ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

Şazimet GÖRÜR

ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTE İLE BU ÇEVREDE YAŞAYANLARA AİT DİŞ ÖRNEKLERİNDEKİ RADYOAKTİVİTE ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2006

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTE İLE BU ÇEVREDE YAŞAYANLARA AİT DİŞ ÖRNEKLERİNDEKİ RADYOAKTİVİTE ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

ŞAZİMET GÖRÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİMDALI

Bu Tez 17/08/2006 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....…… İmza..... İmza.....

Prof. Dr.Zehra YEĞİNGİL Prof. Dr. Vedat PEŞTEMALCI Prof. Dr. Seyhan TÜKEL

DANIŞMAN ÜYE ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr.Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu Çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonu Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FEF2006YL15

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTE İLE BU ÇEVREDE YAŞAYANLARA AİT DİŞ ÖRNEKLERİNDEKİ RADYOAKTİVİTE ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

ŞAZİMET GÖRÜR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL

Yıl: 2006, Sayfa:79

Jüri :Prof.Dr. Zehra YEĞİNGİL
:Prof.Dr. Vedat PEŞTEMALCI
:Prof.Dr. Seyhan TÜKEL

Bu çalışmada, Karadeniz ve Çukurova Bölgesinden toplanan insan dişlerindeki toplam alfa-beta radyoaktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. 35 insan dişi örneği, vericilerin yaşlarına göre sınıflandırılmıştır. Örnekler 10 Kanallı Düşük Temel Planşet Sayıcısı ile sayılmış, sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Diş, Radyoaktivite, Sr-90, K-40

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF THE RELATION BETWEEN ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY AND RADIOACTIVITY IN HUMAN TEETH WHO LIVES IN THIS ENVIRONMENT

ŞAZİMET GÖRÜR

DEPARTMENT OF PHYSICS

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor: Prof. Dr.Zehra YEĞİNGİL

Year: 2006, Pages:79

Jury: Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL
: Prof. Dr. Vedat PEŞTEMALCI
: Prof. Dr.Seyhan TÜKEL

In this work, total alfa-beta radioactive concentrations has been measured in human teeth collected in Karadeniz Region and Çukurova Region. Thirty five human teeth samples taken from people that have been classifield according to the age of dones. These samples have been measured by using 10 Channel Low-Level Counter and results have been discussed.

Key Words: Teeth, Radioactivity, Sr-90, K-40

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışmayı gerçekleştirmemde benden bilgi, hoşgörü ve güler yüzünü esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Gülten GÜNEL'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Danışman hocamın yokluğunda yardımlarını esirgemeyen sayın Prof. Dr Zehra YEĞİNGİL'e şükranlarımı sunarım.

Çalışmam sırasında kullandığım dişlerin toplanmasında Çukurova bölgesi için sayın diş hekimi Dr. Emre BENLİDAYI ve çalışma arkadaşlarına, Karadeniz bölgesi için sayın diş hekimi Dr. Adem GONCA ve çalışma arkadaşlarına yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Ayrıca dişlerin öğütülmesi ve belirli boyutlara getirilmesi için kullanmış olduğum Maden Mühendisliği Kırma Laboratuarından sorumlu asistan arkadaşlara yapmış oldukları yardımlardan; dişlerdeki toplam alfa-beta sayımını gerçekleştirdiğim Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi Sağlık Fiziği Bölümünden Radyasyon Korunma Uzmanı Dr. Gürsel KARAHAN'a vermiş olduğu bilgiler, destek ve yardımlardan; çalışmam süresince her zaman yanımda olan bilgi, destek ve güler yüzünü hiç esirgemeyen Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümünden Dr. Aysun UĞUR ve Dr. Halide ŞAHAN'a; bütün bu çalışamam süresince her zaman olduğu gibi yanımda olan sevgili ailem ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER..... ..IV
SİMGELER VI
KISALTMALAR.....VII
ÇİZELGELER DİZİNİ VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ X
1.GİRİŞ 1
1.1 Radyasyon Tanımı ve Türleri 4
1.2 Radyasyon Kaynakları 5
1.3 Radyasyon Birimleri..... .7
1.3.1 Aktivite Birimi 7
1.3.2 Işınlama Birimleri 8
1.3.3 Soğurulan Doz Birimi 9
1.3.4 Doz Eşdeğeri Birimi (Biyolojik Doz) 10
1.4 Radyoaktivite 11
1.5 Radyoaktif Parçalanma Yasası.. 12
1.6 Yarı Ömür 18
1.7 Ortalama Ömür 19
1.8 Biyolojik Yarı Ömür 19
1.9 Effektif (etkin) Yarı Ömür 19
1.10 Bozunum Türleri 20
1.10.1 Alfa Bozunumu.....20
1.10.2 Beta Bozumu 22
1.10.3 Gama Bozumu 26
1.11 Işınlama Ve Doz Hızları 27
1.11.1 Gama Yayınlayıcılar İçin Işınlama Ve Doz Hızı 28
1.11.2 Işınlama Hızının Uzaklıkla Azalması 29

1.11.3 Beta Yayınlayıcılar İçin Doz Hızı ……..30
1.12 İnsan Vücudunda Bulunan Doğal Radyonüklitler ……30
1.13 Nükleer Denemelerde Meydana Gelen Radyoizotoplar ……33
1.13.1 Fisyon Ürünü Radyoizotoplar ……33
1.13.2 Aktivasyon Ürünü Radyoizotoplar ……33
1.14 Radyoizotopların İnsana Geçişi ……..36
1.15 Dişlerde Biriken Radyoaktif Maddeler ……...38
1.15.1 Uranyumun Elde Edilmesi ……..38
1.15.2 Nükleer Bombalar ……...39
1.15.3 Nükleer Denemelerin Dişlerimizdeki İmzası ……..40
1.16 Bozunma Şemaları……...40
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR……...44
3.MATERYAL VE METOD ……51
3.1 Diş Örneklerinde Radyoaktivite Tayini ……..51
3.2 Deney Düzeneğinin Tanıtılması ……52
3.2.1 Alfa ve Beta Sayım Sistemleri ……52
3.3 Toplam Alfa Radyoaktivite Tayini ……55
3.4 Toplam Beta Radyoaktivite Tayini ……56
3.5 Örneklerin Toplanması Ve Sayıma Hazırlanması ……..57
3.6 Diş Örneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Belirlenmesi……59
4.BULGULAR VE TARTIŞMA ……...60
4.1 Diş Örneklerine İlişkin Alınan Deney Sonuçları ……60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER ……...64
KAYNAKLAR ……..70
ÖZGEÇMİŞ ……...73
EKLER……74

SİMGELER

Bq : Becquerel, radyoaktivite birimi

Ci : Curie, radyoaktivite birimi

E : Enerji (keV, MeV)

Gy : Gray, absorblanmış doz birimi

R : Röntgen, radyasyon şiddet birimi

Sv : Sievert, eşdeğer doz birimi

$T_{½}$: Yarılanma süresi

a : Alto, alt birim (10^{-18})

p : Piko, alt birim (10^{-12})

n : Nano, alt birim (10^{-9})

μ : Mikro, alt birim (10^{-6})

α : Alfa parçacığı

β : Beta parçacığı

γ : Gama parçacığı

KISALTMALAR

AERE : Atomic Energy Research Establishment

BARC : Bhabha Atomic Research Center

ÇNAEM : Çekmece Nükleer Arştırma ve Eğitim Merkezi

IAEA : International Atomic Energy Academy

1CRP : International Commission on Radiological Protection

ICRU : International Commission on Radiation Units and Measurements

LET : Lineer Enerji Transferi

NCRP : National Council on Radiation Protection and Measurements Radiatio

UNEP : United Nations Environment Programme

UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic

WHO : World Health Organization

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 1.1 Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri……7

Çizelge 1.2 Farklı radyasyon türleri için kalite faktörleri……. 11

Çizelge 1.3 Alfa saçan birkaç radyonüklit ve özellikleri……...21

Çizelge 1.4 Beta saçan birkaç radyonüklit ve özellikleri……...25

Çizelge 1.5 Sırf beta yayınlayıcısı bazı radyonüklidlerin maksimum beta enerjileri ve beta parçacıklarının hava içindeki maksimum erişme uzaklıkları……..25

Çizelge 1.6 Gama yayınlayan birkaç radyonüklit ve özellikleri ……27

Çizelge 1.7 Çeşitli Radyonüklidlerin Gama Işınlama Hızları……29

Çizelge 1.8 ICRP 30 verisine dayanan 70.000 gramlık bir yetişkinde hesaplanmış radyonüklit konsantrasyonları ……32

Çizelge 1 9 U-233, U-235, U-238, Pu-239 ve Th-232 izotoplarının termal, hızlı ve 14 Mev'lik nötronlarla meydana getirdiği fisyon ürünleri, yarı ömürleri ve %verimleri …….....34

Çizelge 2.1 Türkiye'de farklı yaşlarda ve farklı bölgelerden gelen insanların diş örneklerinde ^{90}Sr aktiviteleri ve ve Ca derişimleri…….49

Çizelge 4.1 Karabük iline ait diş örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitesi…….60

Çizelge 4.2 Artvin'in Hopa ilçesine ait diş örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitesi…….....61

Çizelge 4.3 Gümüşhane iline ait diş örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitesi ……...61

Çizelge 4.4 Trabzon iline ait diş örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitesi……...62

Çizelge 4.5 Adana iline ait diş örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitesi…...62

Çizelge 5.1 11-13 Yaş grubu……..64

Çizelge 5.2 16-18 Yaş grubu……. ……65

Çizelge 5.3 28-30 Yaş grubu……..65

Çizelge 5.4 34-36 Yaş grubu……..66

Çizelge 5.5 51 Yaş grubu……66
Çizelge 5.6 57-59 Yaş grubu……..67
Çizelge 5.7 Çukurova ve Karadeniz bölgesine ait büyüklük değerleri sayısı……67

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1 Radyasyonun çeşitleri…….. ….4
Şekil 1.2 Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu ……..5
Şekil 1.3 Radyasyon kaynakları ……..6
Şekil 1.4 Radyoaktif parçalanma eğrileri……...13
Şekil 1.5 Uranyum serisinin parçalanması…….14
Şekil 1.6 Aktinyum serisinin parçalanması……15
Şekil 1.7 Toryum serisinin parçalanması……16
Şekil 1.8 Alfa bozunumu ……...21
Şekil 1.9 Örnek bir β^- bozunumu…….22
Şekil 1.10 β^+ bozunumu …….23
Şekil 1.11 Elektron yakalama olayına bir örnek (^{7}Be)…….24
Şekil 1.12 β^- bozunumu sonrasında yayımlanan elektronların enerji spektrumlarına bir örnek (^{210}Bi)……..24
Şekil 1.13 Gama bozunumu ……. 26
Şekil 1.14 α, β ve γ ışınlarının insan üzerine etkileri ……27
Şekil1.15 Radyoizotopların alınış, atılış ve transfer yolları……...31
Şekil 1.16 Atmosfere verilen radyoaktif maddelerin insana geçiş yoları ……..36
Şekil 1.17 Yüzey ve yeraltı sularına bırakılan radyoaktif maddelerin insana geçiş yolları ……...37
Şekil 2.1 Çeşitli yaştaki insan kemiklerinde Sr-90 aktivitesini değişimi ……..44
Şekil 2.2 Çeşitli yıllarda ve çeşitli yaşlardaki insan kemiklerinde Sr-90 aktivitesi değişimi ……..45
Şekil 3.1 LB770-PC 10-Kanallı Düşük Temel Planşet Radyasyon Sayıcısı……..53
Şekil 3.2 Pulvarizatör kabı …….58
Şekil 3.3 Pulvarizatör cihazının iç görünüşü……..58
Şekil 3.4 Pulvarizatör …….58
Şekil 3.5 Elekler……..58

1. GİRİŞ

Nükleer enerji Dünyada elektrik enerjisi üretiminin %17 sini, gelişmiş bazı ülkelerde de %70 ini karşılamaktadır. Elektrik enerjisi üretim teknolojisinde 21.yüzyılın ortalarına kadar yeni bir yöntem geliştirilmesi de beklenmemektedir. Dünya enerji ihtiyacını artan bir hızla nükleer kaynaklardan sağlamak zorundadır. Nükleer enerji bilinen en güvenilir, en az riskli kaynak olmasına rağmen zaman zaman nükleer tesislerde kazalar olduğu da bir gerçektir. Çernobil kazasının bütün dünyayı nasıl etkilediği hala hatırlardadır ve yankıları sürmektedir. Bir nükleer kaza sonucu çevreye salınan radyoaktif maddelerin dağılımı, insan vücuduna girişi ve etkilerinin incelenmesi sağlık açısından büyük önem taşır.

26 Nisan 1986 günü Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliğinde, Kiev kentinin 100 km kadar kuzeyindeki Çernobil Nükleer Santralının 1000 MWe (3200 MWth) gücündeki 4.ünitesinde büyük bir nükleer kaza meydana gelmiştir. Çernobil Nükleer santralındaki kaza, reaktörün programlanmış olan durdurulmasından daha önce yapılan bir test sırasında meydana gelmiştir. Kaza meydana geldiği zaman reaktör 70 MWe (200 MWth)'lık alçak güçte çalışıyordu. Kazadan sonra yapılan soruşturmalar, kazanın reaktör tasarımındaki hatalar ile güvenlik sistemlerinin devreden çıkarılması, işletme kurallarının hiçe sayılması ve reaktörün kararsız bir duruma getirilmesi gibi bir dizi insan hatası sonucu meydana geldiğini göstermiştir. Böylece meydana gelen hızlı bir güç yükselmesini izleyen buhar patlaması reaktörü ve reaktör binasını tahrip etmiştir. Birkaç saniye sonra meydana gelen ikinci bir patlama ile üstü açık kalan reaktörün kızgın parçaları büyük bir hızla dışarı fırlamış ve bu sırada reaktörden salınan radyoaktif gazlar ve radyoaktif maddeler karışımı 1200 metreyi aşan yüksekliklere çıkmıştır.

Patlamalar sonucu harap olan reaktörlerdeki grafitler tutuşmuş ve reaktör binasının birkaç yerinde birden yangın çıkmıştır. Bu yangınlarla, büyük miktarlarda fisyon ürünleri salınması olmuştur.

Atmosfere radyoaktif maddelerin salınması, yaklaşık 10 günlük bir süre boyunca devam etmiştir. Bu süre içinde birincisi; kazanın meydana geldiği gün (26 Nisan) ikincisi; kazadan 9 gün sonra olmak üzere iki büyük radyoaktif madde

salınması meydana gelmiştir. Reaktör kalbi envanterindeki radyoaktif asal gazların %100'ünün, diğer radyoaktif maddelerin ise % 3–4 kadarının (yaklaşık 2,1018 Bq) atmosfere salındığı tahmin edilmektedir.

Atmosfere salınan bu radyoaktif gaz ve maddeler, yüksek sıcaklıkları nedeniyle hızla yükselerek 1000–1500 metre yüksekliğe ulaşmış ve radyoaktif bulutlar oluşturmuştur. Bu radyoaktif bulutlar, meteorolojik koşullara bağlı hareket ederek Avrupa üzerinden yayılmaya başlamış ve Türkiye, özellikle Trakya ve Doğu Karadeniz bölgesi yoğun bir şekilde etkilenmiştir.

Kazaya uğrayan Çernobil reaktöründen havaya salınan radyoizotoplar içinde en önemlileri iyot–131, stronsiyum–90, sezyum–134 ve sezyum–137 ise de radyoaktif buluttan etkilenen ülkelerde hava partikülleri veya radyoaktif yağışlar olarak daha birçok radyoizotop tespit edilmiş olup, bunlar arasında rutenyum–103, rutenyum–106, lantan–140, baryum–140, ve tellür–132 oldukça yüksek miktarlarda bulunmuş, ayrıca niyobyum–95, zirkonyum–95, seryum–141 ve seryum–144 radyoizotopları sayılabilir. Aktinidler ise ancak çok alçak düzeylerde tespit edilmiştir.

Bir nükleer kazanın arkasından insanların ışınlanması, geçen radyoaktif bulutlarla ve yerde birikmiş radyoaktiviteyle insanın deri yüzeyinin harici ışınlanması, kontamine yiyeceklerin yenilmesiyle de dahili ışınlanması şeklinde olur. Kaza mahallinden çok uzaktaki halkı ilgilendiren ışınlama dahili ışınlamadır. Radyoaktif maddeler çeşitli yollardan özellikle birinci derecede havanın teneffüs edilmesiyle, yiyecek ve içeceklerin tüketilmesi sonucu da sindirim yoluyla insan vücuduna girerler. Bitkilerin atmosferdeki radyoaktif maddelerle bulaşma yolları çok çeşitlidir. Fisyon ürünleri doğrudan doğruya bitkilerin yapraklarına, tohum ve meyvelerine yapışıp bulaşabilirler. Havadaki radyoaktif maddeler yağmur etkisiyle yere inip bitkilerin toprak yüzeyine yakın gövde veya kök kısımları tarafından da emilebilirler. Bitkilerin sık kök yastıkları da radyoaktif maddeleri tutarak bitki dokusuna girmesini kolaylaştırır. Öte yandan radyoaktif maddeler toprağa nüfuz ederek, tıpkı topraktaki besin maddeleri gibi köklerden emilerek bitkinin içine girebilirlerse de bu yol pek etkili değildir. Çünkü radyoaktif maddenin toprağa karışmasıyla yoğunluğu azalır. Ayrıca fisyon ürünleri toprakta çok yavaş bir şekilde

hareket ederler. Böylece radyoaktif maddelerin büyük bir kısmı bitkilerin yapraklarından veya kökleri yüzeye yakın olan bitkiler tarafından emilir. Yarı ömürleri kısa olan fisyon ürünleri daha bitki tarafından emilmeden veya kısa bir zaman sonra aktivitelerinin önemli bir kısmını kaybederler.

Herhangi bir radyoizotop'un yüzeyden veya kökten bulaşmış bir bitki yoluyla insan vücuduna girişi, belli bir zaman zarfında alınan gıdadaki miktar bakımından önemlidir. Bitkilerin üzerinde veya bünyesinde bulunan radyoizotoplar, bitkisel gıdaların yenilmesi sonucunda insana ya doğrudan doğruya ya da bitkileri yiyen hayvanlardan elde edilen besinlerin tüketilmesiyle dolaylı olarak geçer. Radyoizotoplarla kirlenmiş çayırlarda otlayan hayvanlar, bu radyoaktif elementleri bol miktarda alır ve organizmalarında yoğun bir şekle biriktirirler. Bu radyoaktif elementler insan gıdası olan et, süt gibi besinlere transfer olarak insanlara geçerler.

Bu radyoaktif maddelerden önemli olanlar İyot–131, Stronsiyum–90, Sezyum–134 ve Sezyum-137'dir. Diğerlerinin ise yarı ömürlerinin kısa olması veya konsantrasyonlarının düşük olması sebebiyle insana geçme ihtimali oldukça azdır.

Yarı ömrü 8 gün olan iyot, nükleer kazadan sonra ilk zamanlar en fazla bulunan radyoizotoplardan birisidir. Besin yoluyla insan vücuduna kolay giren bu element, vücutta trioid denilen küçük bir iç salgı bezinde yoğun bir şekilde depolanır. İyot-131'den insanların etkilenmesi kazanın ilk zamanlarında olacaktır. Yaklaşık iki ay gibi bir zaman geçtikten sonra İyot–131 aktivitesini kaybeder.

Stronsiyum-90'ın ise yarı ömrü uzun olup insan vücuduna girdiği zaman kalsiyum gibi hareket ederek kemiklere yerleşmektedir. Stronsiyum–90 insan vücuduna öncelikle süt ürünleri ve bitkisel besin maddeleri ile girer. Bitkilerin, gerek yüzeyden gerekse topraktan kökler vasıtasıyla bulaşmaları mümkündür. Stronsiyum–90 beta aktif bir maddedir. Stronsiyum-90'ın insan üzerindeki etkisini belirten bilgiler insan kemikleri üzerinde yapılan doğrudan analizler sonunda elde edilmektedir. Stronsiyum–90 miktarı, kimyasal proseslerle Sr-90'ın Yitriyum-90 haline dönüştürdükten sonra Yitriyum-90'ın gamaları sayılarak tayin edilir.

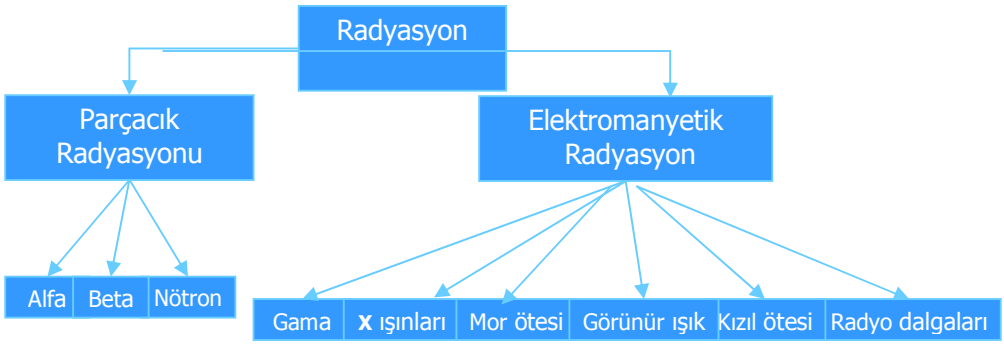
Sezyum-134'ün yarı ömrü 2 yıl, Sezyum-137'in yarı ömrü ise 30 yıldır. Bu radyoizotop da yine diğerleri gibi bitkilerin veya hayvansal gıdaların yenilmesiyle insan vücuduna geçer. Vücutta toplandığı bölge yumuşak doku, özellikle kaslardır.

Bu çalışmada, Karadeniz ve Çukurova bölgelerinde yaşayan insanlara ait diş örneklerindeki radyoaktivite miktarı ölçülmüştür. Bu amaçla, Çukurova bölgesinde yerleşik, belirli yaş gruplarındaki insanlara ait diş örnekleri, benzer şekilde, Karadeniz bölgesinde değişik illerde yerleşik insanlara ait diş örnekleri temin edilmiştir. İstanbul Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi Laboratuarında yapılan ölçümlerle örneklere ait toplam α-β aktiviteleri tespit edilmiştir (Çetiner,1990).

1.1 .Radyasyonun Tanımı ve Türleri

Radyasyon, iç dönüşüm geçiren atomlar tarafından yayımlanan, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak tanımlanır. Yayımlayan kaynağın özelliğine bağlı olarak bu enerji parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilir. Radyasyonu tanımlamada üç ana parametre kullanılır (Şekil 1.1).

- Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

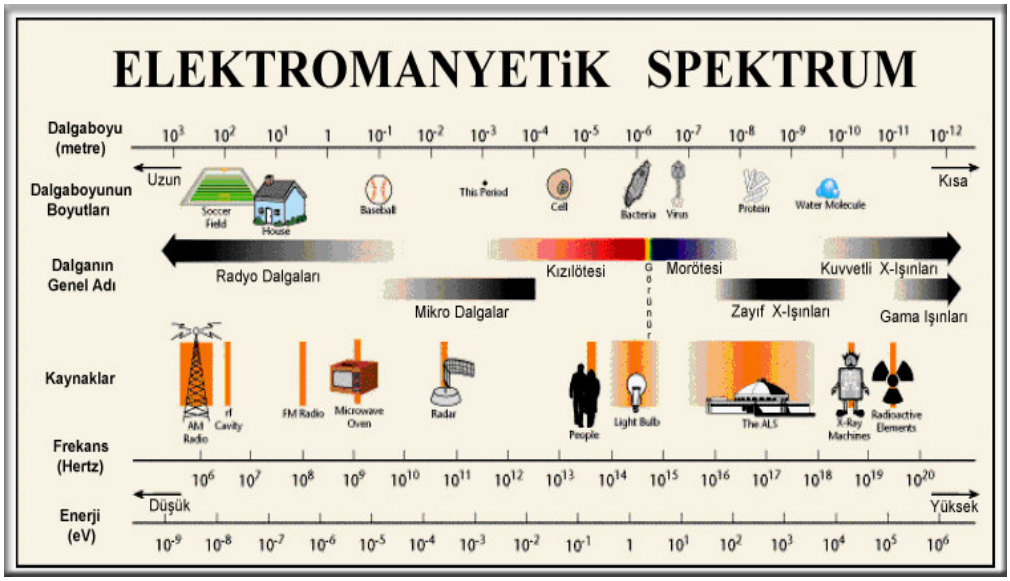


Şekil 1.1 Radyasyonun çeşitleri

Yüksek enerjili radyasyon iyonize radyasyon olarak da tanımlanır ve atomdan elektron koparabilen dolayısıyla atomu iyonize edebilen radyasyon türüdür. Bunlar : Alfa, Beta, Gama ve X-Işınları'dır.

Düşük enerjili ya da iyonize olmayan radyasyon ise etkileştiği materyal içindeki atomları yeteri kadar enerjisi olmadığı için iyonize edemez ve sadece uyarmakla yetinir. Mikrodalgalar, görünür ışık, radyo dalgaları, kızılötesi ve (çok kısa dalga boyluları hariç olmak üzere) morötesi ışık iyonize olmayan radyasyona örnektir.

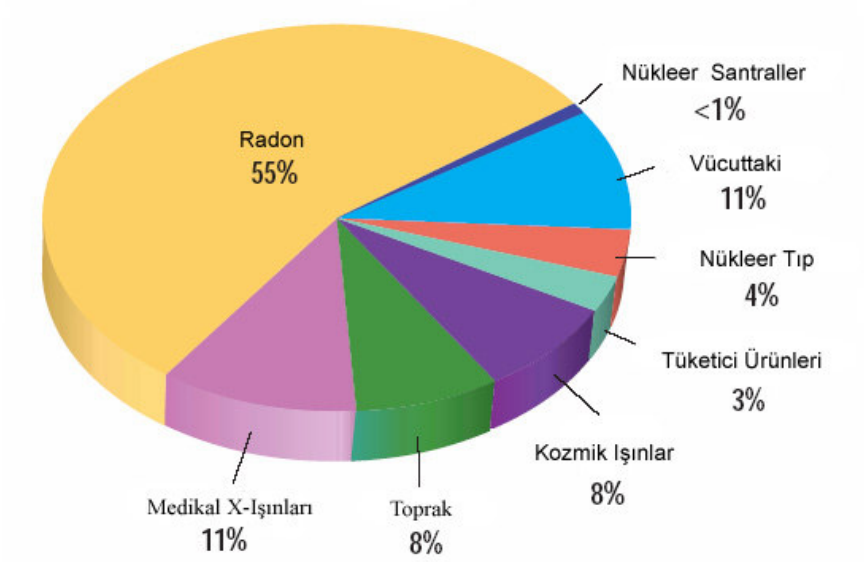
Elektromanyetik spektrumu oluşturan bütün radyasyonlarda (Şekil 1.2) enerji, yüksüz ve kütlesiz fotonlar tarafından taşınmaktadır. Eğer iyonize edici elektromanyetik radyasyon çekirdekten yayımlanıyorsa gama, yörüngeden yayımlanıyorsa x ışını adını alır.



Şekil 1.2 Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu

1.2 .Radyasyon Kaynakları

Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansızlar havada, suda, toprakta, hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her gün ışınımına maruz kalmaktadırlar (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Radyasyon kaynakları

Havadaki doğal radyasyon, ya yeryüzündeki çeşitli çatlaklardan çıkan radyoaktif gazlardan özellikle de radon gazından ya da kozmik ışınlardan kaynaklanmaktadır. Bilhassa deniz aşırı yapılan uçak yolculuklarında kozmik ışınlara daha çok maruz kalırız. Topraktaki radyoaktivite ise uranyum, toryum ve bu radyoizotopların bozunum serilerinde yer alan diğer radyoaktif maddelerden kaynaklanır. Sudaki radyasyon, gerek havadaki gerekse topraktaki bu radyoaktif kaynakların su ile etkileşiminin bir sonucudur. Vücudumuzda da bazı radyoaktif maddeler bulunmaktadır. Bunlar içinde en önemlileri K–40, Ra–226 ve C-14'tür.

Yapay radyasyon insanlar tarafından çeşitli amaçlarla üretilmiş radyoaktif izotopların kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu radyasyon kaynakları tedavi amaçlı olarak radyoterapide, teşhis amaçlı olarak ise röntgen, tomografi ve sintigrafi çekimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca endüstride kalite kontrol, gıda sektöründe ürünlerin raf ömrünü uzatmak için sterilizasyonda ve nükleer reaktörlerde enerji üretiminde radyoaktif maddelerden faydalanılmaktadır (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004).

1.3.Radyasyon Birimleri

Radyasyon birimlerinin başlıcaları aktivite, ışınlama, absorblanan doz ve eşdeğer doz'dur. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU) yaptığı çalışmalar sonucunda, aktivite için Curie, ışınlama için Röntgen, absorblanan doz için Rad ve eşdeğer doz için Rem'i radyasyon birimi olarak tanımlamıştır. MKS sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi (International System of Unit, SI)'nın kabul edilmesiyle birlikte ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır. Bu kabule göre eski birimlerin yerine yenilerinin kullanılması önerilmiştir. Çizelge 1.1'de dönüşüm birimleri ve dönüşüm faktörleri verilmiştir.

Çizelge1.1 Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri

Büyüklük	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birimler ve Sembolü	Dönüşüm Faktörü
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie(Ci)	$1Ci=3.7\times10^{10}$ Bq
Işınlama	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	1C/kg=3876 R
Absorblanan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	1Gy=100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert(Sv)	Rem (rem)	1Sv=100 rem

1.3.1. Aktivite Birimi

Aktivite, birim zamanda bozunan radyoaktif madde miktarını göstermektedir. Yapay radyoizotopların henüz elde edilmediği senelerde, çok uzun yarı ömürlü bir radyoaktif madde olan radyum standart alınıp radyoaktif madde miktarı birimi olarak Curie tanımlanmıştır. Bu tanım önce 1 gram radyumun parçalanma hızı, daha sonra 1 gram radyumla dengede olan radon miktarı ve 1930'larda da 1 gram radyumla dengede olan radon gazı miktarında bir saniyedeki bozunma sayısı olarak değiştirilmiştir. Ancak o zamana kadar radyumun atom ağırlığının ve bozunma sabitinin çok hassas tayinleri yapılamamış olduğundan, bu tanımın radyumdan bağımsız yapılması fikri oluşmuştur. Bu nedenle Uluslararası standartlar ve

Radyoaktivite Birimleri Komisyonu tanımı genişleterek bütün radyonüklitler için, Curie'yi; bir saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarının aktivitesi olarak tanımlamıştır.

Yapılan bu tanımda Curie'nin, sadece radyoaktif maddenin bozunma sayısına dayandığı anlaşılmaktadır. Ancak radyoaktif bozunma sırasında bazen bozunma başına birden fazla γ ışını da yayınlanır (Bir foton yayınlanması çoğunlukla bir yüklü parçacığın yayınlanmasını izler, dolayısıyla bu olay bir tek parçalanma olarak yorumlanır). Buradan Curie tanımının radyoaktif madde tarafından yayınlanan radyasyonların sayısını gösteremediği sonucu çıkmaktadır.

Uygulamada genellikle Curie'nin (Ci) küçük katları olan milicurie ($mCi=10^{-3}$ Ci) ve mikrocurie ($\mu Ci = 10^{-6}$ Ci) kullanılmaktadır.

SI birimlerinde aktivite birimi Becquerel (Bq) olup, 1 Bq, saniyede bir parçalanma gösteren bir maddenin aktivitesi olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla Ci ve Bq arasında dönüşüm:

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

$1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$

şeklindedir.

Yüzeydeki aktivite konsantrasyonu ise, birim alan başına saniyedeki parçalanma olup Ci/cm^2 veya Bq/m^2 olarak ifade edilir.

$1 \text{ Bq}/ \text{m}^2 = 2,7 \times 10^{-15} \text{ Ci}/ \text{cm}^2$

şeklindedir.

1.3.2. Işınlama Birimi

Işınlama, X-ve γ-ışınlarının havayı iyonlaştırma kabiliyetinin bir ölçüsüdür.

Işınlama birimi Röntgen, normal hava şartlarında (0°C ve 760 mmHg basıncı) havanın 1kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar

oluşturan X-ve γ-radyasyon miktarıdır şeklinde tarif edilir. Bu tarif 3 Mev'e kadar olan X ve γ ışınları için geçerlidir.

Röntgen sadece ışınlama birimi olup, ne demetteki foton sayısını ne enerjisini verir. Işınlamaya uğrayan bir maddedeki soğurma dozunu ifade etmez. Radyasyonun havayı iyonlaştırma kabiliyetinin bir ölçüsü olup radyasyon demetinin bir özelliğidir.

SI birimlerinde ışınlama birimi olarak Röntgen eşdeğeri karşılığının özel bir adı olmasına rağmen "Coulomb/kg" kullanılacaktır ve "1 Coulomb/kg; normal hava şartlarında (0°C ve 760 mmHg basıncı) havanın 1 kg'ında 1 Coulombluk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarı" şeklinde tanımlanmıştır.

$1\ C/kg = 3{,}876 \times 10^{3}\ R$

$1\ R = 2{,}58 \times 10^{-4}\ C/kg$ şeklinde ifade edilir.

1.3.3. Soğurulan Doz Birimi

Röntgen, X-ve γ-ışınları için tanımlandığından, başka radyasyonlar için kullanılamaz. Bu nedenle radyasyonun cinsinden, enerjisinden ve absorblayıcı ortamın özelliğinden bağımsız yeni bir birime gerek duyulmuştur.

İyonlaştırıcı radyasyonun absorblanmış dozu birim kütlede maddeye verilen enerji miktarıdır.

Soğurulan doz birimi Rad "Işınlanan maddenin 1 kg'ında 10^{-2} joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır".

Bu doz birimi sadece soğurulan enerji miktarını gösteren fakat hem parçacık hem de foton özellikli radyasyonlara uygulanabilen bir büyüklük olup radyasyon demeti ile birlikte absorblayıcı maddenin de özelliğini gösterir.

SI birimleri sisteminde soğurulan doz birimi olarak Gray (Gy) tanımlanmış ve 1 Gy "Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır" şeklinde ifade edilmiştir.

1 Gy = 100 Rad 1 Gray =1 J/kg

1 Rad = 10^{-2} Gy

1.3.4. Doz Eşdeğeri Birimi (Biyolojik Doz)

Farklı iyonlayıcı radyasyonların meydana getirdiği biyolojik etki farklıdır. Aynı miktarda enerji absorblanması veren farklı tipteki radyasyonlar aynı biyolojik etkiyi meydana getirmeyebilir. Genel olarak radyasyonun yolu boyunca birim uzunlukta kaybedilen enerji kaybına (LET) bağlıdır, LET arttıkça biyolojik etki de artar.

Değişik LET değerinin etkisi Relatif Biyolojik Etkinlik (RBE) terimi ile hesaba katılır. RBE farklı radyasyonların oluşturduğu biyolojik etkilerin değişik olduğunu göstermek için kullanılır.

$$RBE = \frac{\text{Belirli bir etkiyi oluşturan 250 Kv'luk X-ışınları dozu}}{\text{Aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon dozu}}$$

olarak tarif edilmiştir. RBE'ler genellikle tam sayı olmadığından RBE yerine tam sayılara çevrilmiş kalite faktörü (KF) kullanılır (Çizelge 1.2).

Biyolojik doz birimi olan rem (röntgen equivalent man) hem absorblanmış doz miktarına hem de radyasyonun RBE'sine bağlı olarak tarif edilir.

Rem, 1 röntgenlik X-ve gama-ışınının meydana getirdiği aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

Doz Eşdeğeri (rem) = Absorblanmış Doz (rad) × KF olarak tanımlanabilir.

SI birimler sisteminde Doz Eşdeğeri Birimi joule/kg olup bunu özel adı Sievert (Sv) dir ve "1 Sv, 1Gy'lik X- ve gama- ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarı" olarak tanımlanmıştır.

1 Sv = 1 J/kg 1 Sv = 100 rem

1 rem =10^{-2} Sv

Çizelge 1.2 Farklı radyasyon türleri için kalite faktörleri

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü
X ve Gama Işınları	1
Elektronlar ve Beta Parçacıkları	1
Nötronlar;enerjileri<10 keV	3
Nötronlar;enerjileri>10 keV	10
Alfa Praçacıkları	20

1.4.Radyoaktivite

En basit çekirdek olan hidrojen çekirdeğinden başka bütün diğer çekirdekler nötron ve protonlardan oluşmuştur. Nötronların protonlara oranı hafif izotoplarda bir iken, periyodik çizelgenin sonundaki ağır elementlere doğru giderek artmaktadır. Bu oran arttığında nüklidin artık kararlı olmadığı bir yere gelinir. En ağır kararlı

$^{207}_{83}$

nüklid, Bi'dur. Daha ağır nüklidler dışarıya verecekleri fazla enerjileri olduğundan kararsızdır. Bunlara radyonüklid adı verilir. Bunlar enerji fazlalıklarını radyasyon yayınlayarak giderirler. Bu olaya radyoaktivite veya radyoaktif parçalanma denir. Radyonüklidlerin parçalanmaları; alfa, beta ve gama parçalanmaları şeklinde olur.

Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Yavaşlatılamaz veya durdurulamaz ve radyoaktif madde tükeninceye kadar sürer.

Radyoaktivite doğal ve yapay olmak üzere iki şekildedir. Tabiatta bulunan izotoplardan 66 tanesi kararsız olup radyasyon salarlar. Bunlara doğal radyoaktif izotoplar ve radyasyon salmalarına da doğal radyoaktivite denir. Bunlar dört grupta toplanır.

Radyum grubu : Bu grup uranyum 238 ile başlar ve art arda parçalanmalarla kararlı kurşun 206'ya dönüşür (Şekil 1.4).

Aktinyum serisi : Bu seri uranyum 235 ile başlar ve kurşun 207'ye dönüşerek biter (Şekil 1.5).

Toryum serisi : Adını aldığı toryum 232 ile başlar ve kurşun 208 ile son bulur (Şekil 1.6).

Neptünyum serisi : Neptünyum 237 ile başlayıp, bizmut 209 ile biter (http://tr.wikipedia.org/wiki/radyoaktivite).

Kararlı izotoplar da; nötronlar, yüklü parçacıklar veya fotonlarla bombardıman edilerek aktif hale getirilebilir. Bu olaya da yapay radyoaktivite denir. Halen yapay olarak üretilen izotop sayısı, 1170 kadardır.

Çevre ve gıda örneklerinde en çok ilgilenilen radyoizotoplar aşağıda listelenmiştir.

Hava	: I-131, Cs-134, Cs-137
Su	: H-3, Sr-89, Sr-90, I-131, Cs-137
Toprak	: Sr-90, Cs-134, Cs-137, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Cm-242
Süt	: Sr-89, Sr-90, I-131, Cs-134, Cs-137
Et	: Cs-134, Cs-137
Diğer besinler	: Sr-89, Sr-90, Zr-95, Nb-95, Ru-105, Ru-106, I-131, Cs-134, Cs-137, Ce-141, Ce-144
Deniz ve tatlı su ürünleri	: Cs-134, Cs-137

1.5. Radyoaktif Parçalanma Yasası

Doğal ve yapay her radyoaktif çekirdeğin kendisine özgü bir bozunma şekli ve parçalanma şeklinin de birisi parçalanmanın hızı, diğeri ise çekirdeğin yayınladığı radyasyonların cinsi ve enerjileri olmak üzere iki ayrı özelliği vardır.

Radyoaktif cisimlerin parçalanarak aktivitelerini kaybetmelerine radyoaktif parçalanma denir ve radyoaktif parçalanma kanunu,

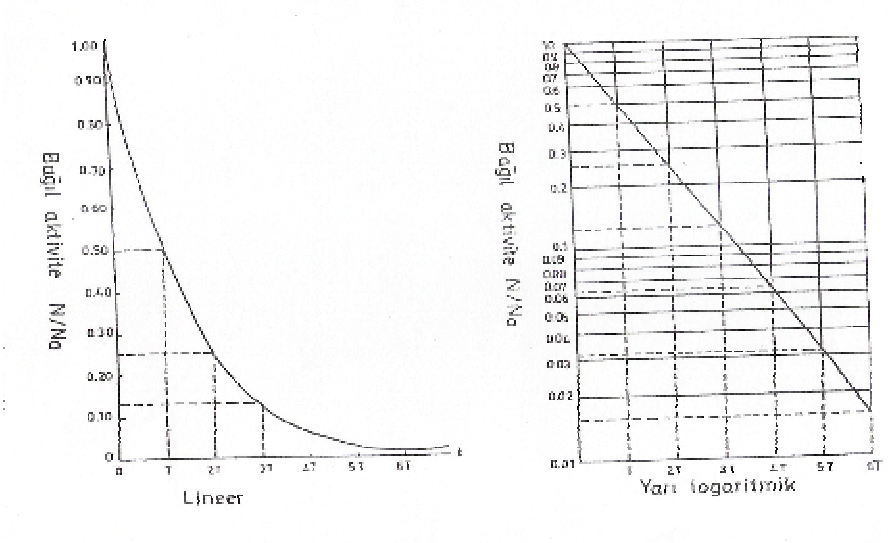
$$N=N_O \cdot e^{-\lambda t} \qquad (1.1)$$

denklemi ile ifade edilir. Bu denklem herhangi bir t anında mevcut radyoaktif atomların sayısını gösterir.

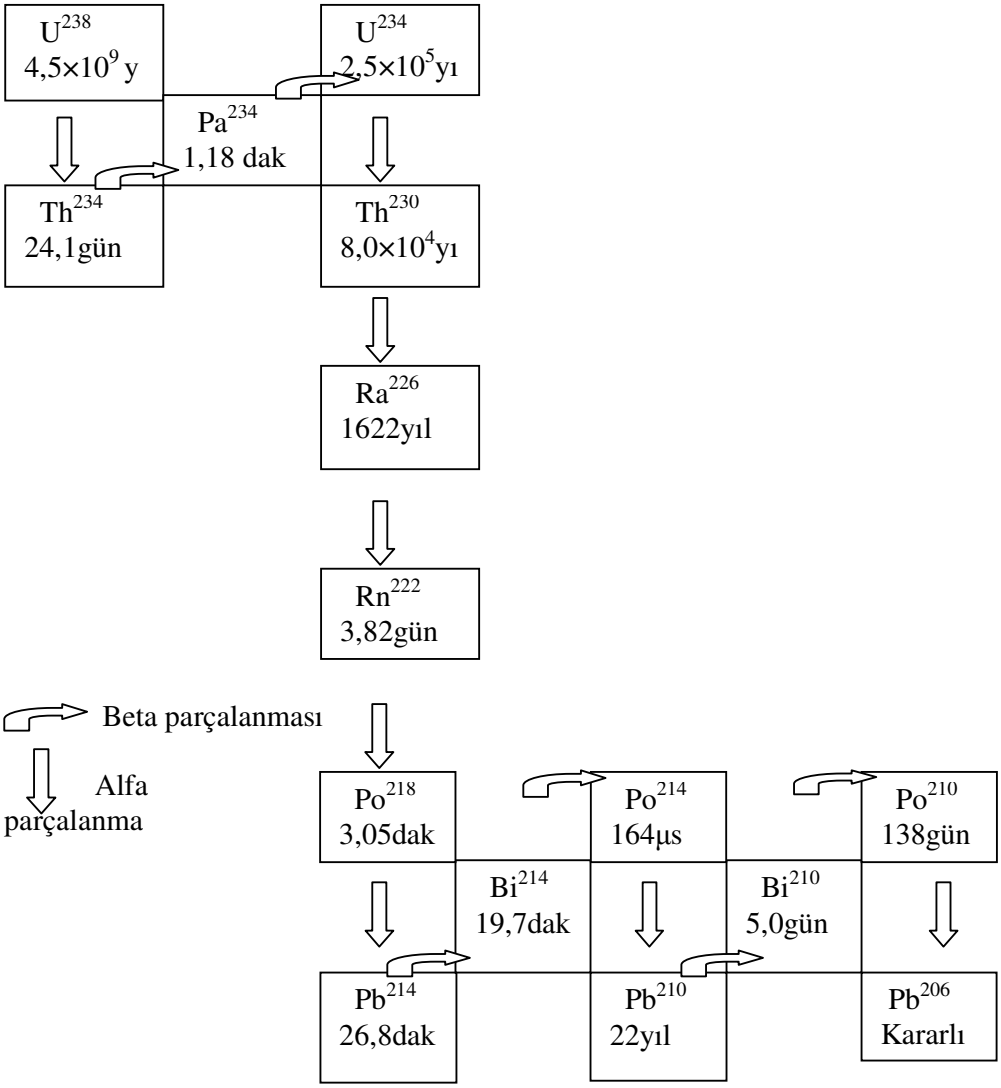
Burada N_O başlangıçta, yani t=0 anında mevcut toplam çekirdek sayısını, λ ise parçalanma sabitini ifade etmektedir.

Radyoaktif bozulma olayının hızı; birim zaman içinde bozulmaya uğrayan radyoaktif çekirdeklerin mevcut toplam radyoaktif çekirdeklere oranı olarak ifade edilebilir. Böylece elde edilen sabit değere "Bozulma Sabiti" veya "Parçalanma Sabiti" adı verilip λ ile gösterilir. Her radyoaktif madde yukarıdaki denkleme göre parçalanır.

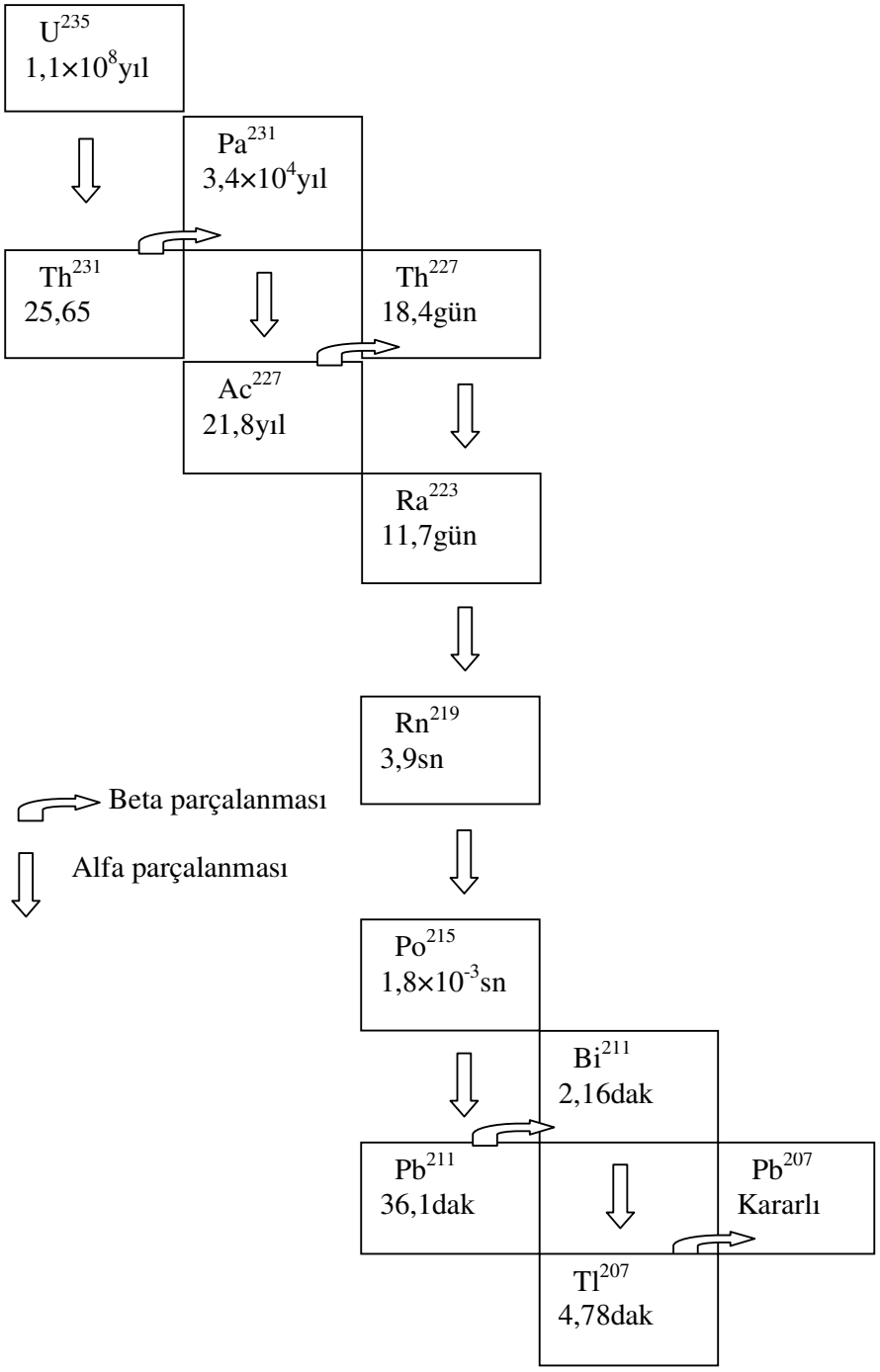
Bu bağıntı grafik ile ifade edilirse, eksponansiyel bir eğri elde edilir.



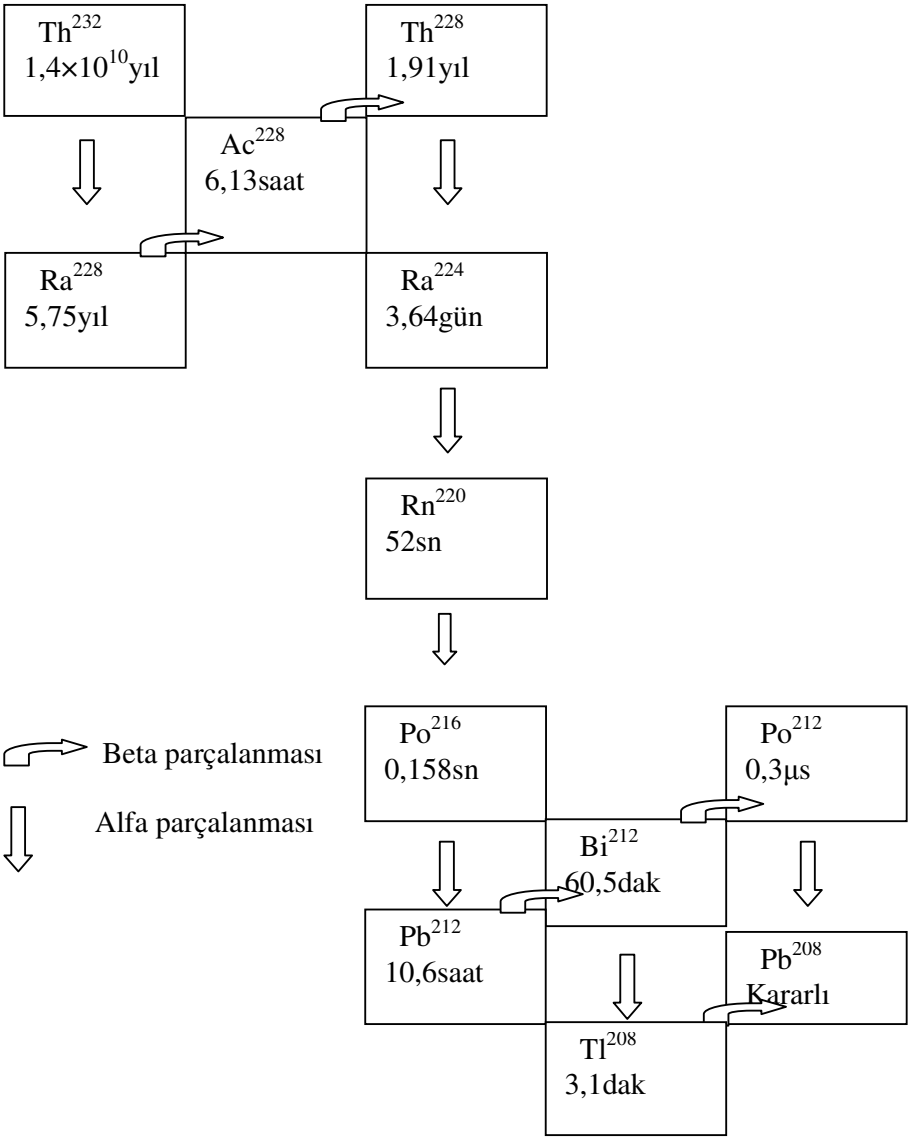
Şekil 1.4 Radyoaktif Parçalanma Eğriler



Şekil 1.5 Uranyum serisinin parçalanması



Şekil 1.6 Aktinyum serisinin parçalanması



Şekil 1.7 Toryum serisinin parçalanması

Grafikteki eğri t zaman eksenini sonsuzda keser. Eğriden görüleceği üzere geçen zamana bağlı olarak aktivitenin azalması radyoaktif çekirdekler için bir "yarı ömür" kavramının doğmasına sebep olur.

Radyoaktivite iki şekilde olabilir. Doğada mevcut elementlerden bir kısmı kararsız olup radyoaktif ışınlar salarlar. Bunlara doğal radyoaktif elementler, bunların aktifliklerine de doğal radyoaktiflik denir (U-238, R-226 v.b).

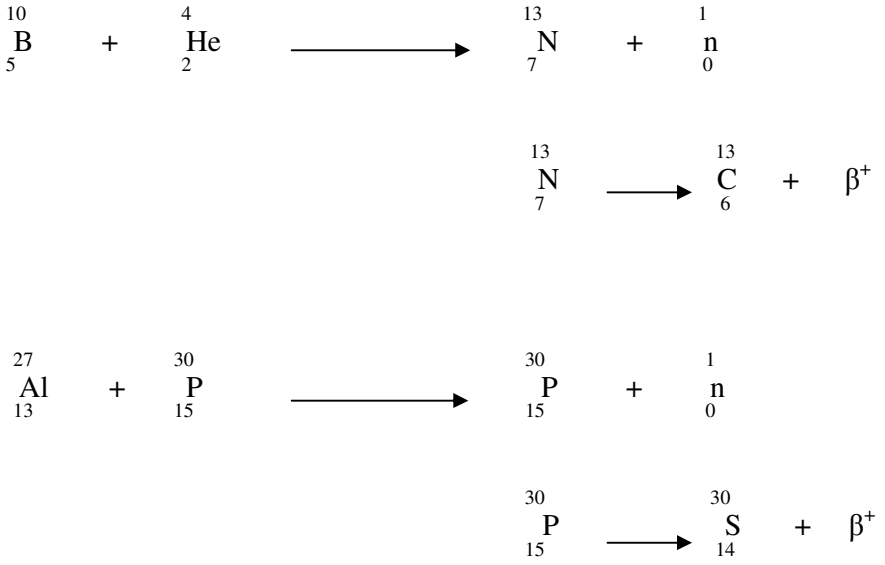
Kararlı izotoplarda yapay yolla kararsız hale getirilebilir. Bu yolla elde edilen aktifliğe de yapay radyoaktiflik denir. Bu da; bazı elementleri nötronlar, yüklü parçacıklar veya fotonlarla bombardıman ederek yapılır. Bu bombardıman sonucunda oluşan çekirdek (Örneğin, Cs-137, Co-60 v.b) uyarılmış durumda olabilir ve parçalanmaya uğrar. Bugün kullanılan radyonüklidlerin büyük çoğunluğu yapay olarak üretilmiştir.

Doğal radyoaktiviteye örnek olarak uranyum izotopunu gösterelim.

$$^{238}_{92}U \quad ^{234}_{90}Th \quad ^{234}_{91}Pa \quad ^{206}_{82}Pb$$

Uranyum elementinin atom numarası büyük olduğundan $^{238}_{92}U$ olarak gösterilen bu uranyum izotopu bir alfa parçacığı yayınlamak suretiyle atom numarası 90 ve kütle numarası 234 olan toryuma ($^{234}_{90}Th$) dönüşür, toryum 234'de radyoaktif olduğundan bir beta parçacığı yayınlayarak Protoaktinyum'a dönüşecektir ($^{234}_{91}Pa$). Protoaktinyum'da radyoaktif olduğundan bozulmaya devam eder ve kararlı bir çekirdek olan kurşunun 206 kütle numaralı izotopunda yani ($^{206}_{82}Pb$) da son bulur.

Yapay radyoaktiviteye örnek olarak aşağıdaki reaksiyonlar verilebilir.



1.6 .Yarı Ömür

Bir radyoaktif maddenin başlangıçta mevcut atom sayısının yarıya inmesi için geçen zamana "Yarı Ömür" denir. Her radyoaktif element için bu yarı ömür farklıdır ve o elementin bir karakteristiğidir.

Örnek; İyot elementinin radyoaktif iki izotopuna ait yarı ömürler birbirinden farklıdır.

I-131 Yarı Ömür: 8,04 gün

I-125 Yarı Ömür: 60,0 gün

$$\text{Yarı Ömür; } T_{1/2} = \frac{0{,}693}{\lambda} \qquad (1.2)$$

formülüyle hesaplanır. Burada bilindiği gibi bozunma sabiti (parçalanma sabiti) olup bu ne kadar büyükse yarı ömür o kadar kısadır.

1.7. Ortalama Ömür

Parçalanma sabitesinin tersine "Ortalama Ömür"denir. Bu değer yarı ömürden biraz büyüktür.

$$T_O = \frac{1}{\lambda} \qquad (1.3)$$

Yarı ömür ile ortalama ömür arasında şu bağıntı vardır.

$$T_O = 1{,}44 \times T_{1/2} \qquad (1.4)$$

Başka bir değişle radyoaktif atomun yaklaşık olarak ne kadar zaman aktif kalacağını ortalama ömür belirler.

1.8 .Biyolojik Yarı Ömür (T_B)

Canlı dokuya, bir organa veya bir organizmaya verilen radyoaktif maddenin biyolojik olaylar ile verildiği miktarının, biyolojik ortamdan yarısının atılması için geçen zamana "Biyolojik Yarı Ömür" denir.

Vücuttan hemen atılan bir madde ile kalsiyum gibi kemiklere yerleşen bir madde arasında, biyolojik yarı ömür bakımından büyük farklar vardır. Verilen radyoaktif madde bulunduğu organ tarafından dışarı atılmadığı takdirde biyolojik yarı ömür yaklaşık olarak fiziksel yarı ömre eşit olur.

1.9. Effektif (etkin) Yarı Ömür (T_{eff})

Vücutta radyoaktif maddenin etkili olduğu süredir. Effektif yarı ömür vücuda dahil olan radyoizotopun fiziksel yarı ömrüne ve organizmanın o maddeyi biyolojik olarak atma gücüne bağlıdır.

$$\text{Efektif Yarı Ömür} = \frac{\text{Biyolojik yarı ömür x Fiziksel yarı ömür}}{\text{Biyolojik yarı ömür + Fiziksel yarı ömür}}$$

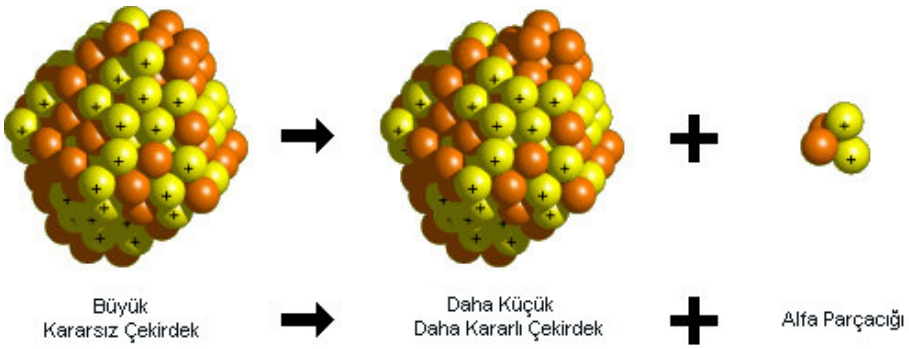
$$T_{eff} = \frac{T_B \times T_f}{T_B + T_f} \qquad (1.5)$$

1.10. Bozunum Türleri

Radyoaktif çekirdekler kendiliğinden bozunuma uğrarlar. Bu süreç üç şekilde gerçekleşebilir. Alfa ve beta bozunumlarında kararsız bir çekirdek, alfa ya da beta parçacıkları yayarak daha kararlı bir çekirdek haline gelmeye çalışır. Gama bozunumu ise çekirdeğin cinsi değişmeden uyarılmış bir durumdan taban duruma bozunmasıdır.

1.10.1. Alfa Bozunumu

Çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayımlayarak bozunur (Şekil 1.8). Böylece Denklem 1.6'da görüldüğü gibi bozunan çekirdeğin atom numarası 2, kütle sayısı ise 4 azalır. Rutherford alfa parçacığının gerçekte He çekirdeği olduğunu göstermiştir. Bu bozunumda proton ve nötron sayıları ayrı ayrı korunur. Ayrıca toplam enerji de korunmalıdır (Denklem 1.7).



Şekil 1.8 Alfa bozunumu.

$$ {}^{A}_{Z}X_{N} \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X'_{N-2} + {}^{4}_{2}He \qquad (1.6) $$

$$ Q = \Delta mc^2 = [\, m(X) - m(X') - m({}^{4}_{2}He) \,].c^2 \qquad (1.7) $$

Bozunum nedeniyle ortaya çıkan enerjinin büyük kısmını, momentumun korunumu gereğince küçük kütleye sahip olan alfa parçacığı alır. ${}^{4}_{2}He$ çekirdeği yüksek enerjiye sahip olsa da ağır kütlesi nedeniyle menzili çok kısadır. Alfa bozunumu genellikle kütle numarası 190'dan büyük çekirdeklerde daha sık görülür. Enerji spektrumu kesiklidir ve 4 ile 10 MeV arasında değişim gösterir. Çünkü yüklü bir parçacık olduğundan içerisinden geçtiği maddenin elektronları ile yoğun bir şekilde etkileşir .

Çizelge 1.3 Alfa saçan birkaç radyonüklit ve özellikleri

Radionuklit	Polonium 210 Po 84	Radium 225 Ra 85	Plutonium 238 Pu 94	Americium 241 Am 95
Yarılanma Süresi	138 gün	1600 yıl	87 yıl	432 yıl
Alfa Enerjisi	5.3 Mev	4.8 Mev	5.5 Mev	5.5 Mev
Havadaki Menzili (1 cm≈1.3mg/cm^2)	3.8cm	3.3 cm	4.0 cm	4.0 cm

1.10.2. Beta Bozunumu

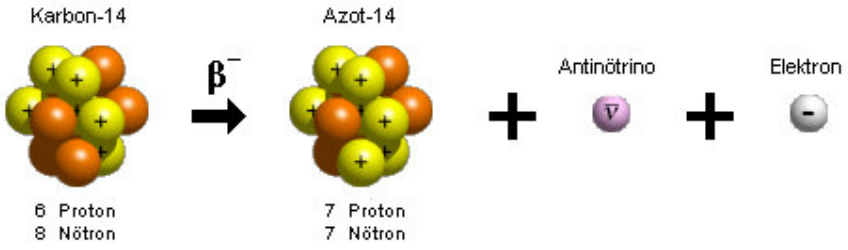
Beta bozunumunun üç farklı türü vardır. Bunlar;

β^- bozunumu: Eğer bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için nötronlardan birini proton ve elektron haline dönüştürür (Denklem 1.8). Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atomdan dışarı atılır.

$$n \longrightarrow p + e^- + \bar{\nu} \tag{1.8}$$

Bu yüksek hızlı elektrona beta parçacığı (veya negatron) adı verilir. Bu şekilde beta emisyonu yapan radyonüklidin atom numarası bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunuma da kütle sayısı değişmediği için izobarik bozunma adı verilmiştir (Denklem 1.9).

$$^{A}_{Z}X_{N} \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}X'_{N-1} + e^- + \bar{\nu} \tag{1.9}$$



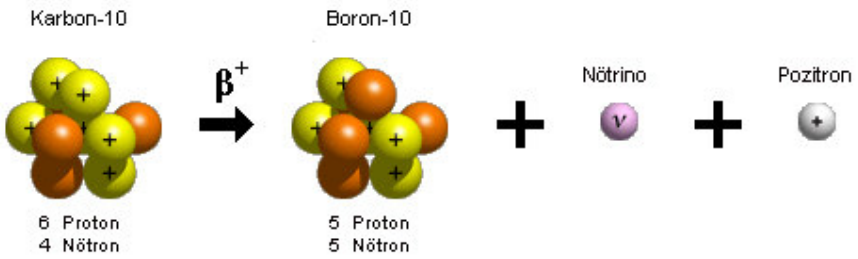
Şekil 1.9 Örnek bir β^- bozunumu

β^+ bozunumu: Atomun kararsızlığı nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona (pozitrona) dönüşür (Denklem 1.10).

$$p \longrightarrow n + e^{+} + \nu \tag{1.10}$$

Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayımlayan radyonüklidin (Şekil 1.10) proton sayısı (atom numarası) bir eksilerek kendinden bir önceki elementin (izobar) atomuna dönüşür, fakat kütle sayısı değişmez (Denklem 1.11).

$$^{A}_{Z}X_{N} \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}X'_{N+1} + e^{+} + \nu \tag{1.11}$$

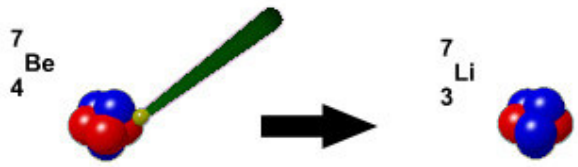


Şekil 1.10 β^{+} bozunumu

Elektron Yakalama Olayı: Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğe yakın (K, L) yörüngelerine yakın elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanır. Elektronla bir proton birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşür (Denklem 1.12). Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınmaz ancak pozitron bozunmasında olduğu gibi proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise aynı kalır (Denklem 1.13). Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçer ve X-ışınları yayınlanır.

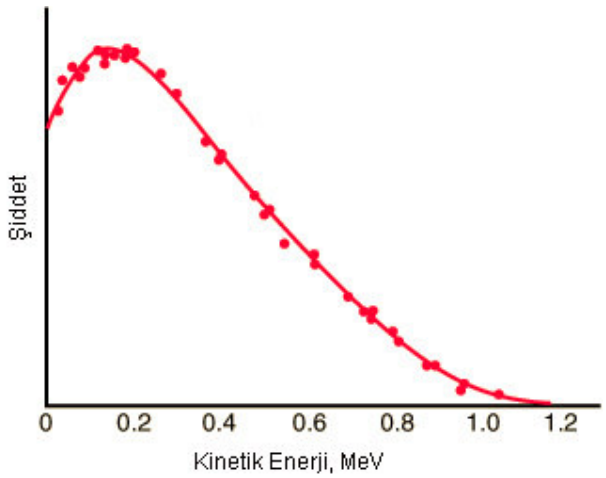
$$p + e^{-} \longrightarrow n + \nu \tag{1.12}$$

$$^{A}_{Z}X_{N} + e^{-} \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}X'_{N+1} + \nu \tag{1.13}$$



Şekil 1.11 Elektron yakalama olayına bir örnek (^{7}Be)

Yukarı da bahsedilen her üç beta bozunumunda da proton ve nötron sayıları bir birim değişmesine rağmen kütle numarası sabit kalır. Ayrıca her üç bozunumda nötrino ve anti-nötrino denilen yüksüz ve kütlesiz parçacıkların yayımlandığı görülmektedir. Bu parçacıkların varlığı ilk olarak Pauli tarafından 1930'da önerilmiş ve daha sonra Fermi tarafından nötrino olarak adlandırılmışlardır. Beta bozunumunda yayımlanan elektronların enerjileri sürekli bir spektruma sahiptir (Şekil 1.12).



Şekil 1.12 β^{-} bozunumu sonrasında yayımlanan elektronların enerji spektrumlarına bir örnek (^{210}Bi)

Çizelge 1.4 Beta saçan birkaç radyonüklit ve özellikleri

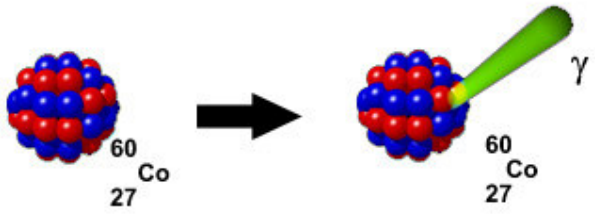
Radionuklit	Trityum $^{3}_{1}H$	Krypton $^{85}_{36}Kr$	Strontium $^{90}_{38}Sr$	Yttrium $^{90}_{39}Y$	Thallium $^{204}_{81}Tl$
Yarılanma Süresi	12.3 yıl	10.2 yıl	28.5 yıl	64 saat	3.8 yıl
Beta Max Enerjisi	18.6 kev	0.67 Mev	0.54 Mev	2.27 Mev	0.77 Mev
Havadaki Menzili	5 mm	1.8 m	1.4 m	8.2 m	2.2 m
Al'daki Menzili	2.3 µm	0.9 mm	0.7 mm	3.9 mm	1.1mm

Çizelge 1.5 Sırf beta yayınlayıcısı bazı radyonüklidlerin maksimum beta enerjileri ve beta parçacıklarının hava içindeki maksimum erişme uzaklıklarıi

Radyonüklid	Maksimum Beta Enerjisi (Mev)	Beta parçacıklarının havadaki erişme uzaklıkları (cm)
^{3}H	0,018	1,25
^{14}C	0,150	25,4
^{45}Ca	0,25	50
^{90}Sr	0,60	160
^{127}Te	0,70	190
^{69}Zn	0,90	280
^{123}Sn	1,40	500
^{32}P	1,70	680
^{21}Na	2,50	1000
^{134}La	2,70	1280

1.10.3. Gama Bozunumu

Çekirdekteki enerji fazlalığı nedeniyle veya nüklid bozunma olayı ile radyasyon yayınladıktan sonra çoğunlukla hemen kararlı (temel enerji seviyesi) durumuna geçemez, bozunma sonucu oluşan nüklid, hala yarı kararlı durumdadır. Bu fazla kalan uyarılma enerjisini, elektromanyetik özellikte olan bir gama radyasyonu şeklinde hemen yayınlar (Şekil 1.13). Bu şekilde bozunan yarı kararlı nüklidin atom ve kütle sayılarında bir değişme olmaz, bu nedenle izomerik bozunma adı verilmiştir.

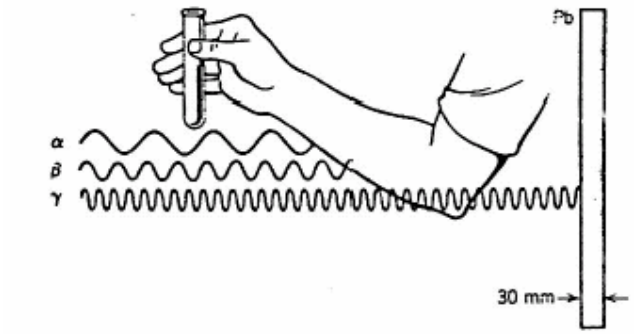


Şekil 1.13 Gama bozunumu

Gama yayınlanmasının yarı ömrü diğer bozunumlarla kıyaslandığında çok kısadır, genellikle 10^{-9} saniyeden daha küçüktür, ancak saat, hatta gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlanması da vardır. Enerji spektrumları ise kesiklidir (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004).

Çizelge 1.6 Gama yayınlayan birkaç radyonüklit ve özellikleri

Radionuklit	Kobalt 60 Co 27	Cesium 137 Cs 55	Iridium 192 Ir 77	Radium 225 Ra 88	Americium 241 Am 95
Yarılanma Süresi	5.3 yıl	30 yıl	74 gün	1600 yıl	432 yıl
Gama Enerjisi	1.17 und 1.33 Mev	0.66 Mev	≤ 0.9 Mev	≤ 2.5 Mev	60 kev
1/10 Uzaklığı(Fe)	9.3 cm	7.1 cm	8.2 cm	11.6 cm	≈ 1 cm
Özgül Gama Katsayısı (Γ)→2	$3,4 .10^{-13}$	$8,5 .10^{-14}$	$1,2 .10^{-13}$	$2,2 .10^{-13}$	$4,2 .10^{-15}$



Şekil 1.14 α, β ve γ ışınlarının insan üzerine etkileri (www.aof.edu.tr/kitap/EHSM/1222/ünite13.pdf)

1.11. Işınlama ve Doz Hızları

Bir radyoaktif kaynaktan yayınlanan ışınlama ve absorblanma dozları kaynağın aktivitesi, bozulma şeması ve kaynağın söz konusu noktaya göre uzay içindeki dağılımına bağlıdır.

1.11.1 .Gama Yayınlayıcılar İçin Işınlama ve Doz Hızı

Aktivitesi Q olan nokta şeklindeki bir gama kaynağının d uzaklığındaki ışınlama hızı

$$D = I_\gamma \frac{Q}{d^2} \text{ R/saat olacaktır.} \quad (1.14)$$

Burada;

Q: Kaynağın aktivitesi(Ci)

d : Söz konusu noktanın kaynağa uzaklığı (m) dır

I_γ: 1 Ci' lik izotopun 1 metre mesafedeki gama ışınlama hızı ($R\ m\ h^{-1}\ Ci^{-1}$) olup her bozunmada enerjisi E olan bir gama ışını yayınlayan bir izotop için gama sabiti

$$I = 194{,}5\ E(\mu_a / \rho)_{hava}\ R\ m\ h^{-1}\ Ci^{-1} \quad (1.15)$$

formülüyle hesaplanabilir. Burada;

E: bir gama ışınının enerjisi (Mev)

μ_a / ρ: absorblayıcının absorblama katsayısı (m^2 / kg)

0,1 ile 3 Mev enerji aralığındaki fotonlar için havadaki absorblama katsayısı hemen hemen sabit olduğundan

μ_a / ρ: 0,0025 m^2 / kg olarak alınırsa

Işınlama hızı

$$D = 0{,}54\ E \frac{Q}{d^2} \text{ R/saat olur.} \quad (1.16)$$

Normal olarak radyoizotopların bozunma şemaları daha karmaşıktır, birden fazla ve farklı miktarlarda gama ışını yayınlarlar. Bu nedenle her enerji için aynı hesap yapılarak sonuçlar toplam ışınlama sabiti olarak bulunur.

Çizelge 1.7 Çeşitli Radyonüklidlerin Gama Işınlama Hızları

İzotop	Yarı Ömür	Gama Işını Enerjisi(Mev)	I (R. m .h^{-1}. Ci^{-1})
^{22}Na	2.6 yıl	1.3	1.32
^{42}K	12.4 saat	1.5	0.15
^{51}Cr	27 gün	0.32	0.02
^{54}Mn	300 gün	0.84	0.49
^{59}Fe	45 gün	1.1,1.3	0.67
^{58}Co	72 gün	0.50 , 0.81	0.56
^{60}Co	5.3 yıl	1.17 , 1.33	1.35
^{65}Zn	245 gün	1.11	0.30
^{74}As	17.5 gün	0.6	0.46
^{82}Br	36 saat	0.55 , 1.35	1.50
^{130}I	12.6 saat	0.42 , 0.74	1.25
^{131}I	8 gün	0.08 ,0.72	0.225
^{137}Cs	30 yıl	0.66	0.33
^{170}Tm	129 gün	0.08	0.005
^{182}Ta	11 gün	0.15 , 1.22	0.61
^{192}Ir	74.14 gün	0.13 , 0.61	0.50
^{198}Au	2.7 gün	0.41 , 1.09	0.24
Ra(B+C)	-	0.5 mm Pb filtreden geçmiş	0.83

1.11.2. Işınlama Hızının Uzaklıkla Azalması(Ters kare yasası)

Bir radyasyon kaynağına ait ışınlama hızı belirli bir uzaklık için tayin edilmiş ise, hava veya boşlukta herhangi bir uzaklıktaki ışınlama hızı; uzaklıkların kareleriyle ters orantılı olarak değişir, yani;

$$D_2 = D_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \qquad (1.17)$$

bağıntısına göre hesaplanır. Burada;

D_1 : kaynağın d_1 uzaklığındaki ışınlama hızı

D_2 : kaynağı d_2 uzaklığındaki ışınlama hızı

Ancak bu formül nokta kaynaklar için geçerlidir. Yani kaynağın boyutlarının söz konusu uzaklıklar yanında çok küçük olması gereklidir. Aksi halde ışınlama hızının hesaplanması daha güçleşir ve kaynağı gören katı açının fonksiyonu olarak

$$D = \frac{D_s \Phi}{2} \qquad (1.18)$$

bağıntısıyla bulunur. Burada;

D_s : kaynağın yüzeyindeki ışınlama hızı

Φ : söz konusu noktada kaynağı gören katı açıdır.

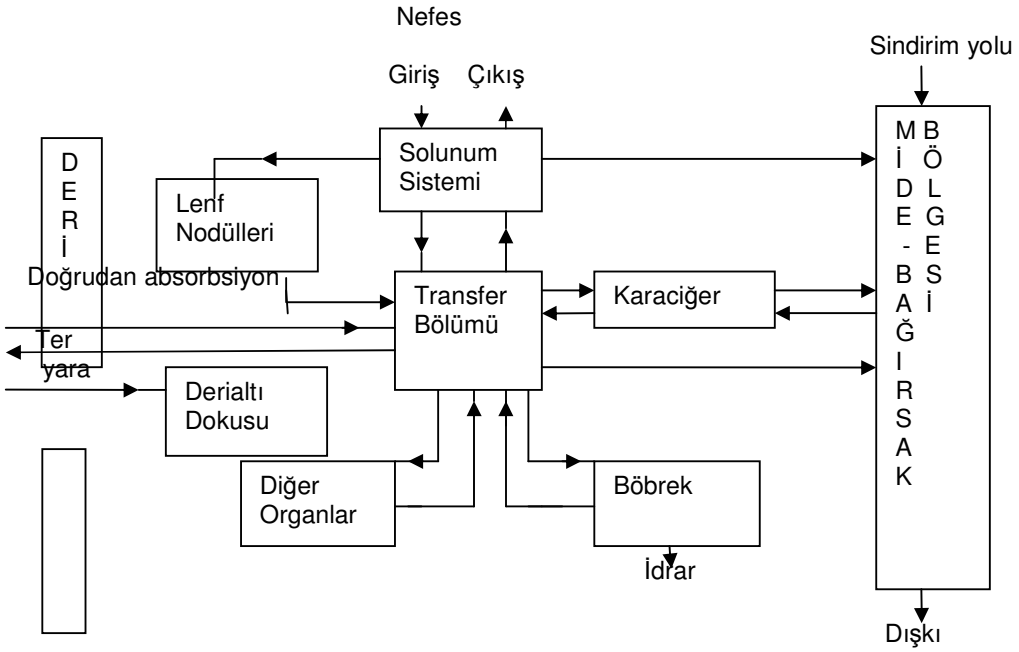
1.11.3. Beta Yayınlayıcılar İçin Doz Hızı

Aktivitesi Q olan nokta şeklindeki bir beta kaynağının 10 cm uzaklıktaki doz hızı D = 2700 Q rad/saat olarak ifade edilir. Doz hızı beta enerjisi ile çok az değişir. Burada havadaki absorblama ihmal edilmiştir. Ters kare kanunu uygulanırsa da 1 m uzaklıktan sonra havadaki absorblanma karışıklıklara neden olur (Uğur, 1985).

1.12 .İnsan Vücudunda Bulunan Doğal Radyonüklitler

İnsan vücudu içindeki radyoaktif maddelerin davranışı hakkındaki bilgi, alınma biçimine göre atılımdaki oranın veya vücuttaki aktivite ölçümlerinin yorumu için gereklidir. Radyoaktif maddelerin giriş yolları, solunum bölgesi, sindirim yolları (gastrointestinal bölge) ve deri gibi kısımlardır. Bu yollar, dahili transferler ve atılım yolları, Şekil 1.15 de şematik olarak görülmektedir. Radyoaktif maddeler hücre dışı sıvılarla transfer bölümüne doğru giderler. Vücuda giren radyoizotop oldukça kompleks ve değişik transferlerle vücudun belli bölgelerinde toplanır. Absorblanmış aktif madde, vücut içinde nispeten homojen olarak dağılmakla beraber, giren radyoaktif elementin kimyasal özelliklerine göre farklı bölgelerde yoğunlaşır. Örnek olarak iyot tiroide, toprak alkali metaller kemikte, plutonyum kemik ve karaciğerde,

alkali metaller ise yumuşak dokularda toplanırlar. Radyoizotop vücuda girişinden sonra uzun bir zaman periyodunda idrar ve dışkı yoluyla dışarı atılır (Çetiner, 1990) .



Şekil1.15 Radyoizotopların alınış, atılış ve transfer yolları

Radyoaktif maddeli taneciklerin, hava, toprak ve bitkilere bulaşması sonucu, vücudumuz dıştan ışınlanırken, solunum ve sindirim yoluyla vücut içine taşınan "radyoaktif maddeli hava ve besinler de" bizi içten ışınlarlar.

Aslında insan, milyonlarca yıldan beri çevresinde ve vücudunda bulunan DOĞAL RADYOAKTİF MADDELER'den saçılan radyasyonlarla birlikte yaşamaktadır, Örneğin, besinler yoluyla vücudumuza yerleşen doğal potasyumdaki K–40 radyoizotopu, her insanda 4400 Becquerel'lik bir radyoaktivite göstermektedir. Hücreler bu gibi doğal radyoizotopların saldığı radyasyonlara karşı gerekli savunmayı yaparak kendilerini korumaktadır.

İnsan vücudu, kendi içindeki ve çevresindeki doğal radyoaktif maddelerin yayınladığı 15000 kadar radyasyona her saniye hedef olmaktadır. Hatta vücudumuzdan yayınlanan radyasyonlar, çevremizde bize yakın kişileri az da olsa ışınlamaktadır (Atakan, 1990).

^{40}K, ^{226}Ra ve ^{238}U'in bozunma ürünleri, insan vücudunda bulunan doğal radyonüklitler olmakla beraber az miktarda ^{14}C ve ^{3}H'de insan vücudunda bulunmaktadır. Bu radyonüklitler sindirim ve solunum yoluyla vücuda alınmaktadır (Karahan, 1997).

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle ^{40}K radyoaktif elementinden) dolayı da belirli bir radyasyon dozuna maruz kalırız.

Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan aldığımız radyoaktivite nedeni ile vücudumuz doğal olarak radyasyona maruz kalmaktadır (http:/www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/doğalrad.html).

Hava ortamında bulunan toz ve parçacıklardaki radyoaktif maddeler, solunum yolu ile insan vücuduna girerler ve iç ışınlamalara neden olurlar. İnsan, iç ışınlamada en büyük radyasyon dozunu ^{222}Rn'den almaktadır. Bu radyoaktif gaz atomları, yerde ve atmosferde difüzyonla ortaya çıkan toryum ve uranyum atomlarının bozunuma uğraması sonucu üretilirler. Radon ve toronun bozunma ürünlerine ek olarak, alfa-ışınları ve beta-ışınlarıyla birlikte gama ışınları da yayınlayan ^{210} Po, ^{210} Pb, ve ^{210}Bi atomları solunum yoluyla vücuda girerler. İnşaat ve yapı malzemelerinden çıkan radyoaktif ^{222}Rn, evlerde solunumla vücuda alınan en önemli radyonüklittir (Karahan, 1997).

ICRP 30 verisine dayanan 70.000gramlık bir yetişkinde hesaplanmış radyonüklit konsantrasyonları Çizelge 1.8 de gösterilmiştir (http://www.umich.edu/~radinfo/introduction/natural.htm).

Çizelge 1.8 ICRP 30 verisine dayanan 70.000gramlık bir yetişkinde hesaplanmış radyonüklit konsantrasyonları

Nüklit	Vücutta bulunan nüklidin toplam kütlesi	Vücutta bulunan nüklidin toplam aktivitesi	Nüklitlerin günlük alınımı
Uranyum	90µg	30pCi(1.1Bq)	1.9µg
Toryum	30µg	3pCi(0.11Bq)	3µg
Potasyum-40	17mg	120nCi(4.4kBq)	0.39mg
Radyum	31pg	30pCi(1.1Bq)	2.3pg
Karbon-14	95µg	0.4µCi(15kBq)	1.8µg
Trityum	0.06pg	0.6nCi(23Bq)	0.003pg
Polonyum	0.2pg	1nCi(37Bq)	~0.6µg

1.13 .Nükleer Denemelerde Meydana Gelen Radyoizotoplar

1.13.1. Fisyon Ürünü Radyoizotoplar

Çizelge 1.9'da termal, hızlı ve 14 Mev enerjili nötronlarla çeşitli izotopların verdiği fisyon ürünlü radyoizotoplar gösterilmiştir.

1.13.2. Aktivasyon Ürünü Radyoizotoplar

Nükleer silahların patlatılması sırasında açığa çıkan nötronların çevredeki atomlarla reaksiyonlardan oluşan radyoaktif izotoplara aktivasyon ürünü radyoizotoplar denir. Bu izotoplar, bombanın patladığı yere göre değişirler. Deneme yeryüzünde yapılmış ise Na–24, K–42, P–32, Ca–45, Mo–56, Fe–55, Fe–59 ve S–31 gibi önemli radyoizotoplar meydana gelir. Bunlar içinde en önemlileri, yarı ömrü 152 günle Ca–45 ve yarı ömrü 2,9 yılla Fe–55 sayılabilir. Nötronların havadaki azot, hidrojen ve argonla reaksiyonlarından H^3, C^{14} ve Ar^{41} meydana gelir. Hangi radyoizotopun daha zararlı olacağı aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

1-Meydana gelme verimi: Bir radyoizotopun meydana gelme verimi ne kadar yüksekse, yani her 100 bölünmede o radyoizotoptan ne kadar çok meydana gelirse, oluşturacağı tehlike de o kadar büyük olur. Fisyon ürünlerinin meydana gelme verimi en yüksek olan elementler kütleleri 95 ve 140 dolayında olanlardır.

2-Radyoizotopun Yarı Ömrü: Yarı ömür ne kadar uzun ise tehlike o kadar büyüktür. Kısa yarı ömürlü radyoizotoplar sadece mevzii yağışlarda önemlidir.

3-Biyolojik Yarı Ömür: Canlı bünyesinden radyoizotopun yarısının atılması için gereken zamandır. Biyolojik yarı ömür ne kadar fazla ise radyoizotop o kadar tehlikelidir.

Çizelge 1.9 U-233, U-235, U-238, Pu-239 ve Th-232 izotoplarının termal, hızlı ve 14 Mev'lik nötronlarla meydana getirdiği fisyon ürünleri, yarı ömürleri ve %verimleri

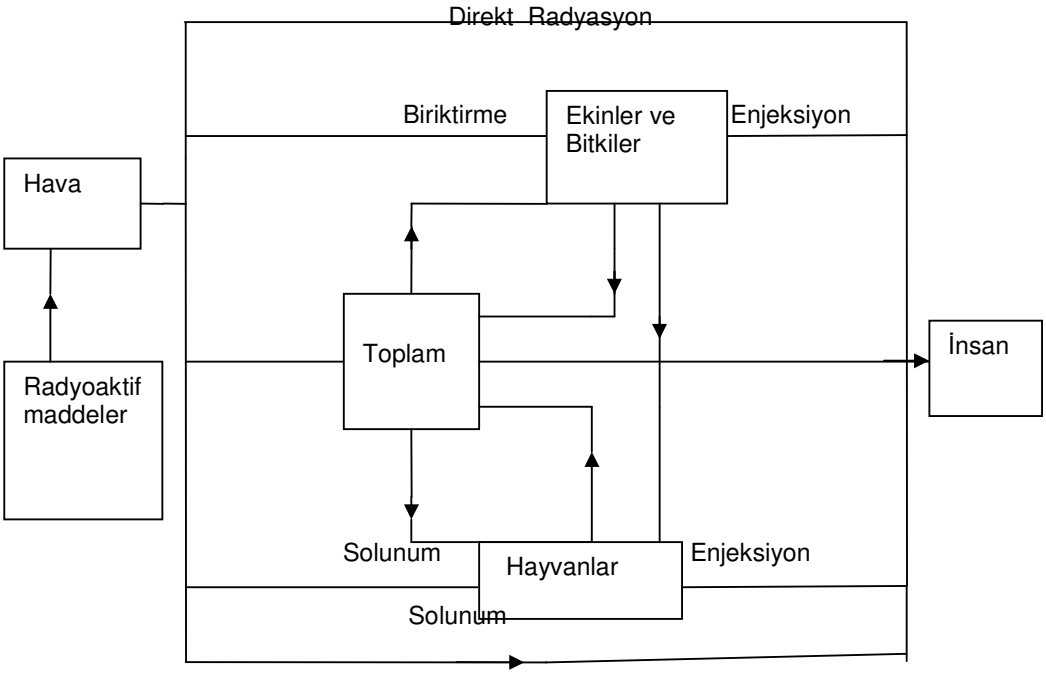
İsotop	Yarı Ömür	U-233		U-235		U-238		Pu-239		Th-232
		Termal	Termal	Hızlı	14 MeV	Termal	14 MeV	Termal	Hızlı	Hızlı
Kr^{85}	10,6 y	0,58	0,293	-	-	0,153	-	0,127	-	0,87
Sr^{89}	50,5 g	5,86	4,79	-	4,5	2,9	2,7	1,71	-	6,7
Sr^{90}	28 y	6,43	5,77	5,0	4,5	3,2	3,1	2,25	2,2	6,8
Sr^{91}	9,7 s	5,57	5,81	-	4,9	-	3,6	2,43	-	7,2
Y^{91}	58 g	5,1	5,4	-	-	-	2,8	2,9	-	-
Zr^{93}	$1,1.10^{6}$ g	6,98	6,45	-	-	-	-	3,97	-	-
Zr^{95}	65 g	6,1	6,2	-	5,0	5,7	5,2	5,8	-	-
Mo^{99}	66,5 s	4,80	6,06	6,1	5,17	6,3	5,7	6,10	6,0	2,7
Ru^{103}	39,7 g	1,8	3,0	-	3,5	6,6	-	5,67	-	0,16
Ru^{105}	4,45 s	-	0,9	-	-	-	2,3	-	-	-
Ru^{106}	1,01 y	0,24	0,38	-	1,58	2,7	-	4,57	-	0,042
Ag^{111}	7,6 g	0,024	0,019	0,071	1,20	0,076	0,96	0,23	-	0,052
Cd^{115}	43 g	0,0011	0,007	-	0,062	0,003	0,06	0,0031	-	0,003
Cd^{115}	53 s	0,020	0,0094	0,0038	1,00	0,034	0,64	0,0038	0,067	0,072
Sn^{125}	9,6 g	0,052	0,013	-	1,34	-	0,45	0,071	-	-
I^{131}	8,05 g	2,9	3,1	-	4,3	-	4,8	3,77	-	1,2
I^{133}	20,8 s	-	6,9	-	5,4	-	-	5,2	-	-
Xe^{133}	5,27 g	-	6,62	-	-	-	6,6	6,91	-	-
Cs^{135}	$2,6.10^{6}$ g	6,03	6,41	-	5,7	6,0	-	7,17	-	-
Cs^{137}	30 y	6,58	6,15	6,3	-	6,2	-	6,63	6,8	6,3
Ba^{140}	12,8 g	5,4	6,35	-	4,6	5,7	4,6	5,4	5,0	6,2

Çizelge 1 9'ın devamı

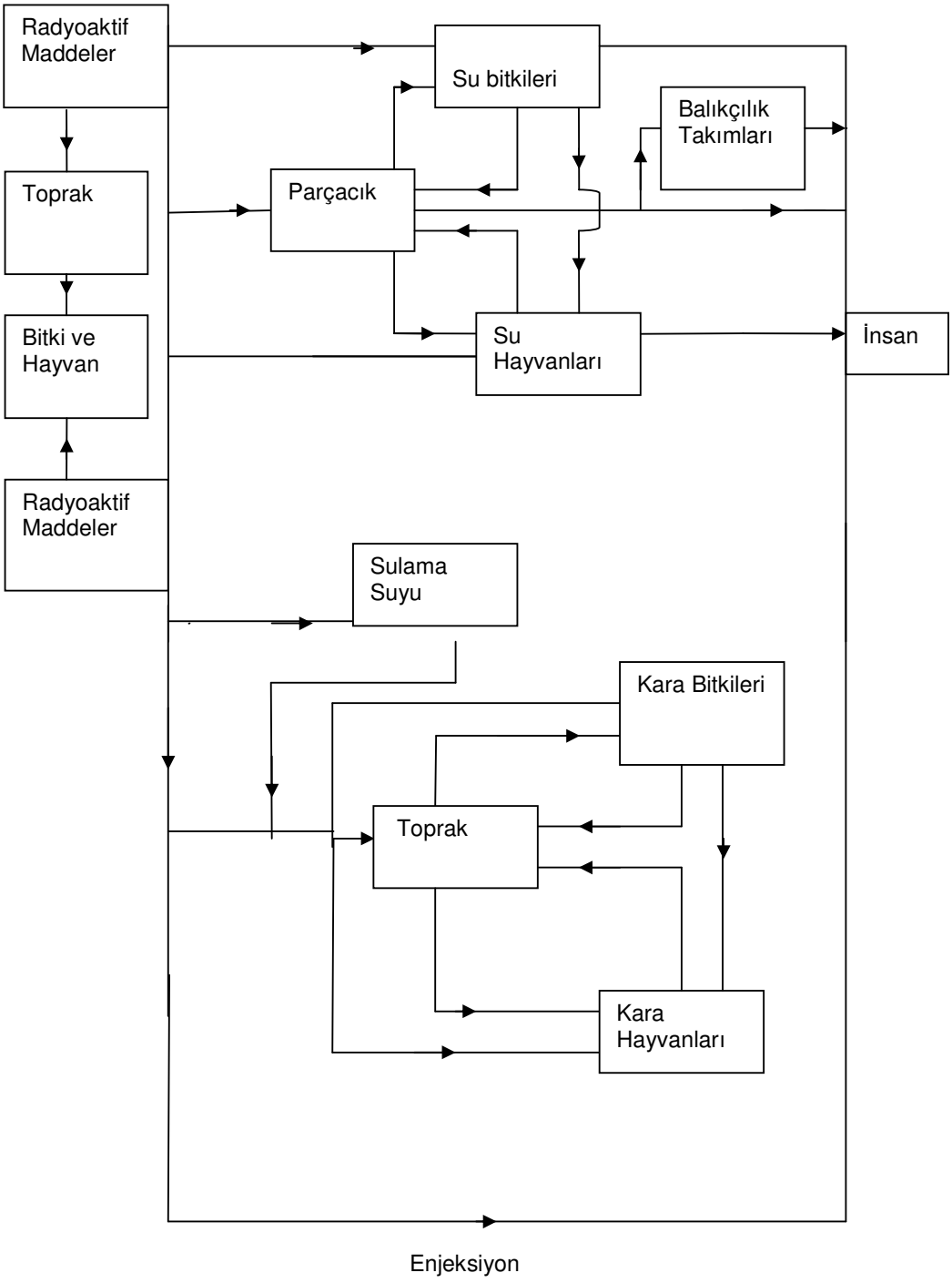
İzotop	Yarı Ömür	U-233 Termal	U-235 Termal	U-235 Hızlı	U-235 14 MeV	U-238 Hızlı	U-238 14 MeV	Pu-239 Termal	Pu-239 Hızlı	Th-232 Hızlı
Ce^{141}	33 g	-	6,0	-	-	-	-	5,1	-	9,0
Ce^{143}	33 s	-	5,7	-	3,9	-	3,6	5,3	-	-
Ce^{144}	280 g	4,5	6,0	5,0	3,3	4,5	3,3	3,79	-	7,1
Nd^{144}	5.10^{15} y	4,61	5,62	-	-	-	-	3,93	-	-
Nd^{147}	11.1 g	-	2,7	2,3	-	2,6	2,0	2,2	-	-
Pm^{147}	2,6 y	1,9	-	-	-	-	-	1,93	-	-
Sm^{147}	$1,3.10^{11}$ y	1,98	2,36	-	-	-	-	2,07	-	-
Sm^{151}	80 y	0,335	0,44	-	-	-	-	0,80	-	-
Eu^{155}	4 y	-	0,033	-	-	-	-	-	-	-

1.14. Radyoizotopların İnsana Geçişi

Radyoizotoplar insana çeşitli yollardan geçer. Bunlar; solunum, direkt temas ve enjeksiyonlardır. Enjeksiyonla geçişlerde, su-insan, su-bitki-insan, su-bitki-hayvan-insan, bitki-hayvan-insan, su-hayvan-insan, gibi çeşitli geçişler mümkündür. Şekil 1.16'da atmosfere verilen radyoaktif maddelerin, Şekil 1.17'de yüzey ve yeraltı sularına geçen radyoaktif maddelerin insana geçiş yolları verilmiştir (Acar, 1987).



Şekil 1.16 Atmosfere verilen radyoaktif maddelerin insana geçiş yoları



Şekil 1.17 Yüzey ve yer altı sularına bırakılan radyoaktif maddelerin insana geçiş yolları

1.15. Dişlerde Biriken Radyoaktif Maddeler

1.15.1. Uranyumun Elde Edilmesi

Uranyumun çeperleri genellikle %0.1-0.2 U_2O_3 ihtiva ederler. Dolayısıyla kullanılabilecek kadar uranyum elde etmek için tonlarca uranyum cevherinin işlenmesi gereklidir. Bunun için uranyum cevheri önce çok ince öğütülür. Daha sonra asit ile alkali işlemlere tutulur. Bu şekilde çözeltiye alınan uranyum bileşiği çöktürme, ekstraksiyon, iyon değiştirme kromotografisi gibi metotlarla saflaştırılır. Çözeltiye alındıktan sonra geriye uranyumu alınmış çok ince dağılmış yüzlerce ton uranyum atığı kalır. Bu da çevre açısından tehdit unsurudur. Çünkü bu atıkların içerisinde hem uranyum hem de uranyumdan türeyen diğer radyoaktif maddeler bulunur. Bunlardan iki tanesi Toryum (Th 230) ve Radyum (226) dur. Birincisinin yarılanma ömrü 80 yıl ikincisinin 1600 yıldır. Bunlar yağmur sularıyla sürüklenerek ve çözünerek içme suyu barajlarına kadar gelir. Hem Toryum hem de Radyum kimyasal özellikleri bakımından Ca'a benzer. Bu metallerle kirlenmiş sular içildiğinde bunlar kemiklerde toplanır. Böylece radyoaktif madde içeren atıkların etkilerini azaltmak için üzeri yeşillendirilerek bitki örtüsü ile kaplanır. Bu yöntem radyoaktif maddeleri yok etmez fakat çevreye yayılmasını önler.

Sularda bulunan en önemli radyoaktif madde, uranyum ailesi elemanlarından radyum ve radondur. ^{226}Ra ve ürünleri, insanların dış ve iç ışınlamalarına neden olan doğal kaynakların en önemlilerindendir. ^{226}Ra vücuda alındığında, kemiklerde birikmek suretiyle, omuriliği sürekli olarak ışınlamaktadır. Sularda uranyum ailesi elemanlarından başka, Toryum ailesi elemanlarından toryumun kendisi ^{232}Th ve ^{228}Ra'de bulunur. Fakat bir matristen yayılma olasılığının daha az olması nedenleriyle ^{232}Th ailesi biyolojik materyallerde önemsiz miktarlarda bulunur (Çelebi, 1995).

1.15.2. Nükleer Bombalar

Radyoaktif maddelerin kullanıldığı bir başka yer de nükleer bombaların yapımıdır. Böyle bir bomba yeryüzünde patladığı zaman kullanılan radyoaktif maddenin dışında, yeni birçok radyoaktif maddeler meydana gelir ve atmosfere yayılır. Bunlar atmosferde dolaşmaları esnasında yayılmakta, daha küçük radyoaktif partiküller haline dönüşmekte ve böylece daha da tehlikeli hale gelmektedir. Dispersiyon sonucu atmosfere yayılan radyoaktif partiküller zamanla yeryüzüne döner ki bunlara serpinti denir. Yeryüzüne dönen bu partiküller de çeşitli yollarla insana ulaşır ve kana karışırlar. Havada bulunan radyoaktif tuzlar yağmurlarla veya kendi kendine yeryüzüne düşer. Bu serpintiler sulara karışır, bitkilere geçer, bitkileri hayvanların yemesi ile süte geçer ve insanlar radyoaktif maddeleri vücutlarına alırlar. Özellikle stronsiyum 90 ve kalsiyum 45 gibi izotoplar çok uzun ömürlüdür, kemiklerde depolanır ve vücuttan atılmazlar. Bunlardan en tehlikelisi Sr-90 ve Cs-137'dir. Birincisinin yarılanma ömrü 28 diğerinin 30 yıldır. Stronsiyum 90, kimyasal özellikleri bakımından kalsiyuma benzer dolayısıyla kemiklerde ve dişlerde birikir. Kemiklerde biriken Stronsiyum kansızlığa ve kan hastalıklarına sebep olur. Bilindiği gibi kan hücreleri kemik iliklerinde üretilirler. Sezyum 137'nin kimyasal özellikleri de potasyumunkine benzer. Bilindiği gibi potasyum hücrelerde bulunur. Sezyum 137 insan vücuduna yediği etle, içtiği sütle, çayla ve yapraklı sebzelerle geçer. Bunun sonucu olarak ta insanin özellikle adalelerine yerleşir ve halsizlik meydan gelir. Çevre ve biyolojik örneklerde ^{90}Sr aktivitesinin belirli miktarların üstünde olması, nükleer reaktör kazaları, nükleer denemeler ve atıklarla ilgili olabilmektedir. Sr-90'ın fisyon reaksiyonları sonucu meydana gelme verimi yüksek olduğu gibi biyolojik yarılanma süresi de oldukça uzundur. Sr–90 insan vücuduna solunum, direk temas ve enjeksiyon gibi çeşitli yollarla geçebilen en önemli radyoizotoplardan birisidir. Sr–90, Ca gibi kemik dokusunda birikmekte ve kemiklerde uzun süre kalmasından dolayı kemik ve ilik hücrelerini etkileyerek kanser oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle ^{90}Sr aktivitesinin tespiti, çevre örneklerinde ve radyo ekolojik araştırmalarda önemlidir. Çevre ve diğer örneklerde ^{90}Sr aktivitesi tespiti, stronsiyum'un girişim oluşturduğu

radyoizotoplardan ve Ca, Fe ve Ba gibi diğer elementlerden ayrılmasından sonra mümkün olabilmektedir (Acar, 2003).

1.15.3. Nükleer Denemelerin Dişlerimizdeki İmzası

Atmosferde bulunan radyoaktif karbon–14 (^{14}C) yer üstünde nükleer denemelerin başladığı 1955 yılına kadar görece sabit kalırken, bu yıldan itibaren olağanüstü bir yükseliş gösterdi. Bombaların yalnızca birkaç yerde patlamasına karşın, atmosferdeki fazladan ^{14}C derişimi gezegenin çevresine hızla ve eşit biçimde dağıldı. 1963 yılında nükleer denemelerin yasaklayan antlaşmanın ardından ise, atmosferdeki ^{14}C miktarı 10'un katlarıyla azalmaktadır. Bu, yalnızca radyoaktif bozunmadan değil (^{14}C'nin yarılanma ömrü 5.730 yıl), aynı zamanda atmosferden çekilme ile meydana gelen bir azalıştır. Atmosferdeki ^{14}C, oksijenle tepkimeye girerek karbondioksit oluşturuyor ve bu molekülde fotosentez süreciyle bitkilere çekiliyor. Bitkilerin ve bitki yiyen hayvanların yenilmesi sonunda da insan bedenindeki karbondioksit derişimi her zaman atmosferdeki derişimle paralellik gösteriyor.

Her dişin üzerindeki mine çocukluk döneminde farklı ve belirli zamanlarda oluşuyor ve %0.4 oranında karbon içeriyor. Mine bir kere oluştuktan sonra yeniden işlenmediği için minedeki ^{14}C derişimi, minenin oluşum zamanında atmosferdeki düzeyi yansıtıyor (Bilim teknik dergisi, 2005).

1.16. Bozunma Şemaları

Doğal ve yapay radyoaktif maddelerin α, β ve γ ışınları yayınlamaları, bozunma şemaları ile gösterilir.

Şemalarda kullanılan kısaltmalar:

E : Enerji (Mev)

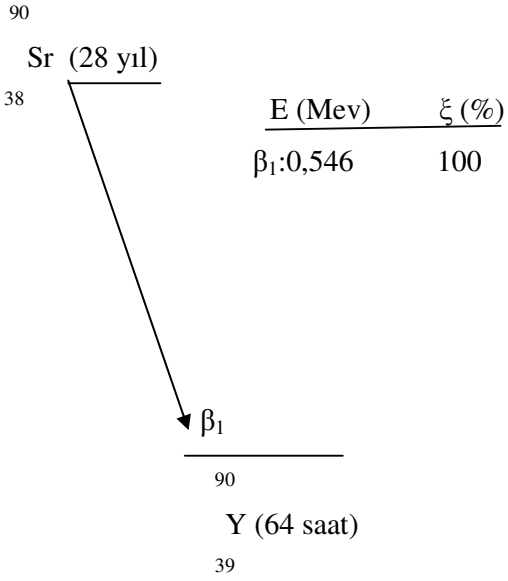
ξ : Radyasyonun (Emisyon) olasılığı (%)

Γ : Gama katsayısı : İlgili radyonüklitin aktivitesiyle gama dozhızı (D) arasındaki bağıntıyı verir:

$$D\ (R/h) = \frac{\Gamma\ A\ (mCi)}{d^2\ (m)^2} \longrightarrow \Gamma\ (R/h\ /m\ Ci/\ m^2) \qquad (1.18)$$

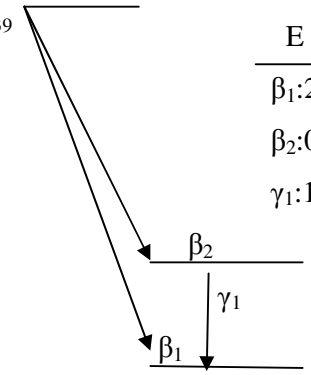
Γ :1 mCi'lik noktasal bir kaynağın 1 m uzaklıktaki ÖZGÜL (=SPESİFİK) gama doz hızını saatte (h)Röntgen (R) olarak göstermektedir (Atakan, 1990)

Diş ve Kemiklerde Biriken Bazı Radyonüklitlerin Bozunma Şemaları



$^{90}_{39}$Y (64saat)

	E (Mev)	ξ (%)	Γ (R/h /m Ci/ m^2)
β_1	2,268	100	0,996
β_2	0,53	0,02	
γ_1	1,734	0,02	



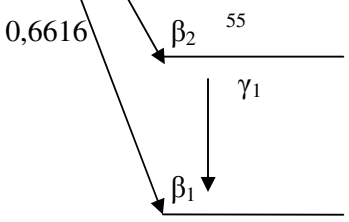
$^{90}_{40}$Zr

$^{137}_{55}$Cs(30 yıl)

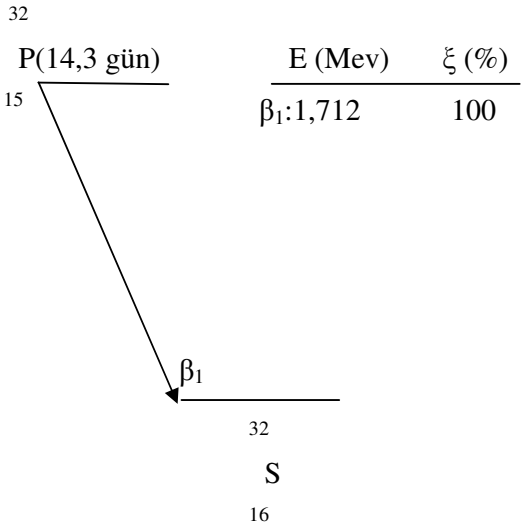
	E (Mev)	ξ (%)	Γ(R/h /m Ci/ m^2)
β_1	1.176	6,5	0,323
β_2	0,514	93,5	

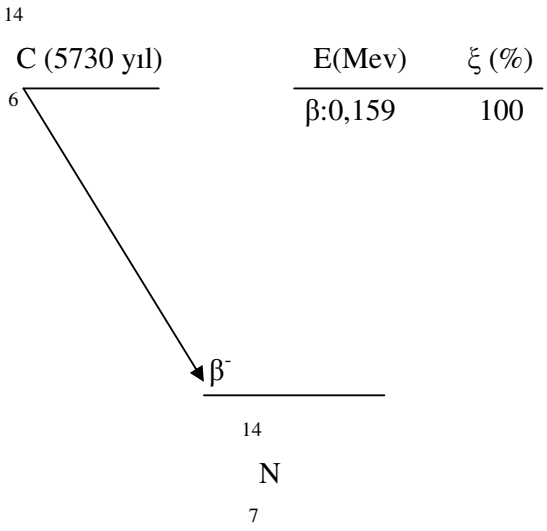
$^{137}_{55}$Ba i (2.6dakika)

	E (Mev)	ξ (%)
γ_1	0,6616	36



$^{137}_{56}$Ba

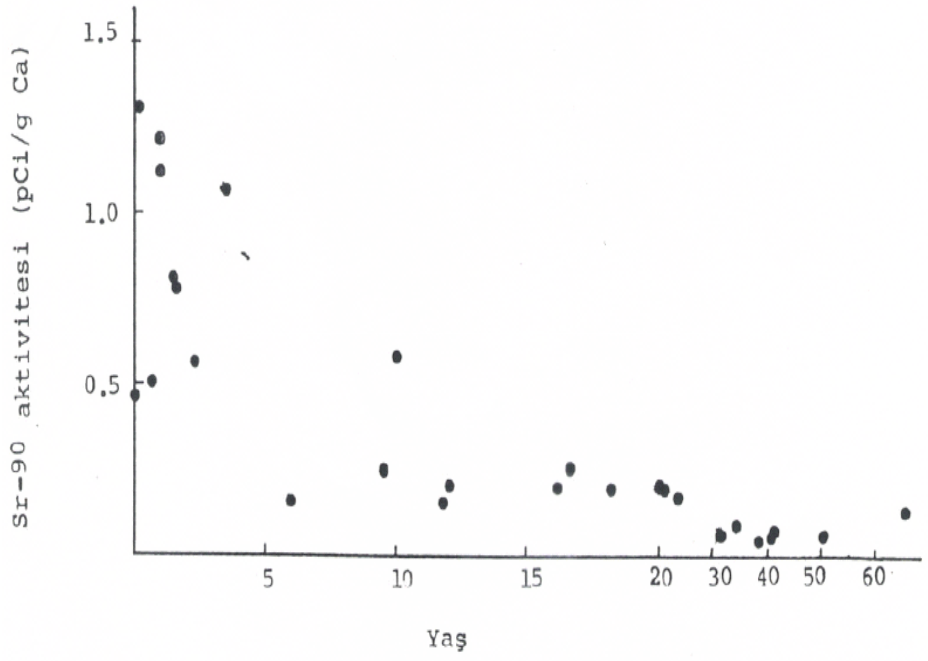

32
P(14,3 gün)
15
E (Mev)
ξ (%)
β1:1,712
100
β1
32
S
16


14
C (5730 yıl)
6
E(Mev)
ξ (%)
β:0,159
100
β-
14
N
7

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

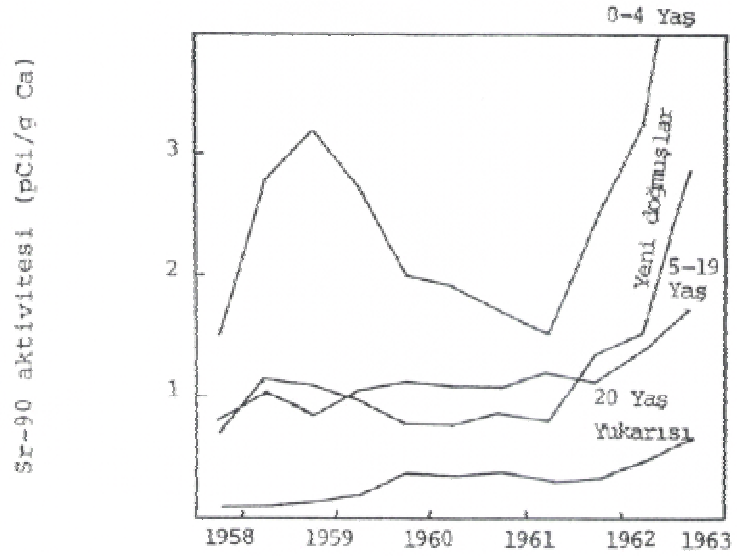
Bu bölümde, tez konumuzla ilgili daha önce yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

1955 - 1956 yıllarında yapılan bir araştırmada çeşitli yaştaki insan kemikle rinde Sr-90 aktivitesinin g Ca başına nasıl değiştiğini göstermiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Çeşitli yaştaki insan kemiklerinde Sr-90 aktivitesini değişimi

1958–1963 Yılları arasında yapılmış olan bir çalışmada, yıllara göre Sr–90 aktivitesinin, g Ca başına çeşitli yaş grupları insanlarda nasıl değiştiği gösterilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Çeşitli yıllarda ve çeşitli yaşlardaki insan kemiklerinde Sr-90 aktivitesi değişimi

Acar tarafından 1987 de yapılan bir çalışmada bir çalışmada, Çernobil nükleer reaktör kazasından sonra, reaktörde yakıt olarak kullanılan uranyum izotoplarından fisyon reaksiyonu sonucu meydana gelen Sr-90 izotopunun, Ankara-Gölbaşı, Anakara-Bala, Çankırı, Samsun, Sivas, Kars, Erzincan, Çorum ve Konya bölgelerinden alınan çeşitli yaştaki koyunların kemiklerinde birikimi ve aynı kemiklerde toplam β aktivitesi analizi yapılmış, birikimi olup olmadığı incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarından, hangi yaşlardaki ve hangi bölgelerde yaşayan hayvanların kemiklerinde Sr-90 birikiminin daha fazla olduğu araştırılmış ve aynı örneklerdeki toplam beta aktiviteleri ve Sr-90 aktivitesinin ilişkisi incelenmiştir. Böylece Türkiye'nin çeşitli bölgelerinin radyasyona maruz kalma derecelerinin tespitine çalışılmıştır. Çeşitli bölgelerden alınan, çeşitli yaşlardaki koyunlardan kemiklerinde tespit edilen toplam β aktiviteleri, pCi/g kül olarak verilmiş ve Ankara-Gölbaşı için 4,45 ile 7,68 pCi/g kül arasında, Ankara-Bala için 8,02 ile 15,31 pCi/g kül arasında, Çankırı için 6,90 ile 15,28 pCi/g kül arasında, Samsun için 4,27 ile 11,58 pCi/g kül arasında, Sivas için 5,26 ile 6,94 pCi/g kül arasında, Kars için 6,12 ile 6,75 pCi/g kül arasında, Erzincan için 7,89 ile 11,83 pCi/g kül arasında, Çorum

için 4,51 ile 16,8 pCi/g kül arasında ve Konya için 9,15 ile 13,43 pCi/g kül arasında değerler bulunmuştur Ek-1. Ankara-Gölbaşı, Anakara-Bala, Çankırı, Samsun, Sivas, Kars, Erzincan, Çorum ve Konya bölgelerinde yetiştirilen çeşitli yaşlardaki koyunlardan alınan ön ayak kemiklerinden Sr-90 analizi sonuçları Sr-90 aktivitesinin çok güçlü bir şekilde koyunun yaşına ve ek olarak onun kökenine bağlı olduğunu gösterilmiştir Ek-2 (Acar, 1987).

Güney Ukrayna'da 1990–1991 yıllarında, 1000 insan dişine ait Sr-90 konsantrasyonu ölçülmüştür. Dişler vericilerin yaş ve cinsiyetlerine göre 18 örneğe gruplanmış, Sr–90 konsantrasyonun ölçülmüş seviyesi, 1960 ve 1970'lerin ortalarında alınan ölçümlerden (10 etkenden dolayı) daha düşük bulunmuştur. Verilerdeki ilginç özellik 25–45 yaş gruplarındaki erkek nüfusun bulaşma seviyesindeki üç kat artmaidi. Bu anormallik Çernobil kazasından sonra nükleer güç santralinden hasar görmüş 30 km lik alan içinde temizleme operasyonları için derhal seferber olmuş önemli sayıda bu yaş grubundan insani içermesiyle yorumlanmıştır (KulevYD; Polikarpov GG; Prigodey EV; Assimakopoulos PA, 1994).

Büyük Britanya ve İrlanda'nın her yerinden toplanan çocuk dişlerindeki plutonyum–239, plutonyum–240, stronsyum–90 konsantrasyonları ve toplam alfa yayınlayıcılar ölçülmüştür. Plutonyum ve stronsyum–90 konsantrasyonları yaklaşık 50 diş içeren toplu örneklerde düşük background'lu radyokimyasal metodlar kullanılarak ölçülmüştür. Toplam alfa yayınlayıcıların konsantrasyonları tek bir dişle, alfa duyarlı plastik iz dedektörleri kullanarak tayin edilmiştir. Sonuçlar; toplam alfa yayınlayıcılar ve stronsyum-90'nın ortalama konsantrasyonlarının büyüklük sırasıyla yaklaşık 1 e 3, plutonyum–239, 240'nın eşit konsantrasyonlarından daha büyük olduğunu göstermiştir. Regresyon analizleri stronsiyum–90 veya toplam alfa yayınlayıcıların değil plutonyum konsantrasyonlarının; Sellafield nükleer yakıt yeniden işleme tutulma tesisinden artan uzaklıkla azalmakta olduğunu göstermiştir. Bu tesisin British Isles' in daha geniş nüfusuna plutonyum bulaşma kaynağı olduğu ileri sürülmüş, Bununla birlikte, plutonyumun ölçülmüş konsantrasyonlarının (ortalama 5+/- 4 mBq kg-1 ash wt.) oldukça küçük ve önemsiz radyolojik tehlikeye sahip olduğu gösterilmiştir (O'Donnell RG; Mitchell PI; Priest ND; Strange L; Fox A; Henshaw DL; Long SC, 1997).

Yunanistan da yaşayan insanların 1992-1996 periyodu boyunca diş ve kemiklerindeki stronsiyum 90 konsantrasyonunun ölçülmesi ile ilgili yapılan çalışmada 1005 tane çoğunlukla kanserli kemik ve toplam 896 tane dişten 108 örnek alınarak çalışılmıştır. Örnekler yaş ve cinsiyetlerine göre sınıflandırılmıştır. Orjinal örnekteki Sr-90 ile dengede olan Y-90'nı sökmek için özellikle tasarlanmış metoda göre, örnekler kimyasal ön işlemler görmüştür. Ardından Y-90'nın beta aktivitesi gaz orantılı sayaçlarla sayılmıştır. Kemik örneklerindeki radyostronsyum konsantrasyonu yaş ve cinsiyete göre değişiklikler göstermiş ve ortalama değer 30mBq 90Sr/g Ca bulunmuştur. Bununla birlikte dişlerdeki Sr–90 konsantrasyonu ölçümleri 1960'lardaki atmosferik nükleer silah denemeleri ve daha yakınlardaki Çernobil kazasından bulaşmaları apaçık yansıttığı belirgin olarak kanıtlanmıştır. Bu çalışmada sağlanan sonuçlar; 1960'lardaki atmosferik nükleer silah denemelerinden kaynaklanan radyostrosyumun çevresel bulaşmasının, Çernobil kazasının sebep olduğunu bulaşmayı açık farkla geçtiğini göstermiştir (Stamoulis KC Assimakopoulos PA; Ioannides KG; Johnson E; Soucacos PN, 1999).

Başka bir çalışmada çocuk dişlerindeki stronsiyum-90 seviyeleri ve coğrafik bölgeler nedeniyle bu seviyelerdeki oynamaların uygun tekrarlamalarla geçerliliği denetlenmiştir. Küçük bir miktar uzun ömürlü radyoaktif stronsiyum-90'nın vücuda tehlikesizce kabul edebildiği radyasyon durumuna bağlı biyolojik risk verilmiştir. Bulunan sonuçlar insan sağlığı için anlamlı potansiyel bir tehdit olduğunu kabul etmek için yeterli olmuştur (Dr. Victor; W.Sidel ve Dr.H.Jack Gieger, 1999).

Inductively Coupled Argon Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) ile insan dişlerindeki çinko, kurşun ve bakır ölçülmüştür. Ortodondik nedenlerle çekilen 47 insan dişi kullanılmış olup kurşun konsantrasyonlarının bu grup için, 1,7 mu g(g diş kütlesi) (-1) ile 40,5mu g (g diş kütlesi)(-1) arasında, ortalama 9,8 mu g(g diş kütlesi)(-1) olduğu bulunmuştur. Çinko ve bakır için ortalama değerler sırasıyla 123,0 ve 0,6 mu g(g diş kütlesi)(-1) bulunmuştur (Chew LT; Bradley DA; Mohd AY; Jamil MM, 2000).

ABD'de yapılan bir başka çalışmada, çoğunlukla, 1980 yılında dünya çapındaki atmosferik nükleer bomba testlerinin bitiminden sonra doğan 515 bebek dişindeki stronsiyum 90 konsantrasyonu, 1950'lilerin sonlarındaki atmosferik testler

boyunca doğan çocuklardaki konsantrasyonlara eşit bulunmuş. En son NewYork-New Jersey – Long Island Büyükşehir bölgesinde Sr-90 konsantrasyonları 1963 atmosferik test yapma yasağından sonra bebek dişleri ve erişkin kemiklerinin her ikisinde görülen beklenen düşme eğilimini aşmakta olduğu bulunmuş ve bu keskin artma ve azalma Miami ve Florida da görülmüş. Suffolk Country ve Long Island da bebek dişlerindeki Sr–90 konsantrasyonları 0'dan 4 yaşa kadar çocuklar için kanser olma derecesi ile önemli ölçüde ilişkili olduğu bulunmuştur. Benzer ilişki 1950 ve 1960'lardaki radyoaktif serpintinin en yoğun olduğu dönem boyunca çocukluk çağı tümörleri ile bebek dişlerindeki Sr-90'nın artış ve azalışı arasında meydana gelmiştir. Bütün bu sonuçlar 1980'ların başlarından beri genç amerikan çocuklarındaki kanser ve diğer bağışıklık sistemine bağlı hastalıkların artışının ana rolünün nükleer reaktör yayılımları olduğunu güçlü bir şekilde desteklemiştir (Gould JM; Sternglass EJ; Sherman JD; Brown J; Mc Donnell W; Mangano JJ, 2000).

Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde yapılan bir çalışmada farklı yaşlardaki yetişkin insan dişlerinde ^{90}Sr aktivitesi birikimi düşük zemin (background) sayımlı alfa/beta sistemi kullanılarak tespit edilmiştir. Örneklerdeki ^{90}Sr'ın radyokimyasal olarak saflaştırılması, dumanlı nitrik asit metodu ile birlikte gerekli taşıyıcılar ve reaktifler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ^{90}Sr aktivitesi tespiti, stronsiyum'un girişim oluşturduğu radyoizotoplardan ve Ca, Fe ve Ba gibi diğer elementlerden ayrılmasından sonra mümkün olabilmektedir. Bu amaçla, dumanlı nitrik asit metodu, stronsiyumun büyük miktardaki Ca'dan ayrılması, bütün örneklere uygulanabilmesi ve Sr veriminin yüksek olmasından dolayı çok kullanılmakta ve tercih edilmektedir. Örneklerdeki kalsiyum miktarı, Zeeman zemin düzelticisi olan alevli atomik absorbsiyon spektrometresi kullanılarak tayin edilmiştir. Kalsiyum tayininde ortam düzenleyici olarak K+La karışımı kullanılmıştır. K+La karışımı varlığında Ca'un ve ^{90}Sr'ın dedeksiyon limitleri sırasıyla 12,3µg/L ve 0,9Bq/kg olarak bulunmuştur. Gelecekte olabilecek bir radyoaktif kirlenmeden sonra dişlerde tespit edilecek ^{90}Sr aktivitesi, bulunan değerler ile karşılaştırılarak kirlenmenin boyutları tahmin edilebilecektir.

Türkiye'de farklı yaşlarda ve farklı bölgelerden gelen insanların diş örneklerinde ^{90}Sr aktiviteleri ve ve Ca derişimleri Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Türkiye'de farklı yaşlarda ve farklı bölgelerden gelen insanların diş örneklerinde ^{90}Sr aktiviteleri ve ve Ca derişimleri

Örnek No	Kişi yaşı,Yıl	Şehir	Cinsiyet[a]	Ca,%[b]	^{90}Sr,Bq/kg Ca
1	42	Ankara	B	36,9±0,3	45±1
2	31	Çorum	B	42,0±0,4	14±0,4
3	59	Konya	B	39,0±0,3	2,9±0,1
4	45	Kırşehir	B	36,7±0,4	64±2
5	30	Ankara	B	34,3±0,3	9,3±0,4
6	27	Malatya	E	38,5±0,3	180±6
7	45	Çorum	E	37,8±0,3	171±5
8	25	Ankara	E	38,0±0,3	151±5
9	61	Ankara	E	38,2±0,4	75±3
10	49	Ankara	B	45,5±0,4	740±3
11	51	Ankara	E	41,3±0,3	7,8±0,4
12	39	Kırıkkale	E	44,3±0,3	163±5
13	41	Ankara	E	46,9±0,4	65±2
14	40	Ankara	E	44,4±0,4	411±14
15	26	Kırşehir	E	35,8±0,3	52±2
16	17	Kırşehir	B	36,2±0,3	217±5
17	29	Ankara	B	37,1±0,4	566±14
18	24	Kırıkkale	E	34,1±0,3	729±25
19	33	Zonguldak	E	35,5±0,3	161±5
20	35	Yozgat	B	37,3±0,3	336±12

Örnek No	Kişi yaşı,Yıl	Şehir	Cinsiyet[a]	Ca,%[b]	^{90}Sr,Bq/kg Ca
21	41	Ankara	E	37,4±0,3	168±4
22	39	Kırıkkale	E	37,0±0,3	60±2
23	47	Malatya	E	39,8±0,2	75±2
24	37	Ankara	E	36,2±0,4	76±2
25	42	Kırıkkale	E	37,1±0,3	167±4
26	61	Ankara	B	36,6±0,2	210±5
27	38	Ankara	E	37,4±0,3	370±9
28	28	Ankara	B	38,4±0,3	52±2
29	26	Çorum	E	39,5±0,3	43±1
30	24	Çorum	B	37,8±0,3	29±1

[a]E: Erkek,B: Bayan

[b] % 95 güven seviyesinde bir örnek çözeltisinin 15 defa ölçüm ortalamasıdır,

$$\overline{X} \pm ts/\sqrt{n} \quad (2.1)$$

Radiation Public Health Project Inc. (RPHP) dergisinde yayınlanan bir araştırmada yetişkin insanların dişleri analiz edilmiş ve ^{90}Sr/kg Ca'un ortalama aktivite aralığı yaklaşık 37-74Bq/kg Ca olarak bulunmuş RPHP'ye göre, ^{90}Sr aktivite değerlerinin 370Bq/kg Ca seviyesine kadar çıkabileceği de vurgulanmıştır. Internal Comission on Radiological Protection (ICRP) tarafından tavsiye edilen insan vücudu için müsade edilen maksimum ^{90}Sr aktivitesi 74kBq olarak bildirilmiştir. Çizelge'de görüldüğü gibi, elde edilen ^{90}Sr, Bq/kg Ca sonuçlarından dört tanesi, 370Bq ^{90}Sr, Bq/kg Ca'dan yüksek bulunmuştur. Yüksek ^{90}Sr aktivitesi beslenme alışkanlığı farklılıklarından olabileceği gibi aynı zamanda tüketilen yiyecek ve içeceklerin orijinlerinin de farklı olması önemli bir faktör olabileceği düşünülmüştür (Acar R; Acar O, 2003).

3.MATERYAL VE METOD

3.1. Diş Örneklerinde Radyoaktivite Tayini

Dişin radyolojik açıdan incelenmesi veya doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi, insan sağlığını doğrudan ilgilendirdiği için oldukça önemlidir. Özellikle dişlerde toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin tayini, iç radyasyon tehlikeleri oluşturmaları bakımından üzerinde önemle durulması gereken bir durumdur. Ayrıca farklı iki bölgeden; Karadeniz ve Çukurova bölgesinden alınan diş örneklerindeki toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması, bölgesel farklılıkların incelenmesi açısından da önemlidir.

Toplam radyoaktivite ölçümleri, uygun koşullarda hazırlanarak sayım planşetlerine konan toz haline getirilmiş diş örneklerinin, detektör sistemi ile alfa ve beta parçacıklarının sayımı ile gerçekleştirilmektedir.

Günümüzde çevre örneklerindeki radyoaktivite değerlerini tayin etmek için birçok gelişmiş yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan, gaz dolgulu detektör sınıfına giren, gaz akışlı orantılı detektörler doğal radyoaktivite ölçümünde en yaygın kullanımı olanlardır. Diğer yöntemlere göre düşük maliyetli olmaları ve sonuca çabuk ulaşılmasını sağlamaları en önemli avantajlarıdır (NCRP 50, 1976).

Gaz dolgulu detektörler, ölçülecek parçacığın gaz molekülleri ile etkileşmesiyle, gaz moleküllerinin iyonlaşması esasına dayanmaktadır. Alfa ve beta parçacıkları ile düşük enerjili gama fotonlarının düşük aktivite ölçümlerinde kullanılabilmektedir.

Gaz dolgulu detektörler, iki elektrot arasında uygun gazla dolu bir aygıt olarak ele alınabilirler. Voltaj uygulandığı zaman bu elektrotlar arasında elektrik alan oluşacaktır. Radyoizotop'un yayımladığı parçacıklar bu gazın içinde kinetik enerjilerinin bir kısmını kullanarak gaz moleküllerinden elektronları koparmakta ve pozitif iyonlar oluşturmaktadır.
(http://www.taek.gov.tr/bilgi/radyasyon/radyasyon/radyasyonvebirimleri.html)

Düşük değerli elektrik alandan oluşan akımın voltaj bağımlılığı yoktur. Voltajın değeri birim zaman ve hacimde oluşan iyon çiftlerinin sayısını

etkilemektedir. Bu iyonizasyon odalarının bir karakteristiğidir. Yüksek hassasiyeti ve radyasyonun enerjisini ölçebilmesi için bu tip detektörlerin tercih edilmesini sağlar. Genel olarak çevresel gama ve kozmik radyasyon ölçümünde kullanılırlar.

Uygulanan voltajın arttırılmasıyla gaz amplifikasyonu oluşmakta, iyonlar elektrik alanda ivme kazanmaktadır. Elektrik alanın artmasıyla bu amplifikasyon da artar (10^3 – 10^4 mertebesinde amplifikasyon sağlanır). Neticede oluşan şarj birincil iyonizasyonun oluşturduğu şarjla orantılıdır. Dolayısıyla çıkış sinyalinin genliği, gazla etkileşen parçacığın enerjisiyle orantılıdır. Parçacığın tüm kinetik enerjisi gaz içinde absorblanırsa ve oluşan şarj verimli bir şekilde toplanabilirse orantılı gaz detektörü spektrometrik analiz için de kullanılabilmektedir.

3.2. Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Çalışmamız sırasında, toplam alfa-beta sayımında kullanılan cihaz ve detektör hakkında detaylı bilgiler aşağıda verilmektedir.

3.2.1. Alfa ve Beta Sayım Sistemleri

Çevresel örneklerin düşük seviyeli toplam alfa-beta radyoaktivite değerlerlerinin 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 önbilgiyi sağlamalarıdır (NCRP 1976).

Deneyimizde; bilgisayar kontrollü, Berthold marka, LB 770 model, 10 kanallı, gaz akışlı orantılı sayım cihazı kullanılmıştır. Bu cihaza ait bir resim Şekil 3.1 de görülmektedir. Cihaz, çevresel fonu (backgroundu) azaltmak için, etrafı

kurşun zırhla kaplı bağımsız 10 detektörden oluşmaktadır. Detektörlerin etkin yüzeyleri (detektörler penceresi) çok ince alüminyumdan yapılmıştır. Kullanılan gaz %90 argon (Ar), %10 metan (CH_4)'dır. Detektör verimi alfa parçacıkları için %21 ve beta parçacıkları için de %72 - %73'tür. Aynı anda 10 sayım yapacak şekilde dizayn edilmiş olan cihaz, elektronik devre yardımıyla detektörden gelen pulsları algılayıp, uygun şekilde programlanmış bilgisayara iletmektedir. İstenilen süre ve sayıda sayım yapılıp, her örnek için bulunan değerlerle ilgili sonuçlar sistem yazıcısından alınmaktadır.

Bu tip alfa-beta sayıcıları, deteksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir. Çevresel örneklerdeki doğal radyoaktivite çok düşük olduğundan bunların deteksiyonunda, uzaydan gelebilecek kozmik ışınların oluşturacağı iyonizasyon dolayısıyla meydana gelecek sayımların ortadan kaldırılması ancak antikoinsidans devresi kullanılmakla mümkündür.



Şekil 3.1 LB770-PC 10-Kanallı Düşük Temel Planşet Radyasyon Sayıcısı (Kam, 2004)

İçteki iyon odası 'örnek detektör' ve bunu saran daha büyük iyon odası ise 'koruyucu detektör' ismini almaktadır. Her iki detektörün arası başka bir örnekten

gelecek radyasyonun geçemeyeceği şekilde düzenlemiştir. Böylece bir örnekten gelecek radyasyon sadece o örneğin bulunduğu detektörde iyonizasyon meydana getirir. Bununla birlikte kozmik ışınlar gibi yüksek enerjili ışınlar, her iki detektörde de aynı anda iyonizasyon meydana getirebilir. Bilindiği gibi antikoinsidans devreleri iki girişi ve tek çıkışı olan devrelerdir. Bu devrelerdeki iki girişin her ikisine de atma geldiğinde çıkışta bir puls meydana gelmektedir. Buna karşın, girişlerden yalnız birine bir puls geldiğinde çıkışta bir atma meydana gelmemektedir. Burada sadece örnek detektöründe meydana gelen iyonizasyon sayılacak ve her detektörde birden meydana getirilen iyonizasyon sayılmayacaktır. Böylece çevreden gelen radyasyon algılanmaz. Bu sayım sisteminin backgroundu birden küçüktür. 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, laboratuar sayım cihazının elektrik devresinde algılanır.

Diş örneklerinde toplam alfa ve beta aktivite ölçümleri, belirlenen parçacık aralığında hazırlanıp sayım planşetlerine aktarılan diş örneklerinin sayımı ile gerçekleştirilmiştir.

Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite sayımları için sayım cihazı olarak ince pencereli, çok iyi zırhlanmış, gaz akışlı, antikoinsidans, orantılı sayıcı kullanılması uygun olmaktadır. Çevresel örneklerde ölçülen doğal radyoaktivite konsantrasyonları genellikle çok düşük seviyelerde olduğundan, kullanılacak bu tür cihazlarla, çok düşük doğal sayım seviyesini (background) ve yüksek duyarlık özelliklerini sağlamak mümkün olmaktadır.

Radyasyonun örnekten çıkınca öncelikle sayıcıya girmesi ve ardından sayıcı devrelerinde bir puls olarak algılanması gerekmektedir. Ancak belirli bir kütleye sahip örnekler, yayınlanan radyoaktivitenin bir kısmını soğurarak kendi soğurması denilen olayı meydana getirmektedir. Artan örnek miktarı, radyasyonun kendi soğurmasını arttırıp daha az sayıda parçacığın detektöre ulaşmasına neden olmaktadır.

Sayıcının verimini etkileyen diğer bir faktör de, geri saçılma 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.

3.3. Toplam Alfa Radyoaktivite Tayini

Alfa parçacıkları, +2 yükleri ve nispeten yavaş hareket etmeleri nedeniyle yoğun olarak iyonlaştırıcı parçacıklardır. Dolayısıyla, yüksek enerjilerine karşın girici güçleri veya menzillerinin kısa olması ölçümlemede bazı sorunlara yol açmaktadır. Bunlardan bir tanesi, self-absorbsiyon sorunudur.

Alfa radyoaktivite tayini amacıyla alınan örneğin yoğunluk kalınlığının, 5 mg/cm^2 değerinden fazla olmaması gerekmektedir. Fazla olması durumunda kendi kendine soğurma etkisi artarak daha az sayıda alfa parçacığının detektöre ulaşmasına neden olup sayım sonuçlarının doğruluğunu etkileyecektir.

Alfa radyoaktivite tayininde, sayım sisteminin kalibrasyonu ve örnek sayım hızının bozunum hızına başka bir deyişle saniyede verdiği sayım sayısına dönüşümü için gerekli olan standart seçimi önem taşımaktadır. Aktivitesi bilinen miktarda standart çekirdek içeren kalibrasyon kaynağının, sayım alanı, yoğunluk, kalınlık ve aktivite dağılımı gibi özelliklerinin sayılacak örnek ile benzer olması gerekmektedir. İdeal standardın, örnekle aynı şartlarda hazırlanması, aynı fiziksel ve geometrik özellikler sahip olması gerekmektedir. Alfa radyoaktivite tayini için kalibrasyona ilişkin olarak tercih edilen element, genellikle uranyum olmaktadır.

Toplam alfa radyoaktivite değeri;

$$A_\alpha = \frac{N_\alpha \times VDF \times 1000}{2.22 \times V} \tag{3.1}$$

Eşitliği ile hesaplanmaktadır.

Burada;

Aα : Örneğin pCi/Litre cinsinden alfa radyoaktivitesi

Nα : Örneğin net alfa sayımı (sayım/dakika)

V : Örnek hacmi, mL

VDF : Verim Düzeltme Faktörü

Değerlerini temsil etmektedir. Denklem 3,1'deki, 2,22 çarpanı, dakikadaki bozunum ile pCi/Litre arasındaki dönüşüm faktörünü ifade etmektedir.

Verim Düzeltme Faktörü (VDF) ise;

$$VDF = \frac{1}{V_D \times T} \tag{3.2}$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada;

V_D : Detektör verimi

T : Kendi kendine soğurma düzeltme eğrisinde, rezidü (mg/cm^2) spesifik ağırlığına karşı gelen değeri ifade etmektedir (Eberline, 1980).

3.4 .Toplam Beta Radyoaktivite Tayini

Beta radyoaktivite tayini, alfa radyoaktivite tayinine göre farklılıklar içermektedir. Gaz akışlı orantılı sayıcılarla sayıma başlanmadan önce plato denilen en verimli çalışma voltajının tespit edilmesi gerekmektedir.

Beta radyoaktivite tayininde başka önemli bir faktör ise kendi kendine soğurma grafiğini elde etmektir.

Toplam beta radyoaktivite hesapları ise aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$A_\beta = \frac{N_\beta \times B \times m \times 1000}{2.22 \times V \times D} \tag{3.3}$$

Burada;

A_{β} : Örneğin pCi/Litre cinsinden beta radyoaktivitesi

N_{β} : Örneğin net beta sayımı (sayım/dakika)

B : Standart beta kaynağının dakikadaki bozunumu (dpm)

m_r : Rezidü miktarı (mg)

V : Örnek hacmi (mL)

D : Kalibrasyon eğrisinden rezidü (mg/cm^2) spesifik ağırlığına karşı gelen değeri temsil etmektedir.

Denklem (3.3)'teki 2.22 çarpanı, dakikadaki bozunum ile pCi/Litre arasındaki dönüşüm faktörünü ifade eder.

3.5 .Örneklerin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması

Bu yüksek lisans tez çalışması çerçevesinde Çukurova ve Karadeniz bölgesinin çeşitli yerlerinden toplanan diş örneklerindeki radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Deneysel çalışmalar örnek alınacak yerlerin belirlenmesi, örneklerin toplanması ve hazırlanması, örneklerde radyoaktivite seviyesinin tayin edilmesi ve son olarak da sonuçların değerlendirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Örnekler Çukurova bölgesi için Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği fakültesinden, Karadeniz bölgesi için Karabük, Gümüşhane, Artvin'in Hopa ilçesi ve Tokat illerindeki diş hekimleri tarafından toplanmıştır. Örnekler toplanırken kişinin yaşı, yaşadığı yer, kaç yıldır burada yaşadığı, mesleği, sigara içip içmediği ve ışın tedavisi (ışın tedavisi) görüp görmediği kaydedilmiş ve küçük şişelerdeki serum fizyolojik içerisine konulmuştur. Topladığımız bu örnekler içerisinden her şehirden küçük, orta ve yaşlı grup olmak üzere; beş şehir içinde seçilen örneklerin sonradan karşılaştırma yapılabilmesi için birbirine yakın yaşlarda olmasına, uzun süre o şehirde yaşamış olmasına ve sigara çok içmemesine dikkat edilerek ayrımı yapılmıştır. Çukurova'dan 8, Karabük'ten 10, Hopa'dan 4, Gümüşhane'den 7 ve Trabzon'dan 6 olmak üzere toplam 35 örnek alınmıştır. Bu alınan örnekler Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği kırma laboratuarında ilk olarak pulvarizatör kabı

(Şekil 3.2) içerisinde dövülüp, dövülen numuneler poşetlere konulup üzerlerine yaş ve şehirleri yazılmıştır. Bu işlem her örnek için yapılmıştır. Daha sonra dövülen her örnek pulvarizatör kabının (Şekil 3.3) içerisine dökülerek pulvarizatör cihazı (Şekil 3.4) içerisine bu kap yerleştirilip cihazın kapağı kapatılmış ve her örnek için en az 3 defa çalıştırılmıştır. Böylece dövdüğümüz diş örnekleri öğütülmüştür. Pulvarizatör içerisinde öğütülen bu diş örnekleri 90 ve 125 mikrometrelik iki ayrı elek (Şekil 3.5) kullanılarak eleme yapılmıştır. Böylece parçacık aralığı 90'dan büyük 125'den küçük örnekler elde edilmiştir. Elde edilen örnekler; saf sudan geçirilip 125°C deki etüvde kuruttuğumuz küçük şişelere konarak, üzerine şehir ve yaşları yazılarak poşetlenmiştir. Böylece diş örnekleri yapılacak toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri tayin edilmek üzere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.2 Pulvarizatör kabı



Şekil 3.3



Şekil 3.4 Pulvarizatör



Şekil 3.5 Elekler

3.6 .Diş Örneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Belirlenmesi

Çalışma bölgesinden alınan 35 diş örneğini uygun koşullarda öğüterek toz haline getirdikten sonra, darası alınmış planşetler içerisine konularak ağırlıklıkları kaydedilmiş, bu öreklerde etüvde 70–80 C° de bir süre bekletildikten sonra cihaza yerleştirilmiştir. Bölüm 3.2.1'de tanıtılan 1650 volt da çalışan gaz akışlı orantılı sayım cihazında sayılmıştır. Dişlerdeki toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri düşük seviyeli radyasyon sınıfına girdiğinden dolayı, ölçümler uzun sürelerde yapılmaktadır. Deneysel çalışmamızda diş örnekleri 150'er dakikalık süreyle sayılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında Çukurova Bölgesi ve Karadeniz Bölgesinde yaşayan insanlara ait diş örneklerindeki radyoaktivite ölçülmüştür. Örnekler Bölüm 3'de anlatıldığı şekilde hazırlandıktan sonra alfa-beta sayım sisteminde sayılmıştır.

4.1. Diş Örneklerine İlişkin Alınan Deney Sonuçları

Bu çalışmada Karadeniz Bölgesi; Karabük ilinden 10, Artvin'in Hopa ilçesinden 4, Gümüşhane ilinden 7 ve Trabzon ilinden 6 ayrıca Çukurova Bölgesi; Adana İlinden 8 olmak üzere belirli yaşlardaki insanlardan diş örnekleri alınmıştır. Alınan örnekler, ölçmek için uygun koşullara getirildikten sonra, gaz akışlı alfa ve beta sayım sisteminde sayılmıştır.

Diş örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Birim olarak g diş numunesi başına Bq alınmıştır.

Çizelge 4.1 Karabük iline ait diş örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivitesi

Örnek No	Örnek Adı	Yaşı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/g)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/g)
K1	Karabük	9	0,0018 (±0.0009)	0,0197 (±0,0054)
K2	Karabük	11	0,0036 (±0,0216)	0,1509 (±0,0655)
K3	Karabük	13	0,0019 (±0,0009)	0,0063 (±0,0031)
K4	Karabük	28	0,0050 (±0,0120)	0,0169 (±0,0101)
K5	Karabük	30	0,0382 (±0,0376)	0,0599 (±0,0554)
K6	Karabük	35	0,0054 (±0,0027)	0,0092 (±0,0046)
K7	Karabük	38	0,0000	0,0563 (±0,0111)
K8	Karabük	48	0,0000	0,0274 (±0,0064)

Örnek No	Örnek Adı	Yaşı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/g)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/g)
K9	Karabük	51	0,0023 (±0,0011)	0,0018 (±0,0049)
K10	Karabük	59	0,0014 (±0,0007)	0,0150 (±0,0075)

Çizelge 4.2 Artvin (Hopa) ilçesine ait diş örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi

Örnek No	Örnek Adı	Yaşı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/g)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/g)
H1	Hopa	18	0,8539 (±0,5193)	1,0346 (±0,4261)
H2	Hopa	35	0,0087 (±0,0117)	0,0103 (±0,0142)
H3	Hopa	36	0,0065 (±0,0111)	0,0408 (±0,0110)
H4	Hopa	65	0,0000	0,0245 (±0,0169)

Çizelge 4.3 Gümüşhane iline ait diş örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi

Örnek No	Örnek Adı	Yaşı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/g)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/g)
G1	Gümüşhane	9	0,0000	0,5722 (±0,1825)
G2	Gümüşhane	11	0,0022 (±0,0097)	0,0182 (±0,0101)
G3	Gümüşhane	17	0,0000	0,0372 (±0,0294)
G4	Gümüşhane	28	0,0041 (±0,0095)	0,0293 (±0,0090)
G5	Gümüşhane	29	0,0000	0,0252 (±0,0116)
G6	Gümüşhane	39	0,0000	0,0103 (±0,0480)
G7	Gümüşhane	57	0,0000	0,0172 (±0,0208)

Çizelge 4.4 Trabzon iline ait diş örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi

Örnek No	Örnek Adı	Yaşı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/g)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/g)
T1	Trabzon	13	0,0008 (±0,0004)	0,0439 (±0,0213)
T2	Trabzon	17	0,0217 (±0,0178)	0,0185 (±0,0270)
T3	Trabzon	30	0,0333 (±0,0215)	0,0769 (±0,0188)
T4	Trabzon	35	0,0110 (±0,0106)	0,0249 (±0,0107)
T5	Trabzon	51	0,0076 (±0,0055)	0,0054 (±0,0048)
T6	Trabzon	58	0,0005 (±0,0054)	0,0102 (±0,0061)

Çizelge 4.5 Adana iline ait diş örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi

Örnek No	Örnek Adı	Yaşı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/g)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/g)
Ç1	Adana	13	0,0183 (±0,0099)	0,0110 (±0,00110)
Ç2	Adana	16	0,0023 (±0,0062)	0,0244 (±0,0062)
Ç3	Adana	17	0,0002 (±0,0065)	0,0107 (±0,0068)
Ç4	Adana	29	0,0000	0,1215 (±0,0430)
Ç5	Adana	30	0,0018 (±0,0009)	0,0113 (0,0056)
Ç6	Adana	34	0,0050 (±0,0025)	0,0060 (±0,0087)
Ç7	Adana	51	0,0071 (±0,0060)	0,0202 (±0,0074)
Ç8	Adana	59	0,0030 (±0,0015)	0,0035 (±0,0017)

Yukarıdaki çizelgelerde toplam alfa radyoaktivite değerlerinin bazıları 0,000 okunmuştur. 0,003'ün altında çıkan değerlerin ölçüm cihazının dedeksiyon limitinin altında kalmasından dolayı cihaz algılayamamıştır. Bu nedenle örneklerde toplam alfa radyoaktivitesi ölçülememiştir.

Yukarıdaki veri tabloları incelendiğinde, her ilde yaşa bağlı olarak dişlerde bulunan toplam alfa-beta sayım değerlerinin yaşlara göre değiştiği, böylece diş örneği alınan kişilerin beslenme ve yaşadıkları ortam koşullarının bu noktada incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

İnsanlar üzerinde yapılan bu tür vücut radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi çalışmalarında yapılan ölçümler birçok parametreye bağlı olduğu için sonuçlar hakkında kesin yorumlar yapmak bilimsel olarak mümkün değildir.

Bu çalışmalarda sonuçları etkileyen belli başlı gözden kaçırılmaması gereken parametreler şunlardır.

a) Radyoaktif maddelerin biyolojik yarı ömürleri nedeniyle, vücuttan atılmaları çok karmaşıktır, ve insandan insana değişim göstermektedir.
b) İnsanların yaşadıkları yıllara bağlı olarak vücutlarında biriken radyoaktif maddeler, bu insanların yaşadıkları ortamlardaki doğal fond radyasyonun'dan direkt olarak etkilenmektedir.
c) Vücutta toplanan radyoaktivite miktarı yeme alışkanlıklarına bağlı olarak değişim göstermektedir.
d) Ayrıca, yedikleri yiyeceklerin yetiştirildiği ortam ve yetiştirilme şartlarına bağlı olarak da değişmektedir.

Sonuç olarak, insan sağlığı ile ilgili bu tür araştırmalarda, çok sayıda insan üzerinde ve uzun yıllar boyunca yapılan deneysel çalışmalar anlam kazanmaktadır. Bu nedenle yapılan bu çalışma bir ön hazırlık niteliğinde olup, daha sonraki çalışmalarda daha fazla örnek üzerinde ve çevresel parametrelerde göz önüne alınarak sonuçların yorumlanması hedeflenmektedir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Çukurova Bölgesinden; Adana ve Karadeniz bölgesinden; Karabük, Artvin'in Hopa ilçesi, Gümüşhane ve Trabzon illerinden alınan diş örneklerinde biriken toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite değerlerinin belirlenmesini içeren deneysel bir çalışma yapılmıştır. Aslında Karadeniz ve Çukurova bölgesinden çok sayıda diş örneği toplanmış olmasına rağmen bir ön çalışma olarak 35 tanesinin toplam alfa-beta radyoaktivite konsantrasyonları ölçülebilmiştir. Diğer örneklerin ölçülebilmesi ve Sr-90 tayininin ÇNAEM de yapılabilmesi için TAEK'in izin vermemesi üzerine başka ölçüm yapılamamıştır. Bu nedenle yapılan ölçüm sonuçları ile yetinmek zorunluluğu doğmuştur. 35 örnek, 11-13; 16-18; 28-30; 34-36; 51; 57-59 yaş olmak üzere 6 yaş grubuna ayrılmıştır. Aşağıdaki çizelgede Adana'dan alınan diş örnekleri Çukurova bölgesini temsil etmek üzere Ç; Trabzon, Karabük, Gümüşhane ve Hopa'dan alınan örnekler Karadeniz bölgesini temsil etmek üzere, sırasıyla T, K, G, H harfleriyle gösterilmiştir. Aşağıdaki çizelgelerde, 35 örneğe ait ölçülen toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonlarından yalnız toplam beta radyoaktivite konsantrasyon değerleri verilmiştir. Yalnız bu değerlerin dikkate alınmasının nedeni kullanılan detektörün alfa parçacıkları için %21; beta parçacıkları için %72 verime sahip olmasıdır. Bu değerler yaş grupları sınıflandırmasına göre verilmiştir.

Çizelge 5.1 11-13 Yaş grubu

Örnek No	Yer	Yaş	Toplam Beta Radyoaktivite Değerleri (Bq/g)
Ç1	Adana	13	0,0110 (±0,0011)
T1	Trabzon	13	0,0439 (±0,0213)
G2	Gümüşhane	11	0,0182 (±0,0101)
K1	Karabük	11	0,1509 (±0,0655)
K2	Karabük	13	0,0063 (±0,0031)

Değer büyüklük sırası: K1>T1>G2>Ç1>K2

Karadeniz örneğine ait değer, Çukurovaya ait örnek değerinden büyük (+3); bir örneğe ait değer ise küçük (-1)

Çizelge 5.2 16 -18 Yaş grubu

Örnek No	Yer	Yaş	Toplam Beta Radyoaktivite Değerleri (Bq/g)
Ç2	Adana	16	0,0244 (±0,0062)
Ç3	Adana	17	0,0107 (±0,0068)
T2	Trabzon	17	0,0185 (±0,0270)
G3	Gümüşhane	17	0,0372 (±0,0294)
H1	Hopa	18	1,0346 (±0,4261)

Değer büyüklük sırası: H1>G3>Ç2>T2>Ç3

Karadeniz'e ait H1, G3, T2 örnek değerleri Ç3'den büyük (+3); yalnız Ç2>T2 den (-1)

Çizelge 5.3 28 - 30 Yaş grubu

Örnek No	Yer	Yaş	Toplam Beta Radyoaktivite Değerleri (Bq/g)
Ç4	Adana	29	0,1215 (±0,0430)
Ç5	Adana	30	0,0113 (±0,0056)
T3	Trabzon	30	0,0769 (±0,0188)
G4	Gümüşhane	28	0,0293 (±0,0090)
G5	Gümüşhane	29	0,0252 (±0,0116)
K4	Karabük	28	0,0169 (±0,0101)
K5	Karabük	30	0,0599 (±0,0544)

Değer büyüklük sırası: Ç4>T3>K5>G4>G5>K4>Ç5

Çukurova bölgesine ait Ç5 değerinden Karadeniz bölgesine ait 5 değer daha büyük (+5) Çukurova bölgesine ait Ç4 değeri Karadeniz bölgesine ait 5 değerden daha büyük (-5)

Çizelge 5.4 34 – 36 Yaş grubu

Örnek No	Yer	Yaş	Toplam Beta Radyoaktivite Değerleri (Bq/g)
Ç6	Adana	34	0,0060 (±0,0087)
T4	Trabzon	35	0,0249 (±0,0107)
H2	Hopa	35	0,0103 (±0,0142)
H3	Hopa	36	0,0408 (±0,0110)
K6	Karabük	35	0,0092 (±0,0046)

Değer büyüklük sırası: H3>T4>H2>K6>Ç6

Karadeniz bölgesinden alınan 4 örneğe ait değer, Çukurova bölgesinden alınan örneklere ait değerlerden büyük (+4)

Çizelge 5.5 51 Yaş grubu

Örnek No	Yer	Yaş	Toplam Beta Radyoaktivite Değerleri (Bq/g)
Ç7	Adana	51	0,0202 (±0,0074)
T5	Trabzon	51	0,0054 (±0,0048)
K9	Karabük	51	0,0018 (±0,0049)

Değer büyüklük sırası: Ç7>T5>K9

Karadeniz bölgesinden alınan 2 örneğe ait değer, Çukurova bölgesine ait bir değerden küçük (-2)

Çizelge 5.6 57-59 Yaş grubu

Örnek No	Yer	Yaş	Toplam Beta Radyoaktivite Değerleri (Bq/g)
Ç8	Adana	59	0,0035 (±0,0017)
T6	Trabzon	58	0,0102 (±0,0061)
K10	Karabük	59	0,0150 (±0,0075)
G7	Gümüşhane	57	0,0172 (±0,0208)

Değer büyüklük sırası: G7>K10>T6>Ç8

Karadeniz bölgesinden 3 örneğe ait değer, Çukurova bölgesinden bir örneğe ait değerden büyük (+3)

Çizelgelerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 5.7 de özetlenmiştir.

Çizelge 5.7 Çukurova ve Karadeniz bölgesine ait büyüklük değerleri sayısı

Yaş Grubu	Karadeniz Bölgesine ait büyüklük değerleri sayısı	Çukurova Bölgesine ait büyüklük değerleri sayısı
11-13	+3	-1
16-18	+3	-1
28-30	+5	-5
34-36	+4	0
51	0	-2
57-59	+3	0
Toplam	+18	-9

Buna göre Karadeniz bölgesine ait 18 değer Çukurova bölgesine ait değerlerden büyük iken, Çukurova bölgesine ait 9 değer Karadeniz bölgesine ait değerlerden 18 / 9 =2 kat büyüktür. Diğer bir değişle toplam değerlerin 2/3'ü. Bu basit değerlendirme bile Çernobil olayı ile ilgili bir kaba ipucu verdiği söylenebilir. Kaldı ki, 28-30 yaş grubunda, Çukurova bölgesine ait 2 değerden Ç4 değeri gözardı edilerek Ç5 değeri göz önüne alınırsa, Karadeniz bölgesine ait 5 değer, Ç5'den

büyük olduğundan bu yaş grubuna ait sonuç (+5) olacaktır. Bu durumda toplam sonuç olarak, +18 ve -4 değerleri elde edilecek ve buna göre Karadeniz bölgesine ait büyüklük değerleri sayısı, Çukurova bölgesine ait büyüklük değerleri sayısına göre 18 / 4=4,5 kat daha büyüktür. Diğer bir değişle, 4,5/5,5≈%81,8 oranında, Karadeniz bölgesine ait değerler, Çukurova bölgesine ait değerlerden %82'ye yakın bir oranda daha büyük toplam beta sayım değerlerine sahiptir.

Ancak bu tartışma Karadeniz bölgesindeki örneklere ait toplam beta radyoaktivite konsantrasyonlarının, Çukurova bölgesine ait değerlerden çoğunlukla daha büyük olduğuna ait bir ipucu niteliğinde olup istatistiksel bakımdan anlamlı değildir. İstatistiksel bakımdan anlamlı sonuç elde edilebilmesi için, bu iki bölgeden çok sayıda örnek alınması ve toplam alfa-beta radyoaktivite konsantrasyonlarına ek olarak, örneklere ait Sr-90 miktar tayinlerinin de yapılması gereklidir.

Dişi ve kemiği oluşturan en önemli elementler Kalsiyum, Potasyum, Fosfor ve benzeri özelliklere sahip elementlerdir. Doğal potasyum içinde 0,012 oranında K–40 bulunmaktadır. Yani 1gr potasyum içinde 12mg K–40 bulunmaktadır.

İnsan bünyesinde bulunan bütün elementlerin kaynağı da, hayatta kalması için gerekli gıdalar ve içeceklerdir. Vücut metabolizması insanı oluşturan bütün kimyasalları bir dengede tutacak yapıdadır. Bu dengede yediğimiz ve içtiğimiz maddelerle sağlanmaktadır. K–40 yeme alışkanlıklarına bağlı olarak insandan insana farklı oranda bulunabilir, özellikle kalsiyum ve potasyum içerikli gıdalarla fazla beslenen insanların kemiklerinde daha fazla oranda bulunur. 1997 de yapılan bir çalışmada en fazla toplam beta miktarının baklagillerde (kuru gıdalarda) olduğu bulunmuştur (Karahan, 1997).

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından tavsiye edilen insan vücudu için müsaade edilen maksimum ^{90}Sr aktivitesi 74 kBq olarak bildirilmiştir. Tüm insan vücudu göz önüne alındığında, dişlerde biriken bu değerin % 0,7 sidir. ^{90} Sr fisyon ürünüdür ve enerjisi % 100 ihtimalle yayınlanan 546 Kev'lik betadır. Vücutta beta yayınlayan diğer doğal radyoaktif maddeler de göz önüne alındığında, bu çalışmada yapılan toplam beta sayımlarının hiçbirinin bu değeri aşmadığı bulunmuştur.

Sonuç olarak diyebiliriz ki; insanlar yaşamları için gerekli olan ve içinde belirli oranlarda radyoaktif maddelerin bulunduğu bu doğal ortamlarda yaşamak zorundadır. Doğal kaynaklardan alınacak radyasyon dozunu daha aza indirmek belli şartlarda insanların kendi ellerinde olmakla birlikte tamamen kurtulmaları veya kaçınmaları mümkün değildir.

Ülkemizde de batılı ülkelerde olduğu gibi, her bölgeye ait doğal radyasyon doz haritaları çıkartılmalıdır. Bu haritalar o yörede yaşayan insanların ne kadar miktarda doğal fond radyasyonuna maruz kaldığını göstermesi açısından çok önemlidir. Yörelerin yeme alışkanlıkları göz önüne alındığında, bu etkenin alınan doz değerini ne kadar değiştirdiğini, ayrıca kullanılan içme ve yer altı sularının da aktivite miktarlarının tayin edilmesinde ne oranda etkili olduğu gerçeğini ortaya koyacaktır.

Yapılan bu tez çalışması, bir ön çalışma niteliğinde olup daha farklı şehirlerden daha fazla sayıda alınacak örnekler ile daha kapsamlı bir çalışma yapılarak, toplam alfa-beta radyoaktivite değerlerinin yanı sıra, kimyasal uzmanlık isteyen Sr–90 analizi de ilerleyen çalışmalar da yapılabilir.

KAYNAKLAR

ACAR, R., 1987. "Çernobil" Nükleer Reaktör Kazasından Sonra Çeşitli Yaş Grubu Hayvanların KemiklerindeSr-90 Birikiminin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara,141s.

ACAR, R., ACAR, O., 2003. İnsan Dişlerinde Sr-90 Birikiminin Tayini, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, 06100, Beşevler, Ankara

ACAR, R., OKAY, G., AKMAN, S., 1989. Accumulation of Sr-90 in Sheep Bones from Different Regions of Turkey, J. Radioanal. Nucl. Chem., 131(1):215-221.

ATAKAN, Y., 1990. Çernobil Radyasyon Çevre ve İnsanlar Üzerindeki Etkileri,

ATAKAN, Y., 2006. İyonlaştırıcı Radyasyon. Bilim Teknik Dergisi..

BUNZL, K., KRACKE, W., 1991.A simple Radiochemical Determination of Sr-90 in Enveriomental Samples, J. Radioanal .Nucl.Chem, 148(1):115-119.

CHEW, L.T., BRADLEY, D.A., MOHD, A.Y., JAMIL, M.M., 2000. Zinc, lead and copper in human teeth measured by induced coupled argon plasma atomic emission spectrocopy (ICP-AES), Applied Radiation and Isotopes, 53, 633-638.

ÇELEBİ, N., 1995 Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul, 86s.

ÇETİNER, M.A.,1990. Çernobil Kazasından Sonra Çay ve Diğer Gıdalardaki Cs-137'nin insana geçişinin incelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 141s.

EBERLINE, 1980. Thermo Eberline Network's Page, EPA-600/4-80-032.

GHODS, A., HUSSAIN, M., MIRNA, A., 1994. Rapid Determination of Sr-90 in Foodstuffs and Environmental Material, Radiochim.Acta, 65:271-274.

GOULD,J.M., STERNGLASS, E.J., SHERMAN, J.D.,BROWN, J., Mc DONNELL, W., MANGANO, J.J.,2000. Radiation and Public Health Project, Broklyn, 30(3):515-39.

IAEA, 1989. Measurement of Radionüclides in food and the Environment, Guide Book, Technical Reports Series, 295:71-89,

KAM.E.,2004. Tekirdağ'ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini, Y.T.Ü

Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 112s.

KARAHAN,G.,1997. İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 118s.

KULEV, Y.D, POLİKARPOV, G.G.,PRIGODAY, E.V.,ASSIMAKOPOULOUS, P.A., 1994. Strontium-90 Concentrations in Human Teeth in South Ukraine 5 Years After the Chernobyl Accident, Department of Radiobiology, Institute of Biology of the Southern Seas, Sevastopos, USSR, 155(3):215-9.

KLUSEK, C.S., 1987. Strontium-90 in Food and Bone from Fallout, J.Environ. Qual.,16(3), 195

MANOS, J.R., C.G., KINNEY, R.M., LISK, D.J.,1993. Analysis of Strontium-90 in Bones of Brown Trout (Salmo turutta) from Lake Ontario Chemosphere 26(11):2031-2037.

NCRP 50, 1976. National Council Radiation Protection and Measurements; Envorimental Radiation Measurements, NCRP Report No.50.

O'DENNELL, R.G., MITCHELL P.I, PRIEST, N.D, STRANGE, L., FOX, A., HENSHAW, D.L., LONG, S.C., 1997. Variations in the concentration of Plutonium, Strontium-90 and Total Alfa Emitters in Human Teeth Collected Within the British Isles, Department of Experimental Physics, University College Dublin, Belfield Ireland, 201(3):235-43.

SIDEL,V.W., GEIGER, H.J.,1999.On RPHP Baby Tooth Study.

STAMOULİS, K.C., ASSİMAKOPOULOUS, P.A., IOANNIDES, K.G., JOHNSON, E.,SOUNCACOS, P.N., 1999. Strontiım-90 Concentration Measurement in Human Bones and Teeth in Greece. Depertmant of Physics, University of Ioanning, Greece, 229(3):165-82.

TÜYSÜZ, M.Z., YORULMAZ, N., BOZKURT, A., 2004. Co-60 Radyoterapi Kaynağı İçin Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı. Türk Fizik Derneği 22. Fizik Kongresi Bildiriler Kitapçığı, Bodrum

UĞUR, Z., 1985 "Tıp ve Biyolojik Birimlerde Radyasyondan Korunma",18-29.

www.aof.edu.tr/kitap/EHSM/1222/ünite13.pdf

http:/www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/doğalrad.html.

http://www.umich.edu/ ~radinfo/introduction/natural.htm

http://aysaghiz.adu.edu.tr/eski/ashmyo/TDS205.htm

http://www.taek.gov.tr/bilgi/radyasyon/radyasyon/radyasyonvebirimleri.html

http://tr.wikipedia.org/wiki/radyoaktivite

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Adana'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini orada tamladı. 1999 yılında Mehmet Kemal Tuncel Süper Lisesi'nden mezun oldu. 2003 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü'nü bitirdi. 2003 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı.

EKLER

Ek-1 Çeşitli bölgelerden alınan, çeşitli yaşlardaki koyunlardan kemiklerinde tespit edilen toplam β aktiviteleri

Yaş (yıl)	Ankara-Gölbaşı (pCi/g)	Ankara-Bala (pCi/g)	Çankırı (pCi/g)	Samsun (pCi/g)
1	7,58±0,50	15,31±1,08	15,28±0,65	11,58±0,51
2	5,43±0,33	10,31±0,96	8,61±0,78	8,61±0,78
3	4,86±0,36	9,86±0,69	7,01±0,92	6,94±0,57
4	4,45±0,41	8,02±0,73	6,90±0,62	4,27±0,88
5	5,29±0,49	8,20±0,84	7,50±0,84	4,95±0,64
6	5,40±0,46	8,75±0,57	7,95±0,58	5,17±0,52

Yaş (yıl)	Sivas (pCi/g)	Kars (pCi/g)	Erzincan (pCi/g)	Çorum (pCi/g)	Konya (pCi/g)
1	6,94±0,56	6,75±0,76	11,83±0,73	16,8±0,99	13,43±0,90
2	6,24±0,57	6,35±0,51	9,04±0,74	8,11±0,91	12,85±0,90
3	5,51±0,71	6,28±0,30	7,89±0,82	6,26±0,84	11,42±0,50
4	5,26±0,48	6,12±0,40	7,96±0,68	4,51±0,85	9,15±0,64
5	5,27±0,48	6,24±0,56	7,99±0,75	5,44±0,88	9,47±0,95
6	5,80±0,27	6,29±0,30	8,01±0,53	6,05±0,85	9,51±0,51

Ek-2 Koyun kemiklerinde Sr-90 aktiviteleri

ANKARA-GÖLBAŞI

ALINDIĞI TARİH	YAŞI	S_r90 pCi/gCa	S_r90 pCi/gKül
24.11.1986	1	1.79±0.20	0.71±0.08
" " "	2	1.22±0.09	0.47±0.04
" " "	3	0.86±0.09	0.32±0.03
" " "	4	0.57±0.08	0.21±0.03
" " "	5	0.45±0.07	0.19±0.08
" " "	6	Bgk. seviyesi	Bkg. seviyesi

ANKARA-BALA

ALINDIĞI TARİH	YAŞI	S_r90 pCi/g Ca	S_r90 pCi/g kül
19.11.1986	1	1.57±0.16	0.58±0.06
" " "	2	1.15±0.10	0.47±0.04
" " "	3	0.85±0.08	0.32±0.03
" " "	4	0.66±0.08	0.26±0.03
" " "	5	0.47±0.06	0.20±0.03
" " "	6	Bkg. seviyesi	Bgk. seviyesi

ÇANKIRI

ALINDIĞI TARİH	YAŞI	S_r90 pCi/g Ca	S_r 90 pCi/g kül
25.11.1986	1	2.60±0.18	0.97±0.07
" " "	2	2.15±0.11	0.80±0.04
" " "	3	1.48±0.10	0.57±0.04
" " "	4	0.91±0.09	0.35±0.03
" " "	5	0.69±0.08	0.26±0.03
" " "	6	Bkg. seviyesi	Bkg. seviyesi

SAMSUN

ALINDIĞI TARİH	YAŞI	S_r 90 pCi/g Ca	S_r 90 pCi/g kül
2.12.1986	1	3.72±0.21	1.39±0.08
" " "	2	2.77±0.17	1.07±0.07
" " "	3	1.92±0.16	0.73±0.06
" " "	4	1.56±0.10	0.58±0.05
" " "	5	1.08±0.08	0.47±0.03
" " "	6	Bkg. seviyesi	Bkg. seviyesi

SİVAS

ALINDIĞI TARİH	YAŞI	S_r 90 p Ci/g Ca	S_r 90 p Ci/g kül
27.11.1986	1	1.54±0.10	0.57±0.04
" " "	2	1.30±0.09	0.50±0.03
" " "	3	0.92±0.09	0.33±0.03
" " "	4	0.62±0.08	0.23±0.03
" " "	5	0.53±0.07	0.19±0.02
" " "	6	Bkg. seviyesi	Bkg. seviyesi

KARS

ALINDIĞI TARİH	YAŞI	S_r 90 p Ci/g Ca	S_r 90 p Ci/g kül
6.12.1987	1	1.71±0.10	0.66±0.04
" " "	2	1.33±0.10	0.49±0.04
" " "	3	1.03±0.09	0.38±0.03
" " "	4	0.63±0.08	0.25±0.03
" " "	5	0.54±0.07	0.20±0.03
" " "	6	Bkg. seviyesi	Bkg. seviyesi

ERZİNCAN

ALINDIĞI TARİH	YAŞI	S_r 90 p Ci/g Ca	S_r 90 p Ci/g kül
22.02.1987	1	2.69±0.16	0.99±0.06
" " "	2	1.69±0.09	0.64±0.03
" " "	3	1.46±0.08	0.53±0.03
" " "	4	1.02±0.09	0.38±0.03
" " "	5	0.74±0.08	0.28±0.03
" " "	6	Bkg. seviyesi	Bkg. seviyesi

ÇORUM

ALINDIĞI TARİH	YAŞI	S_r 90 p Ci/g Ca	S_r 90 p Ci/g kül
26.02.1987	1	1.78±0.10	0.66±0.04
" " "	2	1.24±0.09	0.47±0.03
" " "	3	0.92±0.08	0.34±0.03
" " "	4	0.68±0.08	0.25±0.03
" " "	5	0.51±0.08	0.19±0.03
" " "	6	Bkg. seviyesi	Bkg. seviyesi

KONYA

ALINDIĞI TARİH	YAŞI	S_r 90 p Ci/g Ca	S_r 90 p Ci/g kül
20.11.1986	1	Bkg. seviyesi	Bkg. seviyesi
" " "	2	" "	" "
" " "	3	" "	" "
" " "	4	" "	" "
" " "	5	" "	" "
" " "	6	" "	" "

Bkg. seviyesi = Back ground seviyesi