

**T.C.
KAFKAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**KARŞILANAN BAZI YAPIMALZEMELERİN RAYONAKTİVİTELERİNİN
İNCELENMESİ**

İlhami ARAS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman

Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT

**EYLÜL-2009
KARS**

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı yüksek lisans öğrencisi İhami ARAS'ın yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "KARS L NDEK BAZI YAPI MALZEMELER NDE RADYOAKTİF İZLENİMLERİNİN İNCELENMESİ" adlı bu çalışması, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

...../...../.....

Unvanı ve Adı Soyadı

mza

Başkan

Üye

Üye

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve/..... Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdullah Doğan
Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalı mada, Kars ilinde kullanılan bazı yapı malzemelerindeki radyoaktivite düzeyleri belirlenmeye çalı ıldı. Bunun için Kars merkez ilçeye ba lı Bozkale, Karacaören, Dikme, Alçılı, Ka ızman ilçesi Kötek köylerinden alınan Kalker (Karacaören Köyü), Kil (Bozkale Köyü), Tras (Dikme Köyü), Alçı Ta ı (Alçılı Köyü), Demir Cevheri (Kötek Köyü), piyasadan alınan kireç ve dört farklı çimento örnekleri kullanılmı tır.

Ara tırma kapsamında bu örneklerdeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının radyoaktivite deri imleri ölçülerek, bu malzemelerin yapı malzemelerindeki kullanılabilirlik sınırlarını belirlemek amacıyla I_γ ve I_α indisleri hesaplanmı tır.

Yapılan ölçümler sonucunda, Kars ilinden alınan örneklerdeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının radyoaktivite deri imlerinin ülkemizde ve dünyanın de i ik ülkelerinde benzer malzemeler için verilen sonuçlarla uyumlu oldukları görüldü.

Bu malzemelerin I_γ ve I_α de erlerinin sırasıyla 0,01-0,34 ve 0,037-0,97 aralıklarında oldukları bulundu. Bu de erlere göre Kars ilinde yapı malzemesi olarak kullanılan ve bu tezde çalı ılan malzemelerden kaynaklanan radon gazı deri iminin izin verilen sınırların altında oldu u görüldü.

Anahtar Kelimeler: Yapı malzemeleri, Gama Spektrometresi, Do al radyoaktivite

ABSTRACT

In this study, we tried to determine the radioactivity levels in some building materials used in Kars. To achieve this, raw materials have been collected from several villages in Kars and Ka ızman. The samples collected were: limestone from Karacaören, clay from Bozkale, tras from Dikme, gypsum from Alçılı and iron ore from Kötek. Also, samples have been taken form commercially used cement and lime used in buildings in Kars.

During the course of this investigation, the concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs radioisotopes in these samples have been measured. The I_γ index was calculated to determine the usability limits of these materials in buildings and the I_α index was calculated to determine the allowed limits of radon concentration due to these materials.

The concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs isotopes in these building materials used in Kars were found to be comparable to the results reported for similar materials in Turkey and in different countries around the world.

The values of I_γ ve I_α indexes were found to be in the 0,01-0,34 and 0,037-0,97, respectively. According to these results, it is seen that the radon concentration of the building materials studied here are lower than the allowed limits.

Key word: Building materials, Gamma spectroscopy, Natural radioactivity

ÖN SÖZ

Bu çalı ma, Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tezi hazırlamamda bana her türlü yardım ve deste i sa layan, danış man hocam Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT'a çok te ekkür ederim.

Ayrıca tez çalı mamda bana yardımcı olan sevgili arkadaş larım Ar . Gör. Hüseyin ERTAP ve Ar . Gör. Gökhan B L R'e te ekkür ederim.

İlhami ARAS

Ç NDEK LER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖN SÖZ.....	v
Ç NDEK LER.....	vi
EK LLER D Z N	viii
Ç ZELGELER D Z N	ix
KISALTIMA L STES	x
SEMBOLLER L STES	xi
TANIMLAR.....	xii
1 G R	1
2 TEOR K B LG LER	3
2.1 Çekirdek ve Çekirdek Kararlılı 1.....	3
2.2 Radyoaktivite.....	5
2.2.1 Yapay Radyoaktivite.....	6
2.2.2 Do al Radyoaktivite.....	7
2.2.2.1 Dı I ınlanma.....	9
2.2.2.2 ç I ınlanma.....	11
2.2.3 Radyoaktivite Birimleri.....	13
2.2.4 Radyoaktif Maddelerin Yaptı ı I ımlar.....	13
2.2.4.1 Alfa (α) Bozunması.....	13
2.2.4.2 Beta (β) Bozunması.....	13
2.2.4.3 Gama (γ) I ıması.....	14
2.2.5 Yarı Ömür.....	14
2.3 Radyasyon.....	16
2.3.1 Radyasyon Birimleri.....	18

2.4	Yapı Malzemelerindeki Radyoaktivite.....	19
2.4.1	Etkileme Düzeyleri.....	20
2.4.2	Aktivite ndisleri.....	21
2.4.2.1	Ev Yapımında kullanılan Malzemeler için Aktivite ndisi.....	21
2.4.2.2	Yol, Sokak ve Ba lantılı n aat lerinde Kullanılan Malzemeler için Aktivite ndisi.....	22
2.4.2.3	Dolgu ve Bahçe Düzenlenmesinde Kullanılan Malzemeler için Aktivite ndisi..	23
2.4.2.4	Külün Kullanımı için Aktivite ndisi.....	23
2.4.3	Yapı Malzemelerinde Radon Gazı Varlı ı.....	23
2.4.3.1	Binalarda Radon Giri leri.....	25
2.4.3.2	Binalardaki Radon Konsantrasyonunu Belirleyen Unsurlar.....	26
2.5	DeneySEL Yöntemler ve Çalı malar.....	27
2.5.1	Gama Spektrometrik Analizler.....	27
2.5.1.1	Çok Kanallı Analizör Sistemi.....	28
2.5.1.2	Yapı Malzemeleri Örneklerinin Ölçüm için Hazırlanması.....	29
3	MATERYAL-METOT.....	32
3.1	Gama Spektrometresinin Enerji Kalibrasyonu.....	32
3.2	Gama Spektrometresinin Verim Kalibrasyonu.....	33
4	BULGULAR.....	34
5	TARTI MA VE SONUÇ.....	40
6	KAYNAKLAR	45
7	ÖZGEÇM	48

EK LLER D Z N

Sayfa No

ekil 2.1.1	Çekirdek kararlılı ının n/p oranına ba lılı ı ve kararlılık ku a 1	3
ekil 2.1.2	Kararsız bir radyoaktif çekirdekten kararlı bir radyoaktif çekirdek olu umu	4
ekil 2.1.3	²³⁸ U radyoaktif serisi	5
ekil 2.2.1	Toplam radyoaktivite kaynaklarının yüzdelik da ılımı	5
ekil 2.2.1.1	Yapay radyoaktif kaynakların yüzdelik da ılımı	6
ekil 2.2.2.1	Do al radyoaktif kaynakların yüzdelik de erleri	8
ekil 2.2.2.2	Kozmik ı nırlardan alınan radyasyon dozunun yüksekli e göre de i imi	9
ekil 2.2.5.1	X gr a ırlı ında radyoaktif bir maddenin yarı-ömürleri ile kalan miktarları arasındaki ili ki	15
ekil 2.5.1	HPGe detektörlü gama spektrometrik sistemin ematik gösterimi	28
ekil 2.5.1.2.1	Kars ili haritası	30
ekil 2.5.2.2	Numune saklama kapları	31
ekil 3.2	HPGe detektörünün enerji-verim e risi	33
ekil 4.1	Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ²²⁶ Ra da ılımı	35
ekil 4.2.	Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ²³² Th da ılımı	36
ekil 4.3.	Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ⁴⁰ K da ılımı	37
ekil 4.4.	Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ¹³⁷ Cs da ılımı	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.2.1.1	Yapay radyoaktif çekirdekler	7
Çizelge 2.2.2.1.1	Kayalarda radyum, uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan γ radyasyon doz iddetleri	10
Çizelge 2.2.2.2.1	Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz de erleri	12
Çizelge 2.2.4.3.1	Radyoaktif ı nların özellikleri	14
Çizelge 2.2.5.1	Bazı radyoaktif izotoplara ili kin yarı ömür ve radyasyon türleri	16
Çizelge 2.4.1	Toprakta bulunan doğal radyonüklitler	20
Çizelge 2.4.2	n aat malzemelerindeki tahmini ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K konsantrasyonları	20
Çizelge 2.4.3.1	Radon konsantrasyon limitleri	24
Çizelge 3.1	Standart kalibrasyon kayna ının özellikleri	32
Çizelge 4.1	Kars ili yapı malzemesi örneklerinde bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite deri imleri	34
Çizelge 4.2	Kars ili yapı malzemesi örneklerinde hesaplanan I_γ ve I_α de erleri	39
Çizelge 5.1	Dünyanın farklı ülkelerindeki bazı yapı malzemelerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imleri	42
Çizelge 5.2	Kars ili ve TAEK raporuna göre yapı malzemesi örneklerinde hesaplanan I_γ ve I_α de erlerinin karşılaştırılması	43

KISALTMALAR

HPGe	Yüksek Safılıkta Germanyum Detektörü
ICRP	International Commission on Radiological Protection
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UNSCEAR Radiation	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	World Health Organization
HV	Yüksek Voltaj Kaynağı
PA	Ön Yükseltici
MA	Ana Yükseltici
ADC	Sayısal-Örneksel Dönüştürücü
MCA	Çok Kanallı Analizör
PC	Bilgisayar
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

S MGE L STES

eV	Elektron Volt
Bq	Becquerel
Sv	Sievert, e de er doz birimi
Gy	Gray, so urulmu doz birimi
Ci	Curie
Kg	Kilogram
C/Kg	Coulumb/Kilogram
R	Rontgen
ppm	Milyonda bir

TANIMLAR

Radyoaktivitenin incelenmesinde kullanılan bazı tanımlar:

Radyasyon: Enerjinin, dalga veya parçacık halinde uzaya yayılması veya madde ile etkileşime girmesidir.

Radyoaktivite: Karasız atom çekirdeklerinin dışarıdan enerji almadan, kendiliğinden parçalanarak, elektromanyetik radyasyonlar yayınlamak suretiyle başka atom çekirdeklerine dönüşmesi olayıdır.

Radyoizotop: Atom numaraları aynı kütle numaraları farklı çekirdeklere denir.

Doğal Radyoaktivite: Herhangi bir çekirdeğin dışarıdan enerji almadan kendiliğinden bozunması olayıdır.

Yapay Radyoaktivite: Herhangi bir çekirdeğin dışarıdan bir etki ile radyoaktif hale getirilmesi olayıdır.

Becquerel (Bq): Saniyede bir parçalanma veren radyoaktif madde miktarı ya da bu maddenin radyoaktivitesidir. Becquerel'in, radyoaktivitenin eski birimi olan Curie (Ci) ile bağlantısı şöyledir:

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci veya } 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$$

İyonlama Birimi: Birim hava kütlesi içerisinde meydana gelen iyonizasyondur. SI birim sisteminde iyonlama biriminin özel bir adı yoktur. İyonlama birimi C/kg (Coulomb/kg)'dir. Eski iyonlama birimi ise röntgen (R)'dir.

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg dır.}$$

So urulan Doz: Radyasyonlarla ı nlanan bir maddenin birim miktarında so urulan radyasyon enerjisidir. SI birim sisteminde so urulan doz birimi Gray (Gy) olup, Gray; 1 kg'lık bir maddeye 1 joule'lük enerji veren herhangi bir iyonla tırıcı radyasyon dozudur. Eski özel birimi rad (radiation absorbed dose) olup, 1 rad ; herhangi bir maddenin gramı ba ına 100 erg'lik so urulmaya e de erdir (1Gy= 100 rad).

E de er Doz: Radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanan bir birim olup, doku veya organlarda, birim kütlede so urulan enerji miktarı ile orantılı bir de erdir. Vücut için e de er doz olarak tanımlanır. SI birim sisteminde e de er doz birimi Sievert (Sv)'dir (1Sv= 100 rem).

Etkin E de er Doz: Vücudun bütün olarak ı nlanması durumunda çe itli organ veya dokuların maruz kaldıkları e de er dozların a ırlıklı toplamı olup, birimi Sievert'tir.

Risk: Radyasyon ı nlamalarının sonucunda, ki ilerde hasar meydana gelme olasılı ıdır.

1. G R

Radyoaktiflik, 1895 yılında Wilhelm Röntgen'in x-ı nlarını bulmasından sonra, 1896 yılında Henry Becquerel'in Uranyum'un gözle görülmeyen ı nlar yaydı nı belirlemesiyle ke fedilmi tir. Bu bulu ların ardından Marie ve Pierre Curie tarafından ba ka radyoaktif elementler bulunarak izole edilmi tir. Radyoaktif maddeler tarafından yayılan ı nların özellikleri ise Ernest Rutherford tarafından aydınlatılmı tır [1].

Bilindi i gibi maddenin temel yapısını atomlar meydana getirir. Atom ise proton ve nötronlardan olu an bir çekirdek ile bunun çevresinde dönmekte olan elektronlardan olu maktadır. Çekirde indeki nötronlar alfa, beta, gama gibi ı nlar yaymak suretiyle parçalanarak maddelere; radyoaktif madde, çevreye yayılan alfa, beta ve gama gibi ı nlara ise radyasyon adı verilmektedir [2].

nsanlar ve di er canlılar ya amları süresince uzaydan gelen ve yeryüzünden yayınlanan radyasyonlar nedeniyle bir radyasyon ortamı içerisinde ya amaktadırlar [3]. Bu nedenle radyasyon ya amın bir parçasıdır. Isı ve ı k güne ten gelen radyasyonun do al formudur. Bunların yanı sıra mikrodalgalar, radyo dalgaları, radar, X-ı nları, gama ı nları radyasyonun di er türleridir. Bunlar çevremizde do al olarak bulundu u gibi yapay olarak da elde edilmektedir. Radyasyon, madde üzerinde meydana getirdi i etkilere göre;

- yonla tırıcı radyasyon (X-ı nları, gama ı nları, alfa, beta radyasyonları, kozmik ı nlar, nötronlar)

- yonla tırıcı olmayan radyasyon (ultraviyole, kızılötesi, radyo dalgaları, mikrodalgalar)

eklinde sınıflandırılır [4].

Ayrıca radyasyon kaynaklarını yapay ve do al radyasyon kaynakları olmak üzere iki grupta sınıflandırabiliriz.

Yapay radyasyon kaynaklarını;

- Nükleer bomba denemelerinden kaynaklanan radyoaktif serpintiler (fallout),

- 1986-Çernobil kazasından türeyen serpintiler,

- Nükleer reaktörlerin işletilmesi sırasında ortaya çıkan radyoaktif maddeler,
- Tıpta uygulanan iyonlayıcı radyasyon kaynakları,
- Bilim ve teknoloji uygulamalarında kullanılan iyonlayıcı radyasyon kaynakları,
- Az da olsa iyonlayıcı ışınlar yayayan televizyon gibi aygıtlar,
- Çeşitli aygıtlarda kullanılan radyoaktif kaynaklar (Gece görünür saatler, Yangın, duman uyarıcıları gibi) şeklinde tanımlayabiliriz [5].

Doğal radyasyon kaynakları ise Güneş'ten, Yıldızlardan gelen kozmik ışınlarla yerkabuğunda (tahta, toprakta, havada, suda, bitkilerde, yapı malzemelerinde ve tüm canlılarda) bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan yerel kaynaklı radyasyonlardır. İnsanların yıl boyunca maruz kaldığı radyasyon dozunun ortalama % 85'ini doğal kaynaklar oluşturmaktadır [5]. Doğal radyasyon genel itibarıyla yerküre kaynaklı (tahta, toprak, hava, su vb.) olduğundan bina yapımında kullanılan yapı malzemeleri de düşük oranlarda radyoaktivite içermektedirler.

Yapı malzemelerindeki doğal radyoaktivite, bina içi radyasyona maruz kalmanın başlıca kaynağıdır. Yapı malzemeleri, insanların doğal radyasyona maruz kalmasına iki şekilde katkıda bulunur. Bunlardan ilki; ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th 'dan yayılan gama radyasyonu ve bunların bozunma ürünleridir. İkincisi; bina içinde Radon bozunma ürünlerinin birikmesi ve solunum sistemi yoluyla solunmasıdır. Yapı malzemelerindeki doğal radyonüklitlerin konsantrasyonunun belirlenmesi, insanlar zamanlarının %80'ini bina içinde geçirmesinden dolayı önemlidir. Bina içi yüksek doz oranları, yapı malzemelerinde doğal olarak mevcut bulunan radyonüklitlerin yüksek aktivite konsantrasyonlarından kaynaklanır. Bundan dolayı yapı malzemelerinde radyasyon düzeylerini belirlemek için çok sayıda çalışma yapılmıştır [6].

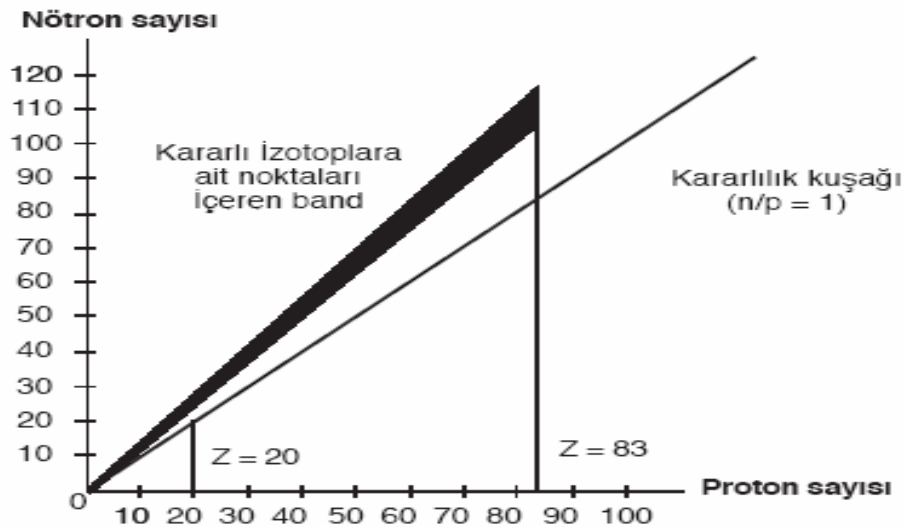
2. TEORİK BİLGİLER

2.1 Çekirdek ve Çekirdek Kararlılığı

Atom çekirdekleri, genel olarak nükleon adı verilen protonlar (p) ve nötronlardan (n) oluşmaktadır. Nükleonlardan oluşan herhangi bir çekirdeğe nükleit adı verilir [7].

Atom çekirdeklerinin, parçalanmaya ve bozunmaya karşı dayanıklılığı “Çekirdek Kararlılığı” olarak tanımlanır. Çekirdek kararlılığında en büyük etken, atom çekirdeklerinin bünyesinde yer alan nötron ve proton sayılarının birbirine oranıdır. Atom kütlesi küçük olan çekirdeklerin kararlı olabilmesi için n/p oranının 1 veya 1'e yakın olması; atom kütlesi büyük olan çekirdeklerin kararlı olabilmesi için n/p oranının yaklaşık 1,5 olması gerekir. Bu durumun nedenlerini, atom çekirdeklerindeki itme ve çekme kuvvetlerinde aramalıyız. Doğal olarak atomların atom numarası arttıkça, proton sayıları artmakta ve protonlar arası itme etkileşimi de buna paralel artmaktadır. Yani, çekirdekte bir arada tutan çekme kuvvetlerine kıyasla itme kuvvetleri gittikçe daha belirgin olmakta ve bir noktadan sonra ön plana geçebilmektedir. Bu durum ise çekirdeklerin kararlılığının azalmasına neden olur [1].

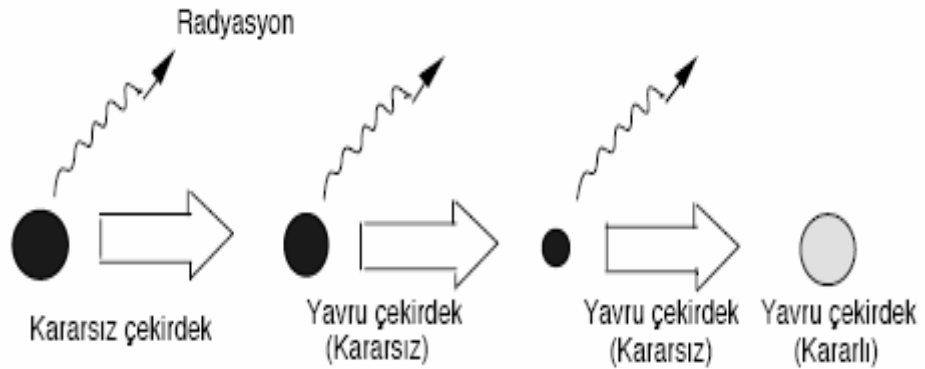
Şekil 2.1.1'de çekirdek kararlılığının n/p oranına bağlılığı verilmiştir.



Şekil 2.1.1: Çekirdek kararlılığının n/p oranına bağlılığı ve kararlılık kuşağı [8].

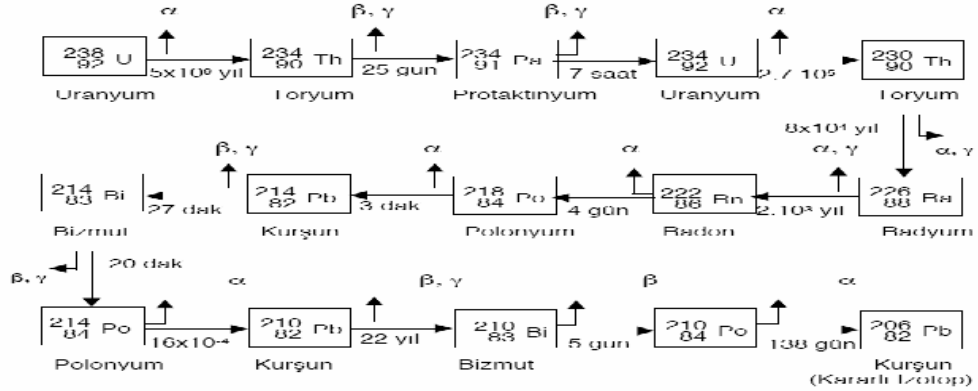
Çekirdek kararlılığını etkileyen etkenlerden bir diğeri de nötron ve proton sayılarının tek veya çift olmasıdır. Tek-çift kuralı olarak bilinen bu kurala göre nötron ve/veya proton sayıları çift olan çekirdeklerin kararlı oldukları saptanmıştır. Çekirdek kararlılığına ilişkin bir diğer ilginç durum ise "sihirli sayılar" olgusudur. Sihirli sayılar kuralına göre nötron ve/veya proton sayıları 2, 8, 20, 50, 82, 126 olan çekirdekler çok kararlıdır. Bu sebeple söz konusu sayılara "sihirli sayılar" adı verilmektedir [1].

Doğada kararlı bir çekirdeğe sahip atom sayısı oldukça azdır. Çekirdeğin kararlı olması, belli sayıda nötrona ve protona sahip olmasına bağlı olduğundan bu sayıların dışına çıkıldığında zamanla çekirdekler kararsız bir yapı kazanırlar. Kararlı hale gelebilmek için parçalanan bu tür çekirdekler, radyoaktif çekirdekler olarak bilinirler. Akr elementlerin çoğu radyoaktif özelliklere sahiptir. Radyoaktif çekirdekler, kararlı bir n/p oranına ulaşmaya kadar "radyoaktif çekirdek bozunması" olarak adlandırılan bir süreçle radyasyon yayarlar. İlk bozunmaya uğrayan radyoaktif çekirdek "ana çekirdek", ana çekirdeğin radyoaktif bozunmaya uğraması sonucu oluşan çekirdek ise "yavru çekirdek" adını alır [1]. Kararsız bir radyoaktif çekirdekten kararlı bir radyoaktif çekirdek oluşumu Şekil 2.1.2'de verilmiştir [1].



Şekil 2.1.2 : Kararsız bir radyoaktif çekirdekten kararlı bir radyoaktif çekirdek oluşumu [1].

Bir radyoaktif ana çekirdekten alfa (α), beta (β) ve gamma (γ) bozunmaları sonucu yavru çekirdekler oluşturulan seriler, "radyoaktif seriler" olarak tanımlanır. Her seri, bozunma zincirini tamamladıktan sonra kararlı bir çekirdek haline dönüşür. Şekil 2.1.3'te ^{238}U radyoaktif serisi gösterilmiştir.

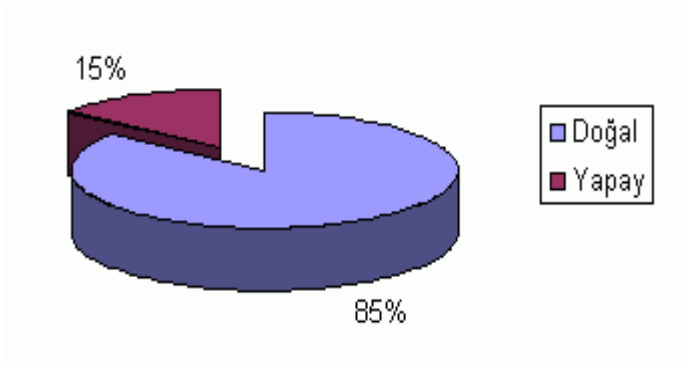


ekil 2.1.3 : ^{238}U radyoaktif serisi [1].

2.2 Radyoaktivite

Radyoaktivite maddenin atomik özelliği olup, bu özellik elementin kimyasal ve fiziksel durumuna bağlıdır. Radyoaktivite, potasyum üranil sülfatın $\text{K}_2\text{UO}_2(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ultraviyole ışık karışığında kendiliğinden fosforesans etkisi göstermesi ile bulunmuştur.

Radyoaktivite, kararsız atom çekirdeklerinin dışardan enerji almadan kendiliğinden parçalanarak, elektromanyetik radyasyonlar yayınlamak suretiyle başka atom çekirdeklerine dönüşmesi olayıdır. Radyoaktivite kaynaklarını yapay ve doğal radyoaktivite kaynakları olarak sınıflandırabiliriz. Bu radyoaktivite türlerinin toplam radyoaktiviteye katkıları ekil 2.2.1’de verilmiştir.



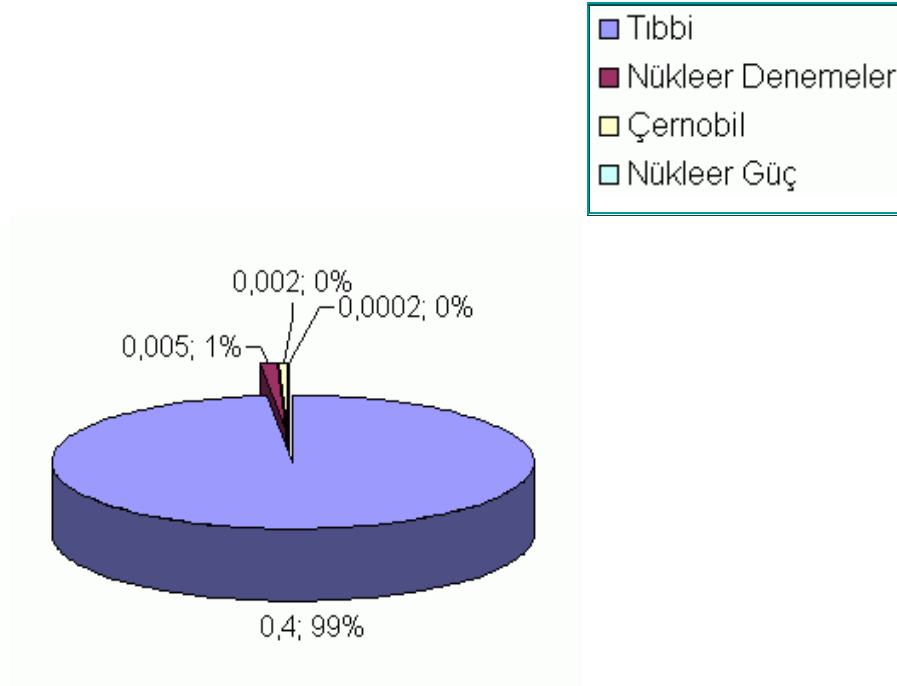
ekil 2.2.1 : Toplam radyoaktivite kaynaklarının yüzdeleri dağılımı [9].

2.2.1 Yapay Radyoaktivite

Nükleer reaktörler veya hızlandırıcılarda üretilen bir radyoizotopun bozunuma uğramasına yapay radyoaktivite denir. Bunlardan önemlileri:

- Nükleer bomba denemelerinden kaynaklanan radyoaktif serpintiler (fallout),
- 1986-Çernobil kazasından türeyen serpintiler,
- Nükleer Reaktörlerin işletilmesi sırasında ortaya çıkan radyoaktif maddeler,
- Tıpta uygulanan iyonlayıcı radyasyon kaynakları,
- Bilim ve teknoloji uygulamalarında kullanılan iyonlayıcı radyasyon kaynakları,
- Az da olsa iyonlayıcı radyasyon yayıyan televizyon gibi aygıtlar,
- Çeşitli aygıtlarda kullanılan radyoaktif kaynaklardır [5].

Yapay radyoaktivite kaynaklarını yüzdelik bir dilimle ifade etmek istersek en çok radyasyona maruz kaldığımız yapay radyasyon kaynağı tıbbi ihtiyaçlarımızı karşılamakta olmaktadır. Yapay radyoaktif kaynakları ekil 2.2.1.1’de gösterilmiştir.



ekil 2.2.1.1 : Yapay radyoaktif kaynakların yüzdelik dağılımı [10].

nsanlar tarafından do al radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan radyasyondan alınan doz miktarı, yapay radyoaktif çekirdeklerden alınan radyasyon doz miktarına oranla daha yüksek olmasına rağmen, insan yapımı radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan radyasyon, yaydıkları radyasyon türü gere i daha fazla endi eye yol açar. Ba lıca yapay radyoaktif çekirdekler ve yaptıkları ı malar Çizelge 2.2.1.1’de verilmi tir.

Çizelge 2.2.1.1: Yapay radyoaktif çekirdekler [11].

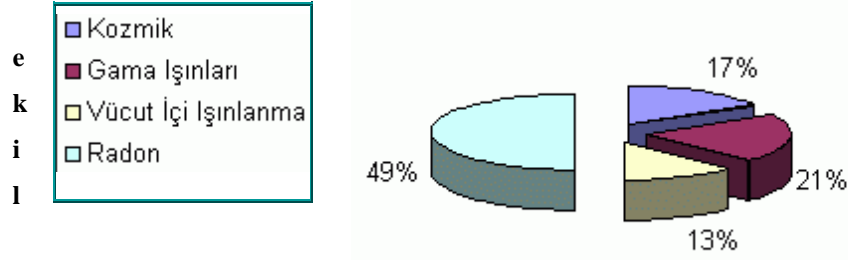
Çekirdek	Yarı ömür	Yaptı ı ı malar
⁶⁰ Co	5,3 yıl	β, γ
⁶⁵ Zn	244 gün	γ
⁹⁰ Sr	29 yıl	β
⁹⁰ Y	64 saat	β
¹²⁵ I	60 gün	X
¹³¹ I	8 gün	β, γ
¹³⁴ Cs	2,1 yıl	β, γ
¹³⁷ Cs	30 yıl	β, γ
¹⁵⁵ Eu	4,96 yıl	β, γ
²³⁸ Pu	87,7 yıl	α
²³⁹ Pu	$2,4 \times 10^2$	α, γ
²⁴⁰ Pu	$6,5 \times 10^3$	α
²⁴¹ Pu	14,4 yıl	β

2.2.2 Do al Radyoaktivite

Do al radyoaktivite, atom çekirde inin kendili inden bozunuma u raması sonucunda ya da ı mılar yayımlayarak ba ka bir çekirde e dönü mesi olarak tanımlanır.

Kayna ı do ada olan radyasyonlar Güne ’ten, Yıldızlardan gelen kozmik ı mılarla, yer kabu unda (ta ta, toprakta, havada, suda, bitkilerde ve tüm canlılarda) bulunan

do al radyoaktif maddelerden yayılan yerel kaynaklı radyasyonlardır [5]. Dünya genelinde do al radyoaktif kaynakların yüzdelik de erleri ekil 2.2.2.1’de verilmi tir.

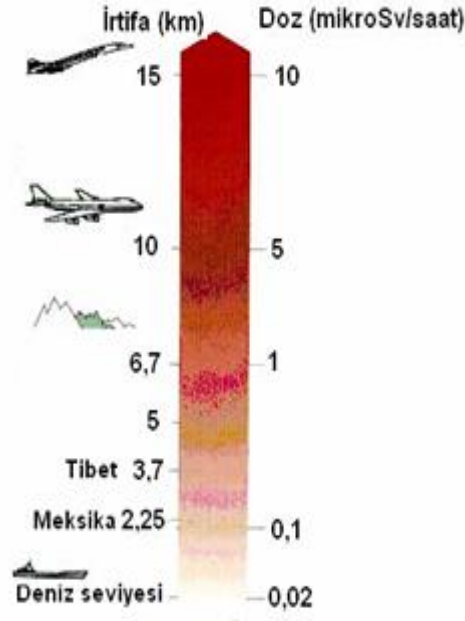


ekil 2.2.2.1: Do al radyoaktif kaynakların yüzdelik de erleri [12].

Dünyamız uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklarla sürekli olarak bombardıman edilmektedir. Yüksek enerjili parçacıkların büyük bir ço unlu u atmosfere ula an protonlardır. Güne in aktif durumuna (güne patlamalarına), yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekli e (irtifa) ba lı olarak kozmik ı nların dozu de i mektedir. Yükseklikle kozmik ı nların yo unlu unun de i imi ekil 2.2.2.2’de verilmi tir.

Protonlar elektrik yüklü parçacıklar olduklarından atmosfere ula tıklarında dünyanın manyetik alanının etkisine girerler. Bu nedenle kozmik ı nın yo unlu u ekvordan kutuplara gidildikçe artar. Böylece, insanların aldı ı radyasyon enlem arttıkça artar. Bu ı nların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalı rken tutulurlar. Yani atmosferimiz kısmi olarak radyasyonu zırhlar. Bu nedenle, deniz seviyesine yakla tıkça kozmik ı nların yo unlu u dolayısıyla doz miktarı da azalır. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) tarafından yapılan hesaplamalara göre, kozmik ı nlardan kaynaklanan yer seviyesindeki yıllık etkin doz enlem ve yükseklikle de i se de $0,4 \text{ mSv}$ civarındadır. Yüksek enerjili kozmik ı nlara ait nötronlar ve protonlar atmosferin alt tabakalarına kadar uzanarak bu bölgelerde de atmosferde bulunan elementlerle etkile erek çe itli radyoizotoplar (trityum, karbon-14, berilyum-7, sodyum-22) olu turabilmektedir. Atmosferik

artlara ba lı olarak yeryüzüne inen bu radyoizotoplar, gerek solunum gerekse de besinler yolu ile iç i nlanmaya neden olurlar. Bu radyoizotoplardan kaynaklanan yıllık tahmini ortalama etkin doz de erleri trityum için 0,01 μSv , berilyum-7 için 0,03 μSv , karbon-14 için 12 μSv ve sodyum-22 için ise 0,15 μSv ' dir.



ekil 2.2.2.2: Kozmik i nlerden alınan radyasyon dozunun yüksekli e göre de i imi [12].

Ayrıca dünyanın olu umundan itibaren yer kabu unda do al olarak bulunan radyoizotoplar, vücudumuzu iki e kilde i nlanmaya maruz bırakırlar. Bunlar dı i nlanma ve iç i nlanmadır.

2.2.2.1 Dı i nlanma

Yeryüzündeki radyoizotopların yaydı i gama i nları nedeniyle tüm vücudumuz dı kaynaklı radyasyona maruz kalır. Özellikle granit gibi volkanik kayalarda, fosfat kayalarda, tortularda yüksek radyoaktivite bulunabilmektedir. Yapı malzemeleri ta ve topraktan üretildikleri için dü ük oranda da olsa radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar konutları dı nda oldu u gibi, bina içinde de radyasyona maruz

kalırlar. Ya anılan bölgenin jeolojik özellikleri yanında, binada kullanılan yapı malzemeleri alınan radyasyon dozunu etkilemektedir.

Gama yayınlayan U-238 ve Th-232 serileri ile K-40 dı kaynaklı radyasyon alanın belirlenebilen üç önemli bile enidir. Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca dü ük konsantrasyonlarda da ılmı tır. U-238 birçok elementin uzun radyoizotop bozunma serisinin ba langıç kayna ı olup, kararlı kur un–206 haline gelinceye kadar bozunur. Olu an ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu (Rn-222) atmosfere da ılır ve bozunmaya devam eder. Toryum da benzer ekilde yeryüzüne da ılmı tır ve Th-232, ba ka bir radyoaktif serinin ba langıç kayna ıdır. Yerkabu unun a ırlık olarak % 2,4’ ünü olu turan K-40’ın aktivite konsantrasyonu genelde, U-238 ve Th-232’ den büyüktür [12].

Radyasyon dozu ya anılan bölgenin jeolojik özelliklerine, binada kullanılan yapı malzemelerine ba lı olarak de i mektedir. Betonarme binalardaki ta ve topraktan üretilen yapı malzemeleri dü ük oranda radyoaktivite içerebilirler. Alınan radyasyon dozu, ah ap yapılara oranla daha fazladır. Çizelge 2.2.2.1.1’de kayalarda radyum, uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan γ radyasyon doz iddetleri verilmektedir [13].

Çizelge 2.2.2.1.1: Kayalarda radyum, uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan γ radyasyon doz iddetleri [13].

Kaya Tipi	Doz iddeti (mSv saat⁻¹)			
	Ra-226	U-238	Th-232	K-40
Volkanik	2.4	2.6	3.7	3.5
Tortul Kayalar				
Kumta ı	1.3	0.7	1.8	1.5
Tabakalı	2.0	0.7	3.1	3.6
Kalkerli	0.7	0.7	0.4	0.4

2.2.2.2  I mlanma

 ı mlanma, yeryüzü kaynaklı do al olarak bulunan radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır. Havada bulunan U-238 ve Th-232 bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan olu an toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Solunum yolu ile i ı mlanmanın en önemli bile enini radon ürünleri olu turmaktadır. Yiyecek ve içeceklerde bulunan K-40, U-238 ve Th-232 serileri, sindirim yolu ile alınan dozun temel kayna ını olu turmaktadır. Do al radyasyon yolu ile alınan ortalama yıllık etkin doz 2,4 mSv civarındadır. Bununla birlikte, bazı ülkelerde bu miktar 10 mSv'ın üzerindedir. Çizelge 2.2.2.2.1'de dünya genelinde do al radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz de erleri verilmi tir [12].

Çizelge 2.2.2.2.1: Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri [12].

Dünya Genelinde Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Ortalama Radyasyon Doz Değerleri		
İnlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
	Ortalama	Değerim Aralığı
KOZMİK RADYASYON		
• Foton bileşeni	0,28	
• Nötron bileşeni	0,10	
KOZMOJENİK RADYAZOTOPLAR	0,01	
Toplam	0,39	0,3 – 1,0 ^(a)
YERYÜZÜ KAYNAKLI DİĞER İNLANMA		
• Bina dışı	0,07	
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	0,3 – 0,6 ^(b)
SOLUNUM YOLU İLE İNLANMA		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
• Radon (Rn-222)	1,15	
• Toron (Rn-220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2 – 10 ^(c)
BESLENME YOLU İLE İNLANMA		
• K-40	0,17	
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2 – 0,8 ^(d)
GENEL TOPLAM	2,4	1 – 10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlı

(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı

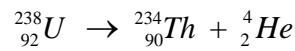
2.2.3 Radyoaktivite Birimleri

Radyoaktif maddenin saniye başına gerçekleştiği bozunma sayısına “Aktivite” denir. Aktivitenin SI birimi Becquerel’dir ve (Bq) ile sembolize edilir. SI öncesi kullanılan birimi Curie’dir ve (Ci) ile sembolize edilir. Bir gram radyum’un saniyede uğradığı bozunma sayısı ($3,7 \times 10^{10}$ bozunma/saniye) Curie olarak tanımlanmıştır [1].

2.2.4 Radyoaktif Maddelerin Yapısal İlişkileri

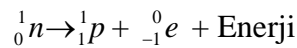
2.2.4.1 Alfa (α) Bozunması

Radyoaktif çekirdeklerin kararlı bir çekirdek yapısına ulaşmak için izlediği yollardan biri α bozunmasıdır. α bozunması, radyoaktif çekirdekten kütle numarası 4, atom numarası 2 olan bir tanecik ayrılması sonucu gerçekleşir. Ayrılan tanecik aslında bir helyum çekirdeğidir. Böylece bir atom çekirdeği α bozunmasına uğradığı zaman kütle numarasında 4 ve atom numarasında 2 eksilme olur. Örneğin uranyum’un en bol bulunan izotopu uranyum-238, α bozunmasına uğradığı zaman toryum-234’e dönüşür.



2.2.4.2 Beta (β) Bozunması

Atom çekirdeğindeki bir nötronun protona dönüşmesi sırasında oluşan elektronun fırlatılması olayıdır. β bozunması yapan atomun atom numarası bir artar, kütle numarası değişmez.



2.2.4.3 Gama (γ) İıması

Yüksek enerjili durumdaki bir atom gama ı ıması yaparak dü ük enerjili hale geçer. Gama ı ıması yapan atomun atom ve kütle numarası de i mez. Gama ı ınları kısa dalga boylu ve yüksek enerjili ($x-1$ ınları benzeri) ı ınlardır.

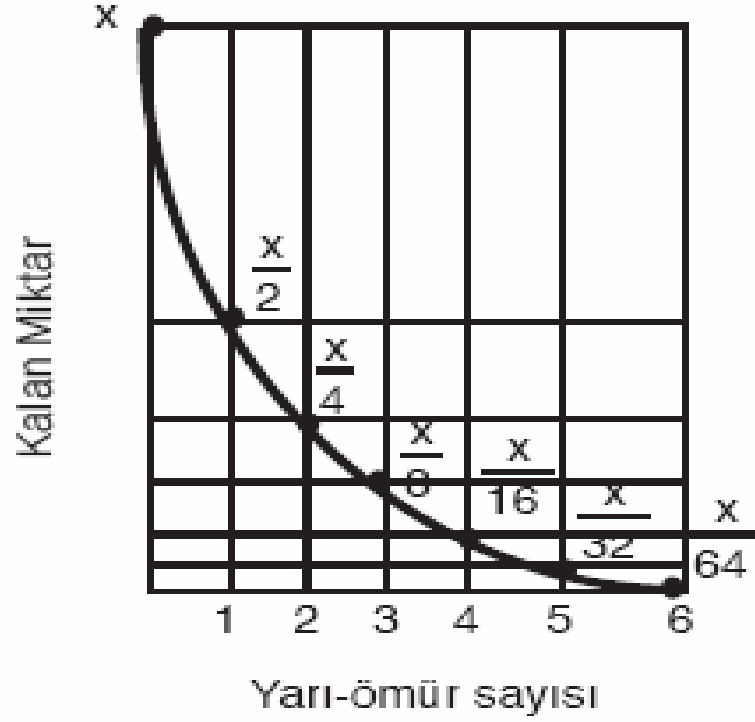
Radyoaktif ı ımaların özellikleri Çizelge 2.2.4.3.1’de verilmi tir.

Çizelge 2.2.4.3.1: Radyoaktif ı ımaların özellikleri [1].

	Yük Kütlesi Gücü	Hız	Giri Gücü	yonla tırma Gücü
Alfa	12	4,001505	%5–10	1
Beta	-1	0,000055	%50–90	100
Gama	0	0	%100	10000

2.2.5 Yarı Ömür

Radyoaktif maddeler, kendilerine özgü bir bozunma hızına sahiptir. Radyoaktif izotopların bozunma hızı “yarı ömür” adı verilen bir sayı ile belirtilir ve “ $t_{1/2}$ ” olarak ifade edilir. Yarı ömür ($t_{1/2}$) radyoaktif ve bozunmaya u rayan bir örnekteki atomların yarısının yok olması için geçen zaman olarak tanımlanır. X gr a ırlı ında radyoaktif bir maddenin yarı ömürleri ile kalan miktarları arasındaki ili ki ekil 2.2.5.1’de verilmi tir.



ekil 2.2.5.1: X gr a ırlı ında radyoaktif bir maddenin yarı-ömürleri ile kalan miktarları arasındaki ilişki [1].

Radyoaktif özelliğe sahip farklı izotoplara ait yarı ömürler ve yayınladıkları radyasyon türleri farklıdır. Bazı izotoplara ilişkin yarı ömür ve radyasyon türleri Çizelge 2.2.5.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.2.5.1: Bazı radyoaktif izotoplara ili kin yarı ömür ve radyasyon türleri [1].

Element	zotop	Yar-Ömür	Verdiği Radyasyon
Hidrojen	${}^3_1\text{H}$	12 yıl	Beta
Karbon	${}^{14}_6\text{C}$	5730 yıl	Beta
Fosfor	${}^{15}_15\text{P}$	14 gün	Beta
Potasyum	${}^{40}_{19}\text{K}$	$1,28 \times 10^9$ yıl	Beta ve gamma
Kobalt	${}^{60}_{27}\text{Co}$	5 yıl	Beta ve gamma
Stronsiyum	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	28 yıl	Beta ve gamma
yot	${}^{131}_{53}\text{I}$	8 gün	Beta ve gamma
Sezyum	${}^{137}_{55}\text{Cs}$	30 yıl	Beta ve gamma
Polonyum	${}^{214}_{84}\text{Po}$	$1,6 \times 10^{-4}$ saniye	Alfa ve gamma
Radyum	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 yıl	Alfa ve gamma
Uranyum	${}^{235}_{92}\text{U}$ ${}^{238}_{92}\text{U}$	$7,1 \times 10^8$ yıl $4,5 \times 10^9$ yıl	Alfa ve gamma Alfa

2.3 Radyasyon

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji emisyonu (yayımı) ya da aktarımıdır. Radyasyon, madde üzerinde meydana getirdiği etkilere göre;

1. yonla tırıcı radyasyon (X-1 inları, gama 1 inları, alfa, beta radyasyonları, kozmik 1 inlar, nötronlar),
2. yonla tırıcı olmayan radyasyon (ultraviyole, kızılötesi, radyo dalgaları, mikrodalgalar) ekinde sınıflandırılır.

Baz istasyonları, cep telefonları, mikrodalga fırınları, radarlar, yüksek gerilim hatları ıyonla tırıcı olmayan radyasyon kaynaklarıdır [14].

Alfa, beta, gama ve kozmik ı nlar canlı dokusuyla temas ettiklerinde, iyon çifti olarak adlandırılan kararsız ve reaktif yüklü tanecikler olurlar. Bu tür radyasyonlara iyonlaştırıcı radyasyon adı verilir. Ayrıca, bu tür radyasyonlar canlı dokudaki moleküllere çok yüksek enerji transfer ederek "Serbest Radikal" olarak adlandırılan yüksek enerjili yüksüz taneciklerin oluşumuna neden olurlar. İyonlar ve oluşan serbest radikaller birbirleriyle veya diğer moleküllerle etkileşerek hücrede yabancı yeni maddelerin oluşumuna yolculuyla canlı yapısına zarar verici yeni reaksiyonların başlamasına neden olurlar [1].

İnsan vücudundaki tek bir hücre üzerine bir an için göz atıldığında iyonlaştırıcı radyasyonun büyük zarar veren iki etkisi görülür. Birincisi "direkt etki" ile sebep olabildiği zarardır. İyonlaştırıcı radyasyon, önemli bir biyolojik moleküle direkt isabet ettiğinde molekülün biyolojik olarak yararlı olmayan parçalara ayrılmasına neden olabilir. Örneğin "DNA" canlılar için hayati önem taşıyan bir moleküldür. Bu molekül ikiye ayrılarak çoğalan bir yapıya sahiptir. Eğer DNA bütünüyle harap olursa, bölünme yapamaz ve hücre ölür. Birden fazla hücrede bu durum gerçekleştiğinde ise, doku ölür. Doğal olarak bu durum, organizmanın erken ölümüne neden olur.

Öte yandan eğer bir tek DNA molekülü zarar görürse, hücre o durumda anormal bir bölünme yapar, yani hücrelerdeki DNA de iştir. Böyle hücreler "de iştir hücreler" olarak bilinir. De iştir bir hücre de iştir DNA'lara sahiptir ki, bunlar insan vücudunda uzun süre kontrol edilir. Ancak hücre büyümeye başlar ve kontrolsüz parçalanırsa, normal hücreleri harap eder. Bu şekilde davranan hücrelere "habis ur" veya "kanser" adı verilir. Görülüyor ki, iyonlaştırıcı radyasyonlar genetik bozukluklar ve kanser dahil sayılabilecek kadar zararlı birçok etkiye sahiptir. Biyolojik önem taşıyan moleküller üzerine iyonlaştırıcı radyasyonun direkt etkisi, hücreye zarar veren tek yol değildir. İyonlaştırıcı radyasyon "indirekt etki" ile de zarara sebep olabilir.

Hayvan hücrelerinin yaklaşık % 80'i sudur ve iyonlaştırıcı radyasyon su moleküllerine etki ederek, canlı hücrede negatif ve pozitif iyonlar veya yüksek

enerjili radikaller olu tururlar. Bu tür serbest radikaller suyu parçalayabilirler ve zararlı bir kimyasal madde olan hidrojen peroksit (H₂O₂) olu umuna neden olurlar. Hidrojen peroksit yüksek toksik etkisi olan bir maddedir. Bu sebeple hidrojen peroksit zehirlenmesine neden olabilmektedir. Serbest radikaller, oksijen ile reaksiyona girerek, hücre içinde, hidrojen peroksitten daha sakıncalı olan yeni peroksi radikallerin olu umuna neden olurlar [1].

2.3.1 Radyasyon Birimleri

Radyasyon birimi, normal hava ko ullarında (0 °C, 1 atmosfer basınç altında) havanın 1kg'ında 1Coulomb pozitif veya negatif elektrik yük ta ıyan iyonlar meydana getiren x- 1 ını veya gama radyasyon miktarına denir [1].

$$1\text{coulomb/kg}=3875 \text{ Röntgen}, 1\text{Röntgen}=2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

Ortamda depolanan enerjinin bir ölçüsü olan so rulma biriminin eski birimi rad (Radiation Absorbed Dose), SI birimi Gray (Gy)'dir. Herhangi bir maddenin kg ba na bir joule'lük enerji so urması meydana getiren iyonla tırıcı radyasyon dozudur [1].

$$1\text{Rad}=100\text{erg/gr} = 0,01 \text{ Joule/kg}, 1\text{Gray}=100\text{Rad} = 1 \text{ Joule/kg}$$

Radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanan e de er doz birimi, doku veya organlarda, birim kütlede so urulan enerji miktarı ile orantılı bir de erdir. Vücut için e de er doz olarak tanımlanır. SI öncesi birimi Rem (Radiation Equivalent for Man)'dir. SI birim sisteminde e de er doz birimi Sievert (Sv)'dir [1].

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

Vücutun bütün olarak ı nlanması durumunda çe itli organ veya dokuların maruz kaldıkları e de er dozların toplamı olup birimi Sv'dir [1]. Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) maksimum izin verilen doz miktarını

(Tolerans Dozu) 0,3 Rem/Hafta olarak sınırlanmıştır. İnsanlarda yaklaşık 300 Rem civarında veya üstünde bir doz “öldürücü etki” gösterir.

2.4 Yapı Malzemelerindeki Radyoaktivite

Bütün yapı malzemeleri düşük miktarlarda radyoaktif maddelerin küçük miktarlarını içerir. Kaya ve topraktan üretilen malzemeler U-238, Th-232 ve bunların bozunum ürünleri ile K-40 radyoaktif izotoplarını içeren doğal radyonüklitleri içerir [15]. Yapı malzemeleri taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda da olsa radyoaktivite içerebilirler. Bazı endüstriyel yan ürünler de radyoaktif atıklardan kaynaklanan radyonüklitleri içerebilir [14]. Yapı malzemeleri insanların doğal radyasyona maruz kalmasına iki şekilde katkıda bulunur. İki, potasyum-40, uranyum-238 ve toryum-232 den yayılan gama radyasyonu ve bunların bozunum ürünleridir. İkinci bina içinde radon bozunum ürünlerinin birikmesi ve insan solunum sistemi yoluyla solunmasıdır. Yapı malzemelerindeki doğal radyonüklitlerin konsantrasyonunun belirlenmesi, insanlar zamanlarının %80’ini bina içinde geçirdiğinden dolayı önemlidir. Bina içi yüksek doz oranlar, yapı malzemelerinde doğal olarak var olan radyonüklitlerin yüksek aktivite konsantrasyonlarından kaynaklanır [6]. Dolayısıyla ya anılan bölgenin jeolojik özellikleri yanında, binada kullanılan yapı malzemeleri de radyasyon dozunu etkilemektedir. Yapı malzemelerinin ana maddesi olan toprakta bulunan doğal radyonüklitler ve yapı malzemesi olarak kullanılan kum, çimento, tuğla vb. malzemelerde bulunan Uranyum, Toryum ve Potasyumun tahmini konsantrasyonları sırasıyla Çizelge 2.4.1’de ve Çizelge 2.4.2’de verilmiştir [12].

Çizelge 2.4.1: Toprakta bulunan doğal radyonüklitler [12].

Toprakta Bulunan Doğal Radyonüklitler(UNSCEAR-2000)				
Radyonüklit Konsantrasyonu (Bq /kg)				
	K-40	U-238	Ra -226	Th -232
Değişim Aralığı	140-850	16-110	17-60	11-64
Ortalama	400	35	35	45

Çizelge 2.4.2: İnşaat malzemelerindeki tahmini ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K konsantrasyonları [15].

Malzeme	Uranyum		Toryum		Potasyum	
	ppm	mBq/g	ppm	mBq/g	ppm	mBq/gr
Granit	4,7	63	2	8	4	1184
Kum	0,45	6	1,7	7	1,4	414
Çimento	3,4	46	5,1	21	0,8	237
Kireç Beton	2,3	31	2,1	8,5	0,3	89
Kum Beton	0,8	11	2,1	8,5	1,3	385
Kuru Duvar Kaplaması	1	14	3	12	0,3	89
Yapay Alçı	13,7	186	16,1	66	0,02	5,9
Doğal Alçı	1,1	15	1,8	7,4	0,5	148
Ahşap					11,3	3330
Tuğla	8,2	111	10,8	44	2,3	666

2.4.1 Etkileme Düzeyleri

Yapı malzemeleri ve kül için konulan etkileme düzeylerinin amacı bu malzemelerden kaynaklanan radyasyona maruz kalmayı sınırlamaktır. Etkileme düzeyi, malzemenin kendi gama radyasyonları veya topraktaki radyoaktif

nüklitlerden kaynaklanan etkin dozun a ırılı ı anlamına gelir. Kullanılan malzemelerdeki radyoaktivitenin etkileme düzeyinden daha büyük dozlara sebep olaca ı üphesi varsa malzeme yapı malzemesi olarak kullanılmamalıdır [16].

Ev yapımında kullanılan yapı malzemelerinin sebep oldu u gama radyasyonundan kaynaklanan kamudaki radyasyon dozu için etkileme düzeyi yıl ba ına 1mSv'dir. Bina içi havanın radon konsantrasyonu toprak, çakıl ve yapı malzemelerinden kaynaklanan radon miktarına ve sudan yayılan radona ba lıdır. Yapı malzemelerinin sebep oldu u gama radyasyonundan kaynaklanan etkileme düzeyi yıllık 1mSv ile sınırlandırıldı ında, yapı malzemelerinde bina için salınan radon konsantrasyonunun referans düzeyini a ması olası de ildir [16].

Yol, sokak ve ba lantılı binalarda kullanılan malzemeler ile bahçe düzenlemede kullanılan malzemelerin sebep oldu u gama radyasyonundan kaynaklanan kamudaki radyasyon dozu için etkileme düzeyi yıllık 0,1mSv'dir. Külün kullanımı sonucu bir ki inin radyasyon dozu için etkileme düzeyi yıllık 1mSv'dir [16].

2.4.2 Aktivite ndisleri

Aktivite indisleri, etkileme düzeyinin a ılıp a ılmaması durumunu belirlemek için kullanılır ve malzemenin aktivite konsantrasyonu ölçümlerinden hesaplanır. Aktivite indisi, uranyum bozunma serisinde radyum'un (^{226}Ra), toryum bozunma serisinde toryum'un (^{232}Th), atıklardan potasyum (^{40}K) ve sezyum'un (^{137}Cs) aktivite konsantrasyonları bazında hesaplanır. Di er nüklitler özel durumlarda göz önüne alınabilir. E er aktivite indisi 1 veya 1'den dü ükse malzeme herhangi bir sınırlama olmaksızın kullanılabilir.

2.4.2.1 Ev Yapımında Kullanılan Malzemeler için Aktivite ndisi

Ev yapımında kullanılan malzemeler için aktivite indisi a a ıdaki formüle göre hesaplanır.

$$I_{\gamma} = \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_K}{3000}$$

Burada C_{Th} , C_{Ra} , C_K son ürünlerdeki ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K 'un aktivite konsantrasyonlarıdır ve Bq/kg olarak ifade edilmektedir.

Ev yapımında kullanılan malzemeler için aktivite indisinin bu tanımı, standart bir odadaki ^{232}Th 'un 200Bq/kg, ^{226}Ra 'un 300Bq/kg ve ^{40}K 'un 3000Bq/kg kadar bulunduğunun tahminine dayanır. I_{γ} aktivite indisi bina altında ve yakınında kullanılan dolgu malzemeleri için de kullanılır. Eğer aktivite indisi 1 veya 1'den küçükse malzeme hiçbir sınırlama olmaksızın yapı malzemesi olarak kullanılabilir.

Ev yapımında yüzeysel veya diğer malzemelerin sınırlı kullanımı (ince duvar veya zemin döşemesi) durumunda aktivite indisi I_{γ} , 6 veya 6'dan düşük olmalıdır [16].

2.4.2.2 Yol, Sokak ve Balantılı Yollarında Kullanılan Malzemeler için Aktivite Indisi

Yol, sokak ve balantılı yollarında kullanılan malzemeler için aktivite indisi aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$I_{\gamma} = \frac{C_{Th}}{500} + \frac{C_{Ra}}{700} + \frac{C_K}{8000} + \frac{C_{Cs}}{2000}$$

Burada C_{Th} , C_{Ra} , C_K ve C_{Cs} malzemedeki ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs 'un aktivite konsantrasyonlarıdır ve Bq/kg olarak ifade edilmektedir. Eğer aktivite indisi 1 veya 1'den düşükse malzeme herhangi bir sınırlama olmaksızın kullanılabilir. Malzemelerin sınırlı kullanılması (örneğin kaldırım taşı) durumunda aktivite indisi 1,5 veya 1,5'den az olmalıdır [16].

2.4.2.3 Dolgu ve Bahçe Düzenlenmesinde Kullanılan Malzemeler için Aktivite İndisi

Dolgu ve bahçe düzenlenmesinde kullanılan malzemeler için aktivite indisi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$I_{\gamma} = \frac{C_{Th}}{1500} + \frac{C_{Ra}}{2000} + \frac{C_K}{20000} + \frac{C_{cs}}{5000}$$

Burada C_{Th} , C_{Ra} , C_K ve C_{Cs} malzemedeki ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs 'un aktivite konsantrasyonlarıdır ve Bq/kg olarak ifade edilmiştir. Aktivite indisi 1 veya 1'den düşük ise malzeme herhangi bir sınırlama olmaksızın kullanılabilir [16].

2.4.2.4 Külün Kullanımı için Aktivite İndisi

Külün kullanımı için aktivite indisi aşağıdaki formül kullanılarak belirlenir.

$$I_{\gamma} = \frac{C_{Th}}{3000} + \frac{C_{Ra}}{4000} + \frac{C_K}{50000} + \frac{C_{cs}}{10000}$$

Burada C_{Th} , C_{Ra} , C_K ve C_{Cs} kuru küldeki ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs 'un aktivite konsantrasyonlarıdır ve Bq/kg olarak ifade edilmektedir. Aktivite indisi 1 veya 1'den düşükse külün kullanılmasında hiçbir sınırlama yoktur [15].

2.4.3 Yapı Malzemelerinde Radon Gazının Varlığı

Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni radondur. Radon ^{238}U 'ün radyoaktif bozunmasından oluşur, 1600 yıl yarı ömürlü ^{226}Ra 'dan oluşur. Radon uranyum serisindeki tek radyoaktif gazdır. Uranyum tüm kaya ve topraklarda

bulundu undan yapı malzemeleri, evlerde kullanılan sular ve do algaz ev içi radon kaynakları arasındadır. Evlerimizin yapıldı ı arazide bulunan do al uranyumun miktarı ve uranyumdan olu an radonun ev tabanında bulunan aralıklardan eve sızması, yeni yapılan evlerde betonun yaydı ı radon gazı, evdeki yapı malzemesinden kaynaklanan radonun havaya karı ması radon gazına maruz kalma halini etkileyen önemli etkenlerdir. Özellikle so uk havalarda evlerin ısıtılması sonucu evdeki basınç az ve dı arıdaki basınç fazla olur. Bu nedenle içerdeki radon oranı yükselir. Aynı durum rüzgârlı havalar için de geçerli oldu u için radon oranı içerde artar. Radon gazının havadaki miktarı bölgeden bölgeye ve ülkeden ülkeye göre de i im gösterir [17]. Çizelge 2.4.3.1’de çe itli ülkelerde ve uluslararası kurulu lar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için radon konsantrasyonları verilmektedir [3].

Çizelge 2.4.3.1: Radon konsantrasyon limitleri(Bq/m³) [3].

A.B.D	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	ngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	rlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	sveç	200	AB*	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP**	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO***	100

*Avrupa Birli i

**Uluslar arası Radyasyon Korunma Komitesi

***Dünya Sa lık Örgütü

Radonun aktivitesi zayıftır. Bu nedenle solundu unda dokulara kimyasal olarak ba lanmaz. Ayrıca dokulardaki çözünürlü ü çok dü üktür. Radon gazının solunması, solunum yetmezli i, ba a rısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Radyoaktif bozunmaya u rayan radon gazı solundu unda akci erler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönü ür [12].

Uranyum-radyum serisinden radon (^{222}Rn) ve toryum serisinden toron (^{220}Rn) alfa radyasyonu yayınlayan radyonüklitlerdir.

^{220}Rn , yarılanma süresinin (55,6 s) çok kısa ve deri iminin çok düşük olması nedeniyle radyolojik değerlendirilmelerde dikkate alınmaz.

Ev ve işyeri binalarında kullanılan yapı malzemelerinden kaynaklanan ve solunum yolu ile vücuda giren ^{222}Rn ile kısa ömürlü bozunum ürünlerinin yayınladığı α ve β radyasyonları, içi ınlanmaya neden olur. Avrupa komisyonu tarafından 1990 yılında yayınlanan tavsiye kararında yapı içi radon deri im sınırı, eski binalar için 400 Bq/m^3 ve yeni binalar için 200 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir [18].

Bugüne kadar ^{222}Rn gazının solunmasının neden olduğu ilave alfa radyasyonun değerlendirilmesi ile ilgili olarak I_α indisi türetilmiştir [19,20]. I_α indisi aşağıdaki şekilde kullanılarak hesaplanır.

$$I_\alpha = \frac{C_{\text{Ra}}}{200 \text{ Bq.kg}^{-1}}$$

Burada, C_{Ra} , yapı malzemelerindeki ^{226}Ra 'nın Bq.kg^{-1} cinsinden aktivite deri imidir. $I_\alpha > 1$ olduğu durumlarda ev içi ^{222}Rn aktivite deri imi sınırı olan 200 Bq.m^{-3} 'ün aşılması olasıdır.

2.4.3.1 Binalarda Radon Girişleri

Binaların içine radon girişinin olası yolları maddeler halinde aşağıda verilmektedir.

- 1) Zemindeki çatlaklar,
- 2) Yapı bağlantı noktaları,
- 3) Duvar çatlakları,
- 4) Asma kat boşlukları,
- 5) Tesisat boru boşlukları,
- 6) Duvar arası boşlukları,
- 7) İçme suyu [12].

2.4.3.2 Binalardaki Radon Konsantrasyonunu Belirleyen Etkenler

Binalardaki radon konsantrasyonlarını belirleyen ana etkenler aşağıda verilmektedir.

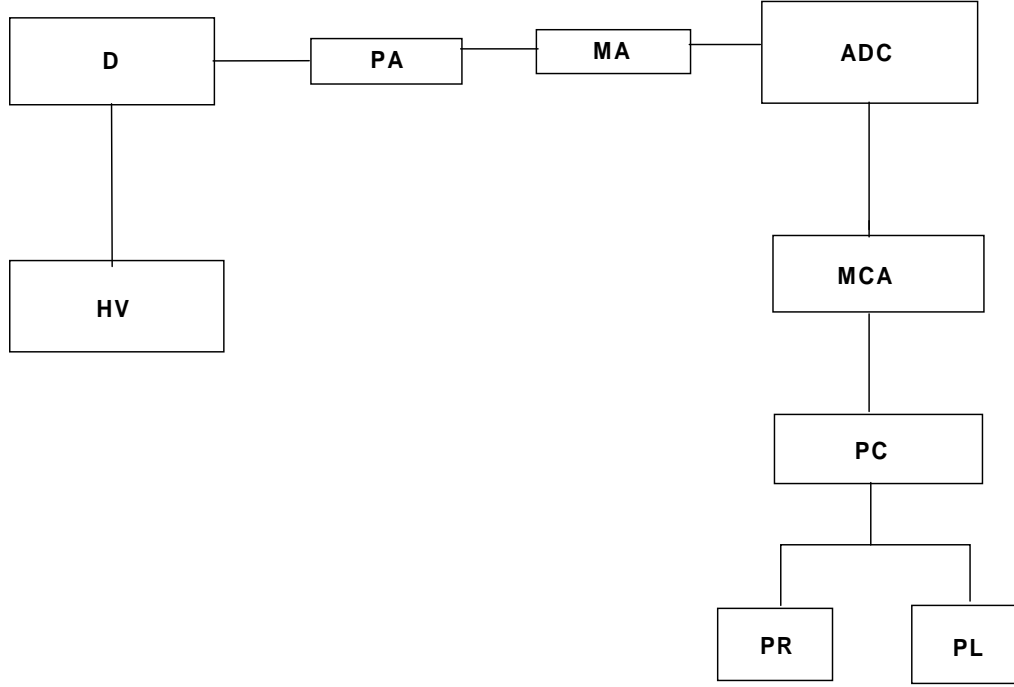
- 1- Topraktaki ve yapı malzemelerindeki ^{226}Ra miktarı,
- 2- Toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı,
- 3- Toprak ve yapı malzemelerinde yayılma(difüzyon) potansiyeli,
- 4- Toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve yalıtım niteliği,
- 5- Bina zemini,
- 6- Binadaki havalandırma kapasitesi,
- 7- İklim koşulları,
- 8- İçerideki hava sıcaklık ve basınç farkı [12].

2.5. Deneysel Yöntemler ve Metotlar

Çevresel örneklerdeki doğal radyoaktif serilere ait alfa yayımlayıcı radyonüklitlerin belirlenmesi için bir çok radyoanalitik yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları; 1) gama spektrometresi ile doğrudan gama ışınının ölçülmesi [21], 2) kimyasal ayırma işleminden sonra gama spektrometresi ile gama ışınlarının ölçülmesi [22], 3) alfa spektrometresi ile alfa ışınlarının ölçülmesi [23], 4) sıvı sintilasyon sayımı [24] ve 5) orantılı sayaçlar ile α - β toplam sayımı gibi tekniklerdir [24].

2.5.1 Gama Spektrometrik Analizler

Tipik bir gama spektrometre sistemi, şekil 2.5.1'de görüldüğü gibi NaI(Tl) gibi sintilasyon veya Ge(Li) ve HPGe gibi yarı iletken dedektör (D), beraberinde ön-yükseltici (PA) ve yüksek voltaj filtresi ile, güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), örnek-sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar (PC) yazıcısından oluşur. Gama ışınlarının dedektör kristalinde algılanması sonucu ortaya çıkan darbeler dedektörün bağlı olduğu elektronik modüllerin uygun bir kombinasyonu yardımıyla analiz edilir ve gama ışını yayan izotopların nitel ve nicel tanımlanması yapılır. Gama spektrometresi, çeşitli radyoaktif örneklerdeki radyoizotopların tanımlanmasında en çok kullanılan tekniktir. Çünkü gama ışınlarının enerjisi her bir çekirdek için kesikli ve karakteristiktir. Gama spektrometresinin bazı üstünlükleri şöyle özetlenebilir; aynı örnekte farklı radyoaktif çekirdekler tek tek ve aynı anda analiz edilebilir. Malzemenin, emek ve zaman kaybına neden olan kimyasal ayırma işlemleri gerektirmeden hazırlanması kolay ve hızlıdır. Ölçümlerdeki yüksek kararlılık, bilgi işlemdeki doğruluk ve analiz edilen bilgilerin güvenilirlik düzeyleri yüksektir. Bu tez çalışmasında yapılan deneylerde gama spektrometrik ölçümlerde HPGe dedektörü kullanılmıştır. Bu dedektör CANBERRA firmasının bir ürünüdür.



ekil 2.5.1: HPGe dedektörlü gama spektrometrik sisteminematik gösterimi. [22].

2.5.1.1 Çok Kanallı Analizör Sistemi

Çok kanallı analizör; yükseltici çıkış sinyalleri çok kanallı bir darbe yüksekli analizörü (MCA) ile analiz edilir. MCA'yı çalıştıracak bilgisayar ba lantısı ve yazılım programının bulunması gerekmektedir.

Sayısal-örneksel dönü türücü: Bir MCA'nın kalbi elektrik darbesini sayısal niteli e dönü türen sayısal-örnek dönü türücü, ADC (Analog to Digital Converter) birimi olup darbe yüksekli inin analog büyüklü ünü (volt), kanal ba na dü en sayısal niceli e dönü türür.

Kaydedici: MCA'dan veya MCA ba lantılı bilgisayardan alınan bilgilerin kaydedilmesi için yazıcı veya grafik çizici kullanılır.

Yapı malzemesindeki radyoaktivite de erlerinin belirlenmesi süresince gama spektrometrik analizleri, etrafı kur unla zırhlanmı yüksek ayırma gücündeki germanyum dedektörü ile buna ba lı çok kanallı analizör ve ilgili elektronik

birimlerden oluşmuş bir gama ölçüm sisteminde yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler uygun yazılım programlı bilgisayar sistemi ile otomatik olarak yapılır.

Dedektör sistemi: HPGe dikey eksenli, 30 litrelik sıvı azot kabına monte edilmiş, dedektör üzerine kalibrasyona uygun şekilde bir adet hazırlanmış numune kabı ve 40 cm iç boşluk bırakılmış şekilde kurulum zırhlama yapılmıştır.

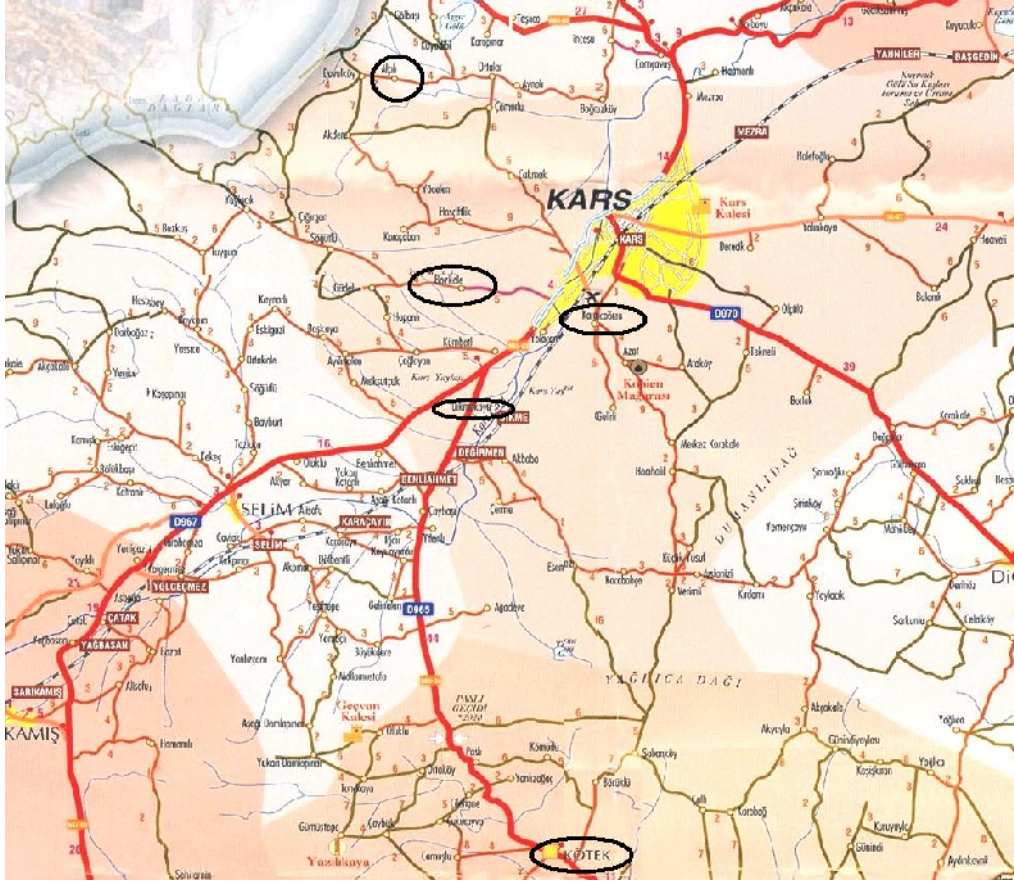
Bu yöntemde, 40 keV enerji aralığında gama yayıyan radyoizotoplar herhangi bir ön işlem uygulamaksızın, genellikle örnek matrisinden (hava, su, toprak, sediment, bitki, bitkisel ve hayvansal gıdalar vb. gibi birçok çevresel ve biyolojik örnek) ayrılmalarına gerek kalmaksızın doğrudan gama spektrometresi ile tayin edilir.

Örnek sayım geometrisi, analiz edilecek örneğin fiziksel durumuna, miktarına, aktivitesine ve tayin sınırına bağlı olarak çeşitli ölçüm kapları, Marinelli kapları veya değişik çap ve kalınlıkla preslenmiş diskler olabilir. Örnekler, kurulum zırh ile çevrili odacıkta, belirli bir sayım geometrisinde, sayım verimini arttırmak amacıyla dedektöre olabildiğince yakın konumda sayılır. Sayım süresince; ölçüm sisteminde doğal yüzey sayımına, örneğin aktivitesine, ilgilenilen radyoizotopa ve istenilen tayin duyarlılığına bağlıdır. Kullanılan geometri için dedektörün sayım verimi, örnek yoğunluğu ve enerjisinin fonksiyonu olarak bulunmalıdır. Gama enerjisi ile sayım veriminin değişimine ilişkin bilgiler ve doğal yüzey spektrumlarının da hazır olması gereklidir. Cs-137 ve Co-60 gibi radyoaktif standartlar kullanılarak spektrometrenin kalibrasyonu belirli aralıklarla yapılır.

2.5.1.2 Yapı Malzemeleri Örneklerinin Ölçüm için Hazırlanması

Bu çalışmada Kars merkez ilçeye bağlı Bozkale, Karacaören, Dikme, Alçılı, Kaızman ilçesi Kötek köylerinden alınan ve çimento ham maddesi olarak kullanılan Kalker (Karacaören Köyü), Kil (Bozkale Köyü), Tras (Dikme Köyü), Alçı Taşı (Alçılı Köyü), Demir Cevheri (Kötek Köyü), piyasadan alınan kireç ve dört farklı çimento örneklerinin radyoaktiviteleri ölçülmüştür.

Numunelerin alındığı bölgeler ekil 2.5.1.2.1’de Kars ili haritası üzerinde gösterilmiştir.



ekil 2.5.1.2.1: Kars ili haritası.

Alınan örnekler ötüme makinelerinde ötümlü 0,5 µm’lik eleklerden geçirilerek açık havada bir hafta bekletildikten ve etüvde 100°C’de kurutulduktan sonra yaklaşık 1,5 Litrelik Marinelli kaplara yerleştirildi. ^{238}U ’un, bozunum zincirindeki uzak ürün radyonüklitleri ^{214}Pb , ^{214}Bi vb. ile kalıcı (seküler) dengede olması gerekmektedir. Bunun için ^{226}Ra ’un ürün çekirdeği olan ^{222}Rn asal gazının, özellikle kazılardan dolayı, yapı malzemelerinde kullanılan kum, çakıl, çimento vb. çevresel örneklerde kaçma olasılığı çok yüksek olduğundan, ^{226}Ra (1620 yıl)’un, kendisine göre yarılanma süresi çok kısa olan ^{222}Rn (3,8 gün) ile kalıcı dengede olması gerekir.

Analiz edilecek çevresel örnekler, bu kalıcı dengenin sağlanabilmesi için sızdırmaz Marinelli kaplar içinde 4 hafta bekletildi.



ekil 2.5.2.2: Numune saklama kapları.

Bekletilen yapı malzemesi örneklerindeki ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları yüksek çözünürlüklü gama spektrometre sistemi ile ölçüldü.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Gama Spektrometresinin Enerji Kalibrasyonu

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumların analiz edilmesi için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir.

Enerji kalibrasyonu yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşan standart kaynaklara ihtiyaç vardır. Çizelge 3.1.1’de genel olarak kalibrasyon için kullanılan standart kaynaklara ait bilgiler verilmektedir. Enerji kalibrasyonu için dedektörün önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek hangi kanallara geldiği tespit edilir.

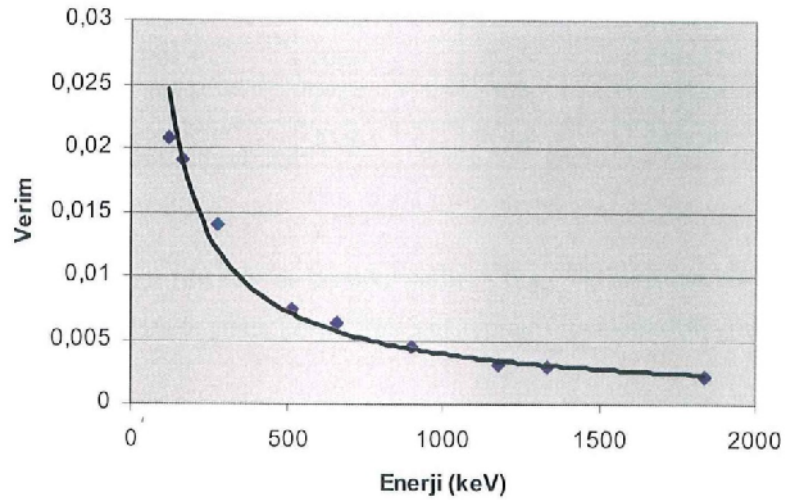
Çizelge 3.1: Standart kalibrasyon kaynağının özellikleri.

Radyonüklit	Enerji (keV)
^{109}Cd	88,03
^{57}Co	122,1
^{139}Ce	165,9
^{203}Hg	279,2
^{113}Sn	391,7
^{84}Sr	514,0
^{137}Cs	661,6
^{88}Y	898,0
^{60}Co	1173
^{60}Co	1333
^{88}Y	1836

3.2 Gama Spektrometresinin Verim Kalibrasyonu

Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Dedektörün saydı ı gama sayımlarının gerçek de erini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Verim tayini için genelde standart kaynaklar kullanılır. Kayna ın ekli farklı oldu unda, kaynak homojen olarak foton yayımlayamayaca ından bu durum dedektörün verimini etkiler. Bunun için kayna ın en çok foton yaydı ı bölgeyi dedektörün merkezine gelecek ekilde yerle tirilmesi ve sabitle tirilmesi gerekmektedir.

Bir dedektörün herhangi bir enerjideki verimi, dedektörden sabit uzaklıkta bulunan standart kaynaktan birim zamanda dedektöre gelen ve sayılan fotonların sayısını bilmekle tayin edilir. Bu çalı mada kullanılan HPGe dedektörünün enerji dedeksiyon verimi 80 keV ile 100 keV arasında maksimum de ere sahiptir. Bu enerjilerin altında ve üstünde verim azalır. Ölçümlerde kullandı ımız dedektörün enerji-verim e risi ekil 3.2'de gösterilmektedir.



ekil 3.2: HPGe dedektörünün enerji-verim e risi.

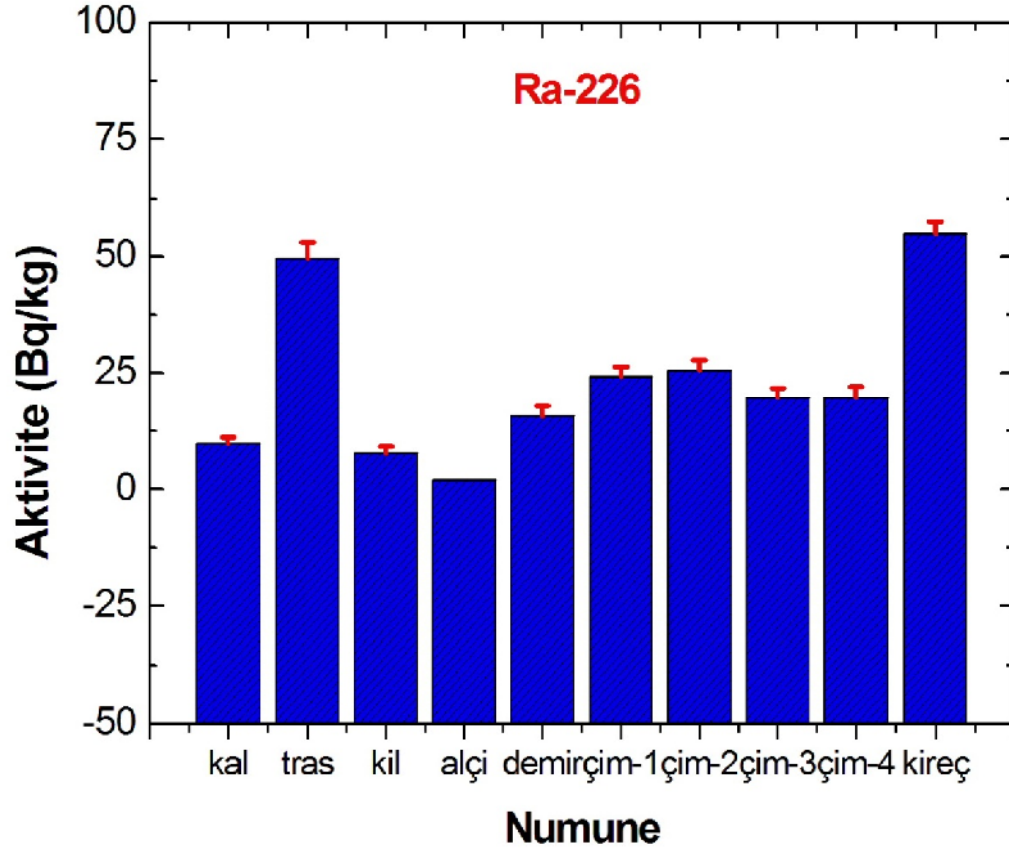
4. BULGULAR

Ö ütülep kurutulduktan sonra sızdırmaz marinelli kaplara konularak ölçümler için uygun bir süre bekletilen yapı malzemesi örnekleri bu süreç sonunda gama spektrometresi cihazına konularak ortalama 50.000 saniye sayımı tır. Sayım i lemi her radyoizotopun yayınlandı 1 fotoelektrik pik enerjisine göre kalibre edilmi enerji aralı nda gerçekte tirilmi tir. Yapı malzemeleri örneklerinin kurutma sırasında olu an radyoaktivite kayıpları, ihmal edilecek düzeyde küçük olmaları nedeniyle, hesaplamalara dahil edilmemi tir. ncelemeler sonucunda elde edilen aktivite deri imleri, Çizelge 4.1’de verilmi tir.

Çizelge 4.1: Kars ili yapı malzemesi örneklerinde bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite deri imleri (Bq/kg).

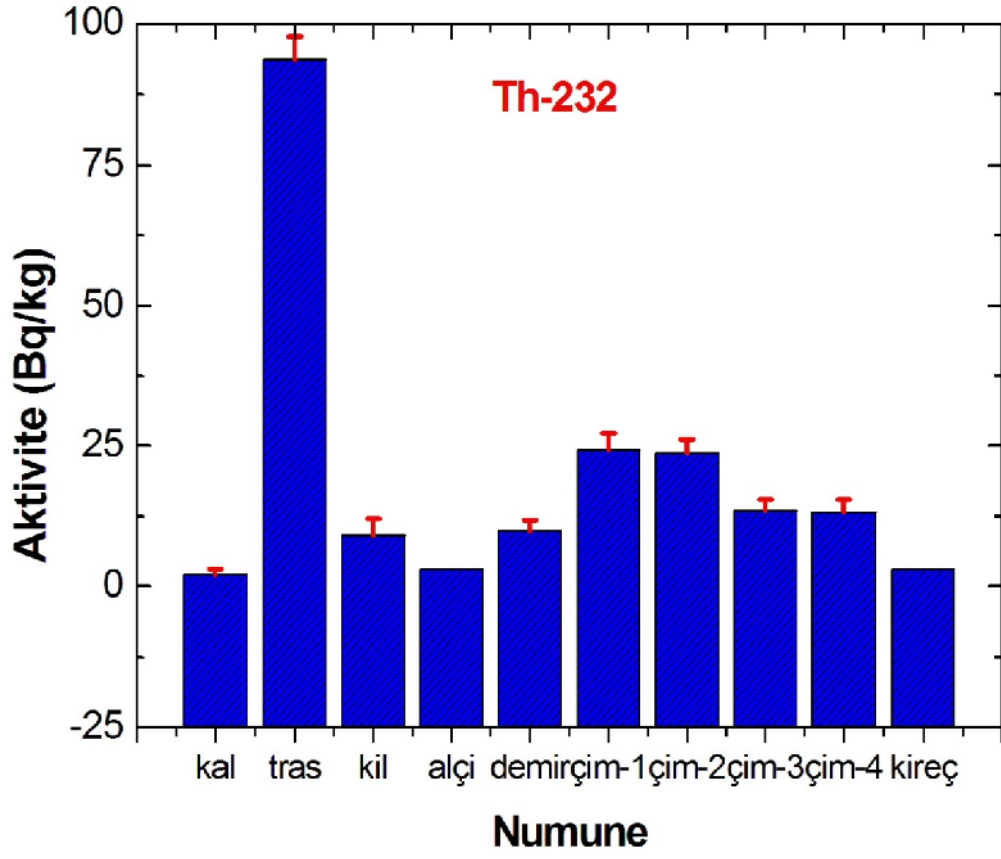
Örnek Adı	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
Çimento 1	24,3±2,9	24,2±2,9	302±24	2,2
Çimento 2	25,5±2,4	23,6±2,4	295±21	2
Çimento 3	19,6±2,1	13,4±2	197±17	1,6
Çimento4	19,7±2,4	13,1±2,4	227±20	2
Alçı Ta 1	2	3	47,3±9,9	1,3
Demir Cevheri	15,7±2,2	9,8±2	143±17	-
Kalker	9,8±1,3	2,11±0,9	27,5±5	0,8
Kil	7,6±1,5	9±3,1	395±22	1,5
Tras	49,6±3,4	93,7±4	1005±41	2,5
Kireç	54,9±2,6	3	14,1±6,7	1,6

^{226}Ra 'nın 186 keV'da bir piki vardır. ^{226}Ra , ^{238}U serisinin bir bozunma ürünüdür ve yarı ömrü 1600 yıldır. ^{226}Ra 'nın Kars ili yapı malzemelerindeki da ılımı ekil 4.1'de verilmi tir.



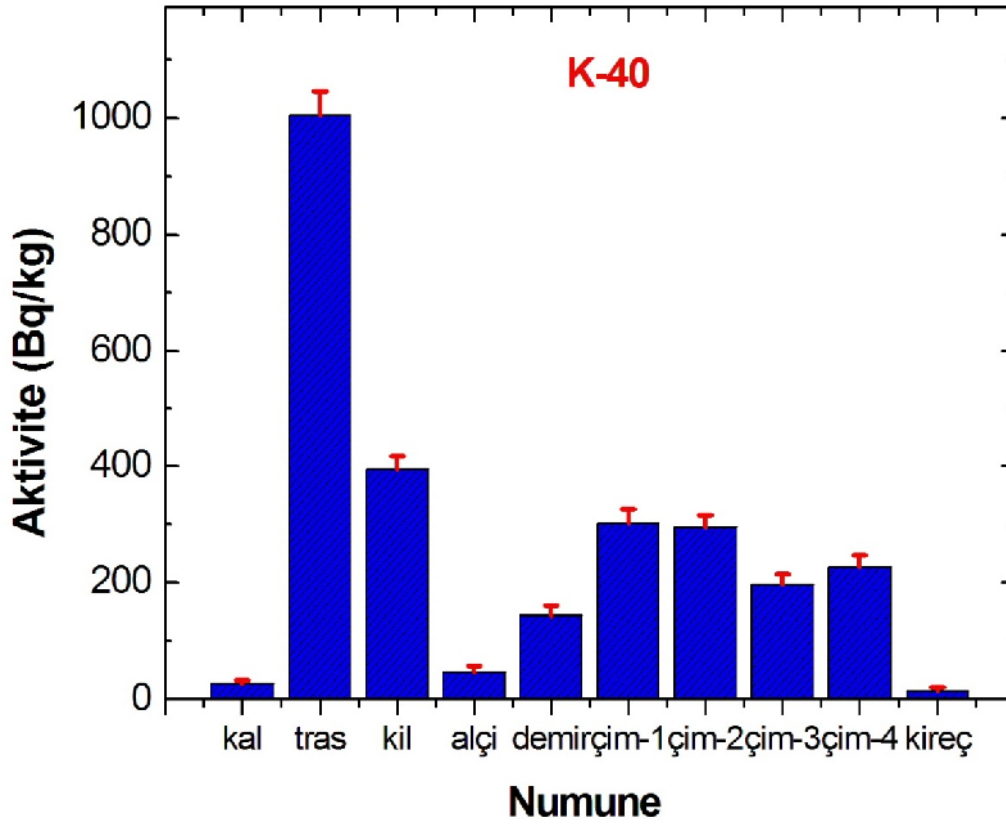
ekil 4.1: Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ^{226}Ra da ılımı.

^{232}Th kendi bozunma ailesinin ilk elemanıdır. Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ^{232}Th 'un da ılımı ekil 4.2'de verilmiştir.



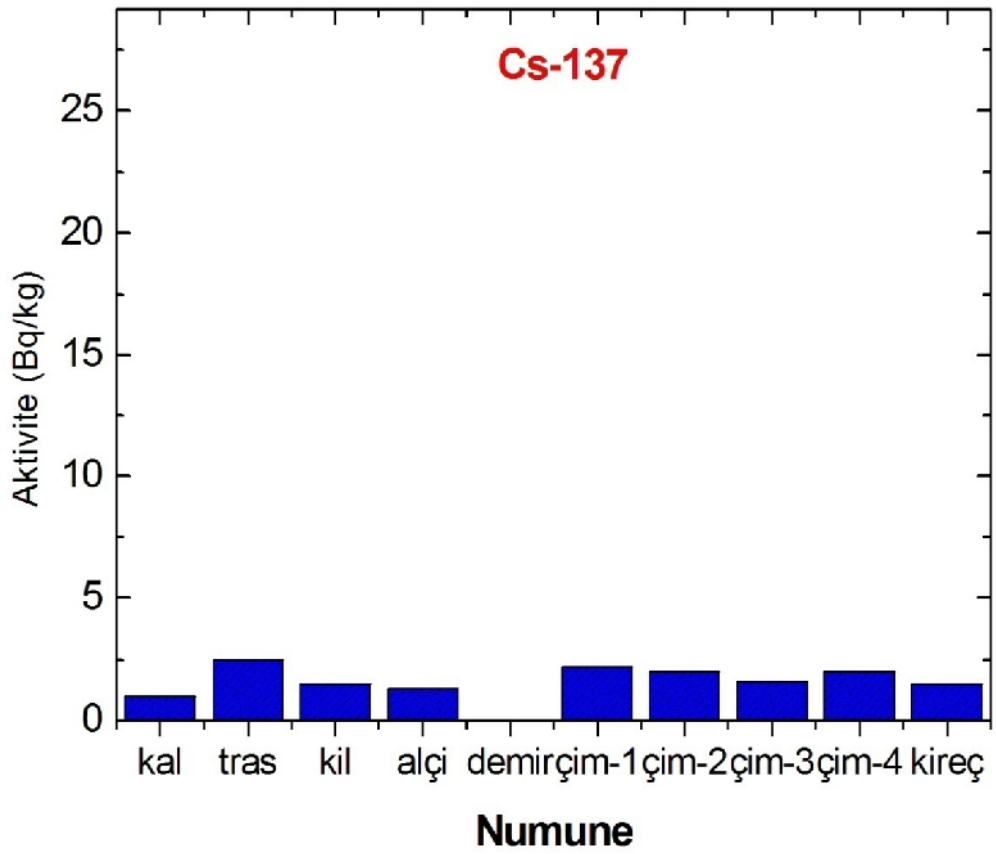
ekil 4.2: Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ^{232}Th da ılımı.

^{40}K 'un yarı ömrü $1,28 \times 10^9$ yıldır. ^{40}K doğada tek başına bulunur, herhangi bir bozunma serisi yoktur. ^{40}K , 1460 keV enerji pikinde bulunmaktadır. Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ^{40}K 'un dağılımı ekil 4.3'de verilmiştir.



ekil 4.3: Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ^{40}K dağılımı.

^{137}Cs , fisyon ürünü olduğu için doğal olarak bulunmamakta olup, nükleer denemeler ya da reaktör kazaları sonucunda ortaya çıkmaktadır. ^{137}Cs 'nin yarı ömrü 30,2 yıldır. 661 keVde bir piki vardır. Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ^{137}Cs 'nin dağılımı ekil 4.4'de verilmiştir.



ekil 4.4: Kars ili yapı malzemesi örneklerindeki ^{137}Cs dağılımı.

Kars ilinde radyoaktivite ölçümü yapılan yapı malzemeleri için aktivite deri im indisi (I_γ) de erleri bölüm 2.4.2.1’de, alfa indisi (I_α) de erleri bölüm 2.4.3’de verilen formüllerle hesaplanarak Çizelge 4.2’de verilmi tir.

Çizelge 4.2: Kars ili yapı malzemesi örneklerinde hesaplanan I_γ ve I_α de erleri.

Malzeme	I_γ	I_α
Çimento	0,25	0,11
Alçı ta 1	0,04	0,01
Demir cevheri	0,15	0,08
Kalker	0,97	0,25
Kil	0,17	0,04
Tras	0,83	0,34
Kireç	0,20	0,28

5. TARTI MA VE SONUÇ

Bu çalı mada Kars ilinde kullanılan 10 farklı yapı malzemesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite deri imleri ölçülmü tür.

TAEK'in 2008 raporuna göre Türkiye'de yaygın olarak kullanılan ve farklı bölgelerden alınan 167 çimento numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imlerinin ortalamaları sırasıyla 42, 27,1 ve 269,4 Bq kg⁻¹ olarak bulunmu tur [25].

Yaptı ımız çalı mada Kars ilinde kullanılan 4 farklı çimento numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imlerinin ortalamaları sırasıyla 22,2 , 18,5 ve 255,2 Bq kg⁻¹ olarak bulunmu olup bu de erler TAEK'in 2008 raporunda verilen aralıklardadır.

Aynı rapora göre Türkiye'de yaygın olarak kullanılan ve farklı bölgelerden alınan 39 alçı ta ı numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imlerinin ortalamaları sırasıyla 9,6 , 3,8 ve 48,3 Bq kg⁻¹ olarak belirlenmi tir [25].

Kars ilinde kullanılan alçı ta ı numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imleri sırasıyla 2, 3 ve 47,3 Bq kg⁻¹ olarak bulunmu tur. Elde edilen bu de erlerin raporda belirtilen de erlerden oldukça dü ük oldukları görölmektedir.

Bu rapora göre Türkiye'de yaygın olarak kullanılan ve farklı bölgelerden alınan 72 kireç numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imlerinin ortalamaları sırasıyla 22,6 , 6,4 ve 64,3 Bq kg⁻¹ olarak bulunmu tur [25].

Kars ilinde kullanılan kireç numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imleri ise sırasıyla 54,9, 3 ve 14,1 Bq kg⁻¹ olarak bulunmu tur. Bu sonuçlara göre ^{226}Ra aktivite deri iminin raporda verilen de erden yüksek, ^{40}K aktivite deri iminin ise oldukça dü ük oldu u görölmektedir.

Raporda Türkiye'de yaygın olarak kullanılan ve farklı bölgelerden alınan 20 kil numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imlerinin ortalamaları sırasıyla 25,9 , 39,9 ve 601,6 Bq kg⁻¹ olarak ölçülmü tür [25].

Kars ilinde kullanılan kil numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imleri sırasıyla 7,6 , 9 ve 309 Bq kg⁻¹ olarak bulunmu tur. Elde edilen bu sonuçlara göre kil numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imlerinin son derece dü ük oldukları görülmektedir.

Türkiye’de yaygın olarak kullanılan ve farklı bölgelerden alınan 27 tras numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imlerinin ortalamaları aynı raporda sırasıyla 67,9 , 76,7 ve 681,6 Bq kg⁻¹ olarak verilmi tir [25].

Çalı mamızda Kars ilinde kullanılan tras numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imleri sırasıyla 49,6 , 93,7 ve 1005 Bq kg⁻¹ olarak bulunmu tur. Elde edilen de erler TAEK raporunda verilen sonuçlarla kar ıla tırıldıklarında ^{226}Ra aktivite deri iminin dü ük, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imlerinin ise yüksek oldukları görülmektedir.

Aynı raporda Türkiye’de yaygın olarak kullanılan ve farklı bölgelerden alınan demir cevheri numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imlerinin ortalamaları sırasıyla 41,6 , 11,4 ve 152,6 Bq kg⁻¹ olarak verilmi tir [25].

Kars ilinde kullanılan alçı ta ı numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imleri ise sırasıyla 15,7, 9,8 ve 143 Bq.kg⁻¹ olarak bulunmu tur. Elde edilen bu de erlerin raporda belirtilen de erlerden oldukça dü ük oldu u görülmektedir.

TAEK’in Türkiye’de kullanılan yapı malzemelerinde bulunan aktivite deri imleri bulgularının yanısıra dünyanın de i ik ülkelerinde yapılmı benzer çalı malar da bulunmaktadır.

Çizelge 5.1’de dünyanın farklı ülkelerindeki bazı yapı malzemelerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imleri verilmi tir.

Çizelge 5.1: Dünyanın farklı ülkelerindeki bazı yapı malzemelerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imleri (Bq/kg).

Yapı Malzemeleri	Ülkeler	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
Çimento	Tunus	33	-	158	[26]
	Kenya	11	66	891	[27]
	Küba	24	11	537	[27]
	ran	87	7	402	[27]
	Banglade	120	132	506	[27]
	Brezilya	73,2	-	161	[28]
	Mısır	134	88	416	[29]
	Cezayir	41	27	422	[30]
	srail	66,3	39,2	138,1	[31]
	Avusturya	26,7	14,2	210	[32]
	Hindistan	9,4	40,9	33,1	[33]
Kireç	Tunus	31	-	68	[26]
	srail	88,1	5,8	25,5	[31]
Alçı	Tunus	4	-	54	[29]
	Mısır	105	45	500	[29]
	Avusturya	47,8	5,4	151	[32]
	Hindistan	8,3	-	64,6	[33]
	srail	10,5	5,9	51,4	[31]
Kil	Mısır	33	37	511	[29]
	srail	34,4	31,8	294,1	[31]
	Cezayir	47	35	425	[30]
Kalker	srail	18,3	7,4	77,1	[31]
	Avusturya	9,0	2,8	34	[32]
	Hindistan	73,9	-	64,6	[33]
	Cezayir	16	13	36	[30]

Bu çalı madan elde edilen sonuçlara göre, Kars ilindeki bazı yapı malzemelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imlerinin yukarıda verilen dünyanın farklı ülkelerinde kullanılan bazı yapı malzemelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite deri imleri ile son derece uyumlu oldu u görülmektedir.

TAEK tarafından hazırlanan raporda belirtilen yapı malzemelerine ili kin I_γ ve I_α de erleri ile Kars ili yapı malzemesi örneklerinde hesaplanan I_γ ve I_α de erleri Çizelge 5.2’de kar ıla tırmalı olarak verilmi tir.

Çizelge 5.2: Kars ili ve TAEK raporuna göre yapı malzemesi örneklerinde hesaplanan I_γ ve I_α de erlerinin kar ıla tırılması.

Malzemeler	TAEK Raporu [25]		Kars ili	
	I_γ	I_α	I_γ	I_α
Çimento	0,21	0,37	0,11	0,25
Alçıtı 1	0,048	0,058	0,01	0,037
Kireç	0,113	0,119	0,28	0,20
Kil	0,13	0,49	0,04	0,173
Tras	0,34	0,84	0,34	0,834
Demir cevheri	0,31	0,25	0,08	0,15
Kalker	-	-	0,25	0,97

Ev ve i yeri binalarında kalıcı olarak kullanılmak amacıyla üretilen malzemeler için aktivite deri im indisi, (I_γ), doz sınırına, malzemenin yapı içinde kullanılma ekleline ve miktarına ba lı olarak $I_\gamma \leq 1$ oldu u durumlarda, yapı malzemesi herhangi bir kısıtlama olmadan kullanılabilir [24].

Bu çalı mada, Kars ili yapı malzemesi örneklerinde hesaplanan I_γ de erlerinin belirtilen sınırlardan çok dü ük oldukları görülmü tür.

Kars ilinde kullanılan yapı malzemeleri örnekleri için hesaplanan I_{α} değerleri, sınır değerlerden önemli ölçüde küçük olduklarından, bu malzemelerden kaynaklanan radon gazı derişiminin 200 Bq.m^{-3} 'ü aşmasını mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. www.aof.edu.tr/kitap/EHSM/1222/unite13.pdf(02.07.2007)
2. www.cevreorman.gov.tr/radyasyon_00.htm.(04.07.2007)
3. Göksü, V. “Kars-I dır Yöresinde Toprak ve Sudaki Radyoaktivitenin ncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars (2005)
4. www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radyasyon.html.04.07.2004
5. Bilim ve Teknik Dergisi, Nisan (2006)
6. Eree , F. S., Dayanıklı, . A., Çam, S., Indoor and Built Environment 2006, 15;5: (495-498)
7. Zeren, M. Ayhan. Atomlar Moleküller., Birsen Yayınevi., stanbul, 1998
8. www.aof.edu.tr/kitap/IO.LTP/2280/unite19.pdf(02.07.2007)
9. www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radbiryasam.html.21.08.2007
10. www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/yapayrad.html.04.07.2007
11. IAEA., Measurement of Radionuclides in Food and the Environment, Vienna, 1989, p: 350-400
12. www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html.04.07.2007
13. National Council on Radition Proction and Measurement. Environmental Radiation Measurement, NCRP Report No: 50, 1977, p: 270-310
14. www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/1.html.06.08.2007
15. www.physics.isu.edu/radinf/natural.htm., Radioactivity in Nature (04.09.2007)
16. ISBN 952-478-048-8 (html), The Radioactivity of Building Materials and Ash., Helsinki 2005
17. www. Ahsapkarkas.com/haber.asp (16.09.2007)
18. EC (European Commission), Commission recommendation 90/143/Euratom of February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon. Official Journal L-80 of 27/03/90. European Commission Brussels, 1990

19. V. R. Krieger., Radioactivity of construction materials. *Betonwerk Fertigteil Technology*, 47, 1981, 468
20. S. Stoulos, M., Maolopoulou, C. Papastefanou, Assesment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece. *J. Environ. Radioact.*, 69, 2003, 225
21. Kohler, M., Niese, S., Gleisberg, B., Jenk, U., Nindel, K., Simultaneous Determination of Ra and Th nuclides, ^{238}U and ^{227}Ac in Uranium Mining Water by γ -ray Spectrometry. *Applied Radiation and Isotopes*, 52, 2000, 717-723
22. Kahn, B., Rasson, R., Contrell, J., Analysis of ^{228}Ra and ^{226}Ra in Public Water Supplies by a γ -ray spectrometer. *Health Phys.*, 59(1), 1990, 125
23. Hoincock, G. J., Martim, P., Determination of Ra in Environmental Samles by α -particle Spectrometry. *Applied Radiation and Isotopes*, 42(1), 1991, 63
24. Salonen, L., Hukkaren, H., Advantages of Lowbackground Liquid Scintillation α -spectrometry and Pulse Shape Analysis in Measuring ^{222}Rn , Uranium and ^{226}Ra in Ground Water, *J. Radional Nucl. Chem.*, 226, 1997, 67
25. TAEK TR 2008-7, Türkiyede Kullanılan Yapı Malzemelerindeki Do al Radyoaktiviteden Kaynaklanan Radyasyon Dozunun De erlendirilmesi, Teknik Rapor, 2008, 7
26. Hizem, N., Fredj, A. B., Ghedire, L., Determination of Natural Radioactivity in Building materials Used in Tunisian Dwellings by Gamma Ray Spectrometry, *Radiation Protection Dosimetry*, 114, 2005, 533
27. Mustapha, A. O., Narayana, D. G. S., Patel, J. P., Otwama, D., Natural Radioactivity in Some Building Materials in Kenya and the Contributions to the Indoor External Doses, *Radiation Protection Dosimetry*, 71, 1997, 65
28. Venturini L., Nisti, M. B., Natural Radioactivicty of some Brazilian Building Materials, *Radiation Protection Dosimetry*, 71, 1997, 227
29. Ahmed, N. K., Measurement of Natural Radioactivity in Building Materials in Qena city, Upper Egypt, *Journal of Environmental Radioactivly*, 83, 2005, 91

30. Armani, D., Tahtat, M., Natural Radioactivity of Building Materials in Austria, *Applied Radiation and Isotopes*, 54, 2001, 687
31. Kovler, K., Haquin, G., Manasherov, V., Ne'eman, E., Lavi, N., Natural Activities of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in some Indian Building Materials, *Building and Environment*, 37, 2002, 531
32. Sorantin H., Steger, F., Natural Radionuclides in Building Materials Available in Israel, *Radiation Protection Dosimetry*, 7, 1981, 59
33. Kumar, A., Kumar, M., Singh, B., Singh, S., Natural Radioactivity Algerian Building Materials, *Radiation Measurements*, 36, 2003, 465

ÖZGEÇM

1964 yılında Ka ızman'da do du. İlk ve orta öğrenimini Kars'da, Lise öğrenimini Van Atatürk Lisesinde tamamladı. 1989 yılında Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. 1995 yılında Kafkas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde Ara tırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı Üniversitede Uzman olarak görevine devam etmektedir.