

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

ERZİNCAN İLİ EV İÇİ RADON KONSANTRASYONUNUN MEVSİMSEL
DEĞİŞİMİ VE TOPRAKTAKİ RADYOAKTİVİTENİN TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enes ÖZTÜRK

HAZİRAN 2012

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

**ERZİNCAN İLİ EV İÇİ RADON KONSANTRASYONUNUN MEVSİMSEL
DEĞİŞİMİ VE TOPRAKTAKİ RADYOAKTİVİTENİN TAYİNİ**

Enes ÖZTÜRK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK LİSANS (FİZİK)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25.05.2012
Tezin Savunma Tarihi : 15.06.2012**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKOMEROĞLU

Trabzon 2012

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalında

Enes ÖZTÜRK tarafından hazırlanan

**ERZİNCAN İLİ EV İÇİ RADON KONSANTRASYONUNUN MEVSİMSEL
DEĞİŞİMİ VE TOPRAKTAKİ RADYOAKTİVİTENİN TAYİNİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29/05/2012 gün ve 1458 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU

Üye : Prof. Dr. A. Hakan YILMAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali VAN

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Erzincan ili ev içi radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi ve topraktaki radyoaktivite değerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlandı.

Yüksek Lisans Tez çalışmam boyunca arazi çalışmaları dahil beni hiç yalnız bırakmayan, her türlü destek ve imkanı sağlayan, saygı değer danışman hocam Prof Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU' na en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Detektörlerin dağıtılması, toplanmasında benimle birlikte çalışma yapılan bölgelere gelerek bana yardım eden Doç. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU'na ve Arş. Gör. Y. Özkan YEŞİLBAĞ' a, laboratuvar çalışmalarımda benden yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Nevzat DAMLA' ya, Yrd. Doç. Dr. Necati ÇELİK'e, Arş. Gör. Ahmet ÇELİK'e ve doktora öğrencisi Selcen DURAN' a ayrıca Erzincan ilinin jeolojik yapısını açıklayan haritanın çizilmesinde yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY' a teşekkür ederim. Bu çalışmada kullanılan CR-39 Radon dozimetrelerinin analizi ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) de yapıldı. Çekmece Nükleer Araştırma Merkezimde yaptığım çalışmalarda ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Nesli ALBAYRAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım süresince yanımda olan ve desteğini esirgemeyen eşime sonsuz teşekkür ederim.

Enes ÖZTÜRK

Trabzon 2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	III
SUMMARY	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
TABLolar DİZİNİ	VI
SEMBOLLER DİZİNİ	VII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Radyoaktivite ve Radyasyon	5
1.2.1. Radyoaktivite	5
1.2.2. Radyoaktif Bozunma Türleri ve Madde ile Etkileşimleri	13
1.2.2.1. Alfa Işıması	13
1.2.2.2. Beta Işıması	14
1.2.2.3. Elektron Yakalama	15
1.2.2.4. Gama Işıması	15
1.3. Radyoaktif Bozunma	16
1.3.1. Radyoaktif Bir Çekirdeğin Yarı Ömrü	18
1.3.2. Radyoaktif Bir Çekirdeğin Ortalama Ömrü	18
1.3.3. Ardışık Parçalanma Kanunu	20
1.4. Radyoaktif Denge	22
1.4.1. Geçici Denge	22
1.4.2. Sürekli Denge	24
1.5. Radyasyon	25
1.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	26
1.5.1.1. Kozmik Radyasyon Kaynakları	27

1.5.1.2.	Karasal Radyasyon Kaynakları	27
1.5.2.	Yapay Radyasyon Kaynakları	29
1.6.	Radyasyon Birimleri	30
1.6.1.	Aktivite (Becquerel) Birimi.....	30
1.6.2.	Işınlama Birimi	31
1.6.3.	Soğurulmuş Doz Birimi	31
1.6.4.	Eşdeğer Doz Birimi	31
1.7.	Radon, Toron ve Aktinon	32
1.7.1.	Havadaki Radon Konsantrasyonu	33
1.7.2.	Binalarda Radon Konsantrasyonu	35
1.7.3.	Doğal Gazda Radon	36
1.7.4.	Deprem-Radon İlişkisi	37
1.7.5.	Bina İçi Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi	37
1.7.6.	Radon Gazı Solunumunun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri	37
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	38
2.1.	Erzincan İlinin Jeolojik Yapısı	38
2.1.1.	Erzincan İlinin Deprem Kuşağındaki Yeri	41
2.1.2.	Erzincan İlinin İklimi	42
2.2.	Deneyleerde Kullanılan Cihazlar	42
2.2.1.	CR-39 Radon Dedektörü	42
2.2.1.1.	Dozimetrelerin Dağıtımı ve Toplanması	43
2.2.1.2.	Dozimetrelerin Analize Hazırlanışı ve Analizi	43
2.2.1.3.	Radoys Ölçüm Sistemi	45
2.2.2.	Toprak Numunelerinin Gama Spektroskopik Analizi (HPGe Dedektörü)	46
2.2.2.1.	HPGe Dedektörünün Yapısı	47
2.2.2.2.	Toprak Numunelerin Alınması	48
2.2.2.3.	Enerji Kalibrasyonu	49
2.2.2.4.	Verim Kalibrasyonu	50
2.2.3.	Spektrum Analizi	51

2.2.3.1.	Pikleri Belirleme ve Değerlendirme	51
2.2.3.2.	Aktivite Hesabı	53
3.	BULGULAR	54
3.1.	Erzincan İli Radyoaktivite Düzeyi	54
3.1.1.	Radon Konsantrasyonu	54
3.1.1.1.	Sonbahar Dönemi	56
3.1.1.2.	Kış Dönemi	56
3.1.1.3.	İlkbahar Dönemi	57
3.1.1.4.	Yaz Dönemi	58
3.1.1.5.	Radon Konsantrasyonunun Yıllık Ortalama Değişimi	58
3.1.1.6.	Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi	59
3.1.1.7.	Radon Konsantrasyonunun Merkez ve İlçelere göre Mevsimsel Değişimi	60
3.1.2.	Toprak Ölçümlerine İlişkin Gama Spektroskopik Analiz Sonuçları	61
3.2.	Doz Hesabı	66
3.2.1.	Erzincan İlinde Radon Konsantrasyonundan Dolayı Maruz Kalınan Doz..	66
3.2.2.	Erzincan İlinde Doğal Radyonüklitlerden Dolayı Maruz Kalınan Doz ...	68
4.	SONUÇLAR VE TARTIşMA	71
5.	ÖNERİLER	79
6.	KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİş		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ERZİNCAN İLİ EV İÇİ RADON KONSANTRASYONUNUN
MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ VE TOPRAKTAKİ RADYOAKTİVİTENİN TAYİNİ

Enes ÖZTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU

2012, 98 (Tez Sayfa)

Bu çalışma, Erzincan ili ev içi radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi ve topraktaki radyoaktivite değerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Erzincan ilinde CR-39 SSNTD nükleer iz dedektörleri kullanılarak ev içi radon çalışması yapılmıştır. Radon ölçümleri her mevsim Erzincan ili ve ilçelerinde 84 eve mümkün olduğu kadar homojen bir şekilde dağıtım yapılarak gerçekleştirilmiştir. Erzincan ilinde $4,87 \text{ Bq/m}^3$ ile $767,37 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişen radon konsantrasyonunun yıllık ortalama değeri 91 Bq/m^3 tür. Radon konsantrasyonu kış dönemi yüksek, ilkbahar ve yaz dönemi ise düşük çıkmıştır. Radon'un solunumdan dolayı insanların maruz kaldığı yıllık ortalama etkin doz değeri Erzincan için $2,29 \text{ mSv/yıl}$ olarak tespit edilmiştir. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla $51,90 \text{ Bq/kg}$, $26,24 \text{ Bq/kg}$, $9,10 \text{ Bq/kg}$ ve $648,96 \text{ Bq/kg}$ olarak bulunmuştur. Doğal radyonüklitlerden dolayı yıllık ortalama dış gama radyasyon doz eşdeğeri $82,28 \mu\text{Sv/yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ev İçi Radon, Topraktaki Radyoaktivite, Etkin Doz, CR-39

Master Thesis

SUMMARY

SEASONAL VARIATION OF INDOOR RADON CONCENTRATION
IN ERZINCAN PROVINCE AND DETERMINATION OF RADIOACTIVITY
IN THE SOIL

Enes ÖZTÜRK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Physics Graduate Program
Supervisor: Prof. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU
2012, 98 Pages

This study was performed to determine seasonal variation of indoor radon concentrations in dwellings and radioactivity soil of the Erzincan.

Indoor radon studies were conducted in Erzincan, using SSNTD type nuclear track detector (CR-39). Radon measurements were done for 4 seasons in 84 dwellings in Erzincan, selected as uniformly distributed on the surface area as possible. The radon concentrations varies from 4.87 Bq/m³ to 767.375 Bq/m³ with the annual mean concentration of 91 Bq/m³ for Erzincan. Radon concentrations were recorded high in winter and low in autumn and summer for Erzincan. The resulting estimated annual effective dose-equivalent due to inhalation of radon for inhabitants is 2.29 mSv/y for Erzincan. The average activity concentrations of ²²⁶Ra, ²³²Th, ¹³⁷Cs and ⁴⁰K were found to be 51,90 Bq/kg, 26,24 Bq/kg, 9,10 Bq/kg and 648,96 Bq/kg for Erzincan. The mean value of total annual external gamma radiation dose equivalent for natural radionuclides was calculated to be 82,28 µSv/y for Erzincan.

KeyWords: Indoor Radon, Radioactivity in Soil, Effective Dose, CR-39.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Kararlı çekirdekler için N-Z grafiği	6
Şekil 2. Uranyum ($^{238}_{92}U$) bozunma serisi	9
Şekil 3. Toryum ($^{232}_{90}Th$) bozunma serisi	10
Şekil 4. Aktinyum ($^{235}_{92}U$) bozunma serisi	11
Şekil 5. Neptünyum ($^{237}_{93}Np$) bozunma serisi	12
Şekil 6. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi	17
Şekil 7. Peş peşe bozunma grafiği	22
Şekil 8. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları	26
Şekil 9. Doğal radyasyon kaynakları.....	26
Şekil 10. Yapay radyasyon kaynakları	29
Şekil 11. Doğal radyoaktif elementlerinin bozunma ürünlerinin yeryüzüne çıkışı	34
Şekil 12. Radonun bina içlerine giriş yolları	36
Şekil 13. Çalışma bölgesi	38
Şekil 14. Erzincan ilinin jeoloji haritası	39
Şekil 15. Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDFAF) ve Ovacık Fayı (OF)	40
Şekil 16. Erzincan İlinin Türkiye'nin Deprem Bölgesindeki Yeri ve Deprem Haritası	41
Şekil 17. CR-39 Dedektörü ve iç kısmı	43
Şekil 18. Radoslayt dedektör tutucu ve kazıma diski	44
Şekil 19. Banyo kabı ve plastik kaşık ile çözeltinin banyo kabına dökülmesi	44
Şekil 20. Radosys ölçüm sistemi	45
Şekil 21. Mikroskop yardımıyla alfa izlerinin okunmasının görünüşü	46
Şekil 22. Gama Spektrometre Sisteminin Genel Görünüşü	47
Şekil 23. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği	50
Şekil 24. Enerji - verim eğrisi	51

Şekil 25. Erzincan ilinde alınan toprak numunelerinden biri için alınmış örnek spektrum	52
Şekil 26. Erzincan ili sonbahar dönemi radon konsantrasyonu	56
Şekil 27. Erzincan ili kış dönemi radon konsantrasyonu	57
Şekil 28. Erzincan ili ilkbahar dönemi radon konsantrasyonu	57
Şekil 29. Erzincan ili yaz dönemi radon konsantrasyonu	58
Şekil 30. Erzincan ili yıllık ortalama radon konsantrasyonu	59
Şekil 31. Erzincan ili radon konsantrasyonunun mevsimler arasındaki değişimi ...	59
Şekil 32. Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelere göre mevsimsel değişimi	61
Şekil 33. Erzincan ilinin ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K ortalama aktivite değerleri	63
Şekil 34. Erzincan ili merkez ve ilçelerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K ortalama aktivite değerleri	64
Şekil 35. Erzincan ili merkez ve ilçelerinin ^{226}Ra ortalama aktivite değerleri	64
Şekil 36. Erzincan ili merkez ve ilçelerinin ^{232}Th ortalama aktivite değerleri	65
Şekil 37. Erzincan ili merkez ve ilçelerinin ^{137}Cs ortalama aktivite değerleri	65
Şekil 38. Erzincan ili merkez ve ilçelerinin ^{40}K ortalama aktivite değerleri	66
Şekil 39. Erzincan ilinde radondan dolayı mevsimlere göre il merkez ve ilçelerde maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğeri	67
Şekil 40. Erzincan ilinde radondan dolayı mevsimlere göre ortalama etkin doz değerleri	68
Şekil 41. Erzincan ilinde Doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz hızı	70
Şekil 42. Erzincan ilinde Doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan yıllık etkin doz eşdeğeri	70

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Doğada bilinen dört radyoaktif seri	8
Tablo 2. Kozmik radyoizotoplar	27
Tablo 3. Toprakta bulunan radyoaktif elementler	28
Tablo 4. Bazı yapay radyonüklitler	30
Tablo 5. Radyasyon terimlerinin SI birimleri, eski birimleri ve aralarındaki ilişki	32
Tablo 6. Radon konsantrasyon limitleri	35
Tablo 7. Standart kaynağın özellikleri	49
Tablo 8. Aktivitesi hesaplanan elementler ve bozunma olasılıkları	52
Tablo 9. Erzincan ili radon konsantrasyon değerleri	54
Tablo 10. Erzincan ili radon konsantrasyonu için Pearson korelasyonu	60
Tablo 11. Erzincan ili 226Ra, 232Th, 137Cs, 40K aktivite değerleri	61
Tablo 12. Radondan Dolayı Maruz Kalınan Etkin Doz	67
Tablo 13. Doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz hızı ve yıllık etkin doz değerleri	69
Tablo 14. Dünyada bazı şehirlerdeki radon konsantrasyonu	71
Tablo 15. Türkiye'de bazı şehirlerdeki radon konsantrasyonu	72
Tablo 16. Erzincan ili ve ilçelerinde evlerde yapılan anket değerlendirme sonuçları	74
Tablo 17. Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen topraktaki radyonüklit değerleri	76
Tablo 18. Türkiye'de bazı şehirlerde ölçülen radyonüklit değerleri	77

SEMBOLLER DİZİNİ

A : Aktiflik

BEIR : Biological Effects of Ionizing Radiation

Bq : Becquerel

Ci : Curie

D : Soğurulan doz

Gy : Gray

Sv : Sievert

IAEA : International Atomic Energy Agency

IARC : International Agency for Research on Cancer

ICRP : International Commission on Radiological Protection

NRPB : National Radiological Protection Board

TAEK : Türkiye Atom Enerji Kurumu

UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

WHO : World Health Organisation

OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development

$T_{1/2}$: Yarı ömür

λ : Bozunma sabiti

τ : Ortalama ömür

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyada yaşayan tüm canlılar yer kabuğunda bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerden ve uzaydan gelen kozmik ışıklardan dolayı sürekli radyasyona maruz kalmaktadır. Doğal radyasyon olarak adlandırılan bu radyasyon türüne teknolojinin gelişimi ile bir de yapay radyasyon eklenmiştir. İnsanoğlunun maruz kaldığı doğal radyasyon, teknolojik araçlardan kaynaklanan yapay radyasyonların tümünden daha fazladır. Doğal radyasyona maruz kalma seviyesini belirleyen iki ana katkı vardır. Bunlar Dünya'nın atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışıklar ve yer kabuğunda oluşan radyoaktif elementlerdir. İnsanların iç ve dış radyasyona maruz kalması bu kaynaklardan ileri gelmektedir. Kozmik ışıklar ile yer kabuğunda, yapı malzemelerinde ve havada doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyonlar dış ışınlamalara, havada ve gıda maddelerinde bulunan doğal radyoaktif atomlar solunum ve sindirim yoluyla vücuda girerek iç ışınlamaya sebep olmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Dünyamızdaki doğal radyasyon düzeyi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. En önemli faktörlerin başında yer kabuğunda farklı bölgelerde değişik radyoaktif elementlerin olmasıdır. Doğal radyasyonların temel seviyeleri bölgenin jeolojik ve coğrafik, dolayısıyla toprak ve kayaların mineralojik yapısı ile coğrafi yükseklik bölgenin temel radyasyon seviyesini etkilemektedir (Bozkurt vd., 2007; Tzotzis vd., 2004).

Çevresel doğal radyoaktivite dünyanın yapısında bulunan ve çok uzun yarıömürlü radyoaktif çekirdeklerden (Uranyum, Toryum ve Radyum gibi) kaynaklanır veya kozmik radyasyonların etkileşimi sonucunda (^{14}C , ^3H gibi) oluşur. Doğal radyasyona en büyük katkı doğal olarak bulunan ^{238}U , ^{232}Th ile bunların bozunma ürünleri olan ^{226}Ra , ^{222}Rn ve ^{235}U , ^{40}K gibi radyoaktif elementlerden ileri gelmektedir. Kozmik ışıkların doğal radyasyona katkısı yükseklikle değişmekte ve deniz seviyesinden yukarılara çıkıldıkça belirli enlem değerlerinde sabit alınmaktadır. Açık alanlardaki karasal gama doz miktarını hesaplamak için bölgenin doğal radyoaktivite seviyesinin bilinmesi gereklidir (UNSCEAR, 2000).

İnsanların doğal kaynaklardan aldıkları radyasyon dozlarını belirlemeye yönelik çalışmalar; Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi (ICRP), Amerika Birleşik

Devletleri Radyasyon Korunması ve Ölçümü Milli Komitesi (UNSCEAR) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) gibi uluslararası ve milli kuruluşlar tarafından yapılmaktadır.

İnsanoğlu; yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, doğal kaynaklardan dolayı yaklaşık 2,4 mSv yıllık doza maruz kalmaktadır. Bu dozun büyük bir kısmını (yaklaşık yıllık doz miktarı 1,3 mSv) radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000). Radon; uranyum içeren toprak, kum, kaya ve bunlardan yapılan yapı malzemelerinden gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere yayılmaktadır. Radon solunum yoluyla akciğerlere girmekte ve bozunması sonucunda akciğer kanseri oluşma riskini artırmaktadır (IARC, 1988; Çelik vd. 2008). Yapılan çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41000 akciğer kanserinden en az 2500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5000, sigara içenlerden ise 15000'ini, Uluslar arası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP, 1990) 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 (Enflo, 2002).

Yapılan çalışmalar bize alınan radyasyon dozu ile kanser olma riski doğru orantılı olduğunu gösteriyor. Bu yüzden, insanların kanser olma riskinin azaltılması için maruz kaldıkları radyasyonun sınırlandırılması ve doz miktarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla topraktaki doğal radyonüklitlerin dış ışınlamalara ne oranda katkıda bulunduğunu tespit etmek için gama dozu ölçümleri dünyanın birçok yerinde olduğu gibi ülkemizde de yapılmış ve halen yapılmaktadır.

Son yüzyılla birlikte teknolojinin çok hızlı gelişmesi, özellikle tıp, nükleer ve endüstriyel alandaki gelişmeler insanoğlunun yapay radyasyona maruz kalmasına neden olmuştur. Ancak maruz kalınan doz değeri doğal radyasyon ile karşılaştırıldığında az olup yıllık etkin doz değeri 0,6 mSvdir.

İnsanların bu derece doğal radyasyona maruz kalmalarının nedeni genel olarak zamanlarının çoğunu (ortalama % 90) kapalı ortamlarda geçirmeleridir. Binaların yapıldığı

arazilerde bulunan doğal uranyum miktarı ile uranyumun bozunması sonucu oluşan radonun bina içine sızması ve yapı malzemelerinden kaynaklanan radonun da havaya karışması ortamdaki radon miktarını etkilemektedir. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. (Yeşilbağ vd., 2008)

Bu çalışmada da Erzincan ili ve ilçelerinde evlere dağıtılan CR-39 dozimetleriyle birlikte evlerin çevresinden toprak numuneleri alınmış, alınan toprak numunelerinin radyoaktif madde konsantrasyonları da gama spektrometresi cihazıyla ölçülerek hesaplamaları yapılmıştır.

Evlerin yapıldığı arazide bulunan doğal uranyum miktarı ve uranyum serisinin bir bozunma ürünü olan radonun ev tabanında bulunan aralıklardan eve sızması, evdeki yapı malzemelerinden kaynaklanan radonun havaya karışması, ev içi radon konsantrasyonunun artmasının önemli etkenleridir. Evlerde radon solunması ile alınan dozlar, diğer doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlardan çok fazla olmaktadır.

Bu çalışmada ev içi radon konsantrasyonu ile yaptığımız ölçümler, yüksek konsantrasyonda radon içeren evlerde yaşayan insanları akciğer kanserinden koruma amacını taşımaktadır.

Ev içi radon konsantrasyonu ülkeler arasında ve hatta aynı ülkenin farklı bölgeleri arasında bile büyük değişiklik göstermektedir (Koksal vd., 2004). Bu farklılıklar, toprağın jeolojik yapısına, iklim parametrelerine ve yapı karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir. Son yıllarda gerek ülkemizde gerekse dünyada ev içi radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Çelik ve arkadaşları Kars ilinde evlerdeki radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimini belirlemeye yönelik yapılan çalışmada yıllık ortalama radon konsantrasyonunu 114 Bq/m^3 olarak bulmuşlardır (Çelik vd., 2008).

Y.Özkan YEŞİLBAĞ, Ardahan ve Artvin'de evler ve çevresinde radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimleriyle alakalı yapmış olduğu çalışmalarda yıllık ortalama radon konsantrasyonunu Ardahan için 173 Bq/m^3 ve Artvin için 132 Bq/m^3 olarak bulmuştur. (Yeşilbağ, 2008).

F.Özderya, Samsun ilinde eviçi radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik yapmış olduğu çalışmada ortalama radon konsantrasyonunu 106 Bq/m^3 olarak bulmuştur (Özderya, 2009).

A. Kurnaz, Trabzon ve Giresun (Şebinkarahisar) da yapmış olduğu çalışmalarda yıllık ortalama radon konsantrasyonunu Trabzon için 113 Bq/m^3 ve Şebinkarahisar için 158 Bq/m^3 olarak bulmuştur (Kurnaz, 2009).

Dünyada yapılan çalışmalara örnek vermek gerekirse, Marina ve arkadaşları Meksiko şehrinde 416 evde LR-115 tipi radon dedektörleri ile uzun dönem, Alphaguard radon dedektörü ile de kısa dönemli radon konsantrasyonu araştırması yapmışlar ve ortalama radon konsantrasyonunu 145 Bq/m^3 olarak bulmuşlardır. Yapılan çalışmada evlerin % 97'sinin IAEA'nın 1996 yılında belirlemiş olduğu $200\text{-}600 \text{ Bq/m}^3$ izin verilebilir seviyeyi aşmadığını tespit etmişlerdir (Marina vd., 2001).

Papaefthymio ve arkadaşları Yunanistan'ın Patras şehrinde LR-115 radon dedektörlerini kullanarak radon konsantrasyonunun hem mevsimsel hem de ev tipine göre araştırmışlar, müstakil, apartman ve tüm evlerin ortalama radon konsantrasyonlarını sırasıyla 41 Bq/m^3 , 28 Bq/m^3 ve 38 Bq/m^3 olarak tespit etmişlerdir (Papaefthymio vd.,2003).

Singh ve arkadaşları Hindistan'ın Himachal Pradesh bölgesinde evlerdeki radon konsantrasyonunu ve bölgedeki uranyum ve radyum elementleriyle olan ilişkisini araştırmışlar, radon konsantrasyonunu belirlemek için LR-115 tipi radon dedektörlerini 18 köyde 80 eve 3 aylık periyotlarla 1 yıl boyunca bırakılmışlardır. Ortalama radon konsantrasyonunu minimum değeri 123 Bq/m^3 ve maksimum değeri ise 658 Bq/m^3 olarak bulmuşlardır. Radon konsantrasyonunun toprak da uranyum ve radyum elementlerinin değişiminden ve yapı malzemelerinden kaynaklanabileceği sonucuna varmışlardır (Singh vd., 2002).

Khayrat ve arkadaşlarının Suidi Arabistan'ın Yemen şehrinde CR-39 radon dedektörlerini kullanarak 241 evde radon konsantrasyonunu araştırması yapmışlar, radon konsantrasyonunun 3 ile 270 Bq/m arasında değiştiğini ve ortalama değerinin ise 42 Bq/m^3 olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca radon konsantrasyonunun deniz seviyesinden yükseklerle çıktıkça arttığını tespit etmişlerdir (Khayrat vd., 2003).

Hamori ve arkadaşları Macaristan'da 1994 ve 2004 yılları arasında 15277 tek katlı evde, 325 de daha fazla kata sahip olan evde yaptıkları radon konsantrasyonu araştırmasını CR-39 radon dedektörleri kullanarak yapmışlardır. Radon konsantrasyon değerlerinin 10 Bq/m^3 ile 5800 Bq/m^3 arasında değiştiğini ve ortalama değerinin 58 Bq/ m^3 olduğunu bulmuşlardır (Hamori vd., 2006).

Zunic ve arkadaşları Sırbistan'ın Niska Banja bölgesinde ev içi radon konsantrasyonunu belirlemek için 65 evin oturma ve yatak odasına toplam 102 tane CR-39 radon dedektörleri dağıtmışlar, yıllık ortalama radon konsantrasyonunu traverten bölgede 1500 Bq/m^3 , alıvyum sediment oluşumunun olduğu bölgede 650 Bq/m^3 , maksimum değeri ise 6000 Bq/m^3 olarak tespit etmişlerdir (Zunic vd., 2006).

Prasad Shiva ve arkadaşları tarafından Hindistan'ın Bangalore bölgesinin 33 farklı yerleşim yerinde yapılan çalışmada, topraktaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin ortalamaları sırasıyla $26,2 \text{ Bq/kg}$, $53,1 \text{ Bq/kg}$ ve $635,1 \text{ Bq/kg}$ olduğu belirlenmiştir. Ayrıca topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı havadaki ortalama dış gama doz hızı ve yıllık ortalama etkin doz değeri sırasıyla $73,9 \text{ nGy/s}$ ve $90,6 \mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur (Prasad Shiva vd., 2008).

Ferdoas S. Al-Saleh Suidi Arabistan'ın Riyad şehrinde Ekim 2004 ile Haziran 2005 yılları arasında CR-39 tipi radon dedektörünü kullanarak, ev içi radon konsantrasyonunu $2-69 \text{ Bq/m}^3$ arasında değiştiğini ve ortalama değerinin 18 Bq/m^3 olduğunu tespit etmiştir (Ferdoas S. Al-Saleh, 2007).

Rahman ve arkadaşları Pakistan'ın Kuzey-batı illerinde 200 evde radon konsantrasyonunu CR-39 radon dedektörleri kullanarak araştırmışlar, çalışmalarında yıllık ortalama, maksimum ve minimum radon konsantrasyonu değerlerini sırasıyla 72 Bq/m^3 , 189 Bq/m^3 , 47 Bq/m^3 olarak tespit etmişlerdir (Rahman vd., 2007).

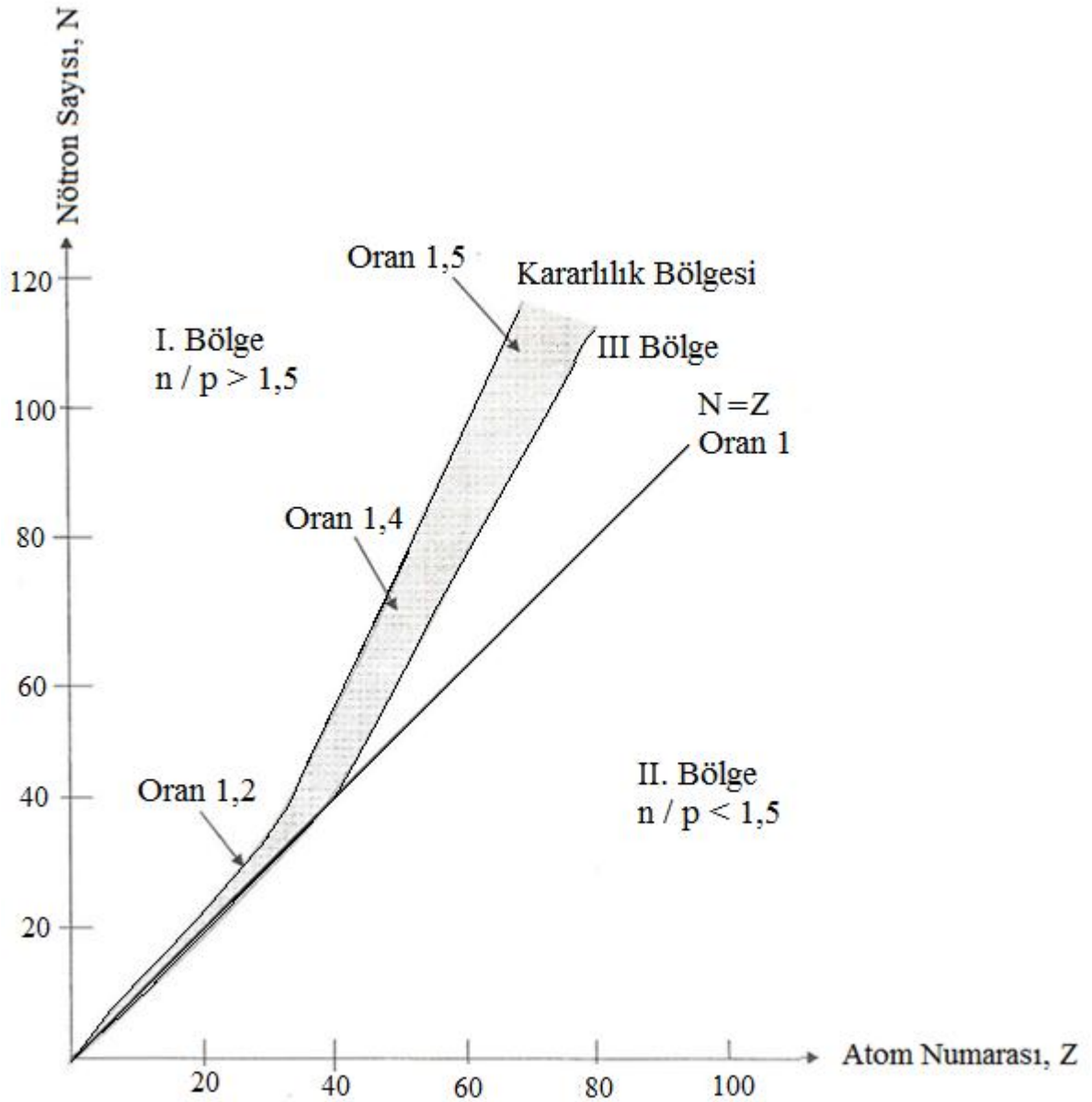
Sroor ve arkadaşları Mısır'ın güneyinde 6 farklı bölgede topraktaki doğal radyonüklit seviyelerini belirlemişler, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin sırasıyla $5-24 \text{ Bq/kg}$, $2-10 \text{ Bq/kg}$ ve $293-660 \text{ Bq/kg}$ aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir (Sroor vd., 2001).

1.2. Radyoaktivite ve Radyasyon

1.2.1. Radyoaktivite

Radyoaktiflik, atom çekirdeklerinin elektromagnetik radyasyonlar, α ve β parçacıkları yayınlamaya kendiliğinden bozunması olayıdır ve çekirdek kararlı hale gelinceye kadar bu olay devam eder. En basit çekirdek olan hidrojen haricindeki diğer tüm çekirdeklerin temel yapıtaşları olan nükleon adı verilen, doğadaki temel yük birimi olan $+e$ yüküne sahip proton (p) ve yüksüz nötronlar (n) vardır. Nükleonlar Coulomb ve Çekirdek

etkileşmeleri neticesinde bir arada bulunurlar. Kütle çekim etkileşmesinin çekirdek boyutlarındaki etkisi ihmal edilebilir mertebededir. Protonları bir arada tutan güçlü etkileşme, yine sadece protonlar arasında olan elektromanyetik etkileşme ve radyoaktiviteden sorumlu olan zayıf etkileşmedir. Çekirdekdeki nötronların varlığı dengeyi artırmaktadır. Coulomb kuvvetleri hesaba katılmadığı takdirde, bir çekirdek içinde optimum kararlılığa proton ve nötron sayıları yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu zaman erişilecektir. Yani kararlılık (nötron sayısı)/(proton sayısı) N/Z nin değerine bağlıdır. Şekil 1'de bilinen çekirdeklerin n ve p sayılarına göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 1. Kararlı çekirdekler için N-Z grafiği

Coulomb itme kuvvetlerinin kısa menzilli nükleer kuvvetlere göre önemsiz olduğu hafif çekirdeklere durum böyledir. Kararlılık eğrisi ve civarındaki dar kararlılık bölgesi $N=Z$ olan hafif çekirdekleri göstermektedir. Coulomb kuvvetleri atom numarasının 20'den fazla olması halinde gittikçe önem kazanmakta ve daha ağır çekirdeklere $N/Z > 1$ olmaktadır. Çekirdek içindeki bu itme kuvvetlerindeki önemli artışlar çekirdek içi kararlılık durumunu bozacak ve atom numarasının artması ile çekirdeğin kararlı kalabilmesi için bir nötron fazlalığına ihtiyaç duyulacaktır. Herhangi bir maddenin çekirdeğindeki nötronların sayısı protonlarından fazla ise, bu çeşit bir madde kararsızlık göstermekte ve bu durumda "Kararsız veya Radyoaktif Çekirdek" ortaya çıkmaktadır. Kararlı en ağır çekirdek için bu oran yaklaşık 1,5 tir. $N/Z > 1,5$ olan diğer tüm çekirdekler ise kararsızdırlar. Kararsız çekirdekler radyonüklit olarak adlandırılırlar ve fazla enerjiye sahip bu çekirdekler dışarıdan hiçbir etki olmaksızın çeşitli parçacıklar salarak veya ışına yaparak parçalanırlar. Bu olay çekirdek kararlı hale gelinceye kadar devam eder. Her atomun çekirdeği kararsız olmadığından radyoaktivite çekirdek için ayırt edici bir fiziksel özelliktir.

Radyoaktif bozunmaya uğrayan çekirdek eğer doğada kendiliğinden bulunuyor veya kendiliğinden bozunan bir çekirdeğin ürünü ise bu doğal radyoaktifliktir. Uzun ömürlü doğal radyoaktif elementlerin çoğu çok ağır elementlerden oluşmuşlardır ve hiç kararlı izotopları yoktur. Bu radyoaktif çekirdekler α , β ve γ ışınları yayınlamaya sonuça kararlı bir çekirdeğe ulaşırlar. Bozunma süreci çekirdeği, zincirin en uzun ömürlü üyesine götürme eğilimindedir ve eğer bu çekirdeğin ömrü en azından Dünya'nın yaşı mertebesindeyse bu aktiflik bugün de gözlenebilmektedir. Genellikle ağır çekirdekleri olan doğal radyoizotoplar Toryum, Neptünyum, Uranyum ve Aktinyum'dur. Tarihsel sıralama söz konusu olduğunda en son keşfedilen seri Neptünyum serisidir. Neptünyumun 239 kütle numaralı izotopu, 1940 yılında Edwin M. McMillan ve P. H. Abelson tarafından Berkeley Laboratuvarında Uranyumun siklotrondan üretilen nötronlarla bombardıman edilmesiyle elde edilmiş, günümüzde ise nükleer reaktörlerde veya hızlandırıcılarda Uranyumun nötronlarla bombardımanı neticesinde elde edilebilmektedir. n bir tamsayı olmak üzere bu doğal radyoaktif seriler sırayla $4n$, $4n+1$, $4n+2$ ve $4n+3$ ile temsil edilirler. Bozunma zinciri sonucunda yukarıdaki kararsız çekirdeklerden Uranyum, Toryum ve Aktinyum sırasıyla Kurşunun kararlı olan $^{206}_{82}\text{Pb}$, $^{208}_{82}\text{Pb}$ ve $^{207}_{82}\text{Pb}$ çekirdeklerine ulaşırken Neptünyum kararlı en ağır çekirdek olan $^{209}_{83}\text{Bi}$ 'a dönüşür. Şekil 2-5'te Uranyum, Toryum, Aktinyum ve

Neptünyum'un bozunma şeması verilmektedir. Neptünyum serisinin en uzun ömürlü üyesinin yarı ömrü diğerlerinininkine nazaran Dünya'nın oluşumundan bu yana geçen süreye göre çok kısa olduğundan bu seri doğal maddelerde gözlenemediği kabul edilmiştir (Krane, 2001). Fakat son yapılan araştırmalarda, nötronların neden olduğu transmutasyon (dönüşüm) reaksiyonları nedeniyle, uranyum madenlerinde eser miktarda olduğu anlaşılmıştır. Tablo 1 'de dört seriye ait bazı temel özellikler verilmektedir.

Tablo 1. Doğada bilinen dört radyoaktif seri

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek	Ana Çekirdek	Yarı Ömür(yıl)
Toryum	4n	$^{208}_{82}Pb$	$^{232}_{90}Th$	$1,41 \times 10^{10}$
Neptünyum	4n+1	$^{209}_{83}Bi$	$^{237}_{93}Np$	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	4n+2	$^{206}_{82}Pb$	$^{238}_{92}U$	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	4n+3	$^{207}_{82}Pb$	$^{235}_{92}U$	$7,04 \times 10^8$

U-238 $4,6 \times 10^9$ yıl		U-234 $2,45 \times 10^5$ yıl		
$\downarrow \alpha$ 4,196 MeV	$\beta^- \nearrow$ Pa-234 1,17 dk	$\downarrow \alpha$ 4,776 MeV		
$\beta^- \nearrow$ Th-234 27 gün		Th-230 $7,54 \times 10^4$ yıl		
		$\downarrow \alpha$ 4,688 MeV		
		Ra-226 3,8 gün		
		$\downarrow \alpha$ 4,784 MeV		
		Rn-222 3,82 gün		
		$\downarrow \alpha$ 5,490 MeV		
		Po-218 3,05 dk	Po-214 2×10^{-4} sn	Po-210 138,4 gün
		$\downarrow \alpha$ 6,003 MeV	$\beta^- \nearrow$ Bi-214 20 dk 609,3 KeV	$\downarrow \alpha$ 7,687 MeV
		$\beta^- \nearrow$ Pb-214 47 dk 351,9 KeV	$\beta^- \nearrow$ Pb-210 22,3 yıl	$\beta^- \nearrow$ Bi-210 5 gün
				$\downarrow \alpha$ 5,304 MeV
				Pb-206 Kararlı

Şekil 2. Uranyum bozunma serisi

Th-232 1,41x10 ¹⁰ yıl		Th-228 1,91 yıl
↓α 4,01 MeV	β ⁻ ↗ Ac-228 6,13 saat	↓α 5,423 MeV
β ⁻ ↗ Ra-228 5,75 yıl		Ra-224 3,66 gün
		↓α 5,686 MeV
		Rn-220 55,6 sn
		↓α 6,288 MeV
		Po-216 0,145 sn
		Po-212 3x10 ⁻⁷ sn
	↓α 6,779 MeV	β ⁻ ↗ Bi-212 60,55 dk
	↓α 8,784 MeV	↓α 8,784 MeV
β ⁻ ↗ Pb-212 10,6 saat	↓α 6,051 MeV	Pb-208 Kararlı
	β ⁻ ↗ Tl-208 3,05 dk	

Şekil 3. Toryumun bozunma serisi

U-235 7,13x10 ⁸ yıl			
↓ α 4,58 MeV	Pa-231 32,76 yıl		
$\beta^- \nearrow$ Th-231 25,52 saat	↓ α 4,05 MeV	Th-227 18,72 gün	
	$\beta^- \nearrow$ Ac-227 21,77 yıl	↓ α 6,03 MeV	
	↓ α 4,9 MeV	Ra-223 11,44 gün	
	$\beta^- \nearrow$ Fr-223 21,8 dk	↓ α 5,86 MeV	
	↓ α 5,3 MeV	Rn-219 18,4 dk	
At-219 0,9 dk	↓ α 6,03 MeV	At-215 10 ⁻⁴ sn	
↓ α 6,27 MeV	$\beta^- \nearrow$ Po-215 1,83 ms	↓ α 8,0 MeV	Po-211 0,52 sn
$\beta^- \nearrow$ Bi-215 8 dk	↓ α 7,38 MeV	$\beta^- \nearrow$ Bi-211 2,15 dk	↓ α 7,43 MeV
	$\beta^- \nearrow$ Pb-211 36,1 dk	↓ α 6,62 MeV	Pb-207 Kararlı
		$\beta^- \nearrow$ Tl-207 4,8 dk	

Şekil 4. Aktinyumun bozunma serisi

Np-237 $2,2 \times 10^6$ yıl			
$\downarrow \alpha$ 4,87 MeV	U-233 $1,6 \times 10^5$ yıl		
$\beta^- \nearrow$ Pa-233 27 gün	$\downarrow \alpha$ 4,82 MeV		
	Th-229 7300 yıl		
	$\downarrow \alpha$ 5,02 MeV	Ac-225 10 gün	
	$\beta^- \nearrow$ Ra-225 14,8 gün	$\downarrow \alpha$ 5,82 MeV	
		Fr-221 4,8 dk	
		$\downarrow \alpha$ 6,30 MeV	
		At-217 18 ms	
		$\downarrow \alpha$ 6,62 MeV	Po-213 22,3 yıl
	$\beta^- \nearrow$ Bi-213 47 dk	$\downarrow \alpha$ 6,62 MeV	Bi-209 Kararlı
	$\downarrow \alpha$ 5,6 MeV	$\beta^- \nearrow$ Pb-209 22,3 yıl	
	$\beta^- \nearrow$ Tl-209 27 gün		

Şekil 5. Neptünyumun bozunma serisi

1.2.2. Radyoaktif Bozunma Türleri ve Madde ile Etkileşimleri

1.2.2.1. Alfa Işınması

Alfa ışınması çekirdeğin dört kütle birimine ve iki elektrik yük birimine sahip olan bir alfa parçacığı (${}^4_2\text{He}$ çekirdeğine denk) yayması olayıdır. İki nötron ve iki protondan oluşan alfa parçacığını helyum atomunun çekirdeği olarak da düşünmek mümkündür.



Burada X ana çekirdek, Y de ürün çekirdektir. Diğer ışınım türlerine göre hem çok daha ağır hem de artı iki elektrik yüküne (protonlardan dolayı) sahiptir. Alfa ışınması doğada bulunan uranyum, radyum gibi ağır çekirdekli atomlarda gerçekleşmektedir. Alfa bozunumu ile çekirdeğin fiziksel ve kimyasal özellikleri değişir. Bu bozunmada ana çekirdeğin kütleğine M_a , ürün çekirdeğin kütleğine $M_{\bar{u}}$ ve alfa parçacığının kütleğine M_{α} denirse, alfa bozunması sonucunda oluşan enerji E:

$$E = (M_a - M_{\bar{u}} - M_{\alpha})c^2 \quad (2)$$

bağıntısı ile elde edilir.

Kendiliğinden bozunma olabilmesi için $E > 0$ olması gereklidir. E enerji değeri kinetik enerjideki artışa da eşit olduğundan (2) ifadesinde,

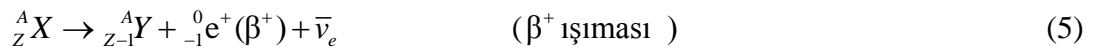
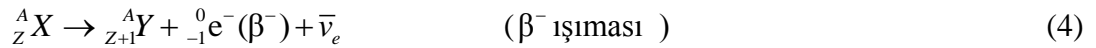
$$E = (E_{K\bar{u}} + E_{K\alpha}) \quad (3)$$

şeklinde olup sırasıyla $E_{K\bar{u}}$ ve $E_{K\alpha}$ ürün çekirdeğin ve α parçacığının kinetik enerjileridir. Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV altındadır. Alfa parçacıkları radyoaktif bir çekirdekten çok yüksek bir hızla yaklaşık olarak $1,6 \times 10^7$ m/s ile dışarı atıldıkları için enerjileri fazla olmasına rağmen kütleleri diğer radyasyon parçacıklarına göre büyük olduğundan erişim mesafeleri düşüktür. Dolayısıyla ağır olduklarından nüfuz etme güçleri çok zayıf olup ince bir kağıt parçasıyla bile

kolaylıkla durdurulabilirler. Bu yüzden alfa parçacıkları vücut dışında etkin değildir. Ama alfa ışınması yapan radyoaktif çekirdekler solunum yoluyla vücuda girerse akciğer hücrelerinin DNA yapısına zarar vermektedir. Bu zarar akciğer kanseri oluşma riskini arttırmaktadır (BEIR VI, 1999).

1.2.2.2 Beta Işınması

Çekirdek içindeki kararsızlık proton ve nötron sayısının diğerine göre fazla olmasından ileri geliyorsa, fazla olanın diğerine dönüşmesiyle çekirdeğin kararlı hale gelmesine Beta ışınması denir. Eğer nötron fazla ise nötronlardan biri bir proton ve elektrona ayrışır ayrıca bir de antinötrino parçacığı meydana gelir ve çekirdekten negatif yüklü bir elektron fırlatılır (β^- bozunumu). Böylece çekirdeğin proton sayısı bir artarken, çekirdek farklı bir çekirdeğe dönüşmüş olur. Nötrinin elektrik yükü olmadığından, varlığı diğer son parçacıkların durumunu etkilemez. Eğer proton fazla ise bu defa da protonlardan biri nötron, artı yüklü bir elektrona (pozitron) ve nötrinoya ayrışır. Pozitron çekirdekten dışarı atılırken, nötron çekirdekte kalmaktadır. Böylece çekirdeğin proton sayısı bir azalırken çekirdek β^+ bozunumu yaparak farklı bir çekirdeğe dönüşmektedir. Kısaca çekirdeğin eksi veya artı yüklü bir elektron fırlatması olayına Beta ışınması denir. Beta parçacıkları madde içinden geçerken meydana getirdikleri iyonizasyon ve uyarma ile tamamen soğurulurlar ve enerjilerini kaybederler. Beta parçacıklarının hızları, c ışık hızı olmak üzere 0,99c'ye kadar ulaşabilir. İzotopların çoğu tarafından salınan β parçacıklarının maksimum enerjisi yaklaşık 0,5 ile 3,5 MeV arasındadır. Menzilleri alfa parçacıklarına oranla çok daha uzundur. Beta bozunumlarının şematik gösterimleri,



şeklinindedir.

Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belli bir yük ve kütleyle sahip olduklarından madde içerisinden geçerken iyonlaşmaya sebep olurlar. Giricilikleri, yayımlanan beta parçacıklarının enerjisine ve etkileştikleri malzemenin yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Katılar içindeki erişme uzaklıkları az olmakla birlikte havada

oldukça uzun mesafeler alabilirler. Örneğin, vücut içinde 5 mm ilerlemesine karşın havada 3 m kadar yayılabilirler. Beta parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşma alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha azdır. Bu parçacıklar alfa parçacıklarına göre daha hafif ve daha giricidirler. Beta yayımlayan radyoizotopların vücut içine alınması ile iç radyasyon tehlikesi oluşabileceği gibi deri ve gözler için dış radyasyon tehlikesi de bulunmaktadır.

1.2.2.3. Elektron Yakalama

Bir çekirdekte çok fazla sayıda proton varsa ve ışıma yapacak kadar yeterli enerjiye sahip değilse, ana çekirdek kendi çevresindeki elektronlardan birini yakalar ve bir nötrino yayınlar. Bu olay β^+ ışınmasının alternatififi olarak da adlandırılır.



1.2.2.4. Gama Işınması

Atom çekirdeği yüksek enerji durumdan düşük enerji durumuna bir alfa veya beta parçacığı yayımlayarak geçer. Ancak çoğu kez hemen kararlı duruma geçemez. Çekirdekte kalan fazla enerji bir foton veya elektromanyetik dalga halinde yayınlanır ve gama ışını adını alır. Gama ışınlarının elektriksel yükleri yoktur, enerjileri 10 keV ile 3 MeV arasında değişmektedir. Buna karşın dalga boyları kısadır. Menzilleri uzun olup, maddeye nüfuz etme yetenekleri fazla olduğundan, alfa ve betalar gibi ince bir madde tabakası ile durdurulamazlar. Bu nedenle Gama ışınlarını durdurmak için kurşun veya kalın beton tabakası gibi yüksek yoğunluğa sahip malzemeler kullanılmalıdır. Gama ışınımından sonra atomun kimliği değişmez, yani atom farklı bir atoma dönüşmez. Gama bozunumunun denklemi;



şeklindedir.

1.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Radyoaktif numune içindeki herhangi bir çekirdeğin ne zaman bozunacağı bilinmemektedir. Radyoaktif bozunma zamana göre rasgele gerçekleştiğinden bozunma ancak istatistiksel olarak bulunabilir. Önemli bir yaklaşım tek tek çekirdeklerle ilgilenmek değil, bir radyoaktif çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığını incelemektir. Bu olasılık radyoaktif bozunma veya parçalanma sabiti olarak adlandırılmakta ve genellikle λ ile gösterilmektedir. Radyoaktivitenin bozunma yasasına göre, radyoaktif çekirdeğin yaşı ne olursa olsun bozunma olasılığı λ sabittir.

Eğer bir t anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye dışarıdan yeni çekirdek ilave edilmiyorsa dt süresi içinde bozunan çekirdek sayısı N ile orantılıdır.

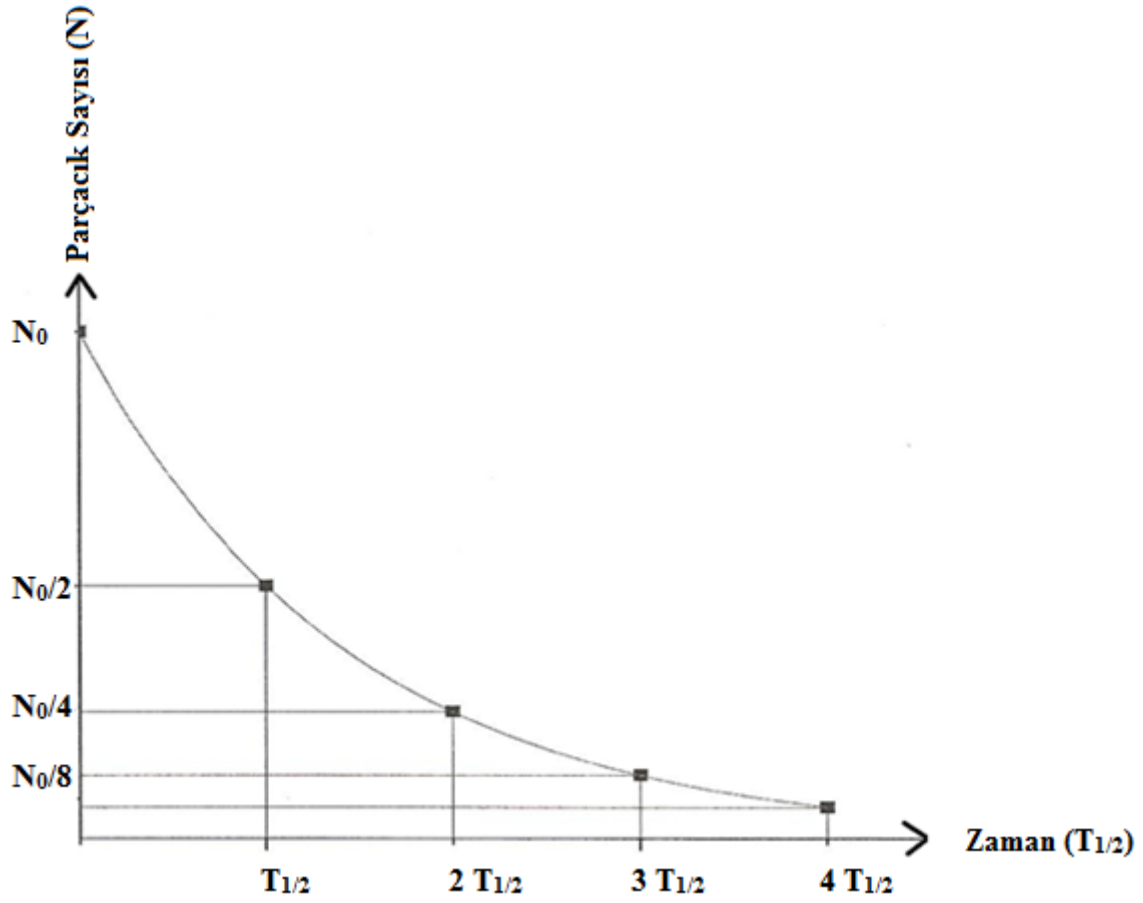
$$\lambda N(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \quad (8)$$

Baştaki eksi işareti t arttıkça N (radyoaktif atomların)'nin azaldığını göstermektedir. Denklem çözülerek radyoaktif üstel bozunma yasası elde edilir.

$$-\int \lambda dt = \int \frac{dN(t)}{N(t)} \quad (9)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (10)$$

Denklemden t zamanı, $N(t)$ t zamanı sonunda arta kalan çekirdek sayısını, N_0 başlangıçtaki ($t = 0$) henüz bozunmamış çekirdek sayısını, λ ise radyoaktif numunenin bozunma sabitini gösterir ve birimi s^{-1} dir.



Şekil 6. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi

Şekil 6'da bir radyoaktif çekirdeğin üstel bozunma denkleminde ait çekirdek sayısı değişimi vermektedir. (10) Nolu denklemin her iki tarafı bozunma sabiti (λ) ile çarpılırsa aktivite denklemini elde edilir.

$$N\lambda(t) = N_0\lambda e^{-\lambda t} \quad (11)$$

Burada $N\lambda$ birim zamandaki bozunma sayısını verecektir. Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısı çekirdeğin *bozunma hızı* veya *aktivitesi* olarak tanımlanır. I ile gösterilir, birimi bozunma/saniyedir.

$$I(t) = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = I_0 e^{-\lambda t} \quad (12)$$

($t = 0$)'da ki başlangıç aktivitesi

$$I_0 = \lambda N_0 \quad (13)$$

dır. (Krane, 2001).

1.3.1. Radyoaktif Bir Çekirdeğin Yarı Ömrü

Radyoaktif bir elementin başlangıçtaki çekirdek sayısının yarıya inmesi için geçen zaman yarı ömür ($t_{1/2}$) olarak tanımlanmaktadır.

Aktiflik, bozunmamış çekirdeklerin sayısının yarıya düşmesi için gerekli zaman aralığına eşittir. Denklem (10)'da

$$N(t) = N_0 / 2 \text{ ve } t = t_{1/2} \quad (14)$$

alındığında,

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (15)$$

denklem (15) düzenlendiğinde,

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (16)$$

elde edilir.

$t_{1/2}$ 'nin birimi s olduğundan λ 'nın birimi s^{-1} 'dir. Radyoaktif izotopların yarı ömürleri çok değişiktir. Bilinen en kısa yarı ömürlü çekirdek 10^{-21} s ile He, en uzun yarı ömürlü çekirdek ise 10^{17} yıl ile ^{204}Pb dür.

1.3.2. Radyoaktif Bir Çekirdeğin Ortalama Ömrü

Radyoaktivitenin istatistiksel karakteri nedeni ile radyoaktif bir atomun ömrü, sıfır ile sonsuz arasında herhangi bir değer olabilir. Buna göre bir atomun ne kadar var olacağı

bilinmez, ancak bir grup atomun ortalama ömründen söz edilebilir. Ortalama ömür (τ), bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır (Krane, 2001). Bu nedenle radyoaktif atomlar için yarı ömürden farklı bir tanım verilir, τ (ortalama ömür) radyoaktif atomların tek tek ömürleri toplamının ortalamasıdır. t_1, t_2, t_3 ömürlerine sahip atomların sayıları $dN_1(t)$, $dN_2(t)$ ve $dN_3(t)$ olmak üzere ortalama ömür,

$$\tau = \frac{t_1 dN_1(t) + t_2 dN_2(t) + t_3 dN_3(t) + \dots}{dN_1(t) + dN_2(t) + dN_3(t) + \dots} \quad (17)$$

şeklinde ifade edilir.

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{\int_0^{N_0} dN(t)} = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{N_0} \quad (18)$$

Denklem (10) $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ bağıntısı yerine yazılırsa,

$$\tau = -\lambda \frac{\int_0^{\infty} t N_0 e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \int_0^{\infty} \lambda t N_0 e^{-\lambda t} dt \quad (19)$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (20)$$

elde edilir.

Denklem (9) ile denklem (13) karşılaştırıldığında

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} = 0,693\tau \quad (21)$$

elde edilir. Denklem (14) bize ortalama ömrün yarı ömürden daha büyük olduğunu göstermektedir.

1.3.3. Ardışık Parçalanma Kanunu

Doğal yada yapay radyoaktif çekirdeklerde bozunma peşpeşe parçalanmalar şeklinde meydana gelebilir. Ana radyoaktif çekirdek başka bir ürüne bozunur ve eğer bu ürün de radyoaktif ise o da başka çekirdeğe bozunur. Birçok durumda bu peşpeşe bozunma, ana çekirdeğin ürüne ve ürünün de kararlı bir radyoaktif çekirdeğe bozunmasıyla sınırlıdır. Verilen herhangi bir zamanda bozunma ürününün sayısı şu şekilde hesaplanabilir.

Herhangi bir t anında, bozunma katsayısı ile ürüne bozunacak olan ana çekirdeğin sayısı N_1 olsun. Ürün çekirdeğin sayısını N_2 ile gösterelim. Bunlarda λ_2 bozunma katsayısı ile bir çekirdeğe bozunacaklardır. Bu kararlı çekirdeklerin sayısı ise N_3 olsun. Bunlara ek olarak $t = 0$ iken $N_1 = N_{10}$, $N_2 = N_{20}$ ve $N_3 = N_{30}$ olduğunu varsayalım. Aktifliğin saniyedeki bozunma sayısı şeklindeki tarifinden aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz.

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (22)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (23)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (24)$$

Denklem (22), N_1 'in bozunma hızını verir. Denklem (23), N_2 tipindeki çekirdeklerin $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildikleri ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla ortadan kaybolduklarını göstermektedir. (24) bağıntısıyla N_3 çekirdeklerinin üretim hızı elde edilir. (22) denkleminin $t = 0$ 'da $N_1 = N_{10}$ şartıyla integrali alınırsa,

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (26)$$

elde edilir. Bu değer (23) bağıntısında yerine konursa,

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (27)$$

Bu bağıntının her iki tarafı $e^{\lambda_2 t}$ ile çarpılırsa,

$$\frac{d}{dt}(N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (28)$$

elde edilir. Gerekli işlemler yapılırsa,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (29)$$

elde edilir. Benzer şekilde denk. (24), $t = 0$ da $N_3 = N_{30} = 0$ olmak üzere çözümlerse,

$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (30)$$

elde edilir. Böylece denklem (26), (28) ve (30) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan çekirdeklerin sayısı bulunabilir. Bu eşitlikler, $t = 0$ da $N_1 = N_{10}$ ve $N_{20} = N_{30} = 0$ özel durumları için üretildi.

Bundan sonra N_{20} ve N_{30} $t = 0$ iken sıfır olsalar bile N_1 , N_2 ve N_3 için bağıntılar üretmek mümkündür. Bu hesaplamaların neticeleri,

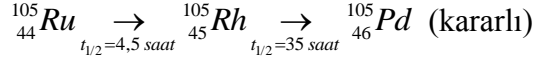
$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (31)$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{20} e^{-\lambda_2 t} \quad (32)$$

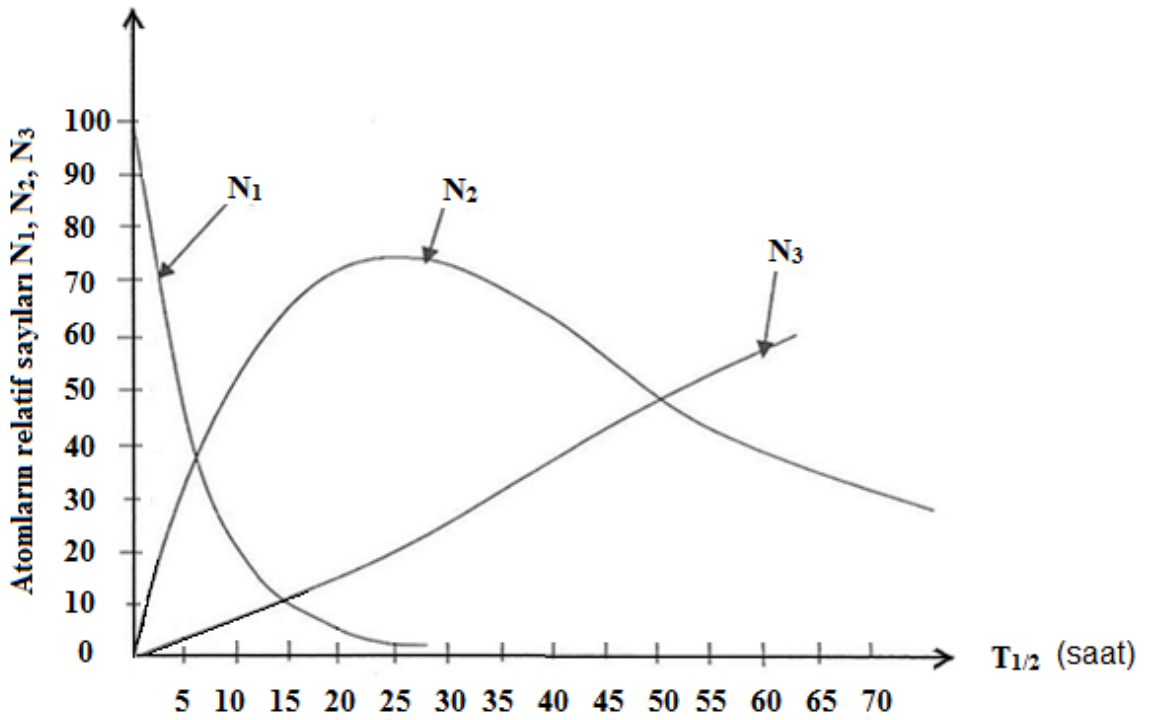
$$N_3 = N_{30} + N_{20} (1 - e^{-\lambda_2 t}) + N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (33)$$

elde edilir.

N_1 , N_2 ve N_3 için bağıntılar üretmek mümkündür. (26), (29) ve (30) denklemlerinin nasıl kullanılacağına örnek olarak,



$t=0$ iken $N_{10}=100$ ve $N_{20}=N_{30}=0$ şartları altında başlayan bu ${}^{105}_{44}\text{Ru}$ bozunmasıyla oluşan N_1 , N_2 ve N_3 'ün t 'ye göre değişimi Şekil 7'de verilmektedir (Arya, 1999).



Şekil 7. Peş peşe bozunma grafiği

1.4. Radyoaktif Denge

1.4.1. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da λ_2 bozunma sabitiyle bozunduğunu düşünelim. Bu iki çekirdeğin de ortalama ömürlerinin aynı mertebede olduğunu yani $\tau_1 = \tau_2$ ve dolayısıyla $\lambda_1 \cong \lambda_2$ olduğunu farz edelim. Bu

durumda 1. ürün çekirdeklerin sayısının önce belirli bir maksimum değere ulaşacağını sonra bunlardan uzun ömürlü olanın bozunma hızıyla azalmaya başlayacağını gösterelim. Denk. (29)'u ele alacak olursak,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (34)$$

N_2 'nin maksimum t_m değerini bulabiliriz. Bu eşitliğin t 'ye göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse,

$$\frac{dN_2}{dt} = 0 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (-\lambda_1 e^{-\lambda_1 t_m} + \lambda_2 e^{-\lambda_2 t_m}) \quad (35)$$

$$t_m = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \log_e \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (36)$$

elde edilir.

t_m zamanından sonra 1. ürünün bozunma hızına ($\frac{dN_2}{dt}$ ye) λ_1 ve λ_2 den hangisi küçükse o etkili olacaktır.

Eğer $\lambda_1 \square \lambda_2$ ise denk. (34)'te $e^{-\lambda_2 t}$ ifadesi $e^{-\lambda_1 t}$ ifadesinden daha çabuk sıfıra ulaşacağından bu terim ihmal edilebilir. Böylece,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (N_{10} e^{-\lambda_1 t}) \quad (37)$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 \quad (38)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (39)$$

olacaktır. Birinci ürünün aktivitesinin ana çekirdek aktivitesine oranı,

$$\frac{dN_2 / dt}{dN_1 / dt} = \frac{\lambda_2 N_2}{\lambda_1 N_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (40)$$

dir.

Denk. (38) 1. ürünün ana çekirdeğin bozunma hızıyla bozunduğunu gösterir. Denk. (39) N_2 / N_1 oranının sabit olduğunu ifade eder. Böyle bir durumda ana çekirdekle 1. ürün elementinin geçici dengede olduğu söylenir.

Eğer $\lambda_1 < \lambda_2$ ise,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{-\lambda_2 t} \quad (41)$$

olduğu gösterilebilir. Bu ise belirli bir zamandan sonra 1. ürün çekirdeğin kendisi için belirlenmiş olan λ_2 bozunma sabitiyle bozunacağı anlamını verir. Tek zincirleme bozunmadan daha çok bozunmalarda bile bu ifade geçerlidir. Belirli bir müddetten sonra ana çekirdek bitecek ve 1. üründe kendi bozunma hızıyla bozunmasına devam edecektir.

1.4.2. Sürekli Denge

Denklem (34) te $\lambda_1 \ll \lambda_2$ durumunu ele alalım. $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ yazılabilir. Böylece Denklem (41) ifadesi düzenlendiğinde,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (42)$$

ifadesi elde edilir.

Zamanla $e^{-\lambda_2 t}$ ifadesi sıfıra gideceğinden ürün çekirdek denge durumuna yaklaşacak ve denge durumunda,

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (43)$$

olur. λ_1 çok küçük olduğundan $\lambda_1 N_1 \approx 0$ olacaktır. Buradan ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu anlaşılır.

1.5. Radyasyon

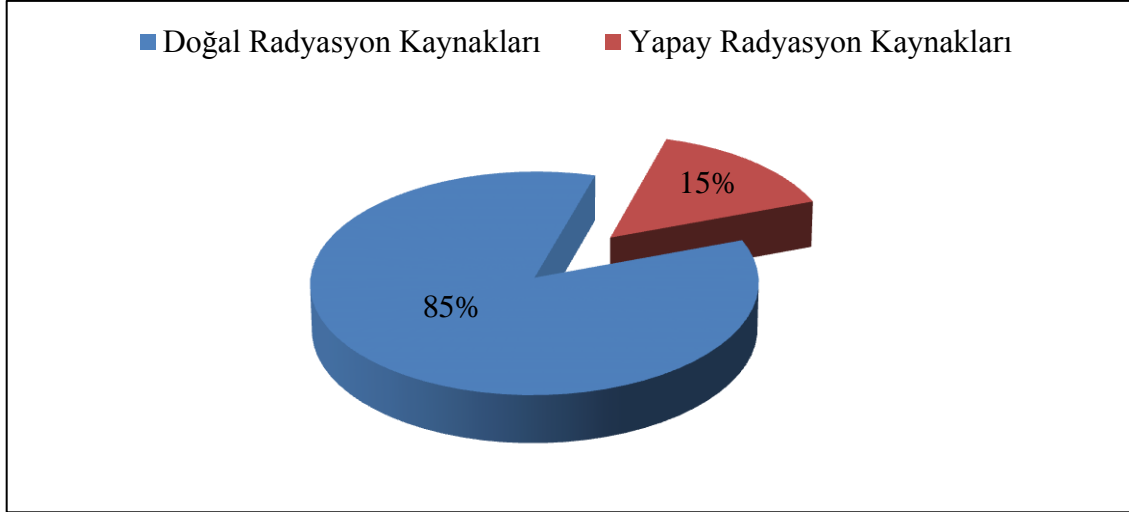
Radyasyon, radyoaktif elementlerin atom çekirdeklerinin bozunması esnasında etrafa yaydıkları ışınlaradır.

Doğada kendiliğinden bulunan kararsız çekirdeğin bozunması sonucunda ortaya çıkan radyasyona doğal radyasyon denir. Doğal radyoaktif elementler genel olarak kara ve uzay kökenli olmak üzere iki grupta toplanır. Yapay yollarla hızlandırıcılarda veya nükleer reaktörlerde radyoaktif çekirdek üretilmesi sonucunda meydana çıkan radyasyona ise yapay radyasyon denir. Gelişmekte olan nükleer enerji endüstrisi ve radyoaktif maddelerin tıp, endüstri, tarım gibi çeşitli araştırma alanlarında kullanılması sonucu meydana gelen radyoaktif atıklar sebebiyle yapay yollarla üretilen radyasyon insan hayatını olumsuz yönde etkilemiştir.

Radyasyonun yapay veya doğal olmasından ziyade iyonlaştırıcı olup olmaması çok daha önemlidir. İyonlaştırıcı radyasyonlar atomla etkileşmeye girebilecek kadar güçlü enerjilere sahip olan ışınlardır. Bu ışınlar insan vücuduna kolaylıkla nüfuz edebilirler ve hücrelerin kimyasal yapılarını değiştirebilirler. Alfa (α), Beta (β), ve Gama (γ) ışınları iyonlaştırıcı ışınlardır.

Atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü enerjilere sahip olmayan seviyelerdeki elektromanyetik dalgalar atomların yörüngesinde büyük bir hasara neden olmaz. Bunlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılır. Bu tür radyasyonlara mikrodalga, görünür ışık, radyo ve televizyon dalgaları örnek olarak verilebilir.

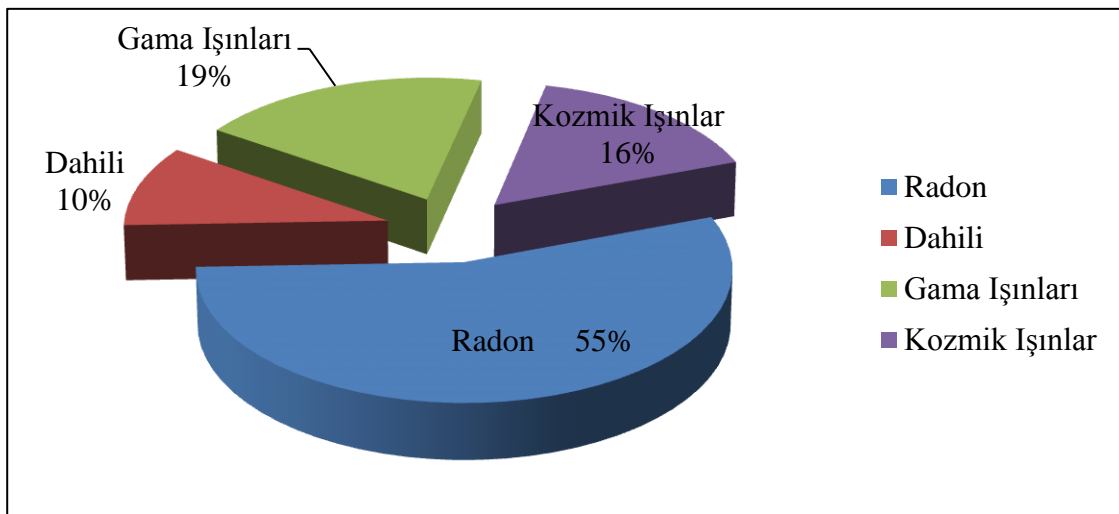
Değişik nitelikteki radyasyon kaynakları sürekli insan ve canlılar üzerinde etkili olmaktadır. İnsanların doğal kaynaklardan dolayı maruz kaldığı doz miktarı ortalama % 85 iken yapay radyasyon kaynaklarından % 15 kadardır (UNSCEAR, 2000). Şekil 8'de Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları şematik olarak verilmektedir.



Şekil 8. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarından Alınan Doz Oranları

1.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyon kaynaklarını güneşten ve uzaydan gelen kozmik ışınlar ve yer kabuğunda bulunan radyoaktif maddeler olmak üzere iki bölümde sınıflandırılmak mümkündür. ^{238}U elementinin bozunma ürünü olan radon ^{222}Rn gazı % 55'lik oranla doğal radyasyon kaynakları arasında en büyük etkiye sahiptir. Kozmik ışınlar % 16 ve gama ışınları % 19'luk oranla önemli yer tutmaktadır. Ayrıca insan vücudunda da bulunan bazı radyonüklitler özellikle ^{40}K iç ışınlamaya sebep olmaktadır (IAEA,1996). Şekil 9'da doğal radyasyon düzeyini belirleyen etkenler görülmektedir.



Şekil 9. Doğal Radyasyon Kaynakları

1.5.1.1. Kozmik Radyasyon Kaynakları

Güneş ve yıldızlardan kaynaklanan yüksek enerjili kozmik ışınlar, daha çok (% 93) hızlı protonlardan (hidrojen atomu çekirdeklerinden), (% 6,3) alfalardan (helyum atomu çekirdeklerinden) ve trityum ile karbon-14 çekirdeklerinden oluşur. Bu ışınların büyük bir kısmı atmosferden geçerken tutulurlar ve atmosferdeki hava molekülleri ve atomlarıyla çarpışarak yeni çekirdekler üretilir, enerjilerini git gide kaybederler. Bunun sonunda kozmik ışınlardan ikincil ve daha sonraki bir dizi tepkimelerle üretilen protonlar, nötronlar, elektronlar, mezonlar, gamalar (fotonlar) gibi daha bir çok ışınlar yeryüzüne ulaşır. Tablo 2’de bazı kozmik radyonüklitler verilmektedir (Perkins ve Neilson, 1965, Yeşilbağ, 2008).

Diğer bazı kozmik radyonüklitler de;

^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl , ^{81}Kr , ^{14}C , ^{32}Si , ^{39}Ar , ^{22}Na , ^{35}S , ^{37}Ar , ^{33}P , ^{32}P elementleridir (UNSCEAR, 2000).

Tablo 2. Kozmik radyoizotoplar

Radyoizotoplar	Sembol	Yarı ömür	Kaynak	Doğal aktivite
Karbon-14	^{14}C	5730 yıl	Kozmik ışın etkileşimleri $^{14}\text{N}(n,p) ^{14}\text{C}$	6 pCi/g (0,22 Bq/g) organik maddelerde
Trityum-3	^3T	12,3 yıl	Kozmik ışınların N ve O ile etkileşimi; kozmik ışın saçılmaları, $^6\text{Li}(n,\alpha) ^3\text{H}$	0,032 pCi/kg ($1,2 \cdot 10^{-3}$ Bq/kg)
Berilyum-7	^7Be	53,28 gün	Kozmik ışınların N ve O ile etkileşimi	0,27 pCi/kg (0.01 Bq/kg)

1.5.1.2. Karasal Radyasyon Kaynakları

Karasal dış radyasyon kaynaklarının başında ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{235}U ile ^{232}Th 'un bozunma ürünleri olan radyonüklitler gelmektedir. ^{235}U ve bozunma ürünlerinin doğal

seviyeye katkıları ihmal edilecek düzeyde olduğu için dikkate alınmamıştır. ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th gibi radyonüklitler uzun yarı ömre sahip olup dünyanın var oluşundan beri mevcuttur ve temel seviyeye katkıları oldukça fazladır. Karasal radyasyon kaynakları olan bu radyonüklitler özellikle volkanik kayalarda (granit, fosfat, volkanik ve tuz kayaları), değişim geçiren kayalarda, toprakta ve deniz diplerinde birikmiş çamurlarda yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmı 0-25 cm derinliğindeki toprak tabakasından kaynaklanmaktadır. Bu radyonüklitlerin konsantrasyonları ile dış ışınlamalar arasında doğrudan bağlantı vardır. Eğer radyonüklit konsantrasyonu biliniyorsa, bunun dış ışınlamalara ne oranda katkıda bulunduğu hesaplanabilir. Karasal gama radyasyonlarının insana etkileri genellikle dış ışınlamalarla olmakla birlikte iç ışınlamalarla da olmaktadır. Havada ve gıdalarda doğal olarak bulunan maddelerin solunması ve yutulması sonucu ortaya çıkan ve insan vücudunda yer alan radyonüklitlerden doğal olarak gelen iç kaynaklardan iç ışınlamalar oluşmaktadır (Karahan, 1997).

Toprakta bulunan bazı radyoaktif elementler Tablo 3'te gösterilmektedir (URL-1, Yeşilbağ vd., 2008).

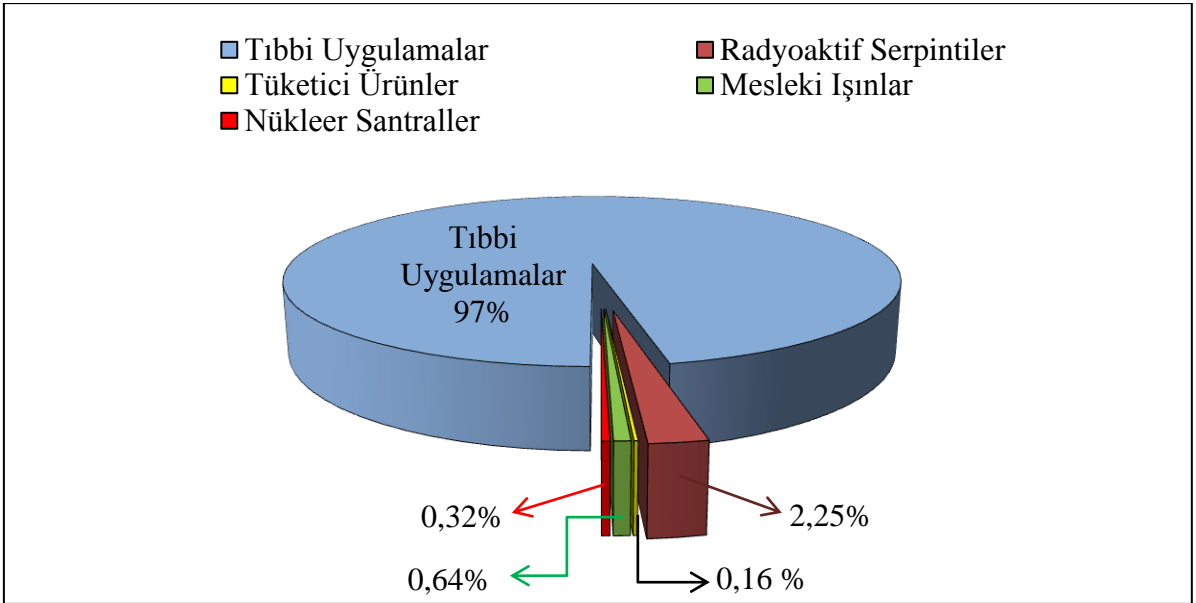
Tablo 3. Toprakta bulunan radyoaktif elementler

Radyoizotoplar	Hesaplama kullanılan aktivite	Radyoizotopların kütlesi	Toprak hacminde bulunan aktiviteler
Uranyum	0,7 pCi/g (25 Bq/kg)	2.200 kg	0,8 Ci (31 GBq)
Toryum	1,1 PCi/g (40 Bq/kg)	12.000 kg	1,4 Ci (52 GBq)
Potasyum	11 pCi/g (400 Bq/kg)	2000 kg	13 Ci (500 GBq)
Radyum	1,3 pCi/g (48 Bq/kg)	1,7 g	1,7 Ci (63 GBq)
Radon	0,17 pCi/g (10kBq/m ³) toprak	11 µg	0,2 Ci (7,4 GBq)
		Toplam	>17Ci (>653 GBq)

1.5.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Teknolojinin gelişimi ile birlikte canlılar doğal radyasyonun yanı sıra yapay radyasyon kaynaklarından yayılan radyasyona maruz kalmaktadır. Ancak bu doz miktarı daha önce de belirtildiği gibi doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür.

Nükleer silah denemeleri nedeniyle atmosfere atılan ^{90}Sr , ^{137}Cs gibi radyoaktif parçacıklar, atmosferik koşullarla zamanla yeryüzüne inerek kirliliğe yol açmaktadırlar. Nükleer silah denemelerinin yanı sıra nükleer ve radyolojik (tıbbi) kuruluşlardan çıkan radyoaktif atıklar veya kaza durumlarında radyoaktif sızıntı meydana gelmesi de çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Tüm bu etkenlerden çevreye yayılmış olan yapay radyoaktif parçacıklara ek olarak Çernobil nükleer reaktör kazası da atmosferdeki ve dolayısıyla yeryüzündeki yapay radyoaktif parçacık kontaminasyonunda artışa yol açmıştır. Yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz miktarları Şekil 10’da gösterilmiştir (IAEA 1996).



Şekil 10. Yapay Radyasyon Kaynakları

Şekil 10’da verilen yapay radyasyon kaynaklarının elde edilme ve kullanım alanları Tablo 4’te verilmiştir (URL-1, Yeşilbağ vd., 2008).

Tablo 4. Bazı yapay radyonüklitler

Nükleid	Sembol	Yarı Ömür	Kaynak
Tritiyum	^3H	12,3 yıl	Fizyon reaktörlerinde ve nükleer silah denemelerinde üretilir, nükleer silahların üretiminde kullanılır
İyot—131	^{131}I	8,04 gün	Fizyon reaktörlerinde ve nükleer silah denemelerinde üretilir; tıp da tiroit tedavisinde kullanılır
İyot—129	^{129}I	$1,57 \times 10^7$ yıl	Fizyon reaktörlerinde ve nükleer silah denemelerinde üretilir
Sezyum-137	^{137}Cs	30,17 yıl	Fizyon reaktörlerinde ve nükleer silah denemelerinde üretilir
Strosyum-90	^{90}Sr	28,78 yıl	Fizyon reaktörlerinde ve nükleer silah denemelerinde üretilir
Teknesyum-99	^{99}Tc	5,5 saat	^{99}Mo ' nun bozunma ürünü, tıbbi tanılarda kullanılır.
Plütonyum-239	^{239}Pu	$2,41 \times 10^4$ yıl	^{238}U 'in nötronla bombardımanı sonucu oluşur

1.6.Radyasyon Birimleri

1.6.1.Aktivite Birimi

Özel Birim: Curie (Ci)

SI Birimi : Becquerel (Bq)

Curie: Saniyede 3.7×10^{10} parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir.

Becquerel: Saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir.

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

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

1.6.2. Işınlama Birimi

Özel Birim : Röntgen (R)

SI Birimi : Coulomb/kg (C/kg)

Röntgen: Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır.

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

$$1 \text{ C/kg} = 3,88 \times 10^3 \text{ R}$$

1.6.3. Soğrulma Doz Birimi

Özel Birim : Rad

SI Birimi : Gray (Gy)

Rad: Işınlanan maddenin 1 kg'ında 10^{-4} joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir.

Gray : Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rad} = 0,01 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad}$$

1.6.4. Doz Eşdeğer Birimi

Özel Birim : Rem

S Birimi: Sievert (Sv)

Farklı tip radyasyonlardan soğurulan enerjiler eşit olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilir.

$$\text{Rem} = \text{Soğurulan Doz} \times \text{WR}$$

WR (Radyasyon ağırlık faktörü): Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak ve aynı zamanda radyasyon korunma hesaplarını birleştirmek için kullanılan bir faktördür.

Sievert: 1 Gray'lık X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem} = 1 \text{ J/kg}$$

Radyasyon terimlerinin SI birimleri, sembolleri, eski birimleri ve aralarındaki ilişki Tablo 5'te verilmiştir (TAEK, 2002).

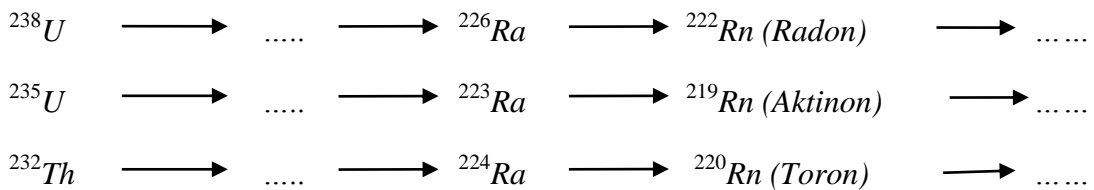
Tablo 5. Radyasyon terimlerinin SI birimleri, sembolleri, eski birimleri ve aralarındaki ilişki

BÜYÜKLÜK	SI Birimi ve Sembol	Eski Birimleri	Dönüşüm Faktörü
AKTİVİTE	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1 Ci = 3,7 x 10 ¹⁰ Bq
İŞINLAMA	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	1 C/kg = 376 R
SOĞURULAN DOZ	Gray (Gy)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
EŞDEĞER DOZ	Sievert (Sv)	Rem (rem)	1 Sv = 100 rem

1.7. Radon, Toron ve Aktinon

Radon, doğal radyasyon kaynaklarından olan 4,5 milyar yıl yarı ömre sahip Uranyum-238 ailesinin bir elemanı olup, bu serideki tek radyoaktif gazdır. Radon gazı üç doğal ana izotopu bulunan bir soygazdır. Bu izotoplar ²³⁸U'un bozunma ürünü olan ²²²Rn, toron olarak bilinen ²²⁰Rn ve ²³⁵U'in bozunma zincirinden çıkan ²¹⁹Rn (aktinon)dur. UNSCEAR'ın 1993 raporuna göre insanların doğal kaynaklardan maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık % 53'ü gibi büyük bir kısmını radon gazı oluşturmaktadır. Özellikle, ²²²Rn insan sağlığına tehdit oluşturan ve radyasyon kirliliğine en fazla katkıda bulunan gazdır (Leghrouz, 2007).

Radon gazı 86 atom numarası ile periyodik cetvelin 8A grubunda yer alan, renksiz, kokusuz, tatsız, duyu organlarıyla algılanamayan, bilinen en yoğun gazdır. Yoğunluğu havadan dokuz kat fazladır. Ergime noktası 202 K, kaynama noktası 211 K'dir. Donma noktasından düşük sıcaklıklara soğutulduğunda parlak renkte fosforesans verir, daha düşük sıcaklıklara inildiğinde bu renk yeşile döner ve sıvı gaz sıcaklıklarına kadar soğutulduğunda ise bu renk turuncu-kırmızı halini alır. Radon kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun bozunma zincirinden meydana gelen alfa yayınlı gaz ürünlerinden biri olup bir miktar hava içinde yayılır. Radon'un ²²²Rn (radon), ²²⁰Rn (toron), ²¹⁹Rn (aktinon) olmak üzere üç izotopu bilinmektedir. Bunlar sırasıyla ²³⁸U, ²³²Th ve ²³⁵U'in radyoaktif parçalanma sonucunda oluşmaktadır.



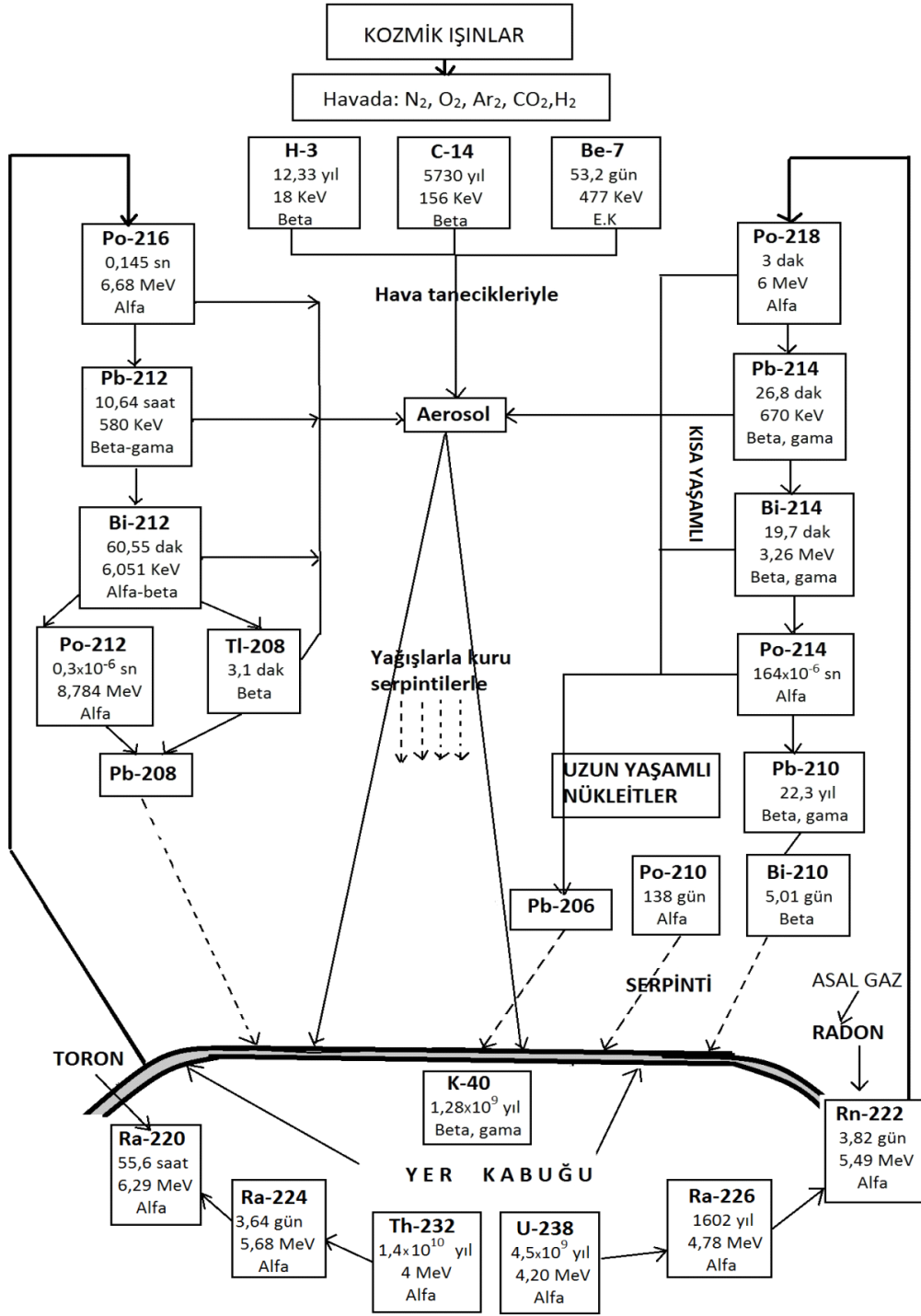
Toron'un yarılanma ömrü 5,56 saniye, aktinonun 3,96 saniye ve Radon'un ise 3,8 gündür. 3,8 günlük yarı ömrüyle radon, havada önemli bir konsantrasyon meydana getirmeye yetecek kadar yayınlanabilir. Atomik yarıçapı $1,34 \text{ \AA}$ 'dir. Tek atomlu olduğu için kağıt, deri, düşük yoğunluklu plastikler, boyalar ile alçı kaplamaları, beton bloklar, ahşap kaplamalar, yalıtım malzemeleri gibi yapı malzemelerinden kolaylıkla geçebilir.

1.7.1. Havadaki Radon Konsantrasyonu

Yer kabuğundaki, uranyum ve toryum dizilerinden radyoaktif bozunma yoluyla oluşan ^{222}Rn ve ^{220}Rn (Toron) radyoizotopları, atmosfere yükselmektedir. Radonun atmosfere yayılması iki şekilde olmaktadır. Radon topraktan moleküler difüzyon veya konveksiyonla sızarak yerden havaya doğru hareket etmekte ve atmosfere ulaşmaktadır. Ancak bir kısmı yüzey altında kalıp, suda çözünerek yeraltı sularına karışmaktadır. Difüzyon mekanizması topraktaki ve yapı malzemelerindeki radyum konsantrasyonuna ile difüzyon katsayısına bağlıdır. Birçok dış faktör radonun difüzyonunu etkileyebileceği gibi solunumla vücuda alınma oranını da etkilemektedir. Bu dış faktörlerden; yağmur yağışı, kar yağışı, havanın soğuk olması ve yükselti (atmosfer basıncı) solunma oranını düşürürken, rüzgar hızı ve sıcaklığın artması bu solunma oranını artırmaktadır (Çelebi, 1995).

Difüzyona ek olarak, yapı malzemelerindeki ve toprağa yakın yerlerdeki radon izotoplarının taşınması, binanın iç ve dış basınç farkından meydana gelen konveksiyon akımıyla da etkilenmektedir. Bu basınç farkı; meteorolojik parametrelere, ısıtma ve havalandırma sistemine göre değişebilmektedir (Porstendörfer, 1994). Havada bulunan radon ve toron havadaki taneciklere tutunarak yeryüzüne yağışla ya da kuru serpintilerle inerek besinler yoluyla, ya da doğrudan insanı ışınlamaktadırlar (Atakan, 2006).

Şekil 11'de ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktif elementlerinin bozunma ürünlerinin yeryüzüne çıkışı verilmektedir (Atakan, 2006).



Şekil 11. Doğal radyoaktif elementlerinin bozunma ürünlerinin yeryüzüne çıkışı

1.7.2. Bina İçi Radon Konsantrasyonu

Radon binalara sudan, doğal gazdan, inşaat malzemelerinden, fosil yakıtlarından ve en önemlisi binanın temelini oluşturan topraktan girer. Radon gazı toprak boyunca yükselerek binanın altında hapsolür ve basınç oluşturur. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, özellikle zemindeki çatlak ve boşluklardan, yapı bağlantı noktalarından, duvardaki çatlaklardan, asma kat boşluklarından, tesisat boşluklarından ev içerisindeki havaya karışmaktadır. Radon topraktan geçerken suda çözünür ve bu su ile birlikte eve taşınır. Radon seviyesi yüksek olan bölgelerdeki binalarda radondan korunmak için odalar sık sık havalandırılmalıdır. Ayrıca bina içine radon girişini, temellerdeki ve duvarlardaki çatlaklar, ek yerleri, lağımlar ve borular etrafındaki açıklıklar kapatılarak azaltmak mümkündür. Zemin katlarda tabandan gelen radona maruz kalma izolasyon ile en aza indirilebilir. Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa evlerin havalandırılma süresi arttırılmalıdır.

Tablo 6'da çeşitli ülkeler ve uluslar arası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir. (UNSCEAR,2000)

Tablo 6. Radon konsantrasyon limitleri (Bq/m³)

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

** Uluslar arası Radyasyon Korunma Komitesi

*** Dünya Sağlık Örgütü

Yapı malzemelerinde (tuğla, seramik, mermer, çimento ve kiremit gibi) bulunan radyum elementi bina içindeki radon konsantrasyonunu etkilemektedir (Krstic vd.,2007). Bu yüzden yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır. Ayrıca radon konsantrasyonu oturulan evin yerden yüksekliğine ve aynı kat içerisindeki odalarda bile değişiklik göstermektedir (Papaethymiou vd.,2003). Şekil 12'de Radon'un evlere giriş yolları verilmektedir (URL-2).



Şekil 12. Radonun bina içlerine giriş yolları.

1.7.3. Doğal Gazda Radon

Doğal gazın önemli bir ev içi radon kaynağı olduğu bilinmektedir. Doğal gaz, evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığında, radon gazı ortaya çıkarak ev içi radon seviyesini artırır. Eğer yanma ürünleri havalandırma ile dışarı atılırsa, radon kaynağı ihmal edilir (Çelebi, 1995). Doğal gaz üretim kuyularında radon konsantrasyonu, algılanamayan seviyelerden, 50 kBq/m^3 seviyesine kadar değişen değerler vermektedir (Wilkins, 1980). Doğal gazın üretimi ve depolanması esnasında doğal gazın bozunumu ile ortama radon gazı yayılır.

1.7.4. Deprem-Radon İlişkisi

Radon, uranyumun mevcut olduğu tüm kaynaklardan, topraktan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi

göstermektedir. Radon sızıntısının aktif faylar üzerinde daha fazla olduğu, atmosferik koşullara ve sismik faaliyetlere bağlı değişiklikler gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle de, sismik faaliyetin başlamasından önce çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon konsantrasyonunda bir artış gözlenmektedir. Deprem araştırmalarına yönelik çalışmaların özellikle çevredeki fay hattı üzerindeki toprakta, kuyu ve kaynak sularında radon değişiminin incelenerek yapılması çok daha doğru sonuçlar vermektedir (Igarashi, 1992).

1.7.5. Bina içi Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi

Bina içi radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi başta bölgenin jeolojik ve meteorolojik şartlarına, ev karakteristiğine ve evde yaşayanların alışkanlıklarına bağlı olarak değişmektedir. Radon konsantrasyonu kışın maksimum seviyelerde bulunurken yazın daha düşük seviyelerde bulunmaktadır (Çelik vd., 2008; Majborn vd., 1992).

1.7.6. Radon Gazı Solunumunun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Radon kimyasal olarak etkisiz, doğal olarak ortaya çıkan radyoaktif bir gazdır. Radon bir seri bozunum ile yine radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünleri üretir. Bu radyoaktif maddeler $^{209}_{84}Po$, $^{209}_{83}Bi$ ve $^{207}_{82}Pb$ elementlerinin radyoizotoplarıdır. Bu ürünlerin radondan farkı gaz halinde olmamalarıdır (UNSCEAR, 2000). Radon gazı topraktan havaya kolaylıkla sızar ve alfa parçacıklarını yayar. Bu parçacıklar elektrik yüklüdür ve havadaki toz ve diğer parçacıklara yapışır ve soluk almamızla birlikte alfa parçacıkları solunum yollarımıza yerleşebilir ve DNA yapımıza zarar vererek akciğer kanserine yol açabilir (Özderya, 2009). Radon kaynaklı akciğer kanseri daha çok sigara içenler arasında gözükmektedir. Son araştırmalar göstermiştir ki, 75 yaşına kadar sigara içmeyenlerin 100 Bq/m³'lük radon konsantrasyonuna maruz kaldıkları taktirde akciğer kanserine yakalanma risklerinin bu oranda radona maruz kalmayanlara göre 1000'de 1 arttığı gözlenmiştir. Aynı radyasyon oranına maruz kalan sigara içen kişilerde ise akciğer kanserine yakalanma oranının 25 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir (WHO, 2002).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Erzincan İlinin Jeolojik Yapısı

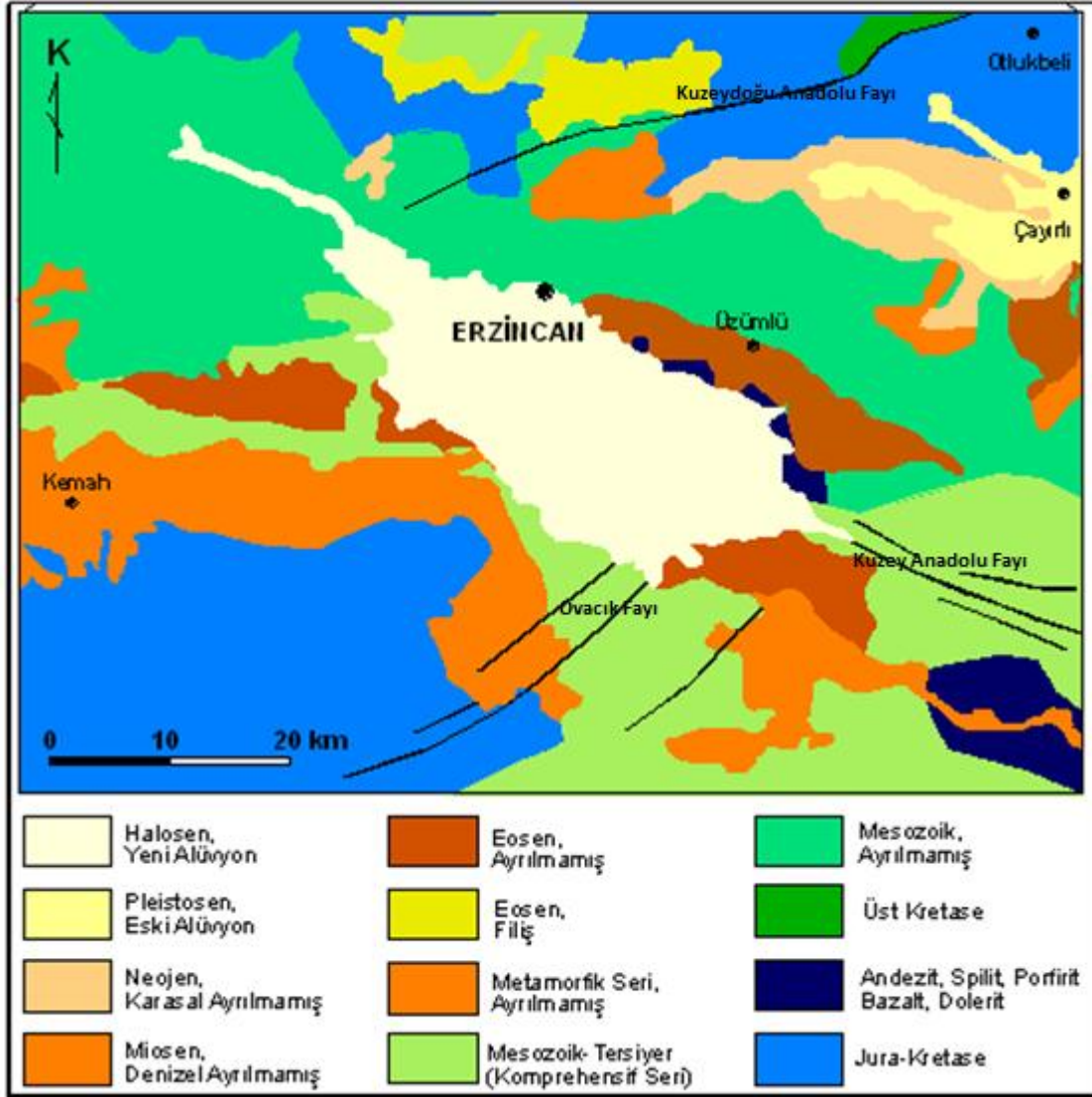
Erzincan Doğu Anadolu Bölgesinin Kuzey Batı bölümünde yukarı Fırat havzasında 39.02'- 40 05' kuzey enlemleri ile 38 16'- 40 45' Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Erzincan, doğuda Erzurum, Batıda Sivas, Güneyde Tunceli, Güneydoğuda Bingöl, Güneybatıda Elazığ, Malatya, Kuzeyde Gümüşhane, Bayburt ve Kuzeybatıda Giresun illeri ile çevrilidir. Yüzölçümü 11.903 km² olup il merkezinin denizden yüksekliği 1.185 metredir. Şekil 13'te çalışma bölgesi verilmektedir.



Şekil 13. Çalışma Bölgesi

Erzincan ovasının kuzeyinde ve güneyinde farklı kayalar bulunmaktadır (Şekil 14). Kuzeyde en altta ofiyolitik ve metamorfik kayalar vardır. Ofiyolit ve metamorfitten oluşan temele ait birimler, ofiyolit ve metamorfite çakıllı bir taban konglomerası ile başlayan transgresif çökel istifini tarafından aşıl diskordansla örtülür. Bu istifin tabanındaki Liyas yaşlı kumtaşı ve konglomeraların üstünde açısız bir uyumsuzlukla

Malm-Alt Kretase yaşlı sığ denizel kireçtaşları bulunur. Bunlar ise daha üstteki ince tabakalı, mikritik, derin denizel, Alt Kretase yaşlı çörtlü kireçtaşlarına geçerler (Tüysüz, 1990; Koçyiğit, 1990).



Şekil 14. Erzurum İlinin Jeoloji Haritası

Erzurum ovasının güneyinde görülen en altbirim, büyük bir olasılıkla alloktan birkaç dilimden oluşan ve tüm Toros kuşağının karakteristik birimi olan bir komprehensif karbonat istifidir. Bu istifin üzerinde uyumlu olarak duran Turoniyen-Üst Kampaniyen yaşlı pelajik mikritik kireçtaşları vardır. Bu birimler üzerine Üst Kampaniyen-

Maastrichtiyen aralığında ofiyolitler yerleşmiş, böylece ofiyolit bloklı derin denizel filiş tipi çökeller gelişmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Koçyiğit, 1990).

Erzincan havzası ve yakın çevresinde, birbiri ile eşlenik geometri oluşturan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) kuşağı, Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF) ve Ovacık Fayı (OF) bu yörenin en önemli tektonik yapılarını oluşturmaktadır. Şekil 15'te bu fay hatları görülmektedir. Tarihsel depremlerin çokluğu bu üç ana fayın hareketleri ile yakından ilgilidir.



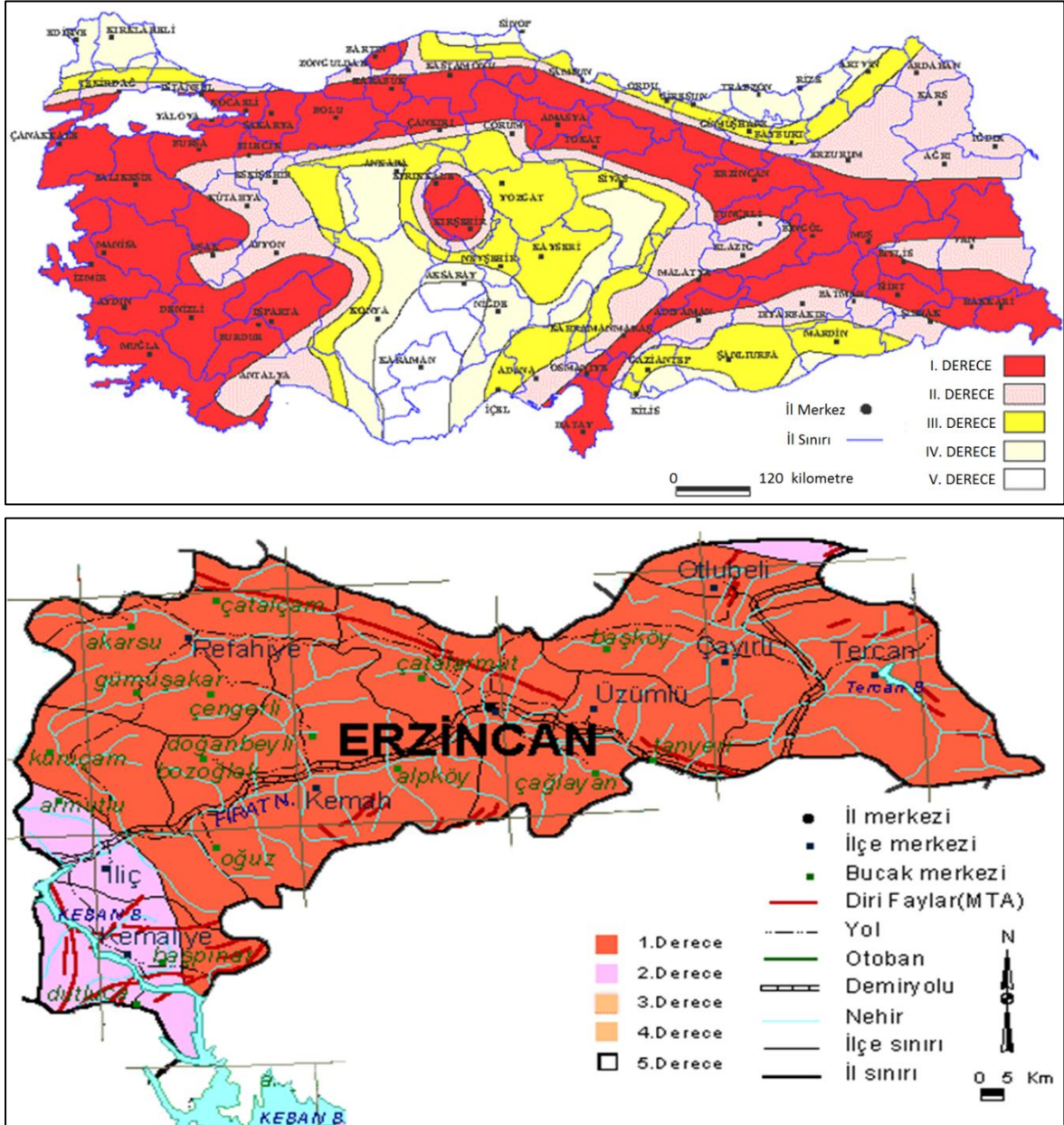
Şekil 15. Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF) ve Ovacık Fayı

Erzincan havzasının kuzey kenarı boyunca sıralanan küçük volkanlar, genellikle bazik lav, tüf ve cürüflardan oluşmaktadır. Bazıları perlit de içermektedir. Ovanın Kuvaterner birikintileri arasından yükselen bu küçük volkanların fazlaca aşınmamış olmaları ve kabaca bir çizgi boyunca dizilmiş bulunmaları, bunların KAF'a bağlı olarak meydana gelmiş Kuvaterner yaşlı volkanlar olduğunu göstermektedir (Barka ve Gülen, 1989). Bu volkanlar ve ısı yükselimleri, yüksek ısı akısını ve kabuğun incelmelerini işaret etmektedir (Aydın ve Nur, 1982).

2.1.1. Erzincan İlinin Deprem Kuşağı

Erzincan birinci derecede deprem kuşağı üzerindedir. Kuzeyinde, doğu-batı yönünde uzanan bir fay hattı vardır. 1939 depreminden sonra şehir merkezi şimdiki

yerinde yeniden kurulmuştur. En son önemli deprem 13 Mart 1992 tarihinde rihter ölçeğine göre 6,8 şiddetinde meydana gelmiş ve 657 kişi hayatını yitirmiştir. Şekil 16’da Erzincan İli Deprem Haritasında, Erzincan il ve ilçelerinin içinde buldukları deprem kuşakları, aktif fay hatları ve risk bölgeleri gösterilmektedir.



Şekil 16. Erzincan İlinin Türkiye'nin Deprem Bölgesindeki Yeri ve Deprem Haritası

2.1.2. Erzincan İlinin İklimi

Karasal iklim özelliklerine sahip olan Erzincan Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan Elazığ ve Malatya dışındaki diğer tüm illerden daha ılıman bir iklime sahiptir. Ancak,

yüzey şekilleri, ovaları ve dağlarla çevrili olması yer yer değişik karakterli iklimlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Yıllık sıcaklık ortalamaları 16,6 °C' dir. En soğuk ay olan Ocak ayı ortalamasının - 3,7 °C, en sıcak ay olan Ağustos ayı ortalamasının da 23,9 °C olduğu görülmektedir. Erzincan, çevre illere göre daha uzun ve sıcak yaz mevsimi yaşamaktadır. Kış mevsiminde doğudan gelen Sibiryaya kaynaklı hava kütlelerinin tesirinde kaldığı için oldukça sert kış günleri yaşanmaktadır. Yağış itibariyle, 380,6 lık (kg/m²) yağış ortalamasına sahip olan Erzincan ili, yıl içerisinde en fazla yağışı 633,1 mm ile Sonbaharda, en az yağışta 206.1 mm ile Yaz mevsiminde almaktadır. Yağışın yüzde 39'u İlkbahar, yüzde 26'sı Sonbahar, yüzde 22'si Kış ve yüzde 13'ü de Yaz mevsiminde kaydedilmektedir. Yıllık nem ortalaması ise yüzde 62'dir (URL-3).

2.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

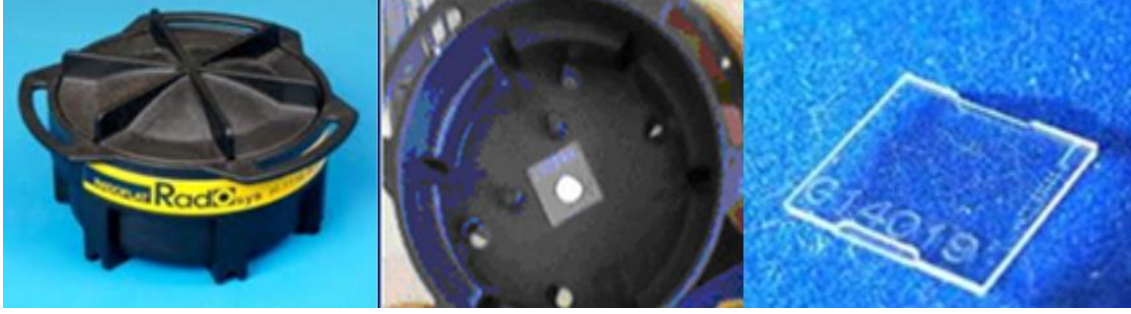
2.2.1. CR-39 Radon Dozimetreleri

Bu tez çalışmasında, Erzincan ve ilçelerine dört mevsim boyunca 84 eve CR-39 pasif nükleer iz dozimetreleri dağıtılmıştır. Dedektör dağıtılan her evde, ev hakkında daha ayrıntılı bilgiye ulaşmak için "Bilgi Formu" doldurulmuştur. CR-39 pasif nükleer iz dozimetreleri ucuz ve kullanımı kolay olan dozimetreler olduklarından, ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmalarında dünyada en çok kullanılan dozimetrelerdir (Karahan, 1997).

CR-39 pasif nükleer iz dozimetreleri allil diglikol karbonat yapıdadır. Dozimetreler, 35 x 55 mm silindirik plastik kutu içinde, kutunun tabanına tutturulmuş, yüzey alanı 10 x 10 mm ve kalınlığı 1 mm çipi olan bir yapıdır.

Dozimetrenin yüzeyi polypropylene madde ile kaplanmıştır. Polypropylene madde alfa parçacıklarına duyarlı olup, Rn (Toron) ve toz parçacıklarının girmesini engellemektedir. Sadece radon gazı dozimetrenin içerisine difüzyon yoluyla girmektedir. Radonun bozunması sonucu oluşan alfa parçacıkları dozimetre çipinin üzerine izler bırakmaktadır. Oluşan bu izleri görünür hale getirmek için kimyasal iz kazıma işlemi yapılmaktadır. Şekil 17'de CR-39 Radon dedektörü, iç kısmı ve çip gösterilmektedir.

Şekil 17. CR-39 Radon Dedektörü ve iç kısmı



2.2.1.1. Dozimetrelerin Dağıtımı ve Toplanması

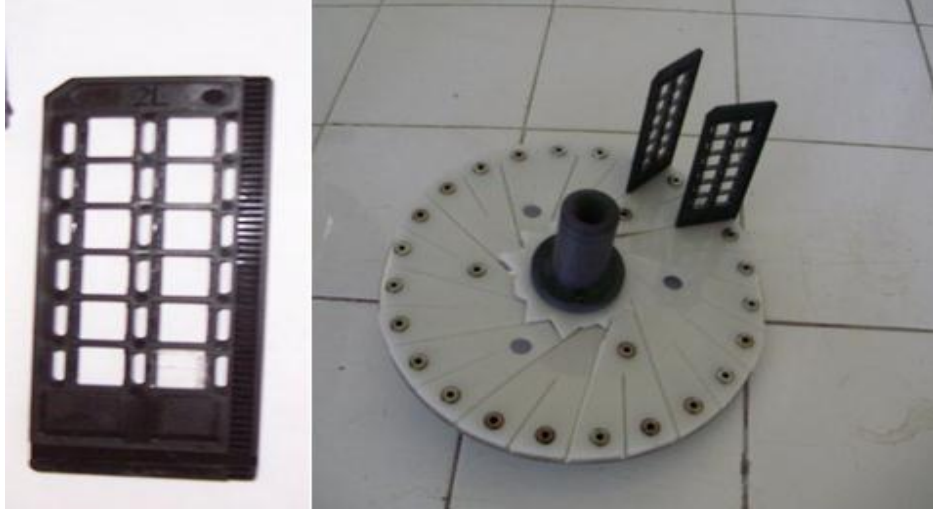
Bu çalışmada dozimetrelerin dağıtımına 2009 yılı ilkbahar döneminde başlanmış olup, Erzincan ve çevresindeki sekiz ilçede, homojen bir şekilde seçilmiş olan 84 eve dört mevsim dağıtım yapılmıştır. Dağıtılan evlerin türlerinin farklı olmasına özen gösterilmiştir. Dozimetrelerin ev içinde en çok zaman geçirildiği düşünülen (salon, oturma odaları) yerlere olmak üzere, kapalı dolaplara, elektronik eşyaların yakınına, soba veya kalorifer petekleri yanına olmayacak şekilde ve üç ay boyunca ilk konulduğu yerden konumunun kesinlikle değiştirilmeyeceği yerlere konulmasına özen gösterilmiştir. Dozimetreler, ölçüme başlamadan önce radon gazına maruz kalmaması için koruma amaçlı kullanılan alüminyum folyo paketlerinden çıkartılıp uygun pozisyonda yerleştirilmişlerdir.

Dozimetreler evde kalması gereken sürenin sonunda, alüminyum folyo paketlerine geri yerleştirilmiş, hava almaması için tekrar alüminyum folyo ile kaplanarak toplanmış ve analiz yapılacak zamana kadar buzdolabında saklanmışlardır. Dozimetreler toplandıktan sonra analiz işlemi için ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) Sağlık Fiziği Bölümüne götürülüp analizleri yapılmıştır.

2.2.1.2. Dozimetrelerin Analize Hazırlanışı ve Analizi

Dozimetrelerin analize hazırlanması için öncelikle plastik kutuları içindeki çipler penset yardımı ile dikkatlice çıkartılmıştır. Çıkarma işleminde, çıkarılan çiplerin havayla temasının önlenmesi için alüminyum folyo ile sarılarak koruma altına alınması sağlanmıştır. Dozimetrelerin plastik kutularından çıkartılıp koruma altına alınan çipler çok dikkatli bir şekilde radoslayt diye adlandırılan slaytlara Şekil 17'deki gibi dedektör ID'leri (dedektör kodları) çentikli yüzeyde düz okunacak şekilde yerleştirilmiştir. Radoslaytlara

yerleştirilen radona maruz kalmış CR-39 plastik dozimetre cipleri üzerinde oluşan alfa izlerinin görünür hale getirilmesi (etching; kimyasal iz kazıma işlemi) için Şekil 18'de görüldüğü gibi kazıma diskiye yerleştirilmişlerdir. Daha sonra bu kazıma diski Şekil 19'da görülen banyo işlemi için hazırlanmış olan banyo kabının içine yerleştirilmiştir.



Şekil 18. Radoslayt dedektör tutucu (sol) ve kazıma diski (sağ) (ÇNAEM Lab.)



Şekil 19. Banyo ünitesi

Kazıma diskinin banyo kabının içine yerleştirilmesinden önce banyo suyu hazırlanmıştır. Bunun için önce banyo kabının içine 4 litre saf su konulup kapağı

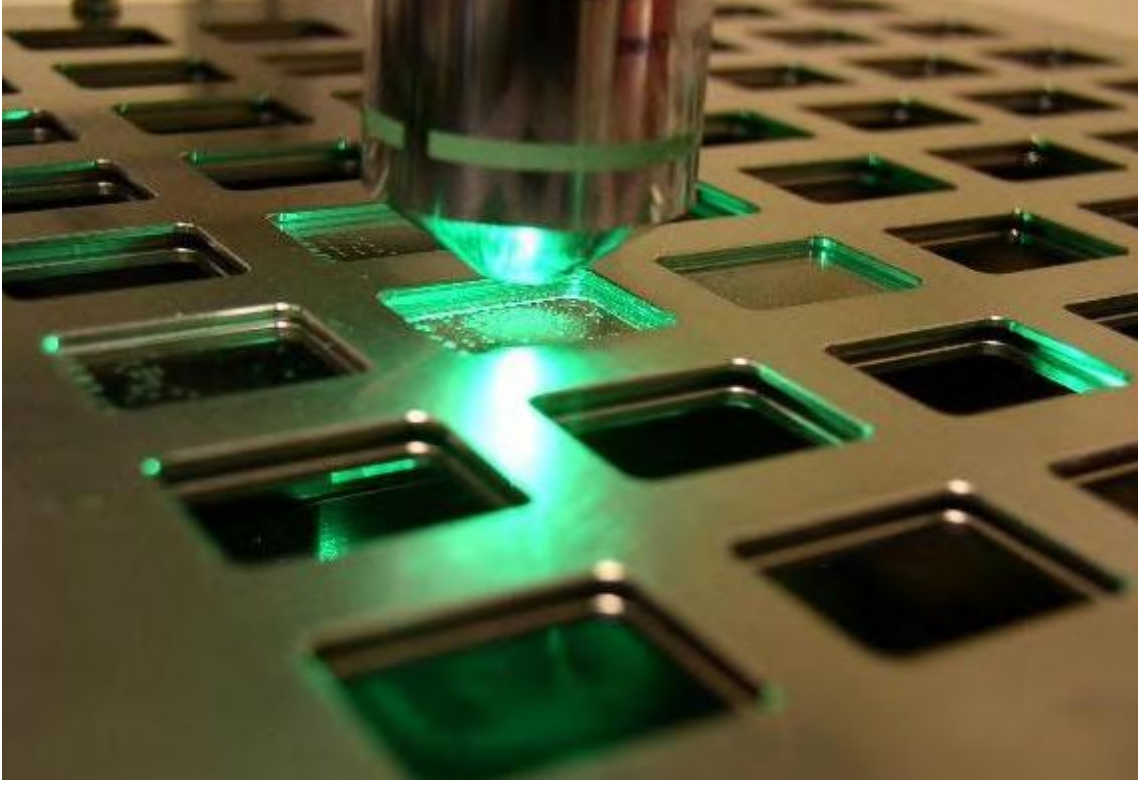
kapatılmış ve suyun sıcaklığı termometre ile kontrol edilerek 60 °C'ye çıkıncaya kadar banyo kabının ısıtıcısı ile karıştırıcı motoru çalıştırılmış, suyun sıcaklığı 60 °C'a ulaştığında ise banyo kabının ısıtıcısı kapatılmış ve karıştırıcı motoru çalışmaya devam ettirilmiştir. Banyo kabının üzerine takılan huni yardımı ile 1 kg'lık NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi özel kaşıkla (her kaşık yaklaşık 10 gr), banyo kabına 1'er dakikalık ara ile dökülmüştür. Bu işlem bittikten sonra içerisindeki karıştırıcı çıkarılarak ciplerin takılı olduğu kazıma diski yerleştirilip, çipler 4 saat yıkama işlemine tabi tutulduktan sonra banyo kabı içerisindeki asitli su boşaltılıp içine 4 litre sirkeli su konularak slaytlar 1-2 dakika daha yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra tekrar bu sirkeli su boşaltılarak 4 litre saf su konup 1-2 dakika yıkama yapılmıştır. Son yıkama işleminin ardından kazıma diski çıkarılıp kuruması için temiz kurulama kağıtları üzerine bırakılmıştır. Bir saatlik kuruma süresi ardından çipler bilgisayarla ölçüm için hazır hale gelmiştir.

2.2.1.3. Radosys Ölçüm Sistemi

Radosys değerlendirme soft\ware çalışmaları Linux işletim sisteminde yapılmaktadır. Şekil 20'de radosys değerlendirme ünitesi ve Şekil 21'de mikroskop yardımıyla alfa izlerinin okunması görülmektedir.



Şekil 20. Radosys ölçüm sistemi (ÇNAEM laboratuvarı)



Şekil 21. Mikroskop yardımıyla alfa izlerinin okunması

Analiz işlemlerini gerçekleştirmek için analiz için hazır hale getirilmiş radoslaytlar Radosys ünitesine yerleştirilir ve sayım işlemi başlatılır. Sayılan iz yoğunluklarını R.A.C (Radon Activity Concentration) fiziksel değerlerine dönüştürmek için dozimetrelerin evlere dağıtılış ve toplanma tarihleri bilgisayar ekranındaki gerekli yerlere doldurularak radon aktivite konsantrasyon değerleri hesaplanır ve RAC sütununda Bq/m^3 olarak kaydedilir.

2.2.2. HPGe Dedektörü

Toprak numunelerinin radyoaktivite ölçümleri için 1332,5 keV'de 1,9 keV rezölüsyona ve %15'lik rölatif verime sahip olan Canberra, GC 1519 model HPGe dedektörü kullanılmıştır. Şekil 22'de dedektörün genel görünüşü verilmektedir.



Şekil 22. Gama Spektrometre Sisteminin Genel Görünüşü

2.2.2.1. HPGe Dedektörünün Yapısı

Toprak numunelerinin radyoaktivite ölçümlerinde, enerji rezölasyonu (FWHM) Co-60 kaynağı için 1332,5 keV'de 1,9 keV rezölüsyona ve %15'lik rölatif verime sahip olan Canberra, GC 1519 model HPGe detektörü kullanılmıştır. Şekil 21'de dedektörün genel görünüşü verilmektedir.

HPGe Dedektörü ön yükselteç, spektroskopi yükseltici, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi ve çok kanallı analizörden (MCA) meydana gelmekte, özden yarıiletken prensibine göre çalışan yarıiletken kristalden oluşmaktadır. Özden yarıiletken, içerisine yapay safsızlıkların bulunmadığı bir çeşit yarıiletkendir. HPGe dedektörünün çalıştırılırken karakteristik özelliği gereğince yarıiletken kristal düşük sıcaklıklarda tutulmaktadır. Düşük sıcaklık termal gürültüyü azaltmakta bu da piklerin düzgün oluşmasına neden olmaktadır.

Gama ışınlarının ölçülmesinde kullanılan dedektörlerde, gelen foton kristalle etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda, kristalde elektron-boşluk çiftleri meydana gelir ve dedektöre uygulanan yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanı ile bu elektron-delik çiftleri diotlara sürüklenir. Gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken bu yük, analizörde ölçülebilen bir voltaj pulsu meydana getirir.

Ön yükselteç dedektöre gelen yük pulsunu potansiyel pulsuna dönüştürür. Buradan çıkan pulsların yükseklikleri veya genlikleri dedektörde toplanan yük miktarı ile orantılı olmalıdır. Eğer fotonun tüm enerjisi dedektörde soğurulmuşsa, fotonun enerjisiyle orantılı bir puls meydana gelir.

Spektroskopi yükselteci; bir yükselticinin iki ana görevinden birincisi ön yükseltecin çıkış puls genliklerini ayırt ederek sayılması için uygun seviyelere yükseltmesidir. İkincisi ise pulslara puls genliği ve X-ışını fotonu arasındaki orantılı ilişkiyi tamamen sürdürerek işleme uygun bir forma sokmasıdır.

ADC, analog sayısal dönüştürücünün amacı yükselticiden gelen analog pulsu onun genliği ile ve dolayısıyla X-ışını fotonu enerjisiyle orantılı bir tam sayıya çevirir. Bu işleme analogun sayısal dönüşürülme işlemi denir. Sayılmış olan her bir puls yüksekliği kadar sayı analizörün hafızasında biriktirilir. Sonuçta bu bilgi bir enerji spektrumu olarak ekrana kaydedilir. MCA, çok kanallı analizör, sayısal hale getirilmiş pulsları kanallara yerleştirir ve bilgisayar hafızasına kaydeder. Alınan ölçümler Genie—2000 yazılım programı kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2.2.2. Toprak Numunelerin Alınması

Toprak numuneleri CR-39 radon dedektörlerinin dağıtıldığı evlerin yakınlarından alınmıştır. Topraklar açık alanda bölgeyi tanımlayan ve işlenmemiş toprağın 10-20 cm alt kısmından 1-1,5 kg alınıp temiz naylon torbalara konulup etiketlenmiştir. Laboratuvarda numuneler kurutulduktan sonra ince elekte elenip taş çöp ve ot gibi maddelerden arındırılmıştır. Daha sonra numuneler deney geometrisine uygun kaplarına konup ağızları sıkıca kapatılmıştır. Toryum, Radyum ve bunların bozunma ürünlerinin dengeye gelmesi için en az 30 gün beklenmiş ve numuneler HPGe dedektörü ile 50000 saniye sayım yapılmıştır.

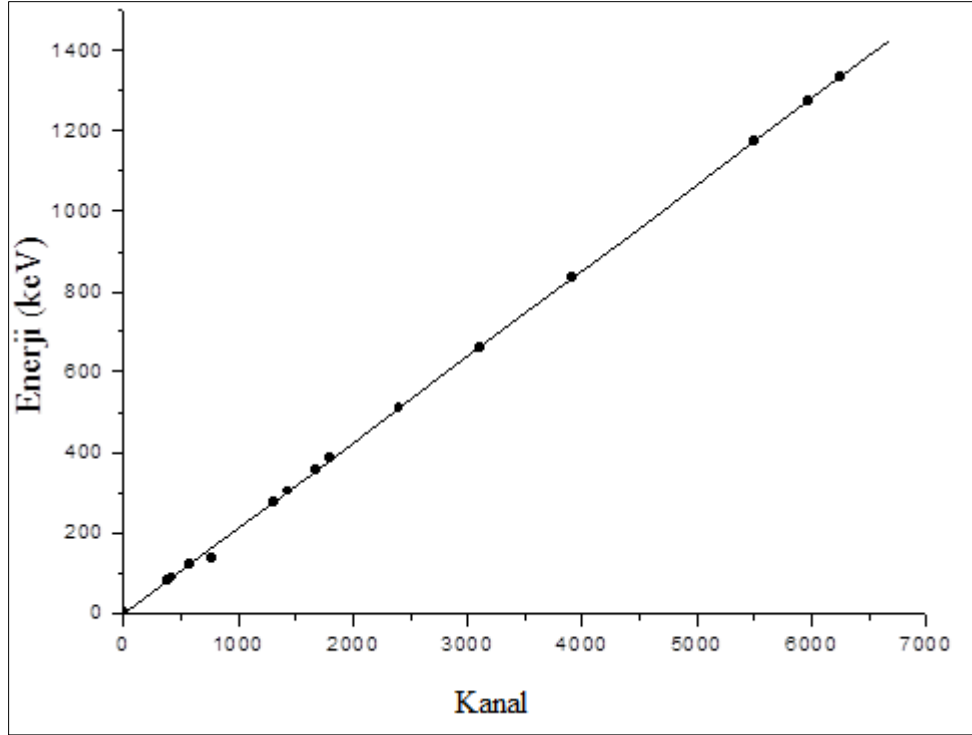
2.2.2.3. Enerji Kalibrasyonu

Çok kanallı analizörde toplanan spektrumların analiz edilebilmeleri için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Her kanal bir enerji değerine karşı gelmektedir. Ancak puls yükseklikleri, fotoçoğaltıcı tüpe uygulanan yüksek gerilim ve yükseltecin kazancı ile değişir. Bu değişim, bir kanala karşılık gelen enerji değerini değiştirmektedir. Bu nedenle, sistemde enerji kalibrasyonu yapmak bir zorunluluktur. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir. Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart bir kaynağa (kaynaklara) ihtiyaç vardır. Enerji ve verim kalibrasyonu için enerjileri 80-1400 keV arasında değişen ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn ve ^{60}Co 'ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanılmıştır. Çalışma süresince enerji kalibrasyonu periyodik olarak kontrol edilmiştir. Tablo 7'de kalibrasyon için kullanılan standart kaynaklara ait bilgiler verilmektedir.

Tablo 7. Standart kaynağın özellikleri

Nüklid	Enerji (KeV)	FWHM	Verim	Alan	$T_{1/2}$ (Yarı ömür)	Bolluk Olasılığı
Ba-133	81	2,329	0,008926	38554	3830	0,33
Cd-109	88	1,817	0,009873	486	464	0,0372
Co-57	122,1	2,264	0,011511	2075	271	0,86
Co-57	136,5	2,264	0,011016	254	271	0,11
Ba-133	276,4	2,26	0,005916	5343	3830	0,069
Ba-133	302,8	2,309	0,005081	12635	3830	0,19
Ba-133	356	2,349	0,004583	37192	3830	0,62
Ba-133	383,8	2,322	0,004192	4774	3830	0,087
Na-22	511	3,615	0,003647	35572	946	1,8
Cs-137	661,6	2,547	0,002456	32217	11022	0,85
Mn-54	834,8	2,634	0,002066	721	313	1
Co-60	1173,2	2,814	0,001339	13162	1922	1
Na-22	1274,5	2,899	0,001192	6461	946	1
Co-60	1332,5	2,935	0,001189	11687	1922	1

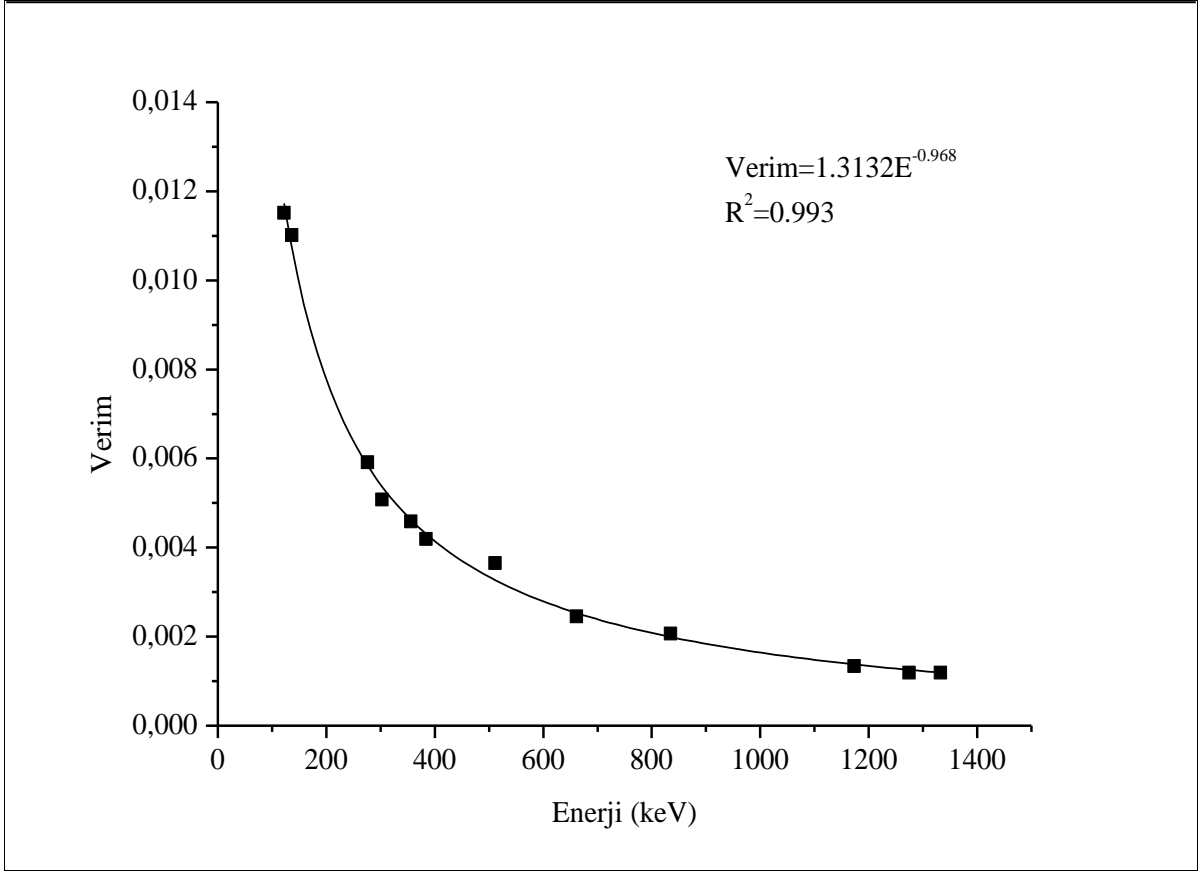
Enerji kalibrasyonu için dedektörün önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara geldiği tespit edilmiştir. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği Şekil 23'te gösterilmektedir.



Şekil 23. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği

2.2.2.4. 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. Bir dedektörün bir enerjideki verimi, dedektörden sabit uzaklıkta bulunan standart kaynaktan birim zamanda dedektöre gelen ve sayılan fotonların sayısını bilmekle tayin edilir. Enerji verim eğrisi Şekil 24'te gösterilmektedir.



Şekil 24. Enerji Verim Eğrisi

2.2.3. Spektrum Analizi

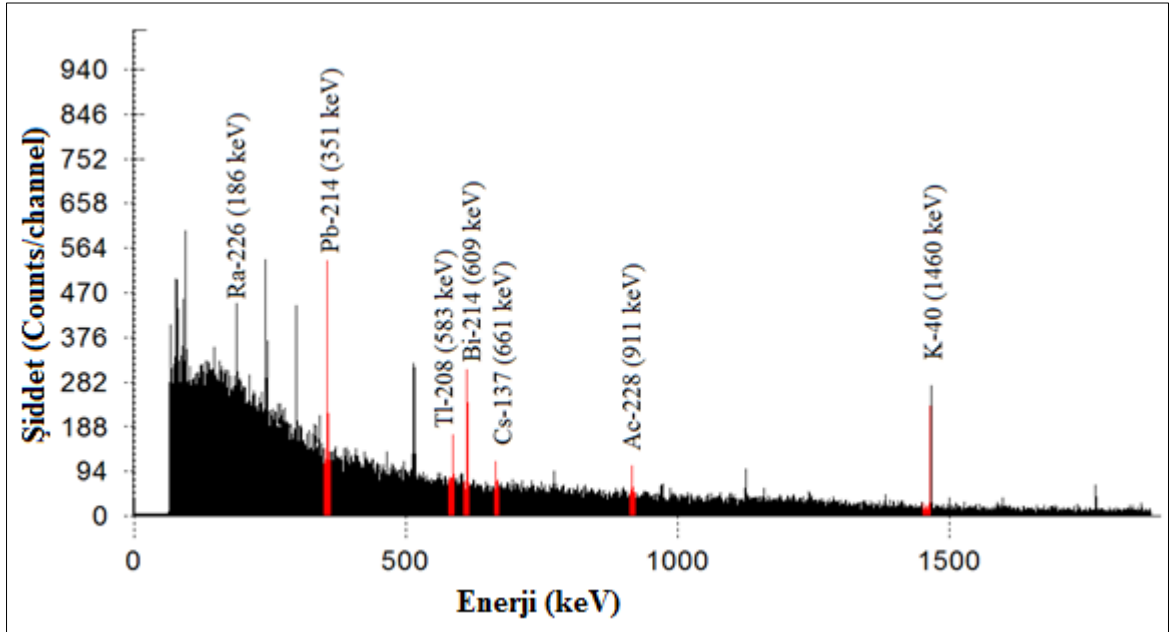
2.2.3.1. Pikleri Belirleme ve Değerlendirme

Spektrumdaki ^{238}U bozunma ürünü olan Pb-214 (295,2 keV), Pb-214 (351,9 keV), Bi-214 (609,3 keV) enerjilerindeki alanlar, ^{232}Th serisinin bozunma ürünü olan Pb-212 (238,6 keV), Tl-208 (583,2 keV) ve Ac-228 (911,2 keV) enerjilerindeki alanlar, K-40 (1460,8 keV) ve Cs-137 (661,6 keV) enerjilerindeki alanlar alınmıştır. Tablo 7'de bu radyonüklitlerin bozunma olasılıkları verilmektedir. Her bir pik için en küçük hataya sahip net alanı verecek pik alanları alınmıştır.

Tablo 8. Aktivitesi hesaplanan elementler ve bozunma olasılıkları

Element	Bozunma Olasılığı (%)
Pb-212 (238,6 keV)	43,5
Pb-214 (295,2 keV)	18,2
Pb-214 (351,9 keV)	35,1
Tl-208 (583,2 keV)	30,58
Bi-214 (609,3 keV)	44,6
Cs-137 (661,6 keV)	85,2
Ac-228 (911,2 keV)	26,6
K-40 (1460,8 keV)	10,7

Şekil 25'te örnek olarak, Erzincan ilinden alınan bir toprak numunesinin aktivitesi hesaplanırken alınan pikler bulunmaktadır.



Şekil 25. Erzincan ilinde alınan toprak numunelerinde biri için alınmış örnek spektrum

2.2.3.2. Aktivite Konsantrasyonu Hesabı

Piklerin altındaki net alanlar toplam alandan background çıkarılarak elde edilen sayma sayılarının toplamıdır. Saniyedeki sayma (cps), pik altında kalan alanın pik elde etmek için geçen süreye bölümüdür. Dedektör verimi de hesaba katılarak aktivite için,

$$A = \frac{s}{P_{\gamma} * w * t * \epsilon} \quad (46)$$

A : aktivite konsantrasyonu (Bq.kg⁻¹)

s: net alan

w: numune miktarı (kg)

t: sayım süresi

ε: verim

P_γ: Bozunma olasılığı

3. BULGULAR

Erzincan ili ve ilçelerindeki evlerde radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimini ve topraktaki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivitelerini belirlemeye yönelik yapılan bu çalışmada bulunan sonuçlar alt başlıklar halinde verilmiştir. Erzincan ili ve ilçelerinin ev içi radon konsantrasyonu ve çevresindeki toprakların gama spektroskopik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, insanların hem radondan hem de topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kaldıkları etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır.

3.1. Erzincan İli Radyoaktivite Düzeyi

Erzincan'da merkez ve 8 ilçede evlere dağıtılan radon dedektörlerinin mevsimsel ve yıllık ortalama konsantrasyon değerleri Tablo 8'de verilmektedir.

3.1.1. Radon Konsantrasyonu

Tablo 9. Erzincan ili radon konsantrasyon değerleri

ERZİNCAN		Konsantrasyon (Bq/m ³)				
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Yıllık Ort
Merkez	Ortalama	79,24	143,50	35,38	50,75	77,22
	Maksimum	461,48	767,37	191,36	263,06	
	Minimum	5,29	19,53	4,87	6,86	
	Standart Spm	75,16	126,80	31,78	45,14	69,72
Çayırlı	Ortalama	72,01	151,71	77,30	49,54	87,64
	Maksimum	110,52	261,15	259,78	73,33	
	Minimum	27,18	46,19	11,52	15,89	
	Standart Spm	32,33	84,59	103,14	24,77	61,21
Kemah	Ortalama	142,77	237,73	61,08	84,20	131,44
	Maksimum	369,78	628,73	156,79	144,65	
	Minimum	29,84	50,19	12,52	25,11	

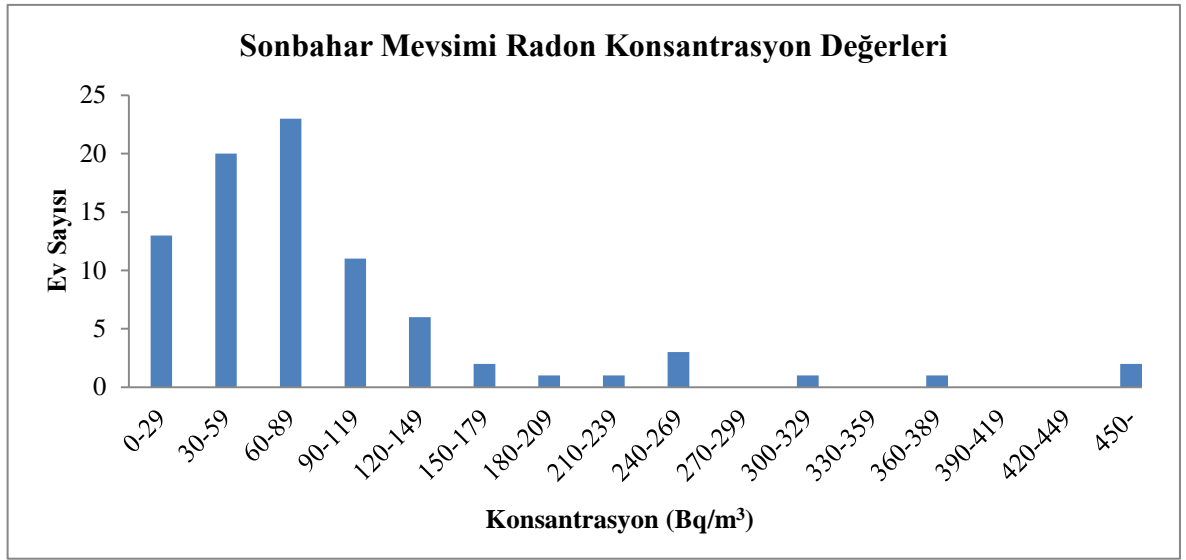
	Standart Spm	98,66	167,47	42,82	58,22	91,79
--	--------------	-------	--------	-------	-------	-------

Tablo 9'un devamı

Kemaliye	Ortalama	81,54	195,80	131,11	176,74	146,30
	Maksimum	89,81	244,30	218,04	292,56	
	Minimum	73,27	147,30	44,17	60,92	
	Standart Spm	11,70	68,59	122,94	163,80	91,76
İliç	Ortalama	95,46	135,61	29,06	34,68	73,70
	Maksimum	313,26	292,77	62,79	86,33	
	Minimum	17,51	29,56	7,37	10,16	
	Standart Spm	92,36	91,99	19,65	23,73	56,93
Refahiye	Ortalama	71,04	122,76	22,70	30,61	61,78
	Maksimum	85,94	148,88	27,51	37,13	
	Minimum	56,33	94,59	17,61	23,59	
	Standart Spm	15,73	28,92	5,27	7,21	14,28
Tercan	Ortalama	97,16	148,35	40,67	65,29	87,87
	Maksimum	240,17	399,70	99,67	137,04	
	Minimum	28,93	48,04	11,98	16,46	
	Standart Spm	81,81	133,21	34,19	57,02	76,56
Üzümlü	Ortalama	47,84	78,59	19,60	26,89	43,23
	Maksimum	63,61	102,54	25,57	35,10	
	Minimum	18,53	31,10	7,76	10,68	
	Standart Spm	18,73	29,89	7,45	10,18	16,57
Otlukbeli	Ortalama	290,30	280,76	89,84	119,31	195,05
	Maksimum	618,74	320,49	108,23	146,39	
	Minimum	120,41	241,94	74,51	97,17	
	Standart Spm	284,49	39,28	17,07	24,98	91,46
Erzincan Genel	Ortalama	98,51	161,61	44,85	59,03	91,00
	Maksimum	618,74	767,37	259,78	292,56	
	Minimum	5,29	19,53	4,87	6,86	
	Standart Spm	96,39	126,57	45,03	53,04	80,26

3.1.1.1. Sonbahar Dönemi

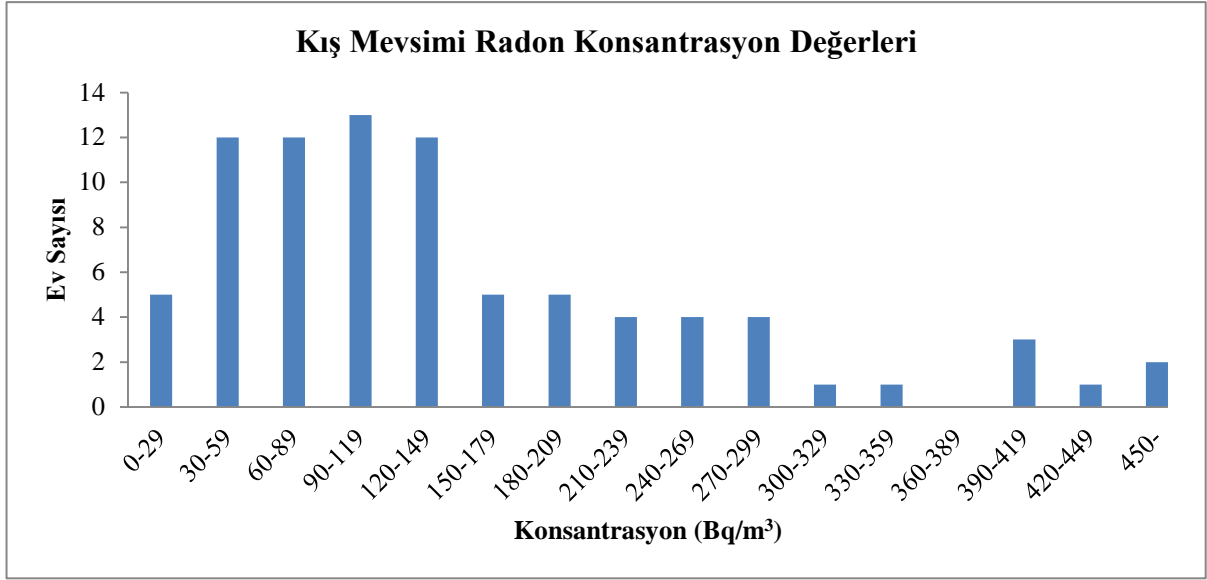
Sonbahar döneminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 5,289 Bq/m³, maksimum değeri 618,744 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 98,506 Bq/m³ olarak belirlenmiş ve standart sapma değeri 96 Bq/m³tür. Sonbahar dönemi radon konsantrasyonunun ortalama değişim aralığını belirlemek için de frekans dağılımı grafiği oluşturulmuş ve Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 26. Sonbahar Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri

3.1.1.2. Kış Dönemi

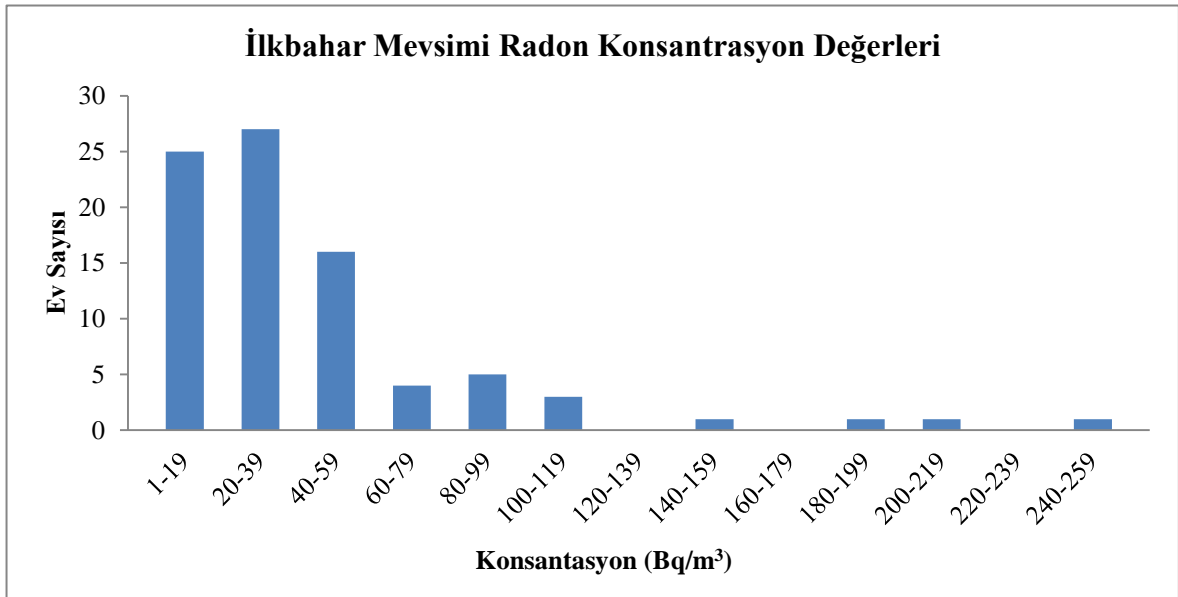
Kış döneminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 19,533 Bq/m³, maksimum değeri 767,375 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 161,612 q/m³ olarak belirlenmiş ve standart sapma değeri 126 Bq/m³ tür. Kış dönemi radon konsantrasyonunun ortalama değişim aralığını belirlemek için de frekans dağılımı grafiği oluşturulmuş ve Şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 27. Kış Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri

3.1.1.3. İlkbahar Dönemi

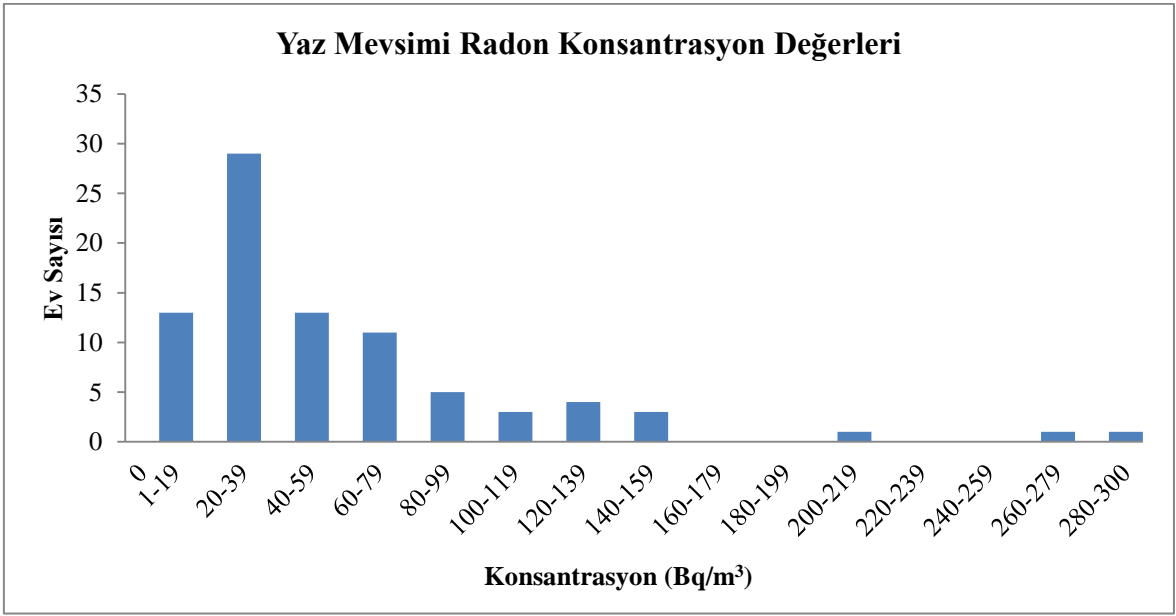
İlkbahar döneminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 4,871 Bq/m³, maksimum değeri 259,779 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 44,845 Bq/m³ olarak belirlenmiş ve standart sapma değeri 45 Bq/m³tür. İlkbahar dönemi radon konsantrasyonunun frekans grafiği Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28. İlkbahar Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri

3.1.1.4. Yaz Dönemi

Yaz döneminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 6,863 Bq/m³, maksimum değeri 292,562 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 59,034 Bq/m³ olarak belirlenmiş ve standart sapma değeri 53 Bq/m³tür. Yaz dönemi radon konsantrasyonunun ortalama değişim aralığını belirlemek için de frekans dağılımı grafiği oluşturulmuş ve Şekil 29'da verilmiştir.

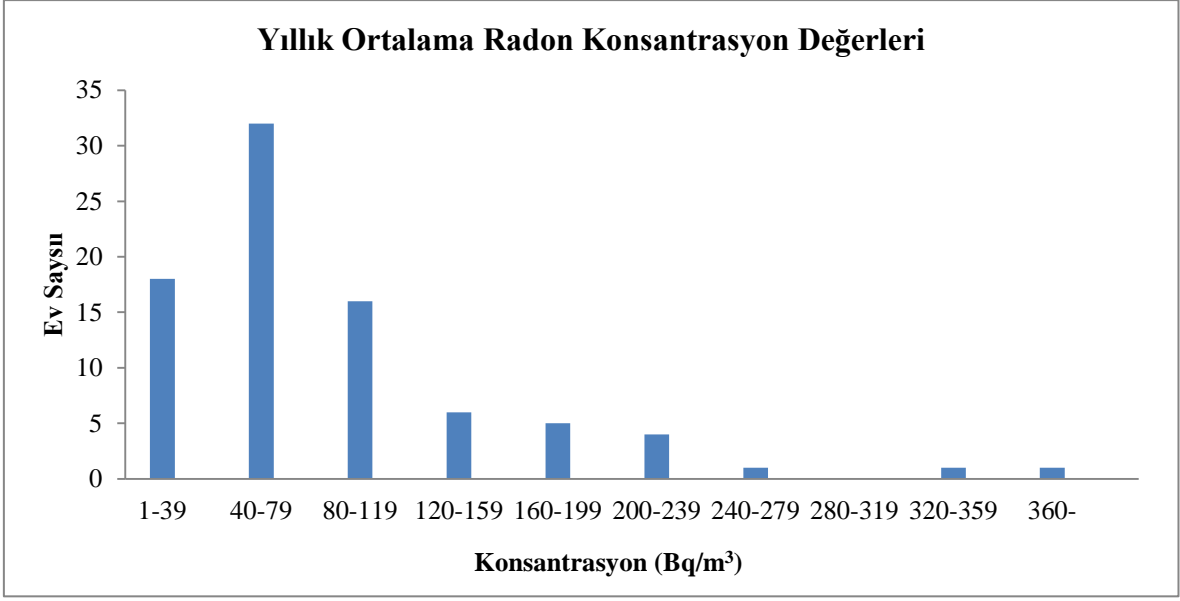


Şekil 29. Yaz Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri

3.1.1.5. Radon Konsantrasyonunun Yıllık Ortalama Değişimi

Erzincan ilinin yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri Tablo 8 de verilmiştir. Bu konsantrasyon değerleri baz alınmak suretiyle Radon konsantrasyonunun yıllık ortalama değişimi her mevsimin ortalama radon konsantrasyon değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

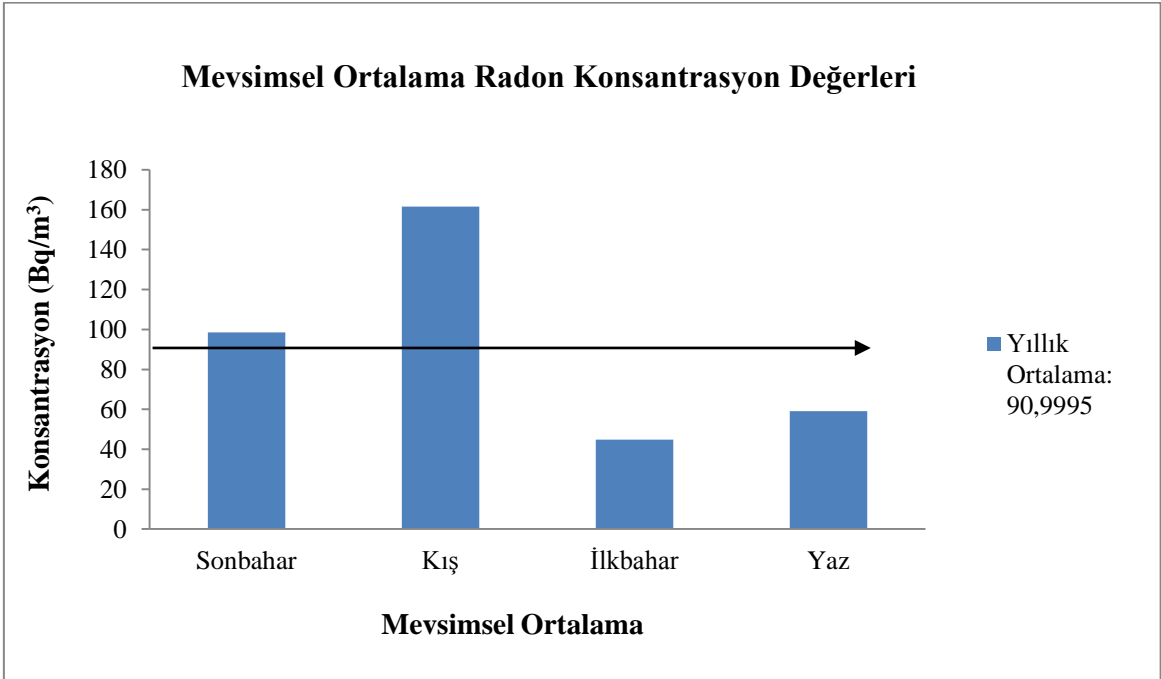
Yıllık ortalama ev içi radon konsantrasyon değeri 91 Bq/m³ olup standart sapma değeri 80 Bq/m³ tür. Şekil 30'da yıllık ortalama radon konsantrasyon değişim aralığı ve bu aralıklara karşılık gelen ev sayıları verilmiştir.



Şekil 30. Yıllık Ortalama Radon Konsantrasyon Değerleri

3.1.1.6. Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi

Radon konsantrasyonunun mevsimler arasındaki değişimini daha iyi belirlemek için Şekil 31'deki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 31. Radon konsantrasyonunun mevsimler arasındaki değişimi

Ayrıca SPSS programında istatistik analiz yapılmış ve mevsimler arasındaki radon konsantrasyon ilişkilerini belirlemek için Pearson korelasyonu uygulanmış ve sonuçları Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 10. Erzincan ili radon konsantrasyonu için Pearson korelasyonu

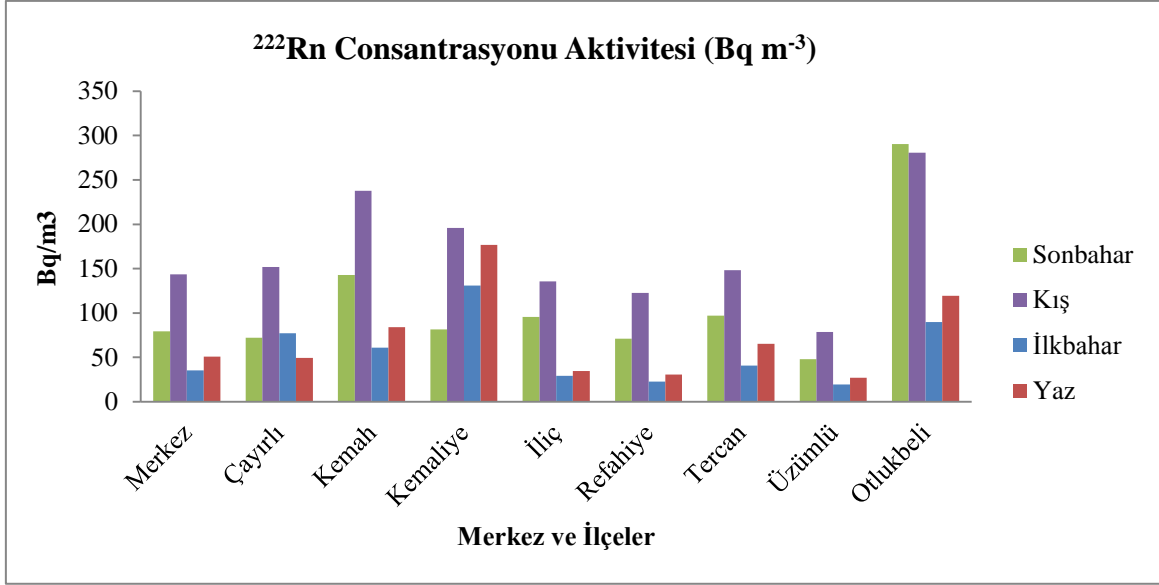
KORELASYON					
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Sonbahar	Pearson Korelasyonu	1	0,79376(**)	0,56886(**)	0,65197(**)
	Sayı	84	84	84	84
Kış	Pearson Korelasyonu		1	0,69822(**)	0,78949(**)
	Sayı				
İlkbahar	Pearson Korelasyonu			1	0,84655 (**)
	Sayı				
Yaz	Pearson Korelasyonu				1
	Sayı				

** p < 0,01 korelasyon sınırı önem değeridir

Buna göre en iyi ilişki pozitif yönde 0,847 ile ilkbahar-yaz mevsimleri arasında, en düşük ilişki ise 0,569 ile ilkbahar-sonbahar mevsimleri arasında görülmektedir.

3.1.1.7. Radon Konsantrasyonunun Merkez ve İlçelere Göre Mevsimsel Değişimi

Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelerdeki değişimi bakıldığında her bir ilçe kendi içinde yaklaşık olarak normal dağılım oluşturmakta ve minimum değerler ilkbahar ve yaz mevsimlerinde, maksimum değerler ise kış mevsiminde ortaya çıkmaktadır. İlkbahar dönemi radon konsantrasyonu diğer mevsimlere oranla düşük çıkmaktadır. Sonbahar ve kış mevsimi için en yüksek değerler Otlukbeli ve Kemah İlçelerinde, ilkbahar ve yaz mevsimi için en yüksek değerler ise Kemaliye ve Otlukbeli ilçelerinde gözlenmiştir. Şekil 32'de tüm mevsimlerin değerleri merkez ve ilçelere göre verilmektedir.



Şekil 32. Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelere göre mevsimsel değişimi

3.1.2. Toprak Örneklerine İlişkin Gama Spektroskopik Analiz Sonuçları

Erzincan'ın merkez ve sekiz ilçesi olan çalışma bölgesinden, gama spektroskopik analizi için alınan toprak örneklerindeki ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K doğal radyoaktif elementleri ile ¹³⁷Cs yapay radyoaktif elementinin ve yıllık etkin doz eşdeğeri ($\mu\text{Sv y}^{-1}$) ile soğurulan anlık doz (nGy/h) değerlerinin merkez ve ilçelere göre ortalama aktiviteleri, minimum ve maximum değerleri ve standart sapmaları Tablo 11' de verilmektedir.

Tablo 11. Erzincan ili ²²⁶Ra, ²³²Th, ¹³⁷Cs, ⁴⁰K aktivite değerleri

D (nGy h ⁻¹) = 0.462C _{Ra} +0.604C _{Th} +0.0417C _K		²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	D (nGy/h)	Etkin Doz Değeri ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)
Merkez	Ortalama	48,53	20,94	8,20	591,93	59,75	73,43
	Std Sapma	1,23	1,57	3,64	5,75	1,76	2,19
	Minimum	47,66	19,83	5,63	587,86	58,51	71,88
	Maksimum	49,39	22,05	10,77	596,00	60,99	74,97
Çayırlı	Ortalama	45,82	21,89	3,48	641,72	61,15	75,16
	Std Sapma	11,54	1,62	0,23	30,06	7,57	9,28
	Minimum	37,66	20,74	3,31	620,46	55,80	68,60

	Maksimum	53,98	23,04	3,65	662,97	66,50	81,72
--	----------	-------	-------	------	--------	-------	-------

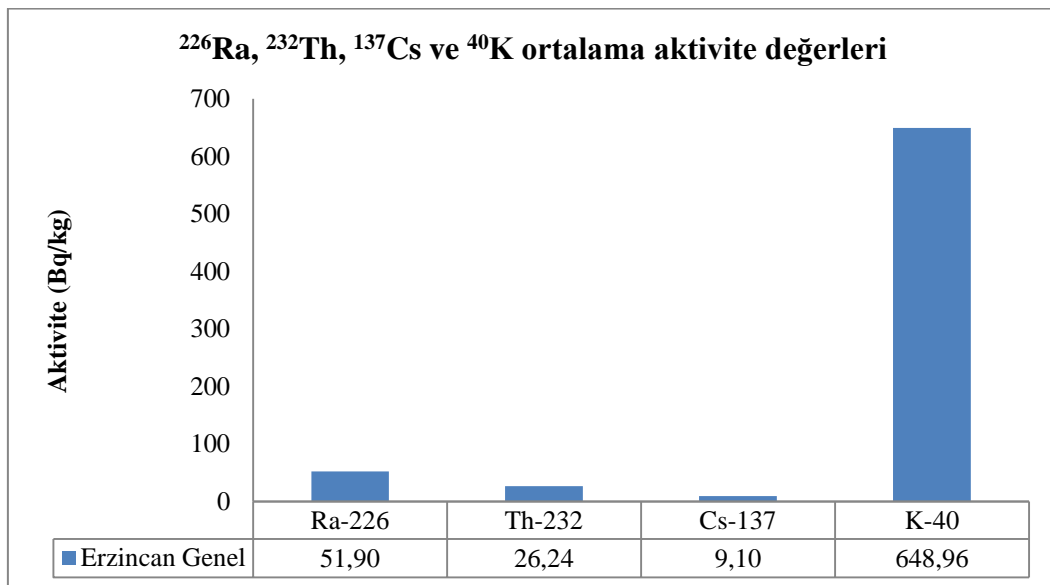
Tablo 11'in devamı

Kemah	Ortalama	55,18839	26,13571	6,61375	689,1534	70,02	86,093471
	Std Sapma	18,41311	3,875704	5,619899	80,70416	9,11	11,137297
	Minimum	34,94887	19,6584	1,9739	581,37	58,57	72,079107
	Maksimum	92,42077	31,40345	18,2228	855,714	90,21	110,7759
Kemaliye	Ortalama	50,92503	27,7584	9,2261	659,205	67,78	83,407569
	Std Sapma	15,67403	12,03053	4,816869	136,271	15,81	19,570338
	Minimum	29,4787	16,87365	3,3142	539,675	46,32	56,923394
	Maksimum	63,0029	44,90275	14,4169	842,959	84,22	103,93171
İliç	Ortalama	51,4412	25,50464	9,787831	607,1962	64,49	79,336145
	Std Sapma	17,16175	7,224567	9,500636	84,558	13,47	16,606134
	Minimum	34,84887	11,976	1,7038	494,706	49,91	61,376593
	Maksimum	86,6032	39,95015	28,7952	699,854	93,06	114,59152
Refahiye	Ortalama	29,18388	37,92	3,5343	567,3535	60,05	74,242799
	Std Sapma	17,10541	1,85262	1,692955	43,95305	10,85	13,297029
	Minimum	17,08853	36,61	2,3372	536,274	52,37	64,84038
	Maksimum	41,27923	39,23	4,7314	598,433	67,72	83,645218
Tercan	Ortalama	71,44378	25,11245	16,7907	645,5627	75,09	92,268803
	Std Sapma	24,11244	1,546639	9,307687	101,6849	16,19	19,792538
	Minimum	56,31483	23,51415	6,0702	574,135	64,16	78,886129
	Maksimum	99,25043	26,60165	22,8114	761,982	93,70	115,00453
Üzümlü	Ortalama	49,58465	20,59825	8,1065	659,8695	62,87	77,214446
	Std Sapma	2,94781	4,753596	8,239632	67,92397	1,40	1,8462602
	Minimum	47,50023	17,23695	2,2802	611,84	61,88	75,908943
	Maksimum	51,66907	23,95955	13,9328	707,899	63,86	78,519949
Otlukbeli	Ortalama	47,69509	31,24845	15,32723	775,6347	73,25	90,163457
	Std Sapma	4,134236	1,707733	2,899322	54,07482	1,13	1,4206064
	Minimum	43,9315	29,76045	12,014	716,098	72,59	89,33729
	Maksimum	52,1202	33,11305	17,3997	821,701	74,56	91,803817
Erzincan Genel	Ortalama	51,90	26,24	9,10	648,96	66,89	82,28
	Std Sapma	16,89	6,64	7,42	92,43	11,37	13,98
	Minimum	17,09	11,98	1,71	494,71	46,32	56,92
	Maksimum	99,25	44,90	28,79	855,72	93,70	115,01

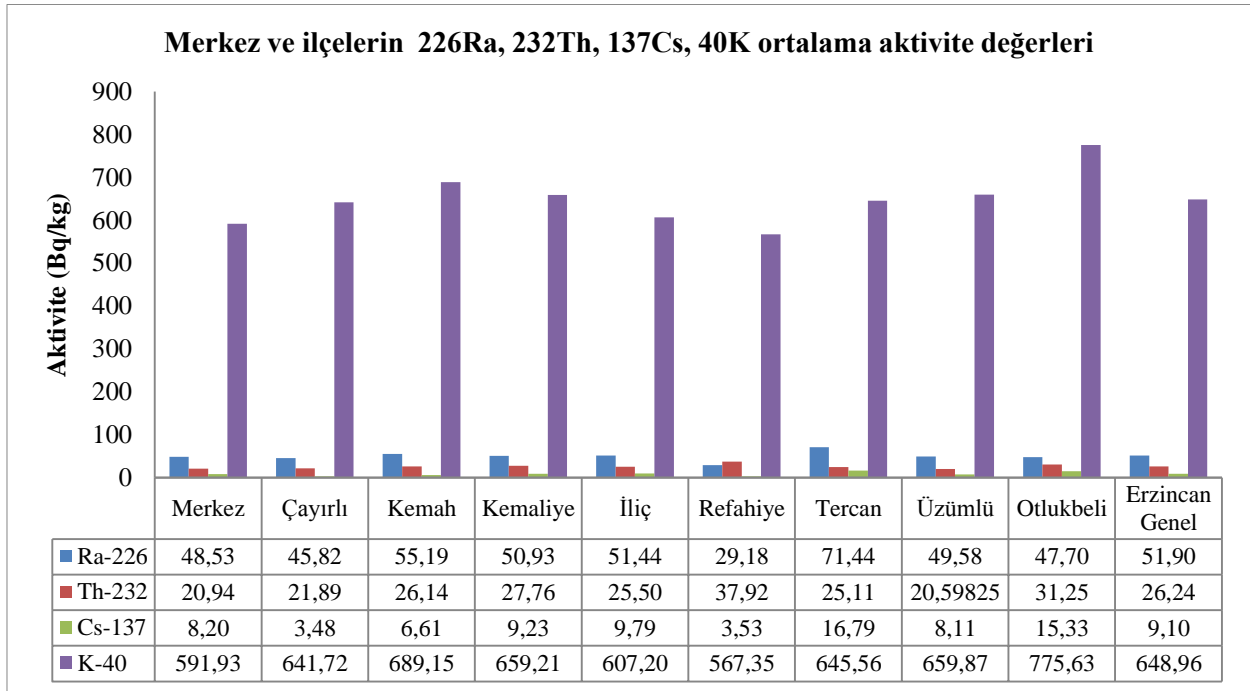
Toprak numunelerinin genel ortalaması ^{226}Ra için 51,90 Bq/kg, standart sapması ise 16,89 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. En yüksek ^{226}Ra aktivite değeri 99,25 Bq/kg ile Tercan'da, en düşük ^{226}Ra aktivite değeri 17,09 Bq/kg ile Refahiye'de ölçülmüştür. ^{232}Th 'nin genel ortalama aktivite değeri 26,24 Bq/kg, standart sapması ise 6,64 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. En yüksek aktivite değeri 44,90 Bq/kg ile Kemaliye'de, en düşük aktivite değeri 11,98 Bq/kg ile İliç'te ölçülmüştür. ^{137}Cs 'nin genel ortalama aktivite değeri 9,10 Bq/kg, standart sapması 7,42 Bq/kg dır. En yüksek aktivite değeri 28,79 Bq/kg ile İliç'te en düşük aktivite değeri 1,71 Bq/kg ile yine İliç'te gözlenmiştir. ^{40}K 'un genel ortalama aktivite değeri 648,96 Bq/kg, standart sapması 92,43 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. En yüksek aktivite değeri 855,72 Bq/kg ile Kemah'ta en düşük değer ise 494,71 Bq/kg ile İliç'te gözlenmiştir.

Erzincan merkez ve ilçelerindeki toprak numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklitleri için belirlenmiş olan ortalama aktivite konsantrasyon değerlerinin, UNSCEAR 2000 raporunda yayınlanan ^{226}Ra için 35 Bq/kg ve ^{232}Th için 30 Bq/kg, ^{40}K için 400 Bq/kg olan dünyadaki ortalama değerinden ^{232}Th hariç daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca havada absorblanan doz oranı ortalaması olarak bulunan $66,89 \pm 11,37$ nGy/h'in ise UNSCEAR 2000 raporunda dünya ortalaması olan 51 ± 16 nGy/h'den daha yüksek olduğu bulunmuştur.

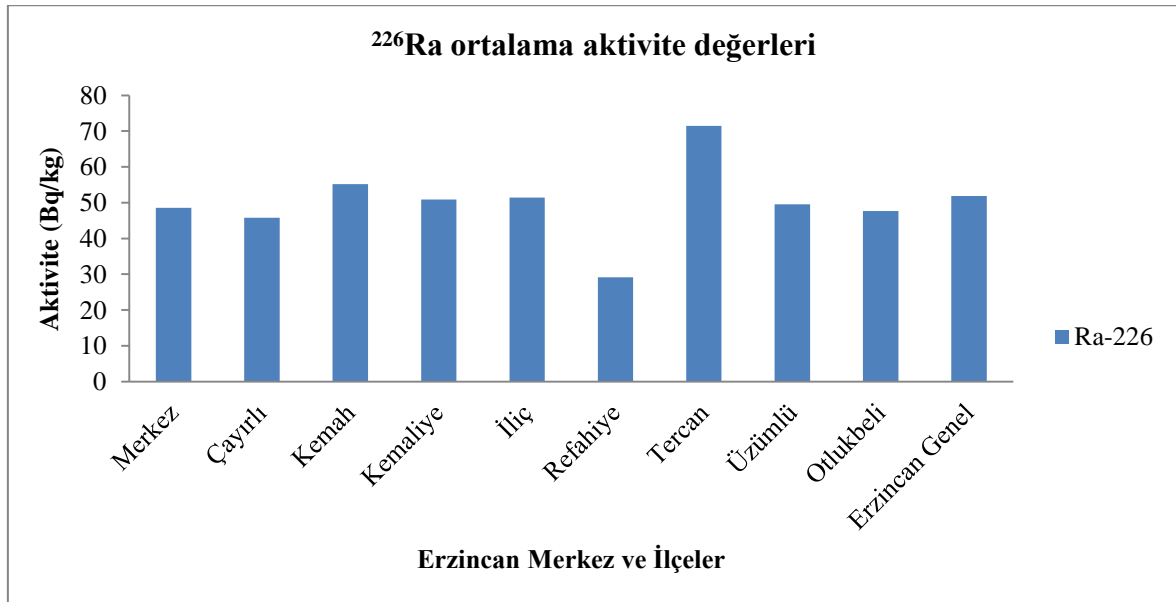
Şekil 33-39'da Erzincan ili merkez ve ilçeler arasındaki ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerleri verilmektedir.



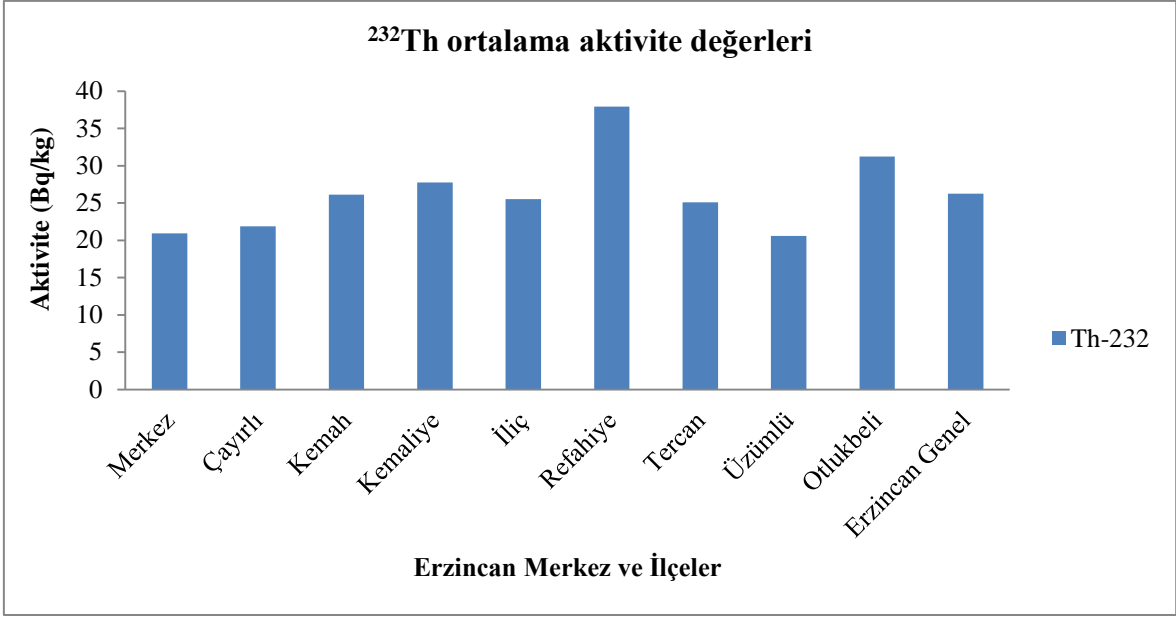
Şekil 33. Erzincan ilinin ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K ortalama aktivite değerleri



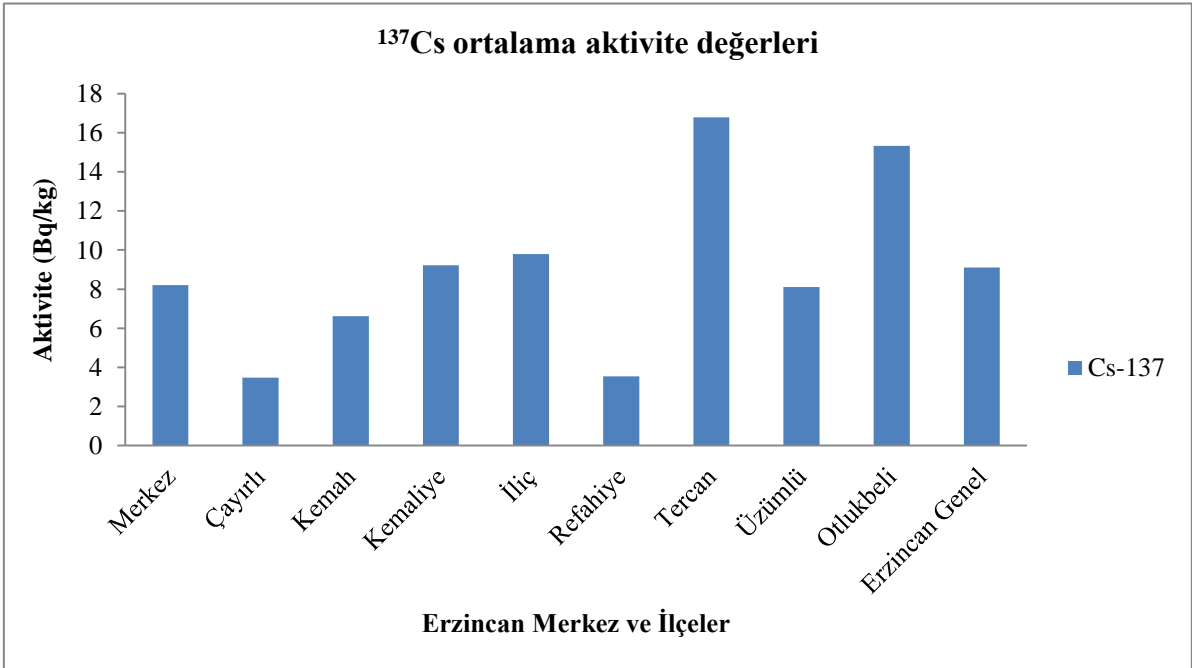
Şekil 34. Erzincan ili merkez ve ilçelerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K ortalama aktivite değerleri



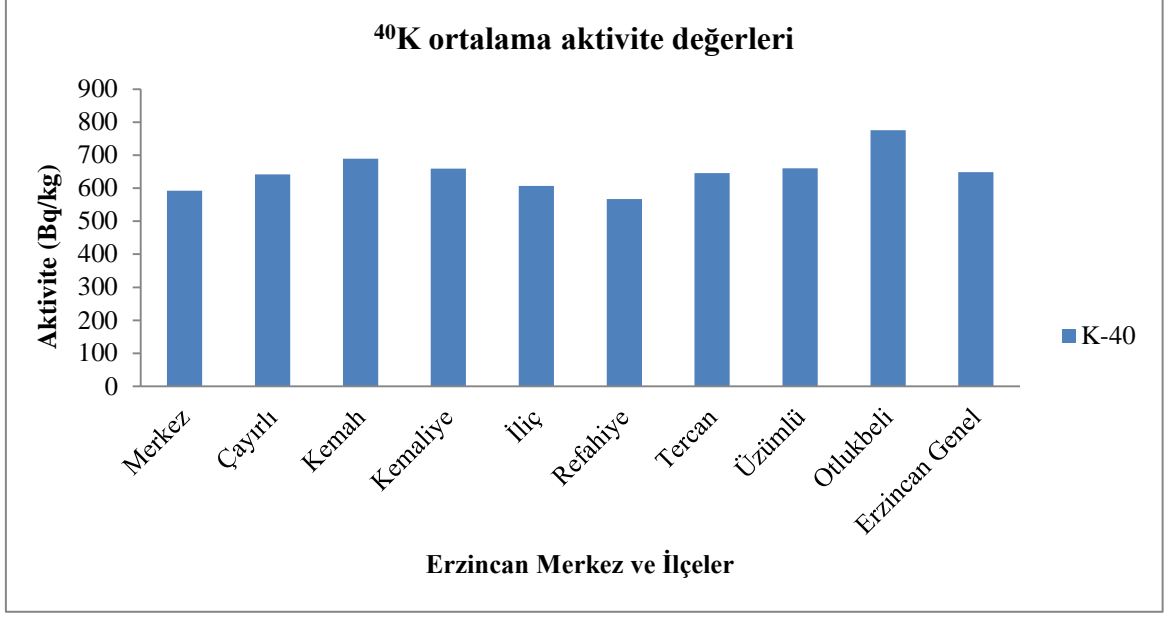
Şekil 35. Erzincan ili merkez ve ilçelerinin ^{226}Ra ortalama aktivite değerleri



Şekil 36. Erzincan ili merkez ve illerinin ^{232}Th ortalama aktivite değerleri



Şekil 37. Erzincan ili merkez ve illerinin ^{137}Cs ortalama aktivite değerleri



Şekil 38. Erzurum ili merkez ve ilelerinin ⁴⁰K ortalama aktivite değerleri

3.2. Doz Hesabı

3.2.1. Erzurum İlinde Radon Konsantrasyonundan Dolayı Maruz Kalınan Doz

İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü ev yada işyerlerinde yani kapalı ortamlarda geçirmektedirler. İnsanların radondan dolayı maruz kaldıkları etkin doz hesabı yapılırken bu önemli bir kriter olarak alınır. Kapalı mekanlarda radon konsantrasyonundan dolayı insanların maruz kaldıkları doz hesabı yapılırken Denk. 41 kullanılmıştır. (UNSCEAR, 2000).

$$\text{Doz} = C * E * F * T * D \text{ (mSv/y)} \quad (41)$$

C = Radon Konsantrasyonu (Bq/m³)

E = Denge Faktörü (Ev için 0,4)

F = İnsanların bina ya da evde kaldıkları zaman (İşgal faktörü) (0,8)

T = Bir yıllık zaman (8760 saat/yıl)

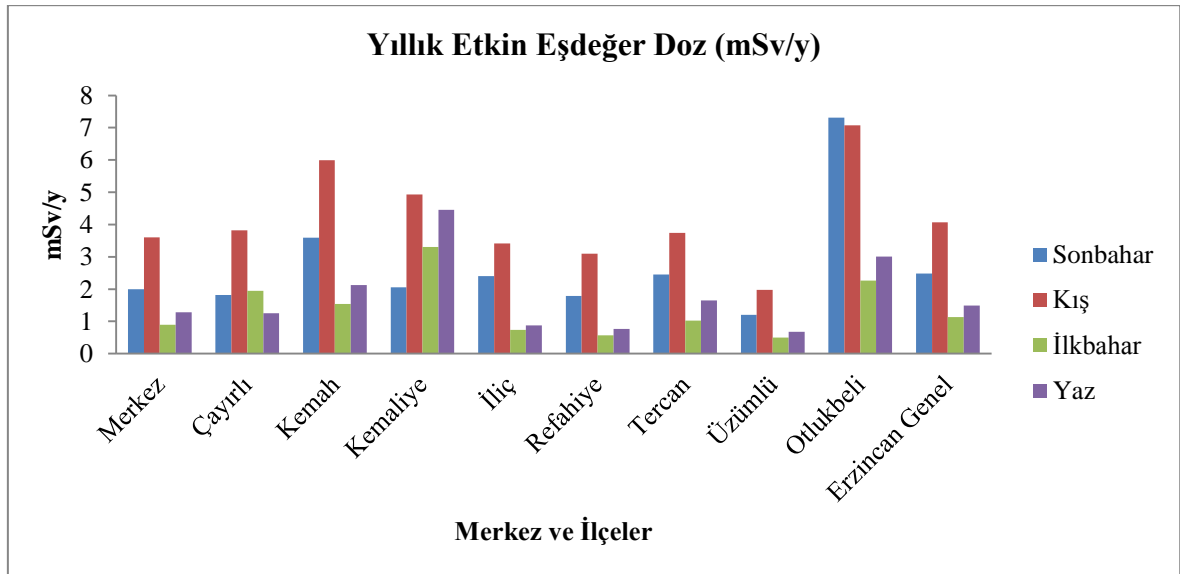
D = Doz dönüşüm faktörü [9.10⁻⁶ mSv (Bq.m⁻³.h)⁻¹]

İnsanlar zamanlarının ortalama %80' ini evlerde geçirdiğinden dolayı F işgal faktörü 0,8 kullanılmaktadır.

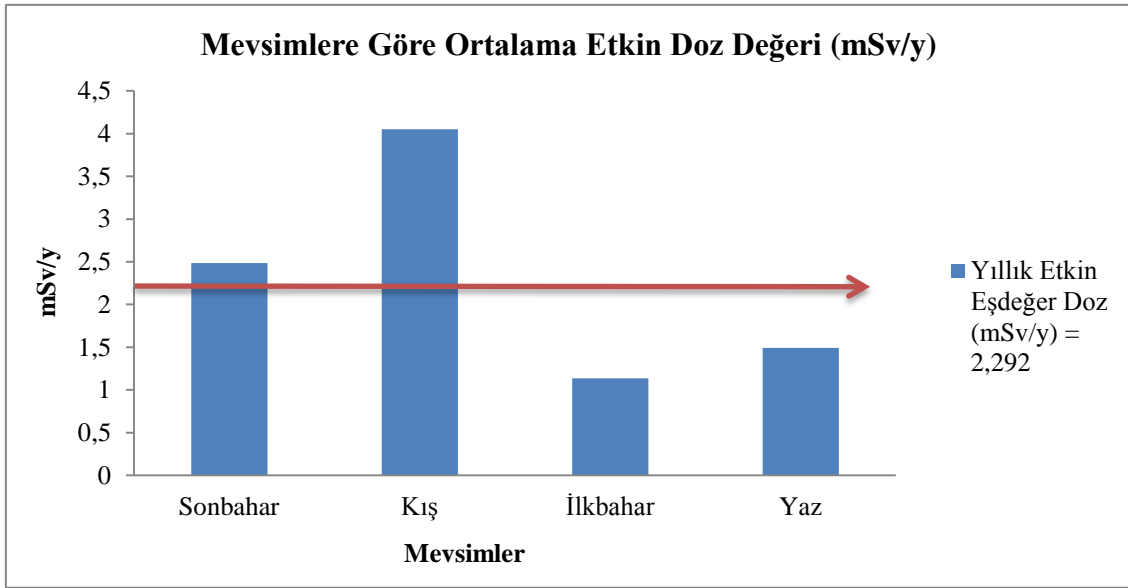
Tablo 12'de Erzincan ili merkez ve ilçelerinin sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinin yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmektedir. Burada mevsimler arasındaki eşdeğer doz değerlerindeki farklılıkları göstermek için mevsimlerdeki etkin doz değerleri ayrı ayrı belirtilmiştir.

Tablo 12. Radondan Dolayı Maruz Kalınan Etkin Doz

ERZİNCAN	Yıllık Etkin Ortalama Eşdeğer Doz (mSv/y)			
	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Merkez	2,00 ± 1,89	3,60 ± 3,2	0,89 ± 0,8	1,28 ± 1,14
Çayırlı	1,81 ± 0,81	3,82 ± 2,13	1,95 ± 2,6	1,25 ± 0,62
Kemah	3,60 ± 2,49	5,99 ± 4,22	1,54 ± 1,08	2,12 ± 1,47
Kemaliye	2,05 ± 0,29	4,93 ± 1,73	3,30 ± 3,1	4,45 ± 4,13
İliç	2,41 ± 2,33	3,42 ± 2,32	0,73 ± 0,5	0,87 ± 0,6
Refahiye	1,79 ± 0,4	3,09 ± 0,73	0,57 ± 0,13	0,77 ± 0,18
Tercan	2,45 ± 2,06	3,74 ± 3,36	1,02 ± 0,86	1,65 ± 1,44
Üzümlü	1,21 ± 0,47	1,98 ± 0,75	0,49 ± 0,19	0,68 ± 0,26
Otlukbeli	7,32 ± 7,17	7,08 ± 0,99	2,26 ± 0,43	3,01 ± 0,63
Erzincan Genel	2,48 ± 2,43	4,07 ± 3,19	1,13 ± 1,13	1,49 ± 1,34
Yıllık Dört Mevsim Ort Doz	2,29 ± 1,82			



Şekil 39. Erzincan ilinde radondan dolayı mevsimlere göre il merkez ve ilçelerde maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğeri



Şekil 40. Erzincan ilinde radondan dolayı mevsimlere göre ortalama etkin doz değerleri

3.2.2. Erzincan İlinde Doğal Radyonüklitlerden Dolayı Maruz Kalınan Doz

Doğal radyonüklitlerin havadaki soğurulan doza katkıları topraktaki radyonüklitlerin aktivitelerine bağlı olmaktadır. Topraktan gelen doğal radyonüklitler dıştan ve içten ışınlanarak insanların, radyasyona maruz kalmalarına neden olan en büyük etkenlerden biridir (Li vd., 1992). Karasal gama radyasyonu ile topraktaki radyonüklit aktivitesi arasında doğrudan bir bağıntı bulunmaktadır (Yeşilbağ, 2008). Çevresel temel seviye radyasyon ölçümleri, toprakta bulunan radyonüklitlerin konsantrasyonlarına bağlı olarak bölgesel farklılıklar göstermektedir (Karahana,1997). Eğer topraktaki radyonüklitlerin aktivitesi biliniyorsa, yerden 1 metre yüksekteki havada soğurulan doz hızı hesaplanabilmektedir. Karasal gama radyasyonunun havadaki doza soğurulan katkısını bulmak için denklem (42) kullanılmıştır. (UNSCEAR, 2000)

$$D \text{ (nGyh}^{-1}\text{)} = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.0417C_K \quad (42)$$

Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE), insanın farklı radyasyon kaynaklarından yayımlanan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kalmak suretiyle, gerekse yediği içtiği gıdalar

veya teneffüs ettiği havada bulunan değişik radyonüklitlerden yayınlanan ışınlarla içerden maruz kalmak suretiyle bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak ifade edilir. (Yeşilbağ, 2008). Doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak için denk. (43) kullanılmıştır (UNSCEAR, 2000).

Yıllık etkin doz eşdeğeri;

$$(YEDE) (\mu\text{Sv}/\text{yıl}) = D * 8760 * 0,7 * 0,2 / 1000 \quad (43)$$

$D (\text{nGy/h}^{-1}) =$ Soğurulan anlık doz

0,7 Sv/Gy = Çevresel gama ışınlamaları için doz dönüşüm faktörü

0,2 = Ev dışında geçirilen zaman için (günün %20'si)

8760 = Bir yıllık geçen zaman (saat)

1000 = mili – mikro katsayı farkı

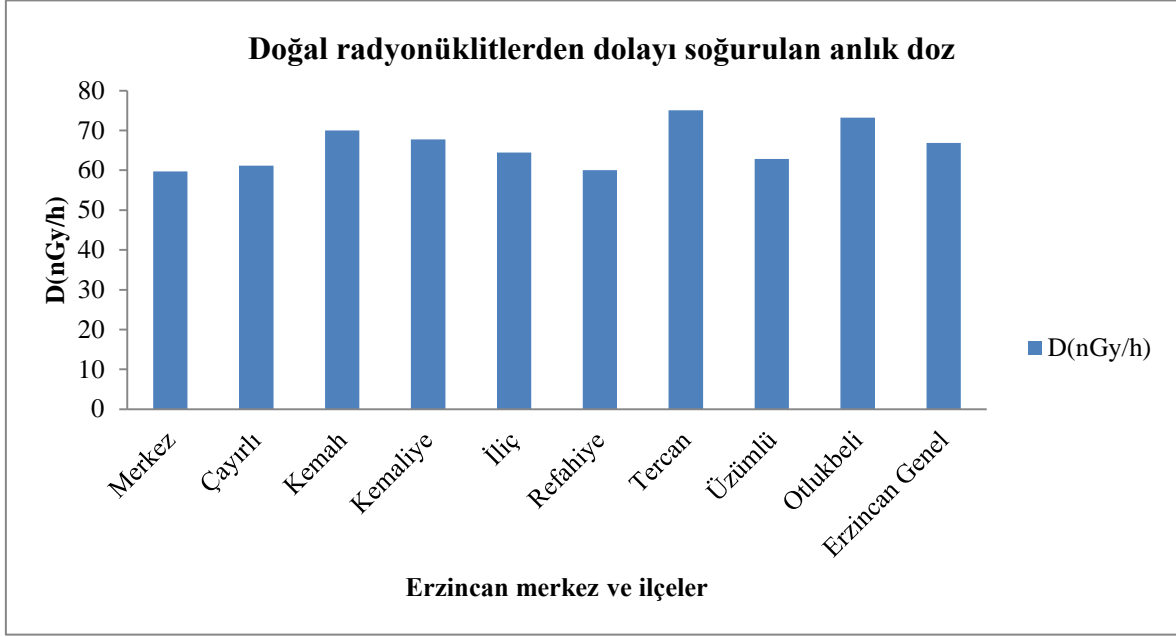
Tablo 13'te Erzincan merkez ve ilçelerden alınan toprak örneklerindeki doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz ve yıllık etkin doz değerleri verilmektedir. Erzincan için hesaplanan bu değerlerin ortalaması sırasıyla 66,89 nGy/h ve 82,28 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ olarak bulunmuştur. Soğurulan doz değeri ve yıllık etkin doz değeri açısından en yüksek değer 75,09 nGy/h ve 92,27 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ ile Tercan, en düşük değer ise 59,75 nGy/h ve 73,43 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ ile Merkez'de gözlenmiştir.

Tablo 13. Doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz hızı ve yıllık etkin doz değerleri

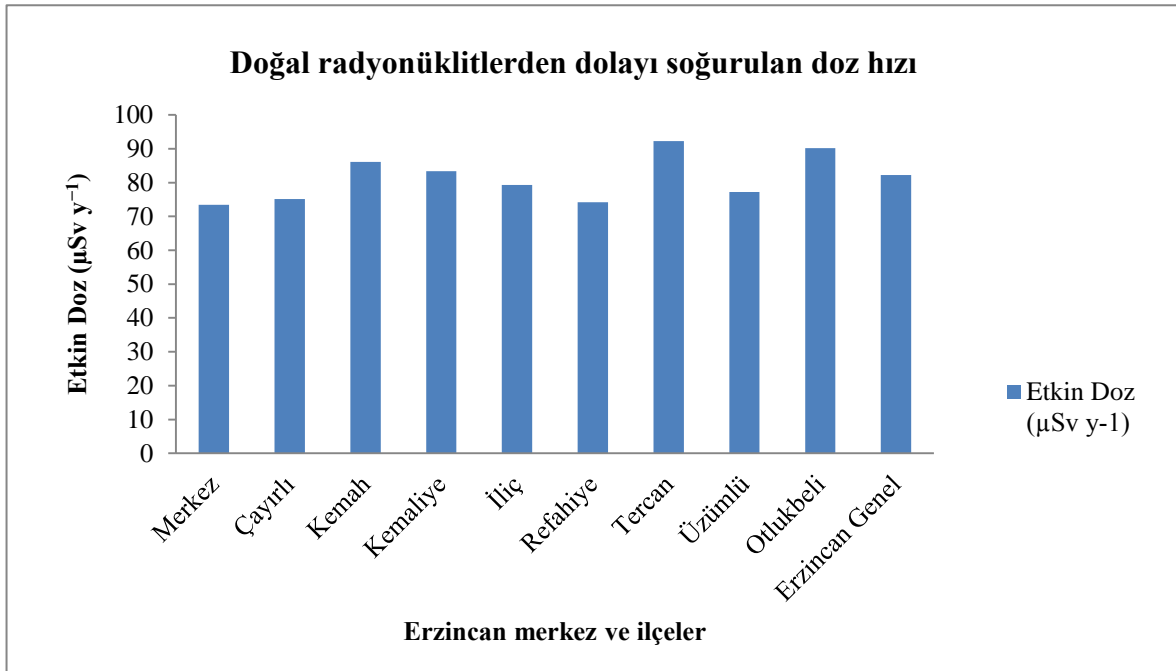
	D(nGy/h)	Ort \pmSD	Etkin Doz ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)	Ort \pmSD
Merkez	59,75	59,75 \pm 1,76	73,43	73,43 \pm 2,19
Çayırılı	61,15	61,15 \pm 7,57	75,16	75,16 \pm 9,28
Kemah	70,02	70,02 \pm 9,11	86,09	86,09 \pm 11,14
Kemaliye	67,78	67,78 \pm 15,81	83,41	83,41 \pm 19,57
İliç	64,49	64,49 \pm 13,47	79,34	79,34 \pm 16,61
Refahiye	60,05	60,05 \pm 10,85	74,24	74,24 \pm 13,30
Tercan	75,09	75,09 \pm 16,19	92,27	92,27 \pm 19,79
Üzümlü	62,87	62,87 \pm 1,40	77,21	77,21 \pm 1,85

Otlukbeli	73,25	73,25 ± 1,13	90,16	90,16 ± 1,42
Erzincan Genel	66,89	66,89 ± 11,37	82,28	82,28 ± 13,98

Şekil 41 ve 42’de Erzincan ili merkez ve ilçelere göre doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmektedir.



Şekil 41. Erzincan ilinde Doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz hızı



Şekil 42. Erzincan ilinde Doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan yıllık etkin doz eşdeğeri

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Erzincan evlerinde radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi ve bu evlerin çevrelerindeki topraklarda doğal ve yapay radyonüklitlerin (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K) aktiviteleri belirlenmiş ve insanların yıllık ortalama hem radondan hem de topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kaldıkları etkin doz değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular Türkiye ve Dünya'nın çeşitli yerlerinde yapılmış diğer çalışmalarla karşılaştırılarak, uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen seviyelerde olup olmadığı değerlendirilmiştir. Tablo 14 ve tablo 15 te Dünya'nın ve Türkiye'nin çeşitli yerlerinde yapılan çalışmalar gösterilmiştir.

Tablo 14. Bazı ülkelerdeki radon konsantrasyonu

	Ülkeler	Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)	Referans
Dünya	Meksiko	145	Marina vd. (2001)
	Yunanistan (Patras)	38	Papaefthymio vd. (2003)
	Hindistan (HimaehalPradesh)	123	Singh vd. (2002)
	Suudi Arabistan (Yemen)	42	Khayrat vd. (2003)
	Macaristan	58	Hamori vd. (2006)
	Sırbistan (NiskaBanja)	650	Zunic vd., (2006)
	Suudi Arabistan (Riyad)	18	Ferdoas S.Al-Saleh (2007)
	Pakistan	72	Rahman vd. (2007)
	İspanya (Bareelona)	68,5	Gutierrez vd. (1992)
	İspanya (Madrid)	40,5	Gutierrez vd. (1992)
	Hindistan (Nurpur bölgesi)	168-429	Singh vd. (2004)

Meksika (Zacatecas)	67	Quirino vd. (2006)
Türkiye	52	TAEK

Tablo 15. Türkiye'de bazı şehirlerdeki radon konsantrasyonu

	İller	Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)	Referans
Türkiye	İstanbul	50	Koksal vd. (1993)
	Erzurum	85	Çelebi ve Alkan (1997)
	Şanlıurfa	68	Çelebi ve Alkan (1997)
	Çanakkale	160	Çelebi ve A İkan (1997)
	Elazığ	47	Selçuk vd (1998)
	Isparta	164	Uluğ vd. (2004)
	Antalya	29	Koksal vd (2004)
	Tekirdağ	87	Yarar vd (2005)
	Manisa	97	Erees vd (2006)
	Kastamonu	98	Kam ve Bozkurt (2007)
	Edirne	49	Bozkurt ve Kam (2007)
	Kars	114	Çelik vd (2008)
	Giresun	130	Çelik vd. (2008)
	Batman	84	Damla vd. (2008)
	Ardahan	173	Yeşilbağ vd.(2008)
	Artvin	132	Yeşilbağ vd.(2008)
	Samsun	106	Özderya vd.(2009)
	Trabzon	113	Kurnaz vd.(2009)
	Şebinkarahisar	158	Kurnaz vd.(2009)
Erzincan	91	Çalışılan	

Araştırma sonucunda Erzincan'da merkez ve 8 ilçeye her mevsim 84 tane CR-39 radon dedektörleri dağıtılarak radonun mevsimsel değişimi incelenmiştir. Sonbahar, kış,

İlkbahar ve yaz dönemlerinin ortalama radon konsantrasyonu sırasıyla 98,51 Bq/m³, 161,61 Bq/m³, 44,85 Bq/m³, 59,03 Bq/m³ olarak tespit edilmiştir. Yıllık ortalama radon konsantrasyonu ise 91 Bq/m³ bulunmuş ve bu değere karşılık gelen yıllık etkin doz değeri ise 2,29 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Bu değer Türkiye genelinde yetişkinlerin yaşam boyu alacakları en yüksek doz değeri ortalaması olarak hesaplanan 4.49 mSv 'ın (TAEK 7, 2006: 52) ve ICRP'nin belirlediği yıllık etkin doz değeri 5 mSv'in altındadır. 1986 yılında yürürlükte olan ICRP'nin 26 sayılı raporunda halk için izin verilen yıllık doz sınırı normal koşullarda 5 mSv idi. ICRP'nin 1990 yılında hazırlanan 60 sayılı raporunda doz sınırları düşürülerek halk için ardışık beş yılın ortalaması 1 mSv olacak şekilde belirlenmiş, özel durumlarda tek yıllık dozun 5 mSv'e kadar çıkabileceği belirtilmiştir (TAEK- Türkiye İçin Doz Değerlendirmeleri).

Minimum radon konsantrasyonu değeri ilkbahar mevsiminde, maksimum radon konsantrasyonu ise kış mevsiminde gözlenmiştir. İlkbahar ve yaz mevsimlerinin değerleri birbirine çok yakın çıkmış, mevsimler arasındaki radon konsantrasyonu değişiminin daha iyi gözlemlenebilmesi için istatistiksel analiz uygulanmış burada da en iyi ilişki 0,8465 ile ilkbahar-yaz mevsimleri arasında görülmüştür. Buna göre, elde edilen bu sonuç bu aylardaki radon konsantrasyonu değerlerinin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Ayrıca merkez ve ilçelerdeki değişimine bakıldığında her bir ilçe kendi içinde normal dağılım oluşturmuş ve minimum değerler ilkbahar ve yaz mevsiminde, maksimum değerler ise kış mevsiminde bulunmuştur.

Erzincan, çevre illere göre daha uzun ve sıcak yaz mevsimi yaşamaktadır. Kış mevsiminde doğudan gelen Sibiryaya kaynaklı hava kütlelerinin tesirinde kaldığı için oldukça sert kış günleri yaşanmaktadır. (URL-3). Yaz mevsiminin uzun sürmesi ve ilkbahardan itibaren havaların ılıman geçmesinden dolayı buna karşılık kış mevsiminin oldukça sert geçmesi ilkbahar ve yaz mevsimlerinde radon konsantrasyon değerlerinin düşük çıkmasına ve kış mevsiminde ise bunun tam tersi olarak oldukça yüksek çıkmasını açıklamaktadır. Oldukça sert geçen kış günlerinde insanlar evlerinin kapı ve pencerelerini açıp yeterince havalandırma yapamadığından, buna karşılık ilkbahar ve yaz mevsiminde ise evlerin havalandırılması daha iyi yapıldığından yaz ve kış mevsimleri arasındaki radon konsantrasyon farkı daha fazla olmaktadır. Erzincan il ve ilçelerinin nüfus yoğunluğu dikkate alınarak dedektörlerin homojen olarak dağıtılması noktasında hassasiyet gösterilmiş, dağıtım esnasında ev sakinleriyle anketler yapılmış ve evlerin tipi, evin yapıldığı yıl, evlerde kullanılan yapı malzemeleri, pencerelerin durumu, evlerin

havalandırılması, ısınma sistemi, evde sigara içilip içilmediği gibi bir çok konuda sorular sorulmuş ve bu anket sonuçları elde edilen radon konsantrasyon değerleriyle karşılaştırılmıştır. Anket sonuçları Tablo 16'da verilmektedir.

Tablo 16. Evlerin Karakteristik Yapısı ve Anket Değerlendirme Sonuçları

Evlerin Karakteristik Yapısı		Ev Sayısı (n)		Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)					
		n	%	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Ort	
Daire	Birinci veya daha üst kat	53	71,6	85,88	146,25	35,81	51,04	79,74	
	Zemin Kat	21	28,4	110,69	182,77	57,12	64,53	103,78	
Binanın Yapılma Tarihi	<1945	3	4,05	140,46	239,10	59,63	82,34	130,38	
	1950-1969	6	8,11	121,54	202,85	50,58	69,58	111,14	
	1970-1979	19	25,7	89,89	150,05	49,81	57,74	86,87	
	1980-1989	5	6,76	88,28	157,05	39,16	55,56	85,01	
	1990>	41	55,4	87,22	146,80	35,93	49,29	79,81	
Evde Kullanılan Yapı Malzemeleri	Tabanda Kullanılan Malzemeler	Beton	55	74,3	83,28	139,75	39,08	50,20	78,07
		Ahşap	19	25,7	120,83	205,42	49,92	68,40	111,14
	Tavanda Kullanılan Malzemeler	Beton	55	74,3	87,56	148,77	40,29	51,99	82,15
		Ahşap	18	24,3	103,25	170,64	44,34	60,34	94,64
		Diğer	1	1,35	201,93	335,43	83,64	114,97	183,99
	Duvarlarda Kullanılan Malzeme	Beton	39	52,7	76,40	134,89	33,95	49,68	73,73
		Tuğla	19	25,7	111,89	184,60	53,31	56,99	101,70
		Ahşap	6	8,11	75,13	126,55	31,56	45,58	69,70
		Taş	7	9,46	126,54	204,05	50,88	68,17	112,41
		Diğer	3	4,05	144,66	211,15	71,70	96,49	131,00
Pencere-lerin Durumu	Tek camlı	31	41,9	84,69	137,53	35,34	48,45	76,50	
	Çift camlı	42	56,8	95,56	164,98	45,32	57,68	90,88	
Isıtma Sistemi	Merkezi Isıtma Sistemi (Kalorifer)	42	56,8	80,92	139,49	34,97	50,19	76,39	
	Kömür Sobası	27	36,5	114,23	183,04	53,04	60,75	102,76	

Diğer	5	6,76	78,58	157,76	39,34	62,49	84,54
-------	---	------	-------	--------	-------	-------	-------

Yapılan ankette evlerin çoğunun 1990 yılından sonra yapıldığı bununla birlikte konutların yapılma tarihleri açısından geriye doğru gidildikçe radon konsantrasyon değerlerinde artma gözlemlendiği, ekseriyet itibariyle evlerin zemininde beton, duvarlarında ise tuğla ve beton kullanıldığı, betonarme yapılan binalarda gözlenen radon değerlerinin taştan yapılmış evlere göre daha az olduğu, kıyaslama yapılmak istendiğinde ise duvar yapısı özelliğine göre azdan çoğa doğru radon konsantrasyonu değerleri ahşap evler, tuğla ve beton evler ve taş evler şeklinde sıralandığı ($69,70 \text{ Bq/m}^3$ - $73,73 \text{ Bq/m}^3$ - $101,70 \text{ Bq/m}^3$), özellikle merkezde pencerelerin yarıya yakının çift camlı ve ısı yalıtımının iyi olduğu, pencerelerdeki ısı yalıtımı iyi olan evlerin zayıf olanlara nazaran daha çok radon konsantrasyonuna maruz kaldığı ($90,88 \text{ Bq/m}^3$ - $76,50 \text{ Bq/m}^3$), %56 oranında merkezi ısıtma sisteminin (kalfifer) kullanıldığı geri kalanların kömür sobasıyla ısındıkları ancak soba ile ısıtılan evlerde merkezi ısıtma sistemi (kalfifer) ile ısıtılan evlere göre daha yüksek radon değerlerinin gözlemlendiği ($102,764 \text{ Bq/m}^3$ - $76,392 \text{ Bq/m}^3$) ayrıca % 99 oranında evlerini doğal yollardan havalandırdıkları, havalandırması iyi olan evlerin zayıf olan evlere göre daha az radona maruz kaldığı tespit edilmiştir. Kıyaslama yapılabilmesi için seçilen evlerin birbirine yakın oranlarda apartman dairesi ve müstakil ev olmasına dikkat edilmiş (% 54 apartman, % 46 müstakil ev) ayrıca bu evlerin bodrumlu olanları ile zeminin üzerinde olanların arasındaki radon konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Birinci ve daha üst katlarda oturanların zemin katlarda oturanlara göre daha az radon konsantrasyonuna maruz kaldığı ($79,74 \text{ Bq/m}^3$ - $103,78 \text{ Bq/m}^3$) tespit edilmiştir. Müstakil evlerdeki radon konsantrasyonu değeri apartman tipi evlere göre yüksek çıkmıştır. Müstakil tipi evlerin zemin katlarının toprağa yakın olması radon konsantrasyonunu etkilemektedir. Radon konsantrasyonunun en yüksek çıktığı evler incelendiğinde çoğunun 1990 yılından önce yapıldığı, evlerin müstakil ve bodrumsuz olduğu, duvarlarının kerpiçten yada taştan olduğu gözlemlenmiştir. Kömür sobası kullanan evlerin kalfifer kullanan evlere göre radon konsantrasyon değerleri daha yüksek çıkmasının nedeni kömür içinde de belirli oranlarda ^{226}Ra radyoizotopunun bulunması (URL-4) ve soba yakılan odalarda ısı kaybının olmaması için yeterince havalandırılma yapılmaması düşünülmektedir.

Erzincan ili ve ilçelerinden alınan toprak numunelerindeki ortalama ^{226}Ra aktivitesi $51,90 \pm 16,89 \text{ Bq/kg}$, ^{232}Th için $26,24 \pm 6,64 \text{ Bq/kg}$, ^{137}Cs için $9,10 \pm 7,42 \text{ Bq/kg}$ ve ^{40}K

için $648,96 \pm 92,43$ olarak hesaplanmıştır. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K için en yüksek ve en düşük aktivite değerleri sırasıyla; 99,25-17,09 Bq/kg, 44,90-11,98 Bq/kg, 28,79-1,71 Bq/kg ve 855,72-494,71 Bq/kg olarak gözlenmiştir. Dünya'nın değişik bölgelerinde ölçülen topraktaki radyonüklit değerleri ve dünya ortalamaları Tablo 17'de (UNSCEAR 2000), Türkiye'nin bazı illerinde ölçülen radyonüklit değerleri Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 17. Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen topraktaki radyonüklit değerleri

Ülke Adı	Topraktaki Konsantrasyon (Bq/kg)		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Cezayir	50	25	370
Mısır	17	18	320
Kostarika	46	11	140
U.S.A.	40	35	370
Çin	32	41	440
Hong Kong	59	95	530
Hindistan	29	64	400
Japonya	33	28	310
Kazakistan	35	60	300
Malezya	67	82	310
Tayland	48	51	230
Ermenistan	51	30	360
Suriye	20	20	270
İsviçre	40	25	370
Bulgaristan	45	30	400
Macaristan	33	28	370
Polonya	26	21	410
Romanya	32	38	490
Rusya	27	30	520
Slovakya	32	38	520
Hırvatistan	54	45	490
Yunanistan	25	21	360
Portekiz	44	51	840
Norveç	50	45	850
İrlanda	60	26	350

Ortalamalar	35	30	400
Erzincan	52	26	649

Tablo 18. Türkiye'nin değişik bölgelerinde ölçülen topraktaki radyonüklit değerleri

İller	Topraktaki Konsantrasyon (Bq/kg)			
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K	Referans
Adana	18	21	298	Değerlier vd. (2008)
Gaziantep	25	24	289	Osmanlıoğlu vd. (2007)
Şanlıurfa	21	25	299	Bozkurt vd. (2007)
Kastamonu	33	27	431	Kam ve Bozkurt (2007)
Manisa	29	27	340	Erees vd. (2006)
İstanbul	21	37	342	Karahan ve Bayülken (2000)
Tekirdağ	29	39	579	Yarar ve Kam (2005)
Kırklareli	28	40	667	Taşkın vd. (2009)
Balıkesir	38	55	675	Kapdan vd. (2012)
Çanakkale	94	110	1273	Kam vd. (2009)
Dünya ortalaması	35	30	400	UNSCEAR (2000)

Erzincan merkez ve ilçelerindeki toprak numunelerindeki ²²⁶Ra, ²³²Th, ¹³⁷Cs ve ⁴⁰K radyonüklitleri için belirlenmiş olan ortalama aktivite konsantrasyon değerlerinin, UNSCEAR 2000 raporunda yayımlanan ²²⁶Ra için 35 Bq/kg ve ²³²Th için 30 Bq/kg, ⁴⁰K için 400 Bq/kg olan dünyadaki ortalama değerinden ²³²Th hariç daha yüksek olduğu bulunmuştur. ¹³⁷Cs nükleer denemeler veya nükleer santrallerde meydana gelen kazalar sonucu atmosfere atılmaktadır. Havadan gelen radyoaktivitenin önemli bir kısmının toprağa biriktiği bilinmektedir (OECD, 1979). Bilindiği gibi 1986 yılında Rusya'nın Çernobil bölgesinde meydana gelen reaktör kazasıyla, birçok ülke gibi, Türkiye'de Çernobil'den yayılan radyoaktif maddelerin meydana getirdiği kirlilikten etkilenmiştir. Erzincan ili ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinde yaptığımız radyonüklit araştırmamızda ¹³⁷Cs değerinin 1,71 Bq/kg ile 28,79 Bq/kg arasında olduğu saptanmıştır.

Ayrıca havada absorblanan doz oranı ortalaması olarak bulunan $66,89 \pm 11,37$ nGy/h'in ise UNSCEAR 2000 raporunda dünya ortalaması olan 51 ± 16 nGy/h'den biraz yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara göre ^{226}Ra 'nın dünya ortalamasının biraz üzerinde olmasının nedeni, Erzincan ilinin jeolojik yapısıyla mukayese edilmek istenirse; Türkiye'nin uranyum yataklarının çoğu Neojen yaşlı karasal tortul kayalar içerisinde bulunmaktadır. Uranyum içeren (dolayısıyla bozunma ürünü ^{226}Ra) kaynak kayalar ise kıtasal kabuğun erimesi sonucu oluşan ve yüzeye çıkan genç magmatik kayalardır. Çalışma sahasında Uranyum ve dolayısıyla bozunma ürünü olan ^{226}Ra değerinin dünya ortalamasının biraz üzerinde olması ise Erzincan ve çevresinde bulunan ve andezit, bazalt gibi genç volkaniklerin kıtasal kabuğun erimesi sonucu oluştuğunun bir göstergesi olarak düşünülebilir. Bu durumda, genç tortul çökellerinin depolanmasından önce bu magmatik kayaların oluşturduğu bozuşma ürünü olan birimler, genç çökellerin altında uranyum zenginleşmesine sebep olabilirler.

Ölçümlerde, toprak seviyesine yakın veya altında olan evlerde radon aktivitesi daha yüksek olarak tespit edilmiştir. ^{222}Rn 'nin asıl kaynağı uranyum olduğu için, radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir. Erzincan ilinde özellikle ^{238}U 'in bozunma ürünü olan ^{226}Ra 'nın dünya ortalaması üzerinde olması radon konsantrasyonunun artmasının nedenlerinden biri olabilir. Ayrıca evlerin yeterince havalandırılmamış olması da radon konsantrasyonunun bazı evlerde yüksek çıkmasına neden olan bir sebeptir.

Erzincan ilinde 1939 yılında 7,9 şiddetindeki depremde 120000 bina yıkılmış, hasar görmeyen hiçbir bina kalmamış bunun üzerine şehir baştan inşa edilmişti, 1992 yılında da tekrar 6,8 şiddetinde deprem olmuş binaların % 30'u yıkılmış ve çok ciddi hasar görmüştü. Netice olarak 1. Deprem kuşağında bulunan Erzincan'ın binalarının yeni olması, depreme dayanıklı olması, korunaklı yapılması, binaların toprakla ilk temasının sağlandığı noktalar olan bodrum ve kilerlerin iyi yalıtılmış olması gibi nedenlerden ötürü ev içinde maruz kalınan radon konsantrasyon değerlerinin bazı bölgelerde izin verilen seviyenin altında kalmasına neden olmuştur.

Sonuç olarak insanoğlu topraktan gelen radyasyona maruz kalmaktadır. Radon gazı topraktan ev içine bina çatlaklarından, zemindeki boşluklardan ve direnajdan girdiği için bodrum katlarda ve toprakla temas eden zeminlerde daha fazladır.

5. ÖNERİLER

Erzincan ilinde elde edilen radon konsantrasyon değerleri her ne kadar ICRP ve TAEK'in izin verilen değerleri altında çıkmış olsa da, insanlar bilinçlendirilip, özellikle evlerin daha iyi havalandırılması konusunda uyarılar yapılabilir. Yeni inşaatların yapımında radyoaktif içeriği düşük materyallerin kullanılması sağlanabilir. Özellikle kırsal kesimlerde olan yıkılması öncelikli olmayan ve toprakla birebir temas halinde olan yapıların zeminlerinin polietilen örtü ile serilip üzerine çimento dökülmesi, bu evlerde kalan ve yüksek derece radon konsantrasyonuna maruz kalan ev sakinleri açısından daha sağlıklı olacaktır.

Ayrıca topraktaki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivitelerinin belirlenmiş olması ileride doğabilecek herhangi bir Çernobil nükleer kazası benzeri durumunda, radyasyon takibi açısından çok faydalı olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Arya, A. P. (Edit: Şahin, Y.), 1999. "Çekirdek Fiziğinin Esasları", Aktif Yayın, Dağıtım LTD. ŞTL, İstanbul.
- Atakan, Y. 2006. İyonlayıcı Radyasyon Etkileri ve Sağlık Riski, Radyasyon ve Çevre Sempozyumu, Çanakkale.
- Aydın, A. ve Nur, A., 1982. Evolution of Pull Apart Basins and Their Scale Independence, *Tectonics*, 1, 91-105.
- Barka, A., Toksöz, N., Gülen, L. ve Kadinsky-Cade, K., 1988. Segmentation, Seismicity and Earthquake Potential of the Eastern Section of the North Anatolian Fault Zone, *Hacettepe Univ. Earth Sci.*, 14, 337-352.
- BEIR VI, 1999. Health Effects of Exposure to Radon. Committee on Health Risks of Exposure to Radon. Board on Radiation Effects Research (BEIR VI). National Academy Press.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. ve Osmanlıoğlu, A.E., 2007. Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of Southeastern Turkey, *Radiation Measurement*, 42, 1387-1391.
- Bozkurt, A. ve Kam, E., 2007. Indoor Radon Measurement in the City of Edirne, Turkey. Sixth International Conference of the Balkan Physical Union.
- Çelebi, N., 1995. Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelebi, N. ve Alkan, H., 1997. *Radiation Protection Dosimetry*, 69, 227-230.
- Çelik, N., Poffijn, A., Çevik, U. ve Schepens, L., 2008. Indoor Radon Survey in Dwellings of the Kars Province, Turkey *Radiation Protection Dosimetry*, 128, 432-436.

- Çelik, N., Çevik, U., Çelik, A. ve Küçükömeroğlu, B., 2008. Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey. Journal of Environmental Radioactivity, 99, 1349-1354
- Damla, N., Çevik, U., Kobya, A. İ., Ataksor, B., Küçükömeroğlu, B. ve Çelebi, N., 2008. Indoor radon measurement in the province of Batman, Turkey. 25. Uluslararası Fizik Kongresi, Ağustos, Bodrum, Turkey.
- Degerlier, M., Karahan, G. and Ozger, G., 2008. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey, Journal of Environmental Radioactivity, 99, 1018-1025.
- Enflo, A., 2002. Where are the radon-induced lung cancer cases? Is it time for a re-evaluation of the radon problem? International Congress Series, 1236, 23-25.
- Erees ., F. S., Akozcan, S., Parlak, Y. ve Cam, S., 2006. Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). Radiation Measurement, 41, 598-601.
- Ferdoas, S. ve Al-Saleh, 2007. Measurement of indoor gamma radiation and radon concentrations in dwellings of Riyadh city, Saudi Arabia. Applied Radiation and Isotopes, 65, 843-848.
- Gutierrez, J., Baixeras, C., Robles, B., Saez, C. J. ve Font, L., 1992. Indoor Radon Levels and Dose Estimation in Two Major Spanish Cities. Radiation Protection Dosimetry, 45, 495-498.
- Hamori, K., Toth, E., Pal, L., Köteles, G., Losonci, A. ve Minda, M., 2006. Evaluation of indoor radon measurement in Hungary. Journal of Environmental Radioactivity, 88, 189-198.
- IAEA 1996, International Atomic Energy Agency, "Radiation Safety" IAEA Division of Public Information, 96-00725 1AEA/PI/A47E.
- IARC 1988, International Agency for Research on Cancer. In :Man-made mineral fibres and radon. In: IARC Mono-graphs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 43, (Lyon, France: IARC).
- ICRP 1990. The International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60. Recommendations of the International Commission on the Radiological Protection, Pergamon Press Inc., ICRP, USA.
- Igarashi, E.P., Wanty, R.B., Nyberg, P., 1992. Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan. Science, 269, 60-64.
- Kam, E. ve Bozkurt, A., 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. Applied Radiation and Isotopes, 65, 4, 440-444.
- Kam, E., Bozkurt, A. and Ilgar, R., 2009. A study of background radioactivity level for Canakkale, Turkey. Environ. Monit. Assess. 685-690.

- Kapdan, E., Varinlioglu, A. and Karahan, G., 2012. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 148, 3, 301-309.
- Karahan, G., 1997. İstanbul'un Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Karahan, G. and Bayulken, A., 2000. Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey). Journal of Environmental Radioactivity, 47, 213-221.
- Khayrat, A. H., Al-Jarallah, M. I., Fazal-ur Rehman, X. ve Abu-Jarad, F., 2003. Indoor radon survey in dwellings of some regions in Yemen. Radiation Measurement, 36, 449-451.
- Koçyigit, A., 1990. Tectonic Setting of the Gölova Basin Total Offset of the North Anatolian Fault Zone, Eastern Pontide, Turkey, Annales Tecton., 4, 155-170.
- Koksal E. M, Celebi N. ve Ozcinar B, 1993. Indoor ^{222}Rn Concentrations in Istanbul Houses, Health Physics, 65, 87-88.
- Koksal, E. M., Çelebi, N., Ataksor, B., Uluğ, A., Taşdelen, M., Kopuz, G., Akar, B. ve Karabulut, M. T., 2004. A survey of ^{222}Rn concentrations in dwellings of Turkey , Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 259, 213-216.
- Krane, S. K. (Edit: Şarer, B.), 2001. Nükleer Fizik 1. Cilt Ders Kitabı, Birinci Baskı, Palme Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara.
- Krstic, D., Nikezic, D., Stevanovic, N. ve Vucic, D., 2007. Radioactivity or Some Domestic and Imported Building Materials from South Eastern Europe, Radiation Measurement, 42, 1731-1736.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N. T., Kormaz, F., Karahan, G. ve Çevik, U., 2007. Determination of Radioactivity Levels and Hazards of Soil and sediment samples in Firtına Valley (Rize,Turkey), Applied Radiation and Isotopes, 65, 1281-1289.
- Kurnaz, A., 2009. Trabzon İlinin ve Şebinkarahisar İlçesinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi ve Yıllık Etkin Doz, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Leghrouz, A., Abu-Samreh,M.M.,2007. Radiation Protection Dosimetry, 123(2):226-33
- Li, Y., Schery, D.S. ve Turk, B., 1992. Soil as a Sources of Indoor Radon. Healty Physics, 62, 453-457.
- Majborn, B., 1992. Seasonal Variations of Radon Concentrations in Single-Family Houses with Different Sub-Structures, Radiation Protection Dosimetry, 45, 443-447.

- Marina, F. F., Segovia, N., Ruiz, W., Godinaz, L., Tavera, L., Lopez, A., Chavez, A., Pena, P. ve Ponciano, G., 2001. Short and long term indoor radon survey in Mexico City, Radiation Measurement, 34, 545-548.
- Osmanlıoglu, A. E., Kam, E. and Bozkurt, A., 2007. Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of Southeastern Turkey. Radiat. Prot. Dosim., 24, 4, 407-410.
- Özderya, F., 2009. Samsun İli Ev İçi Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Papaethymiou, H., Mavroudis, A. ve Kritidis, P., 2003. indoor Radon Levels and Influencing Factors in Houses of Patras, Journal of Environmental Radioactivity, 66, 247-260.
- Perkins ve Neilson, 1965. Health Physics Society ,11
- Porstendörfer, J., 1994. Properties and Behavior of Radon and Thoron and Their Decay Products in the Air. Journal of Aerosol Science, 25, 2, 219-263.
- Prasad Shiva, G. N., Nagaiah, N., Ashok, G. V. ve Karunakara, N., 2008. Concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K the soils of Bangalore region, India. Health Physics, 94.
- OECD (1979), Report of a Group of Expert, Nuclear Energy, No.48761, p.35
- Quirino, L. L., Soriano, J. M., Mireles, F., Davila, J. I., Lopez, H., Pinedo, J.L. ve Rios, C., 2006. Indoor ^{222}Rn survey in Zacatecas State, Mexico. Applied Radiation and Isotopes, 65, 371-374.
- Rahman, S., Mati, N., Matiullah. ve Ghauri, B. M., 2007. Seasonal indoor radon concentration in the Nort West Frontier Province and federally administered tribal areas-Pakistan. Radiation Measurements, 42, 1715-1722.
- Selçuk, A. B., Yavuz, H., Köksal, E. M. ve Özçınar, B., 1998. Radon concentration in Elazığ houses and factories. Radiation Protection Dosimetry, 77, 211-212.
- Singh, S., Kumar, A. ve Singh, B., 2002. Radon level in dwellings and its correlation with uranium and radium content in some areas of Himachal Pradesh India. Environmental International, 28, 97-101.
- Singh, S., Sharma, D. K. ve Kumar, A., 2004. Environmental radon studies using solid state nuclear track dedectors, Journal of Environmental Radioactivity, 76, 369-376.
- Sroor, A., El-Bahi, S.M., Ahmed, F. ve Abdel-Haleem, A. S., 2001. Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. Applied Radiation and Isotopes, 55, 873-879.

Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evaluation of Turkey: a Plate Tectonic Approach, Tectonophysics, **75**, 181-241.

Taek 2002 (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu), Radyasyon ve Biz, Ankara.

Taek 2007 (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu), Türkiye İçin Doz Değerlendirmeleri, Çernobil Serisi No:7, ISBN 975-8898-19-1

Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S. and Karahan, G., 2009. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. J. Environ. Radioact., 100, 49-53.

Tüysüz, O., 1990. Tetisid Orojenik Mozayiginin Bir Kesiminin Tektonik Evrimi: Kuzey Türkiye. Tectonics, 9, 141-160.

Tzortzis, M. ve Tsertos, H., 2004. Determination of Thorium, Uranium and Potassium Elemental Concentrations in Surface Soils in Cyprus, Journal of Environmental Radioactivity.77,325-338.

Tzortzis, M., Soukis, E. ve Tsertos, H., 2004. A comprehensive study of natural gamma radioactivity levels and associated dose rates from surface soils in Cyprus. Radiation Protection Dosimetry. 109, 217-224.

Uluğ, A., Karabulut, M., ve Çelebi, N., 2004. Radon Measurement with CR-39 Track Detectors at specific Locations in Turkey. Nuclear Technology and Radiation Protection, 19,46-49.

UNSCEAR 1993, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Annex B Exposure from natural radiation sources.

UNSCEAR 1988, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Annex B Exposure from natural radiation sources.

UNSCEAR 2000, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Annex B Exposure from natural radiation sources.

URL-1, <http://physics.isu.edu/radinf/natural.html>, 3 Mart 2008.

URL-2, <http://www.hepaonline.com/radon.php>, 17 Mart 2009.

URL-3, <http://www.erkincan.gov.tr>- Erzincan Valiliği

URL-4, http://www.taek.gov.tr/bilgi/sss/komurde_radyoaktivite.html, 14 Haziran 2008.

WHO (World Health Organization),2002. World Health Report.

Wilkins, B.T., 1980. The Assasement of Radon and Daughters in North Sea Gas used in the United Kingdom. Radiation Protection, 1143-1146.

- Yarar, Y., Gunaydi, T. ve Kam, E., 2005. A radon survey in some regions of Turkey. International Congress Series 1276, 385.
- Yarar, Y. and Kam, E., 2005. Environmental radioactivity concentrations of Tekirdag. International Congress Series 1276, 387-389.
- Yeşilbağ, Y.Ö., 2008. Artvin ve Ardahan İlleri Ev İçi Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Zunic, Z. S., Yarmoshenke, I. V., Birovljev., A., Bochicchio, F., Obryk, B., Paszkowski, M., Celikovic, I., Demajo, A., Ujic, P., Budzanowski, M., Olko, P., Mclaughlin, J. P. ve Waligorski, M. P. R., 2006. Radon survey in the high natural radiation region of Niska Banja, Serbia. Journal of Environmental Radioactivity. 92, 165-174.

ÖZGEÇMİŞ

20.03.1978 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğretimini İstanbul'da tamamladı. 1996 yılında Trabzon Karadeniz Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2000 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. İngilizce hazırlık eğitiminden sonra askere gitti ve askerliğin akabinde milli eğitime atandı. Milli eğitimde görev yapmakta iken 2008 yılında tekrar yüksek lisansa başladı. Halen milli eğitimde Bayburt Anadolu Öğretmen Lisesi'nde Fizik Öğretmeni olarak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babası olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.