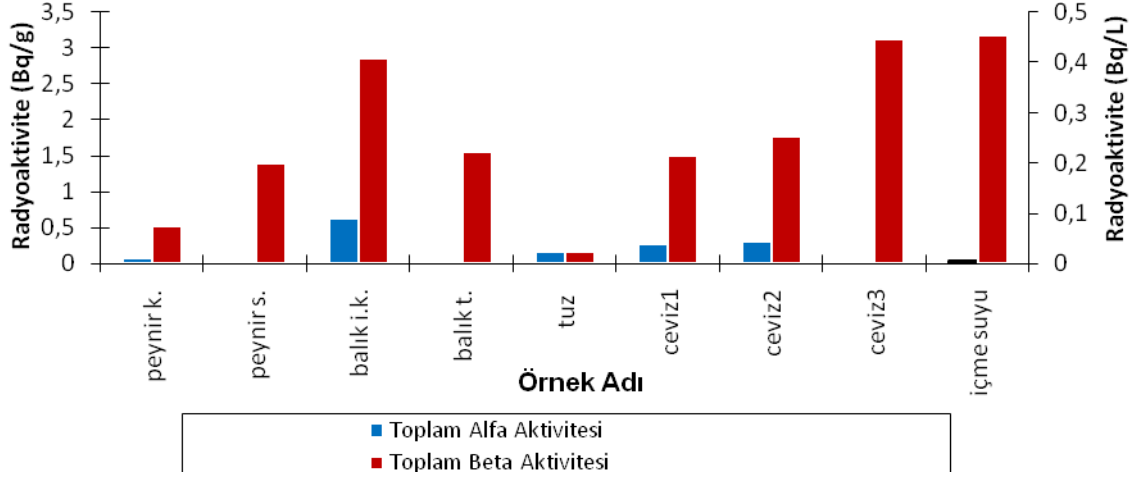
Şekil 5.7. Diğer örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri.

Şekil 5.7’de içme suyunun radroaktivite konsantrasyonları Bq/l, diğer örneklerin radyoaktivite konsantrasyonları ise Bq/g cinsinden verilmektedir. Diğer örneklerin toplam alfa radyoaktivite konsantrasyon değerlerine göre (Şekil 5.7), en yüksek toplam alfa radyoaktivite konsantrasyon değeri İnci Kefali’nde 0.625 ± 0.379 Bq/g olarak bulunmuştur. Salamura peynir, tuzlu balık ve ceviz3’de toplam alfa aktivitesi deteksiyon limitinin altında olduğundan ölçülememiştir.



Şekil 5.8. Diğer örneklerin toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Şekil 5.8’de içme suyunun radroaktivite konsantrasyonları Bq/l, diğer örneklerin radyoaktivite konsantrasyonları ise Bq/g cinsinden verilmektedir. Diğer örneklerin toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değerleri sonuçlarına göre (Şekil 5.8), en yüksek toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değeri ceviz3’te 3.124 ± 0.269 Bq/g ve en düşük toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değeri tuzda 0.157 ± 0.062 Bq/g olarak bulunmuştur.



Şekil 5.9. Diğer örneklerin toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.9’da içme suyunun radyoaktivite konsantrasyonları Bq/l, diğer örneklerin radyoaktivite konsantrasyonları ise Bq/g cinsinden verilmektedir. Diğer örnekler için toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyon değerleri karşılaştırıldığında (Şekil 5.9), bütün örneklerde toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değerlerinin, toplam alfa radyoaktivite konsantrasyon değerlerine göre yüksek olduğu görülmüştür. Salamura peynir, ceviz3 ve tuzlu balıkta toplam alfa radyoaktivite konsantrasyon değerleri deteksiyon limitinin altında iken, toplam beta radyoaktivite değerleri ölçülebilmektedir. İçme suyu ve küp peynirin toplam alfa radyoaktivite değerleri oldukça düşük bulunmuştur. Froidevaux (2004)’un yaptığı çalışmaya göre, peynir numunelerinde, bir alfa emitörü olan ^{238}U konsantrasyonu 0.79 ± 0.17 Bq/g, bir beta emitörü olan ^{90}Sr konsantrasyonu 0.121 ± 0.008 Bq/g olarak bulunmuştur. Bu bilgilerle, çalışmada elde ettiğimiz veriler karşılaştırıldığında peynir numunelerinde bulunan toplam alfa ve toplam beta konsantrasyon değerlerinin düşük çıkması açıklanabilir. İnci kefal, ceviz1 ve ceviz2 için toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değeri toplam alfa radyoaktivite değerlerinden yüksek iken, tuzun toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyon değerlerinin paralellik gösterdiği gözlenmiştir. Yu (1997)’nin balık çeşitleri üzerine yaptığı çalışmada, kefal balığına ait ^{238}U konsantrasyon değeri <0.034 Bq/kg, ^{137}Cs konsantrasyon değeri ise 0.015 Bq/kg olarak belirtilmiştir. Her iki çalışmada da balık numunesine ait radyoaktivite konsantrasyon değerleri paralellik göstermektedir.

7. SONUÇ

Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Radyoaktif maddeler yaymış oldukları elektronlarla hava, su, toprak ve bitkilere zarar verir. Radyoaktif maddeye sahip hayvansal ürünler (et, balık, süt, vb.) ve bitkiler, bu zararlı maddeyi besin zinciri ile insanlara ve diğer canlılara taşır. Doğal radyoizotopların sindirim yolu ile vücuda alınması; yiyecek ve içeceklerin tüketim hızına ve radyoizotop konsantrasyonuna bağlı olarak, besin maddelerinin içinde bulunan radyoizotoplara, bölgenin iklimine ve tarımsal uygulamalara göre değişiklik gösterir. Vücuda alınan bu radyoizotoplar vücut içi ışınlanmaya neden olur.

Çalışma sonunda; Van halkının beslenme alışkanlıkları göz önünde bulundurularak, farklı yerlerden yapılan örneklerin toplam alfa ve toplam beta konsantrasyon değerleri belirlendi. Bu radyoaktivite konsantrasyon değerleri birbirleri ile ve daha önce yapılan benzer çalışmalardan elde edilen verilerle karşılaştırıldı.

Bitki örneklerinde en yüksek toplam alfa radyoaktivite konsantrasyon değeri uçkun1 örneğinden 1.157 ± 0.708 Bq/g olarak alınmıştır. Yine aynı grupta en yüksek toplam beta konsantrasyon değeri uçkun1 örneğinden 4.452 ± 1.772 Bq/g olarak alınmıştır. Uçkun1 örneği Ereğ'ten, uçkun2 örneği Gürpınar'dan alınmıştır. Toplumsal olarak mevsimine göre çok fazla tüketilmekte olan uçkun bitkisi için, her iki örnekteki toplam alfa ve beta konsantrasyon değerleri karşılaştırıldığında, sağlık açısından Ereğ uçkunu yerine Gürpınar uçkununun tercih edilmesi önerilmektedir.

Meyve ve sebze örneklerinde en yüksek toplam alfa konsantrasyon değeri kavun örneğinden 10.885 ± 6.711 Bq/g olarak alınırken; bu gruba ait en yüksek toplam beta konsantrasyon değeri yine kavun örneğinden 48.285 ± 19.720 Bq/g olarak alınmıştır. Alaköy'den aldığımız kavun örneğinin hem toplam alfa ve hem de toplam beta konsantrasyon değerleri, çalışmada kullanılan diğer numunelere ait konsantrasyon değerlerine göre oldukça yüksek çıkmıştır. Bu yüzden bölge halkı, yüksek radyoaktivite konsantrasyon değerlerine sahip Alaköy kavunu tüketiminin azaltılması hususunda bilgilendirilmelidir. Yine bu grupta yer alan patates, domates, lahana ve üzüm

örneklerine ait toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değerleri yüksek bulunmuştur. Patates, lahana ve üzüm örnekleri Eciş'ten; domates örneği ise Karasu çevresindeki tarımsal arazilerden alınmıştır. Yine yüksek toplam beta radyoaktivite konsantrasyonlarından dolayı, bu ürünlerin tüketilme sıklığı hakkında yöre halkı bilgilendirilerek farklı bölgelerin ürünlerinin de kullanılması teşvik edilmelidir.

Diğer gruba ait örneklerde en yüksek toplam alfa radyoaktivite konsantrasyon değeri İnci Kefali'nde 0.625 ± 0.379 Bq/g olarak bulunmuştur. Fakat İnci Kefali'ne ait toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değerinin, grubun diğer örnekleriyle karşılaştırıldığında en yüksek değerde olmadığı görülmektedir. En yüksek toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değeri ceviz3'de 3.124 ± 0.269 Bq/g olarak bulunmuştur. Ceviz3 örneği Adilceviz'dan alınmıştır. Daha düşük radyoaktivite konsantrasyon değerlerine sahip Ceviz1 örneği Edremit'ten, ceviz2 örneği ise Gevaş'tan alınmıştır. Ceviztüketimi esnasında, daha az radyasyona maruz kalmak için Adilceviz cevizi yerine Edremit veya Gevaş cevizinin tüketilmesi önerilmektedir.

Besin maddelerindeki radyoaktivite seviyelerine ilişkin herhangi bir ulusal veya uluslar arası standart bulunmadığı için, çalışma sonucu elde edilen veriler belli bir standartla kıyaslanamamıştır.

Bu tezin, bölgenin fazla tükettiği ürünlerdeki doğal radyoaktivite seviyeleri üzerine yapılmış ilk çalışma olması ve aynı zamanda detaylı olarak yapılabilecek sonraki çalışmalara da bir zemin hazırlaması amaçlanmıştır. Bu açıdan bu tez çalışması bir yüzey araştırması olarak düşünülebilir. Sonraki gerek bizim gerekse diğer bilim insanlarının bu tez ışığında yapacağı çalışmaların daha kapsamlı ve daha bilgilendirici nitelikler taşıyacağı inancındayız.

Sonuç olarak, insanların radyasyondan tamamen uzak durması mümkün değildir. Kaçınılmaz olarak bütün canlılar, farklı kaynaklardan belli bir miktar radyasyona maruz kalmaktadır. Yiyecek ve içecek yoluyla vücuda alınan radyasyon da bu kaynaklardan biridir. Bu yüzden, önemli olan alınan radyasyon dozunun kontrol altında tutularak en aza indirgenmesidir.

KAYNAKLAR

- Al-Kharouf, S. J., Al-Hamarnah, İ. F., Dababneh, M., 2008. Natural Radioactivity, Dose Jordan. *Journal of Environmental Radioactivity*, **99**: 1192-1199.
- Amutha, R., Brahmanandhan, G.M., Malathi, J., Khanna, D., Selvasekarapandian, S., Sarida, R., Meenakshisundaram, V. and Gajendran, V., (2005), Study of background radiation from soil samples of Pollachi taluk, Tamilnadu, India. *International Congress Series*, **1276**: 331-332.
- Badran, H. M., Sharshar, T., Elnimer, T., 2003. Levels of ^{137}Cs and ^{40}K in edible parts of some vegetables consumed in Egypt. *Journal of Environmental Radioactivity*, **67**: 181-190.
- Büyükuslu, H., 2007. *Isparta'nın Yalvaç İlçesi ve Çevresinin Doğal Fon (Background) Radyasyon Düzeylerinin Araştırılması*. (yüksek lisans tezi, basılmamış). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Das, A., Ferbel. T., 1994. *Introduction To Nuclear and Particle Physics*. John Wiley & Sons Inc., Newyork. 69-155.
- Daşdağ, S., Çelik, S., 1990. Mikrodalgaların biyolojik etkileri ve güvenlik standartları. *Çevre Sorunlarının Boyutları "90" Sempozyumu*, Diyarbakır.
- Davutoğlu, H., 2008. *Radon Gazını Ölçme Metotları*. (yüksek lisans tezi, basılmamış). Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Djingova, R., Kuleff, I., 2002. Concentration of Caesium-137, Cobalt-60 and Potassium-40 in Some Wild and Edible Plants Around the Nuclear Power Plant in Bulgaria. *Journal of Environmental Radioactivity*, **59**: 61-73.
- Enge, H.A., 1996. *Introduction to nuclear physics*. Massachusetts Institute, U.S.A. 582
- Froidevaux, P., Geering, J. J., Pillonel, L., Bosset, J. O., Valley J. F., 2004. ^{90}Sr , ^{238}U , ^{234}U , ^{137}Cs , ^{40}K and $^{239/240}\text{Pu}$ in Emmental Type Cheese Produced in Different Regions of Western Europe. *Journal of Environmental Radioactivity*, **72**: 287-298.
- Green, N., Wilkins, B. T., Hammond, D. J., 1997. Transfer of Radionuclides to fruit. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **226**: 195-200.

- Green, N., Wilkins, B. T., Poultney, S., 1997. Distribution of radionuclides in potato tubers: Implications for dose assessments. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **226**: 75-78.
- Hodgson, P.E., GADIOLI, E., ERBA. E.C., 1997. *Introductory Nuclear Physics*. Clarendon Press., Oxford. 715.
- IAEA, 1996. "Radiation Safety" *Division of Public Information*, International Atomic Energy Agency. 96-00725 IAEA/PI/A47E.
- Karahan, G., 1997. *İstanbul Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri* (doktora tezi, basılmamış). İstanbul Teknik Üniveristesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Kobyay, Y., 2009. *Doğal Karadeniz Bölgesindeki Doğal kaynak ve Maden Sularında Radyoaktiflik Tayini*. (doktora tezi, basılmamış). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Köklü, N., 2006. *Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri ve Tıpta Uygulama Alanları*. (yüksek lisans tezi, basılmamış). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Krane, S.K., 2001. *Nükleer Fizik Ders Kitabı* (Edit: Sarer, B.), 1. Cilt, Birinci Baskı, Palme Yayıncılık. Ankara. 1-217.
- National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), 1987. *Radiation Exposure of the U.S. Population from Consumer Products and Miscellaneous Sources*, NCRP report no. 95, Washington DC.
- Özden, N., 1983, *Nükleer Çağın İlk 40 Yılı*. Cilt1, İTÜ, Nükleer Enerji Enstitüsü Genel Yayınları No:17, İstanbul.
- Özden, N., 1990, *Sanayide Radyasyondan Korunmanın Esasları*. Aliğa Petrokimya San. ve Tic. A.Ş., İzmir.
- Ryan, B., Martin, P., Iles, M., 2005. Uranium-series radionuclides in native fruits and vegetables of northern Australia. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **264**: 407-412.
- Sarı M., 2000; *İnci kefalı: Bilgiler ve mevzuat*, Su Ürünleri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.
- Sarı M., 2001. Van Gölü İnci Kefali, Stok miktarının Tahmini ve Balıkçılık Yönetim Esaslarının Belirlenmesi, *Çekül Bilimsel Dergisi*, ISBN 975-6825-01-4, İstanbul.

- Selçuk Zorer, Ö., 2006. *Bendimahi Çayı Havzasında ve Çayın Döküldüğü Noktada Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi*. (doktora tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Togay, Y.,E., 2002. *Radyasyon ve Biz*. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, Ankara. 37.
- Willem, G. R., Teunis D. B., 1992. Radioactive Contamination of Food Sampled in the Areas of the USSR Affected by the Chernobyl Disaster. *Analyst*, **117**: 545-548.
- Yu, K. N., Mao, S. Y., Young, E. C. M., Stokes, M. J., 1997. A Study of Radioactivities in Six Types of Fish Consumed in Hong Kong. *Applied Radiation and Isotopes*, **48**: 515-519.

ÖZ GEÇMİŞ

1982 yılında Van'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Van'da tamamladı. 1999 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nü kazandı. 2003 yılında bölümden birincilikle mezun oldu. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsünde Tezsiz Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve 2005 yılında mezun oldu. 2009 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fakültesine memur olarak atandı. 2010 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen aynı fakültede görev yapmaktadır.