

168884

**KAFKAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**KARS-IĞDIR YÖRESİNDE
TOPRAK VE SUDAKİ
RADYOAKTİVİTENİN İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Volkan GÖKSU**




YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Gülçin BİLGİCİ**

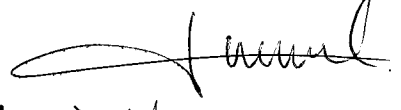
**HAZİRAN-2005
KARS**

Volkan Göksu'nun Yüksek Lisans Tezi olarak hazırladığı “ Kars-Iğdır Yöresinde Toprak ve Sudaki Radyoaktivitenin İncelenmesi” adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy.....birliği..... ile kabul edilmiştir.

21.06/2005

	Adı Soyadı	İmza
Başkan	:Prof. Dr. Arif BAYSAL.....	
Üye	:Doç. Dr. Mevlüt KARABULUT.....	
Üye	:Yrd. Doç. Dr. Gülçin BİLGİCİ (Danışman).....	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14/07/2005 gün ve 26/102 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Doç. Dr. Yunus GİCİK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada Kars-Iğdır yöresinde toprak ve sudaki radyoaktivite incelenmiştir. Bu amaçla Iğdır ilinin değişik noktalarından alınan toprak ve su örneklerinin radyoaktif çekirdek konsantrasyonları ve ev içi radon konsantrasyonları tespit edilmiştir.

Toplam alfa ve beta aktiflik ölçümleri için, Aras Nehrinden alınan su örnekleri analiz edilmiştir. Toplam alfa ve beta aktiflikleri, aynı anda 10 numuneyi ölçebilen Berthold LB770 marka düşük tabii fonlu bir alfa/beta sayım sistemi kullanılarak belirlendi. Elde edilen verilere göre Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suları için belirtmiş olduğu sınır değerlerin aşılmadığı belirlenmiştir.

Iğdır ili sınırları içerisinde 11 farklı noktadan alınan toprak örneklerinin gama spektrometrik analizi Canberra markalı HPGe dedektörü kullanılarak yapılmıştır. ^{238}U , ^{232}Th doğal radyoaktif serilerinin bozunma ürünleri ile ^{137}Cs ve ^{40}K radyoizotoplarının radyoaktivite seviyeleri belirlenmiştir.

Iğdır ilinde ev içi radon konsantrasyonları, pasif CR-39 nükleer iz dedektörleri kullanılarak tespit edilmiştir. Bu amaçla 30 eve, 30 adet dedektör dağıtılmış ve 223 günlük bekleme süresi sonunda toplanarak yapılan değerlendirme sonucunda, ev içi ortalama radon konsantrasyonu $105,62 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Doğal radyoaktivite, toplam alfa, toplam beta, gama spektrometresi, radon konsantrasyonu.

ABSTRACT

In this study, radioactivity existing in soil and water, is analysed in the region of Kars and Iğdır. For this purpose, the radioactivity concentrations of soil and water samples collected from different points along the Armenia boundary of Iğdır and indoor radon concentrations were determined.

For the measurement of total alpha and beta activity, water samples taken from Aras River were analyzed. The total alpha and beta activities were determined using a Berthold LB770 an α/β counter of low background multiple detector type system which can measure ten samples at the same time. According to the data collected, it is found that maximum levels which are determined by the WHO not achieved.

Gamma spectrometric analysis of soil samples collected from 11 different points of Iğdır were performed by using, the Canberra and an HPGe detector. The radioactivity concentrations of the decay products of ^{238}U and ^{232}Th series, ^{40}K and ^{137}Cs were determined.

Indoor radon concentrations were measured by using passive Cr-39 nuclear track detectors. Totaly 30 dedectors were placed to the 30 dwelling in Iğdır. After a monitoring period of 223 days, dedectors were collected. As a result of the evaluation, the average indoor radon concentration was obtained as $105,62 \text{ Bq/m}^3$.

Key words: Natural radioactivity, gross alfa, gross beta, gamma spectrometer, radon concentration.

ÖNSÖZ

“Kars-Iğdır yöresinde toprak ve sudaki radyoaktivitenin incelenmesi” adlı bu tez çalışmasının deneysel çalışmaları Türkiye Atom Enerjisi kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziki Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında danışmanlığımı üstlenen, her konuda bana yol gösteren ve yardımcı olan, Sayın Yard. Doç. Dr. Gülçin BİLGİCİ'ye içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasının her aşamasında değerli bilgilerini esirgemeyen; Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Başkanı Sayın Doç. Dr. Mevlüt KARABULUT'a

ÇNAEM Sağlık Fiziki Bölümünden Sayın Emin GÜNGÖR'e ve ÇNAEM Sağlık Fiziki Bölümü tüm çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez çalışmamı tamamlarken desteklerini esirgemeyen tüm aileme teşekkür ederim.

Volkan GÖKSU

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
KISALTMA LİSTESİ.....	x
SEMBOLLER LİSTESİ.....	xi
TANIMLAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	6
2.1 Radyoaktivite.....	6
2.1.1 Yapay Radyoaktivite.....	7
2.1.2 Doğal Radyoaktivite.....	8
2.1.2.1 Kozmik Radyasyonlar.....	10
2.1.2.2 Çevresel Doğal Radyasyon Kaynakları.....	10
2.1.2.3 İnsan Vücudundaki Doğal Radyonüklitler.....	12
2.1.2.4 Radon.....	13
2.1.2.4.1 Radon Gazının Sağlık Üzerindeki Etkileri.....	14
2.1.2.4.2 Ev-İçi Radon Konsantrasyonu Limitleri.....	15
2.2 Topraktaki Doğal Radyoaktivite.....	16
2.3 Sulardaki Radyoaktivite.....	19
2.4 Deneysel Yöntemler ve Metotlar.....	23
2.4.1 Gama spektrometrik analizler.....	23
2.4.1.1 Çok Kanallı Analizör Sistemi.....	23
2.4.1.2 Toprak Numunelerin Hazırlanması.....	25
2.4.3 Alfa ve Beta Sayım Sistemleri.....	26

2.4.3.1	Su Numunelerinin Hazırlanması.....	29
2.4.4	Radon Sayım Sistemi.....	30
3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
3.1	Ölçüm Sahası.....	31
3.2	Iğdır İli Toprak Örneklerinin Doğal Radyoaktivitelerinin Belirlenmesi.....	31
3.2.1	Gama Spektrometresinin Enerji Kalibrasyonu.....	32
3.2.2	Gama Spektrometresinin Verim Kalibrasyonu.....	33
3.2.3	Iğdır İlinin Toprak örneklerinin Gama Spektrometrik Analizi.....	34
3.3	Iğdır İli Aras Nehri Sularının Doğal Radyoaktivitesinin Tayini.....	39
3.4	Iğdır Evlerinde Radon Konsantrasyonlarının ölçümü.....	43
3.4.1	Radon kalibrasyon Odası.....	45
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	48
4.1	Sularda Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi...	48
4.2	Evlerde ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi.....	50
4.3	Toprakta Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi..	51
KAYNAKLAR.....		55
EKLER.....		59
Ek 1	²³⁸ U serisinin radyoaktif bozunma serisi.....	60
Ek 2	²³² Th serisinin radyoaktif bozunma serisi.....	61
Ek 3	²³⁵ U serisinin radyoaktif bozunma serisi.....	62
Ek 4	Iğdır ilinin toprak özellikleri.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....		64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa no

Şekil 1.1	Türkiye'ye komşu olan ülkelerde kurulu bulunan nükleer santraller.....	4
Şekil 1.2	RESA erken uyarı sistemi haritası.....	5
Şekil 2.1	Toplam radyoaktivite kaynaklarının yüzdelik dağılımı.....	6
Şekil 2.2	Yapay radyoaktif kaynaklarının yüzdelik dağılımı.....	7
Şekil 2.3	Çeşitli ülkelerde doğal radyasyon kaynaklarından alınan yıllık dozun oransal grafiği.....	9
Şekil 2.4	Saf germanyum detektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği.....	24
Şekil 2.5	Numune toplama kabı.....	26
Şekil 2.6	Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait çalışma düzeneği.....	27
Şekil 3.1	İğdır İli Su ve Toprak Örneklerinin Alındığı Noktalar.....	31
Şekil 3.2	Enerji-Verim Eğrisi.....	33
Şekil 3.3	İğdır Toprağındaki Ra-226'nın dağılımı.....	35
Şekil 3.4	İğdır Topraklarındaki Th-232'nin dağılımı.....	36
Şekil 3.5	İğdır Topraklarındaki U-238'in dağılımı.....	36
Şekil 3.6	İğdır Topraklarındaki Cs-137'nin dağılımı.....	37
Şekil 3.7	İğdır Topraklarındaki K-40'ın dağılımı.....	37
Şekil 3.8	Aras Nehri Sularının Toplam Alfa aktivitesi.....	40
Şekil 3.9	Aras Nehri Sularının Toplam Beta aktivitesi.....	41
Şekil 3.10	Aras Nehri Sularının Toplam Alfa Aktivitesi.....	42
Şekil 3.11	Aras Nehri Sularının Toplam Beta aktivitesi.....	43
Şekil 3.12	Radon difüzyon kapları.....	44
Şekil 3.13	CR-39 plastiği üzerinde oluşan alfa izleri.....	44
Şekil 3.14	Radon kalibrasyon odası.....	45
Şekil 3.15	İğdır ili evlerinde Ölçülen Radon konsantrasyonları.....	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa no</u>
ÇİZELGE 2.1	Yapay radyoaktif çekirdekler..... 8
ÇİZELGE 2.2	Radon konsantrasyon limitleri..... 15
ÇİZELGE 2.3	Farklı ülkeler için ev içi ortalama radon konsantrasyonları..... 16
ÇİZELGE 2.4	Kayalarda radyum, uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan γ radyasyon doz şiddetleri..... 17
ÇİZELGE 2.5	^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'un ortalama aktivite kütle konsantrasyonu ve buna karşılık olarak havada soğrulan doz şiddetleri..... 18
ÇİZELGE 2.6	Yüzey toprağındaki background radyonüklit konsantrasyonunun dünya ortalaması..... 18
ÇİZELGE 2.7	Amerika'daki yüzey topraklarının background konsantrasyonları ortalaması..... 19
ÇİZELGE 3.1	Standart kalibrasyon kaynağıının özellikleri..... 32
ÇİZELGE 3.2	Iğdır İli toprak örneklerinin 07/08/2003 tarihinde bulunan radyoaktif çekirdeklerin aktivite konsantrasyonları (Bq/kg)..... 34
ÇİZELGE 3.3	1986 yılı Karadeniz toprak örnekleri sayım sonuçları..... 38
ÇİZELGE 3.4	2004 yılı Tekirdağ toprak örneklerinin sayım sonuçları..... 38
ÇİZELGE 3.5	Iğdır ili Aras nehri sularının toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları (07/08/2003)..... 40
ÇİZELGE 3.6	Su örneklerinin miktarı ve net tortu miktarı(2004)..... 41
ÇİZELGE 3.7	Iğdır ili Aras nehri sularının toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları (14/04/2004)..... 42
ÇİZELGE 3.8	Iğdır İli Ev içi Radon Konsantrasyonları (Bq/m ³)..... 46
ÇİZELGE 4.1	Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen topraktaki radyonüklid içerikleri..... 52

Kısaltma Listesi

ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
EEC	Equilibrium Equivalent Concentration
EPA	United States Environmental Protection Agency
HPGe	Yüksek Saflıkta Germanyum Dedektörü
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	World Health Organization
RESA	Radyasyon Erken Uyarı Sistem Ağı
HV	Yüksek Voltaj Kaynağı
D	HPGe Dedektör
PA	Ön Yükseltici
MA	Ana Yükseltici
ADC	Sayısal- Örneksele Dönüştürücü
MCA	Çok Kanallı Analizör
PC	Bilgisayar
PR	Bilgisayar Yazıcısı
PL	Bilgisayar Grafik Çizicisi

SİMGE LİSTESİ

eV	Elektron volt
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama parçacığı
Gy	Gray, soğurulmuş doz birimi
Sv	Sievert, eşdeğer doz birimi



Tanımlar

Radyoaktivitenin incelenmesinde karşılaşılan bazı tanımlar:

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

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

Radyoizotop: Atom numaraları aynı kütle numaraları farklı çekirdeklere radyoizotop denir.

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

Yapay Radyoaktivite: Herhangi bir çekirdeğin dışardan bir etki ile radyoaktif hale getirilmiş şeklidir.

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

$$1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci veya } 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci dir.}$$

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

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

Soğurulan Doz: Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlaştırıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Radyasyonlarla ışınlanan bir maddenin birim miktarında soğurulan radyasyon enerjisidir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, Gray; 1 kg'lık bir maddeye 1 joule'lük enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyon dozudur. Eski özel birimi rad (radiation absorbed dose) olup, 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik soğurulmaya eşdeğerdir.

$$1 Gy = 100 \text{ rad'dır.}$$

Eşdeğer Doz: Radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanan bir birim olup, doku veya organlarda, birim kütle de soğurulan enerji miktarıyla orantılı bir değerdir. Vücut için eşdeğer doz olarak tanımlanır. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi Sievert (Sv) dir.

$$1 Sv = 100 \text{ rem'dir.}$$

Etkin Eşdeğer Doz: Vücudun bütün olarak ışınlanması durumunda çeşitli organ veya dokuların maruz kaldıkları eşdeğer dozların ağırlıklı toplamı olup birimi Sievert'tir.

Risk: Radyasyon ışınlamalarının sonucunda, kişilerde hasar meydana gelme olasılığıdır.

1. GİRİŞ

İnsanlar ve diğer canlılar yaşamları süresince uzaydan gelen ve yeryüzünden yayınlanan radyasyonlar nedeniyle iyonlaştırıcı bir radyasyon ortamı içinde yaşamaktadırlar. Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülür. Bu kaya yatakları karasal kökenli radyoaktivitenin kaynağını teşkil etmektedir. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir. İçinde yaşadığımız dünyada her şey az miktarda da olsa radyoaktif atomları içermektedir; yer kabuğu, solunan hava, gıdalar ve güneş sistemi doğal radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Çevresel doğal radyoaktivite dünyanın yapısında bulunan ve çok uzun yarı ömürlü radyoaktif çekirdeklerden (Uranyum, Toryum ve Radyum gibi) kaynaklanır veya kozmik radyasyonların etkileşimi sonucunda (^{14}C , ^3H gibi) oluşur. Dünya, daima dış uzaydan gelen kozmik radyasyonların etkisindedir. İnsanların yıllık olarak aldığı radyasyon dozunun ortalama %85'i doğal kaynaklardan kaynaklanmaktadır [1]. Diğer taraftan, insanlar yapay olarak kendileri tarafından üretilen radyoaktif maddelerin endüstriyel ya da tıbbi amaçlı uygulamalarından radyasyon dozu almaktadır. Bunun yanında nükleer denemeler ve nükleer reaktör kazaları sonucunda atmosfere yayılan radyoaktif maddeler kuru serpinti ve yağışlarla toprağa, suya ve bitki örtüsüne bulaşmaktadır. Toprak, su ve bitkilerde biriken radyoaktif maddeler yerel ve bölgesel radyoaktiviteyi önemli oranda etkilemektedir. Çevresel ışımalara maruz kalma bölgeden bölgeye değişebilmekte, birbirlerine yakın yerler arasında da farklılıklar oluşabilmektedir.

Doğal radyasyonun bir kısmını oluşturan kozmik ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçerken atmosfer tarafından soğrulur ve sadece küçük bir miktar yerküreye ulaşır. Kozmik ışınların etkileme oranı yüksekliğe göre değişmektedir. Bu nedenle uçak pilotları ve kabin görevlileri uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalmaktadır. Günlük hayatımızda kozmik ışınlar nedeni ile maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.39 mSv/yıl'dır [2].

Sulardaki radyoaktivite iki şekilde meydana gelmektedir. Birincisi; suların, geçtikleri bölgelerdeki kaya veya toprak ile temasıyla bunlarda bulunan radyoizotopları çözerek bünyelerine almaları veya yağmur suları tarafından çözülerek içme sularına taşınması, ikincisi ise atıklar veya kazalar sonucunda radyoizotopların suya karışmasıdır. Yer altı suları alt tabakalarda fazlaca bulunan volkanik ve granit kayalarla etkileşimleri sebebiyle yüzey sularına nazaran daha fazla aktiftirler [3].

Radon, eser miktarda uranyum içeren toprak, kum, kaya ve bunlardan yapılan yapı malzemeleri ve yapay gübreler gibi daha birçok maddeden yayınlanan, doğal bir radyoaktif gaz olup çok küçük konsantrasyonlarda olmak üzere hemen her yerde bulunmaktadır. Bu nedenle radon ve radonun bozunma ürünleri olan radyoaktif katı taneciklerin solunması, insanların maruz kaldıkları iç radyasyon dozlarının başlıca kaynağını oluşturmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, yüksek konsantrasyonlarda radon gazı ve bozunma ürünlerine uzun süre maruz kalmasının insanlarda akciğer kanser riskini arttırdığını ortaya koymaktadır. Özellikle enerji tasarrufu amacıyla evlerde ısı yalıtımı için hava dolaşımının azaltılmasının solunan havanın içindeki radon konsantrasyonunu normalin çok üstüne çıkarmasından dolayı akciğer kanseri riski de aynı oranda artmaktadır. Bu nedenle birçok ülkede ev içindeki havada bulunan radon konsantrasyonunun ölçülmesi için geniş çapta araştırma programları düzenlenmiştir. Bu ölçümler yüksek konsantrasyonda radon içeren evlerde yaşayan insanların akciğer kanserinden korunması gerektiği gerçeğini ortaya çıkarmıştır [4].

Evlerin yapıldığı arazide bulunan doğal uranyum miktarı ve uranyum serisinin bir bozunma ürünü olan radonun ev tabanında bulunan aralıklardan eve sızması, evdeki yapı malzemesinden kaynaklanan radonun havaya karışması, ev içi radon konsantrasyonunun artmasının önemli etkenlerindedir. Ev içi gama radyasyonunun önemli bir kısmı bina yapısında kullanılan malzemedan kaynaklanır. Birçok ülkede, iç ve dış doğal radyasyon etkilerini en aza indirmek amacıyla birtakım çalışmalar yapılmaktadır. UNSCEAR 1993 raporunda dünya insanların maksimum alacakları ortalama yıllık ev içi gama ışınlamaları 1,2 mSv olarak belirtilmiştir [4].

Evlerde radonun solunması ile alınan dozlar, diğer doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlardan çok fazla olmaktadır. Radon konsantrasyonu coğrafik konuma, zamana, yerden yüksekliğe ve meteorolojik şartlara bağımlı olarak değişiklikler göstermektedir. Uranyum madencileri üzerinde yapılan araştırmaların radon akciğer kanseri için ana sebep olduğunu ortaya koymasıyla, radona maruz kalma sınırlandırılmıştır. Ülkemizde ev içi radon gazı konsantrasyonları henüz yeterince ölçülmemiş olduğundan, evlerde radon gazı seviyeleri ile radonun mevsimsel ve bölgesel değişimleri bilinmemektedir. 1984 yılında Türkiye Atom Enerji Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziki Bölümünce başlatılan “Türkiye’de Ev İçi Radon Ölçümü projesi” kapsamında radon ölçüm çalışmaları tamamlanamamış olup, çalışmalar halen sürdürülmektedir.

Ülkemiz, komşularımızın topraklarında kurulu bulunan nükleer reaktörlerden kaynaklanabilecek kaza riskleri ile karşı karşıyadır. Bu reaktörlerden Ermenistan-Metsamor Nükleer Güç Reaktörü sınırimıza sadece 16 km uzaklıktadır. Ayrıca Bulgaristan-Kozloduy ve Romanya-Çernavoda Nükleer Güç Reaktörü ise sınırimıza yaklaşık 300 km uzaklıktadır. Bunların dışında çevremizde bulunan diğer reaktörler Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

Bilindiği gibi alınan radyasyon dozu arttıkça kanser olma riski de artmaktadır. Kanser riskinin azaltılması veya kontrol altında tutulabilmesi için insanların maruz kaldıkları radyasyonun sınırlandırılması ve dozun tespit edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, sunulan bu çalışmada Iğdır ili çevresel radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. Iğdır ilinin konumu ve sınır komşusu olan METSAMOR Nükleer Santralinin varlığı da bu noktayı tez çalışması seçmemizde önemli bir nedendir. Iğdır ili Aras nehriindeki toplam alfa ve beta radyoaktivitesi ve toprak örneklerinin içerdiği radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonları belirlenmiştir.



Şekil 1.1 Türkiye'ye komşu olan ülkelerde kurulu bulunan nükleer santraller [1].

Çernobil nükleer santral kazası sonrası, ülkeler nükleer reaktörlerde olabilecek olası kazaları erken haber alabilmek için erken uyarı sistemi adı altında bir radyasyon ölçüm merkezi oluşturmuşlardır. Ülkemizde bu kapsamda kendi sınırlarını çevreleyen bir erken uyarı sistemi ağı oluşturmuş ve bu sistemin adını da Radyasyon Erken Uyarı Sistem Ağı (RESA) koymuştur. Bu çalışmayı ülkemizde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu üstlenmiş ve yürütmektedir. Ülkemiz sınırlarında bulunan erken uyarı sistemi ağı haritası Şekil 1.2'de verilmektedir.

2. TEORİK BİLGİLER

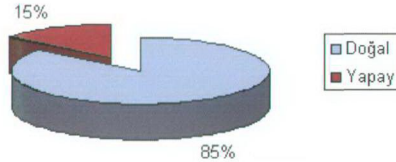
2.1 Radyoaktivite

Radyoaktiflik, Becquerel tarafından 19. yüzyılın sonunda keşfedildi. Daha sonraki yıllarda Maria Cruie ve diğer bilim adamları tarafından yapılan klasik çalışmalar, bu alanda yapılan yeni gelişmelere zemin hazırladı.

Madde içinden kolayca geçebilen ve gözle görülemeyen bu ışınlara radyasyon adı verildi. Başka bir deyişle radyasyon, enerjinin, dalga veya parçacık halinde uzaya veya bir ortama yayılması olayıdır. Doğada bulunan çekirdeklerin bir kısmı kararlı, bir kısmı ise kararlı değildir. Bir çekirdeğin kararlılığını nötron ve proton oranları, düzenlenişleri ve birbirleri üzerine uyguladıkları kuvvetler belirler.

Radyoaktivite; kararsız atom çekirdeklerinin dışardan enerji almadan, kendiliğinden parçalanarak, elektromanyetik radyasyonlar yayınlamak suretiyle başka atom çekirdeklerine dönüşmesi olup birimi Becquerel'dir.

Radyoaktivite kaynaklarını yapay radyoaktivite ve doğal radyoaktivite olarak sınıflandırabiliriz. Bu radyoaktivite türlerinin toplam radyoaktiviteye katkıları şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Toplam radyoaktivite kaynaklarının yüzdelik dağılımı [1].

2.1.1 Yapay Radyoaktivite

Nükleer reaktör veya hızlandırıcılarda üretilen bir radyoizotopun bozunuma uğramasına yapay radyoaktivite denir. Son yüzyılda nükleer silah denemeleri ve nükleer güç tesislerinin kurulmasıyla doğal radyasyon düzeylerinde artışlar olmuştur. Radyasyonun barışçıl amaçlı kullanımı ise bugün hayatımızın hemen her alanında işimizi kolaylaştırmaktadır. Doğal kaynaklı çevre radyasyonu herkesi etkilediği halde, yapay radyoaktiviteler belli zamanlarda ve ilgili kişileri (meslekleri gereği veya teşhis ve tedavi amaçlı, vb) etkiler.

Yapay radyoaktivite kaynaklarını yüzdelik bir dilimle ifade etmek istersek en çok radyasyona maruz kaldığımız yapay radyasyon kaynağı tıbbi ihtiyaçlarımızı karşılarken oluşmaktadır. Buna karşılık nükleer güç'ten aldığımız doz miktarı ise yaklaşık olarak %0 civarlarındadır [1].



Şekil 2.2. Yapay radyoaktif kaynaklarının yüzdelik dağılımı [1].

Başlıca yapay radyoaktif çekirdekler Çizelge 2.1'de verilmiştir. İnsanlar tarafından doğal 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 gereği daha fazla endişeye yol açarlar.

Çizelge 2.1. Yapay radyoaktif çekirdekler [5].

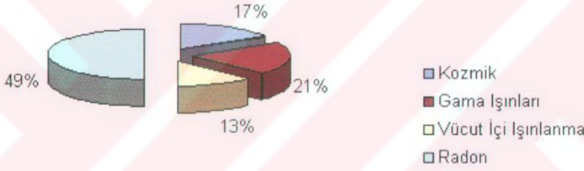
Çekirdek	Yarı Ömür	Yayılan Radyasyon
^{60}Co	5.3 yıl	B, γ
^{65}Zn	244 gün	γ
^{90}Sr	29 yıl	β
^{90}Y	64 saat	β
^{125}I	60 gün	X
^{131}I	8 gün	β , γ
^{134}Cs	2.1 yıl	β , γ
^{137}Cs	30 yıl	β , γ
^{155}Eu	4.96 yıl	β , γ
^{238}Pu	87.7 yıl	α
^{239}Pu	2.4×10^2 yıl	α , γ
^{240}Pu	6.5×10^3 yıl	α
^{241}Pu	14.4 yıl	β

2.1.2 Doğal Radyoaktivite

Doğal radyoaktivite, atom çekirdeğinin kendiliğinden bozunuma uğrayarak bazı ışınlar yayınlarken başka bir çekirdeğe dönüşmesi olarak tanımlanır. Bozunuma uğrayan radyoizotop doğada bulunuyor veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunmasından ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktiflik denir.

Doğal radyoaktiviteden, atomun çekirdek yapısının açıklanması, dünya yaşının tahmini ve okyanusların dibinde bulunan sediment oluşum oranlarının ölçülmesi gibi çeşitli alanlarda faydalanılır.

İnsan; vücudunda bulunan radyoaktif elementlerden, özellikle ^{40}K radyoaktif elementinden kaynaklanan belli bir radyasyon dozuna maruz kalmaktadır. Doğal radyoizotoplar vücuda sindirim veya solunum yolu ile alınırlar. Vücuda sindirim yolu ile alınan radyoizotopların başında ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U ' nın bozunma ürünleri ve çok az oranlarda ^{14}C ve ^3H içermektedir. Potasyum vücutta yaşamsal bir öneme sahiptir. 70 kilogram ağırlığındaki yetişkin bir insanda 140 miligram potasyum bulunur [6]. Bir insanın bir yıl boyunca vücutta bulunan ^{40}K elementinden kaynaklanan iç radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.23 mSv kadardır [2]. Değişik ülkelerde yapılan çalışmalara göre doğal radyasyon kaynaklarından alınan yıllık dozun oransal grafiği Şekil 2.3'de gösterilmektedir [1].



Şekil 2.3. Çeşitli ülkelerde doğal radyasyon kaynaklarından alınan yıllık dozun oransal grafiği [1].

Doğal radyasyon düzeyini artıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (^{226}Ra) bozunması sırasında açığa çıkan "radon gazı"dır. Bu bozunması sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken radon toprak yüzeyine doğru yükselir. Radon gazının yayıldığı yüzey üzerinde bulunan evlerde iyi bir havalandırma sistemi bulunması gerekir. Böyle bir havalandırma yok ise radon gazı evin içerisinde, dışarıdakinden yaklaşık yüz kat daha fazla olacaktır. Bu gaz teneffüs edildiği takdirde akciğerlere geçici olarak yerleşerek tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına neden olabilmektedir. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1.3 mSv/yıl'dır [2].

Doğal radyoaktif elementler genel olarak, kara ve uzay kökenli olmak üzere iki ana grupta toplanırlar. Ayrıca, uzaydan gelen kozmik ışınların dünya atmosferinde bulunan gazlar ve yer kabuğu orijinli bazı radyoaktif çekirdeklerle reaksiyona girmeleri sonucu üretilen bazı radyoaktif izotoplar da vardır. Bunların en önemlisi ^{14}C ve ^3H 'tür. Ağır elementlerden oluşan doğal radyoaktif izotoplar; Uranyum serisi (^{238}U kaynaklı), Toryum serisi (^{232}Th kaynaklı) ve Aktinyum serisi (^{235}U kaynaklı) olmak üzere üç seri altında toplanırlar.

2.1.2.1 Kozmik Radyasyonlar

Dünya var olduğundan beri sürekli olarak uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklar tarafından bombardıman edilmektedir. Bu parçacıkların birçoğu güneşten, bir kısmı da uzayın derinliklerinden ve hatta galaksilerin ötesinden gelmektedirler. Süpernova patlamaları kozmik ışınların en önemli kaynağıdır.

Kozmik ışınlar atmosfere nüfuz ettiklerinde karmaşık reaksiyonlara uğramakta ve bunun sonucunda atmosfer tarafından büyük bir kısmı tutularak yeryüzüne ulaşması engellenmektedir. Bu nedenle yükseklik arttıkça doz miktarı da artmaktadır. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalmaktadır. Bu yüzden bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla radyasyon dozuna maruz kalmaktadır. İnsanların büyük çoğunluğu deniz seviyesinde yaşadıkları için kozmik radyasyon nedeni ile maruz kaldıkları dozlarda fazla farklılıklar gözlenmemektedir. Ortalama olarak yılda 250 – 350 μSv arasında kozmik radyasyona maruz kalmaktayız [7]. Kozmik ışınlar doğal radyasyon kaynaklarının % 17'lik bir bölümünü oluşturmaktadır [1].

2.1.2.2 Çevresel Doğal Radyasyon Kaynakları

Çevredeki doğal ortam insanın maruz kaldığı en büyük radyasyon kaynaklarını içermektedir. İnsan yaşamı boyunca bu radyasyonlara sürekli maruz kalır. Ayrıca, insan kendi eliyle ürettiği ve kullanmak zorunda kaldığı bazı radyoaktif maddelerden ve teşhis

amacıyla röntgen filmi çekildiğinde de belli oranlarda radyasyon dozu almaktadır. Başlıca radyasyon türleri; alfa, beta, gama ışınları, nötronlar ve müonlardır. İnsan bu radyasyonlara, dış ışınlamalarla maruz kaldığı gibi solunum ve sindirim yoluyla vücutlarına alarak iç ışınlamalarla da maruz kalmaktadır. Bu radyasyonlara dışardan maruz kalınmışsa dış ışınlama, içerden maruz kalınmışsa, buna da iç ışınlama denir. Gama ve beta dış ışınlamalarla, alfalar ise iç ışınlamalarla daha çok zarar verir. Buradan hareketle doğal radyasyon kaynaklarını dış ve iç radyasyon kaynakları olarak iki ana grupta toplamak mümkün olacaktır.

Çevresel radyasyonların canlılar üzerindeki etkileri genellikle dış ışınlamalarla olmakla beraber iç ışınlamalarla da olmaktadır. Uranyum, toryum ve ^{40}K gibi doğal radyoaktif çekirdeklerin birim kütle başına aktivite konsantrasyonları toprak ve kaya tiplerine göre değişir. Bir radyoaktif çekirdeğin birim kütle başına aktivite konsantrasyonu, yer seviyesinden 1 m yükseklikte havadaki soğurulmuş doza karşılık gelen radyasyon şiddetidir [8]. Dış gama ışınlamaları, kütle aktivite konsantrasyonlarıyla doğrudan ilgilidir. Dolayısıyla havada ölçülen soğurulmuş radyasyon dozu, radyoaktif çekirdeklerin topraktaki konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Dış ışınlama hesapları topraktaki radyoaktif çekirdeklerin bozunma ürünlerinin dengeye gelmesi durumuna göre yapılmaktadır [9].

Bilindiği gibi, dünyanın kendisi de bir radyasyon kaynağıdır. Yere ait radyasyon, yer kabuğundaki kayalardan gelir. Granit, kumtaşı ve kireçtaşı gibi bazı kayalar U, Th ve bunların bozunma ürünleri ile K gibi doğal radyoaktif maddeleri içerir. Bu kayalardan oluşan toprakta da aynı doğal maddeler bulunur. Topraktan yapılan binalar da ana kayalar kadar radyoaktiftir.

Tuğla ve beton gibi malzemeden yapılmış diğer binalar hafif radyoaktiftir. Bütün bunlardan dolayı maruz kalınan radyasyon dozu, yerin jeolojik yapısına ve oturlan evin yapısında kullanılan inşaat malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Kayalarda, toprakta ve inşaat malzemelerinde bulunan uranyum ve toryumun bozunması ile radon ve toron radyoaktif gazları meydana gelmektedir. Oluşan bu gazlar açık havaya sızarak dağılırlar. Yerden ve duvarlardan bina içine sızan bu gazlar bina dışına kaçamazsa bina

çindeki konsantrasyonları artacaktır. Bundan sakınmalı veya iyi bir havalandırma ile bu birikim en alt düzeyde tutulmalıdır.

Radon ve toron bir seri bozunma ile sonuçta radyoaktif olmayan maddelere dönüşürler. Bu seri bozunum esnasında meydana gelen radyoaktif maddeler havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak solunum yoluyla akciğerlerin iç yüzeylerine girerler ve bu katı radyoaktif maddeler vücut içerisinde radyoaktif bozunuma devam ederler. Bu bozunum esnasında oluşan bir kısım radyoaktif maddeler alfa, bir kısım da beta ve gama ışını yayarlar. Bu durum, vücudun dıştan ışınlanmasına nazaran çok daha tehlikelidir. Kömür madenleri gibi yeraltında çalışanlar, yüksek düzeyde radon ve toron'dan dolayı daha fazla radyasyon dozuna maruz kalırlar. Bu da yaklaşık 1.2 mSv'lık bir ilave doz demektir [1].

2.1.2.3 İnsan Vücudundaki Doğal Radyonüklitler

İnsan, doğal radyonüklitleri vücuduna sindirim veya solunum yoluyla alır. ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U 'nın bozunma ürünleri ve çok az oranlarda ^{14}C ve ^3H , vücuda sindirim yoluyla alınan doğal radyonüklitlerin başında gelir. Potasyum doğada nispeten bol miktarda bulunur. 70 kg ağırlığında bir insanda ortalama 140 mg potasyum bulunur [6].

Potasyum insan metabolizmasının temel taşıdır. Yetişkin bir insanda potasyumun ortalama kütle konsantrasyonu vücut ağırlığının kilogramı başına 2 gr'dır. Potasyum içindeki ^{40}K radyoizotopunun oranı %0.0012 kadardır. Bu izotopun dokularda ve organlarda absorblanması farklıdır. Vücutta yoğun olarak kırmızı kemik iliğinde, kaslarda, yumuşak dokularda ve gonadlarda tutulur. Vücut içi doğal ışınlamalarda en büyük katkı bu radyoizotoptan gelir. ^{40}K toprakta yüksek konsantrasyonlarda bulunur. İnsana gıdalar ve içecekler vasıtasıyla geçer [10].

Sindirim yoluyla insan vücuduna giren radyasyon potasyum'dan kaynaklanır. Potasyum genellikle gıdalarla vücuda alınır ve yaydığı gama ışınlarının %50'si, beta ışınlarının ise tamamı vücutta soğurulur. ^{40}K kozmik ışınların havadaki nitrojenle reaksiyona girmesi sonucu atmosferde sürekli üretilir ve radyoaktif yağışlarla toprağa,

suya karışan bu radyoaktif çekirdekler besin zincirini takip ederek insan vücuduna girer ve vücutta bir radyasyon dozu oluşturur [5].

İnsan solunum yoluyla aldığı radyasyon dozunun büyük bir kısmı yapı malzemelerinde ve hava ortamında bulunan radyoaktif çekirdeklerden çıkan ^{222}Rn 'den kaynaklanır. Radon, birkaç günlük yarı ömre sahip olmakla birlikte gaz olması nedeniyle geniş bir alana dağılır. Yapı malzemelerinde doğal olarak bulunan radon vücudun içerisine alfa parçacığı ışımasına maruz bırakır. Alfa parçacıklarının iyonlaşma yapabilme kabiliyeti yüksek olduğundan, solunum yoluyla akciğerlere alındıklarında yaydıkları ışınlarla hücrelerin yapısını bozarak akciğer kanserine yol açabilir. Radon binaların çevresindeki kayalardan, topraktan, su kaynaklarından ve doğal ortamdan vücuda alınabilir [11].

2.1.2.4 Radon

Radon, doğal radyasyon kaynaklarından olan 4.5 milyar yıl yarı ömre sahip Uranyum-238 ailesinin bir elemanı olup, bu serideki tek radyoaktif gazdır. Yarı ömrü 3.8 gündür. Radon, yarı ömrü 1600 yıl olan radyum-226'nın alfa yayınlamakla bozunumu sonucunda ortaya çıkmaktadır. Radonun bozunması ile alfa (α) ve beta (β) yayınlamakla, kısa yarı ömürlü radon ürünleri olan ^{218}Po ve ^{214}Po meydana gelir. Radon elementi, uranyum, toryum ve aktino-uranyum doğal radyoaktif serilerinin her birinde yer alan bir bozunma ürünüdür ve ait olduğu serinin başlangıç elementinin adından uyarlanan radon, toron ve aktinon isimleri ile anılmaktadır [12].

Havadaki radon konsantrasyonu bölgeye, zamana, yerden yüksekliğe ve meteorolojik şartlara bağlıdır. Radonun kaynağının toprak olmasından ve çok kısa yarı ömre sahip olmasından dolayı, radon konsantrasyonu yükseklikle sabit bir şekilde azalma gösterir. Coğrafik yerleşim önemlidir; Adalar ve Kutup bölgesi gibi radon çıkışını sağlayan toprağın azaldığı yerleşim bölgelerinde, radon konsantrasyonu düşüktür [9].

Radon binalara; toprak, binanın civarı veya altındaki kayalar, bina malzemeleri, su kaynakları, doğal gaz ve dışarıdaki hava gibi farklı kaynaklardan girer. Radonun binalara girişi, inşaatta kullanılan malzemelerdeki açıklıklar arasından veya malzemelerin arasındaki havanın akışıyla oluşan basınçla ya da binanın altındaki topraktan yayılma yoluyla olmaktadır.

2.1.2.4.1 Radon Gazının Sağlık Üzerindeki Etkileri

Radon gazını teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Solunan radon gazı, radyoaktif bozunmaya uğradığı zaman akciğer tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olur.

Sigara kanser riskini arttırmaktadır. Hem sigara içen hem de yüksek dozlarda radona maruz kalan kişilerde kansere yakalanma riski oldukça yüksektir. Sigaranın bırakılıp, maruz kalınan radon seviyesinin düşürülmesi ile kanser riski de azaltılmış olacaktır [1].

Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41.000 akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5.000, sigara içenlerden ise 15.000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir [13]. Çizelge 2.2'de çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir [14].

Çizelge 2.2. Radon konsantrasyon limitleri (Bq/m³) [14].

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

*Avrupa birliği

** Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi

*** Dünya Sağlık Örgütü

2.1.2.4.2 Ev-İçi Radon Konsantrasyonu Limitleri

Genelde insanlar zamanlarının %90'ını kapalı mekânlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radonun büyük bir kısmı, binalara, altındaki toprak ya da kayalardan girer. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselir ve binanın altında hapsolür. Hapsolan bu gazlar, basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, daha çok çatlak ve boşluklardan, binanın içlerine sızarlar [12].

Radon özellikle yeraltı suyu olmak üzere, suda da çözünür. Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10000'de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artacaktır. İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan eser miktardaki uranyum da binalardaki radon düzeyini artırıcı etmenlerden birisidir [12]. Çizelge 2.3'de farklı ülkelerde yapılmış çalışmalara dayanarak UNSCEAR tarafından yayınlanan ev-içi radon konsantrasyonları belirtilmiştir [1,14].

Çizelge 2.3. Farklı ülkeler için ev içi ortalama radon konsantrasyonları (Bq/m³) [1,14].

ABD	46	İsveç	108
Almanya	50	İsviçre	70
Arjantin	37	İtalya	75
Avustralya	11	Japonya	16
Belçika	48	Kanada	34
Cezayir	30	Macaristan	107
Çek Cum.	140	Mısır	9
Çin	24	Norveç	73
Danimarka	53	Polonya	41
Ermenistan	104	Portekiz	62
Finlandiya	120	Romanya	45
Fransa	62	Slovakya	87
Hindistan	57	Suriye	44
Hollanda	23	Tayland	23
İngiltere	20	Türkiye	70
İran	82	Yunanistan	73
İspanya	86		

2.2 Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Topraktaki radyoaktif çekirdek konsantrasyonunun büyük bir kısmı radyoaktif kaya oluşumundan kaynaklanmıştır. Volkanik kayaların aktivite konsantrasyonlarının genellikle tortul kayalarındakilerden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ortalama olarak aktivite konsantrasyonu, ⁴⁰K, ²³⁸U ve ²³²Th gibi elementlerin yüksek yoğunlukta bulunduğu topraklarda görülmektedir. Ortalama dış gama ışınlarının yerden 1 m yükseklikte ölçülen doz hızı $4,4 \times 10^{-8}$ Gy/h ve buna bağlı olarak bu değere ⁴⁰K, ²³⁸U ve ²³²Th aktiviteleri dolayısıyla yapılan katkı oranları sırasıyla, yaklaşık olarak, %35, %25 ve %40 olarak tahmin edilmektedir [6].

Dünya yaklaşık 4,6 milyar yıl önce oluştuğunda, yapısında bir çok radyoaktif madde bulunmaktaydı. Bu zamana kadar kısa ömürlü izotoplar bozunarak yok olmuştur. Ancak uzun ömürlü radyoizotoplar (100 milyon yıl veya daha fazla) halen mevcuttur. Doğal radyoaktif çekirdekler özellikle granit, volkanik, fosfat ve tuz kayalarında yüksek yoğunlukta bulunmaktadır. Bunun yanında en düşük radyoaktivite konsantrasyonu kireç kayalarında bulunmaktadır. Başkalaşım kayaları ise oluştukları kayaların konsantrasyonuna sahiptirler. Çizelge 2.4'de kayalarda radyum, uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan γ radyasyon doz oranları verilmektedir [15].

Çizelge 2.4. Kayalarda radyum, uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan γ radyasyon doz şiddetleri [15].

Kaya tipi	Doz şiddeti (mSv saat ⁻¹)			
	²²⁶ Ra	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
Volkanik	2.4	2.6	3.7	3.5
Tortul kayalar				
Kumtaşı	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

Topraktaki radyoaktiviteye sebep olan üç önemli doğal radyoizotop ²³⁸U, ²³⁵U ve ²³²Th dir. ⁴⁰K hariç bütün doğal radyoaktif elementler bu üç aileden birinin üyesidir. Karasal ölçümlerde, yeryüzünden 1 m yükseklikte ⁴⁰K, ²³⁸U ve ²³²Th'un ortalama aktivite kütle konsantrasyonlarına karşılık gelen soğurulmuş doz şiddetleri Çizelge 2.5'de verilmiştir [6].

Çizelge 2.5. ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'un ortalama aktivite kütle konsantrasyonu ve buna karşılık olarak havada soğrulan doz şiddetleri [6].

Radyonüklit	Ortalama Aktivite Kütle konsantrasyonu (Bq/kg)	Havada Soğrulan doz Şiddeti (nGy/h)
^{40}K	370 (100-700)	16 (4-30)
^{238}U	25 (10-50)	11 (4-21)
^{232}Th	25 (7-50)	17 (5-33)

Radyoaktivitenin toprakta kalma ve diğer ortamlara geçme süreleri, toprağın jeolojik fiziksel ve kimyasal yapısına, yörenin meteorolojik şartlarına bağlı olmakla birlikte toprağa ulaşan radyoaktif çekirdeğin kimyasal oluşumu ile de ilgilidir [16].

Topraktaki doğal radyoaktiviteyi belirlerken birçok etkene dikkat edilmelidir. Toprağı oluşturan mineral türleri ve üzerinde oluşan bitki örtüsü toprakta var olan radyoaktiviteyi değiştirmektedir. Çizelge 2.6 yüzey toprağındaki fon radyonüklit konsantrasyonunun dünya ortalamasını vermektedir [17]. Ayrıca Çizelge 2.7'de Amerika ortalaması gösterilmiştir [18].

Çizelge 2.6. Yüzey toprağındaki fon radyonüklit konsantrasyonunun dünya ortalaması [17].

Radyonüklit	Topraktaki radyonüklit konsantrasyonu (pCi/g)	
	Değişim aralığı	Dünya ortalaması
^{226}Ra	0.49-1.98	0.79
^{238}U	0.33-1.32	0.66
^{232}Th	0.22-1.31	0.65

Çizelge 2.7 Amerika'daki yüzey topraklarının fon konsantrasyonları ortalaması [18].

Radyonüklit	Topraktaki radyonüklit konsantrasyonu (pCi/g)		
	Değişim aralığı	Aritmetik ortalama	Geometrik ortalama
²²⁶ Ra	0.23-4.2	1.1 ± 0.48	1.0 : 1.6
²³⁸ U	0.12-3.8	1.0 ± 0.83	0.96 : 1.6
²³² Th	0.10-3.4	0.98 ± 0.46	0.87 : 1.7

Toprakta mevcut olan radyoaktivite biyokimyasal yöntemlerle biraz değişir. Bitki kök sistemlerindeki gelişme bir taraftan topraktaki doğal dengeyi sağlarken diğer taraftan bitkinin ihtiyacı olan suyu topraktan almaktadır. Hümic asit (toprakta bulunan bir çeşit asit) kayaların parçalanmasında ve bu parçaların sular vasıtasıyla toprağa karışmasında önemli rol oynar. Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarında oksidasyonlarla başlar. Alt tabakalarda mevcut uranyum zamanla azalır. Topraktaki hareketlilik demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşmasıyla devam eder. Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtasıyla radyonüklitlerin tutulmasını engeller. Topraktaki bu gelişim evlerdeki ve kayalardaki radyonüklit konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır. Toprak içinde bulunan doğal radyonüklitler, toprak içindeki oranlarına göre çevresel doğal radyasyonunun temel seviyesini değiştirir. Bu değişim nedeniyle insanların maruz kalmış olduğu radyasyon miktarı değişime uğramıştır [9].

2.3 Sulardaki Radyoaktivite

Canlıların her türlü gereksinimleri için kullandıkları, su molekülüdür. Su içinde, kation (pozitif yüklü iyon) ve anyon (negatif yüklü iyon) olarak erimiş bulunmaktadır. En yaygın erimiş kationlar, sodyum (Na⁺), kalsiyum (Ca⁺²), magnezyum (Mg⁺²) ve potasyum (K⁺)'dır. Klorür (Cl⁻), bikarbonat (HCO₃⁻) ve sülfat yaygın olarak bilinen anyonlardır.

Oluşum ve içeriğinde bulunan maddelere göre doğal sular; yağmur, kar, yeraltı, nehir, göl ve deniz suyu gibi yeryüzü suları olarak sınıflandırılabilir. Yağmur ve kar suyu gibi meteorolojik sular, doğal sular içinde en temiz olanıdır. Ancak bunlar da başlıca havayı oluşturan gazları, hidrolojik çevrim sırasında yolu üzerinde rastladıkları bütün maddeleri, gaz ise çözünürlükleri oranında diğer maddeleri çözelti veya karışık halde sürüklerler. Şehir ve sanayi bölgeleri yakınına düşen yağmur ve özellikle kar sularında SO₂ ve sülfat asidi bulunur. Bu nedenle, yağmur ve kar suları, radyoaktif ve kimyasal kirlilik açısından önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir [19].

Yeryüzünün dörtte üçünü sular oluşturmaktadır, benzer şekilde insan vücudunun da dörtte üçünü su oluşturur. Su yaşamın temeli olup, canlıların tüm bedensel işlevleriyle de doğrudan ilgilidir. Dolayısıyla insan sağlığı açısından özellikle içme sularının radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi önemlidir.

Geçmiş yıllarda havada yapılan nükleer silah denemeleri nedeniyle atmosfer ve stratosfere yerleşen ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs gibi radyoaktif fisyon ürünleri ile kirlenmiş olan bulutların, radyoaktif serpinti halinde zamanla yeryüzüne inerek, çevrenin ve özellikle yüzey sularının kirlenmesine yol açtığı bilinmektedir. Nükleer silah denemelerinin havada yapılmasının yasaklanmasından sonra, radyoaktif yağışlar zamanla azalmaya başlamıştır. Nükleer ve radyolojik kurumlardan çıkan radyoaktif atıklar için gerekli önlemlerin alınması ve bunların denetimsiz olarak çevreye verilmesi veya kaza durumlarında radyoaktif sızıntı meydana gelmesi, çevre kirliliğine neden olmakta, içme suyu kaynakları da bundan payını almaktadır.

Sularda birçok radyoaktif element bulunmaktadır. Ancak bu radyoaktif elementlerin çoğu radyasyon sağlığı bakımından önemli sayılabilecek konsantrasyonlarda bulunmamaktadır. Suların doğal radyoaktiviteleri, içinden geçtikleri veya temas halinde buldukları radyoaktif kütleler veya minerallerden ileri gelmektedir [20].

Genellikle volkanik kütleler içinden geçip gelen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kütleler içinden gelen sulara nazaran daha yüksektir. Sularda

en fazla uranyum serisi elementler bulunmaktadır. ^{40}K dışında suyun doğal radyoaktivitesinin hemen hemen tümünü uranyum ailesi elementleri olan ^{238}U , ^{226}Ra ve ^{222}Rn ile ^{222}Rn 'ün kısa ömürlü bozulma ürünleri oluşturmaktadır. ^{226}Ra 'un bozulması ile oluşan ve yarı ömrü 3.82 gün olan radyoaktif ^{222}Rn gazı, daha ziyade yeraltı sularında olmak üzere, sularda çok yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir.

Radon'un asal bir gaz olması ve su yüzeyinden kolayca havaya kaçması nedeniyle, yüzeysel sularda ^{222}Rn konsantrasyonları, insan sağlığı açısından önem taşımayacak derece de düşük düzeylerde bulunmaktadır. Radyasyon sağlığı bakımından ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{222}Rn radyoaktivite konsantrasyonları önemlidir. Kimyasal toksitesinden dolayı sularda yüksek konsantrasyonlarda uranyum bulunması insan sağlığı için zararlı olmaktadır [12].

Radyoizotopların temel hareket mekanizmasını sağlayan hidrosfer, temel seviye radyasyonunun belirlenmesinde önemli rol oynar. Suyun sahip olduğu çözücülük, taşıyıcılık ve değişik radyoizotopları çöktürme gibi farklı karakteristik özellikleri sulardaki doğal radyoaktiviteyi arttırmaktadır. Yüzey sularında akış hızlarının çok güçlü olması, içinde asılı bulunan partiküllerdeki potasyum, rubidyum, kozmik ışın kökenli ve suni radyonüklitleri kil minarelerinin taşınmasını sağlamaktadır. Yeraltı sularında suyun akışı güçlü değildir [21].

Günümüzde nükleer tesislerin normal çalışma durumunda, radyoaktif atıklar için tatminkâr önlemler alınmasına rağmen bir kaza durumunda çok geniş boyutlarda radyoaktif kirlenme meydana gelebilmektedir. Çernobil nükleer reaktör kazası, sadece kazanın meydana geldiği çevrede değil, uluslararası boyutlarda hatta bütün kuzey yarımkürede radyoaktif kirlenmeye yol açmıştır [1].

Sularda bulunan radyoizotopların ve iyonlaştırıcı radyasyonun ölçümü çevre açısından ayrı bir önem taşımaktadır. Bu ölçümler; doğal radyasyon ve insan faaliyetlerinin neden olduğu yapay radyasyonun tayini, ülkelerin yönetmelik sınırlamalarına uygunluğunun tespiti, çevresel doğal radyasyonun bileşimi ve insanların

neden olduğu radyoizotopların çevresel ortamlardaki transferi ve tutulması çalışmalarını için yapılması gerekli ölçümlerdir.

Çevresel radyoaktivite genellikle düşük seviyelerde olduğundan ölçüm tekniklerinin hassas ve güvenilir olması gerekmektedir. Ayrıca ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumu, çevresel radyasyon alanları ve radyoizotopların dağılımının bilinmesi ile mümkün olacaktır. Bunlar, doğada bulunan radyoizotopların bozunum özellikleri, çevre ile etkileşimi ve radyasyon fiziğı gibi bilgileri içermektedir [17]. Sularda radyoaktivite tayininde, doğal kaynaklardaki gama aktif elementlerin yarı ömürlerinin alfa ve beta aktif elementlere göre daha kısa olması nedeniyle, çoğı kez gama tayini yapılmaktadır. Buna karşın, alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin tayini, iç radyasyon tehlikesi açısından önemli olmaları nedeniyle, sular için üzerinde önemle durulan bir konu durumundadır. Nitekim standartlarda da alfa ve beta radyoaktivite seviyelerine ilişkin limitler belirlenmiştir [22]. Bulunabilecek en yüksek alfa ve en yüksek beta radyasyon seviyeleri Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından yapılan çalışmalar neticesinde belirlenmiştir. Bu kuruluşlar tarafından tavsiye edilen üst sınırlar toplam alfa aktifliğı için 0.1 Bq/l, toplam beta aktifliğı için ise 1.0 Bq/l olarak belirlenmiştir [23].

Bu nedenle, çevresel bakımdan suların radyoaktif kirliliğinin saptanmasında ilk olarak alfa ve beta radyoaktivite ölçümlerinin yapılması gerekli olmaktadır. Bu kirliliğın kaynağının bulunması, çevre sağlığı açısından kirliliğın önemli olduğu yerlerde ayrıntılı ve hassas ölçümlerin yapılması ve radyoizotop analizinin yapılması diğeri önemli konuları oluşturmaktadır.

2.4 Deneysel Yöntemler ve Metotlar

2.4.1 Gama Spektrometrik Analizler

Tipik bir gama spektrometre sistemi, Şekil 2.4 de gözüktüğü gibi NaI(Tl) gibi sintilasyon veya Ge(Li) ve HPGe gibi yarı-iletken bir detektör (D), beraberinde ön-yükseltici (PA) ve yüksek voltaj filtresi ile, güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), örneksel-sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar (PC) yazıcıdan oluşur. Gama ışınlarının detektör kristalinde algılanması sonucu ortaya çıkan darbeler detektörün bağlı olduğu elektronik modüllerin uygun bir komisyonu yardımıyla analiz edilir ve gama ışınımı 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 işlemedeki doğruluk ve analiz edilen bilgilerin güvenilirlik düzeyleri yüksektir. Bu tez çalışmasında yapılan deneylerde gama spektrometrik ölçümlerde bir HPGe detektörü kullanılmıştır. Bu detektör CANBERRA firmasının bir ürünüdür [24].

2.4.1.1 Çok Kanallı Analizör Sistemi

Çok kanallı analizör: Yükseltici çıkış sinyalleri çok kanallı bir darbe yüksekliği analizörü (MCA) ile analiz edilir. MCA'yı çalıştıracak bilgisayar bağlantısı ve yazılım programının bulunması uygun olur.

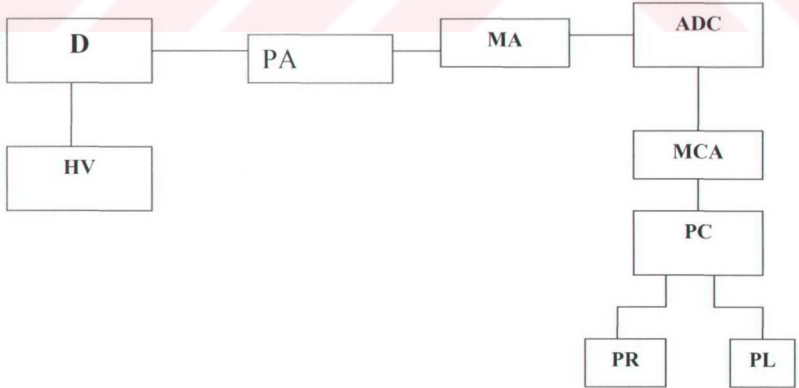
Sayısal-örneksel dönüştürücü: bir MCA'nın kalbi, elektrik darbesini sayısal niceliğe dönüştüren sayısal-örneksel dönüştürücü, ADC (Analog to Digital Converter) birimi olup darbe yüksekliğinin analog büyüklüğünü (volt), kanal başına düşen sayısal niceliğe dönüştürür.

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

Topraktaki radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi süresince gama spektrometrik analizleri, etrafı kurşunla zırhlanmış yüksek ayırma gücündeki germanyum detektörü ile buna bağlı 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 [24].

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

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



Şekil 2.4 Saf germanyum detektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği.

Örnek sayım geometrisi, analiz edilecek örneğin fiziksel durumuna, miktarına, aktivitesine ve tayin sınırına bağlı olarak çeşitli ölçüm kapları, marinelli kapları veya değişik çap ve kalınlıkta preslenmiş diskler olabilir. Örnekler, kurşun zırh ile çevrili odacıkta, belirli bir sayım geometrisinde, sayım verimini arttırmak amacıyla detektöre olabildiğince yakın konumda sayılır. Sayım süresince; ölçüm sisteminde doğal yüzey sayımına, örneğin aktivitesine, ilgilenilen radyoizotopa ve istenilen tayin duyarlılığına bağlıdır. Kullanılan geometri için detektörün sayım verimi, örnek yoğunluğu ve enerjisinin fonksiyonu olarak bulunmalıdır. Gama enerjisi ile sayım veriminin değişimine ilişkin bilgiler ve doğal düzey spektrumlarının da hazır olması gereklidir. Cs-137 ve Co-60 gibi radyoaktif standartlar kullanılarak spektrometrenin kalibrasyonu belirli aralıklarla yapılır [24].

2.4.1.2. Toprak Numunelerin Hazırlanması

Toprak örneği alınırken seçilecek metod amaca bağlı olarak değişir. Örnek amacına göre yüzeyden veya belli bir derinlikten alınabilir. Veya kademeli olarak farklı derinliklerden örnek alınarak radyonüklitlerin zamana bağlı olarak toprak içinde ilerleme hızlarının tespiti yapılmak istenebilir. Aktivite hesapları ağırlık (Bq/kg) veya yüzey alanı (Bq/m²) hesabı yapılarak bulunur. Örnek alınacak yer seçilirken arazinin düz, geniş ve üzeri çimle kaplı, işlenmemiş ve erozyona uğramamış alanlardan olmasına dikkat etmelidir. Örneğin, alınan yerin tamamını temsil etmesi için seçilen alanın (yaklaşık 400-500 m² li bir alan seçilebilir) köşelerinden ve ortasından birer örnek alınıp karıştırılarak tek bir örnek haline getirilmesi gerekmektedir. Çukur alanlar ve su birikintisine neden olacak çukurlar seçilmemelidir. Doğal radyonüklitlere bakılacak ve aktivite hesabı ağırlık üzerinden yapılacaksa 20x20 veya 20 cm çapında bir alandan 10 cm derinlikten alınabilir. Yüzey üzerinden hesap yapılmak istenilirse yaklaşık 2 cm derinliğinde ve 1 m² lik alan seçilerek örnek alınabilir. Derinlik ve yüzey alan miktarı çalışma amacına göre değiştirilebilir. Toprak örneği alınırken yüzeyde bulunan taş, ot, çimen, çöp vs. temizlenmelidir. Örnekler bu amaç için özel yapılmış aletlerle alınmalı ve her örnek alındıktan sonra alet yıkanmalıdır. Laboratuara getirilen örnekler naylon

üzerine serilerek yaklaşık 1 hafta süresince oda şartlarında kurutulur. Örnekler blender de öğütülerek toz haline getirilir.

Bu çalışmada numune toplama amacıyla 25 cm çaplı ve 5 cm yükseklikli bir numune toplama kabı oluşturulmuştur. Numune toplama kabı şekil 2.5'de gösterilmektedir. Numuneler 1 m²'lik çalışma alanının dört köşesinden örnekler alınarak kendi aralarında numaralandırılmışlardır.



Şekil 2.5. Toprak numune toplama kabı.

2.4.3. Alfa ve Beta Sayım Sistemleri

Çevresel radyoaktivite ölçümlerinde, toplam ve gross radyoaktivite ölçümlerine ilişkin olarak gelişmiş alternatif yöntemler olmasına karşın, yıllardır gaz akışlı orantılı detektörlerden faydalanılmaktadır. Bir başka deyişle gaz akışlı orantılı sayıcılar doğal radyoaktivite seviyelerine ilişkin ölçümler için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun nedeni, spesifik radyoizotop analizleri ile karşılaştırıldığında hayli düşük maliyetli olmaları ve sonuca çabuk ulaşılması ve özgün radyoizotopların değerlendirilmesi için yeterli ön bilgiyi sağlamalarıdır [17]. Bu çalışmada gaz akışlı orantılı sayıcılar kullanılmıştır. Şekil 2.6'da gaz akışlı orantılı bir sayıcının çalışma

düzeneği gösterilmektedir. Bu tip alfa ve beta sayıcıları, dedeksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir.

Çevresel örneklerde doğal radyoaktivite çok düşük olduğundan bunların dedeksiyonunda uzaydan gelebilecek kozmik ışınların oluşturacağı iyonizasyon dolayısıyla meydana gelecek sayımların ortadan kaldırılması ancak engelleme devresi kullanılmakla mümkündür.



Şekil 2.6. Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait çalışma düzeneği [9].

İçteki iyon odası "örnek detektör" ve bunu saran daha büyük iyon odası ise "koruyucu detektör" ismini almaktadır. Sayım esnasında her iki detektörün geiger gazı geçirilmektedir. Her iki detektör arası örnekten gelecek radyasyonun geçemeyeceği şekilde ekranlanmıştır. Böylece örnekten gelecek radyasyon sadece örnek detektörde iyonizasyon meydana getirir. Fakat kozmik ışınlar gibi yüksek enerjili ışınlar her iki detektörde aynı anda iyonizasyon meydana getirebilir. Bilindiği gibi engelleme devreleri iki giriş ve tek çıkışı olan devrelerdir. Bu devrelerdeki iki girişin her ikisine de darbe geldiğinde çıkışta bir darbe oluşmamaktadır. Fakat buna karşın, girişlerinden yalnız birine bir darbe geldiğinde çıkışta bir darbe meydana gelmektedir. Burada sadece örnek dedektörde meydana gelen iyonizasyon sayılacak ve her iki detektörde birden meydana getirilen iyonizasyon sayılmayacaktır. Böylece çevreden gelen radyasyon algılanmaz ve bu sayım sistemlerinin fon`u dakikada birden küçüktür [25].

Dedeksiyon ortamında en çok kullanılan gazlar argon, ksenon, izobütan, helyum ve metandır. Bir tüp, bu gazlardan biri veya ikisinin karışımı ile doldurulup içine iki elektrot konulur. Gaz içinde meydana gelen elektrik akımı laboratuvar sayım cihazının elektrik devresinde algılanır.

Su örneklerinde toplam alfa ve beta aktivite ölçümleri, belirlenen alan ve kalınlıkta hazırlanıp, katı hale getirilerek sayım plâşetlerine su örneklerinin sayımı ile gerçekleştirilmiştir. Yüzeysel suları, yeraltı suları, içme suları gibi değişik kaynaklardan alınan su örnekleri buharlaştırıldıktan sonra kalan rezidü miktarı dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır.

Ölçüm yapılacak örneklerin radyoizotop karışım içerikleri bilinmediğinden sayım sisteminin kalibrasyonu ve kullanılacak standardın seçimi burada önem taşımaktadır. Bilinen miktarlarda standart çekirdek içeren kalibrasyon kaynaklarının; sayılacak örneklerin alanı, yoğunluğu, kalınlığı ve aktivite dağılımı ile benzer özellikleri taşıyacak şekilde hazırlanması gerekmektedir.

Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite sayımları için sayım cihazı olarak ince pencere, çok iyi zırhlanmış, gaz akışlı, engelleme, orantılı sayıcı kullanılması uygun olmaktadır. Çevresel örneklerde ölçülen doğal radyoaktivite konsantrasyonları genellikle çok düşük seviyelerde olduğundan, kullanılacak ölçüm cihazları da çok düşük doğal sayım seviyesine (fon) ve yüksek duyarlılık özelliklerine sahip olmalıdır [26].

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

Sudaki toplam alfa radyoaktivitesi değerlendirilmesi yapılırken, su örneğinde çözünmüş madde miktarına dikkat etmek gerekmektedir. Buharlaştırılma sonucu elde edilen rezidü miktarı fazla ise kendi kendine soğurması da yüksek olacaktır. Radyasyonun örnekten ayrılarak öncelikle sayıcıya girmesi ve ardından sayıcı

devrelerinde bir puls olarak algılanması gerekir. Ancak belirli bir kütleyle sahip olan örnekler, yayınlanan radyoaktivitenin bir kısmını soğurarak “kendi kendine soğurma (self-absorbsiyon)” denilen olay meydana gelmektedir. Artan rezidü miktarı radyasyonun kendi kendine soğurma etkisini artırıp daha az sayıda parçacığın detektöre ulaşmasına neden olmaktadır [25].

Sayıcının verimini etkileyen diğer bir faktörde, geri saçılma (back-scattering) olayıdır. Radyasyon tipi ve enerjinin 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 [25].

2.4.3.1 Su Numunelerinin Hazırlanması

Suların alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları insan sağlığı açısından önemli olduğu için düşük seviyede olmalı ve ilgili otorite veya Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) koyduğu sınırları aşmamalıdır. Bu nedenle, alfa ve beta radyoaktivitelerini doğru tespit etmek için örneğin hazırlanması ve sayılması esnasında yapılacak olan hataları (örnek hazırlama hatası, cihaz verimi hatası, sayım geometrisi hatası, geri saçılma faktörünün hesaba katılmaması hatası gibi) en aza indirmek gerekmektedir.

Su örneklerinin hazırlanırken 20 ile 500 ml arasında numune alınır. Alınan numune bir behere aktırılır ve 50-60 °C'lik ısıda buharlaştırılmaya bırakılır. Buharlaştırma işlemi numunenin % 10' u kalıncaya kadar devam edilir. Buharlaşma esnasında beherin duvarlarına yapışan maddeleri önlemek için beherin içine birkaç damla %1'lik HCl veya HNO₃ ilave edilir. Buharlaşma işlemi, beherde kalan su önceden darası ve boş sayımı alınmış planşet içine taşmayacak şekilde azar azar aktarılarak kuruluk kalacak şekilde devam edilir (bu işlem düşük ısıda hot-plate üzerinde yapılır). Buharlaşma bittikten sonra planşet içinde kalan rezidü tartılarak kayıt

edilir. Daha sonra planşet, 105 °C'de bir etüv içine konularak iyice kurutulur. Artık numunemiz sayıma hazır bir durumdadır. Ancak bu noktada dikkat edilmesi gereken bir husus da planşet içindeki rezidünün homojen bir şekilde dağıtılmış olmasıdır.

2.4.4 Radon Sayım Sistemi

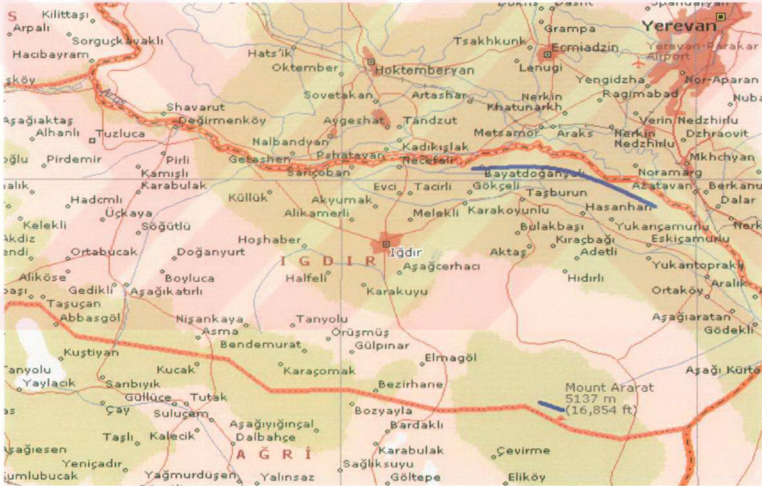
Bu çalışma süresince İğdir evlerinde ²²²Rn konsantrasyonlarını ölçmek için CR-39 dedektörleri kullanıldı. Bu dedektörlerin ticari ismi Alil Diglikol Karbonat'tır. Camın optik özellikleri ile mekanik ve fiziksel özellikleri birleştirilerek yapılmış ve ısı altında sertleştirilmiş bir tür plastik kullanılarak dedektörler üretilmiştir. CR-39 plastiği, (20x20x0.25) mm boyutlarında kesilerek 50-100 cm³'lük plastik kapların içine yerleştirilmiştir.

Radon ve bozunma ürünlerinin yayınladıkları alfa tanecikleri difüzyon kaplarının içine girerek dedektörle etkileşmekte ve dedektör yüzeyinde gözle görülemeyecek büyüklüklerde izler oluşturmaktadır. Belirli bir gözlem sürecinin sonunda toplanan dedektör üzerindeki alfa izlerinin görülebilir hale getirilebilmesi için kimyasal iz kazıma işlemine başvrulur. Bu işlem esnasında dedektör %30'luk NaOH çözeltisinde, 70 °C sıcaklıkta, bir etüv içinde 17 saat tutulur. Daha sonra saf su ile iyice temizlenen dedektör üzerinde alfa izleri, 500 büyütmeli bir mikroskopla rahatça gözlenerek sayılır.

3. Deneysel Çalışmalar

3.1 Ölçüm Sahası

Bu çalışmada ölçüm sahası olarak Iğdır ili seçilmiş ve Iğdır ili sınırları içinde bulunan Aras nehri kıyısı boyunca çeşitli noktaların doğal radyoaktivite konsantrasyonları deneysel olarak belirlenmiştir. Bu deneysel toprak ve su örneklerinin içerdiği radyoaktif çekirdek konsantrasyonları ve ev içi radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Numunelerin toplandığı bölge Şekil 3.1'de Iğdır ili haritası üzerinde mavi çizgi ile gösterilen bölgedir.



Şekil 3.1. Iğdır İli Su ve Toprak Örneklerinin Alındığı Noktalar.

3.2 Iğdır İli Toprak Örneklerinin Doğal Radyoaktivitelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, Iğdır ilinin toprak örneklerinin içerdikleri doğal radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla, 11 değişik noktadan toprak örnekleri alınarak gama spektrometrik analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyasyon serilerinin elemanlarının ve ^{40}K radyoizotopunun aktivite

konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca, doğada doğal olarak bulunmayan, nükleer denemeler veya kazalar sonucu çevreye yayılan bir fisyon ürünü olan, ^{137}Cs radyoizotopunun konsantrasyonu da tespit edilmiştir. Toprak örneklerinin gama spektrometrik analizleri, Canberra, 85 serisi (4096 kanallı) gama spektrometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm cihazı, ayrıntılı olarak Bölüm 2.5.1’de tanıtılmıştır.

3.2.1 Gama Spektrometresinin Enerji Kalibrasyonu

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

Enerji kalibrasyonu yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart bir kaynağa ihtiyaç vardır. Çizelge 3.1’de kalibrasyon için kullanılan standart kaynağa ait bilgiler verilmektedir. Enerji kalibrasyonu için dedektörün önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek hangi kanallara geldiği tespit edildi.

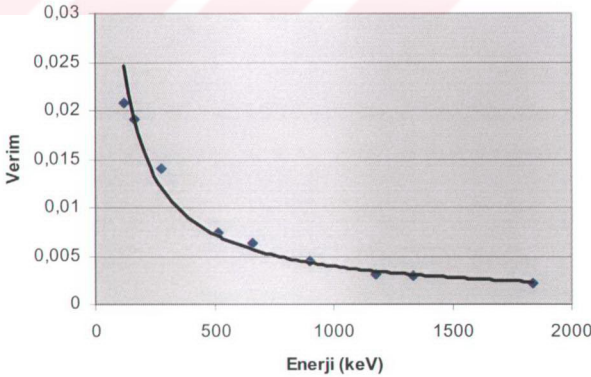
Çizelge 3.1. Standart kalibrasyon kaynağının özellikleri.

Radyonüklit	Enerji (keV)
^{109}Cd	88.03
^{57}Co	122.1
^{139}Ce	165.9
^{203}Hg	279.2
^{113}Sn	391.7
^{85}Sr	514.0
^{137}Cs	661.6
^{88}Y	898.0
^{60}Co	1173
^{60}Co	1333
^{88}Y	1836

3.2.2. 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 saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Verim tayini için genelde standart kaynaklar kullanılır. Kaynağın şekli farklı olduğunda, kaynak homojen olarak foton yayımlayamayacağından bu durum dedektörün verimini etkiler. Bunun için kaynağın en çok foton yaydığı bölgeyi dedektörün merkezine gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir.

Bir dedektörün herhangi bir enerjideki verimi, dedektörden sabit uzaklıkta bulunan standart kaynaktan birim zamanda dedektöre gelen ve sayılan fotonların sayısını bilmekle tayin edilir. Bu çalışmada kullanılan Ge(Li) dedektörünün enerji dedeksiyon verimi 80 keV ile 100 keV arasında maksimum değere sahiptir. Bu enerjilerin altında ve üstünde verim azalır. Bu deneyde kullanılan enerji-verim eğrisi Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. HPGe dedektörünün enerji-verim eğrisi.

3.2.3 Iğdır İlinin Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizi

Kurutulmak üzere bir süre bekletilen toprak örnekleri bu süreç sonunda gama spektrometresi cihazına konularak 50.000 saniye sayılmıştır. Sayım işlemi her radyoizotopun yayınladığı fotoelektrik pik enerjisine göre kalibre edilmiş enerji aralığında gerçekleştirilmiştir. Toprak örneklerinin kurutma esnasında oluşan radyoaktivite kayıpları, ihmal edilebilecek düzeyde küçük olmaları nedeniyle, hesaplamalara dahil edilmemişlerdir. İncelemeler sonucunda elde edilen aktivite konsantrasyonları, ilgili pik değerleri de belirtilerek, Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Iğdır İli toprak örneklerinin 07/08/2003 tarihinde bulunan radyoaktif çekirdeklerin aktivite konsantrasyonları (Bq/kg).

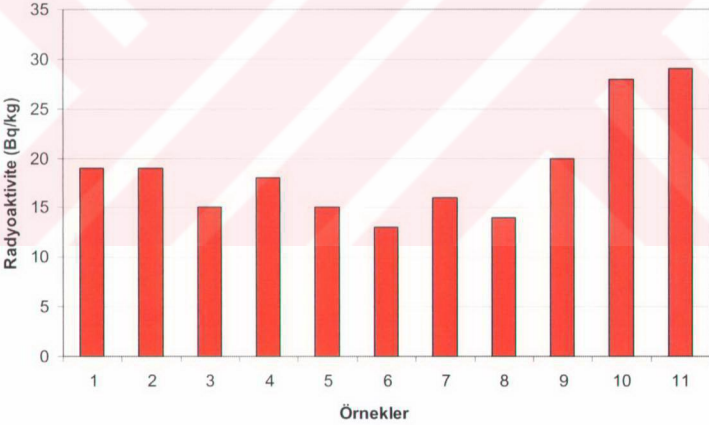
Örnek Adı	²²⁶ Ra	²³² Th	²³⁸ U	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
T-1	19±2	16±2	15±3	310±29	10±4
T-2	19±4	18±3	16±4	313±32	6±3
T-3	15±3	15±4	11±2	279±28	3±2
T-4	18±4	18±3	14±3	359±35	3±1
T-5	15±3	13±4	13±4	265±28	1±1
T-6	13±3	14±3	12±4	270±29	4±2
T-7	16±5	16±2	13±3	317±33	13±3
T-8	14±3	14±2	12±4	312±32	17±3
T-9	20±4	20±4	25±5	354±31	15±4
T-10	28±4	27±5	22±3	444±46	54±8
T-11	29±6	30±6	20±4	436±45	69±9

²²⁶Ra'nın 186 keV'da bir piki vardır. ²²⁶Ra, ²³⁸U serisinin bir bozunma ürünüdür ve yarı ömrü 1600 yıldır [24]. ²²⁶Ra'nın toprak örneklerindeki dağılımı Şekil 3.3'de verilmiştir.

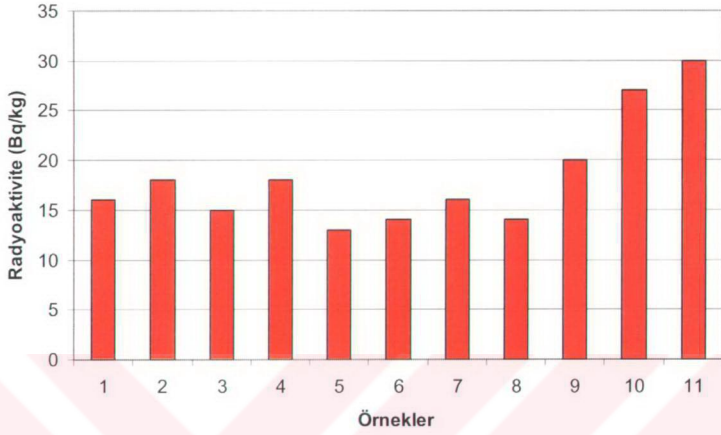
²³²Th kendi bozunma ailesinin ilk elemanıdır. Toprak örneklerindeki ²³²Th'un dağılımı şekil 3.4'de verilmiştir. ²³⁸U kendi bozunma ailesinin ilk elemanıdır. Toprak örneklerindeki ²³⁸U'nun dağılımı Şekil 3.5'de verilmiştir.

^{137}Cs , fisyon ürünü olduğu için tabiatta doğal olarak bulunmamakta olup, nükleer denemeler ya da reaktör kazaları sonucunda ortaya çıkmaktadır. ^{137}Cs 'nin yarı ömrü 30.2 yıldır. 661 keV'de bir piki vardır [27]. Iğdır ili toprak örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun dağılımı Şekil 3.6'da verilmiştir.

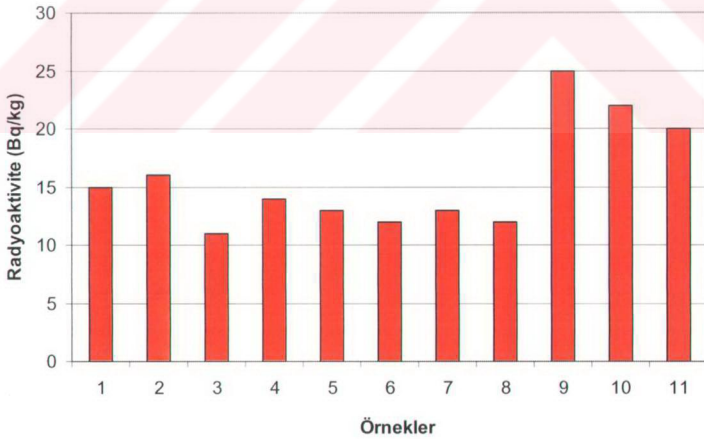
^{40}K , yarı ömrü 1.28×10^9 yıldır. ^{40}K doğada tek başına bulunur, herhangi bir bozunum serisi yoktur. Toprakta bol miktarda bulunduğu için doğal gama radyasyon dozuna en fazla katkıda bulunan doğal radyoaktif elementtir. Öte yandan insan vücudunda yaşamsal bir öneme sahiptir. ^{40}K , 1460 keV enerji pikinde bulunmaktadır [27]. Şekil 3.7'de alınan toprak örneklerindeki ^{40}K 'in dağılımı gösterilmiştir.



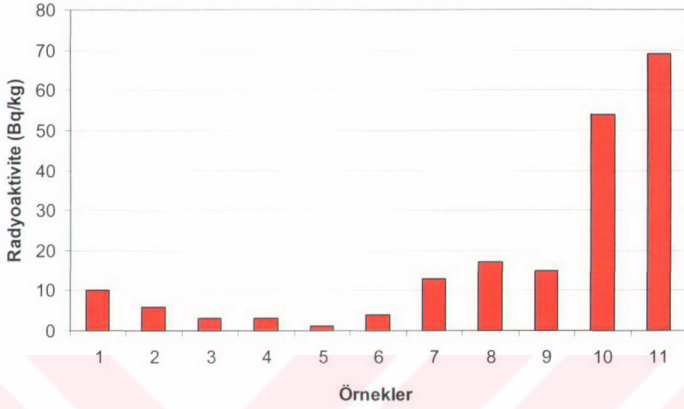
Şekil 3.3. Iğdır Toprağındaki Ra-226'nın dağılımı.



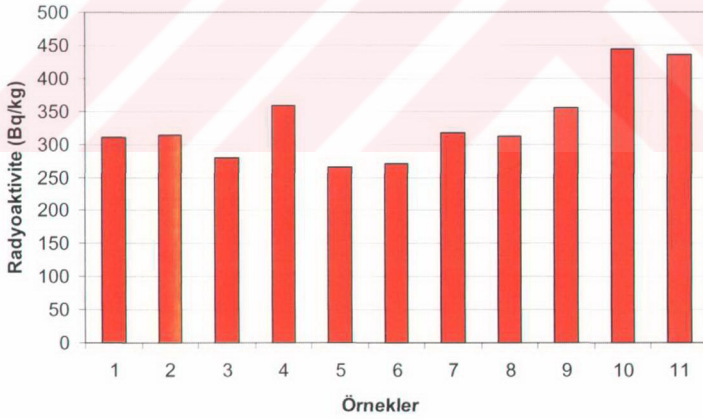
Şekil 3.4. Iğdır Topraklarındaki Th-232'nin dağılımı.



Şekil 3.5. Iğdır Topraklarındaki U-238'in dağılımı.



Şekil 3.6. Iğdır Topraklarındaki Cs-137'nin dağılımı.



Şekil 3.7. Iğdır Topraklarındaki K-40'ın dağılımı.

Çernobil reaktör kazası sonrasında gerçekleştirilen ölçümler Türkiye'nin Trakya ve Karadeniz bölgesinin radyoaktif kirlenmeye maruz kaldığını göstermiştir. Doğu Karadeniz bölgesinden alınan toprak örneklerindeki analiz sonuçları ise Çizelge 3.3'de gösterilmiştir [28]. Trakya bölgesinde yapılan toprak analizleri sonuçları Çizelge 3.4'de gösterilmiştir [29].

Çizelge 3.3. 1986 yılı Karadeniz toprak örnekleri sayım sonuçları [28].

Yer Adı	¹³⁷ Cs Aktivitesi (Bq/kg)	Yer adı	¹³⁷ Cs Aktivitesi (Bq/kg)
Arhavi	259.48±2.30	Perşembe	37.09±2.87
Sürmene	22.37±1.33	Fındıklı	109.97±3.05
Ünye	150.55±4.89	Eynesil	31.75±2.18
Pazar	121.53±4.09	Maçka	83.15±3.35
Borçka	34.15±1.84	Derele	28.64±2.30
Fatsa	129.41±2.86	Arhavi	248.78±7.96
Sürmene	24.80±2.39	Görele	65.69±2.82

Çizelge 3.4. 2004 yılı Tekirdağ toprak örneklerinin sayım sonuçları [29].

Yer Adı	¹³⁷ Cs Aktivitesi (Bq/kg)	Yer adı	¹³⁷ Cs Aktivitesi (Bq/kg)
Tekirdağ	3.67±0.18	Seymenli	6.01±0.18
Çorlu	1.79±0.10	Batkın	2.21±0.13
Çerkezköy	21.95±0.44	Malkara	1.31±0.30
Velimeşe	2.75±0.22	Kaşıkçı	3.37±0.20
Şarköy	1.29±0.01	Muratlı	0.11±0.00
Yörük	1.22±0.01	Saray	14.88±0.3
Yağcı	2.88±0.17	Şahin	2.89±0.15

Havadan (fallout) gelen radyoaktivitenin büyük bir kısmının toprakta biriktiği bilinmektedir. Topraktaki radyoaktivitenin insanlara ulaşması iki yolla olur: Birincisi; yüzey toprağına karışmış olan radyoaktivitenin, toprak taneciklerinin havaya dağılması ve oradan solunum yoluyla insana ulaşmasıdır. İkinci yol toprakta bulunan doğal ve yapay radyoizotopların toprak-bitki-hayvan gıda zinciri ile insana ulaşmasıdır [28].

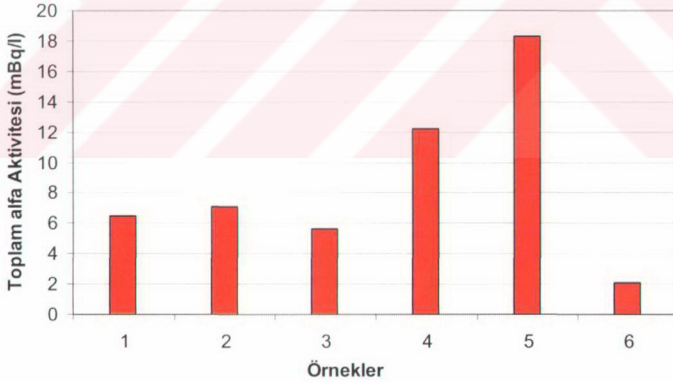
3.3 Iğdır İli Aras Nehri Sularının Doğal Radyoaktivitesinin Tayini

Sularda radyoaktivite tayininde doğal kaynaklardaki gama aktif elementlerin yarı ömürlerinin alfa ve beta aktif elementlere göre daha kısa olması nedeniyle, çoğu kez gama aktivitesinin tayini yoluna gidilmektedir. Buna karşın alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin tayini, iç radyasyon tehlikesi açısından önemli olmaları nedeniyle sular için üzerinde önemle durulan bir konu durumdadır. Bu bağlamda, çevresel bakımdan, suların radyoaktif kirliliğın saptanmasında ilk adım, bu suların toplam alfa ve beta aktivitesini ölçmektir.

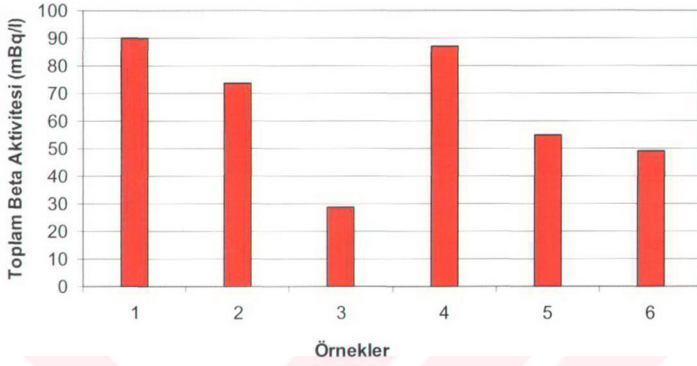
Su analizleri CNAEM, Sağlık Fiziği laboratuvarlarında bulunan LB770-PC 10 kanallı düşük temel planşet radyasyon sayıcısı kullanılarak yapılmıştır. Cihazla ilgili ayrıntılar bölüm 2.4.3'de verilmiştir. ÇNAEM, Sağlık fiziği Bölümü çalışanları tarafından geliştirilen bir yöntemle, alfa sayımı için planşetin içindeki tortu miktarının 400 mg'ın altında olması gerektiği saptanmıştır. Bunun nedeni alfalardaki self-absorpsiyonun fazla olması ve 400 mg'ın üzerinde sayımın sabitleşmesidir. Beta sayımı için self-absorpsiyon faktöründen dolayı tortu miktarı 2000 mg'dan yukarı olmamalıdır. Beta parçacıkları alfa parçacıklarından daha girici olduğundan tortu miktarı da alfadan yaklaşık beş kat fazla olabilmektedir. Iğdır ili Aras Nehri sularının 2003 yılına ait numunelerin sayım sonuçları Çizelge 3.5'te verilmiş ve Aras Nehri sularına ait toplam alfa ve beta aktivitesi Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 da gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Iğdır ili Aras nehri sularının toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları (07/08/2003).

Örnek Adı	Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/l)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/l)
S-1	0.0065±0.0039	0.0901±0.0062
S-2	0.0071±0.0041	0.0737±0.0062
S-3	0.0056±0.0034	0.0286±0.0057
S-4	0.0122±0.0044	0.0872±0.0059
S-5	0.0183±0.005	0.0551±0.0082
S-6	0.0021±0.0036	0.049±0.0045



Şekil 3.8. Aras nehri sularının toplam alfa aktivitesi.



Şekil 3.9. Aras nehri sularının toplam beta aktivitesi.

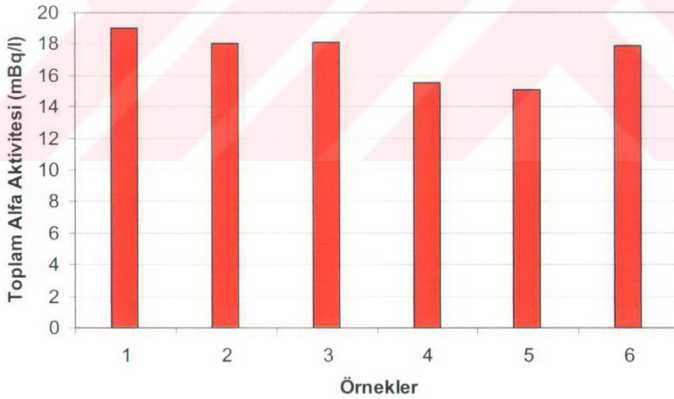
İğdir ili Aras Nehrinden 2004 yılında alınan sayıma hazırlanan su örneklerinin planşet daraları ve net rezidü miktarları Çizelge 3.6 da verilmiştir. Bu su örneklerinin incelenmesi sonucu toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları Çizelge 3.7 de verilmiştir. Şekil 3.10 ve şekil 3.11 de sırasıyla Aras nehri sularının toplam alfa ve beta aktiviteyi gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Su örneklerinin miktarı ve net tortu miktarı (2004).

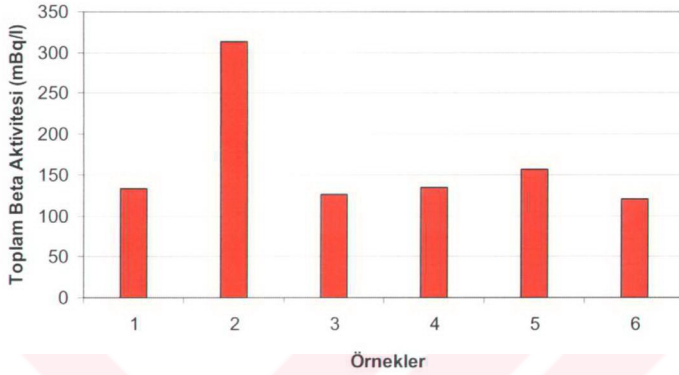
Örnek Adı	Alınan	Planşet Darası (mg)	Rezidü Darası (mg)	Net Rezidü
S-1	1,5 lt	11,352	11,633	0,281
S-2	1,5 lt	13,634	13,965	0,331
S-3	1,5 lt	11,279	11,565	0,286
S-4	1,5 lt	13,641	14,055	0,414
S-5	1,5 lt	13,719	14,146	0,427
S-6	1,5 lt	13,725	14,109	0,384

Çizelge 3.7. Iğdır ili Aras nehri sularının toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları (14/04/2004).

Örnek Adı	Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/l)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/l)
S-1	0.0190±0.0023	0.1328±0.0038
S-2	0.0180±0.0027	0.3135±0.0049
S-3	0.0181±0.0035	0.1263±0.0048
S-4	0.0155±0.0024	0.1349±0.0047
S-5-A	0.0151±0.0023	0.1564±0.0043
S-5-B	0.0179±0.0034	0.1206±0.0044



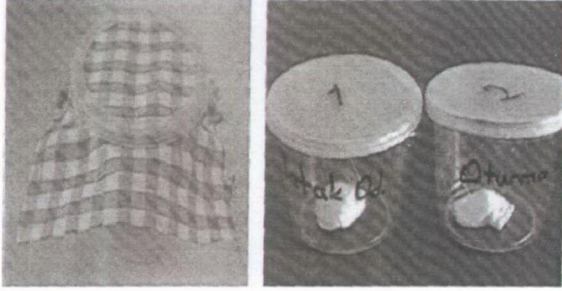
Şekil 3.10. Aras nehri sularının toplam alfa aktivitesi.



Şekil 3.11. Aras nehri sularının toplam beta aktivitesi.

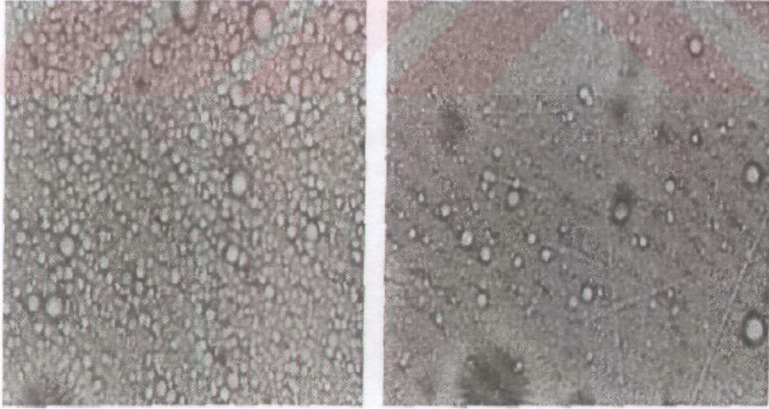
3.4 Iğdır Evlerinde Radon Konsantrasyonlarının ölçümü

Bu çalışmada, ev-içi radon konsantrasyonlarının ölçümleri pasif yöntemle, CR-39 plastik dedektörlerin kullanımı ile yapılmıştır. Pasif nükleer iz dedektörü olarak, doğal fon alfa ışın izlerinin düşük olması nedeniyle, ticari adı Cr-39 olan Alil Diglikol karbonat plastik dedektörler tercih edilmiştir. Dedektör malzemesi İngiltere’de bulunan Pershol Firmasından ithal edilmiştir. Plastik malzeme, A4 dosya kağıdı büyüklüğünde, 0.25 cm kalınlığında kesilmiş olarak temin edilmiştir. Dedektörler 4 cm yüksekliğinde olan ve Şekil 3.12’de görülen plastik, difüzyon kabı içine yerleştirilmiş ve kap, difüzyon kabı içerisine toz ve radon katı ürünlerinin girmemesi için, plastik bir kapakla kapatılmıştır. Radon ve bozunma ürünlerinin yayınladıkları alfa tanecikleri difüzyon kaplarının içine girerek dedektörle etkileşmekte ve dedektör yüzeyinde gözle görülemeyecek büyüklüklerde izler oluşmaktadır. Iğdır ilinde 30 eve, toplam 30 adet CR-39 dedektörü dağıtılmıştır. Dedektörler Eylül-Nisan tarihleri arasında yaklaşık 223 gün evlerde bekletilmiştir.



Şekil 3.12. Radon difüzyon kapları.

Bekleme süresinin sonunda toplanan dedektörler üzerindeki alfa izlerinin görülebilir hale getirilebilmesi için kimyasal iz kazıma işlemine başvurulmuştur. Daha sonra, dedektörler üzerinde oluşan alfa izleri, 500 büyütmeli bir mikroskopla rahatça gözlenerek sayılmıştır. Şekil 3.13'de bu izlerin bir örneği gösterilmiştir.

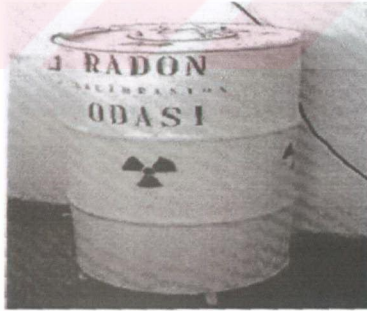


Şekil 3.13. CR-39 plastiği üzerinde oluşan alfa izleri.

3.4.1 Radon Kalibrasyon Odası

Pasif radon dozimetrelerinin radon gazı konsantrasyonu cinsinden değerlendirebilmek için radon konsantrasyonu bilinen bir ortama ihtiyaç vardır. Bu nedenle ÇNAEM, Sağlık Fiziki Bölümünde bulunan bir radon kalibrasyon odasından yararlanılmıştır. Şekil 3.14'de gösterilen bu kalibrasyon odasının tabanına aktivitesi bilinen bir ^{226}Ra kaynağı yerleştirilmiş 225 litrelik bir bidondan oluşmaktadır. Bu bidonun ağzı, sızdırmazlık sağlanacak şekilde bir kapakla kapatılmıştır. Bidonun içerisinde, dedektörlerin konulacağı raflar bulunmaktadır. Radon kalibrasyon odası Şekil 3.14'de verilmektedir. Radon kalibrasyon odasının konsantrasyonu 3.2 ± 0.04 kBq/m^3 dür [30].

Kalibrasyon için 10 tane dedektör hazırlanmıştır. Hazırlanan bu dedektörler ikili gruplar halinde 1 ile 5 gün süreler ile radon kalibrasyon odasına konulup ışlandıktan sonra alınarak kimyasal iz kazıma işlemine maruz bırakılmıştır. Bu işlemler sonucunda, CR-39 dedektörlerindeki iz sayılarına karşı gelen radon konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanılacak olan kalibrasyon faktörü 4 (kBq/m^3)/(izsayısı/saat) olarak bulunmuştur.



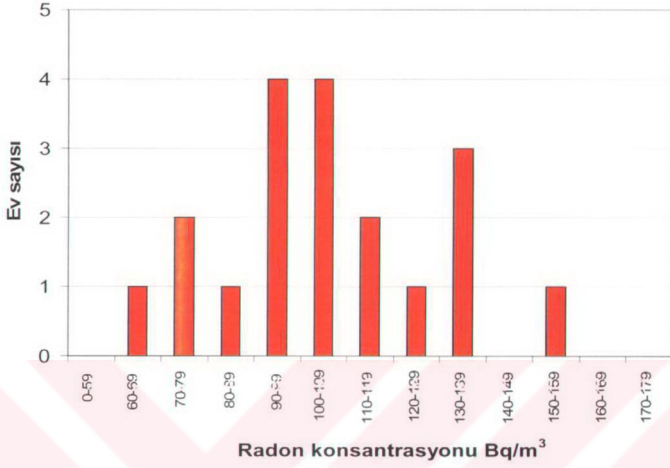
Şekil 3.14. Radon kalibrasyon odası.

Evlere dağıtılan toplam 30 dedektörden 10 tanesi, hasar görmeleri ya da iade edilmemeleri nedeniyle değerlendirilememiştir. Hasarsız olarak elde edilen ve iz sayıları belirlenen 20 dedektörün iz sayıları karşı gelen radon konsantrasyonu, kalibrasyon

faktörü kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.8'de verilmiştir. Ayrıca İğdir ili ev içi radon konsantrasyon dağılımı Şekil 3.15'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. İğdir İli Ev içi Radon Konsantrasyonları (Bq/m³).

Dedektör Numarası	Radon konsantrasyonu	Dedektör Numarası	Radon konsantrasyonu
1	117,35	11	97,11
2	130,70	12	110,90
3	104,60	13	104,50
4	155,30	14	106,80
5	97,80	15	93,97
6	137,80	16	86,65
7	96,30	17	75,67
8	101,20	18	72,46
9	120,2	19	63,10
10	134,46		



Şekil 3.15. Iğdır ili evlerinde ölçülen radon konsantrasyonları.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu alışmada, İğdir ilindeki toprak ve su örneklerindeki doğal radyoaktivite seviyeleri ve ev içi radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu bölümde, ayrıntıları bölüm 3’de verilen deneysel veriler ayrı başlıklar altında, dünya ortalamaları ile karşılaştırarak yorumlanmaya çalışılmıştır.

4.1 Sularda Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi

Canlıların doğal ihtiyaı olan su, hayatın devamı için ne kadar gerekli ise sağlık açısından da sulardaki radyasyon miktarını ölçmek, radyasyon seviyesini belirlemek ve bir standart getirmek de o kadar önemlidir. Dünya Sağlık rgt, (WHO) ve ABD evre Korunma Ağansı (EPA) tarafından tavsiye edilen içme suları için radyoaktivite sınırları, toplam alfa için 0,1 Bq/l ve toplam beta için 1 Bq/l olarak kabul edilmiştir. İçme suları için WHO ve EPA’nın bu tavsiyeleri Türk Standartlar Enstitüsü (TSE)’nin 1984 yılında yayınladığı TS-226 nolu raporunda ve İSKİ’nin 1984 yılında yayınladığı içme suyu standardına da uygun bulunmuş ve içme suyu için tavsiye edilen radyoaktivite sınırları belirlenmiştir. Dünya Sağlık rgt’nün içme suları için tavsiye ettiği sınır değerler suyun, ömür boyu tüketilmesi durumunda insanın alacağı radyasyon dozunun sağlık yönünden herhangi bir hasarın oluşturmayacağı fikrinden hareketle tespit edilmiştir.

Bu çalışmada; toplam alfa aktifliğinin 2003 yılında yapılan çalışmada 0.0021 ± 0.0036 Bq/l ile 0.0183 ± 0.005 Bq/l arasında değiştiği ve ortalama alfa aktifliği 0.0086 ± 0.0041 Bq/l değerini aldığı bulunmuştur. Toplam beta aktifliği değeri ise 0.0286 ± 0.0057 Bq/l ile 0.0901 ± 0.0062 arasında değiştiği ve ortalama beta aktifliği değeri olarak da 0.0640 ± 0.0053 Bq/l bulunmuştur.

Su rneklerinin ikinci kez sayımı 2005 yılında yapılmıştır. Son değerler; toplam alfa aktifliğinin 0.0151 ± 0.0023 Bq/l ile 0.0190 ± 0.0023 Bq/l arasında değiştiği ve ortalama alfa aktifliği 0.0173 ± 0.0028 Bq/l değerini aldığı bulunmuştur. Toplam beta

aktifliği değeri ise 0.1206 ± 0.0044 Bq/l ile 0.3135 ± 0.0049 Bq/l arasında değiştiği ve ortalama beta aktifliği değeri olarak da 0.1641 ± 0.0045 Bq/l olarak bulunmuştur.

Yapılan bu çalışmalar göstermiştir ki; bulduğumuz bu sonuçlar WHO'nun ve TSE'nin kabul ettiği içme sularında bulunması gereken toplam alfa ve beta değerlerinin altında çıkmıştır.

Bu konuda Fırtına deresi ile ilgili çalışmada yapılmıştır. Fırtına deresinde yapılan bu çalışmada toplanan su rneklelerinin toplam alfa ve beta aktiviteleeri sırasıyla 0.0124 ile 0.0662 Bq/l ve 0.0279 ve 0.1333 Bq/l arasında değiştiği görülmüştür [31].

Malatya ve ilçelerinin içme sularında yapılan bir çalışmada toplam alfa ve beta aktiviteleeri sırası ile 0.1185 ± 0.0100 Bq/l ile 0.2078 ± 0.0122 Bq/l olarak hesaplanmıştır [32].

Tekirdağ ili içme sularında yapılan bir çalışmada toplam alfa aktivitesi $0,0037\pm 0,0025$ Bq/l ile $0.1392\pm 0,0059$ Bq/l arasında değişmektedir. Toplam beta aktivitesi ise $0,0218\pm 0,0032$ Bq/l ile $0,2174\pm 0,0040$ Bq/l arasında değişmektedir [29].

Batı Anadolu'daki Emendere termal kaplıcalarında yapılan çalışmada ortalama toplam alfa aktifliği 0.168 Bq/l, ortalama toplam beta aktifliği ise 0.144 Bq/l olarak bulunmuştur [33].

Bizim bulduğumuz sonuçlarla karşılaştıracak olursak kendi değerlerimiz Fırtına deresinin sonuçları ile yaklaşık olarak örtüşmektedir. Fakat Malatya içme sularına bakacak olursak bu değerlerin bizim değerlerimizden fazla olduğunu gzlemleeriz.

Buradan, Aras nehrinin toplam alfa ve beta değerlerinin içme sularının olması gereken standartların altında olması herhangi farklı bir düşünceye yönelmemizi engellemiştir.

4.2 Evlerde Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından aldığı eşdeğer doza en büyük katkısı radon solunumu yapmaktadır. ^{222}Rn 'nin asıl kaynağı uranyum olduğu için, radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir. Türkiye'de evlerde gerçekleştirilen radon ölçümlerine ait bazı ortalama değerler şu şekilde elde edilmiştir: İstanbul: 73 Bq/m^3 [34], Şanlıurfa: 73 Bq/m^3 , Erzurum: 85 Bq/m^3 [35], Kestanelbol, Çanakkale: 160 Bq/m^3 [36], Antalya: 29 Bq/m^3 [37]. UNSCEAR 1988 raporunda evlerde radon konsantrasyonu, tüm dünya aritmetik ortalaması $40 \pm 25 \text{ Bq/m}^3$ olarak verilmiştir.

İğdır evlerinde radon konsantrasyon ölçümleri $63\text{-}155 \text{ Bq/m}^3$ aralığında elde edilmiştir. İğdır evlerinin ortalama radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması $105,62 \text{ Bq/m}^3$ 'tür.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK tarafından önerilen radon konsantrasyonunun yıllık müsaade edilen değeri 400 Bq/m^3 'dir. Çizelge 2.2 'de, çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir. Buradan da gözlenebileceği radon konsantrasyon limit değerleri olarak, ICRP tarafından 400 Bq/m^3 , Avrupa Birliği tarafından 400 Bq/m^3 ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 100 Bq/m^3 değeri önerilmiştir.

Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP)'nin 1977 ve 1990 yıllarında yayınladığı tavsiye raporlarında, radyasyonun kanser oluşumu ve genetik etkiler için bir eşik dozun bulunmadığı, doz ve etki arasında lineer bir bağlantı olduğu kabul edilerek, müsaade edilen doz sınırları çok küçük düzeylere indirilmiş ve gereksiz olarak hiçbir radyasyon dozuna maruz kalınmaması önerilmiştir [38]. İnsanların özellikle büyük toplum gruplarının, küçük olsa dahi sürekli olarak radyasyona maruz kalmasının toplum sağlığını olumsuz yönde etkileyeceği görüşü, Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel komitesi tarafından yayınlanan UNSCEAR raporları ile de desteklenmiştir [39].

Bulduğumuz bu değerler: İstanbul, Şanlıurfa, Erzurum ve Antalya'daki değerlere göre fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak Çanakkale-Kestanbol bölgesinde yapılan çalışma değerinin altında bulunmuştur. Bu değerler verilen referans değerler ile kıyaslandığında, Iğdır ilinde herhangi bir bireyin çevredeki doğal radyoaktivite açısından fazladan bir riske maruz kalmadığı anlaşılmaktadır.

4.3 Toprakta Bulunan Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi

Iğdır ili toprak örneklerinde tespit edilen radyoizotopların aktivite konsantrasyon değerleri Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Bu çalışmada ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının ortalama aktiviteleri 19 ± 4 , 18 ± 3 , 16 ± 4 , 333 ± 34 , 18 ± 4 Bq/kg olarak bulunmuştur. Dünyanın değişik bölgelerinde incelenen toprak örneklerindeki spektrometrik analiz sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Dünyanın değişik yerlerinde yapılan ölçümlerde toprakta doğal olarak bulunan ^{40}K 'in aktivite konsantrasyonu, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarından önemli ölçüde yüksek olarak elde edilmiştir [14]. Iğdır ili toprak örneklerinden de görülebileceği gibi, ^{40}K 'in aktivite konsantrasyonu diğer radyoizotop konsantrasyonlarından oldukça yüksektir. Iğdır toprak örneklerinde ^{40}K 'in ortalama aktivite konsantrasyonu 333 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ^{40}K için UNSCEAR 1982 ve 2000 raporlarında sırasıyla 370 ve 400 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen değer bu raporlarda verilen değerlerin altında çıkmıştır.

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{238}U radyoizotoplarının bulunan aktivite konsantrasyonları UNSCEAR 2000 raporunda verilen dünya ortalamalarının altında bulunmuştur.

^{137}Cs nükleer denemeler veya nükleer santrallerde meydana gelen kazalar sonucu atmosfere atılmaktadır. Havadan gelen radyoaktivitenin önemli bir kısmının toprakta biriktiği bilinmektedir [16]. Bilindiği gibi 1986 yılında Rusya'nın Çernobil

yerleşim bölgesinde meydana gelen reaktör kazası nedeniyle, birçok ülke gibi, Türkiye de Çernobil'den yayılan radyoaktif maddelerin meydana getirdiği kirlilikten etkilenmiştir.

Kestanbol toprak örneklerindeki ^{137}Cs ortalama değeri 18 Bq/kg, ^{40}K ortalama değeri 1207 Bq/kg, ^{238}U ortalama değeri 107 Bq/kg, ^{226}Ra ortalama değeri 153 Bq/kg, ^{232}Th ortalama değeri 192 Bq/kg olarak bulunmuştur [52].

Tekirdağ toprak örneklerindeki ^{137}Cs ortalama değeri 4.54 Bq/kg, ^{40}K ortalama değeri 579 Bq/kg, ^{238}U ortalama değeri 25 Bq/kg, ^{226}Ra ortalama değeri 36 Bq/kg, ^{232}Th ortalama değeri 39 Bq/kg olarak bulunmuştur [29].

Amerika'daki toprak örneklerindeki ^{238}U ortalama değeri 37 Bq/kg, ^{226}Ra ortalama değeri 41 Bq/kg, ^{232}Th ortalama değeri 37 Bq/kg olarak bulunmuştur [18].

Çizelge 4.1 Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen topraktaki radyonüklid içerikleri [14].

Ülke adı	Nüfus Yoğunluğu, 1996 (10^6)	Topraktaki konsantrasyon (Bq/kg)			
		^{40}K	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th
Cezayir	28.78	370	30	50	25
Mısır	63.27	320	37	17	18
Kostarika	3.50	140	46	46	11
U.S.A	269.4	370	35	40	35
Arjantin	35.22	650			
Bangladeş	120.1	350		34	
Cin	1232	440	33	32	41
Honkong	6.19	530	84	59	95
Hindistan	944.6	400	29	29	64
Japonya	125.4	310	29	33	28
Kazakistan	16.82	300	37	35	60
Kore	45.31	670			
Malezya	20.58	310	66	67	82

Çizelge 4.1 Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen topraktaki radyonüklid içerikleri [14]
(devam).

Ülke adı	Nüfus Yoğunluğu, 1996 (10 ⁶)	Topraktaki konsantrasyon (Bq/kg)			
		⁴⁰ K	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th
Tayland	58.70	230	114	48	51
Ermenistan	3.64	360	46	51	30
İran	69.98	640		28	22
Suriye	14.57	270	23	20	20
Danimarka	5.24	460		17	19
Litvanya	3.73	600	16		25
Norveç	4.35	850	50	50	45
Belçika	10.16	380		26	27
Almanya	81.92	40-1340	11-330	5-200	7-134
İrlanda	3.55	350	37	60	26
Lüksemburg	0.41	620		35	50
İngiltere	58.14			37	
Bulgaristan	8.47	400	40	45	30
Macaristan	10.05	370	29	33	28
Polonya	38.60	410	26	26	21
Romanya	22.66	490	32	32	38
Rusya Fed.	148.1	520	19	27	30
Slovakya	5.35	520	32	32	38
Arnavutluk	3.40	360	23		24
Hırvatistan	4.50	490	110	54	45
Kıbrıs	0.76	140		17	
Yunanistan	10.49	360	25	25	21
Portekiz	9.81	840	49	44	51
Slovenya	1.92	370		41	35
İspanya	39.67	470		32	33
Ortalama değer		400	35	35	30
İğdir ili		333	16	19	18

Bu tez çalışmasında bulunan toplam alfa ve toplam beta değerleri, WHO ve TSE tarafından belirlenen değerlerin altında çıkmış ve bu değerler yurt içinde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bulunan değerler iyi olarak değerlendirilebilir.

Radon örneklerine bakacak olursak yine AB, WHO ve Türkiye tarafından belirlenen sınır değerler içerisinde.

Bu çalışmada bulunan değerlere bakarsak, bulunan değerlerin UNSCEAR tarafından dünyanın değişik yerlerinde yapılarak bulunan dünya ortalamasının altında bulunmuştur. Ayrıca Tekirdağ ili ve Kestanbol ilçesinde yapılan çalışmalar neticesinde bulunan değerlerinde altında çıkmıştır.

Bu çalışmada bulunan sonuçların daha güvenilir ve daha geçerli olabilmesi için topladığımız toprak, su ve hava örneklerinin daha çok olması gerekir. Bu bölgede daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için TAEK tarafından Kars ili'ne bir Gama Spektrometre laboratuvarı kurulmuştur.

Bu çalışmayı yapmamızın amacı Metsamor nükleer santralının Iğdır ili ve çevresinde olası bir radyoaktif kirlilik meydana getirip getirmediğini belirlemektir. Elde edilen bu sonuçlar göstermiştir ki Iğdır ilinde şuan için radyoaktif kirlilik açısından bir tehlike söz konusu değildir. Ancak sınırlarımıza çok yakın bir konumda bulunan eski Rus teknolojisine sahip Metsamor nükleer santrali her hangi bir gün veya her hangi bir saat için Iğdır ili dolayısıyla ülkemiz içinde büyük bir tehlike kaynağıdır.

Metsamor nükleer santrali kaynaklı tehlikelerden korunmanın en kesin çözümü bu santralin aktif olarak kullanımına son verilmesi ve daha sonrası için gerekli önlemlerin alınması olacaktır.

KAYNAKLAR

1. www.taek.gov.tr
2. International Atomic Energy Agency, Radiation Safety, (1996), "IAEA Division of Public Information, 96-00725.
3. Gelir, A., (2001), İçme Suyundaki Radyoaktivitenin Belirlenmesi ve Yıllık Doz Eşdeğerinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ,FBE.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 1982), Report to the General Assembly, p:88-90.
5. IAEA., Measurement of Radionuclides in Food and the Environment , Vienna, 1989 p: 350-400.
6. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 1988), Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation United Nations sales publication No:E.88.IX.7.New York, p:50-80.
7. Eisenbund, M., (1987), Environmental Radioactivity, Third Edition, ISBN. Acedemik Pres, Inc., London, p: 71-93.
8. Beck, H. L., (1982), The Natural Radiation Environment II. USERDA Conf.-720805-p2 The Physics of Environmental Gamma Radiation Fields, p: 101-104.
9. Karahan, G., (1997), "İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini", İTÜ, Doktora Tezi, NEE.
10. Spiers, F.W.,(1968), Radioisotopes in Human Body, Physical and Biological Aspects. Acedemik Pres, New York, p: 30-47.
11. Felmlee, J.K and Cadigan, R.A., Radium and Uranium Data for Mineral Springs in Eight Western States, United States Department of the Interior Geological Survey, Open-File Report 78-561, 1987.
12. Çelebi, N., (1995), "Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi", Doktora Tezi, İTÜ.
13. EPA, (1992), A Citizen's Guide to Radon, EPA Document 402-K92-001.
14. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 2000), Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Volume I: Sources, United Nations, New York, p: 110-280.

15. National Council on Radiation Protection and Measurements. (1977), Environmental Radiation Measurement, NCRP Report No: 50, p: 270-310.
16. OECD Nuclear Energy, Report of a Group of Expert (1979), No: 48761, p.35-36.
17. National Council on Radiation Protection and Measurements. (1976), Environmental Radiation Measurement, NCRP Report No: 50.
18. Myrick, T. E., Berven, B. A., Haywood, F. F., (1983), Determination of Concentrations of Selected Radionuclides in Surface Soil in the U.S. Health Physics. Volume 45, p.631-642.
19. Gonzales and friends., (1998), IAEA Tec. Report Serisi No: 295.
20. Eisenbud, M., (1963), Environmental Radioactivity, mc Graw-Hill Book Company New York.
21. Sayre, W. W., Guy, H. P. and Chamberlan A. R., (1969), Uptake and Transport of Radionuclides by Stream Sediments, U.S. Geology Survey Professional Paper433-A.
22. TS 266, (1988), Türk Çevre Mevzuatı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği.
23. T.C Resmî Gazete, (2001), İçme Kullanma Suyu Temin Edilen Kaynaklardaki Hamsu Standart Parametreleri, Sayı: 24473, 25 Temmuz 2001, Ankara.
24. Güngör, E., (2004), Gama Spektrometri Sistemi Semineri, ÇNAEM, Sağlık Fizikçi Bölümü, İstanbul.
25. Karahan, G., (2004), Çevresel Örneklerde Toplam Alfa ve Beta Ölçümleri Semineri, ÇNAEM, Sağlık Fizikçi Bölümü, İstanbul.
26. Alkan, H., Yaşar, S., Göksel, S. A., (1987), Radioactive Mineral Waters of Turkey, XXII. International Congress of Hydrothermal Techiques, İstanbul.
27. L'Annunziata, M. F., (1998), Handbook of radioactivity analysis, Acedemic Pres, San Diego p: 50-110.
28. Portokal, S., Varinlioğlu, A., (1991), Doğu Karadeniz Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizi, Radyobiyooloji Bölümü, ÇNAEM, TAEK.
29. Kam, E., Yazar, Y., Karahan, G., Çelebi, N., (2004), Tekirdağ İli ve Çevresi'nin Doğal Radyasyon Seviyelerinin Belirlenmesi, 22.Ulusal Fizik Kongresi, BODRUM.
30. Uluğ, A., Kılıç, D., Çelebi, N., (2004) Batı Anadolu Fay Hattında Yer Alan Burdur İlinin Ev İçi Radon Ölçümleri, 22.Ulusal Fizik Kongresi, BODRUM.

31. Keser, R., (2004), Fırtına Vadisinin Çamlıhemşinden Yukarı Kısımının Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
32. Yalçın, M., (2002), Malatya Şehir Merkezi İle İlçe Merkezlerinin İçme Sularının Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
33. Topçuoğlu, S., Karahan, G., Güngör, N., ve Kırbaoğlu, Ç., (2003) Natural and Artificial Radioactivity in Emendere Thermal Spring Area in Western Anatolia, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Volume:256, p: 395-398.
34. Köksal, M., Çelebi, N., Özçınar, B., (1993), "Indoor Radon Concentration İn İstanbul Houses" Healthy Physics Volume 65, p: 87-88.
35. Özçınar, B., Köksal, E. M., Akar, B., Kopuz, G., Büyükkasap, E., Çetin, A., Küçükönder, A., Ünlü, Y., (1996), Erzurum ve Şanlıurfa İllerinde Radon Gazı Radyoaktivite Konsantrasyonları, 7. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknoloji Kongresi, p: 538-543.
36. Çelebi, N., Alkan, H., (1997), Evaluation of Natural Radiation in the Kestanbol Spa Region, Radiation Protection Dosimetry, Volume: 69, No: 3, p: 227-230.
37. Çelebi, N., Taşdelen, M., Kopuz, G., Uluğ, A., (2000), Antalya Evlerinde Radon konsantrasyon Ölçümleri, 2000-GAP-Çevre Kongresi, Vol.2,p: 1053-1058.
38. Evans, R. D., (1969), Engineers Guide to the Elementary Behavior of Radon Daughters, Healthy Physics Volume 17, p: 229-236.
39. Fabrikant, I. J., (1990), Radon and Lung Cancer, Healthy Physics Volume 59, p: 89-97.
40. Çev: Kürkçüoğlu, N., (1965), Nükleer Fizik, Berksoy Matbaası, İstanbul p: 265-275.
41. Farmer, F. R., (1977), Nuclear Reactor Safety, Academic Pres, New York p: 21-50.
42. Fowler, E. B., (1965), Radioaktivite Fallout Soils, Plants, Foods, Man, Elsevier Publishing Company, New York p: 3-19.
43. Ginzburg, V. L. and Syrovatski, S. I., (1964), The Origin of Cosmic-Rays, Pergaman Pres p: 110-140.
44. Karakuyu, Y. and Doğan, M., (2004), Sandıklı Bölgesinde Kuyu ve Kaplıca Sularındaki Radyasyon Değişimi, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Özel sayı, p: 104-107.

45. Uluğ, A. and Çelebi, N., (2004), Evimizdeki Görünmeyen Tehlike Radon Gazı: Türkiye Değerleri ve Diğer Ülkelerle Karşılaştırılması, 22. Ulusal Fizik Kongresi, Bodrum.
46. Karabulut, T. M., Uluğ, A. and Çelebi, N., (2004), Antalya İlçelerinde Ev İçi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi, 22. Ulusal Fizik Kongresi, Bodrum.
47. Uluğ, A., Çelebi, N., Ataksor, B., Köksal, E. M., Taşdelen, M. and Kopuz, G., (2004), Radon ve Türkiye Evlerinde Radon Ölçüm Çalışmaları, 22. Ulusal Fizik Kongresi, Bodrum.
48. Çev: Başar, Ş., (2002), Nükleer Fizik, Palme Yayıncılık, Ankara p: 220-310.
49. Şeker, S. and Çerezçi, O., (1997), Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayını, İstanbul p: 12-90.
50. Göksel, A. S., (1989), Radyasyonun Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması, Birsen Yayınevi, İstanbul p: 30-120.
51. www.igdir.gov.tr
52. Merdanoğlu, B., (2004), Kestanbol Civarındaki Su, Toprak ve Granit Örneklerinde doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi, İ.T.Ü, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

EKLER

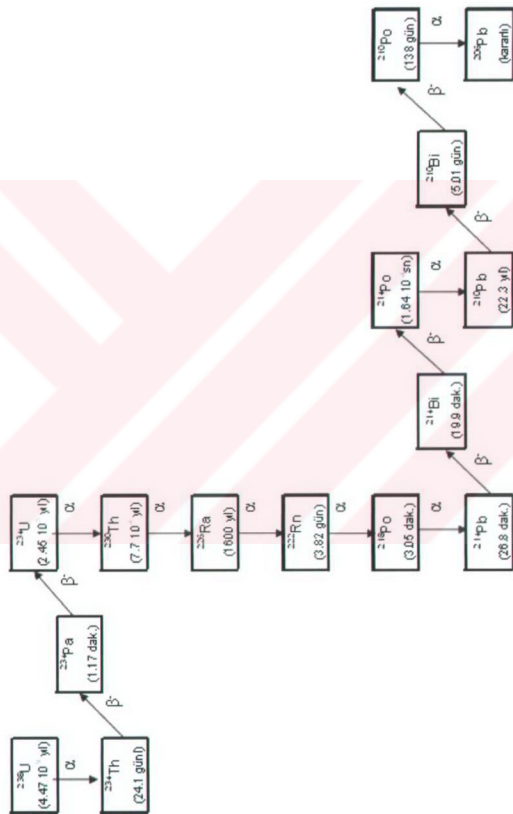
Ek 1 ^{238}U serisinin radyoaktif bozunma serisi

Ek 2 ^{232}Th serisinin radyoaktif bozunma serisi

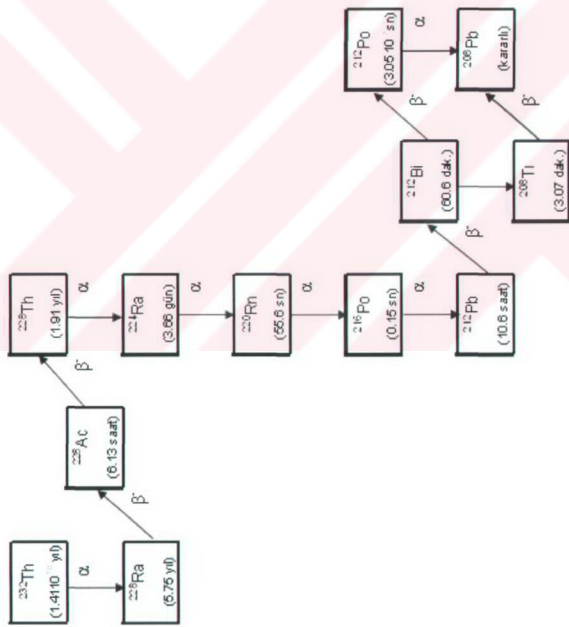
Ek 3 ^{235}U serisinin radyoaktif bozunma serisi

Ek 4 İğdir ilinin toprak özellikleri

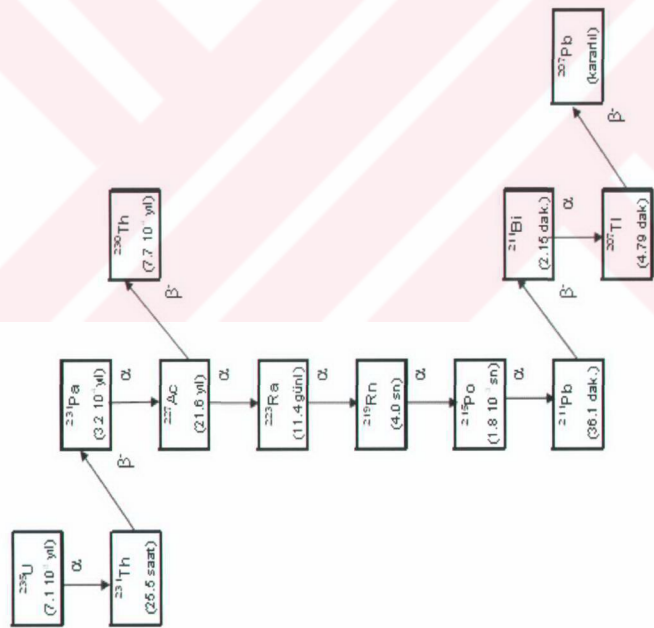
Ek1: ^{238}U serisinin radyoaktif bozunum serisi



Ek.2 ^{232}Th serisinin radyoaktif bozunma serisi



Ek.3 ^{235}U serisinin radyoaktif bozunma serisi



Ek 4 Iğdır İli Toprak Özellikleri

Genetikleri yönünden “azonal” topraklar sınıfına giren ova topraklarında hakim olan formasyon bazalttır. Bazaltlar üstünde, muhtelif zamanlarda farklı yerlerden taşınmak suretiyle alüvyal karakterli toprak örtüsü hasıl olmuştur. Batı ve güneydeki yamaç araziler “kolüvyal” karakterlidir. Aras nehri'nin, Iğdır Ovası topraklarının bünyesi üzerinde büyük etkisi olmuştur. Geçmiş devirlerde taşkınlar ve Aras nehrinin yatak değiştirmelerine bağlı olarak kil, silt, kum ve değişik bünyede topraklar oluşmuştur. Ovada granüler yapıda olan topraklarda geçirgenlik, su tutma kapasitesi ve havalandırma gibi özelliklerin elverişli oluşuna karşılık, diğer yapılardaki topraklarda bu özellikler zayıftır. Bütünüyle farklı hususiyetler gösteren ova topraklarında kilden çakıla kadar her çeşit bünyeye rastlanmaktadır. Ancak, taban arazilerde kök bölgesi ve kök bölgesinin altında genellikle ağır ve orta bünyeli, yamaçlarda ise hafif ve çok hafif bünyeli topraklar yaygın durumdadır. Ovanın çeşitli kısımlarında üst ve alt toprakların ağır veya orta bünyede bulunmasına karşılık, dağ yamaçlarına ve Aras nehrine doğru yaklaşıldıkça hafif bünyeli topraklar ağırlık kazanmaktadır. Ova topraklarının büyük bir kısmında derinlik 150 cm'den daha fazla olup, batıdan doğuya doğru gidildikçe, toprak kalınlığı genellikle artmaktadır. Toprak derinliğini sınırlayan çakıl ve kum katmanlarıdır. Bu katmanlar, Aras nehrinin geçmiş devirlerde yatak değiştirmeleri sonucu oluşmuştur. Bundan dolayı bazı alanlarda toprak derinliği 10 cm'ye kadar iner.

Ovanın hemen hemen her tarafında tuzlu, alkali ve borlu topraklara rastlanır. 83.211 hektar yüzölçümüne sahip olan Iğdır Ovasının 36.476 hektarı (%43.8) tuzlu-alkali ve borlu araziler olup, tarıma uygun değildir. Bu gibi sahalara 6.000 hektarı bulan yol, kanal, yerleşme, sazlık ve kamışlık alanları da eklersek, ova yüzölçümünün 41.701 hektarının veya %34'den fazlasının tarım dışı olduğu anlaşılır. Ova toprakları, kireç bakımından zengindir. Genel olarak toprakların kireç değerleri %10-15 arasında olmakla birlikte bazı arazilerde bu değerler %21-37 arasında değişmektedir [51].

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Kars'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kars'ta tamamladı. 1995 yılında İstanbul Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Elektrik Bölümüne kayıt yaptıırıp, 1997 yılında başarı ile mezun oldu. 1998 yılında Erciyes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümüne kayıt yaptırdı. 2002 yılında lisans öğrenimini başarıyla tamamladı. 2002 yılında Kafkas Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. 2004 yılında Kafkas Üniversitesi Eğitim Fakültesi Araştırma Görevliliği sınavını kazanarak, bu kadroda göreve başladı. Halen Kafkas Üniversitesi Eğitim Fakültesi, İlköğretim A.B.D, Fen Bilgisi Öğretmenliği bilim dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.