

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

ARTVİN VE ARDAHAN İLLERİ EV İÇİ RADON KONSANTRASYONU VE
ÇEVRESİNDEKİ TOPRAKLARDA RADYOAKTİVİTENİN TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yaşar Özkan YEŞİLBAĞ

KASIM 2008

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**ARTVİN VE ARDAHAN İLLERİ EV İÇİ RADON KONSANTRASYONU VE
ÇEVRESİNDEKİ TOPRAKLARDA RADYOAKTİVİTENİN TAYİNİ**

Yaşar Özkan YEŞİLBAĞ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Yüksek Lisans (Fizik)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 03.11.2008
Tezin Savunma Tarihi : 28.11.2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU
Jüri Üyesi : Doç. Dr. A. Hakan YILMAZ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Cüneyt ŞEN**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Artvin ve Ardahan İlleri Ev İçi Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi için yapılan bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlandı.

Yüksek Lisans Tez çalışmam boyunca karşılaştığım zorlukların aşılmasında bana yol gösteren, her türlü destek ve imkanı sağlayan, ayrıca değerli bilgilerinden yararlandığım, saygı değer danışman hocam Prof Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU'na en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği laboratuvarında ki çalışmalarım da ilgilerini ve desteklerini esirgemeyen K.T.Ü. Fizik Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA'ya, yardımlarından dolayı Prof. Dr. Uğur ÇEVİK'e, Jeoloji Mühendisliği Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Cüneyt ŞEN ve Yrd. Doç. Dr. Ali VAN'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Dedektörlerin dağıtılması, toplanmasında benimle birlikte çalışma yapılan bölgelere gelerek bana yardım eden Arş. Gör Aslı KURNAZ'a ve Arş. Gör. Necati ÇELİK'e, ayrıca laboratuvar çalışmalarım da benden yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Nevzat DAMLA'ya ve doktora öğrencisi Ayhan KARA'ya teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan Radon dedektörlerinin analizi ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) de yapıldı. Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi'nde yaptığım çalışmalarda ilgi ve hoşgörülerini esirgemeyen tüm kurum çalışanlarına ve Dr. Nilgün ÇELEBİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım süresince maddi ve manevi destekleriyle daima yanımda bulunan ve bugün bulunduğum yerde olmamda sonsuz katkıları olan aileme şükranlarımı sunuyorum.

Ayrıca bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2007.111.01.4 nolu proje ile desteklenmiş ve arazi çalışmaları sırasında K.T.Ü. Rektörlüğü araba tahsis ederek yardımlarını esirgememiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Yaşar Özkan YEŞİLBAĞ
Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Radyoaktivite.....	6
1.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu	12
1.3.1. Radyoaktif Bir Numunenin Yarı ve Ortalama Ömrü	14
1.3.2. Peş peşe Parçalanma Kanunu	15
1.3.3. Geçici Denge	17
1.3.4. Sürekli Denge	18
1.4. Radyoaktif Bozunma Türleri ve Madde ile Etkileşimleri	18
1.4.1. Alfa Işınması.....	18
1.4.2. Beta Işınması	20
1.4.3. Elektron Yakalama	21
1.4.4. Gama Işınması	22
1.5. Aktivite ve Radyasyon Birimleri.....	22
1.5.1. Aktivite (Becquerel)	22
1.5.2. Işınlama birimi.....	22
1.5.3. Soğurulmuş Doz	23
1.5.4. Eşdeğer Doz (Canlılarda olan etkiyi gösteren ışınım birimi).....	23
1.6. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	25
1.6.1. Kozmik Radyasyon Kaynakları.....	26
1.6.2. Toprakta Bulunan Radyoaktivite.....	27
1.7. Yapay Radyasyon Kaynakları	28
1.8. Radon.....	29

1.8.1.	Havadaki Radon Konsantrasyonu.....	30
1.8.2.	Binalarda Radon Konsantrasyonu	32
1.8.3.	Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi.....	33
1.8.4.	Radon Gazının İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.....	33
1.9.	Artvin ve Ardahan İllerinin Jeolojik Yapısı	33
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	36
2.1.	CR-39 Radon Dedektörü	36
2.1.1.	Detektörlerin Analizi	36
2.1.1.1.	Dedektörlerin Analize Hazırlanışı	37
2.1.1.2.	Bilgisayarda Ölçüm İşlemi	38
2.1.2.	Dedektörlerin Evlere Dağıtımı	39
2.2.	Toprak Numunelerinin Gama Spektroskopik Analizi	39
2.2.1.	Toprak Numunelerin Alınması	39
2.2.2.	Deneyel Sistem.....	39
2.2.2.1.	HPGe Dedektörü.....	39
2.2.2.2.	Enerji Kalibrasyonu	40
2.2.2.3.	Verim Kalibrasyonu.....	42
2.2.3.	Spektrum Analizi	43
2.2.3.1.	Pikleri Belirleme ve Değerlendirme	43
2.2.3.2.	Aktivite Hesabı	45
3.	BULGULAR	46
3.1.	Artvin İli Radyoaktivite Düzeyi	46
3.1.1.	Radon Konsantrasyonu	46
3.1.1.1.	Yaz Dönemi	47
3.1.1.2.	Sonbahar Dönemi	48
3.1.1.3.	Kış Dönemi	48
3.1.1.4.	İlkbahar Dönemi	49
3.1.1.5.	Radon Konsantrasyonunun Yıllık Ortalama Değişimi	50
3.1.1.6.	Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi.....	50
3.1.1.7.	Radon Konsantrasyonunun Merkez ve İlçelere göre Mevsimsel Değişimi.....	52
3.1.2.	Gama Spektroskopik Analiz Sonuçları.....	52
3.2.	Ardahan İli Radyoaktivite Düzeyi.....	56
3.2.1.	Radon Konsantrasyonu	56
3.2.1.1.	Yaz Dönemi	57

3.2.1.2.	Sonbahar Dönemi	57
3.2.1.3.	Kış Dönemi	58
3.2.1.4.	İlkbahar Dönemi	59
3.2.1.5.	Radon Konsantrasyonunun Yıllık Ortalama Değişimi	59
3.2.1.6.	Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi	60
3.2.1.7.	Radon Konsantrasyonunun Merkez ve İlçelere göre Mevsimsel Değişimi	61
3.2.2.	Gama Spektroskopik Analiz Sonuçları	62
3.3.	Artvin ve Ardahan İllerinin Radon Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması	66
3.4.	Artvin ve Ardahan İllerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K Aktivite Değerlerinin Karşılaştırılması	67
3.5.	Doz Hesabı	68
3.5.1.	Artvin İlinde Radon Konsantrasyonundan Dolayı Maruz Kalınan Doz	68
3.5.2.	Artvin İlinde Doğal Radyonüklitlerden Dolayı Maruz Kalınan Doz	69
3.5.3.	Ardahan İlinde Radon Konsantrasyonundan Dolayı Maruz Kalınan Doz	72
3.5.4.	Ardahan İlinde Doğal Radyonüklitlerden Dolayı Maruz Kalınan Doz	73
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	75
5.	ÖNERİLER	81
6.	KAYNAKLAR	82
7.	EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Bu çalışma, Artvin ve Ardahan illeri ev içi radon konsantrasyonunu ve çevresindeki topraklarda radyoaktivite değerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Artvin ve Ardahan ilinde CR-39 SSNTD nükleer iz dedektörleri kullanılarak ev içi radon çalışması yapılmıştır. Radon ölçümleri her mevsim Artvin ilinde 73 eve, Ardahan ilinde ise 48 eve, mümkün olduğu kadar homojen bir şekilde dağıtım yapılarak gerçekleştirilmiştir. Radon konsantrasyonları, Artvin ilinde 21 Bq/m³ ile 321 Bq/m³ arasında olup yıllık ortalama konsantrasyonu 132 Bq/m³, Ardahan ilinde 53 Bq/m³ ile 736 Bq/m³ arasında olup yıllık ortalama konsantrasyonu 173 Bq/m³ olarak değişmektedir. Radon konsantrasyonu her iki ilde de kış dönemi yüksek, yaz dönemi ise düşük çıkmıştır. Radon'un solunumdan dolayı insanların maruz kaldığı yıllık ortalama etkin doz değeri Artvin için 3,32 mSv/yıl, Ardahan için 4,36 mSv/yıl olarak tespit edilmiştir. ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs ortalama aktiviteleri sırasıyla Artvin ilinde 22,36 Bq/kg, 20,08 Bq/kg, 357,52 Bq/kg, 53,69 Bq/kg, Ardahan ilinde 35,99 Bq/kg, 30,77 Bq/kg, 342,13 Bq/kg ve 10,72 Bq/kg olarak bulunmuştur. Doğal radyonüklitlerden dolayı yıllık ortalama dış gama radyasyon doz eşdeğeri Artvin ilinde 48,02 μ Sv/yıl, Ardahan ilinde 61,89 μ Sv/yıl olarak hesaplanmıştır.

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

SUMMARY

Indoor Radon Concentrations in Dwellings and Radioactivity Levels in Surrounding Soils of the Artvin and Ardahan Provinces

This study was done to determine indoor radon concentrations in dwellings and radioactivity levels in surrounding soils of the Artvin and Ardahan.

Indoor radon studies have been conducted in Artvin and Ardahan, using SSNTD type nuclear track detector (CR-39). Radon measurements were done for 4 seasons in 73 dwellings in Artvin and 48 dwellings in Ardahan, selected as uniformly distributed on the surface area as possible. The radon concentrations varies from 21 Bq/m³ to 321 Bq/m³ with the annual mean concentration of 132 Bq/m³ for Artvin and from 53 Bq/m³ to 736 Bq/m³ with the annual mean concentration of 173 Bq/m³ for Ardahan. Radon concentrations were recorded high in winter and low in summer for both of the provinces. The resulting estimated annual effective dose-equivalent due to inhalation of radon for inhabitants is 3.32 mSv/y for Artvin and 4.36 mSv/y for Ardahan. The average activity concentrations of ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, and ¹³⁷Cs were found to be 22.36 Bq/kg, 20.08 Bq/kg, 357.52 Bq/kg and 53.69 Bq/kg for Artvin and 35.99 Bq/kg, 30.77 Bq/kg, 342.13 Bq/kg ve 10.72 Bq/kg for Ardahan, respectively. The mean value of total annual external gamma radiation dose equivalent for natural radionuclides was calculated to be 48.02 μ Sv/y for Artvin and 61.89 μ Sv/y for Ardahan.

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

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Kararlı çekirdekler için N-Z grafiği	7
Şekil 2. Doğal radyoaktif ²³⁸ U serisi	9
Şekil 3. Doğal radyoaktif ²³² Th serisi.....	10
Şekil 4. Aktinyum radyoaktif bozunma serisi	11
Şekil 5. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi	13
Şekil 6. Peş peşe bozunma grafiği.....	17
Şekil 7. Doğal ve yapay radyasyon kaynakları.....	25
Şekil 8. Doğal radyasyon kaynakları.....	26
Şekil 9. Yapay radyasyon kaynakları	28
Şekil 10. Bozunma ürünlerinin yeryüzüne çıkışı.....	31
Şekil 11. Radonun evlere giriş yolları	32
Şekil 12. Çalışma Bölgesi.....	34
Şekil 13. Artvin ve Ardahan illerinin jeolojik haritası	35
Şekil 14. CR-39 Dedektörü ve iç kısmı	36
Şekil 15. Dedektör çipi ve kazıma diski.....	37
Şekil 16. Banyo kabı ve plastik kaşık ile çözeltinin banyo kabına dökülmesi.....	37
Şekil 17. Radosys ölçüm sistemi	38
Şekil 18. Deneysel Sistem	39
Şekil 19. Enerjinin kanallara göre değişimi.....	41
Şekil 20. Enerji – verim eğrisi	43
Şekil 21. Artvin ili örnek toprak numunesi için kanal-sayım.....	44
Şekil 22. Artvin ili örnek toprak numunesi için enerji-sayım	44
Şekil 23. Artvin ili yaz dönemi radon konsantrasyonu	47
Şekil 24. Artvin ili sonbahar dönemi radon konsantrasyonu.....	48
Şekil 25. Artvin ili kış dönemi radon konsantrasyonu	49
Şekil 26. Artvin ili ilkbahar dönemi radon konsantrasyonu.....	49
Şekil 27. Artvin ili yıllık ortalama radon konsantrasyonu.....	50
Şekil 28. Artvin ili mevsimsel radon konsantrasyonu.....	51
Şekil 29. Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelere göre mevsimsel değişimi	52
Şekil 30. Artvin ili merkez ve ilçelerdeki radyum aktivite değerleri	54

Şekil 31. Artvin ili merkez ve ilçelerdeki toryum aktivite değerleri.....	54
Şekil 32. Artvin ili merkez ve ilçelerdeki sezyum aktivite değerleri	55
Şekil 33. Artvin ili merkez ve ilçelerdeki potasyum aktivite değerleri.....	55
Şekil 34. Ardahan ili yaz dönemi radon konsantrasyonu	57
Şekil 35. Ardahan ili sonbahar dönemi radon konsantrasyonu	58
Şekil 36. Ardahan ili kış dönemi radon konsantrasyonu	58
Şekil 37. Ardahan ili ilkbahar dönemi radon konsantrasyonu.....	59
Şekil 38. Ardahan ili yıllık ortalama radon konsantrasyonu	60
Şekil 39. Ardahan ili mevsimsel radon konsantrasyonu.....	60
Şekil 40. Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelere göre mevsimsel değişimi	62
Şekil 41. Ardahan ili merkez ve ilçelerdeki radyum aktivite değerleri.....	64
Şekil 42. Ardahan ili merkez ve ilçelerdeki toryum aktivite değerleri.....	64
Şekil 43. Ardahan ili merkez ve ilçelerdeki sezyum aktivite değerleri.....	65
Şekil 44. Ardahan ili merkez ve ilçelerdeki potasyum aktivite değerleri.....	65
Şekil 45. Artvin ve Ardahan illeri Radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	66
Şekil 46. Artvin ve Ardahan illeri aktivite değerlerinin karşılaştırması.....	67
Şekil 47. Artvin ilinde radondan dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğeri	69
Şekil 48. Artvin ilinde doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz.....	71
Şekil 49. Artvin ilinde doğal radyonüklitlerden dolayı yıllık etkin doz eşdeğeri.....	71
Şekil 50. Ardahan ilinde radondan dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğeri.....	72
Şekil 51. Ardahan ilinde doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz	73
Şekil 52. Ardahan ilinde doğal radyonüklitlerden dolayı yıllık etkin doz eşdeğeri	74

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Doğada bilinen dört radyoaktif seri.....	8
Tablo 2. Alfa parçacığı yayımlayan bazı radyoizotoplar ve özellikleri.....	20
Tablo 3. Radyasyon terimleri ve özel birimleri ile SI birimleri arasındaki ilişki.....	24
Tablo 4. Kozmik radyoizotoplar	26
Tablo 5. Toprakta bulunan radyoaktif elementler	27
Tablo 6. Bazı yapay radyonüklitler	29
Tablo 7. Enerji kalibrasyonunda kullanılan kaynaklar ve özellikleri	41
Tablo 8. Europium kaynağının enerji değerleri ve bozunma olasılığı	42
Tablo 9. Aktivitesi hesaplanan elementler ve bozunma olasılıkları	43
Tablo 10. Artvin ili radon konsantrasyon değerleri.....	46
Tablo 11. Artvin ili radon konsantrasyonu için pearson korelasyonu.....	51
Tablo 12. Artvin ili ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerleri.....	53
Tablo 13. Ardahan ili radon konsantrasyon değerleri.....	56
Tablo 14. Ardahan ili radon konsantrasyonu için pearson korelasyonu	61
Tablo 15. Ardahan ili ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerleri	63
Tablo16. Artvin ve Ardahan illerinin radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	66
Tablo 17. Artvin ve Ardahan illerinin ortalama aktivite değerleri.....	67
Tablo 18. Artvin ili yıllık etkin eşdeğer doz	68
Tablo 19. Artvin ilinin ortalama soğurulan doz hızları ve yıllık etkin doz değerleri.....	70
Tablo 20. Ardahan ili yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	72
Tablo 21. Ardahan ilinin ortalama soğurulan doz hızları ve yıllık etkin doz değerleri.....	73
Tablo 22. Artvin ve Ardahan illerinde evlerde yapılan anket sonuçları	77
Tablo 23. Türkiye’de ve bazı ülkelerde radon konsantrasyonu	78
Tablo 24. Türkiye’de ve Dünya’da bazı bölgelerde topraktaki radyonüklit seviyesi.....	80

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
$T_{1/2}$: Yarı ömür
λ	: Bozunma sabiti
τ	: Ortalama ömür

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlunun bulunduğu ortamda doğal kaynaklardan gelen iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalması, dünya üzerindeki yaşamda kaçınılmaz bir olgudur. Bu maruz kalma, birçok insan için insan yapımı kaynakların tümünden daha fazladır. Doğal radyasyona maruz kalma seviyesini belirleyen iki ana katkı vardır. 1- Dünya'nın atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlar, 2- Çevremizde her yerde bulunup hatta insan vücudunda bile olan dünyanın kabuğunda oluşan radyoaktif elementlerdir. İnsanlar hem iç ve hem de dış radyasyona maruz kalması bu kaynaklardan ileri gelmektedir. Kozmik ışınlar ile yer kabuğunda, yapı malzemelerinde ve havada doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyonlar dış ışınlamalara, havada ve gıda maddelerinde bulunan doğal radyoaktif atomların 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; Tzortzis vd., 2004). Bir yerin ve bölgenin doğal radyasyon seviyesinin incelenmesi demek o yerin radyolojik açıdan incelenmesi, yani o yer toprağında, suyunda ve havasında bulunan doğal radyoaktivitelerin belirlenmesi demektir (UNSCEAR, 2000). 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 ışınların doğal radyasyona katkısı yükseklikle değişmekte ve deniz seviyesinden yukarılara çıkıldıkça belirli enlem değerlerinde sabit alınmaktadır (UNSCEAR, 2000). Açık alanlardaki karasal gama doz miktarını hesaplamak için bölgenin doğal radyoaktivite seviyesinin bilinmesi gereklidir (UNSCEAR, 1993).

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.

Doğal kaynaklardan dolayı insanların maruz kaldığı radyasyonun yıllık ortalama doz değeri 2,4 mSv' dir. Bu dozun büyük bir kısmı ki yaklaşık yıllık doz miktarı 1,3 mSv olan radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir (UNSCEAR, 2000). Radon; uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan, topraktan 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). Epidemiyolojik 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, Uluslararası 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).

İnsanlar yirminci yüzyılın başlarına kadar sadece doğal radyasyon kaynaklarının etkisinde kalmalarına rağmen, X ışınlarının keşfi ve nükleer teknolojinin gelişmesi, yapay radyoaktivite'nin keşfi ile bunların tıp, endüstri gibi alanlarda kullanılmasıyla da yapay radyasyonun etkisinde de kalmaya başlamıştır. Bu maruz kalma doğal radyasyon ile karşılaştırıldığında az olup yıllık etkin doz değeri 0,6 mSv dir.

İnsanlar genel olarak zamanlarının ortalama % 90'ını kapalı ortamlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. 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. Bu yüzden Artvin ve Ardahan çevresinde evler civarından alınan toprak numunelerinin radyoaktif madde konsantrasyonları da gama spektrometresi cihazıyla ölçülerek hesaplamaları yapılmıştır.

Ev içi radon konsantrasyonu ülkeler arasında ve hatta aynı ülkenin farklı bölgeleri arasında bile büyük değişiklik göstermektedir (Köksal vd., 2004). Bu farklılıklar, toprağın

jeolojik yapısına, iklim parametrelerine ve yapı karakteristiklerine bağı olarak değişmektedir. Son yıllarda gerek ülkemizde gerekse dünyada ev içi radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik birçok çalışmalar yapılmaktadır.

Çelebi ve Alkan Erzurum ve Çanakkale'de evlerdeki ortalama radon konsantrasyonunu CR-39 pasif radon dedektörlerini kullanarak sırasıyla 85 Bq/m³ ve 160 Bq/m³ olarak hesaplamışlardır (Çelebi ve Alkan 1997).

M. Köksal ve arkadaşları İstanbul ilinde ev içi radon konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında toplam 524 eve radon dozimetreleri dağıtmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda evlerdeki ortalama radon konsantrasyonunu 50 Bq/m³ olarak tayin etmişlerdir (Köksal vd., 1993)..

Uluğ ve arkadaşlarını Isparta ilinde, Eğridir ve Yalvaç ilçelerinde evlerdeki ortalama radon konsantrasyonunu CR-39 pasif radon dedektörleri kullanarak sırasıyla 164 Bq/m³, 124 Bq/m³, 112 Bq/m³ olarak hesaplamışlardır (Uluğ vd., 2003).

Çelik ve arkadaşları Kars ilinde evlerdeki radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimini belirlemeye yönelik yapılan çalışmada yıllık ortalama radon konsantrasyonunu 114 Bq/m³ olarak bulmuşlardır (Çelik vd., 2008).

Gutierrez ve arkadaşları İspanya'nın Barcelona ve Madrid şehirlerinde 3 aylık iki farklı mevsimde ev içi radon konsantrasyonu belirlemek için 337 adet pasif dozimetreleri dağıtmışlardır. Yıllık ortalama radon konsantrasyonu değerlerini sırasıyla Madrid ve Barcelona şehirlerinde 68,5 Bq/m³ ile 40,2 Bq/m³ olarak tayin etmişlerdir (Gutierrez v.d 1992).

Marina ve arkadaşları Meksika şehrinde 416 evde LR-115 tipi radon dedektörleri ile uzun dönem, Alphaguard radon dedektörü ile de kısa dönemli radon konsantrasyonu araştırması yapmışlardır. Ortalama radon konsantrasyonu 145 Bq/m³ olarak bulmuşlardır. Evelerin % 97'si IAEA 1996 yılında belirlemiş olduğu 200-600 Bq/m³ izin verilebilir seviyeyi aşmadığını bulmuşlardır (Marina vd., 2001).

Papaefthymio ve arkadaşları Yunanistan'ın Patras şehrinde LR-115 radon dedektörlerini kullanarak radon konsantrasyonunun hem mevsimsel hem de ev tipine göre araştırmışlardır. Müstakil, apartman ve tüm evlerin ortalama radon konsantrasyonlarını sırasıyla 41 Bq/m³, 28 Bq/m³ ve 38 Bq/m³ olarak tespit etmişlerdir (Papaefthymio vd., 2002).

Singh ve arkadaşları Hindistan'ın Himachal Pradesh bölgesinde evlerdeki radon konsantrasyonunu ve bölgedeki uranyum ve radyum elementleriyle olan ilişkisini

araştırmışlardır. Radon konsantrasyonu belirlemek için LR-115 tipi radon dedektörleri 18 köyde 80 eve 3 aylık periyotlarla 1 yıl boyunca bırakılmıştır. 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 yapmışlardır. Radon konsantrasyonunun 3 ile 270 Bq/m^3 arasında değiştiğini ve ortalama değerin ise 42 Bq/m^3 olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca radon konsantrasyonunun deniz seviyesinden yükseklerle çıkıldıkça arttığını tespit etmişlerdir (Khayrat vd., 2003).

Singh ve arkadaşları Hindistan'ın Nurpur bölgesinde LR-115 tipi radon dedektörlerini kullanarak 17 köy ve 70 evde radon konsantrasyonu araştırmaya yönelik yapmış oldukları mevsimsel çalışmada minimum ve maksimum radon konsantrasyonu değerlerini sırasıyla 168 Bq/m^3 ile 429 Bq/m^3 olarak tayin etmişlerdir (Singh vd., 2004).

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 araştırması CR-39 radon dedektörleri kullanarak yapmışlardır. Minimum ve maksimum radon konsantrasyon değerleri sırasıyla 10 Bq/m^3 ve 5800 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Değerlerin lognormal dağılımı oluşturulduğunda geometrik ortalama değerini 58 Bq/m^3 bulmuşlardır (Hamori vd., 2006).

Quirino ve arkadaşları Meksika'nın Zacatecas şehrinde 228 evde yaz döneminde radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik yapmış oldukları çalışmada ortalama radon konsantrasyonunu 67 Bq/m^3 olarak tespit etmişlerdir. Evlerin % 2,7 si EPA (Environmental Protection Agency)'nın tavsiye ettiği değeri (148 Bq/m^3) geçtiğini bulmuşlardır (Quirino 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 konsantrasyonu traverten bölgede 1500 Bq/m^3 , alüvyum sediment oluşumunun olduğu bölgede 650 Bq/m^3 , maksimum değeri ise 6000 Bq/m^3 olarak tespit etmişlerdir (Zunic vd., 2006).

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 Bq/m³ arasında değiştiğini ve ortalama değerin 18 Bq/m³ olduğunu tespit etmiştir (Ferdoas S. Al-Saleh, 2007).

Rahman ve arkadaşları Pakistan'ın Kuzey-batı illerinde 200 evde radon konsantrasyonu CR-39 radon dedektörleri kullanarak araştırmışlardır. alışmalarında yıllık ortalama, maksimum ve minimum radon konsantrasyonu değerlerini sırasıyla 72 Bq/m³, 189 Bq/m³, 47 Bq/m³ olarak tespit etmişlerdir (Rahman vd., 2007).

G. Karahan ve A. Bayülken İstanbul ilinin toprağında bulunan doğal radyonüklidlerin 0-10 cm derinlikteki konsantrasyonlarını ²³⁸U için 21 Bq/kg, ²³²Th için 37 Bq/kg, ⁴⁰K için ise 342 Bq/kg olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca ortalama dış gama doz oranını 65 nGy/s olarak bulmuşlardır (G. Karahan ve A. Bayülken, 2000).

B. Karakelle ve arkadaşları Kocaeli'nde yaptıkları çalışmalarında 27 farklı bölgeden aldıkları toprak örneklerinde doğal radyoaktivite değerlerini belirlemişler ve ¹³⁷Cs, ²³⁸U, ⁴⁰K, ²²⁶Ra ve ²³²Th için aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 2-25 Bq/kg, 11-49 Bq/kg, 161-964 Bq/kg, 10-58 Bq/kg ve 11-65 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiğini bulmuşlardır (Karakelle vd., 2002).

Y. Örgün ve arkadaşları Eskişehir'de doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada aktivite konsantrasyonunun ²³⁸U için 43,59 ile 651,80 Bq/kg arasında, ²³²Th için 51,16 ile 351,94 Bq/kg arasında ve ⁴⁰K için 418,50 ile 1618,03 Bq/kg arasında değişiklik gösterdiğini belirlemişlerdir (Örgün vd., 2005).

F.S. Ereeş ve arkadaşları Manisa'da yaptıkları çalışmada, toprak örneklerindeki radionüklit doz oranları ile evlerdeki radon ölçümlerini yapmışlardır. Toprak örneklerinde bulunan ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K için ortalama değerler sırasıyla 28,5 Bq/kg, 27 Bq/kg ve 340 Bq/kg'dır. Ayrıca ev içi radon konsantrasyonu 47-146 Bq/m³ değerleri arasında bulmuşlardır (Ereeş vd., 2006).

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

M. Tzordtsiz ve arkadaşları Güney Kıbrıs'ta toplam 115 toprak örneğinde doğal radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemek için yaptıkları çalışmada ortalama aktivite konsantrasyonlarını ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K için sırasıyla 31,8 Bq/kg, 41,5 Bq/kg ve 575 Bq/kg olarak bulmuşlardır (Tzordtsiz vd., 2004).

A.M. Arogunjo ve arkadaşları Nijerya’da yaptıkları çalışmada yerinde ölçümler olarak 32 farklı bölgede topraktaki doğal radyonüklit aktivitelerini belirlemişlerdir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla ortalama aktivitelerini 16,2 Bq/kg, 24,4 Bq/kg ve 34,8 Bq/kg olarak tayin edilmiştir. Topraktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K sebebiyle havadaki dış gama doz oranları sırasıyla 6,9 , 16,3 ve 1,5 nGy/s olarak bulunmuştur(Arogunjo vd., 2004).

N.N. Jibiri ve O.S. Bankole Nijerya’da trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerden aldıkları toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 20,3 Bq/kg, 21,2 Bq/kg ve 219,8 Bq/kg ve toplam absorbe olmuş doz oranını ortalama 32 nGy/s olarak bulmuşlardır (Jibiri ve Bankole, 2006).

Fatimi ve arkadaşları Pakistan’ın Güney Punjab bölgesinde 17 farklı bölgede topraktaki doğal radyonüklit aktivitelerini belirlemişlerdir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla ortalama aktivite değerlerini 21,7 Bq/kg, 31 Bq/kg ve 393,2 Bq/kg olarak bulmuşlardır. Ayrıca topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı havadaki ortalama dış gama doz hızını ve yıllık ortalama etkin doz değerini sırasıyla 46,1 nGy/saat ve 0,28 mSv/yıl olarak bulmuşlardır (Fatimi vd., 2007).

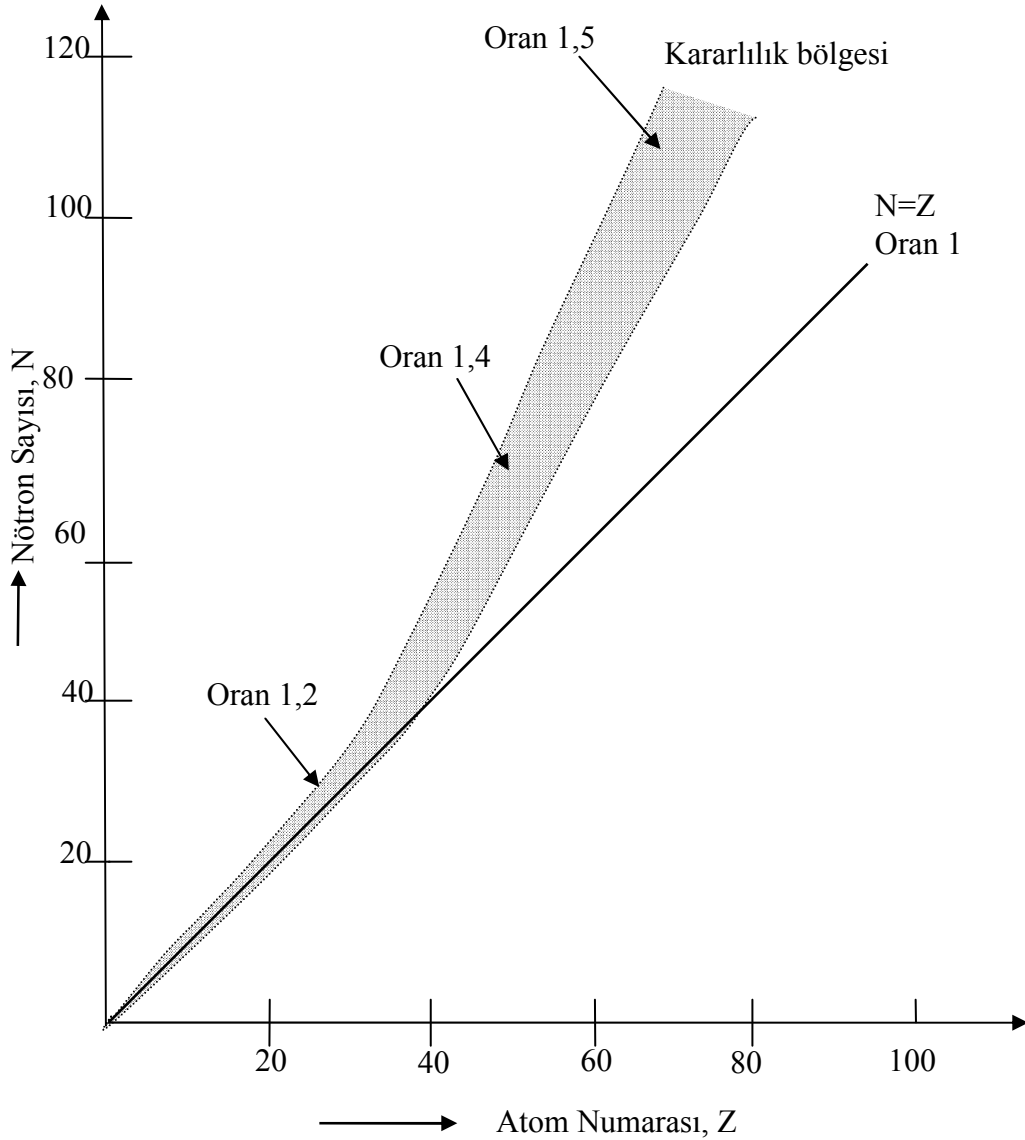
Shiva Prasad ve arkadaşları Hindistan’ın Bangalore bölgesinde 33 yerleşim yerinde topraktaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin ortalamalarını sırasıyla 26,2 Bq/kg, 53,1 Bq/kg ve 635,1 Bq/kg olarak belirlemişlerdir. Ayrıca topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı havadaki ortalama dış gama doz hızını ve yıllık ortalama etkin doz değerini sırasıyla 73,9 nGy/saat ve 90,6 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak bulmuşlardır (Shiva Prasad vd., 2008).

1.2. Radyoaktivite

Bir atomun çekirdeğinde Çekirdek Fiziği açısından 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. Atom çekirdeğinde nötronların varlığı dengeyi artırmaktadır. Kararlılık bir genelleme değildir ancak bazı çekirdeklere özgüdür ve (nötron sayısı)/(proton sayısı) yani N/Z’nin değerine bağlıdır. Şekil 1’de bilinen çekirdeklerin n ve p sayılarına göre dağılımı verilmiştir.

Kararlılık eğrisi ve civarındaki dar kararlılık bölgesi $N=Z$ olan hafif çekirdekleri temsil ederken daha ağır çekirdeklerde $N/Z > 1$ olmaktadır. Yüksek atom numaralı elementlerde ise bu oranın birden uzaklaştığı ve çekirdeğin kararsız olma olasılığının arttığı görülmektedir. 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 olan bir elementin çeşitli parçacıklar salarak veya ışınım yaparak kendiliğinden bozunması olayına *radyoaktivite* denir. Bu olay çekirdek kararlı hale gelinceye kadar devam eder. Her atomun çekirdeği kararsız değildir; yani radyoaktivite çekirdek için ayırt edici fiziksel bir özelliktir.

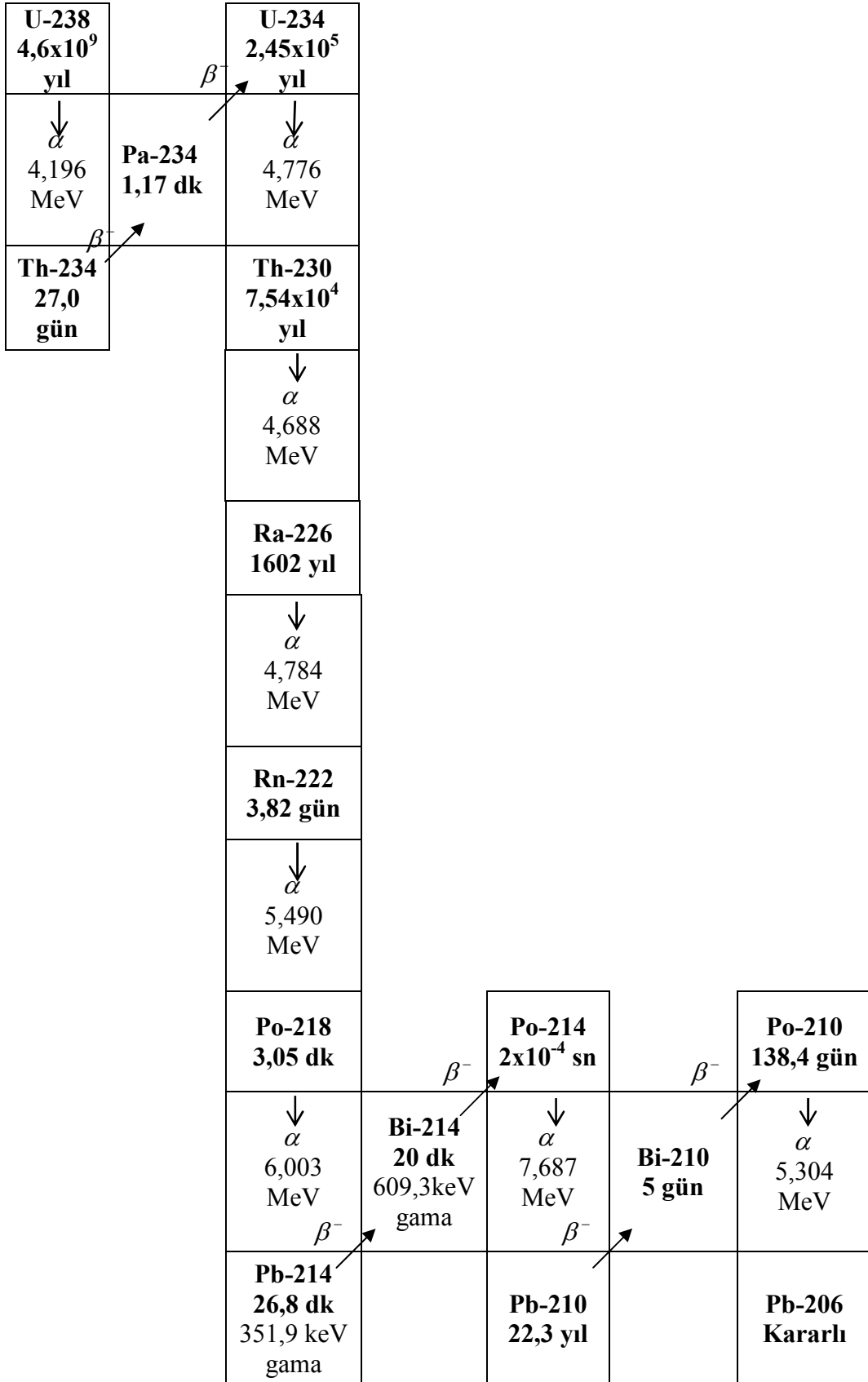


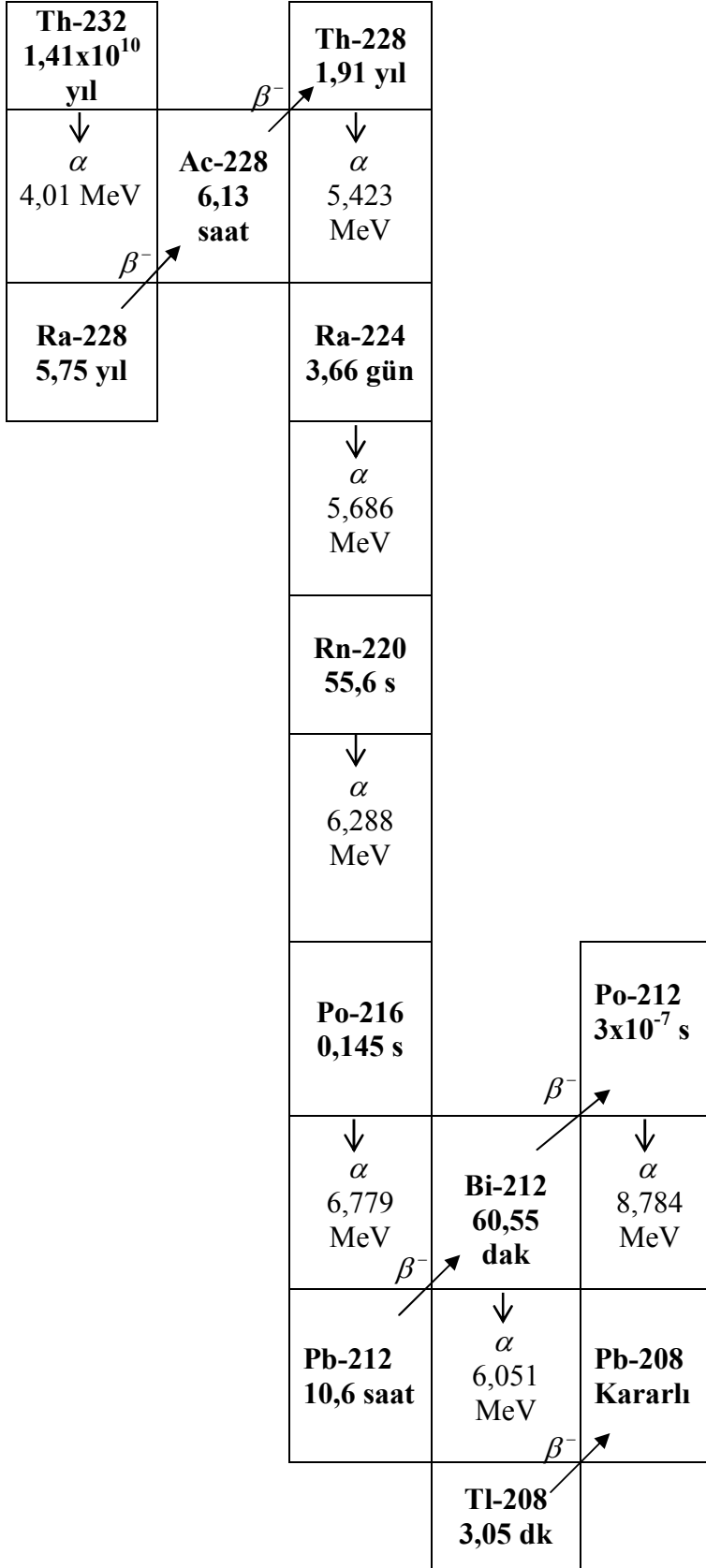
Şekil 1. Kararlı çekirdekler için N-Z grafiği

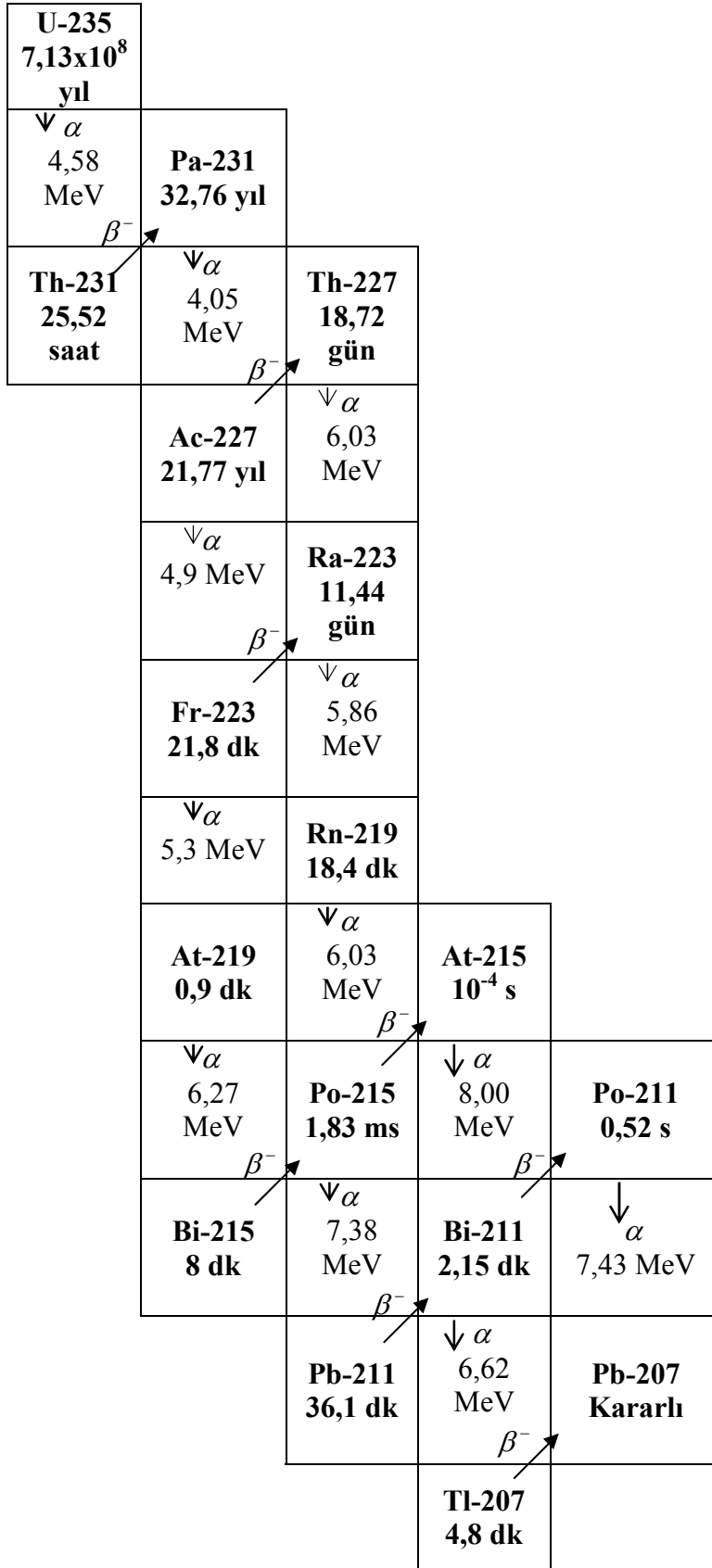
Uzun ömürlü doğal radyoaktif elementlerin çoğu çok ağır elementlerden oluşmuşlardır ve hiç kararlı izotopları yoktur. Bu radyoaktif çekirdekler α , β ve gama ışınları yayınlamaya sonuça kararlı bir çekirdeğe ulaşırlar. Bozunma süreci çekirdeğin zincirinin en uzun ömürlü üyesine götürme eğilimindedir ve eğer bu çekirdeğin ömrü en azından dünya'nın yaşı mertebesindeyse bu aktiflik bugün de gözlenebilmektedir. Genellikle ağır çekirdekleri olan doğal radyoizotoplar şu radyoaktif serilere üyedir: Toryum, Neptünyum, Uranyum ve Aktinyum'dur. Tarihsel sıralama söz konusu olduğunda en son keşfedilen seri Neptünyum serisidir. 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 $^{209}_{83}\text{Bi}$ bizmuta dönüşür. Şekil 2-4'de Uranyum, Toryum ve Aktinyum 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 gözlenmez (Krane, 2001). 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	$4n$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,41 \times 10^{10}$
Neptünyum	$4n+1$	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	$4n+2$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	$4n+3$	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,04 \times 10^8$

Şekil 2. Doğal radyoaktif ²³⁸U serisi

Şekil 3. Doğal radyoaktif ^{232}Th serisi



Şekil 4. Aktinyum radyoaktif bozunma serisi

1.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Fiziksel açıdan, bir radyoaktif numune içindeki herhangi bir atomun ne zaman bozunacağını bilmek mümkün değildir. Radyoaktif bozunma zamana göre rasgele gerçekleşir ve ancak istatistik ve de olasılık kuramları çerçevesinde bazı özellikleri bulunabilir. Önemli bir yaklaşım tek tek çekirdeklerle ilgilenmek değil zamana göre daima sabit kalan bir nicelik olan bir kavramı, bir radyoaktif çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığını incelemektir. Bu olasılık radyoaktif bozunma sabiti olarak adlandırılmakta ve genellikle λ ile gösterilmektedir. Radyoaktivitenin bozunma yasasına göre, radyoaktif çekirdeğin yaşı ne olursa olsun bozunma olasılığı λ sabittir.

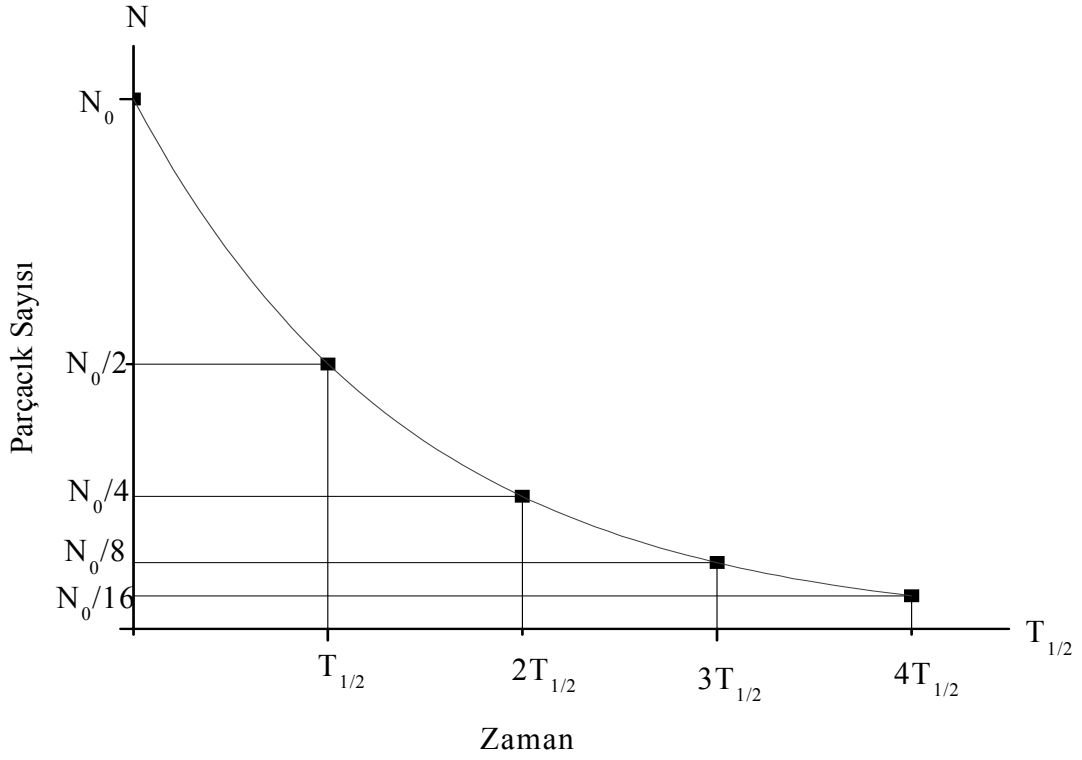
Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısı çekirdeğin *bozunma hızı* veya *aktivitesi* olarak tanımlanır. Eğer herhangi bir t anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye dışarıdan çekirdek ilave edilmiyorsa sonsuz küçük dt zaman aralığı içinde bozulan çekirdek sayısı N ile orantılı olacaktır.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (1)$$

Eksi işareti zamanla radyoaktif atomların azaldığını gösteriyor. Denklem çözülerek radyoaktif üstel bozunma yasası elde edilir.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad \longrightarrow \quad \int \frac{dN(t)}{N(t)} = -\int \lambda dt \quad \longrightarrow \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Denklemden t zamanı, N(t) t zamanı sonunda arta kalan çekirdek sayısını, N_0 başlangıçtaki (t=0 iken) çekirdek sayısını ve λ radyoaktif numunenin *bozunma sabitini* gösterir ve birimi s^{-1} dir. Şekil 5’de bir radyoaktif çekirdeğin üstel bozunma denklemine ait çekirdek sayısı değişimi vermektedir.



Şekil 5. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi

Her iki taraf da bozunma sabiti (λ) ile çarpılırsa aktivite denklemi elde edilir.

$$N\lambda = N_0\lambda e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Burada $N\lambda$ birim zamandaki bozunma sayısını verecektir, buna N atomdan meydana gelen topluluğun “aktivitesi” denir, I ile gösterilir, birimi bozunma/saniyedir

$$I_0 = N_0\lambda = \text{Radyoaktif izotopun } t=0 \text{ anındaki aktivitesi (bozunma/saniye)}$$

$I = N\lambda = \text{Radyoaktif izotopun } t \text{ anındaki aktivitesi (bozunma/saniye)}$ göstermek üzere;

$$I = I_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

olarak verilir.

1.3.1. Radyoaktif Bir Numunenin Yarı ve Ortalama Ömrü

Radyoaktif bozunma yasasını ifade eden denklem (2) herhangi bir t anında bozunmadan kalabilen çekirdek sayısını vermektedir. Teorik açıdan bakıldığında numunedeki tüm çekirdeklerin bozunması için sonsuz zaman geçmesi gerekir. Yani ancak $t \rightarrow \infty$ için $N(t) = 0$ olur. Bu durumda radyoaktif maddenin ayırt edici bir özelliği olan yarı ömür kavramı kullanılır. Yarı ömür radyoaktif bir elementin başlangıçtaki çekirdek sayısının yarıya inmesi için geçen zaman olarak tanımlanmaktadır. $T_{1/2}$ ile gösterilen yarı ömür bulmak için denk. (1) de

$$N = \frac{N_0}{2} \text{ olarak alınırsa;}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \quad e^{-\lambda t} = \frac{1}{2}$$

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (5)$$

elde edilir.

Radyoaktif izotopların yarı ömürleri çok değişiktir. Bilinen en kısa yarı ömürlü çekirdek 10^{-21} sn ile He, en uzun yarı ömürlü çekirdek ise 10^{17} yıl ile ^{204}Pb dür.

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.

Bu nedenle radyoaktif atomlar için yarı ömürden farklı bir tanım verilir. τ ortalama ömür (bazen de yalnızca ömür de denir) radyoaktif atomların tek tek ömürleri toplamının ortalamasıdır. t_1, t_2 ömürlerine sahip atomların sayıları sırası ile $dN_1(t), dN_2(t) \dots$ ise ortalama ömür aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\tau = \frac{t_1 dN_1(t) + t_2 dN_2(t) + \dots}{dN_1(t) + dN_2(t) + \dots} = \frac{t dN(t)}{dN(t)}$$

Burada ($dN \rightarrow 0$) için

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{\int_0^{N_0} dN(t)} = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{N_0} \quad (6)$$

denk .2 $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ bağıntısı yerine konursa

$$\tau = -\lambda \frac{\int_0^{\infty} t N_0 e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

elde edilir. Burada ortalama ömür, yarı ömürden daha büyüktür ve aralarındaki ilişki;

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = 0.693\tau \quad (7)$$

şeklinde dir. Bu üç kavramdan birinin bilinmesi diğerinin bulunması için yeterlidir (Arya, 1999) .

1.3.2. Peş peşe Parçalanma Kanunu

Hem tabii olarak bulunan radyoaktif izotoplarda hem de yapay olarak meydana getirilen radyoaktif izotoplarda bozunma peş peşe parçalanmalar şeklinde meydana gelebilir. Ana radyoaktif element başka bir ürüne bozunur. Eğer bu ürün de radyoaktif ise bu da başka bir elemente bozunur. Birçok durumda bu peş peşe bozunma ana maddenin ürüne ve ürünün de kararlı bir elemente bozunmasıyla sınırlıdır. Şayet işe radyoaktif ana izotopun belli sayıda atomlarıyla başlanmışsa verilen herhangi bir anda bozunma ürünün atomların sayısı ne olacaktır. Bu sayılar şu şekilde hesaplanabilir. Herhangi bir t anında, λ_1 bozunma katsayısıyla ürüne bozunacak ana elementin atomlarının sayısı N_1 olsun. Ürün elementin atomlarının sayısını N_2 ile gösterelim. Bunlar da λ_2 bozunma katsayısı ile başka bir elemente bozunacaktır. Bu kararlı elementteki atomların sayısı is N_3 olsun. Ayrıca, $t = 0$ iken $N_1 = N_{10}$, $N_2 = N_{20}$, $N_3 = N_{30}$ olduğunu farz edelim. Aktifliğin saniyede bozunma sayısı şeklindeki tanımından;

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (8)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (9)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (10)$$

(8) bağıntısı N_1 'in bozunma hızını verir. (9) bağıntısı N_2 tipindeki atomların $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildiklerini ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla gözden kaybolduklarını göstermektedir. (10) bağıntısı N_3 atomlarının üretim hızı elde edilir.

(8) denkleminde $t = 0$ da $N_1 = N_{10}$ integrali alınır

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (11)$$

elde edilir. N_1 'in bu değeri denk. (9) da yerine konursa

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (12)$$

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

$$\frac{d}{dt} (N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (13)$$

bulunur. Gerekli işlemler yapılırsa

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (14)$$

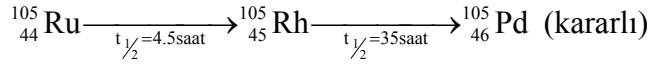
Benzer şekilde (10) bağıntısı $t=0$ 'da $N_3 = N_{30} = 0$ şartıyla çözümlerse

$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (15)$$

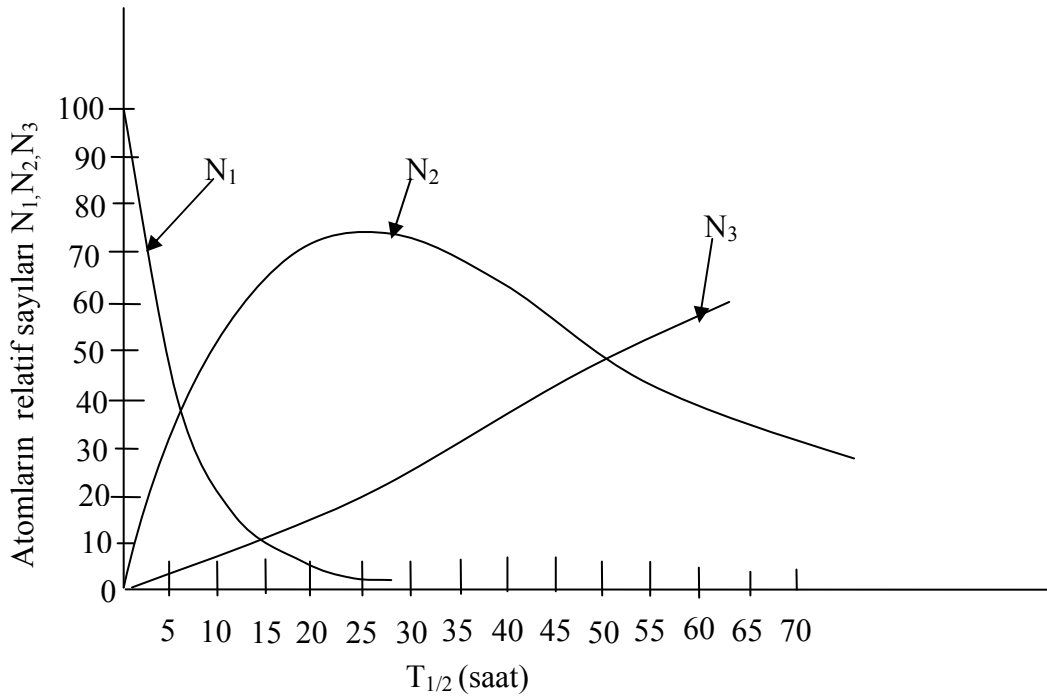
elde edilir. (11), (14), (15) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan atomların sayısı bulunabilir. Bu eşitlikler, $t=0$ da $N_1 = N_{10}$ ve $N_{20} = N_{30} = 0$ özel durumları için üretildi.

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

(11), (14), (15) bağıntılarının 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 6'da verilmektedir (Arya, 1999).



Şekil 6. Peş peşe bozunma grafiği

1.3.3. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da λ_2 bozunma sabitiyle bozunduğunu düşünelim. Eşitlik 14 ,

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

ifadesinde $\lambda_2 < \lambda_1$ olduğunda yeterli derecede uzun bir zaman sonunda $e^{-\lambda_1 t}$ terimi $e^{-\lambda_2 t}$ 'ye göre ihmal edilebilir olacağından,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \quad (16)$$

elde edilir. Bu ise belli bir zamanda sonra birinci ürün elementinin kendisi için belirlenmiş olan λ_2 bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir.

1.3.4. Sürekli Denge

Eşitlik (13) de $\lambda_1 \ll \lambda_2$ durumunu ele alalım. $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ yazabiliriz. Böylece bu ifade;

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (17)$$

olarak elde edilir. Ürün çekirdeğin miktarı, zamanın artmasıyla $e^{-\lambda_2 t}$ terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşacak ve denge durumunda,

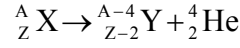
$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (18)$$

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

1.4. Radyoaktif Bozunma Türleri ve Madde ile Etkileşimleri

1.4.1. Alfa Işınması

Alfa ışınması çekirdeğin bir alfa parçacığı (${}^4_2\text{He}$) yayması olayıdır. İki nötron ve iki protondan oluşmaktadır. Alfa parçacığını helyum atomunun çekirdeği olarak da düşünmek mümkündür.



Burada X ana çekirdek, Y de ürün (kız) 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 bozunmasında kütle, yük ve enerji korunur. Bu bozunmada ana çekirdeğin kütlesine M_X , ürün çekirdeğin kütlesine M_Y ,ve alfa parçacığının kütlesine M_α denirse, alfa bozunması sonucunda oluşan enerji Q:

$$Q = (M_X - M_Y - M_\alpha) c^2 \quad (19)$$

şeklindedir.

Kendiliğinden bozunma olabilmesi için $Q > 0$ olması gereklidir. Q enerji değeri kinetik enerjideki artışa da eşit olduğundan 19 ifadesinde,

$$Q = K_Y + K_\alpha \quad (20)$$

şeklinde olup sırasıyla K_Y ve K_α ürün çekirdeğin ve α parçacığının kinetik enerjileridir.

Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV altındadır.

Nükleer enerjinin hammaddesi olan uranyum alfa ışınması yapan radyoaktif bir çekirdektir. Bazı yapay çekirdekler de alfa parçacığı yayımlayabilmektedir. Bunun en güzel örneği nükleer yakıt olarak kullanılan Plütonyum (${}^{239}\text{Pu}$) çekirdeğidir.

Alfa parçacıkları büyük ve ağır olduklarından nüfuz etme güçleri çok zayıf olup kolaylıkla durdurulabilir. Ayrıca 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. Alfa parçacıkları ince bir kağıt parçası veya birkaç cm'lik hava ile durdurulabilmektedir. 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).

Alfa parçacığının enerjisi ile radyoizotoplarının yarı ömürleri arasında bir ilişki vardır. Kısa yarı ömürlü olan radyoizotop'un alfa enerjisi uzun yarı ömürlü olan radyoizotop'tan daha fazladır (Knoll, 1999).

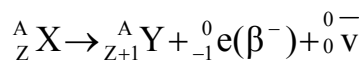
Tablo 2. Alfa parçacığı yayımlayan bazı radyoizotoplar ve özellikleri

Radyoizotop	Alfa Enerjisi (MeV) (Oluşma yüzdesi)	Yarı Ömrü
^{232}Th	4,012 (%77) 3,953 (%23)	$1,4 \times 10^{10}$ yıl
^{238}U	4,196 (%77) 4,149 (%23)	$4,5 \times 10^9$ yıl
^{226}Rd	4,871 (%100)	1602 yıl
^{241}Am	5,48 (%85,2) 5,44 (%12,8)	433 yıl
^{242}Cm	6,11 (%74) 6,06 (%26)	163 gün
^{222}Rn	5,49 (%100)	3,8 gün

1.4.2. Beta Işınması

Beta ışınması çekirdeğin bir eksi ve artı yüklü bir elektron fırlatması olayıdır. Çekirdekte normalden fazla sayıda proton veya nötron bulunduğunda meydana gelmektedir. Bu fazlalık çekirdeği kararsız hale getirmektedir.

Çekirdekteki nötron sayısı fazla ise, çekirdekte bulunan nötronlardan biri bir proton ve elektrona ayrılmaktadır. Ayrıca bir de antinötrino parçacığı meydana gelmektedir. Elektron çekirdekten dışarı fırlatılırken proton çekirdekte kalmaktadır. Böylece çekirdeğin proton sayısı bir artarken, çekirdek farklı bir çekirdeğe dönüşmektedir. Bu süreç sonunda çekirdek β^- ışınması yapmıştır. Nötrinonun elektrik yükü olmadığından, varlığı diğer son parçacıkların durumunu etkilemez.



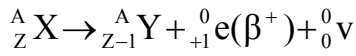
$$Q_{\beta^-} = (M_X - M_Y)xc^2 \quad (21)$$

K_0 kinetik enerjideki net artış olmak üzere,

$$K_0 = K_{\beta^-} + K + K = (K_{\beta^-})_{\max} + K_{\gamma} \quad (22)$$

K_0 bozunma enerjisine eşittir.

Çekirdeğin proton sayısı fazla ise, bu defa da protonlardan biri nötron ve artı yüklü bir elektrona (pozitron) ve bir de nötrino'ya ayrılmaktadır. Pozitron çekirdekten dışarı atılırken, nötron çekirdekte kalmaktadır. Böylece çekirdeğin proton sayısı bir azalırken çekirdek β^+ (pozitron) ışınması yaparak farklı bir çekirdeğe dönüşmektedir.



$$Q_{\beta^+} = (M_X - M_Y) c^2 = 2m_e c^2 + K_0 \quad (23)$$

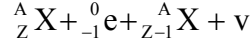
K_0 kinetik enerjideki net artış olmak üzere,

$$K_0 = K_{\beta^+} + K + K = (K_{\beta^+})_{\max} + K_{\gamma} \quad (24)$$

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.

1.4.3. Elektron Yakalama

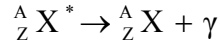
β^+ bozunmasının alternatifi olarak da adlandırılır. Bu olayda ana çekirdek kendi çevresindeki elektronlardan birini yakalar ve bir nötrino yayınlar. Bu çekirdekte çok fazla sayıda proton varsa ve bir pozitron 'u ışınma yapacak kadar yeterli enerjiye sahip değilse oluşur. Bozunma ürünü, yükü $Z - 1$ olan bir çekirdektir.



Pek çok durumda, yakalanan elektron K yörüngesi elektrondur.

1.4.4. Gama Işınması

Gama ışınımı optik ve x-ışını geçişleri gibi atomik radyasyonun yayınlanmasına benzer. Uyarılmış bir durum daha düşük bir uyarılmış duruma veya taban duruma nükleer durumlar arasındaki farka eşit bir enerjiyle bir gama ışınımı yayınlayarak geçer. Birçok radyoaktif çekirdek alfa ve beta parçacığı fırlattıktan sonra, halen bir miktar fazla enerjiye sahiptir. Kararsız çekirdekler bu fazla enerjiyi gama ışınımı olarak dışarı atmaktadır. Gama ışınımından sonra atomun kimliği değişmez, yani atom farklı bir atoma dönüşmez.



Gama ışınları aynen ışık gibi bir boşluk da dalga olarak hareket eden elektromagnetik enerji paketçikleridir. Dalga boyları çok küçük olup enerjisi yüksektir ve gözle görülemezler. Enerji değerleri tipik olarak 0,1 MeV ile 10 MeV arasında değişir. Her hangi bir elektrik yükü taşımazlar ve kütleleri yoktur. Hem bu yüzden hem de yüksek enerji taşıdıklarından çok nüfuz edicidirler ve kolay kolay durdurulamazlar. Gama ışınları kağıt, deri, tahta gibi birçok maddeye nüfuz edebilir. Gama ışınlarını durdurmak için kurşun veya kalın beton tabakası gibi yüksek yoğunluğa sahip malzemeler kullanılmaktadır (URL-3).

1.5. Aktivite ve Radyasyon Birimleri

1.5.1. Aktivite (Becquerel)

Radyasyon etkinliğini (aktivitesini) belirten birimdir. Radyoaktif madde her saniyede kaç tane ışınım (radyasyon) olayı gerçekleştiğini ifade etmektedir. Saniyede gerçekleşen 1 ışınım olayını 1 Becquerel olarak ifade edilmektedir.

1.5.2. Işınlama birimi

Röntgen(R), 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.

1.5.3. Soğurulmuş Doz

Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlayıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Radyoaktif bir madde tarafından salınan radyasyon etkileştiği maddelere enerjisini bırakmaktadır. 1 kilogramlık maddeye 1 joule'luk enerji bırakan radyasyona 1 Gray adı verilmiştir. Örneğin soğurulmuş dozu 500 Gray dendiğinde söz konusu radyasyonun çarptığı maddenin 1 kilogramında 500 Joule' luk enerji bırakıyor anlamına gelmektedir.

1.5.4. Eşdeğer Doz (Canlılarda olan etkiyi gösteren ışınım birimi)

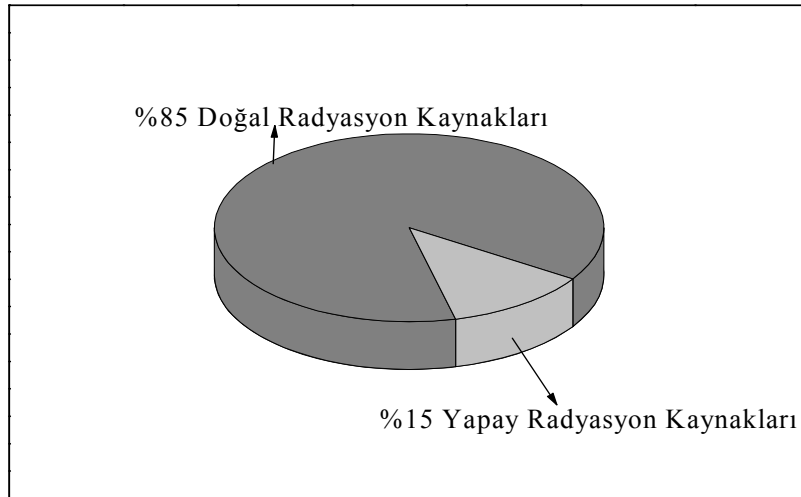
Işınım sonucu fırlatılan enerji paketleri ve parçacıklar canlı hücrelere çarptığında, enerjisini bu hücrelere bırakmaktadır. Fakat farklı ışınım parçacıkları aynı miktarda enerji bıraksalar dahi, canlı hücrelere olan biyolojik etkileri farklı olmaktadır. Ağır parçacıklar hücrelere daha fazla zarar verirken, hafif parçacıklar daha az zarar vermektedir. Dolayısıyla doz eşdeğerini göstermek için kullanılan Sievert (Sv) ışınım türünü de hesaba katarak ışınımın biyolojik etkisini belirtmektedir. Sievert (Sv) doğada günlük hayat da karşılaştığımız radyasyon seviyeleri karşısında çok büyük kalmaktadır. Doğada günlük hayat da maruz kaldığımız radyasyon miktarı Sievert'in binde biri mertebelerinde bulunmaktadır. Bu nedenle miliSievert (mSv) kullanımı daha yaygındır. Tablo 3'de eski ve yeni radyasyon birimleri ile dönüşümleri verilmektedir.

Tablo 3. Radyasyon terimleri ve özel birimleri ile SI birimleri arasındaki ilişki

TERİM	ESKİ BİRİMİ	YENİ BİRİMİ	DÖNÜŞÜM
AKTİVİTE	Curie(Ci)= $3,7 \times 10^{10}$; parçalanma/ 1 saniye	Becquerel (Bq); parçalanma/ 1 saniye	$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ $1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$
İŞİNLAMA DOZU	Röntgen(R);normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1 kg 'ında $2,58 \times 10^{-4}$ C'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya gama radyasyonu miktarıdır.	Coulomb/kilogram(C/kg); Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya gama radyasyonu miktarıdır.	$1 \text{ C/kg} = 376 \text{ R}$ $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4}$
SOĞURULMUŞ DOZ	Radiation absorb doz (rad); Işınlanan maddenin 1kg'ında 10^{-2} Joule'luk enerji soğurması meydana getiren bir radyasyon miktarıdır.	Gray(Gy); Işınlanan maddenin 1kg'ında 1 Joule'luk enerji soğurması meydana getiren bir radyasyon miktarıdır.	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$
DOZ EŞDEĞERİ	Röntgen equivalent man; 1 Röntgenlik X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. $\text{rem} = (\text{rad}) \times (W_R)^*$	Sievert (Sv); 1Gy'lik X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. $\text{Sv} = (\text{Gy}) \times (W_R)^*$	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$
*WR."Radyasyon ağırlık faktörü" olarak adlandırılır. Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak ve aynı zamanda radyasyon korunma hesaplarını birleştirmek için kullanılan bir faktördür (Taek, 2002).			

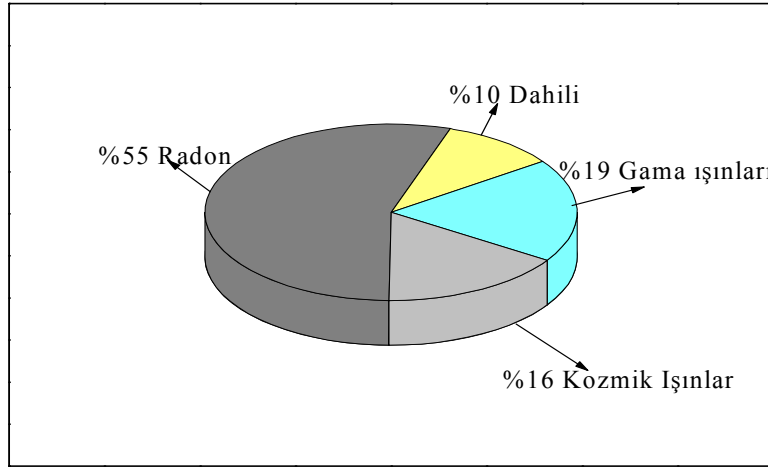
1.6. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyoaktiflik çevremizde, toprakta, havada, suda ve bitkilerde yaygın miktarda bulunmaktadır. Bu çevresel gama radyasyonu kozmik ve karasal kaynaklar olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Kozmik ışınlar tüm uzayda olup güneş sisteminin dışında bulunan kaynaklardan gelmektedir. Çevresel gama radyasyonun ana kaynağı ^{238}U , ^{232}Th serisindeki radyonüklitler ve ^{40}K 'dır (UNSCEAR, 2000; Değerlier vd., 2007). Yapay radyasyon kaynakları çevresel radyasyon seviyesini artırmaktadır. Ama bu değer doğal radyasyon kaynakları ile karşılaştırıldığında azdır. İnsanların doğal kaynaklardan dolayı maruz kaldığı doz miktarı ortalama % 85 iken yapay radyasyon kaynaklarından ise %15 kadardır (UNSCEAR, 2000; Kılıç vd., 2007). Şekil 7'de doğal ve yapay radyasyon kaynakları verilmektedir.



Şekil 7. Doğal ve yapay radyasyon kaynakları

Şekil 8' de doğal radyasyon düzeyini belirleyen etkenler görülmektedir. ^{238}U elementinin bozunma ürünü olan radon (^{222}Rn) gazı olup %55 lik bir oranla en büyük etkiye sahiptir. Kozmik ışınlar %16 ve gama ışınları ise %19 luk oranla önemli yer tutmaktadır. Ayrıca insan vücudun da bulunan bazı radyonüklitler özellikle ^{40}K insan iç ışınlamaya sebep olmaktadır (IAEA, 1996).



Şekil 8. Doğal radyasyon kaynakları

1.6.1. Kozmik Radyasyon Kaynakları

Güneş ve yıldızlardan kaynaklanan yüksek enerjili kozmik ışınlar, daha çok (%93) hızlı protonlardan (hidrojen atomu çekirdeklerinden) ve daha az da (%6,3) alfalardan (helyum atomu çekirdeklerinden) ve bir miktar da trityum (^3H) ve karbon-14 (^{14}C) çekirdeklerinden oluşmaktadırlar (Atakan, 2006). Bu ışınların büyük bir kısmı Dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Tablo 4’de bazı kozmik radyonüklitler verilmektedir (Perkins ve Neilson, 1965). Kozmik radyonüklitler uzun yarı ömürlü olabiliyorlar, ama büyük bir kısmı dünyanın oluşumundan beri var olan Uranyum, Toryum gibi elementlerden daha kısa yarı ömre sahiptirler. 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 elementlerdir (UNSCEAR, 2000).

Tablo 4. Kozmik radyoizotoplar

Radyoizotoplar	Sembol	Yarı ömür	Kaynak	Doğal aktivite
Karbon-14	^{14}C	5730 yıl	Kozmik ışın etkileşimleri $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$	6pCi/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)

1.6.2. Toprakta Bulunan Radyoaktivite

Doğal olarak oluşan ^{238}U ve ^{232}Th serilerindeki radyonüklitler ile ^{40}K çevremizde değişik seviyelerde bulunmaktadır. Bu radyoaktif elementler karasal radyasyonun büyük bir kısmını oluşturmaktadırlar. Bölgenin jeolojik yapısı radyoaktivite düzeyini önemli bir şekilde etkilemektedir. Doğal radyonüklitlerin ana kaynağı toprak ve toprağı oluşturan jeolojik kaya yapıları olup daha çok granit, fosfat, volkanik ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu kayalar zamanla ufalanarak toprağı karışırlar ve topraktaki doğal radyoaktivitenin artmasına sebep olurlar. Dünyanın yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarına rastlanır. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinliğindeki toprak tabakasından kaynaklanmaktadır. Tablo 5’de toprakta bulunan bazı radyoaktif elementlerin miktarı verilmektedir (URL-1). Doğada bulunan bazı diğer radyonüklitler ^{235}U serisi, ^{87}Rb , ^{138}La , ve ^{176}Lu olup insanların maruz kaldığı doza katkıları düşük seviyededir.

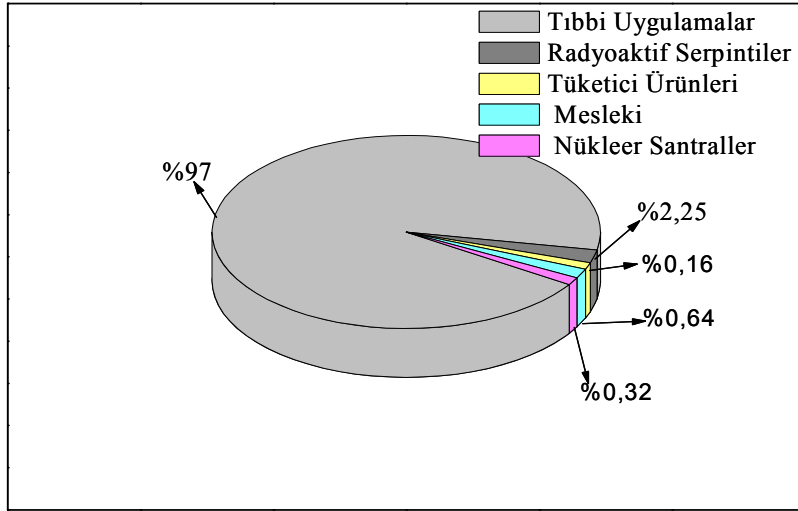
Tablo 5. Toprakta bulunan radyoaktif elementler

Radyoizotoplar	Hesaplama da 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-40	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 (10 kBq/m ³) toprak	11 μg	0,2Ci (7,4 GBq)
		Toplam	>17Ci (>653 GBq)

1.7. Yapay Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyonların yanı sıra, hızla ilerleyen teknolojinin getirdiği insan yapımı (yapay) radyasyon kaynaklarından radyasyona maruz kalınmaktadır. Yapay radyasyon kaynakları da aynen doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına sebep olmaktadır. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarını açısından önemli bir durumdur (TAEK, 2002).

Bazı yapay radyasyon kaynakları Şekil 9’da verilmektedir (IAEA, 1996). Bunlar; tıpta tedavi için uygulanan iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları, nükleer bomba denemelerinden kaynaklanan radyoaktif serpintiler, bilim ve teknoloji uygulamalarında kullanılan iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları, Nükleer Reaktörlerin işletilmesi sırasında ortaya çıkan radyoaktif maddeler gibi. Tablo 6’da bazı yapay radyasyon kaynaklarının elde edilme ve kullanım alanları verilmektedir (URL-1).



Şekil 9. Yapay radyasyon kaynakları

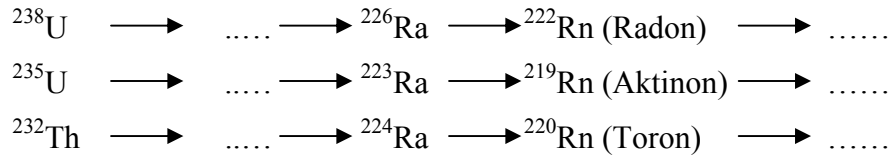
Tablo 6. Bazı yapay radyonüklitler

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

1.8. Radon

Radon, 86 atom numarası ile periyodik cetvel de soygaz sınıfında yer alan ve ^{195}Rn - ^{228}Rn arasında toplam 34 izotopu bulunan kimyasal bir elementtir. Erime noktası $-71\text{ }^\circ\text{C}$, kaynama noktası ise $-61,7\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir (URL-2, 2008). Tatsız, renksiz, kokusuz olup hiçbir bileşik oluşturmayan ve reaksiyona girmeyen tek ve en ağır doğal radyoaktif bir elementtir. Soğuk suda çözünebilmekte, çözünürlüğü artan sıcaklıkla düşmektedir.

Radon; kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Radonun ^{222}Rn (emanon), ^{220}Rn (toron), ^{219}Rn (aktinon) olmak üzere üç izotopu bilinmektedir. Bunlar sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{235}U 'in radyoaktif parçalanma sonucunda oluşmaktadır.



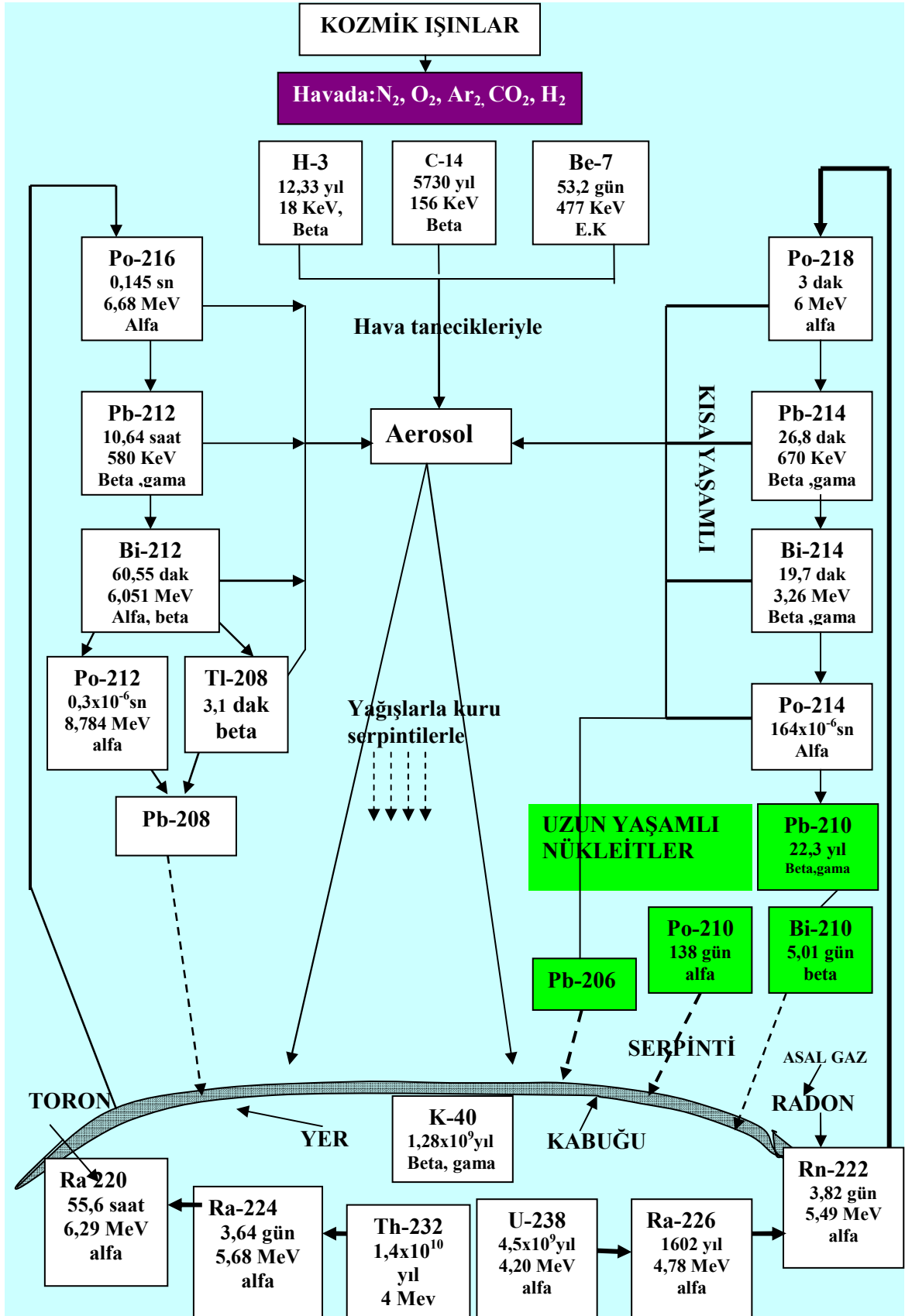
Radonun yarılanma ömrü 3,82 gün, toronun yarılanma ömrü 55,6 saniye ve aktinonun yarı ömrü 3,96 saniyedir. Aktinonun yarı ömrünün çok kısa ve doğal

uranyumdaki $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ oranının 0,00725 gibi çok düşük seviyelerde olması sebebiyle havada oluşturacağı konsantrasyon seviyesi düşük olacaktır (Fişne, 2002; Özbal, 1999).

1.8.1. 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).

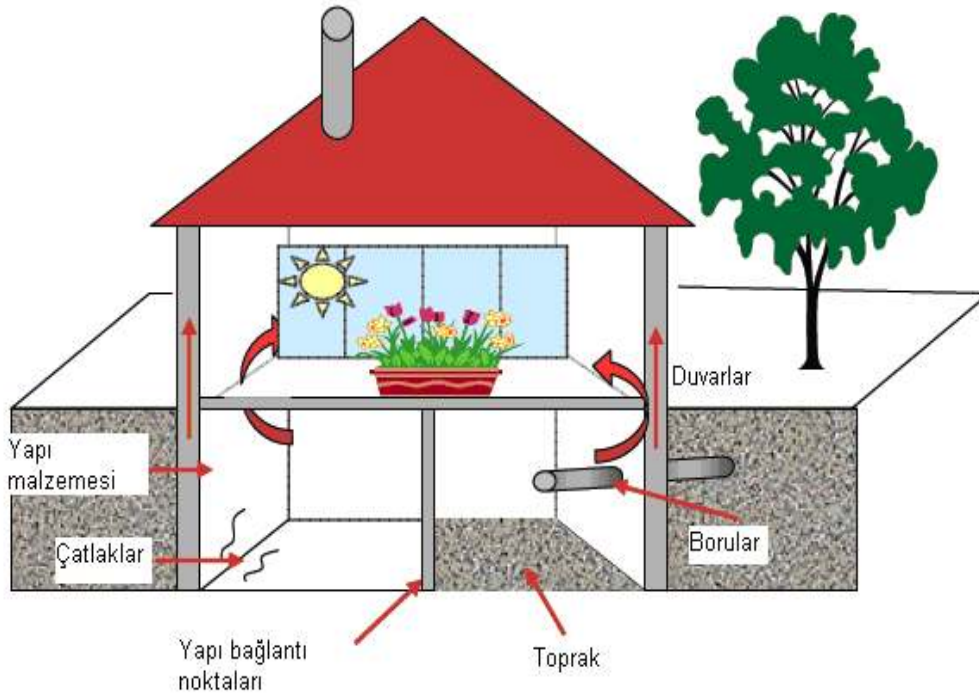
Havada bulunan radon ve toron havadaki taneciklere tutunarak yeryüzüne yağışla ya da kuru serpintilerle inerek besinler yoluyla, ya da doğrudan insanı ışınlamaktadırlar (Atakan, 2006). Şekil 10'da ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktif elementlerinin bozunma ürünlerinin yeryüzüne çıkışı verilmektedir.



Şekil 10. Bozunma ürünlerinin yeryüzüne çıkışı

1.8.2. Binalarda Radon Konsantrasyonu

Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon gazı, toprak boyunca yükselerek, binanın altında hapsolmakta ve basınç oluşturmaktadır. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, özellikle zemindeki çatlak ve boşluklardan, yapı bağlantı noktalarından, duvardaki çatlaklarından, asma kat boşluklarından, tesisat boşluklarından, ev içerisindeki havaya karışmaktadır. Ayrıca bina yapımında kullanılan çeşitli yapı malzemelerinde radonun kaynağı olan radyum (^{226}Ra) radyoizotopu bulunmaktadır. Tuğla, seramik, mermer, çimento ve kiremit gibi bazı yapı malzemelerinde bulunan radyum elementi ev içi radon konsantrasyonunu etkilemektedir (Krstic vd., 2007). Ayrıca radon konsantrasyonu oturlan evin yerden yüksekliğine ve aynı kat içerisindeki odalarda bile değişiklik göstermektedir (Papaefthymiou vd., 2003). Şekil 11’de radonun evlere giriş yolları verilmektedir.



Şekil 11. Radonun evlere giriş yolları

1.8.3. Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi

Ev içi radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi başta bölgenin jeolojik ve meteorolojik şartlarına, ev karakteristiğine ve evde yaşayanların alışkanlıklarına bağlı olarak değişmektedir. Birçok evde ev içi radon konsantrasyonunda mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir. Kışın maksimum seviyelerde bulunurken yazın daha düşük seviyelerde bulunmaktadır (Çelik vd., 2008; Majborn vd., 1992; Papaefthymiou vd., 2003).

1.8.4. Radon Gazının İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Radon bir seri bozunma ile yine radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünleri üretir. Bu bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Bu radyoaktif maddeler Po, Bi ve Pb elementlerinin radyoizotoplarıdır. Bu ürünlerin radondan farkı gaz halinde olmamalarıdır. Bu izotoplar havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturmakta veya havadaki toz parçacıklarına tutunmakta ve solunum yoluyla akciğerlere alınmaktadırlar (UNSCEAR, 2000). Solunum sisteminde ortaya çıkan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam etmekte ve bu sürecin her aşamasında radyasyona maruz kalınmaktadır. Bu ise, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olabilmektedir (Matiullah vd., 2003). Solunum sistemindeki radyasyon dozu; solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünleri konsantrasyonuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır.

1.9. Artvin ve Ardahan İllerinin Jeolojik Yapısı

Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Artvin ili ile Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Ardahan illeri MTA haritalarında ayrı paftalar üzerinde olduğundan haritalar birleştirilmiştir. Şekil 13'de bölgenin jeolojik haritası verilmiştir (MTA, 1961). Batıda Rize, güneyde Kars ve Erzurum kuzeyde Gürcistan ile sınırı bulunmaktadır. Bölge rölyefi çok engebelidir. 1600-3300 metreler arasında değişen büyük yükseklikler ve yaylalar bulunmaktadır. Ortalama yükseklik 2000 metredir. Batıda Karadeniz sahil silsilelerinin en yüksek dağı olan Kaçkar dağları 3348 ve 3977 m gibi gölgenin en yüksek zirvelerini

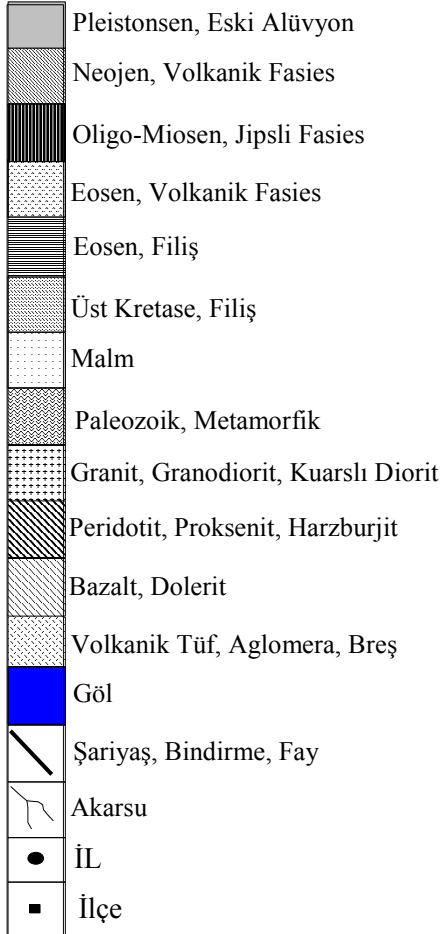
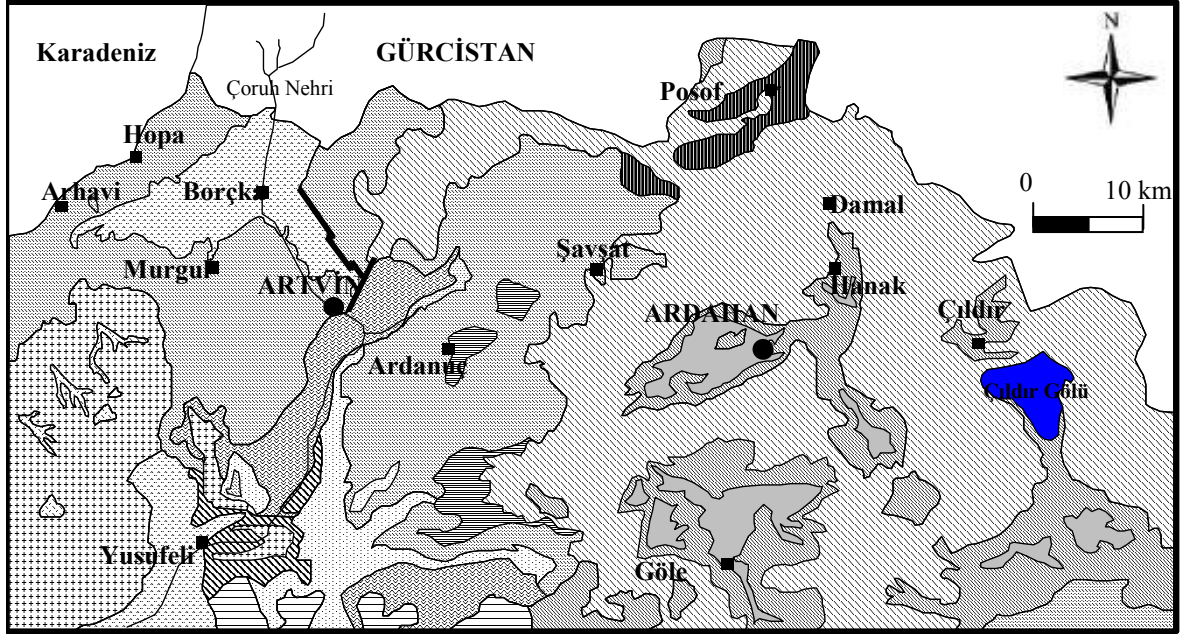
kapsar. Civarlarına göre dik haşın yamaçlı olan bu yükselti genel olarak volkan konisi ve kraterlerine aittir.

Jeolojik özelliklere bakıldığında tabandan tavana doğru Paleozoik metamorfikleri, Jura yaşlı kayaçları, Kretase volkanik ve proklastitleri, Eosen birimleri, Miyosen çökelleri, Neojen volkanizması ve Quaternar yaşlı çökellerden oluşmaktadır.

Ayrıntıya girildiğinde, çalışma alanında taban kayaçlarını Paleozoik yaşlı metamorfik kayaçlar oluşturur. Bunların üzerine diskordens olarak Jura yaşlı kayaçlar gelmektedir. Bunlar taban da daha çok volkanojenik karakterde olmasına karşın üst kesimlere doğru killi kireçtaşları en üste ise Malm yaşlı beyaz katmanlı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bunlar genellikle diskordens olarak Üst Kretase yaşlı birimler üstler bunlar tabanda daha çok volkaniklerle temsil edilirler, dasit ve bunlara ait proklastitleri ince bir kırmızı kireçtaşı seviyesi üstler daha üste doğru bazalt, andezit ve proklastitleri bulunur. Üst Kretase'nin en üst kesimini ise volkano sedimenter seri üstler. Eosen diskordens olarak Kretase üzerine gelir. Kuzeyde andezitik volkaniklerle temsil edilirken güneyde Yusufeli civarında Flis fasiyesindedir. Miyosen yaşlı istifler ise acı-tuzlu göl fasiyesinde olup daha çok Jipsli seviyelerden oluşan alacalı seri niteliğindedir. Neojen ise geniş alanları kaplayan volkanik kayaçlardan oluşmakta olup daha çok andezit ve bazalt ile bunlara ait proklastitler ile yer yer gölsel sedimenter kayaçlardan oluşmaktadır. En genç birim ise Quaternar yaşlı alüvyonlardan oluşmakta ve bunlar taraçalar ve nehir yataklarında izlenirler. Şekil 12'de çalışma bölgesi verilmektedir.



Şekil 12. Çalışma Bölgesi



Şekil 13. Artvin ve Ardahan illerinin jeolojik haritası

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. CR-39 Radon Dedektörü

Yapılan çalışmada CR-39 (allil diglikol karbonat) pasif nükleer iz detektörleri kullanılmıştır. Bu dedektörler RadoSys şirketi tarafından üretilmektedir. CR-39 radon dedektörü Şekil 14’de verilmektedir. 35x55 mm silindirik şekilde olup dedektör çipi plastik kutunun alt tarafında yüzey alanı 10x10 mm ve kalınlığı 1 mm dir. Dedektörün yüzeyi polypropylene madde ile kaplanmıştır. Polypropylene madde alfa parçacıklarına duyarlı olup, ^{220}Rn (Toron) ve toz parçacıklarının girmesini engellemektedir. Sadece radon gazı dedektörün içerisine difüzyon yoluyla girmektedir. Radonun bozunması sonucu oluşan alfa parçacıkları dedektörün içindeki çipin üzerine izler bırakmaktadır. CR-39 radon dedektörleri kullanılarak aynı anda birçok evde radon konsantrasyonu ölçümü yapılabilmektedir.



Şekil 14. CR-39 Dedektörü ve iç kısmı

2.1.1. Detektörlerin Analizi

Üç aylık radona maruz kalan dedektörlerin analizleri ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) de yapılmıştır. RadoSys otomatik iz sayım sistemi kullanılmıştır. RadoSys sistemi bilgisayara bağlı gelişmiş bir optik mikroskop, banyo ünitesi ve radon dedektörlerinden oluşmaktadır.

2.1.1.1. Dedektörlerin Analize Hazırlanışı

Dedektör çipleri plastik kutuların içinden dikkatlice çıkarılıp her biri Şekil 15'deki gibi slaytlara yerleştirilmiştir. Her bir slayt 12 tane dedektör çipi almaktadır. Daha sonra banyo (kimyasal iz kazımı) işlemi yapılmıştır.



Şekil 15. Dedektör çipi ve kazıma diski

Radona maruz kalan CR-39 plastik dedektörleri üzerinde oluşan alfa izlerinin görünür hale getirilmesi için kimyasal iz kazıma yöntemi kullanılmıştır. Kazıma diskine 36 tane slayt takılabilmektedir. Bu aynı anda 432 tane dedektör çipinin banyo yapılmasını sağlamaktadır. Şekil 16'da banyo işlemi için banyo kabı verilmektedir.



Şekil 16. Banyo kabı ve plastik kaşık ile çözeltinin banyo kabına dökülmesi

Banyo kabının içine 4 litre saf su konup kapağı kapatılmıştır. Banyo kabının ısıtıcısı ve karıştırıcı motoru çalıştırılmış ve suyun sıcaklığı 60 °C çıkıncaya kadar beklenmiştir. Üzerine takılan huni sayesinde 1 kg'lık NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi kaşıkla (her kaşık yaklaşık 10 gr almaktadır) banyo kabına 1'er dakikalık ara ile dökülmüştür. Bu işlem bittikten sonra içerisindeki karıştırıcı çıkarılarak çiplerin takılı olduğu kazıma diski yerleştirilip 4 saat yıkama işlemine bırakılmıştır. Daha sonra içerisindeki asitli su başka bir kaba boşaltılarak 4 litre sirkeli su ile 1–2 dakika yıkama yapılmıştır. Tekrar bu sirkeli su boşaltılarak 4 litre saf su konup 1–2 dakika yıkama yapılmıştır. Kazıma diski çıkarılarak kuruması sağlanmış bilgisayarla ölçüm için hazır hale gelmiştir.

2.1.1.2. Bilgisayarda Ölçüm İşlemi

Bilgisayarda yazılım olarak Linux işletim sistemi kullanılmaktadır. Her bir slayt sayım ünitesine yerleştirerek okutma işlemi yapılmıştır. Optik mikroskop, (200x) CR-39 dedektöründe cm^2 başına düşen alfa izlerinin yoğunluğu saymıştır. Şekil 17'de alfa izlerinin dedektör çipi üzerine bıraktığı izler görülmektedir. Daha sonra her bir dedektörün dağıtılış ve toplanış tarihleri girilerek bilgisayarda kayıtlı olan sistem sayesinde aktiviteler Bq/m^3 cinsinden bulunmuştur.



Şekil 17. Radosys ölçüm sistemi

2.1.2. Dedektörlerin Evlere Dağıtımı

Her iki ilde de dedektörlerin dağıtımına Mart 2007 başlanmıştır. Radon dedektörleri her mevsim evlerde üç ay kalmıştır. Mart 2008 de çalışma tamamlanmıştır. Artvin iline 73 tane Ardahan iline ise 48 tane dedektör dağıtılmıştır. Dedektörler dağıtılırken genel nüfus göz önüne alınarak dağıtım yapılmıştır.

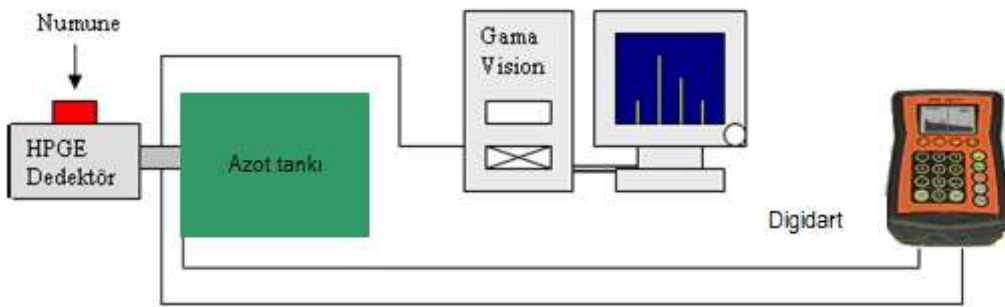
2.2. Toprak Numunelerinin Gama Spektroskopik Analizi

2.2.1. Toprak Numunelerin Alınması

Toprak numuneleri radon dedektörlerinin dağıtıldığı evlerin yakınılarından alınmıştır. Topraklar açık alanda bölgeyi tanımlayan ve işlenmemiş toprağın 10–20 cm alt kısmından 1–1,5 kg alınıp temiz naylon torbalara konulup etiketlenmiştir. Laboratuarda 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 20000 saniye sayım yapılmıştır.

2.2.2. Deneysel Sistem

2.2.2.1. HPGe Dedektörü



Şekil 18. Deneysel Sistem

Toprak numunelerinin gama spektroskopik analizi HPGe dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Bu dedektör Ortec GEM55P4 Model HPGe Dedektörü olup özden yarıiletken prensibine göre çalışan yarıiletken kristalden oluşmaktadır. Özden yarıiletken, içerisine yapay safsızlıkların bulunmadığı bir çeşit yarıiletkendir. HPGe dedektör'de cm^3 de

yaklaşık olarak 10^{10} safsızlık atomu vardır. Özden yarıiletkenler için elektron ve delik oranı yaklaşık 1'dir.

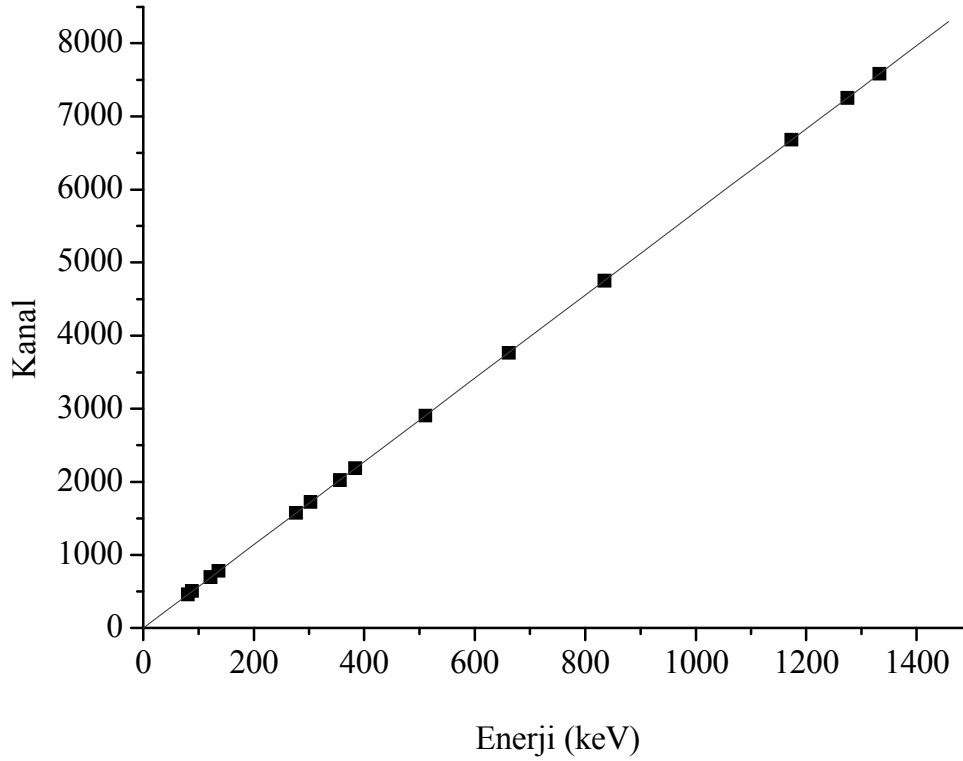
HPGe dedektörünün çalıştırılırken karakteristik özelliği gereğince yarıiletken kristal düşük sıcaklıklarda tutulmaktadır. Çünkü düşük sıcaklıklarda tutulursa termal gürültü azalmakta bu da piklerin düzgün oluşmasına neden olmaktadır. HPGe dedektörü %55 relatif verime sahip olup 1700 voltta çalışmaktadır. Enerji rezölasyonu (FWHM) Co-60 kaynağı için 1332 keV de 1,9 keV'dir. Şekil 18'de deneysel sistem verilmekte olup, Önyükseltici, Yüksek voltaj kaynağı, Analog dijital dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) bir sistemde bulunup aynı zamanda dedektörün portatif olarak kullanılmasına imkan vermektedir. Alınan ölçümler Genie-2000 yazılım programı kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2.2.2. Enerji Kalibrasyonu

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumların analiz edilebilmeleri için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir. Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart bir kaynağa (kaynaklara) ihtiyaç vardır. Enerji 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 kullanıldı. Tablo 7'de kalibrasyon için kullanılan standart kaynaklara ait bilgiler verilmektedir. Şekil 19'da bu kaynaklarla yapılan enerji kanal grafiği oluşturulmuş ve Şekil 20'de de verim eğrisi çizilmiştir.

Tablo 7. Enerji kalibrasyonunda kullanılan kaynaklar ve özellikleri

İzotoplar	Enerji (keV)	Yarı-ömür (gün)	Bolluk (%)
¹³³ Ba	81	3830	33
¹⁰⁹ Cd	88	464	3,72
⁵⁷ Co	122,1	271	86
⁵⁷ Co	136,5	271	11
¹³³ Ba	276,4	3830	6,9
¹³³ Ba	302,8	3830	19
¹³³ Ba	356	3830	62
¹³³ Ba	383,8	3830	8,7
²² Na	511	946	180
¹³⁷ Cs	661,6	11022	85
⁵⁴ Mn	834,8	313	100
⁶⁰ Co	1173,2	1922	100
²² Na	1274,5	946	100
⁶⁰ Co	1332,5	1922	100



Şekil 19. Enerjinin kanallara göre değişimi

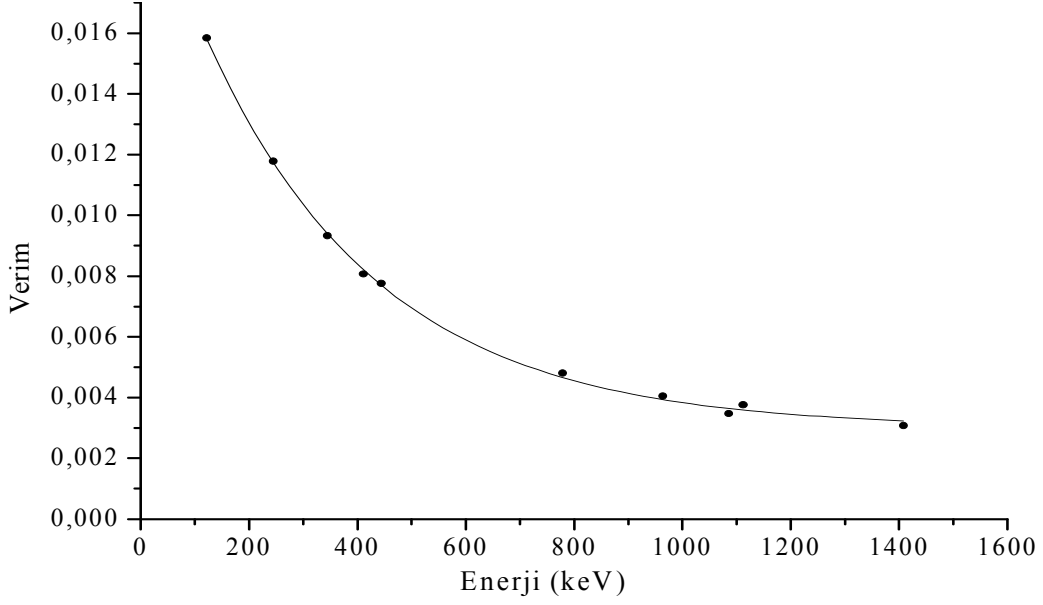
2.2.2.3. Verim Kalibrasyonu

Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Dedektörün saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Verim tayini için genelde standart kaynaklar kullanılır. Tablo 8’de dedektörün verim kalibrasyonu için kullanılan Eu-152 (Europium) radyoaktif kaynağına ait özellikler verilmiştir. Kaynağın şekli farklı olduğunda, kaynak homojen olarak foton yayınlamayacağından bu durum dedektör verimini etkiler. Bunun için kaynağın en çok fotonları yaydığı bölgesi dedektörün ortasına gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir.

Bir dedektörün bir enerjideki verimi, dedektörden sabit uzaklıkta bulunan standart kaynaktan birim zamanda dedektöre gelen ve sayılan fotonların sayısını bilmekle tayin edilir.

Tablo 8. Europium kaynağının enerji değerleri ve bozunma olasılığı

E (keV)	Bozunma Olasılığı (%)
121,8	28,4
244,7	7,49
344,3	26,6
411,1	2,23
444	2,82
778,9	13
964,1	14,6
1085,8	10,21
1112,1	13,6
1408	20,8



Şekil 20. Enerji – verim eğrisi

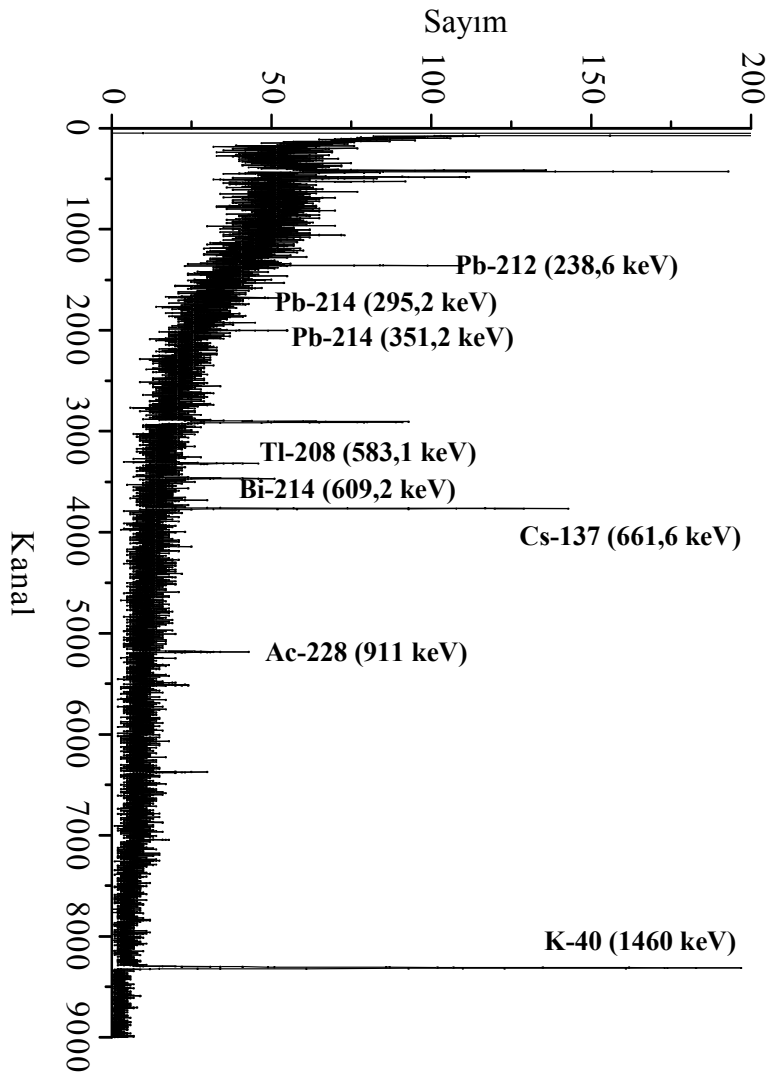
2.2.3. Spektrum Analizi

2.2.3.1. Pikleri Belirleme ve Değerlendirme

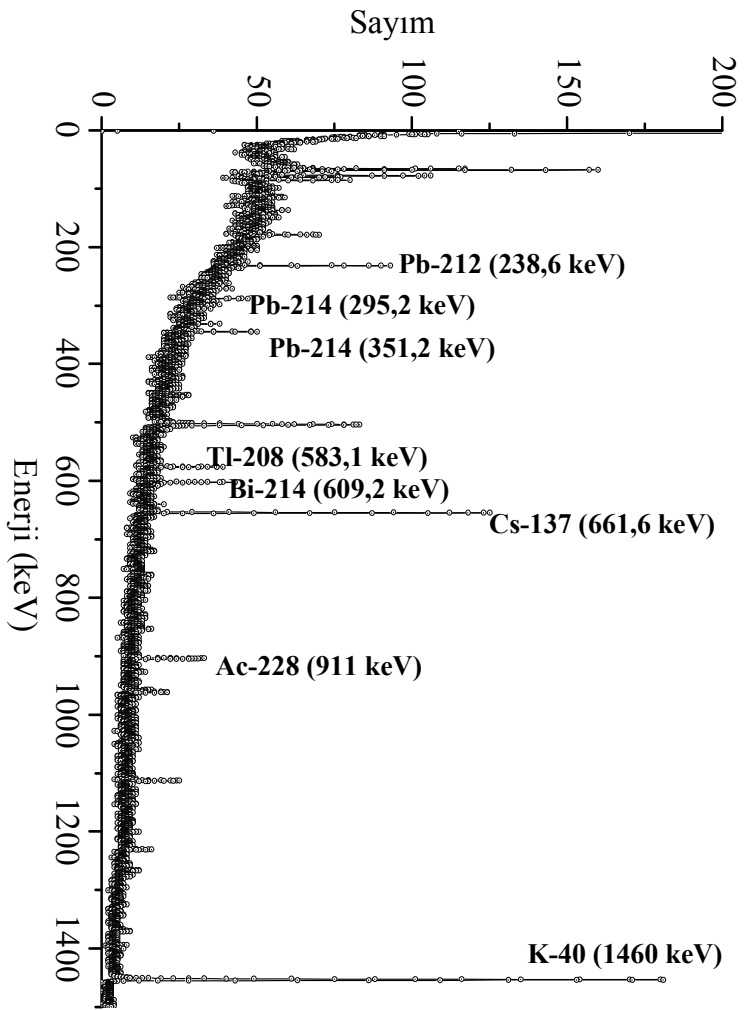
Spektrumdaki ^{238}U bozunma ürünü olan Pb-214 (295,2 keV), Pb-214 (351,9 keV), Bi-214 (609,3 keV) enerjilerindeki alanlar, ^{232}Th serisinin bozunma ürünü olan Pb-212 (238,6 keV), Tl-208 (583,2 keV) ve Ac-228 (911,2 keV) enerjilerindeki alanlar, K-40 (1460,8 keV) ve Cs-137 (661,6 keV) enerjilerindeki alanlar alınmıştır. Tablo 9’da bu radyonüklitlerin bozunma olasılıkları verilmektedir. Her bir pik için en küçük hataya sahip net alanı verecek pik alanları alınmıştır. Şekil 21 ve 22’de örnek olarak, Artvin ilinden alınan bir toprak numunesinin aktivitesi hesaplanırken alınan pikler bulunmaktadır.

Tablo 9. 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 21. Artvin ili örnek toprak numunesi için kanal-sayım



Şekil 22. Artvin ili örnek toprak numunesi için enerji-sayım

2.2.3.2. Aktivite 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,

$$A = \frac{s}{(\%Bolluk) * w * t * \varepsilon} \quad (27)$$

Burada A (Bq.kg⁻¹) aktivite, s net alan, w kg olarak numune miktarı, t sayım süresi ve ε verim'dir.

3. BULGULAR

Artvin ve Ardahan illeri evlerde radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimini ve topraktaki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivitelerini belirlemeye yönelik yapılan bu çalışmada bulunan sonuçlar alt başlıklar halinde verilmiştir. Bölgelerin radon konsantrasyonu ve aktivite değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, insanların hem radondan hem de topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kaldıkları etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır.

3.1. Artvin İli Radyoaktivite Düzeyi

Artvin’de merkez ve 7 ilçede evlere dağıtılan radon dedektörlerinin mevsimsel ve yıllık ortalama konsantrasyon değerleri Tablo 10’da verilmektedir.

3.1.1. Radon Konsantrasyonu

Tablo 10. Artvin ili radon konsantrasyon değerleri

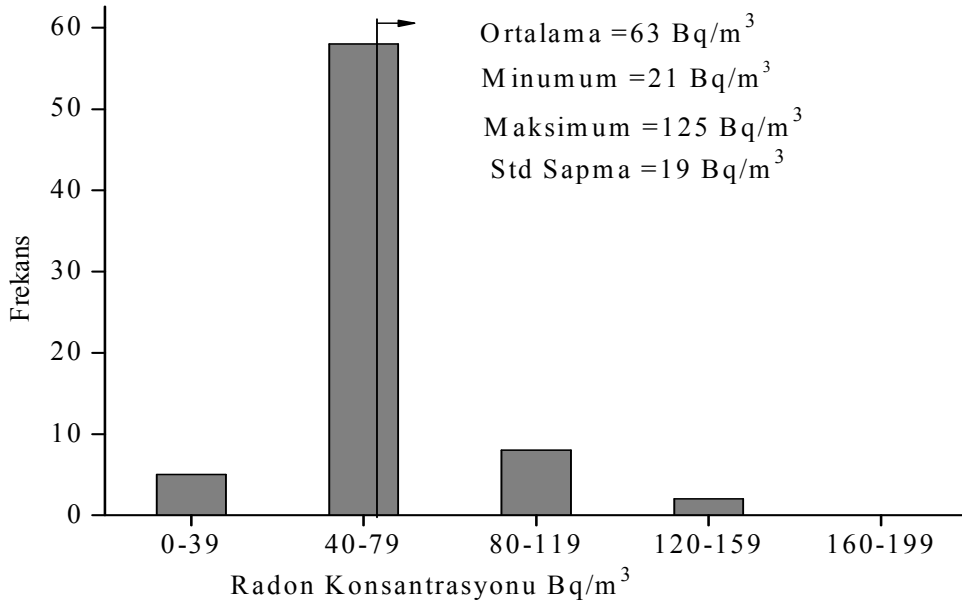
ARTVİN		Konsantrasyon (Bq/m ³)				Yıllık Ortalama
		Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	
Merkez	Minimum	36	71	118	55	130
	Maksimum	77	152	299	236	
	Ortalama	59	119	195	148	
	Std Sapma	14	24	50	48	
Ardanuç	Minimum	21	115	190	43	131
	Maksimum	72	133	254	162	
	Ortalama	55	128	217	125	
	Std Sapma	23	9	27	56	
Arhavi	Minimum	56	111	183	136	137
	Maksimum	71	141	232	172	
	Ortalama	63	125	206	153	
	Std Sapma	6	12	20	14	
Borçka	Minimum	62	123	165	108	151
	Maksimum	98	164	321	237	
	Ortalama	74	135	227	168	
	Std Sapma	12	14	46	36	
Hopa	Minimum	47	93	154	114	139
	Maksimum	122	162	268	202	
	Ortalama	71	121	204	161	
	Std Sapma	20	18	29	26	

Tablo 10'un devamı

Murgul	Minimum	48	95	157	101	129
	Maksimum	88	174	288	213	
	Ortalama	62	119	195	139	
	Std Sapma	15	24	38	30	
Şavşat	Minimum	28	55	92	68	91
	Maksimum	68	135	222	165	
	Ortalama	42	83	137	101	
	Std Sapma	15	30	49	37	
Yusufeli	Minimum	44	87	144	106	134
	Maksimum	125	125	309	303	
	Ortalama	69	110	199	155	
	Std Sapma	27	14	49	62	
Minimum		21	55	92	43	132
Maksimum		125	174	321	303	
Ortalama		63	118	198	147	
Std Sapma		19	23	45	42	

3.1.1.1. Yaz Dönemi

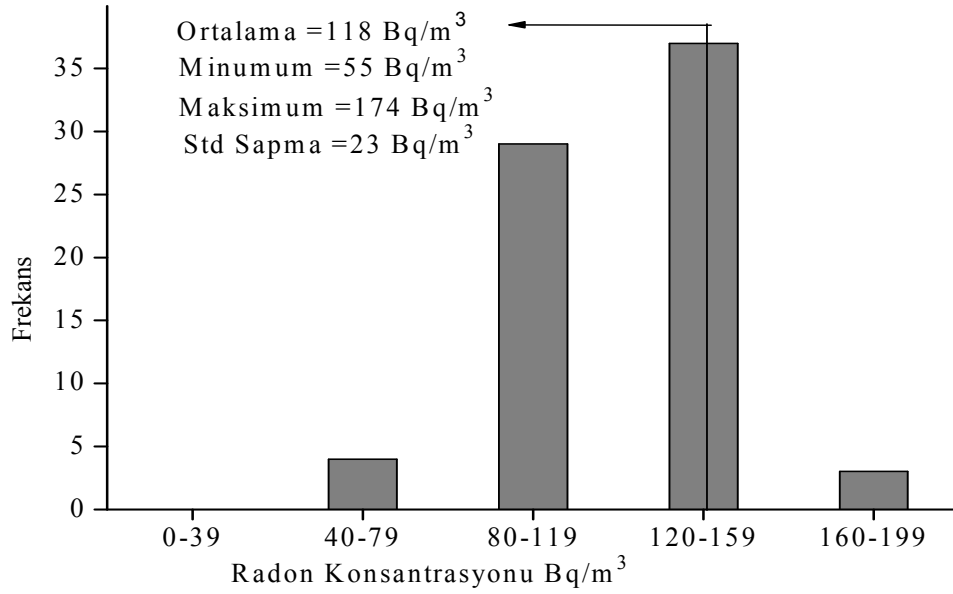
Yaz döneminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 21 Bq/m³, maksimum değeri 125 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 63 Bq/m³ olarak belirlenmiştir ve standart sapma değeri 19 Bq/m³'tür. Yaz dönemi radon konsantrasyonunun ortalama değişim aralığını belirlemek için de frekans dağılımı grafiği oluşturulmuş ve Şekil 23'de verilmiştir.



Şekil 23. Artvin ili yaz dönemi radon konsantrasyonu

3.1.1.2. Sonbahar Dönemi

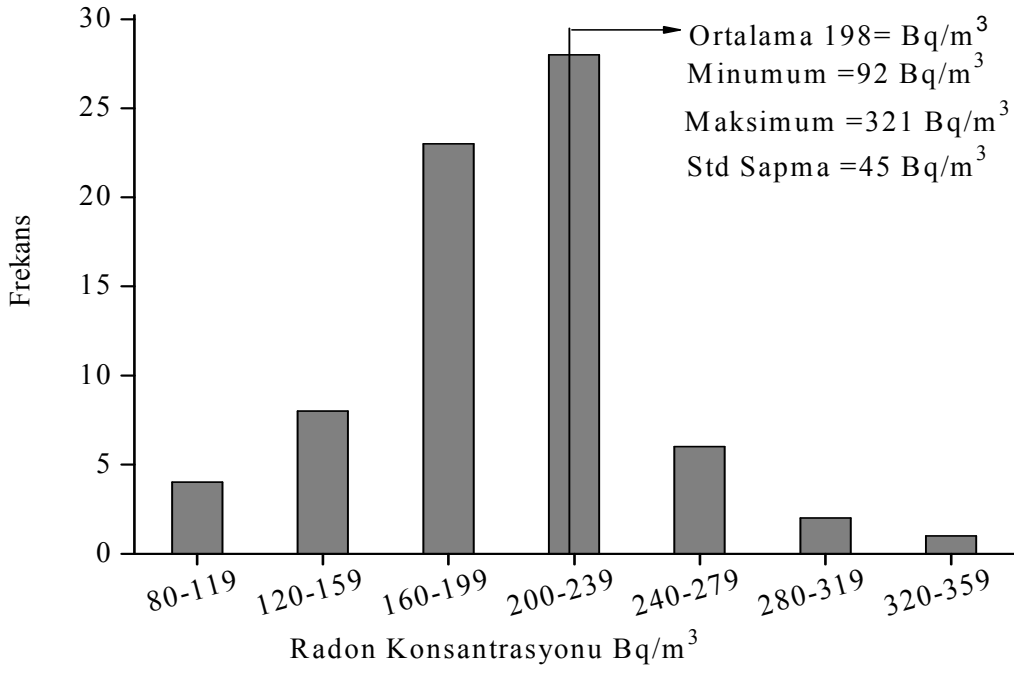
Sonbahar döneminde evlerdeki radon konsantrasyonuna ait frekans dağılımı Şekil 24'de verilmektedir. Bu döneme ait minimum radon konsantrasyon değeri 55 Bq/m^3 , maksimum radon konsantrasyon değeri 174 Bq/m^3 , ortalama radon konsantrasyon değeri ise 118 Bq/m^3 olup standart sapma değeri 23 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 24. Artvin ili sonbahar dönemi radon konsantrasyonu

3.1.1.3. Kış Dönemi

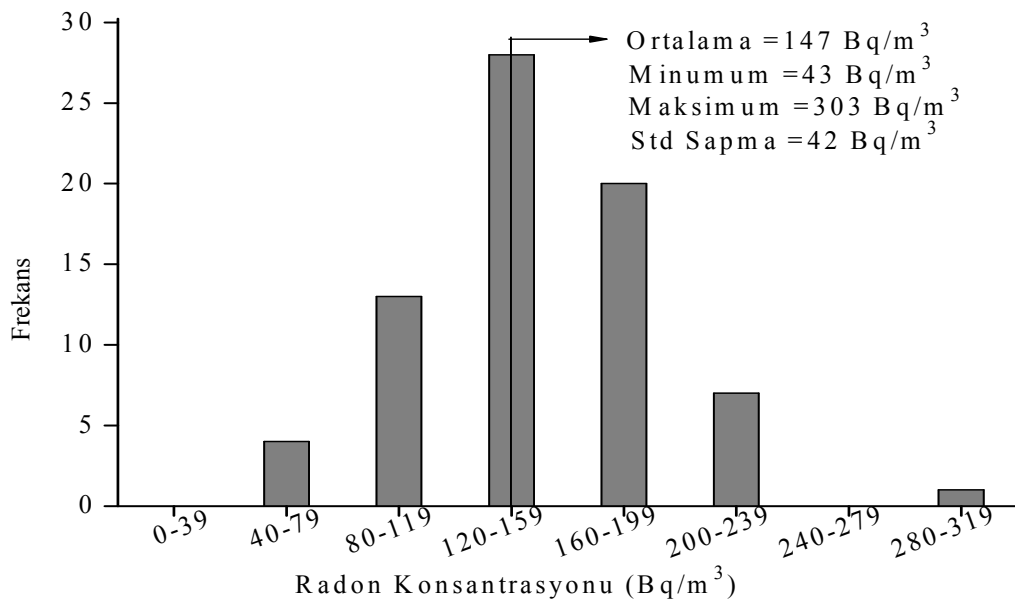
Kış mevsiminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 92 Bq/m^3 , maksimum değeri 321 Bq/m^3 , ortalama değeri ise 198 Bq/m^3 , standart sapma değeri 45 Bq/m^3 olup Şekil 25'de frekans dağılımı verilmektedir. Kış dönemindeki konsantrasyon değeri sonbahar dönemine göre artmıştır.



Şekil 25. Artvin ili kış dönemi radon konsantrasyonu

3.1.1.4. İlkbahar Dönemi

İlkbahar mevsiminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 43 Bq/m³, maksimum değeri 303 Bq/m³, ortalama değeri ise 147 Bq/m³, standart sapma değeri ise 42 Bq/m³ olup Şekil 26'da frekans dağılımı verilmektedir. İlkbahar dönemindeki konsantrasyon değeri kış dönemine göre azalmıştır.



Şekil 26. Artvin ili ilkbahar dönemi radon konsantrasyonu

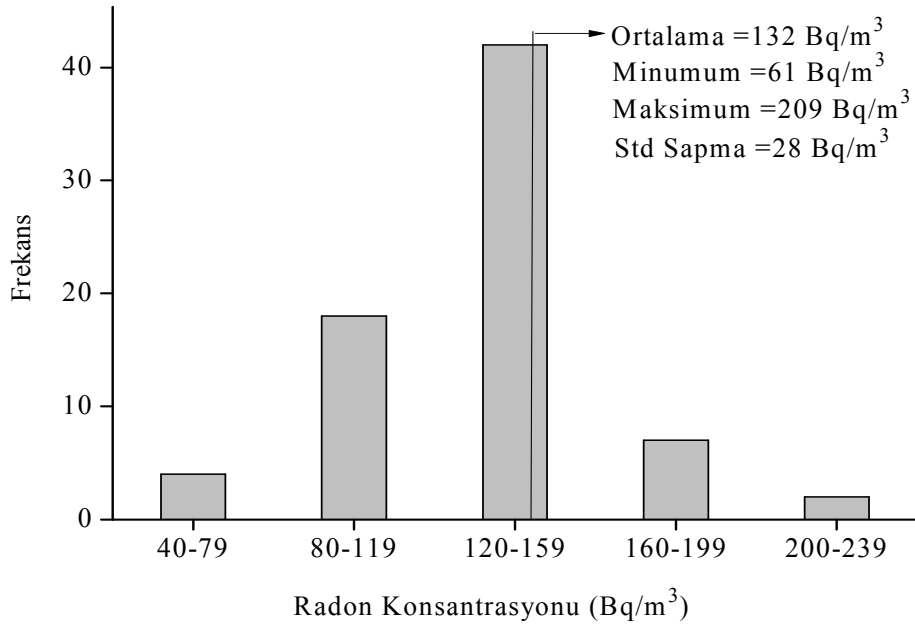
3.1.1.5. Radon Konsantrasyonunun Yıllık Ortalama Değişimi

Radon konsantrasyonunun yıllık ortalama değeri hesaplanırken denk (28) kullanılmıştır. Yıllık ortalama radon konsantrasyonunun değeri 132 Bq/m^3 olup standart sapma değeri ise 28 Bq/m^3 'tür. Şekil 27'de frekans dağılımı verilmektedir.

$$K_{\text{yıllık-ort}} = (K_{\text{Haziran-Ağustos}} * N_{\text{Haziran-Ağustos}} + K_{\text{Eylül-Kasım}} * N_{\text{Eylül-Kasım}} + K_{\text{Aralık-Şubat}} * N_{\text{Aralık-Şubat}} + K_{\text{Mart-Mayıs}} * N_{\text{Mart-Mayıs}}) / 365 \text{ gün} \quad (28)$$

K : Konsantrasyon (Bq/m^3)

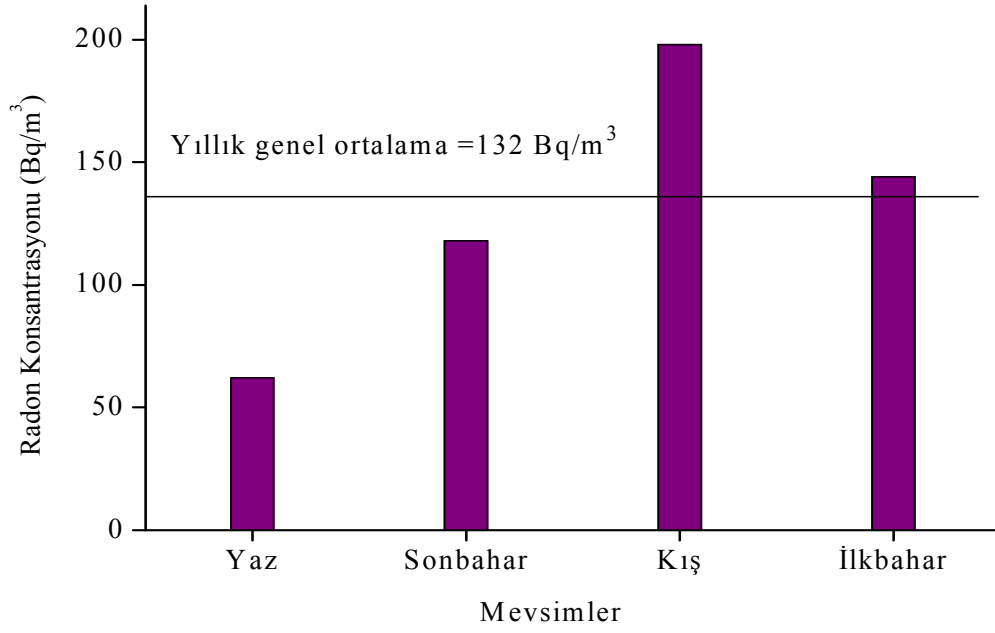
N : Dedektörlerin evde kalma süresi (gün)



Şekil 27. Artvin ili yıllık ortalama radon konsantrasyonu

3.1.1.6. Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi

Radon konsantrasyonunun mevsimler arasındaki değişimini daha iyi belirlemek için Şekil 28'deki grafik oluşturulmuştur. Ayrıca SPSS programında istatistik analiz yapılmış ve mevsimler arasındaki radon konsantrasyon ilişkilerini belirlemek için Pearson korelasyonu uygulanmış ve sonuçları Tablo 11'de verilmektedir. Buna göre en iyi ilişki pozitif yönde 0,821 korelasyonu ile sonbahar-kış mevsimleri arasında, en düşük ilişki ise yaz-sonbahar mevsimleri arasında görülmektedir.



Şekil 28. Artvin ili mevsimsel radon konsantrasyonu

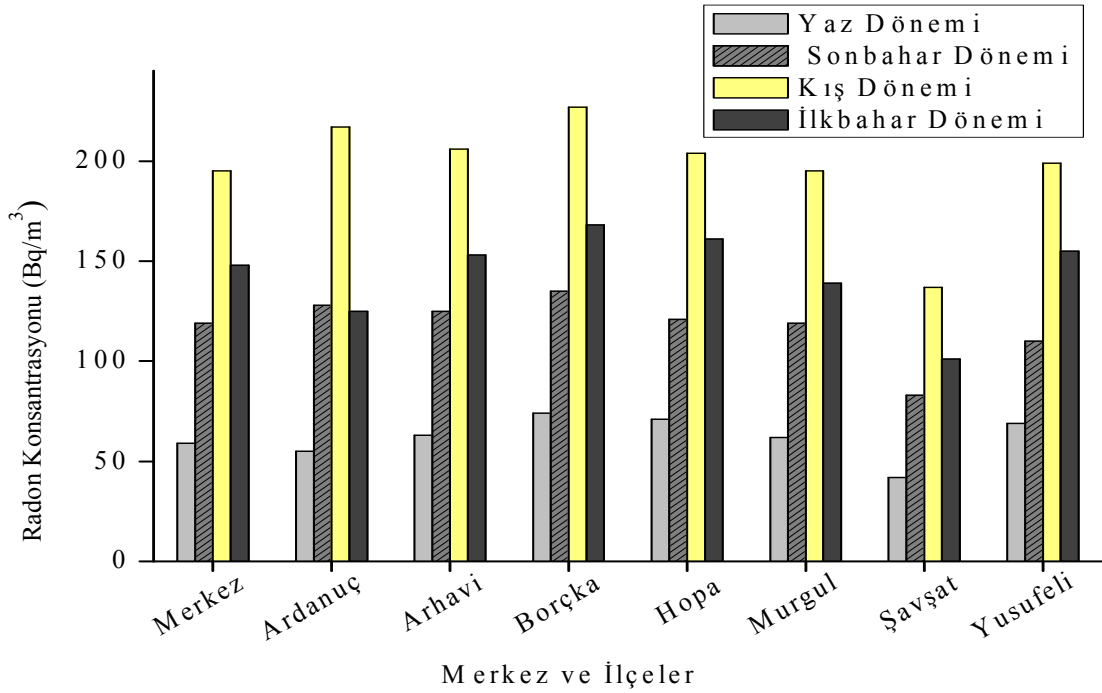
Tablo 11. Artvin ili radon konsantrasyonu için pearson korelasyonu

ARTVİN		Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
Yaz	Pearson korelasyonu	1	,537(**)	,613(**)	,782(**)
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000
	N		73	73	73
Sonbahar	Pearson korelasyonu		1	,821(**)	,544(**)
	Sig. (2-tailed)			,000	,000
	N			73	73
Kış	Pearson korelasyonu			1	,690(**)
	Sig. (2-tailed)				,000
	N				73
İlkbahar	Pearson korelasyonu				1
	Sig. (2-tailed)				
	N				

**p <0,01 korelasyon sınırı önem değeridir.

3.1.1.7. Radon Konsantrasyonunun Merkez ve İlçelere göre Mevsimsel Değişimi

Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelerdeki değişimi bakıldığında her bir ilçe kendi içinde normal dağılım oluşturmakta ve minimum değerler yaz mevsiminde, maksimum değerler ise kış mevsiminde ortaya çıkmaktadır. Yaz dönemi radon konsantrasyonu diğer mevsimlere oranla düşük çıkmaktadır. Şekil 29'da tüm mevsimlerin değerleri merkez ve ilçelere göre verilmektedir.



Şekil 29. Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelere göre mevsimsel değişimi

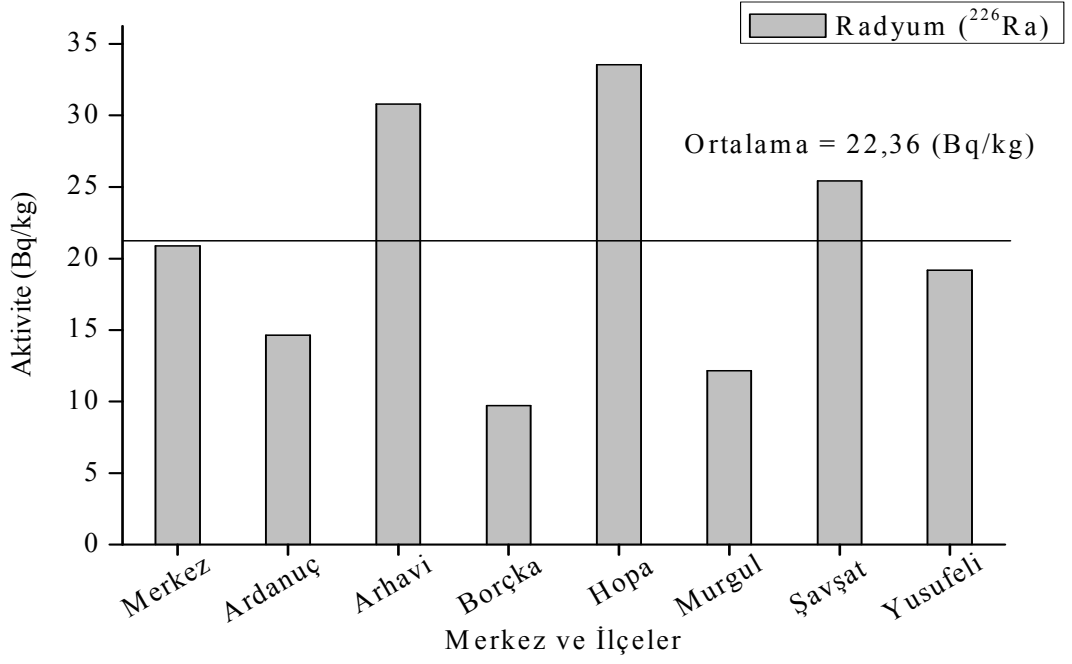
3.1.2. Gama Spektroskopik Analiz Sonuçları

Gama spektroskopik analizi için alınan toprak numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K doğal radyoaktif elementleri ile ^{137}Cs yapay radyoaktif elementinin ilçelere göre aktiviteleri Tablo 12'de verilmektedir. Toprak numunelerinin ortalama ^{226}Ra aktivitesi 22,35 Bq/kg olarak hesaplanmış ve en düşük aktivite değeri 3,45 Bq/kg, en yüksek aktivite değeri ise 79,29 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ortalama ^{232}Th aktivitesi 20,07 Bq/kg olup minimum değeri 5,02 Bq/kg, maksimum değeri ise 62,49 Bq/kg dır. Ortalama ^{40}K aktivitesi 357,51 Bq/kg olup minimum değeri 103,72 Bq/kg, maksimum değeri ise 1011 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Alınan toprak numunelerinden 6 tanesi dışında ^{137}Cs yapay radyoaktif elementine rastlanmıştır ve ortalama değeri 53,69 Bq/kg olup minimum

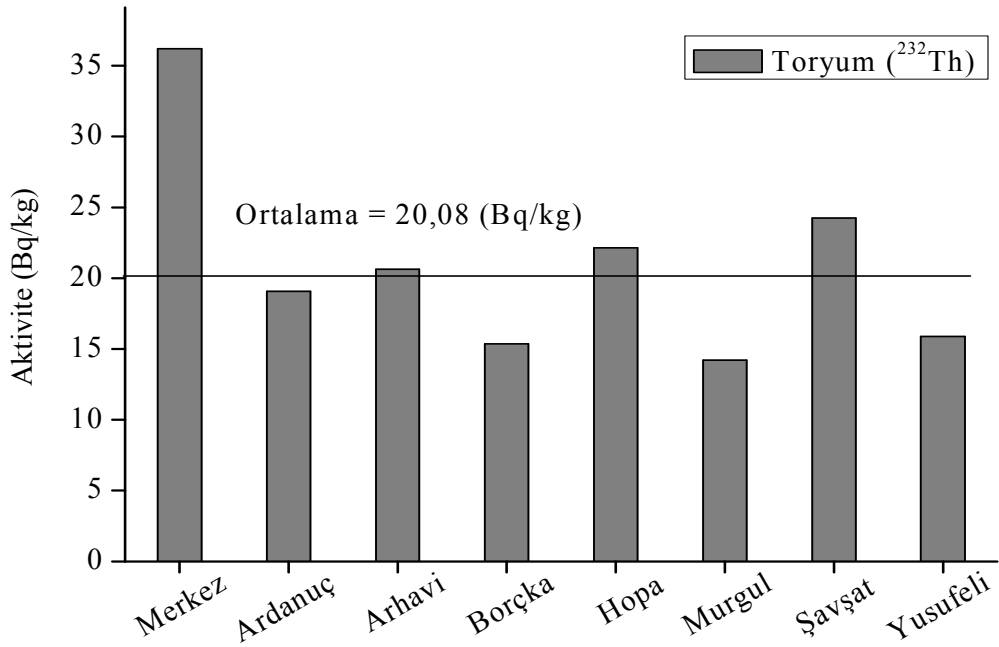
değeri 4,46 Bq/kg maksimum değeri ise 343,55 Bq/kg olarak bulunmuştur. İlçeler arasında Sezyum aktivitelerine bakıldığında en yüksek değer Hopa ve Arhavi'de görülmüştür. Şekil 30, 31, 32 ve 33'de merkez ve ilçeler arasındaki ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktiviteleri grafikler halinde verilmiştir.

Tablo 12. Artvin ili ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerleri

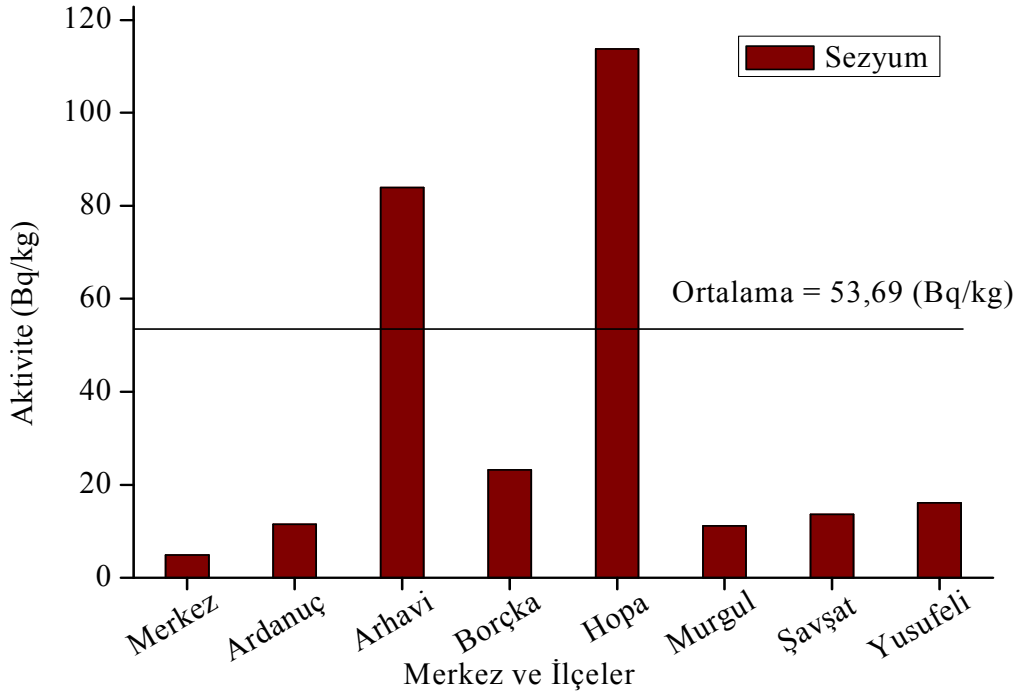
ARTVİN	Aktivite (Bq/kg)				
		^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K
Merkez	Ortalama	20,88	36,22	4,89	561,43
	Std Sapma	14,30	22,36	0,10	173,98
	Minimum	7,26	8,09	4,82	412,95
	Maksimum	35,09	62,49	4,96	811,53
Ardanuç	Ortalama	14,64	19,07	11,45	431,92
	Std Sapma	1,32	4,24	4,24	112,53
	Minimum	12,99	15,03	6,03	307,19
	Maksimum	15,94	23,27	15,11	580,49
Arhavi	Ortalama	30,78	20,63	83,98	407,45
	Std Sapma	16,31	12,63	92,12	133,15
	Minimum	9,93	6,92	7,21	193,78
	Maksimum	56,16	43,58	225,56	577,81
Borçka	Ortalama	9,71	15,37	23,23	272,69
	Std Sapma	5,43	5,02	21,61	106,66
	Minimum	3,45	9,78	4,76	115,71
	Maksimum	16,43	22,21	59,69	403,29
Hopa	Ortalama	33,56	22,15	113,74	369,36
	Std Sapma	24,13	6,57	97,95	214,51
	Minimum	7,34	11,62	18,69	103,72
	Maksimum	79,29	35,56	343,55	1011,00
Murgul	Ortalama	12,14	14,20	11,19	243,98
	Std Sapma	11,32	6,66	4,67	133,34
	Minimum	4,68	5,02	4,46	51,73
	Maksimum	44,85	24,41	20,47	511,83
Şavşat	Ortalama	25,44	24,25	13,66	389,11
	Std Sapma	10,86	7,51	9,01	182,80
	Minimum	14,23	16,88	7,03	127,81
	Maksimum	34,91	33,45	26,92	554,10
Yusufeli	Ortalama	19,16	15,89	16,10	373,53
	Std Sapma	3,91	6,59	5,78	79,82
	Minimum	14,94	9,95	9,74	257,37
	Maksimum	24,31	22,47	21,22	430,38
Genel Ortalama		22,36	20,08	53,69	357,52
Std Sapma		17,88	10,22	77,23	174,03
Minimum		3,45	5,02	4,46	51,73
Maksimum		79,29	62,49	343,55	1011



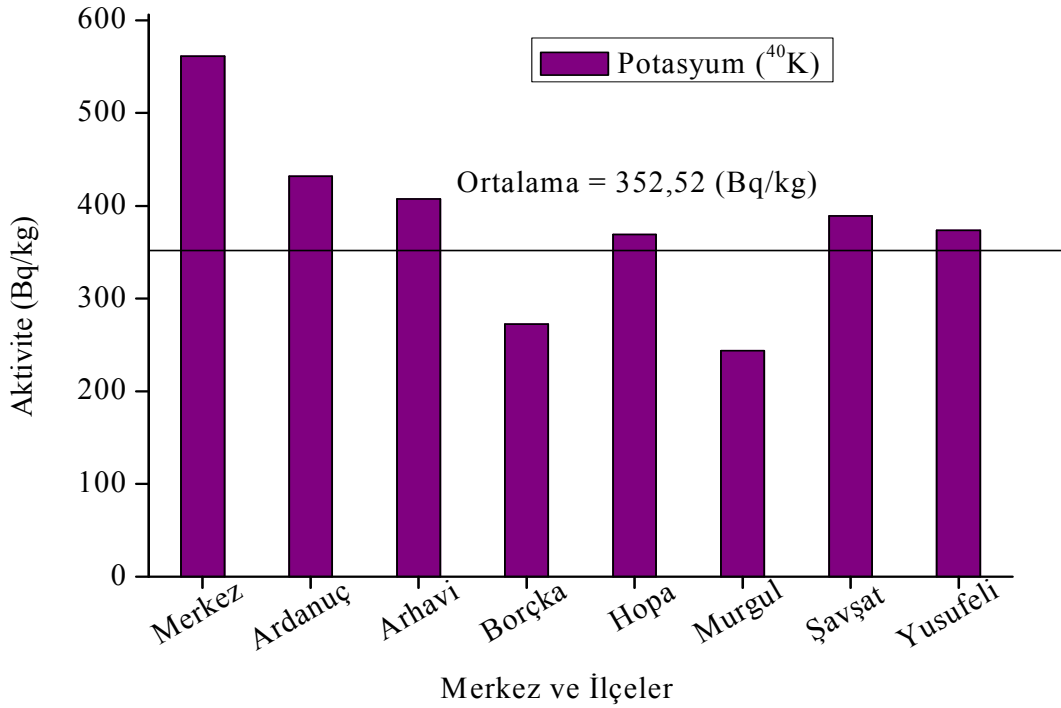
Şekil 30. Artvin ili merkez ve ilçelerdeki radyum aktivite değerleri



Şekil 31. Artvin ili merkez ve ilçelerdeki toryum aktivite değerleri



Şekil 32. Artvin ili merkez ve ilçelerdeki sezyum aktivite değerleri



Şekil 33. Artvin ili merkez ve ilçelerdeki potasyum aktivite değerleri

3.2. Ardahan İli Radyoaktivite Düzeyi

3.2.1. Radon Konsantrasyonu

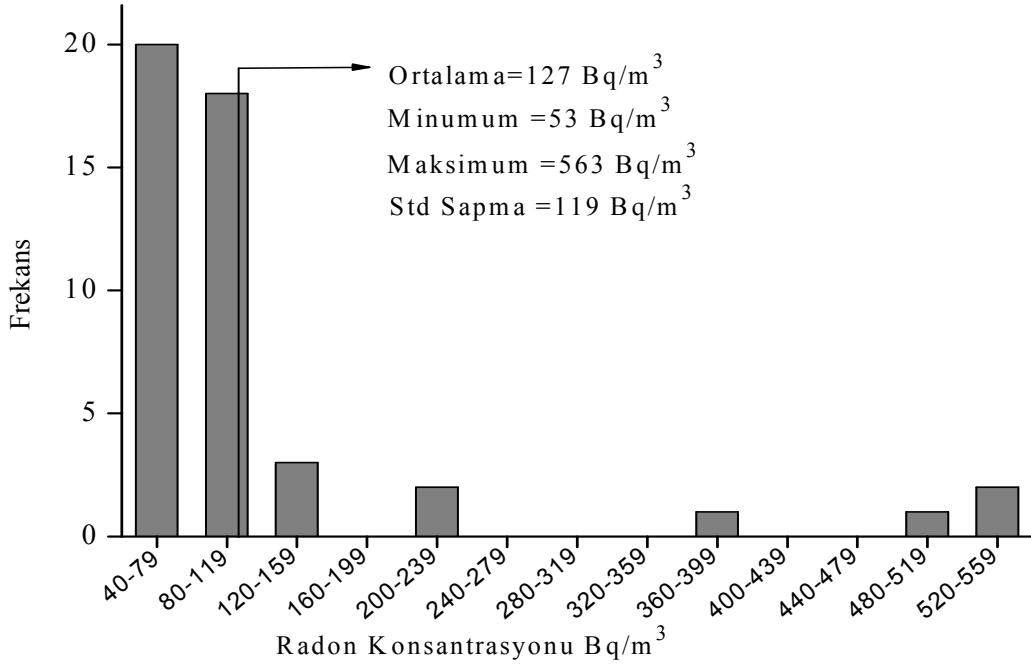
Ardahan ili, merkez ve 5 ilçesinde evlere dağıtılan radon dedektörlerinin mevsimsel ve yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri Tablo 13’de verilmektedir.

Tablo 13. Ardahan ili radon konsantrasyon değerleri

ARDAHAN		Konsantrasyon (Bq/m ³)				Yıllık Ortalama
		Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	
Merkez	Minimum	59	105	86	59	181
	Maksimum	553	573	736	318	
	Ortalama	135	191	231	165	
	Std Sapma	128	122	152	61	
Çıldır	Minimum	111	198	224	144	189
	Maksimum	117	223	298	192	
	Ortalama	114	211	261	168	
	Std Sapma	4	18	52	34	
Damal	Minimum	101	180	204	175	175
	Maksimum	113	201	228	195	
	Ortalama	107	191	216	185	
	Std Sapma	8	15	17	14	
Göle	Minimum	53	94	107	92	132
	Maksimum	122	217	246	211	
	Ortalama	78	138	167	145	
	Std Sapma	23	41	49	44	
Hanak	Minimum	64	114	129	111	192
	Maksimum	510	369	369	466	
	Ortalama	183	176	205	203	
	Std Sapma	192	109	103	151	
Posof	Minimum	71	126	143	123	131
	Maksimum	89	158	180	154	
	Ortalama	80	142	162	139	
	Std Sapma	13	23	26	22	
Minimum		53	94	86	59	173
Maksimum		563	573	736	466	
Ortalama		127	180	217	166	
Std Sapma		119	104	127	69	

3.2.1.1. Yaz Dönemi

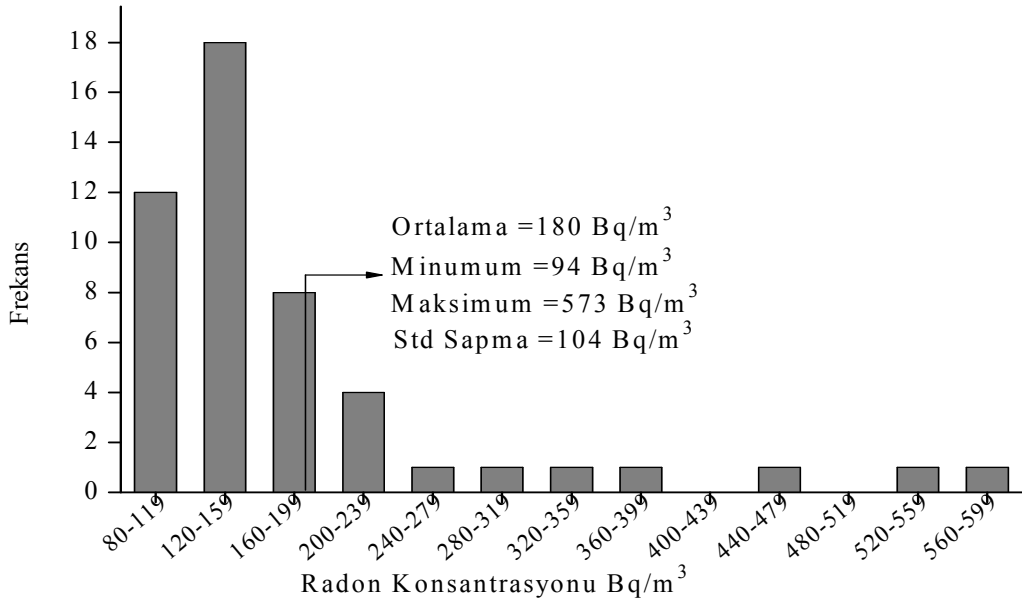
Yaz döneminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 53 Bq/m^3 , maksimum değeri 563 Bq/m^3 olup ortalama değeri 127 Bq/m^3 tür ve standart sapma değeri 119 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Şekil 34’de yaz dönemi radon konsantrasyonu frekans dağılımı verilmiştir.



Şekil 34. Ardahan ili yaz dönemi radon konsantrasyonu

3.2.1.2. Sonbahar Dönemi

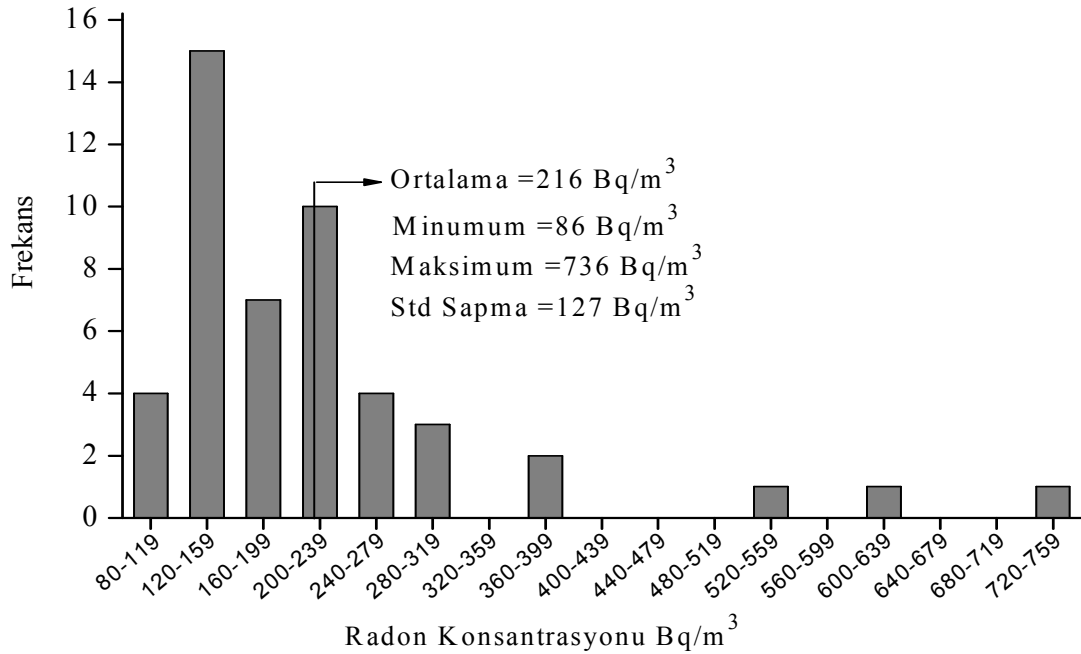
Sonbahar döneminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 94 Bq/m^3 , maksimum değeri 573 Bq/m^3 olup ortalama değeri ise 180 Bq/m^3 tür ve standart sapma değeri 104 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Sonbahar dönemindeki radon konsantrasyonu yaz dönemine göre artmaktadır. Şekil 35’de sonbahar dönemi radon konsantrasyonu frekans dağılımı verilmektedir.



Şekil 35. Ardahan ili sonbahar dönemi radon konsantrasyonu

3.2.1.3. Kış Dönemi

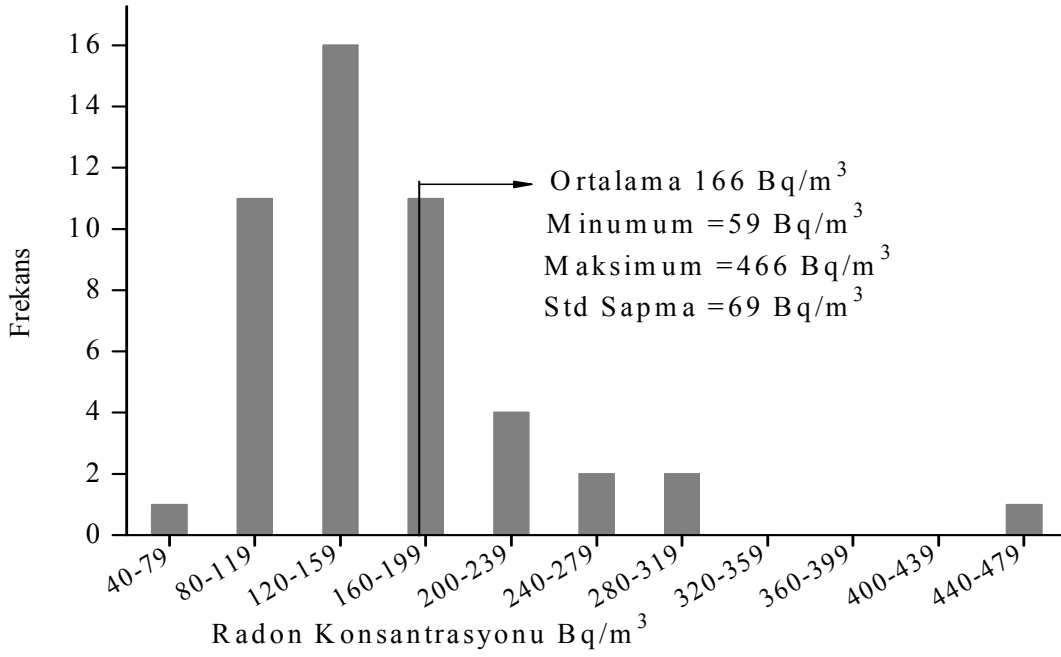
Kış döneminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 86 Bq/m³, maksimum değeri 736 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 216 Bq/m³ tür ve standart sapma değeri 127 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Kış dönemindeki radon konsantrasyonu sonbahar dönemine göre artış göstermiştir. Şekil 36'da kış dönemi radon konsantrasyonu frekans dağılımı verilmektedir.



Şekil 36. Ardahan ili kış dönemi radon konsantrasyonu

3.2.1.4. İlkbahar Dönemi

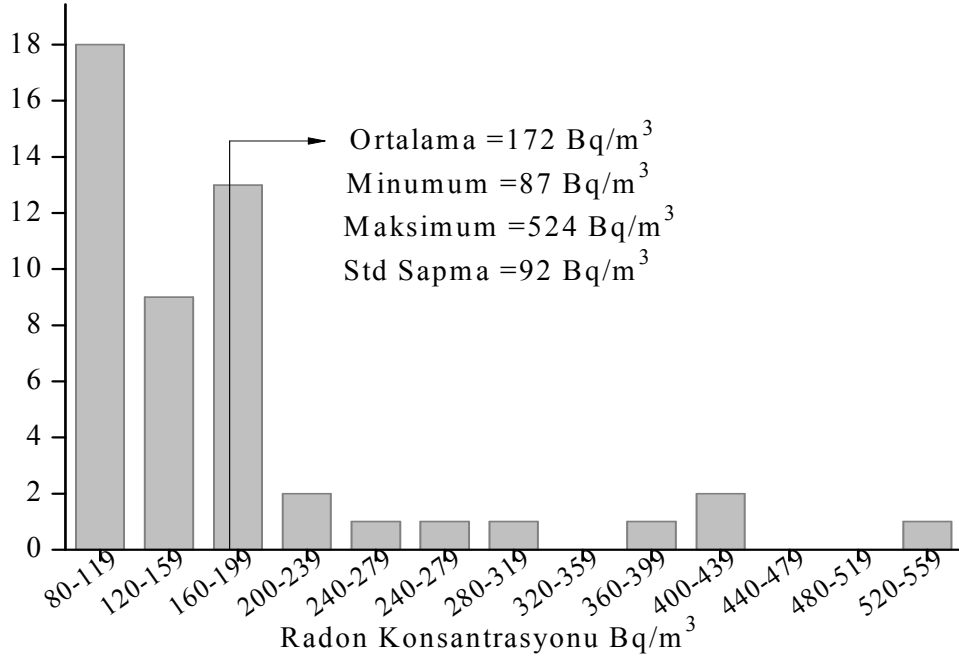
İlkbahar döneminde evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 59 Bq/m^3 , maksimum değeri 466 Bq/m^3 olup ortalama değeri ise 166 Bq/m^3 tür ve standart sapma değeri 69 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. İlkbahar dönemindeki radon konsantrasyonu kış dönemine göre azalmaktadır. Şekil 37’de ilkbahar dönemi radon konsantrasyonu frekans dağılımı verilmektedir.



Şekil 37. Ardahan ili ilkbahar dönemi radon konsantrasyonu

3.2.1.5. Radon Konsantrasyonunun Yıllık Ortalama Değişimi

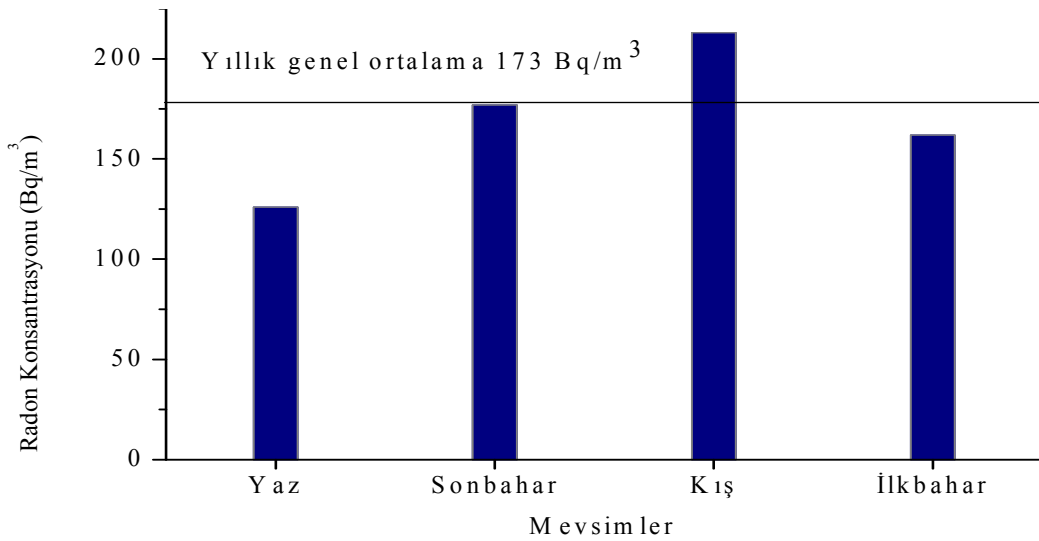
Radon konsantrasyonunun yıllık ortalama değeri hesaplanırken Denk. 28 kullanılmıştır. Yıllık ortalama radon konsantrasyonunun ortalama değeri ise 173 Bq/m^3 olup standart sapma değeri ise 90 Bq/m^3 tür. Şekil 38’de frekans dağılımı verilmektedir.



Şekil 38. Ardahan ili yıllık ortalama radon konsantrasyonu

3.2.1.6. Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi

Ardahan ilinde radon konsantrasyonunun mevsimler arasındaki değişimini daha iyi belirlemek için Şekil 39 grafiği oluşturulmuştur. Ayrıca SPSS programında istatistik analiz yapılmış ve .mevsimler arasındaki radon konsantrasyon ilişkilerini belirlemek için Pearson korelasyonu uygulanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 14’de görülmektedir. Buna göre en iyi ilişki pozitif yönde 0,945 korelasyonu ile sonbahar-kış mevsimleri arasında, en düşük ilişki ise 0,360 ile sonbahar-ilkbahar mevsimleri arasında görülmektedir.



Şekil 39. Ardahan ili mevsimsel radon konsantrasyonu

Tablo 14. Ardahan ili radon konsantrasyonu için pearson korelasyonu

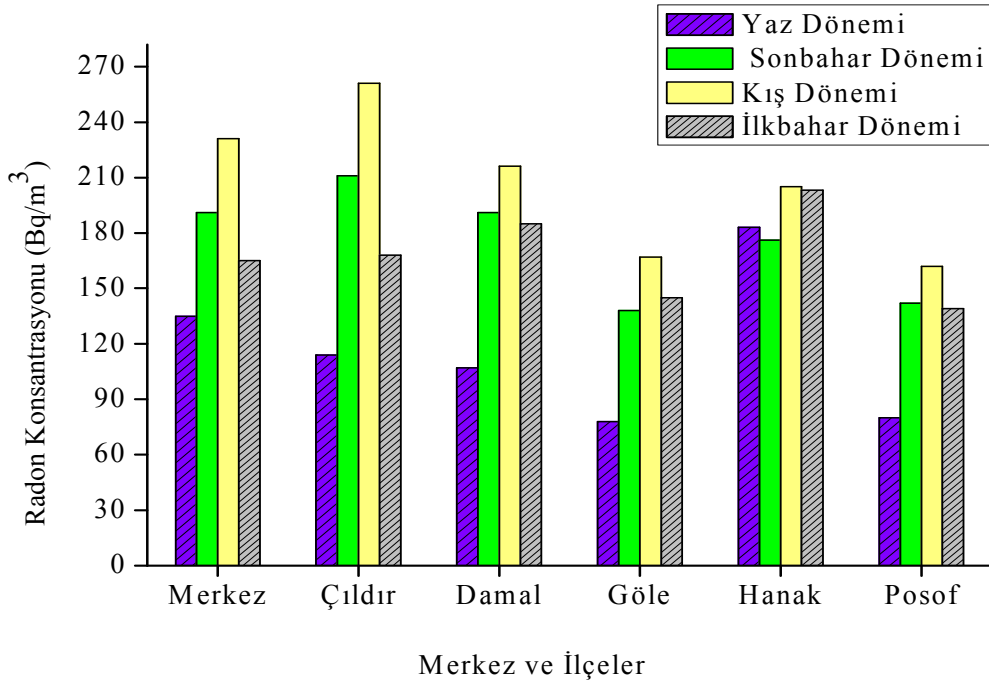
ARDAHAN		Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
Yaz	Pearson Korelasyonu	1	,715(**)	,698(**)	,643(**)
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000
	N		48	48	48
Sonbahar	Pearson Korelasyonu		1	,945(**)	,360(*)
	Sig. (2-tailed)			,000	,012
	N			48	48
Kış	Pearson Korelasyonu			1	,413(**)
	Sig. (2-tailed)				,004
	N				48
İlkbahar	Pearson Korelasyonu				1
	Sig. (2-tailed)				
	N				

**p <0,01 korelasyon sınırı önem değeridir..

* p ≤ 0,05 korelasyon sınırı önem değeridir.

3.2.1.7. Radon Konsantrasyonunun Merkez ve İlçelere göre Mevsimsel Değişimi

Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelerdeki değişimine bakıldığında her bir ilçe kendi içinde bir normal bir dağılım oluşturmakta ve minimum değerler yaz mevsiminde, maksimum değerler ise kış mevsiminde ortaya çıkmaktadır. Yaz döneminde en düşük radon konsantrasyonu Göle ilçesinde en yüksek radon konsantrasyonu Hanak ilçesinde görülmektedir. Genel olarak sonbahar, kış ve ilkbahar dönemi radon konsantrasyonları birbirine yakın olmaktadır. Bunun sebebi Ardahan ilinde yaz, kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri arasında sıcaklık farkının az olmakta ve genelde çok soğuk bir iklim görülmektedir. Şekil 40'da Ardahan ili için radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelere göre mevsimsel değişimi gösterilmiştir.



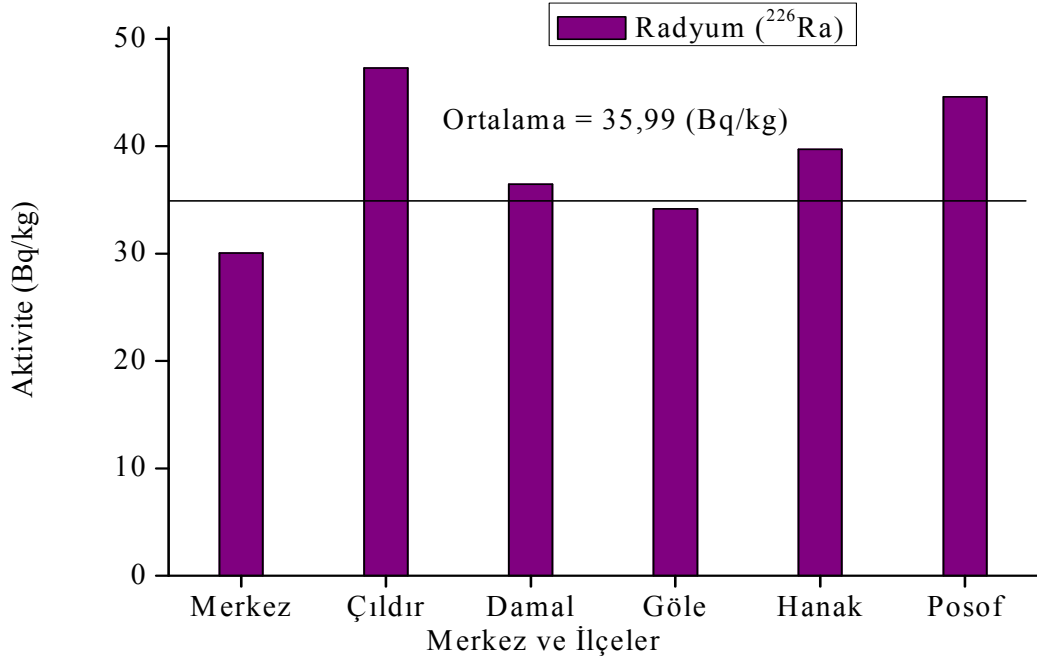
Şekil 40. Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelere göre mevsimsel değişimi

3.2.2. Gama Spektroskopik Analiz Sonuçları

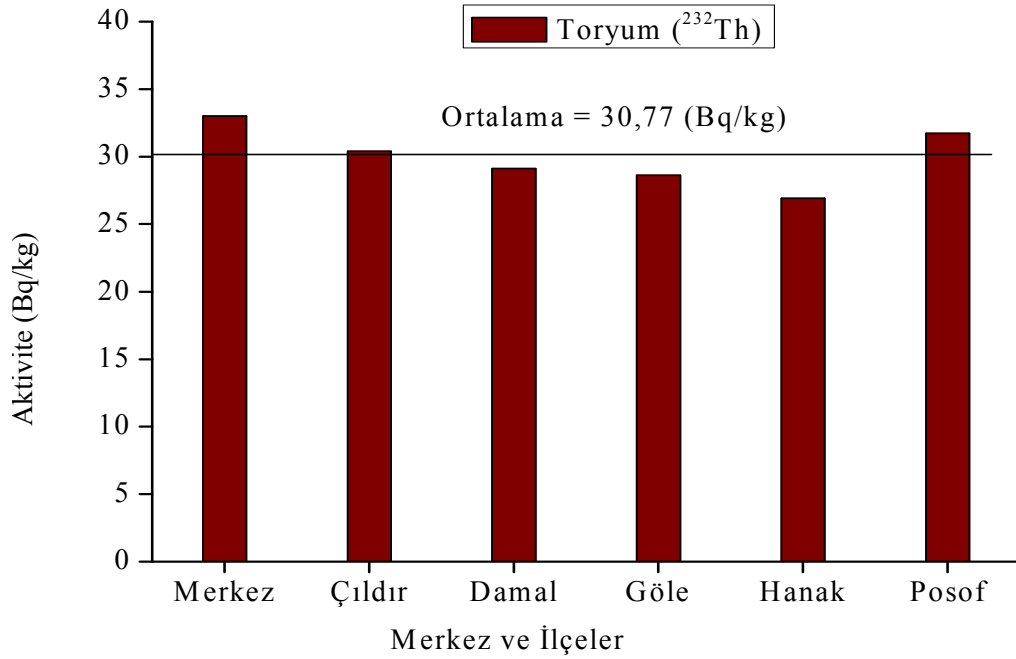
Gama spektroskopik analizi için alınan toprak numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K doğal radyoaktif elementleri ile ^{137}Cs yapay radyoaktif elementinin ilçelere göre aktiviteleri hesaplanmış ve Tablo 15’de verilmiştir. 33 adet toprak numunesinin ortalama ^{226}Ra aktivitesi 35,99 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. En düşük aktivite değeri 13,10 Bq/kg, en yüksek aktivite değeri ise 69,8 Bq/kg dır. Ortalama ^{232}Th aktivitesi 30,77 Bq/kg olup minimum değeri 18,56 Bq/kg, maksimum değeri ise 57,26 Bq/kg dır. Ortalama ^{40}K aktivitesi 342,13 Bq/kg . Alınan toprak numunelerinden 8 tanesi dışında ^{137}Cs yapay radyoaktif elementine rastlanmıştır ve ortalama değeri 10,72 Bq/kg olarak bulunmuştur. Şekil 41, 42, 43 ve 44’de merkez ve ilçeler arasındaki ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktiviteleri verilmektedir.

Tablo 15. Ardahan ili ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerleri

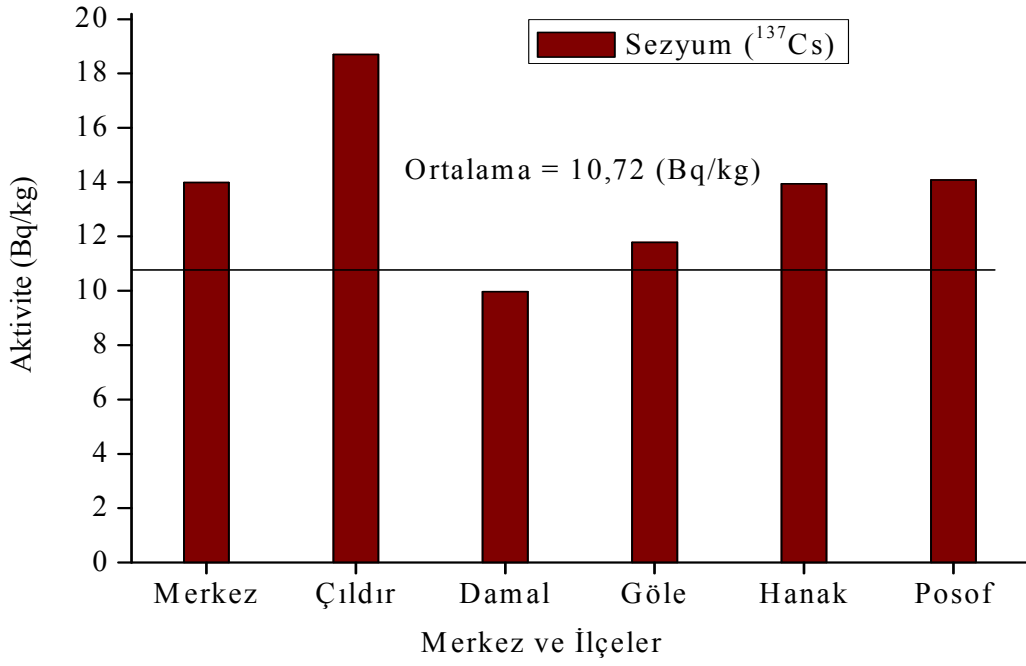
ARDAHAN	Aktivite (Bq/kg)				
		^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K
Merkez	Ortalama	30,04	33,02	13,98	369,07
	Std Sapma	12,39	9,95	5,05	147,68
	Minimum	13,10	18,71	10,90	160,17
	Maksimum	47,74	57,26	26,72	678,39
Çıldır	Ortalama	47,28	30,41	18,70	320,07
	Std Sapma	13,48	3,83	2,81	99,48
	Minimum	31,16	25,64	16,09	243,97
	Maksimum	61,91	34,88	22,68	466,40
Damal	Ortalama	36,45	29,12	9,96	228,30
	Std Sapma	2,94	0,98	1,56	95,26
	Minimum	33,51	28,20	8,86	151,49
	Maksimum	39,38	30,15	11,07	334,89
Göle	Ortalama	34,15	28,63	11,78	322,80
	Std Sapma	13,35	2,36	1,78	78,02
	Minimum	23,29	25,42	9,95	219,19
	Maksimum	52,98	31,12	13,51	396,18
Hanak	Ortalama	39,70	26,93	13,94	345,45
	Std Sapma	19,94	8,07	6,6	248,58
	Minimum	19,63	18,56	7,08	159,50
	Maksimum	69,80	37,12	22,97	772,46
Posof	Ortalama	44,58	31,73	14,08	381,05
	Std Sapma	8,43	1,64	2,68	63,42
	Minimum	34,86	30,77	11,09	307,83
	Maksimum	49,80	33,63	16,27	418,83
Genel Ortalama		35,99	30,77	10,72	342,13
Std Sapma		13,84	7,47	4,64	143,81
Minimum		13,10	18,56	7,08	151,49
Maksimum		69,8	57,26	26,72	772,46



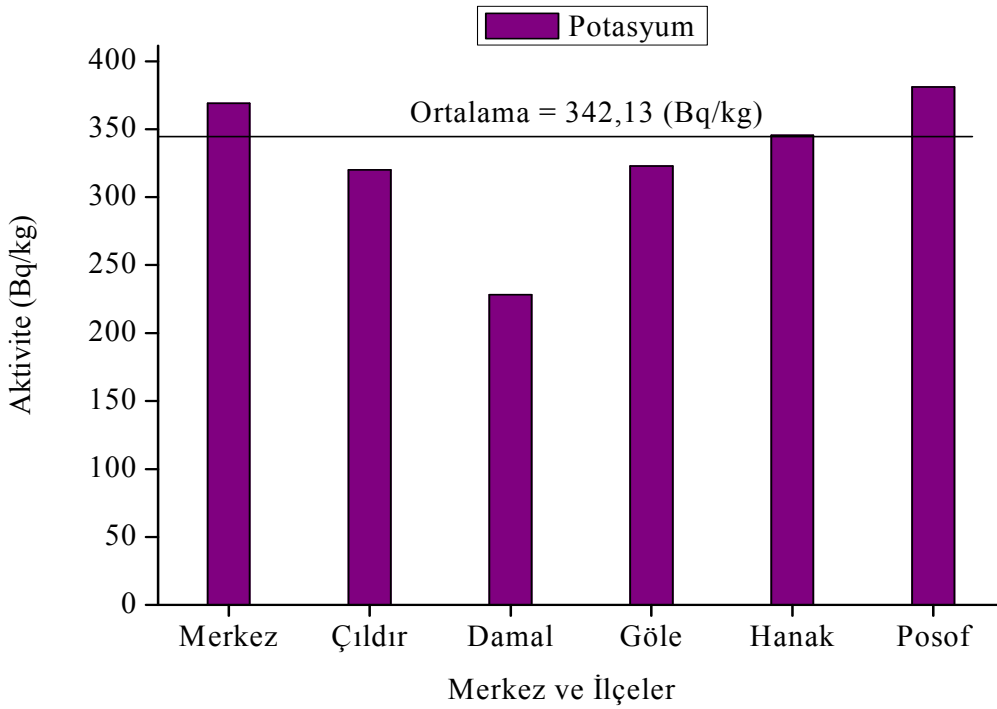
Şekil 41. Ardahan ili merkez ve ilçelerdeki radyum aktivite değerleri



Şekil 42. Ardahan ili merkez ve ilçelerdeki toryum aktivite değerleri



Şekil 43. Ardahan ili merkez ve ilçelerdeki sezyum aktivite değerleri



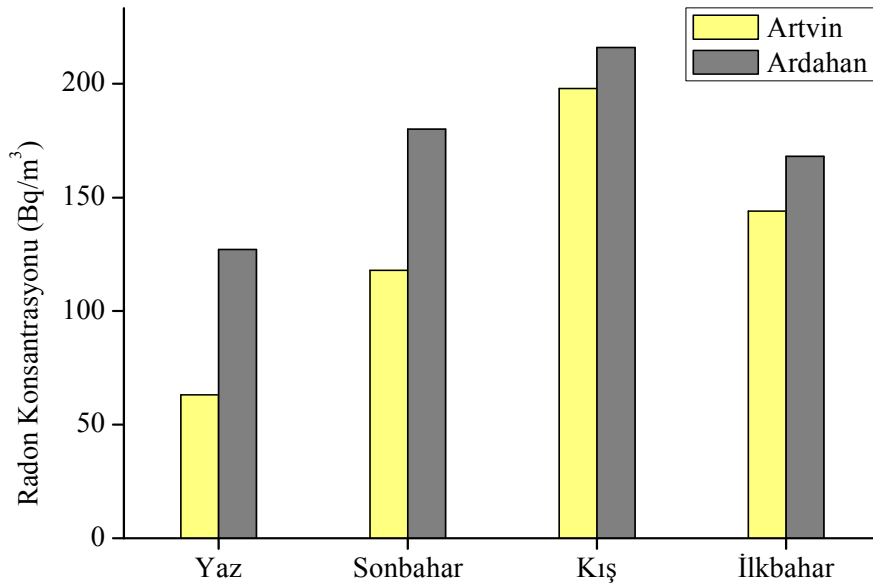
Şekil 44. Ardahan ili merkez ve ilçelerdeki potasyum aktivite değerleri

3.3. Artvin ve Ardahan İllerinin Radon Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması

Artvin ve Ardahan illerinde radon konsantrasyonlarını karşılaştırdığımızda, Ardahan ilinin radon konsantrasyon değerleri Artvin ilinden her dönem daha yüksek çıkmıştır.. Bu duruma sebep olarak her iki bölgenin ikliminin ve jeolojisinin etkili olduğu düşünülmektedir. Tablo 16'da bu iki ilin radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması verilmektedir.

Tablo16. Artvin ve Ardahan illerinin radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması

	Yaz Dönemi Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Sonbahar Dönemi Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Kış Dönemi Konsantrasyonu (Bq/m ³)	İlkbahar Dönemi Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Artvin	63	118	198	147
Ardahan	127	180	217	166



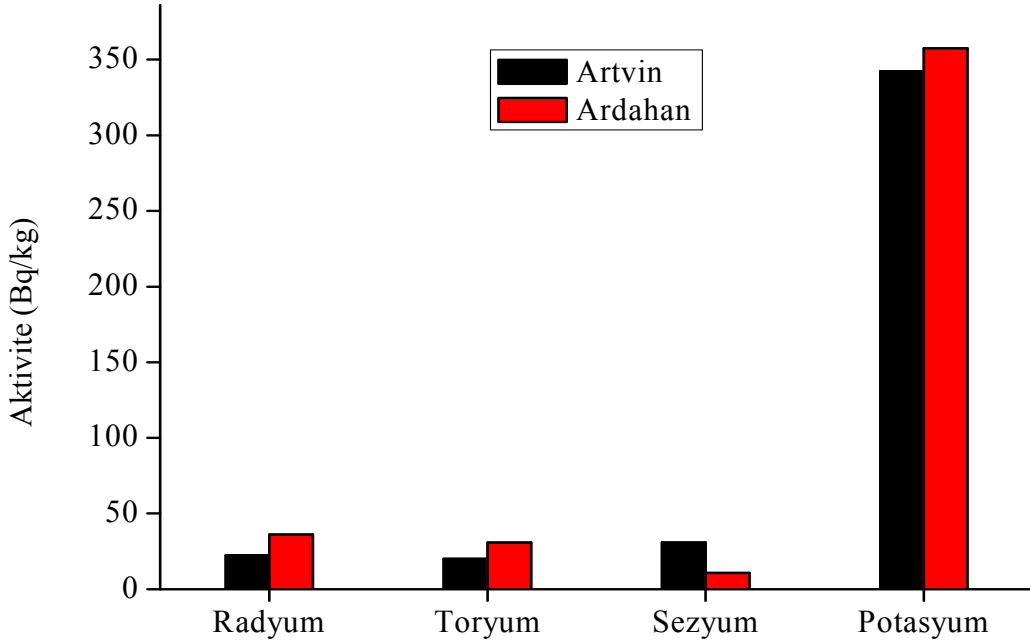
Şekil 45. Artvin ve Ardahan illeri Radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması

3.4. Artvin ve Ardahan İllerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K Aktivite Değerlerinin Karşılaştırılması

İllerdeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerleri Tablo 17’de verilmekte olup Şekil 46’da grafiği çizilmiştir. Ardahan ilinin ^{226}Ra ve ^{232}Th değerleri Artvin iline göre daha yüksek bulunmuştur. ^{40}K değeri birbirine yakındır. Ancak ^{137}Cs yapay radyoaktif elementi Artvin ilinde Ardahan’a göre yüksek olup bu ilin Çernobil nükleer kazası sonucu daha çok etkilendiği görülmektedir.

Tablo 17. Artvin ve Ardahan illerinin ortalama aktivite değerleri

	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
Artvin	22,36	20,08	53,69	357,52
Ardahan	35,99	30,77	10,72	342,13



Şekil 46. Artvin ve Ardahan illeri aktivite değerlerinin karşılaştırması

3.5. Doz Hesabı

3.5.1. Artvin İlinde Radon Konsantrasyonundan Dolayı Maruz Kalınan Doz

Kapalı mekanlarda radon konsantrasyonundan dolayı insanların maruz kaldıkları doz hesabı yapılırken Denk. 29 kullanılmıştır. (UNSCEAR, 2000)

$$\text{Doz} = C * E * F * T * D \text{ (mSv/yıl)} \quad (29)$$

C = Radon Konsantrasyonu (Bq/m³)

E = Denge Faktörü (Ev için 0,4)

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

T = Bir yıllık zaman (8760 saat/yıl)

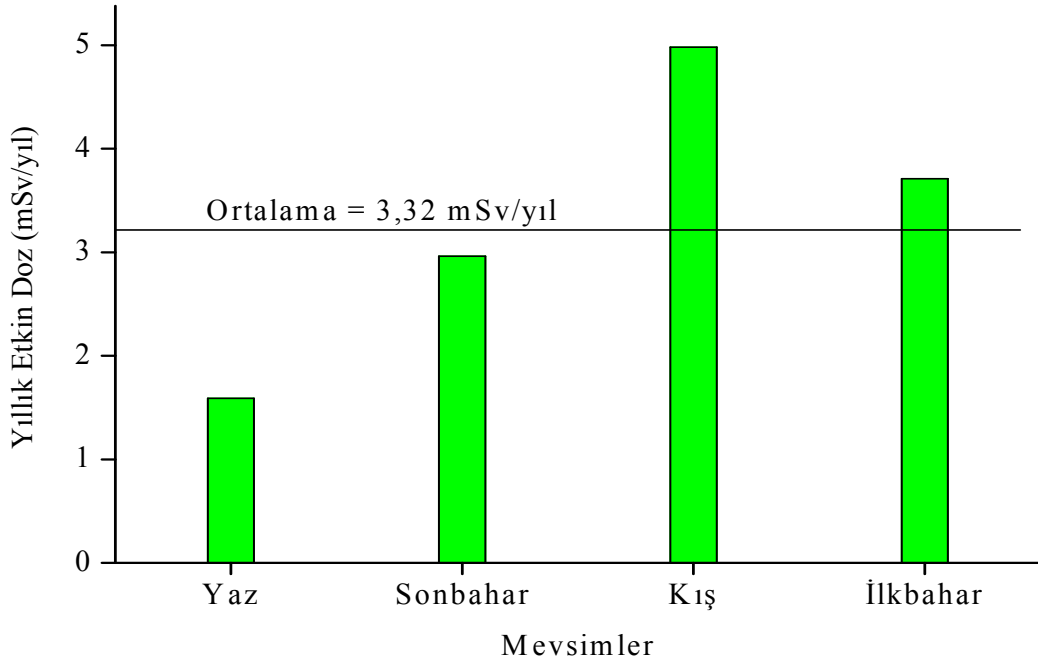
D = Doz dönüşüm faktörü (9*10⁻⁶ mSv (Bq*m⁻³*h)⁻¹)

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

Tablo 18'de Artvin ili merkez ve ilçelerinin yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmektedir. Her bir ilçede yaşayan insanların radondan dolayı maruz kaldıkları doz değerleri hesaplanmıştır. Bu hesap, mevsimler arasındaki eşdeğer doz değerlerindeki farklılıkları göstermek için yapılmıştır. Örneğin, yaz döneminde insanların radondan dolayı maruz kaldığı dozu bütün bir yıl boyunca almış olsalardı yıllık ortalama 1,59 mSv/yıl olacaktı. Bu değer sonbahar döneminde 2,96 mSv/yıl, kış döneminde 4,98 mSv/yıl, ilkbahar döneminde ise 3,71 mSv/yıl olacaktı. Ancak bir bölgede yaşayan insanların maruz kaldığı doz değeri yıllık ortalama üzerinden hesaplandığı için bu değer 3,32 mSv/yıl olmaktadır. Şekil 47'de yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar dönemlerine ait etkin doz ve yıllık ortalama etkin doz değerleri verilmektedir.

Tablo 18. Artvin ili yıllık etkin eşdeğer doz

ARTVİN	Yıllık Etkin Eşdeğer Doz (mSv/yıl)				
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yıllık ort doz
	1,59	2,96	4,98	3,71	3,32



Şekil 47. Artvin ilinde radondan dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğeri

3.5.2. Artvin İlinde Doğal Radyonüklitlerden Dolayı Maruz Kalınan Doz

Doğal radyonüklitlerin havadaki soğurulan doza katkıları topraktaki radyonüklitlerin aktivitelerine bağlı olmaktadır. Karasal gama radyasyonu ile topraktaki radyonüklit aktivitesi arasında doğrudan bir bağlantı bulunmaktadır. Eğer topraktaki radyonüklitlerin aktivitesi biliniyorsa, yerden 1 metre yukarıdaki havada soğurulan doz hızı hesaplanabilmektedir. Karasal gama radyasyonunun havadaki soğurulan doza katkısını bulmak için denk. (30) kullanılmıştır (UNSCEAR, 2000).

$$D \text{ (nGyh}^{-1}\text{)} = 0,427 \cdot C_{Ra} + 0,662 \cdot C_{Th} + 0,043 \cdot C_K \quad (30)$$

Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE), insanın farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan 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. Doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak için denk. (31) kullanılmıştır (UNSCEAR, 2000).

$$\text{Yıllık etkin doz eşdeğeri (} \mu \text{ Sv/yıl)} = D * 8760 * 0,7 * 0,2 / 1000 \text{ (YEDE)} \quad (31)$$

$D \text{ (nGyh}^{-1}\text{)} = \text{Soğurulan anlık doz}$

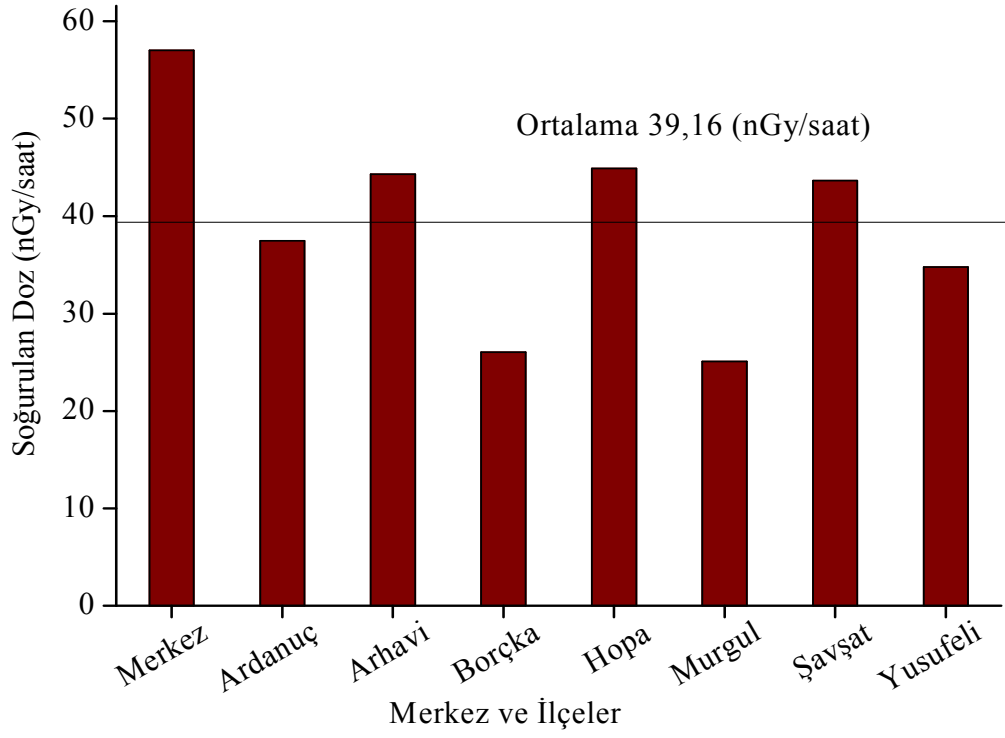
$0,7 \text{ Sv/Gy} = \text{Çevresel gama ışınlamaları için doz dönüşüm faktörü}$

$0,2 = \text{Ev dışında geçirilen zaman için (günün \% 20'si)}$

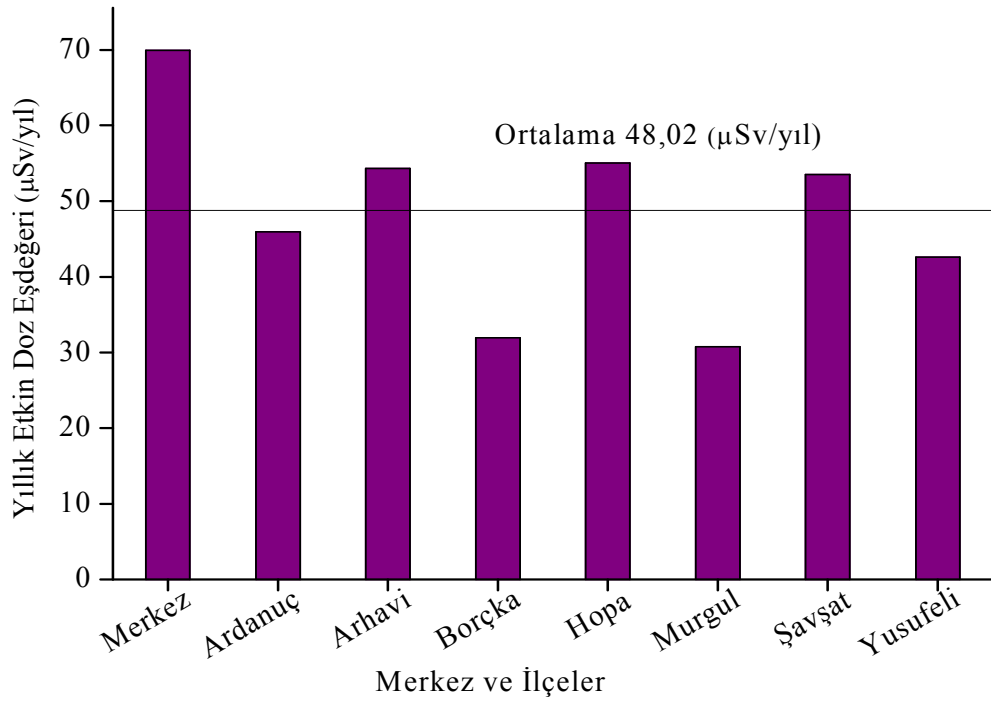
Tablo 19'da merkez ve ilçelerden alınan toprak numunelerindeki doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz ve yıllık etkin doz değerleri verilmektedir. Artvin ili için bu değerlerin ortalaması sırasıyla 39,16 nGy/saat, 48,02 μ Sv/yıl olarak bulunmuştur. En yüksek değer merkez de, en düşük değer ise Yusufeli'nde kaydedilmiştir. Şekil 48-49' da merkez ve ilçeler göre soğurulan doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmektedir.

Tablo 19. Artvin ilinin ortalama soğurulan doz hızları ve yıllık etkin doz değerleri

		D (nGy/saat)	Etkin doz (μ Sv/yıl)
ARTVİN	Merkez	57,04	69,95
	Ardanuç	37,45	45,93
	Arhavi	44,32	54,35
	Borçka	26,05	31,95
	Hopa	44,88	55,04
	Murgul	25,08	30,76
	Şavşat	43,65	53,53
	Yusufeli	34,77	42,64
	Genel Ortalama	39,16	48,02



Şekil 48. Artvin ilinde doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz



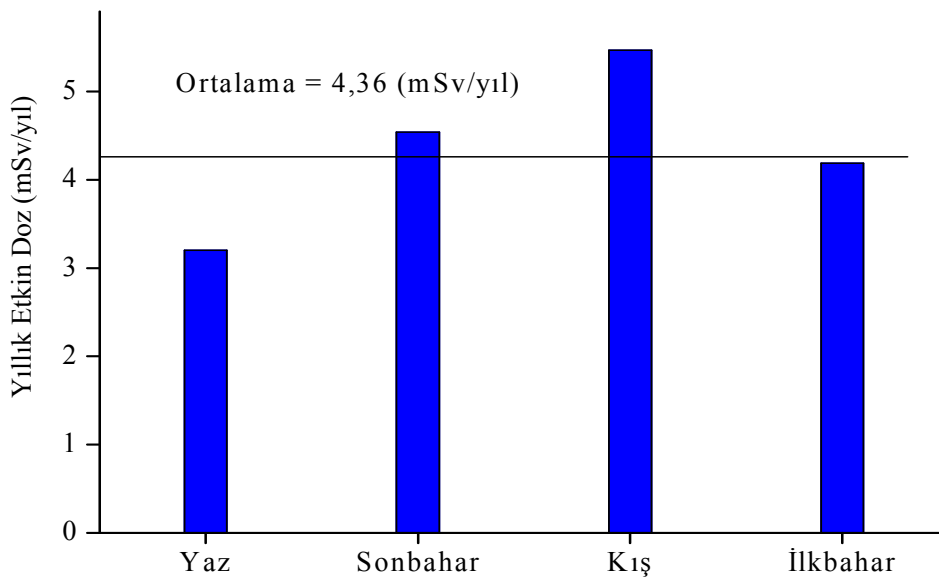
Şekil 49. Artvin ilinde doğal radyonüklitlerden dolayı yıllık etkin doz eşdeğeri

3.5.3. Ardahan İlinde Radon Konsantrasyonundan Dolayı Maruz Kalınan Doz

Ardahan ilinde evlerdeki radon konsantrasyonundan dolayı maruz kalınan yıllık doz için denk. 29 kullanılmıştır. Tablo 20’de Ardahan ili merkez ve ilçelerinin yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmektedir. Her bir ilçede yaşayan insanların radondan dolayı maruz kaldıkları doz değerleri hesaplanmıştır. Bu hesap, mevsimler arasındaki eşdeğer doz değerlerindeki farklılıkları göstermek içindir. Mesela, yaz döneminde insanların radondan dolayı maruz kaldığı dozu bütün bir yıl boyunca almış olsalardı yıllık ortalama 3,20 mSv/yıl olacaktı. Sonbahar döneminde 4,54 mSv/yıl, kış döneminde 5,47 mSv/yıl ,ilkbahar döneminde ise 4,19 mSv/yıl olacaktı. Ancak bir bölgede yaşayan insanların maruz kaldığı doz değeri yıllık ortalama üzerinden hesaplandığı için bu değer 4,36 mSv/yıl olmaktadır. Şekil 49’da yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar dönemlerine ait etkin doz ve yıllık ortalama etkin doz değerleri verilmektedir.

Tablo 20. Ardahan ili yıllık etkin doz eşdeğerleri

ARDAHAN	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)				
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Ortalama
	3,20	4,54	5,47	4,19	4,36



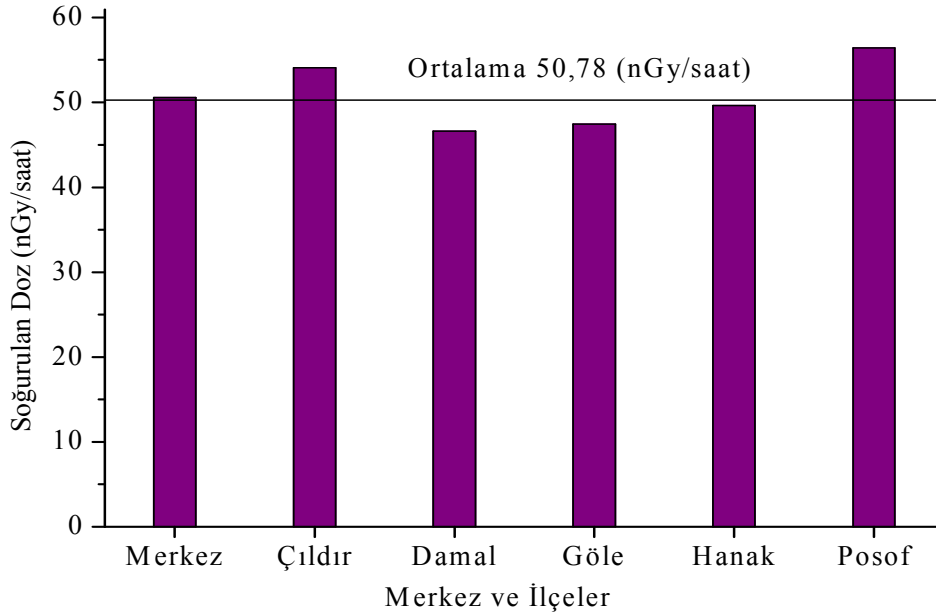
Şekil 50. Ardahan ilinde radondan dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğeri

3.5.4. Ardahan İlinde Doğal Radyonüklitlerden Dolayı Maruz Kalınan Doz

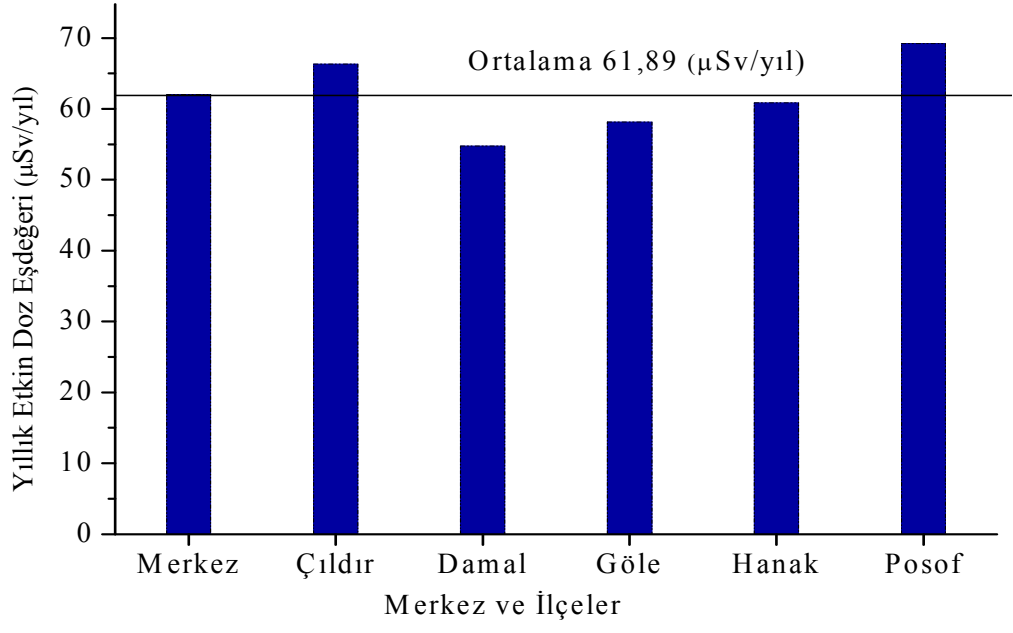
Tablo 21’de merkez ve ilçelerden alınan toprak numunelerindeki doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz ve yıllık etkin doz değerleri verilmektedir. Hesaplamalar da soğurulan doz için denk. (30) ve yıllık etkin doz için denk. (31) kullanılmıştır. Ardahan ili için bu değerlerin ortalaması sırasıyla 50,46 nGy/saat, 61,89 μ Sv/yıl olarak bulunmuştur. En yüksek değer Posof da, en düşük değer ise Damal da kaydedilmiştir. Şekil 51-52’de merkez ve ilçeler göre soğurulan doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmektedir.

Tablo 21. Ardahan ilinin ortalama soğurulan doz hızları ve yıllık etkin doz değerleri

ARDAHAN		D (nGy/saat)	Etkin doz (μ Sv/yıl)
	Merkez	50,55	62
Çıldır	54,08	66,33	
Damal	44,66	54,77	
Göle	47,42	58,15	
Hanak	49,63	60,87	
Posof	56,43	69,21	
Genel Ortalama		50,46	61,89



Şekil 51. Ardahan ilinde doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz



Şekil 52. Ardahan ilinde doğal radyonüklitlerden dolayı yıllık etkin doz eşdeğeri

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Artvin ve Ardahan illerinde evlerde radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi ve topraktaki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktiviteleri belirlenmiş ve insanların yıllık ortalama hem radondan hem de topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kaldıkları etkin doz değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler hem Türkiye’de hem de dünyada yapılan diğer çalışmaların verileriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca uluslararası kuruluşlar tarafından izin verilebilir seviyelerde olup olmadığı değerlendirildi.

Artvin ilinde merkez ve 7 ilçeye her mevsim 73 tane CR-39 radon dedektörleri dağıtılarak sonuçlar alınmıştır. Yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar dönemlerinin ortalama radon konsantrasyonu sırasıyla 63 Bq/m^3 , 118 Bq/m^3 , 198 Bq/m^3 , 147 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir. Yıllık ortalama radon konsantrasyonu ise 132 Bq/m^3 bulunmuş ve bu değere karşılık gelen yıllık etkin doz değeri ise $3,32 \text{ mSv}$ olarak tespit edilmiştir. Minimum radon konsantrasyonu değeri yaz mevsiminde, maksimum radon konsantrasyonu ise kış mevsiminde gözlenmiştir. Mevsimler arasındaki radon konsantrasyonu değişimi daha iyi gözlemleyebilmek için istatistiksel analiz uygulanmıştır. En iyi ilişki $0,821$ ile sonbahar-kış mevsimleri arasında görülmüştür. Yani bu aylardaki radon konsantrasyonu değerleri birbirine yakındır. Ayrıca merkez ve ilçelerdeki değişimine bakıldığında her bir ilçe kendi içinde normal dağılım oluşturmuş ve minimum değerler yaz mevsiminde, maksimum değerler ise kış mevsiminde bulunmuştur.

Ardahan ilinde merkez ve 5 ilçeye her mevsim 48 tane CR-39 radon dedektörleri dağıtılarak sonuçlar alınmıştır. Yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar dönemlerinin ortalama radon konsantrasyonu sırasıyla 127 Bq/m^3 , 180 Bq/m^3 , 217 Bq/m^3 , 166 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir. Yıllık ortalama radon konsantrasyonu 173 Bq/m^3 olarak bulunmuş ve bu bölgede yaşayan insanların radondan dolayı maruz kaldıkları yıllık ortalama doz değeri ise $4,36 \text{ mSv}$ olarak hesaplanmıştır. Mevsimler arasındaki radon konsantrasyonu değişimlerini gözlemlemek için istatistiksel analiz uygulanmış ve en iyi ilişki $0,945$ ile sonbahar-kış mevsimleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Yine Ardahan ilinde de merkez ve ilçelerde minimum konsantrasyon değerleri yaz mevsiminde, maksimum ise kış mevsiminde gözlemlenmiştir.

Artvin ve Ardahan birbirine sınır iki il olmalarına rağmen yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri farklı çıktı. Bu farklılığın ana nedenlerinden birinin bölgelerin iklim

koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ardahan ili Türkiye'nin rakım olarak en yüksek illerinden biridir. Ekim ayında kar yağışı başlamakta ve dolayısıyla havalar çok soğuk olmakta ve yaklaşık 9 ay evlerde sobalar yanmaktadır. Bu soğuk hava yüzünden insanlar evlerinin kapı ve pencerelerini açıp havalandırma yapamamaktadırlar. Yaz mevsiminde ise evlerin havalandırılması daha iyi yapıldığından yaz ve kış mevsimleri arasındaki radon konsantrasyon farkı daha fazla olmaktadır. Artvin ilinin rakımı, Ardahan iline göre daha düşük ve iklim olarak daha ılımandır. Hopa ve Arhavi ilçeleri denize kıyısı olan yerleşim merkezleridir. Ancak, Artvin ilinde de özellikle kış ve ilkbahar mevsimleri soğuk geçmektedir.

İllerde, radon dedektörleri nüfusun yoğun olduğu bölgelere dağıtılarak, insanlara evlerin yapı malzemesi ve havalandırılması ile ilgili sorular sorulmuş ve anketler yapılmıştır. Anket sonuçları Tablo 22'de verilmektedir. Her iki ilde de insanlar evlerini doğal yollardan havalandırmaktadır. Ardahan ilinde müstakil evlerin sayısı 17 ve radon konsantrasyonu 232 Bq/m^3 tür. Apartman tipi evlerin sayısı 31, radon konsantrasyonu 138 Bq/m^3 tür. Burada ev sayıları her ne kadar birbirine yakın olmasa da müstakil evlerdeki radon konsantrasyonu değeri apartman tipi evlere göre yüksek çıkmıştır. Müstakil tipi evlerin zemin katlarının toprağa yakın olması radon konsantrasyonunu etkileyebilmektedir. Ardahan ilinde kömür sobası kullanılan evlerin sayısı 26 olup değeri ise 185 Bq/m^3 tür. Kalorifer ile ısıtılan evlerin sayısı 22 olup ortalama radon konsantrasyonu 156 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır. Bu ilde kömür sobası kullanılan evlerde radon konsantrasyonu kalorifer kullanılan evlere göre yüksek çıkmıştır. Kömür içinde de belirli oranlarda ^{226}Ra radyoizotopu bulunmaktadır (URL-4). Ardahan ilinde beton ev sayısı 32 olup ortalama radon konsantrasyonu 172 Bq/m^3 tür. Ahşap ev sayısı 16 olup ortalama radon konsantrasyonu 170 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Her ne kadar radon konsantrasyon değerleri yakın olsa da evlerin sayısı birbirine yakın olmadığından evlerin yapı malzemelerinin radon konsantrasyonuna etkisi belirlenememiştir.

Tablo 22. Artvin ve Ardahan illerinde evlerde yapılan anket sonuçları

Ev Özellikleri	Artvin		Ardahan	
	Ev Sayısı	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Ev Sayısı	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Isıtma Sistemi				
Kömür Sobası	44	133	26	185
Kalorifer	29	131	22	156
Havalandırma				
Doğal	73	132	48	173
Diğer (klima)	-		-	
Ev Durumu				
Müstakil	20	138	17	232
Apartman	53	130	31	138
Ev tipi				
Beton	65	134	32	172
Ahşap	8	120	16	170

Tablo 23’de Türkiye’de ve dünyada bazı bölgelerde ev içi radon konsantrasyonu değerleri verilmektedir. Türkiye’deki Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) ve Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP)’nin evlerde radon konsantrasyonu için izin verilebilir seviyeyi 400 Bq/m³ olarak belirlemişlerdir. Bu değere karşılık gelen yıllık ortalama etkin doz değeri ise 10 mSv’dir. Ancak, UNSCEAR ‘ın 2000 raporunda, insanların radon gazından dolayı maruz kaldıkları doz seviyesi 1,32 mSv/yıl olarak belirlediği seviyeyi Artvin ve Ardahan illeri göz önüne alındığında doz değerleri 1,32 mSv/yıl üzerindedir. Ayrıca, Radon konsantrasyon değerleri Ardahan ilindeki 3 ev dışında izin verilen seviyeyi aşmamaktadır. Türkiye ortalaması göz önüne alınırsa her iki ilde evlerdeki radon konsantrasyonu değeri Türkiye ortalamasının üzerinde çıkmıştır. Ancak (ÇNAEM) ve ICRP’nin evlerde radon konsantrasyonu için belirlemiş olduğu değer de altındadır.

Tablo 23. Türkiye’de ve bazı ülkelerde radon konsantrasyonu

		Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)	Referans
Türkiye	İstanbul	50	Köksal vd. (1993)
	Erzurum	85	Çelebi ve Alkan (1997)
	Şanlıurfa	68	Çelebi ve Alkan (1997)
	Çanakkale	160	Çelebi ve Alkan (1997)
	Elazığ	47	Selçuk vd (1998)
	Isparta	164	Uluğ vd. (2003)
	Antalya	29	Köksal 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	Çalışılan
Artvin	132	Çalışılan	
Diğer Ülkeler	İspanya (Barcelona)	68,5	Gutierrez vd. (1992)
	İspanya (Madrid)	40,5	Gutierrez vd. (1992)
	Meksiko	145	Marina vd. (2001)
	Yunanistan (Patras)	38	Papaefthymio vd. (2002)
	Hindistan (Himachal Pradesh)	123	Singh vd. (2002)
	Suudi Arabistan (Yemen)	42	Khayrat vd. (2003)
	Hindistan (Nurpur bölgesi)	168-429	Singh vd. (2004)
	Macaristan	10-5800	Hamori vd. (2006)
	Meksika (Zacatecas)	67	Quirino vd. (2006)
	Suudi Arabistan (Riyad)	18	Ferdoas S. Al-Saleh (2007)
	Pakistan	72	Rahman vd. (2007)

Artvin merkez ve ilçelerinde alınan toprak numunelerindeki ortalama ^{226}Ra aktivitesi 22,5 Bq/kg olup en düşük aktivite Borçka, en yüksek aktivite ise Hopa ilçelerinde tespit edilmiştir. ^{232}Th aktivitesi 20,1 Bq/kg olup en yüksek Artvin merkez de en düşük ise Murgul da görülmüştür. ^{40}K aktivitesi 357,5 Bq/kg olarak hesaplanmış en yüksek merkez de, en düşük Murgul da görülmektedir. Ayrıca, toprak numunelerinde ^{137}Cs yapay radyoaktif elementine rastlanmış ve ortalama olarak 53,7 Bq/kg olarak bulunmuştur. En yüksek aktivite Hopa ve Arhavi ilçelerinde en düşük ise Artvin ili merkezinde rastlanmıştır. Bu veriler doğrultusunda her bir ilçede topraktaki radyonüklitlerin havadaki soğurulan doz hızı ortalaması, 39,16 nGy/h olarak bulunmuştur. Bu değerden faydalanarak da yıllık etkin doz eşdeğeri 48,02 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak bulunmuştur.

Ardahan merkez ve ilçelerinde alınan toprak numunelerindeki ortalama ^{226}Ra aktivitesi 35,9 Bq/kg olarak bulunmuş, en düşük Merkez'de en yüksek ise Çıldır ilçesinde görülmüştür. Ortalama ^{232}Th aktivitesi 30,7 Bq/kg olup, en yüksek Merkez de en düşük ise Hanak ilçelerinde tespit edilmiştir. Ortalama ^{40}K aktivitesi 342,1 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Bu il ve ilçelerinden de alınan toprak numunelerinde ^{137}Cs yapay radyoaktif elementine rastlanmış ve ortalama olarak 10,72 Bq/kg olarak bulunmuş ve en yüksek Çıldır ilçesinde en düşük ise Damal ilçesinde rastlanmıştır. Bu verilerden faydalanarak her bir ilçede topraktaki radyonüklitlerin havadaki soğurulan doz hızı ortalama 50,46 nGy/h bulunmuş ve yıllık etkin doz eşdeğeri ise 61,89 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak bu tespit edilmiştir.

Her iki ildeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K değerleri Türkiye'deki diğer illerdeki aktivite değerleri ile karşılaştırıldığında genel olarak birbirine yakın bulunmuştur. Artvin ve Ardahan illerinde yaşayan insanların topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kaldıkları yıllık etkin doz değeri UNSCEAR'ın belirttiği 70 $\mu\text{Sv/yıl}$ 'ın altındadır.

Genel olarak CR-39 radon dedektörlerinin dağıtıldığı evlerin yakınlarından alınan topraktaki doğal radyoaktivite değerlerine bakılmıştır. Ardahan ilindeki ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite değerleri Artvin iline göre yüksek, ^{40}K değeri ise yakın çıkmıştır. Jeolojik yapıya da bakıldığında genel olarak her iki ilinde kayaç yapısında granit ve volkanik yapı oluşumuna rastlandığı için diğer birçok ille karşılatıldığında radon konsantrasyonun yüksek çıkması beklenen sonuçtur. Ayrıca iklim koşullarına bağlı olarak evlerin havalandırılması da dikkate alındığında özellikle kışın evlerde yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur.

Her iki ilde rastlanan yapay radyoaktif element olan ^{137}Cs , Artvin ilinde Ardahan iline göre daha fazla gözlenmiştir. Bu değerleri Tablo 24’de verilen Türkiye’de yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırdığımızda Rize ili fırtına vadisi hariç diğer bölgelere göre yüksek bulunmuştur. Bu ilçelerde ^{137}Cs ’nin diğer bölgelere göre daha yüksek çıkması, 1986 yılında meydana gelen Çernobil nükleer kazasından sonra radyoaktif toz bulutunun rüzgar ve yağmurla beraber bu bölgelere ulaşması sonucunu akla getirmektedir.

Tablo 24. Türkiye’de ve Dünya’da bazı bölgelerde topraktaki radyonüklit seviyesi

		^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	Referans
Türkiye	İstanbul	21	37	342	18	Karahan ve Bayülgen (2000)
	Manisa	28,5	27	340	-	Ereeş vd. (2006)
	Çanakkale	290,36	532,04	1160,75	0-6,57	Örgün vd. (2006)
	Rize, Fırtına Vadisi	50	42	643	85	Kurnaz vd. (2007)
	Adana	17,6	21,1	297,5	6,8	Değerlier vd. (2007)
	Kastamonu	37,4	27,2	431,4	8	Kam ve Bozkurt (2006)
	Şanlıurfa	20,5	24,6	298,6	9,1	Bozkurt vd. (2007)
	Gaziantep	33	24	289	8	Osmanlıoğlu vd. (2008)
	Ardahan	35,9	30,7	342,1	10,7	Çalışılan
	Artvin	22,4	20	357	53,7	Çalışılan
Diğer ülkeler	Pakistan (Jordanian)	43-229	18-32	290-558	-	Ahmad vd. (1997)
	Mısır (Güney bölgesi)	5-24	2-10	293-660	-	Sroor vd. (2001)
	Kıbrıs	31,8	41,5	575	-	Tzortzis vd. (2004)
	Nijerya	16,2	24,4	34,8	-	Arogunjo vd (2004)
	Nijerya	20,3	21,2	219,8	-	Jibiri ve Bankole (2006)
	Pakistan (Güney Punjab)	21,7	31	393,2	1,6	Fatima vd. (2007)
	Hindistan (Bangalore Bölgesi)	26,2	53,1	635,1	-	Prasad Shiva vd. (2008)
Dünya ortalaması	35	30	400	-	UNSCEAR (2000)	

5. ÖNERİLER

Artvin ve Ardahan illerinde evlerde yapılan radon konsantrasyonları sonuçlarının insan sağlığını ne derece etkileyebileceği konusunda insanları bilgilendirmek ve gereken önlemlerin alınması şeklinde uyararak gerekebilir. Çalışma bölgelerinde evlere daha fazla sayıda radon dedektörü dağıtılabilir. Ayrıca yapı malzemelerinin radon konsantrasyonu üzerine etkisini gözlemleyebilmek için eşit sayılarda ahşap ve beton evlere radon dedektörü konulabilir. Yine alışma bölgelerinde ev içi ve ev dışı gama radyasyonları ölçülerek radon ile bir ilişkisinin olup olmadığına bakılabilir.

Radon konsantrasyon değerleri her ne kadar ICRP ve TAEK'in izin verilen değerler altında çıkmış olsa da insanlar bilinlendirilip ve özellikle evlerin havalandırılması konusunda uyarılar yapılabilir. Yeni inşaatların yapımında radyoaktif içeriği düşük materyaller kullanılabilir. Giriş çatlakları ve yerleri tıkanabilir (geçirgen olmayan bir imento tabakası ile toprağın örtülmesi). Hava akımının bina içinden toprağa doğru olması sağlanabilir. Radon konsantrasyonu yüksek olan bölgelerde, toprak tabanlı kırsal kesim evlerinde tabana polietilen bir örtü serildikten sonra üzerine imento dökülmesi gibi önlemler alınabilir.

Ayrıca topraktaki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivitelerinin belirlenmiş olması, ileride doğabilecek herhangi bir Çernobil Nükleer Kazası benzeri durumda, radyasyon takibi açısından çok faydalı olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Arogunjo, A. M., Farai, I. P. ve Fuwape, A., 2004. Dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the Delta region of Nigeria. Radiation Protection Dosimetry, 108, 73-77.
- Arya A. P. (Edit: Şahin, Y.), 1999. “Çekirdek Fiziğinin Esasları”, Aktif Yayın, Dağıtım LTD. ŞTİ., İstanbul.
- Atakan, Y. 2006. İyonlayıcı Radyasyon Etkileri ve Sağlık Riski, Radyasyon ve Çevre Sempozyumu, Çanakkale.
- 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., Indoor radon measurement in the province of Batman, Turkey. 25. Uluslararası Fizik Kongresi, 25-29 Ağustos, 2008, Bodrum, Turkey.
- Değerlier, M., Karahan, G. ve Ozger, G., 2008. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey, Journal of Environmental Radioactivity, 1-8.
- Ereeş ., F. S., Aközcan, S., Parlak, Y. ve Çam, S., 2005. Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). Radiation Measurement, 41, 598-601.

- 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.
- 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.
- Fatima, I., Zaidi, H. J., Arif, M., Daud, M. ve Tahir, S. N. A., 2007. Measurement of natural radioactivity and dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the soil of southern Punjab, Pakistan. Radiation Protection Dosimetry, 1-7
- Fişne, A., 2002. Yeraltı Madenlerinde Radon Gazı Konsantrasyon Seviyesinin Belirlenmesi ve İşçi Sağlığı Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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 IAEA/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.
- Jibiri, N. N. ve Bankole, O. S., 2006. Soil radioactivity and radiation absorbed dose rates at roadsides in high-traffic density areas in Ibadan metropolis, southwestern Nigeria. Radiation Protection Dosimetry., 118, 453–458.
- Karakelle, B., Öztürk, N., Köse, A., Varinlioğlu, A., Erkol, A. Y. ve Yılmaz, F., 2002. Natural radioactivity in soil samples of Kocaeli basin, Turkey. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 254, 649–651.
- Karahan, G. ve Bayulken, A., 2000. Assesment 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.

- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Topçuoğlu, S., Çotuk, Y., Coşkun, M., Çayır, A. ve Küçer, R., 2007. Radioactivity Concentrations and Dose Assessment in Surface Soil Samples from East and South of Marmara Region, Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 1-7.
- Knoll, G. F., 2000. Radiation Detection and Measurement, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Köksal, 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.
- Köksal E. M, Celebi N. ve Ozcinar B, 1993. Indoor ^{222}Rn Concentrations in Istanbul Houses, Health Physics, 65, 87-88.
- 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., Okumusoğlu, N. T., Kormaz, F., Karahan, G. ve Çevik, U., 2007. Determination of Radioactivity Levels and Hazards of Soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize,Turkey), Applied Radiation and Isotopes, 65, 1281–1289.
- 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.
- Matiullah, A. A., Rehman, S. ve Mirza, M. L., 2003. Indoor Radon Levels and Lung Cancer Risk Estimates in Seven Cities of the Bahawalpur Division, Pakistan, Radiation Protection Dosimetry, 107, 269-276.
- M.T.A., Maden Teknik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü, Ankara, 1961.
- Osmanlıoğlu, A. E., Kam, E. ve Bozkurt, A., 2007. Assessment of Background Radioactivity Level For Gaziantep Region of Southeastern Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 124, 407-410.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G. ve Çelebi, N. 2005. Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in Southeast part of Eskisehir, Turkey. Applied Radiation and Isotopes, 63, 267–275.

- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S.Y., Güngör, Y., Gültekin, A.H., Karahan, G. ve Karacık, Z., 2007. Natural and Anthropogenic radionuclides in Rocks and Beach Sands from Ezine Region (Çanakkale), Western Anatolia, Turkey, Applied Radiation and Isotopes, 65, 739-747.
- Özbal, Ö., 1999. İzmir Bolçava'da Termal Su Kullanılan Binalarda Radon Konsantrasyonu ve Sudaki Radonla Korelasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 Elaziğ houses and factories. Radiation Protection Dosimetry, 77, 211-212.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

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

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.

Yarar, Y., Gunaydi, T. ve Kam, E., 2005. A radon survey in some regions of Turkey. International Congress Series 1276, 385.

UNSCEAR 1993, 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, www.periodictable.com/Isotopes/086.222/index.full.html, 2 Şubat 2008.

URL-3, http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_03.html#1, 12 Ocak 2008.

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

Zunic, Z. S., Yarmoshenke, I. V., Birovljević, A., Bohicchio, 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.

7. EKLER

Ek Tablo 1. Artvin ili ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerleri

ARTVİN	Aktivite (Bq/kg)			
	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K
Merkez	9,96 ± 1,7	34,28 ± 3,13	4,96 ± 1,56	533,5 ± 11,52
	35,09 ± 5,83	62,49 ± 9,98	-	811,53 ± 21,65
	31,22 ± 6,03	40,03 ± 8,62	-	412,95 ± 13,35
	7,26 ± 1,1	8,09 ± 1,29	4,82 ± 1,44	487,73 ± 10,44
Ardanuç	12,99 ± 2,53	15,83 ± 1,96	10,15 ± 2,01	413,87 ± 9,19
	15,44 ± 2,64	22,16 ± 2,63	15,11 ± 2,48	426,12 ± 9,25
	15,94 ± 2,5	23,27 ± 2,44	6,03 ± 1,69	307,19 ± 7,43
	14,19 ± 2,20	15,03 ± 1,75	14,51 ± 1,96	580,49 ± 11,96
Arhavi	14,75 ± 2,21	30,5 ± 2,74	7,21 ± 1,63	527,61 ± 11,03
	26,75 ± 3,84	43,58 ± 4,19	33,46 ± 2,85	464,21 ± 10,26
	9,93 ± 1,29	9,89 ± 1,34	225,56 ± 6,07	193,78 ± 4,57
	56,16 ± 5,95	19,73 ± 2,26	173,51 ± 5,71	332,15 ± 7,37
	42,97 ± 4,85	16,84 ± 2,12	-	577,81 ± 12,48
	25,75 ± 3,46	6,92 ± 0,91	15,72 ± 2,28	436,04 ± 10,03
	39,14 ± 4,14	16,92 ± 2,21	48,39 ± 3,18	320,54 ± 7,28
Borçka	3,74 ± 0,61	10,59 ± 1,3	15,79 ± 2,41	242,01 ± 5,49
	15,86 ± 2,3	18,75 ± 2,08	38,49 ± 2,49	115,71 ± 2,63
	3,45 ± 0,56	10,4 ± 1,37	14,88 ± 1,98	311,86 ± 6,83
	11,11 ± 1,75	22,21 ± 2,46	-	169,43 ± 3,9
	11,42 ± 1,84	18,69 ± 2,02	59,69 ± 3,15	388,4 ± 8,7
	16,43 ± 2,57	17,17 ± 2	4,76 ± 0,71	403,29 ± 8,83
	5,93 ± 1,26	9,78 ± 1,35	5,75 ± 1,7	278,14 ± 6,06
Hopa	7,34 ± 1,51	23,97 ± 2,71	88,78 ± 3,56	273,5 ± 10,92
	11,56 ± 2,3	25,34 ± 2,79	89,69 ± 3,74	208,05 ± 9,92
	10,61 ± 1,94	16,88 ± 1,97	42,07 ± 2,82	286,43 ± 7,47
	14,54 ± 1,96	16,25 ± 1,89	297,91 ± 6,35	446,25 ± 9,59
	25,56 ± 3,31	26,49 ± 3,39	159,51 ± 6,08	103,72 ± 2,44
	7,62 ± 1,33	12,19 ± 1,66	71,09 ± 3,63	279,3 ± 6,28
	18,17 ± 3,1	22,13 ± 2,79	105,52 ± 3,99	193,72 ± 4,51
	10,91 ± 2,15	21,56 ± 2,64	96,52 ± 4,06	191,11 ± 4,76
	73,59 ± 5,71	15,91 ± 2,1	32,72 ± 3,06	449,55 ± 11,06
	45,67 ± 4,94	11,62 ± 1,75	26,89 ± 3,04	246,6 ± 5,84
	37,52 ± 3,84	18,04 ± 2,08	51,24 ± 2,91	570,52 ± 12,27
	79,29 ± 6,32	35,56 ± 4,08	216,71 ± 6,48	1011 ± 22,45
	54,27 ± 6,4	25,92 ± 3,29	343,55 ± 8,11	375,17 ± 9,23
	42,54 ± 4,19	26,36 ± 2,81	27,27 ± 2,92	434,66 ± 9,82
	62,13 ± 5,44	29,36 ± 3,18	18,69 ± 2,57	325,75 ± 7,92
35,64 ± 4,22	26,85 ± 2,7	151,61 ± 7,73	514,44 ± 11,32	

Ek 1'in devamı

Murgul	5,63 ± 1,05	14,61 ± 1,67	-	51,73 ± 1,24
	4,68 ± 1,02	19,08 ± 2,16	11,73 ± 1,88	282,26 ± 6,35
	10,17 ± 1,69	16,77 ± 1,99	12,55 ± 2,13	269,21 ± 5,95
	15,8 ± 2,15	11,27 ± 1,47	12,62 ± 2,09	372,41 ± 11,95
	9,45 ± 1,34	13,34 ± 1,84	7 ± 1,95	254,82 ± 5,81
	5,85 ± 0,88	5,02 ± 0,73	-	104,89 ± 2,43
	6,9 ± 0,96	5,58 ± 0,85	9,86 ± 1,55	184,31 ± 4,13
	10,88 ± 1,29	6,52 ± 0,89	4,46 ± 1,67	126,75 ± 3,34
	7,59 ± 1,07	22,89 ± 2,19	14,11 ± 1,71	343,46 ± 7,49
	44,85 ± 4,79	24,41 ± 2,83	20,47 ± 2,74	511,83 ± 11,31
	11,78 ± 1,78	16,76 ± 11,95	7,88 ± 1,86	182,15 ± 3,88
Şavşat	18,02 ± 1,96	19,57 ± 2,24	9,42 ± 2,14	444,84 ± 9,83
	14,23 ± 1,94	33,45 ± 3,62	26,92 ± 3,42	127,81 ± 3,1
	34,91 ± 3,67	27,11 ± 2,72	11,25 ± 1,98	554,1 ± 11,91
	34,58 ± 3,49	16,88 ± 1,94	7,03 ± 1,49	429,68 ± 9,37
Yusufeli	24,31 ± 3,24	9,95 ± 1,37	21,22 ± 2,56	420,91 ± 9,34
	14,94 ± 2,18	10,5 ± 1,29	12,68 ± 1,61	257,37 ± 5,71
	19,48 ± 2,94	22,47 ± 2,38	9,74 ± 2	430,38 ± 9,51
	17,92 ± 2,97	20,65 ± 2,16	20,76 ± 2,4	385,47 ± 8,56
Genel ortalama	22,35	20,07	53,69	357,51
Minimum	3,45	5,02	4,46	103,72
Maksimum	79,29	62,49	343,55	1011
Std sapma	17,88	10,21	77,23	171,38

Ek Tablo 2. Ardahan ili ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerleri

ARDAHAN	Aktivite (Bq/kg)			
	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K
Merkez	24,17 ± 31,4	40,07 ± 3,5	-	584,8 ± 12,57
	19,77 ± 3,1	18,71 ± 2,11	11,08 ± 2,32	442,73 ± 9,61
	17,43 ± 2,57	23,75 ± 2,49	10,9 ± 1,95	472,36 ± 10,03
	19,43 ± 2,76	27,35 ± 2,64	15,51 ± 2,31	373,78 ± 8,41
	33,63 ± 5,37	35,79 ± 3,83	26,72 ± 3,58	160,17 ± 3,83
	47,5 ± 5,05	57,26 ± 4,92	-	678,39 ± 14,93
	13,1 ± 1,78	33,67 ± 3,27	-	198,84 ± 4,55
	15,4 ± 2,43	28,67 ± 2,9	13,01 ± 2,26	278,42 ± 6,35
	32,57 ± 4,3	40,3 ± 3,8	11,19 ± 2,2	417,11 ± 9,3
	24,85 ± 3,33	25,7 ± 2,64	14,4 ± 2,24	237,11 ± 5,48
	43,49 ± 4,79	28,42 ± 2,61	-	399,55 ± 8,83
	42,99 ± 5,32	30,76 ± 3,13	11,43 ± 2,21	247,84 ± 5,59
	38,44 ± 4,03	27,24 ± 2,76	11,55 ± 2,43	278,54 ± 6,38
	47,74 ± 5,05	44,59 ± 4,33	-	397,31 ± 9,62

Ek 2'nin devamı

Çıldır	31,16 ± 2,92	25,64 ± 2,81	22,68 ± 2,39	243,97 ± 5,66
	53,95 ± 4,84	29,79 ± 2,97	18,18 ± 2,92	288,08 ± 6,65
	61,91 ± 5,55	31,33 ± 3,22	16,09 ± 2,93	466,4 ± 10,59
	42,11 ± 4,75	34,88 ± 3,42	17,86 ± 2,59	281,81 ± 7,07
Damal	36,46 ± 4,32	28,2 ± 3,17	-	334,89 ± 7,5
	33,51 ± 3,73	30,15 ± 2,86	11,07 ± 2,11	151,49 ± 3,56
	39,38 ± 3,9	29,02 ± 2,85	8,86 ± 2,09	198,53 ± 4,47
Göle	23,29 ± 3,36	28,93 ± 3,1	11,88 ± 2,05	396,18 ± 8,76
	26,29 ± 3,62	29,06 ± 2,9	13,51 ± 2,18	308,9 ± 6,89
	52,98 ± 4,41	25,42 ± 2,91	9,95 ± 2,19	366,93 ± 8,29
	34,03 ± 3,62	31,12 ± 3,03	-	219,19 ± 5,15
Hanak	19,63 ± 2,95	18,56 ± 2,31	-	159,5 ± 3,75
	45,73 ± 4,33	33,86 ± 3,38	22,97 ± 2,61	772,46 ± 16,61
	24,05 ± 2,67	23,04 ± 2,43	12,81 ± 2,05	349,53 ± 7,9
	39,3 ± 4,13	37,12 ± 3,46	7,08 ± 2,35	232,81 ± 5,38
	69,8 ± 5,64	22,07 ± 2,71	12,91 ± 3,13	212,95 ± 4,98
Posof	49,09 ± 4,51	33,63 ± 3,21	11,09 ± 2,12	416,5 ± 9,33
	34,86 ± 3,66	30,8 ± 3,07	14,89 ± 2,4	307,83 ± 7,11
	49,8 ± 5,2	30,77 ± 3,39	16,27 ± 2,93	418,83 ± 9,51
Genel	35,99	30,77	10,72	342,13
Minimum	13,10	18,56	7,08	151,49
Maksimum	69,8	57,26	26,72	772,46
Std Sapma	13,84	7,47	4,64	143,81

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Giresun ili Şebinkarahisar ilçesinde doğdu. İlkokulu 1989-1994 yılları arasında Bahçeler ilköğretim okulunda, ortaokul ve liseyi bir yıl yabancı dil olmak üzere Öğretmen Hüseyin Hüsnü TEKIŞIK Anadolu Lisesi'nde 1994-2000 yılları arasında tamamladı.

Üniversite Lisans öğrenimini Akdeniz Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik bölümünde 2000-2004 yılları arasında tamamladı.

2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandı ve bir yıl hazırlık okudu. Lisansüstü öğrenimine başladı, ders aşamasını tamamladı. Araştırmacı İngilizce bilmektedir.