

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**SAMSUN İLİ EV İÇİ RADON KONSANTRASYONU VE ÇEVRESİNDEKİ  
TOPRAKLARDA RADYOAKTİVİTENİN TAYİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ferhan ÖZDERYA**

**AĞUSTOS 2009**

**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**SAMSUN İLİ EV İÇİ RADON KONSANTRASYONU VE ÇEVRESİNDEKİ  
TOPRAKLARDA RADYOAKTİVİTENİN TAYİNİ**

**Ferhan ÖZDERYA**

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10.07.2009**

**Tezin Savunma Tarihi : 05.08.2009**

**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 2009**

## ÖNSÖZ

Samsun İli 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 çalışmamda bana yol gösteren, her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana her türlü emeği geçmiş bütün K.T.Ü. Fizik Bölümü hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca çalışmamın deneysel kısımlarında, laboratuvar çalışmalarım ve arazi çalışmalarım benden yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Aslı KURNAZ'a, Arş. Gör. Nevzat DAMLA'ya ve Arş. Gör. Y. Özkan YEŞİLBAĞ'a teşekkür ederim. Çalışmamın jeolojik haritasında ve yorumlanmasın yardımlarından faydalandığım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ali VAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmada kullanılan Radon dozimetrelerinin analizi ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) de yapıldı. Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi'nde yaptığım çalışmalarda ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tüm kurum çalışanlarına, Dr. Nilgün ÇELEBİ ve Halim TAŞKIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım süresince ve çevresel örneklerimin alınmasında maddi, manevi her türlü desteğini esirgemeyen ve bana yardımcı olan ve bugün bulunduğum yerde olmamda katkıları olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ferhan ÖZDERYA  
Trabzon 2009

## 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 ve Radyasyon.....	4
1.2.1. Radyoaktivite .....	4
1.2.1.1. Radyoaktif Bozunma Türleri .....	5
1.2.1.1.1. Alfa Bozunumu.....	5
1.2.1.1.2. Beta Bozunumu.....	6
1.2.1.1.3. Gama Bozunumu .....	6
1.2.1. Radyasyon.....	7
1.2.1.1. Doğal Radyasyon Kaynakları .....	8
1.2.1.1.1. Kozmik Radyasyon Kaynakları .....	8
1.2.1.1.2. Karasal Radyasyon Kaynakları.....	9
1.2.1.2. Yapay Radyasyon Kaynakları .....	9
1.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu.....	10
1.3.1. Yarı Ömür .....	11
1.3.2. Ortalama Ömür .....	11
1.4. Peşpeşe Parçalanma Kanunu.....	13
1.5. Radyoaktif Denge .....	16
1.5.1. Geçici Denge.....	16
1.5.2. Sürekli Denge.....	18
1.6. Doğal Radyoaktif Seriler .....	19
1.7. Radyasyon Birimleri .....	24
1.7.1. Aktivite Birimi .....	24
1.7.2. Işınlama Birimi .....	24

1.7.3.	Soğrulma Doz Birimi.....	24
1.7.4.	Doz Eşdeğer Birimi.....	25
1.8.	Radon.....	25
1.8.1.	Binalarda Radon Konsantrasyonu.....	26
1.8.2.	Radon Gazının İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.....	27
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	29
2.1.	Çalışma Bölgesi.....	29
2.2.	Deneylerde Kullanılan Cihazlar.....	31
2.2.1.	CR-39 Radon Dozimetreleri.....	31
2.2.1.1.	Dozimetrelerin Dağıtımı ve Toplanması.....	32
2.2.1.2.	Dozimetrelerin Analize Hazırlanışı ve Analizi.....	32
2.2.1.3.	Radoys Ölçüm Sistemi.....	34
2.2.2.	HPGe Dedektörü.....	35
2.2.2.1.	Dedektörün Yapısı.....	36
2.2.2.2.	Enerji Kalibrasyonu.....	36
2.2.2.3.	Verim Kalibrasyonu.....	38
2.3.	Toprak Numunelerinin Doğal Radyoaktivite Analizi.....	39
2.3.1.	Toprak Numunelerinin Alınması.....	39
2.3.2.	Toprak Numunelerinin Analize Hazırlanması ve Analizi.....	39
2.3.3.	Aktivite Hesabı.....	40
3.	DENEYSEL SONUÇLAR.....	41
3.1.	Radon Dedektörlerine İlişkin Alınan Deneysel Sonuçlar.....	41
3.1.1.	Yaz Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri.....	43
3.1.2.	Sonbahar Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri.....	44
3.1.3.	Kış Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri.....	45
3.1.4.	İlkbahar Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri.....	46
3.1.5.	Radon Konsantrasyonunun Yıllık Ortalama Değişimi.....	47
3.1.6.	Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi.....	48
3.1.7.	Radon Konsantrasyonunun Merkez ve İlçelere Göre Mevsimsel Değişimi.....	49
3.2.	Toprak Örneklerine İlişkin Gama Analiz Sonuçları.....	50
3.3.	Doz Hesabı.....	60
3.3.1.	Radondan Dolayı Maruz Kalınan Etkin Doz Hesabı.....	60
3.3.2.	Toprakta Bulunan Doğal Radyonüklitlerden Dolayı Maruz Kalınan Doz.....	61
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64

5.	KAYNAKLAR .....	66
	ÖZGEÇMİŞ	

## ÖZET

Bu çalışma, Samsun ili ev içi radon konsantrasyonu ve çevresindeki topraklarda radyoaktivitenin tayinini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Samsun ilinde CR-39 SSNTD nükleer iz dedektörleri kullanılarak ev içi radon çalışması yapılmıştır. Radon ölçümleri her mevsim olmak üzere Samsun ilinde 127 eve mümkün olduğu kadar homojen bir şekilde dağıtım yapılarak gerçekleştirilmiştir. Radon konsantrasyonları, 23 Bq/m<sup>3</sup> ile 230 Bq/m<sup>3</sup> arasında olup yıllık ortalama konsantrasyonu 106 Bq/m<sup>3</sup>'dür. Radon konsantrasyonu kış dönemi yüksek, yaz dönemi ise düşük çıkmıştır. Radon'un solunumundan dolayı insanların maruz kaldığı yıllık ortalama etkin doz değeri 2,67 mSv/yıl olarak tespit edilmiştir. <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs ortalama aktiviteleri sırasıyla 30,88 Bq/kg, 21,65 Bq/kg, 341,18 Bq/kg, 16,01 Bq/kg olarak bulunmuştur. Doğal radyonüklitlerden dolayı yıllık ortalama dış gama radyasyon doz eşdeğeri 51,74 µSv/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 Samsun Provinces**

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

Indoor radon studies had been conducted in Samsun, using SSNTD type nuclear track detector (CR-39). Radon measurements were done for 4 seasons in 127 dwellings in Samsun, selected as uniformly distributed on the surface area as possible. The radon concentrations varies from 23 Bq/m<sup>3</sup> to 230 Bq/m<sup>3</sup> with the annual mean concentration of 106 Bq/m<sup>3</sup> for Samsun. Radon concentrations were recorded high in winter and low in summer for the provinces. The resulting estimated annual effective dose-equivalent due to inhalation of radon for inhabitants is 2.67 mSv/y for Samsun. The average activity concentrations of <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs, and <sup>40</sup>K were found to be 30.88 Bq/kg, 21.65 Bq/kg, 16.01 Bq/kg and 341.18 Bq/kg for Samsun, respectively. The mean value of total annual external gamma radiation dose equivalent for natural radionuclides was calculated to be 51.74 µSv/y for Samsun.

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



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları .....	8
Şekil 2. Yapay radyasyon kaynakları .....	10
Şekil 3. Peş peşe bozunma grafiği .....	16
Şekil 4. Uranyum bozunma serisi .....	21
Şekil 5. Toryum bozunma serisi .....	22
Şekil 6. Aktinyum bozunma serisi .....	23
Şekil 7. Radonun evlere giriş yolları .....	27
Şekil 8. Çalışma Bölgesi .....	29
Şekil 9. Samsun illinin jeolojik haritası .....	31
Şekil 10. Radoslayt dedektör tutucu ve kazıma diski .....	33
Şekil 11. Radobath sistemi .....	33
Şekil 12. Radosys ölçüm sistemi .....	34
Şekil 13. Gama spektrometre sisteminin genel görünüşü .....	35
Şekil 14. Enerji-Kanal grafiği .....	38
Şekil 15. Enerji-Verim eğrisi .....	39
Şekil 16. Radon konsantrasyon değerlerinin değişimi .....	43
Şekil 17. Sonbahar dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi .....	44
Şekil 18. Kış dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi .....	45
Şekil 19. İlkbahar dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi .....	46
Şekil 20. Samsun ili yıllık ortalama radon konsantrasyonu değişim aralığı .....	47
Şekil 21. Samsun ili mevsimsel radon konsantrasyonu .....	48
Şekil 22. Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelere göre mevsimsel değişimi .....	50
Şekil 23. Samsun ilinin ortalama $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	52
Şekil 24. Samsun ilinin merkez ve ilçelere göre ortalama $^{238}\text{U}$ aktivite değerleri .....	53
Şekil 25. Samsun ilinin merkez ve ilçelere göre ortalama $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri .....	53
Şekil 26. Samsun ilinin merkez ve ilçelere göre ortalama $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri .....	54
Şekil 27. Samsun ilinin merkez ve ilçelere göre ortalama $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	54
Şekil 28. Terme ilçesinin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	55
Şekil 29. Çarşamba ilçesinin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	55
Şekil 30. Tekkeköy ilçesinin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	56

Şekil 31. Ondokuzmayıs ilçesinin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	56
Şekil 32. Bafra ilçesinin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	57
Şekil 33. Kavak ilçesinin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	57
Şekil 34. Ladik ilçesinin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	58
Şekil 35. Havza ilçesinin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	58
Şekil 36. Vezirköprü ilçesinin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	59
Şekil 37. Merkezin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	59
Şekil 38. Yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar, dönemlerine ait ortalama etkin doz değerleri.....	61
Şekil 39. Samsun ilinde doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz hızı .....	63
Şekil 40. Doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğeri .....	63

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Radyasyon terimlerinin SI birimleri, sembolleri, eski birimleri ve aralarındaki ilişki .....	25
Tablo 2. Bazı ülkelerin kabul ettikleri radon konsantrasyon limitleri .....	28
Tablo 3. Bazı ülkelerin belirlenen yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri .....	28
Tablo 4. Standart kaynağın özellikleri.....	37
Tablo 5. Samsun ili yaz, kış, ilkbahar, sonbahar dönemleri radon konsantrasyon değerleri.....	41
Tablo 6. Samsun ili radon konsantrasyonu için pearson korelasyonu.....	49
Tablo 7. Samsun ili <sup>238</sup> U, <sup>232</sup> Th, <sup>137</sup> Cs ve <sup>40</sup> K aktivite değerleri .....	50
Tablo 8. Radondan Dolayı Maruz Kalınan Etkin Doz Hesabı .....	60
Tablo 9. Doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz hızı ve yıllık etkin doz değerleri .	62

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Aktiflik
Bq	: Becquerel
C	: Coulomb
Ci	: Curie
D	: Soğurulan doz
Gy	: Gray
IAEA	: International Atomic Energy Agency
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
R	: Röntgen
Sv	: Sievert
$T_{1/2}$	: Yarı ömür
TAEK	: Türkiye Atom Enerji Kurumu
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
$\lambda$	: Bozunma sabiti
$\tau$	: Ortalama ömür

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Yeryüzündeki bütün canlı varlıklar dünyanın var oluşundan beri sürekli olarak radyasyona maruz kalmaktadırlar. Radyasyon, yer kabuğunda bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerden, dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışıklardan ve insanların ürettiği yapay kaynaklı radyasyonlardan oluşmaktadır.

Doğal radyasyonların kaynağı uzaydan ve güneşten gelen kozmik ışıklar ve yer kabuğunda kendiliğinden bulunan doğal radyonüklitlerdir. Doğal radyasyonun en önemli kaynağı topraktır. Yer kabuğunda değişik konsantrasyonlarda bulunan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  doğal radyonüklitlerin bozunumu esnasında yaydıkları radyasyonlar nedeniyle yiyeceklerimizden, içeceklerimizden, yapı malzemelerinden ve soluduğumuz havadan radyasyonlar yayınlanmaktadır. Bu elementlerin yaydıkları radyasyonlar iyonlaştırıcı radyasyonlardır ve ortamdaki radyasyon konsantrasyonuna çok büyük katkıları vardır.

Karasal dış ışınlamalara doğrudan katkısı olan bu radyoaktif elementlerin topraktaki konsantrasyonları ortamın jeolojik ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Eisenbud, 1987). Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülür. Bu kaya yataklarının karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle, gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir. Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarlarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar göstermiştir ki, bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonları oldukça yüksektir (UNSCEAR, 1988). Ayrıca deniz seviyesinden yukarıya doğru çıkıldıkça ve ekvardan kutuplara doğru gidildikçe kozmik ışıkların şiddeti artmaktadır (Eisenbud, 1987).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda belirlenen sonuçlara göre alınan radyasyon dozu ile kanser olma riski doğru orantılıdır. Bu yüzden, insanların kanser olma riskinin azaltılması için maruz kaldıkları radyasyonun sınırlandırılması ve doz miktarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla topraktaki doğal radyonüklitlerin dış ışınlamalara ne oranda katkıda bulunduğunu tespit etmek için gama dozu ölçümleri dünyanın bir çok yerinde olduğu gibi ülkemizde de yapılmış ve halen yapılmaktadır. Bu yönde yapılan çalışmalara

göre, İstanbul ilinin toprağında bulunan doğal radyonüklitlerin 0-10 cm derinlikteki konsantrasyonları  $^{238}\text{U}$  için 21 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 37 Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  için ise 342 Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ortalama dış gama doz oranı 65 nGy/s olarak bulunmuştur (Karahan ve Bayulken, 2000). Eskişehir’de doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada aktivite konsantrasyonu  $^{238}\text{U}$  için 43,59 ile 651,80 Bq/kg arasında,  $^{232}\text{Th}$  için 51,16 ile 351,94 Bq/kg arasında ve  $^{40}\text{K}$  için 418,50 ile 1618,03 Bq/kg arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Örgün vd., 2005).

Dış ülkelerde yapılan bir çalışmada, Hindistan’ın Bangalore bölgesinde 33 yerleşim yerinde topraktaki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite ortalamaları sırasıyla 26,2 Bq/kg, 53,1 Bq/kg ve 635,1 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Ayrıca topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı havadaki ortalama dış gama doz hızı ve yıllık ortalama etkin doz değeri sırasıyla 73,9 nGy/saat ve 90,6  $\mu\text{Sv}/\text{yıl}$  olarak bulunmuştur (Prasad Shiva vd., 2008).

Mısır’da Burullus Gölü kıyısı ve Burullus adasında yapılan çalışmada, toprak örneklerinin radyometrik analizleri sonucunda  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  için aktivite konsantrasyonları sahilde sırasıyla 14,3, 15,5, 224 ve 1,2 Bq/kg, Burullus adasında ise sırasıyla 13,5, 17,4, 341 ve 15,1 Bq/kg olarak belirlenmiştir (El-Reefy vd., 2005).

Güney Kıbrıs’ta toplam 115 toprak örneğinde doğal radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemek için yapılan çalışmada ortalama aktivite konsantrasyonları  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  için sırasıyla 5 Bq/kg, 7,1 Bq/kg ve 104,6 Bq/kg olarak bulunmuştur (Tzortzis vd., 2004).

Doğal radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyonun yanı sıra, canlılar belli bir miktar yapay radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyona da maruz kalmaktadırlar. 1895’de x-ışınlarının keşfinden beri yapay radyoaktif elementlerin, tıp alanında, nükleer santrallerde enerji üretiminde, endüstri ve araştırma alanlarında kullanılmasıyla ortaya yapay radyasyon salınımı çıkmıştır. Bunun doğrultusunda canlılar yapay radyasyona maruz kalmaya başlamışlardır (UNSCEAR, 1988). Yalnız, canlıların yapay radyasyon kaynaklarından dolayı maruz kaldığı radyasyon miktarı, doğal radyasyon kaynaklarından dolayı maruz kaldığı radyasyon miktarının yanında çok küçük bir değerdir.

İnsanlar yapay radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyondan yıllık ortalama olarak 0,6 mSv’lik bir yıllık doza maruz kalırken, doğal radyoaktif kaynaklardan yayınlanan radyasyondan ise yıllık ortalama olarak 2,4 mSv’lik bir doza maruz kalmaktadırlar. Bu değerler insanların bulunduğu bölgelerin coğrafi şartlarına ve yaşam şekillerine göre değişiklik göstermektedir. Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli

bileşeni radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Bu yolla maruz kalınan radyasyonun ortalama yıllık doz miktarı 1,3 mSv'dir (UNSCEAR, 2000).

Radonun asıl kaynağı uranyum olduğundan, yerkabuğu üzerinde bölgeden bölgeye radon konsantrasyonunda değişimler görülmektedir. Radon atmosferde kurşun, polonyum, bizmut gibi ağır metal radyonüklitlerine bozunur ve solunan havadaki toz parçacıkları ve diğer maddelere yapışarak akciğerlere alınırlar. Son yıllarda artan akciğer kanseri vakalarına neden olarak tüm ilgiyi doğal radyasyon kaynağı olan  $^{238}\text{U}$ 'in radyoaktif bozunma ürünü olan radon gazı çekmektedir. Bozunma sırasında alfa taneciği yayınlamak canlı dokuları iyonize eden radon, yaşayan organizmaların moleküler yapılarına zarar vermektedir.

Genelde insanlar zamanlarının hemen hemen %80'ini kapalı mekanlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselirler ve binanın altında hapsolurlar. Hapsolan bu gazlar, basınç oluştururlar. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan daha çok çatlak ve boşluklardan bina içlerine sızarlar (URL-1).

Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir. Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için müsaade edilebilir konsantrasyon değerlerini  $200-600 \text{ Bq/m}^3$  olarak belirlenmiştir (URL-1). Ülkemizde TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde solunum yoluyla izin verilen Radon yoğunluğu sınırlarının, yıllık ortalama olarak evlerde  $400 \text{ Bq/m}^3$ , iş yerlerinde ise  $1000 \text{ Bq/m}^3$  değerlerini aşamayacağını bildirmiştir (Resmi Gazete, 2000).

Uluslararası Radyasyondan Korunması Komitesi, radona maruz kalma konusunu inceleyerek "Evde ve İşyerinde  $^{222}\text{Rn}$ 'ye Karşı Korunma" konusunda bir rapor hazırlamıştır ve bu rapora göre radona senelik maruz kalma doz sınırları 3-10 mSv arasında kabul edilmiştir. Bu dozlara karşılık gelen radon yoğunluğu evlerde  $200-600 \text{ Bq/m}^3$ , iş yerlerinde ise  $500-1500 \text{ Bq/m}^3$  arasındadır (ICRP, 1993). Avrupa ülkelerinde bu değer yılda  $400 \text{ Bq/m}^3$ , Kanada' da ise  $800 \text{ Bq/m}^3$  olarak kabul edilmiştir (URL-2).

Radonun insan sağlığı üzerindeki bu etkileri nedeniyle, ev içi radon konsantrasyonunu belirlemek amacıyla ülkemizde ve dünyada çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde ilk çalışmalar 1984 yılında ÇNAEM personelinin evlerinde radon ölçümleri yapılarak başlanmıştır. Erzurum ve Çanakkale’de yapılan ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmasında CR-39 pasif radon dozimetreleri kullanılarak, ortalama radon konsantrasyonunu  $85 \text{ Bq/m}^3$  ile  $160 \text{ Bq/m}^3$  arasında hesaplamışlardır (Çelebi ve Alkan, 1997).

Isparta’da ve Isparta’nın Eğridir ve Yalvaç ilçelerinde yapılmış olan ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmasında CR-39 pasif radon dozimetreleri kullanılarak ortalama radon konsantrasyonu sırasıyla  $164 \text{ Bq/m}^3$ ,  $124 \text{ Bq/m}^3$ ,  $112 \text{ Bq/m}^3$  olarak tespit edilmiştir (Uluğ vd., 2004).

Dış ülkelerde yapılan çalışmalara örnek olarak Pakistan’ın Punsab şehrinde Eylül-Aralık ayları arasında yapılan ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmasında 30 evin oturma ve yatak odalarında CR-39 tipi radon dozimetreleri kullanılarak ayrı ayrı ölçüm alınmıştır. Oturma odalarındaki değerler  $\sim 40 \pm 5$  ile  $\sim 173 \pm 4$  ( $\text{Bq/m}^3$ ), yatak odalarında ise  $\sim 38 \pm 5$  ile  $\sim 193 \pm 4$  ( $\text{Bq/m}^3$ ) arasında tespit edilmiştir. Etkin doz oranı ise  $0,6 \pm 0,08$  ile  $3,27 \pm 0,08$  mSv olarak hesaplanmıştır (Faheem ve Matiullah, 2005).

Suudi Arabistan’ın Riyad şehrinde yapılan ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmasında CR-39 tipi pasif radon dozimetreleri kullanarak, Ekim 2004 ile Haziran 2005 tarihleri arasında alınan ölçümlere göre radon konsantrasyonu  $2 \text{ Bq/m}^3$  ile  $69 \text{ Bq/m}^3$  arasında olup ortalama değerleri ise  $18 \text{ Bq/m}^3$  olarak hesaplamıştır (Ferdoas ve Al-Saleh, 2007).

Pakistan’ın kuzey-batı illerinde yapılmış olan bir çalışmada 200 evde CR-39 tipi radon dozimetreleri kullanılarak ev içi radon konsantrasyonu  $47-189 \text{ Bq/m}^3$  arasında, yıllık ortalama radon konsantrasyonu ise  $72 \text{ Bq/m}^3$  olarak tespit edilmiştir (Rahman vd., 2007).

## **1.2. Radyoaktivite ve Radyasyon**

### **1.2.1. Radyoaktivite**

Radyoaktivite, bazı kararsız atom çekirdeklerinin dışarıdan hiçbir etki olmaksızın kendi kendine başka radyoaktif çekirdeğe veya aynı çekirdeğin başka bir durumuna



dönüşmesi ve bu arada radyasyon yayınlamasıdır. Bu kararsız çekirdeklere radyoaktif çekirdekler denir.

Radyoaktif bozunmaya uğrayan bir çekirdek eğer doğada kendiliğinden bulunuyor veya kendiliğinden bozunan bir çekirdeğin ürünü ise bu *doğal radyoaktivite*dir. İnsanların laboratuvarlarda, nükleer reaktörlerde veya hızlandırıcılarda bir atomun çekirdeğini nötron veya yüklü parçacıklar ile bombardıman etmesi sonucunda o elementin farklı çekirdeklerini üretmesine de yapay radyoaktivite denir.

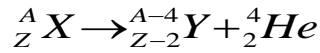
Radyoaktif bir çekirdek kararsız halden kararlı hale geçebilmek için ışımaya yapar, yani radyasyon yayar. Çekirdekten yayınlanan üç tür radyasyon vardır. Bunlar alfa( $\alpha$ ) parçacıkları, beta( $\beta$ ) parçacıkları ve gama( $\gamma$ ) ışınlarıdır. Bozunma sürecinin sonunda kararsız çekirdek kararlı radyoizotopuna ulaşır. Birkaç radyoaktif elementin yarı ömrü dünyanın yaşına kıyasla çok daha uzundur ve bugün hala bunların radyoaktiviteleri gözlemlenmektedir.

### 1.2.1.1. Radyoaktif Bozunma Türleri

#### 1.2.1.1.1. Alfa Bozunumu

Dört kütle birimine ve iki elektrik yük birimine sahip olan helyum çekirdeğine denk bir parçacığın çekirdekten atılmasına alfa bozunması denir. Radyoaktif bozunumlar arasında çekirdeğin en büyük kütle, elektriksel yük ve enerji kaybı alfa bozunumu ile olur. Alfa bozunumu ile çekirdeğin fiziksel ve kimyasal özellikleri değişir. Alfa parçacıkları madde içerisinden geçerken iyonlaşma meydana getirerek tamamen soğurulurlar ve enerjilerini kaybederler.

Alfa bozunumu,

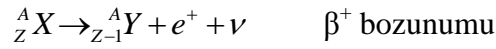
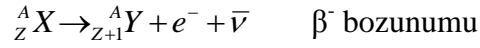


şeklinindedir. Burada X ana çekirdek Y ise ürün çekirdektir. Alfa bozunumu doğada bulunan uranyum, radyum gibi ağır çekirdekli atomlarda gerçekleşmektedir.

### 1.2.1.1.2. Beta Bozunumu

Çekirdek içindeki kararsızlık, proton veya nötron sayısının diğerine göre fazla gelmesinden ileri geliyorsa, fazla olanın diğerine dönüşmesiyle çekirdeğin kararlı hale gelmesine beta bozunumu denir. Kararsızlık nötron fazlalığından ileri geliyorsa nötronlardan biri protona dönüşür ve çekirdekten negatif yüklü bir elektron fırlatılır ( $\beta^-$  bozunumu). Kararsızlık proton fazlalığından ileri geliyorsa protonlardan biri nötrona dönüşür ve çekirdekten bir pozitron (pozitif yüklü elektron) fırlatılır ( $\beta^+$  bozunumu). Beta parçacıkları madde içinden geçerken meydana getirdikleri iyonizasyon ve uyarma ile tamamen soğurulurlar ve enerjilerini kaybederler.

Beta parçacıklarının hızları, c ışık hızı olmak üzere  $0,99c$ 'ye kadar ulaşabilir. İzotopların çoğu tarafından salınan  $\beta$  parçacıklarının maksimum enerjisi yaklaşık 0,5 ile 3,5 MeV arasındadır. Menzilleri alfa parçacıklarına oranla çok daha uzundur. Beta bozunumlarının şematik gösterimleri,

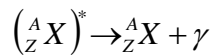


şeklindedir.

### 1.2.1.1.3. Gama Bozunumu

Atom çekirdeği yüksek enerji durumdan düşük enerji durumuna bir alfa veya beta parçacığı yayınlarken geçer. Ancak çoğu kez hemen kararlı duruma geçemez. Çekirdekte kalan fazla enerji bir foton veya elektromanyetik dalga halinde yayınlanır ve gama ışını adını alır. Gama ışınlarının elektriksel yükleri yoktur.

Gama ışınlarının enerjileri 10 keV ile 3 MeV arasında değişmektedir. Buna karşın dalga boyları kısadır. Menzilleri uzun olup, maddeye nüfuz etme yetenekleri fazla olduğundan, alfa ve betalar gibi ince bir madde tabakası ile durdurulamazlar. Bu nedenle koruma için zırhlama yapılması zorunludur. Gama bozunumunun şematik gösterimi



şeklindedir.

### 1.2.1. Radyasyon

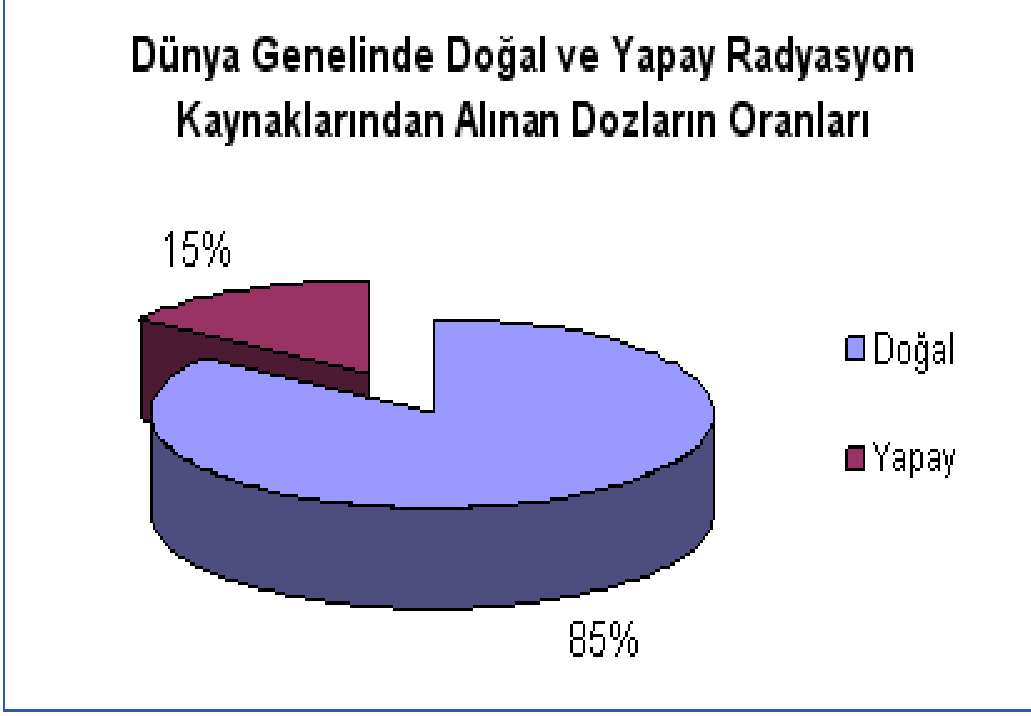
Radyasyon, radyoaktif elementlerin atom çekirdeklerinin bozunması esnasında etrafa yaydıkları ışınlar olarak denir.

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

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

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

Değişik nitelikteki radyasyon kaynakları sürekli insan ve canlılar üzerinde etkili olmaktadır (URL-3). Ciddi bir radyoaktif kazaya uğramadıkça, en fazla radyasyon dozu doğal kaynaklardan alınmaktadır (UNSCEAR, 1988). Şekil 1’de doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları şematik olarak verilmektedir.



Şekil 1. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları (URL-4)

### 1.2.1.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyon kaynakları iki bölümde sınıflandırılmaktadır;

- 1- Dünyanın dışındaki kaynaklar; güneşten ve uzaydan gelen kozmik ışınlar,
- 2- Yer kabuğunda doğal olarak bulunan radyoaktif maddeler; inşaat malzemeleri ve hava olmak üzere karasal kaynaklardır.

#### 1.2.1.1.1. Kozmik Radyasyon Kaynakları

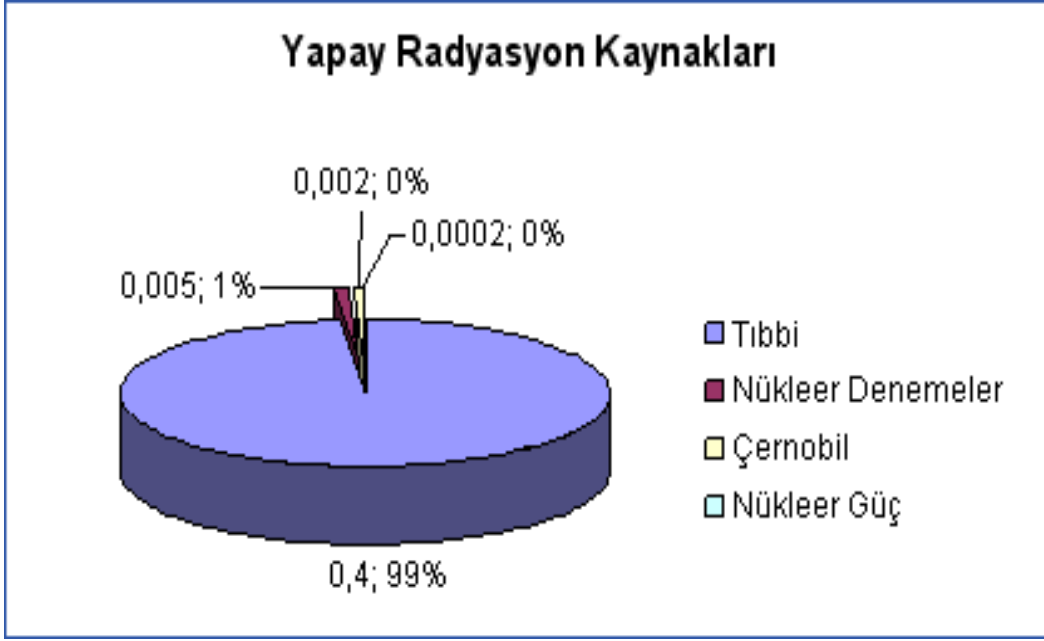
Güneş ve yıldızlardan kaynaklanan yüksek enerjili kozmik ışınlar, daha çok (%93) hızlı protonlardan (hidrojen atomu çekirdeklerinden) ve daha az da (%6,3) alfalardan (helyum atomu çekirdeklerinden) ve bir miktarda trityum ve karbon-14 çekirdeklerinden oluşur. Bunlar atmosferdeki hava molekülleriyle ve atomlarıyla çarpışarak yeni çekirdekler üretilir, enerjilerini git gide kaybederler veya yitirirler. Bunun sonunda kozmik ışınlardan ikincil ve daha sonraki bir dizi tepkimelerle üretilen protonlar, nötronlar, elektronlar, mezonlar, gamalar (fotonlar) gibi daha bir çok ışınlar yeryüzüne ulaşırlar.

### 1.2.1.1.2. Karasal Radyasyon Kaynakları

Karasal dış radyasyon kaynaklarının başında  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ 'un bozunma ürünleri olan radyonüklitler gelmektedir.  $^{235}\text{U}$  ve bozunma ürünlerinin doğal seviyeye katkıları ihmal edilecek düzeyde olduğu için dikkate alınmamıştır.  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  gibi radyonüklitler uzun yarı ömre sahip olup dünyanın var oluşundan beri mevcutlar ve temel seviyeye katkıları oldukça fazladır. Karasal radyasyon kaynakları olan bu radyonüklitler özellikle volkanik kayalarda, değişim geçiren kayalarda, toprakta ve deniz diplerinde birikmiş çamurlarda yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu radyonüklitlerin konsantrasyonları ile dış ışınlamalar arasında doğrudan bağlantı vardır. Eğer radyonüklit konsantrasyonu biliniyorsa, bunun dış ışınlamalara ne oranda katkıda bulunduğu hesaplanabilir. Karasal gama radyasyonlarının insana etkileri genellikle dış ışınlamalarla olmakla birlikte iç ışınlamalarla da olmaktadır. Havada ve gıdalarda doğal olarak bulunan maddelerin solunması ve yutulması sonucu ortaya çıkan ve insan vücudunda yer alan radyonüklitlerden doğal olarak gelen iç kaynaklardan iç ışınlamalar oluşmaktadır (Karahan, 1997).

### 1.2.1.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Nükleer silah denemeleri nedeniyle atmosfere atılan  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  gibi radyoaktif parçacıklar, atmosferik koşullarla zamanla yeryüzüne inerek kirliliğe yol açmaktadırlar. Nükleer silah denemelerinin yanı sıra nükleer ve radyolojik (tıbbi) kuruluşlardan çıkan radyoaktif atıklar veya kaza durumlarında radyoaktif sızıntı meydana gelmesi de çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Tüm bu etkenlerden çevreye yayılmış olan yapay radyoaktif parçacıklara ek olarak Çernobil nükleer reaktör kazası da atmosferdeki ve dolayısıyla yeryüzündeki yapay radyoaktif parçacık kontaminasyonunda artışa yol açmıştır. Yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz miktarları şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Yapay radyasyon kaynakları (URL-4)

### 1.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Radyoaktifliğin keşfedildiği 1896 yılını izleyen üç yılda, saf radyoaktif numunenin zamanla bozunma hızının üstel kanuna uyduğu gösterilmiştir. Radyoaktiflik tüm numunede değil, tek tek çekirdeklerdeki değişikliği temsil etmektedir. Bozunma istatistiksel yapıdadır, yani herhangi bir çekirdeğin ne zaman bozunacağı bilinmemektedir.

Eğer bir  $t$  anında  $N$  sayıda radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni çekirdekler ilave edilmiyorsa  $dt$  süresi içinde bozunan  $dN$  çekirdek sayısı,  $N$  ile orantılıdır:

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

Burada  $\lambda$ , bozunma veya parçalanma sabitidir. Baştaki eksi işareti  $t$  arttıkça  $N$ 'nin azaldığını göstermektedir. Denk.(1)'in sağ tarafı bir çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığıdır, yani bu olasılık, çekirdeğin yaşı ne olursa olsun sabit olup radyoaktif bozunmanın istatistiksel teorisinin temel varsayımıdır. Denk.(1)'in integrali alınır,

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

üstel radyoaktif bozunma kanunu elde edilir. Burada  $N_0$  integrasyon sabiti,  $t = 0$ 'da henüz bozunmamış çekirdek sayısıdır.

Aktiflik,  $\mathcal{A}$  numunede birim zamanda bozunma sayısı, yani bozunma hızı olarak tanımlanır,

$$\mathcal{A}(t) \equiv \lambda N(t) = \mathcal{A}_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

$t = 0$ 'daki başlangıç aktifliği  $\mathcal{A}_0 = \lambda N_0$ 'dır (Krane, 2001).

### 1.3.1. Yarı Ömür

Radyoaktivitede önemli başka bir nicelik de  $t_{1/2}$  ile gösterilen yarı-ömürdür. Yarı-ömür  $t_{1/2}$ , çekirdeklerin yarısının bozunması için gerekli süreyi göstermektedir. Aktiflik, bozunmamış çekirdeklerin sayısının yarıya düşmesi için gerekli zaman aralığına eşittir. Denk.(2)'de  $N = N_0/2$  ve  $t=t_{1/2}$  değerleri yerine konulduğunda

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad \text{veya} \quad t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (4)$$

bulunur.  $t_{1/2}$  zaman biriminde olduğundan  $\lambda$ 'nın birimi zamanın tersidir ( $s^{-1}$ ) (Arya 1999).

### 1.3.2. Ortalama Ömür

Ortalama ömür ( $\tau$ ), bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır (Krane, 2001).

Bozunmanın üstel ifadesi, radyoaktif çekirdeklerin tamamen gözden kaybolması için sonsuz zaman gerektiğini göstermektedir. Hangi çekirdeğin ne zaman bozunacağını bilemeyiz. Herhangi bir çekirdek sıfırdan sonsuza kadar değişik bir ömre sahip olabilir (Arya, 1999).

$t$  süresi içinde bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısı  $N(t)$ 'dir ve  $t$  ile  $t+dt$  aralığında bozunanların sayısı  $|dN/dt|dt$ 'dir. Bu durumda ortalama ömür,

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t |dN / dt| dt}{\int_0^{\infty} |dN / dt| dt} \quad (5)$$

dır. Paydadaki terim toplam bozunma sayısıdır. İntegral alınırsa,

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

bulunur.

Ortalama ömür basit olarak bozunma sabitinin tersidir. Denk.(2) ile ancak  $t$  süre sonra bozunmamış belirli bir türdeki çekirdeklerin sayısı kestirilebilir.  $N$  niceliğini ölçmek çok zor olduğu için kanunun bu şekli ile yararı sınırlıdır. Bir numunedeki bozunmamış çekirdeklerin sayısını ölçmek yerine  $t_1$  ve  $t_2$  arasındaki bozunumların sayısını ölçmek (yayınlanan radyasyonları gözleyerek) daha kolaydır. Eğer  $t$  ve  $t+\Delta t$  arasındaki çekirdeklerin sayısındaki değişiklik  $\Delta N$  ile gösterilirse

$$|\Delta N| = N(t) - N(t + \Delta t) = N_0 e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (7)$$

dir. Sayımın yapıldığı  $\Delta t$  aralığı  $\lambda^{-1}$ 'den çok daha küçük ise (yani  $\Delta t \ll t_{1/2}$ ) ikinci üstel ifadenin açılımındaki yüksek mertebeli terimleri ihmal edebiliriz ve

$$|\Delta N| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t \quad (8)$$

sonsuz küçük limitinde

$$\left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (9)$$

elde ederiz.

Bir  $\Delta t$  zaman aralığında ölçülen  $\Delta N$  sayısı yalnızca  $t \ll t_{1/2}$  ise numunenin aktifliğini verir.  $t_1$  ve  $t_2$  arasındaki bozunma sayısı

$$\Delta N = \int_{t_1}^{t_2=t_1+\Delta t} \mathcal{A} dt \quad (10)$$



dir ve yalnız  $\Delta t \ll t_{1/2}$  ise  $A \Delta t$  'ye eşit olur (Krane, 2001).

#### 1.4. Peşpeşe Parçalanma Kanunu

Hem doğal radyoaktif çekirdeklerde hem de yapay radyoaktif çekirdeklerde bozunma, peşpeşe parçalanmalar şeklinde meydana gelebilir. Ana radyoaktif çekirdek başka bir ürüne bozunur. Eğer bu ürün de radyoaktif ise bu da başka bir çekirdeğe bozunur. Bir çok durumlarda bu peşpeşe bozunma ana çekirdeğin ürüne ve ürünün de kararlı bir çekirdeğe bozunmasıyla sınırlıdır. Eğer olay radyoaktif ana çekirdeğin belli sayıda nükleonlarıyla başlamışsa verilen herhangi bir zamanda bozunma ürününün nekleon sayısı ne olacaktır sorusunun cevabı şu şekilde hesaplanabilir:

Herhangi bir  $t$  anında,  $\lambda_1$  bozunma katsayısıyla ürüne bozunacak ana çekirdeğin sayısı  $N_1$  olsun. Ürün çekirdeğin sayısını  $N_2$  ile gösterelim. Bunlar da  $\lambda_2$  bozunma katsayısıyla bir çekirdeğe bozunacaklardır. Bu kararlı çekirdeklerin sayısı ise  $N_3$  olsun. Bunlara ilaveten  $t=0$  iken  $N_1 = N_{10}$ ,  $N_2 = N_{20} = 0$  ve  $N_3 = N_{30} = 0$  olduğunu farz edelim. Aktifliğin saniyede bozunma sayısı şeklindeki tarifinden şu bağıntıları yazabiliriz:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (11)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (12)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (13)$$

Denk.(11)  $N_1$  'in bozunma sayısını verir. Denk.(12)  $N_2$  tipindeki çekirdeklerin  $\lambda_1 N_1$  hızlarıyla üretildikleri ve  $\lambda_2 N_2$  hızıyla gözden kaybolduklarını göstermektedir. Denk.(13) ile  $N_3$  çekirdeklerinin üretim hızı elde edilir. Bu denklemlerin çözümleri şu şekildedir:

Denk.(11)'in  $t = 0$  da  $N_1 = N_{10}$  şartıyla integrali alırsa

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (14)$$

elde edilir.  $N_1$  'in bu değeri Denk.(12)'de yerine konulacak olursa

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t - \lambda_2 N_2} \quad (15)$$

veya

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (16)$$

elde edilir. Bu bağıntının her iki tarafı  $e^{\lambda_2 t}$  ile çarpılarak

$$e^{\lambda_2 t} \frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 e^{\lambda_2 t} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} e^{\lambda_2 t} \quad (17)$$

veya

$$\frac{d}{dt} (N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (18)$$

bulunur. İntegral alınırsa

$$N_2 e^{\lambda_2 t} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} + C \quad (19)$$

elde edilir. Buradaki  $C$  integral sabitinin değeri,  $t=0$  da  $N_2 = N_{20} = 0$  değeri yerine konularak

$$C = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} \quad (20)$$

şeklinde bulunur.  $C$ 'nin bu değeri Denk.(19)'da yerine konulup her iki taraf  $e^{\lambda_2 t}$  'ye bölünürse

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (21)$$

olur. Benzer şekilde Denk.(13),  $t=0$  da  $N_3 = N_{30} = 0$  şartıyla çözümlerse

$$N_3 = N_{10} \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (22)$$

bulunur. Böylece Denk.(14), Denk.(18), Denk.(19) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir  $t$  anında mevcut olan çekirdeklerin sayısı bulunabilir. Bu eşitlikler,  $t=0$  da  $N_1 = N_{10}$  ve  $N_{20} = N_{30} = 0$  özel durumları için türetildi. Bundan sonra  $N_{20}$  ve  $N_{30}$ ,  $t=0$  iken sıfır olsalar bile  $N_1$ ,  $N_2$  ve  $N_3$  için bağıntılar türetmek mümkündür. Böyle hesaplamaların neticeleri

$$N_1 = N_{10}e^{-\lambda_1 t} \quad (23a)$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{20}e^{-\lambda_2 t} \quad (23b)$$

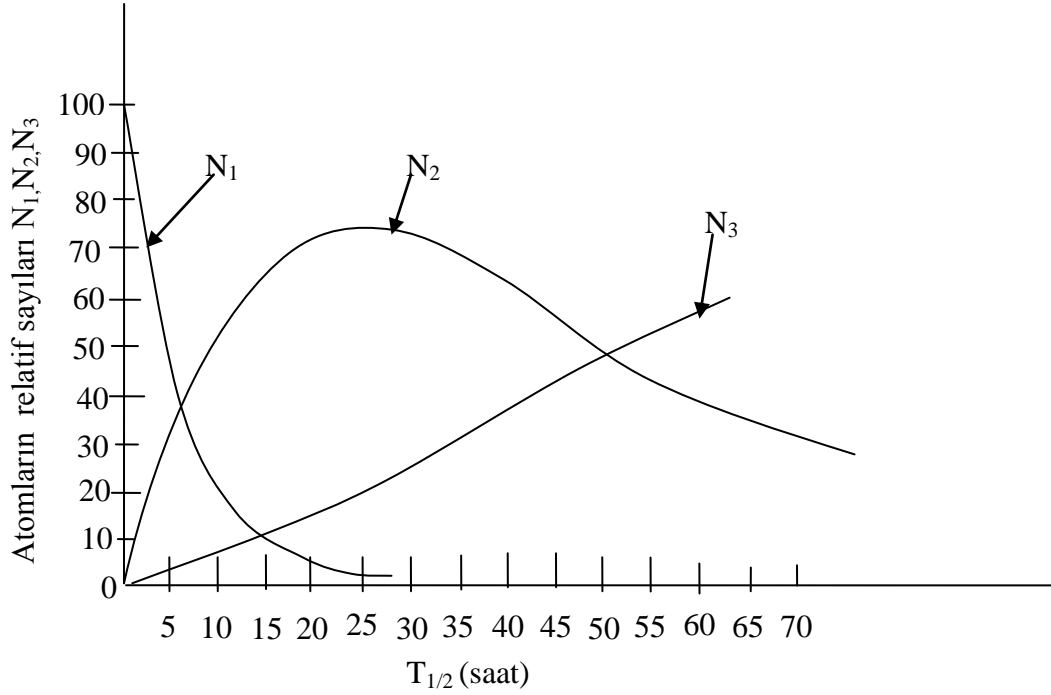
$$N_3 = N_{30} + N_{20}(1 - e^{-\lambda_2 t}) + N_{10}\left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t}\right) \quad (23c)$$

şeklinde olacaktır.

Zincirleme bozunma problemi herhangi bir sayıdaki zincirleme radyoaktif bozunmalara genelleştirilebilir. Zincirleme bozunmaları temsil eden diferansiyel eşitlikler

$$\begin{aligned} dN_1/dt &= -\lambda_1 N_1 \\ dN_2/dt &= \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \\ dN_3/dt &= \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3 \\ &\vdots \\ dN_n/dt &= \lambda_{n-1} N_{n-1} - \lambda_n N_n \end{aligned} \quad (24)$$

olur. Burada  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$  herhangi bir  $t$  anında mevcut bulunan farklı çekirdeklerin sayıdır ve  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  bunların, sırasıyla, bozunma sabitleridir. Şayet bir mevcut olan farklı çekirdeklerin ilk sayılarını biliyorsak herhangi bir  $t$  anında  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$  değerlerini (24) eşitlikleri yardımıyla, bulmamız mümkündür (Arya, 1999).



Şekil 3. Peşpeşe bozunma grafiği

## 1.5. Radyoaktif Denge

Şimdi zincirleme bozunma eşitliklerini bazı özel durumlara uygulayacağız. Birinci durum  $\lambda_1 \cong \lambda_2$  olduğu durum, ikinci durum ise  $\lambda_1 \ll \lambda_2$  olduğu durumdur. Birinci durum geçici denge durumunu ikinci durum ise sürekli denge durumunu verecektir.

### 1.5.1. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin  $\lambda_1$  bozunma sabitiyle 1. ürüne bozunduğunu ve bunun da  $\lambda_2$  bozunma sabitiyle bozunduğunu düşünelim. Bu iki tür çekirdeğin de ortalama ömürlerinin aynı mertebede olduğunu yani  $\tau_1 = \tau_2$  ve dolayısıyla  $\lambda_1 \approx \lambda_2$  olduğunu farz edelim. Bu durumda 1. ürün çekirdeklerin sayısının önce belirli bir maksimum değere ulaşacağını sonra bunlardan uzun ömürlü olanın bozunma hızıyla azalmaya başlayacağını gösterelim.

Denk.(21)'i ele alacak olursak

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (21)$$

$N_2$ 'nin maksimumuna ulaştığı  $t_m$  değerini bulabiliriz. Bu eşitliğin t'ye göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse

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

veya

$$t_m = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \log_e \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (25)$$

elde edilir.

$t_m$  zamanından sonra 1. ürünün bozunma hızına ( $dN_2/dt$ 'ye)  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  den hangisi küçükse o etkili olacaktır. Şöyle ki: i) Şayet  $\lambda_1 \ll \lambda_2$  ise (ki bunun manası ana çekirdeğin ortalama ömrü 1. ürününkinden daha büyüktür) Denk.(21)'de  $e^{-\lambda_2 t}$  terimi  $e^{-\lambda_1 t}$  teriminden daha süratli olarak sıfıra ulaşacaktır ve dolayısıyla bu terim ihmal edilebilecektir. Böylece

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

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} (N_1) \quad (26)$$

veya

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (27)$$

olacaktır. Halbuki 1. ürünün aktivitesinin ana çekirdek aktivitesine oranı

$$\frac{dN_2/dt}{dN_1/dt} = \frac{\lambda_2 N_2}{\lambda_1 N_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (28)$$

dir. Denk.(26) 1. ürünün ana çekirdeğin bozunma hızıyla bozunduğunu gösterir. Yani  $\lambda_1$ , 1. ürün çekirdeğin bozunma hızını belirler. Denk.(27)  $N_2/N_1$  oranının sabit olduğunu ifade eder. Böyle bir durumda ana çekirdekle 1. ürün elementinin geçici dengede olduğu söylenir.

ii) Şayet  $\lambda_2 < \lambda_1$  ise

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

olduğu gösterilebilir. Bu ise belirli bir zamandan sonra 1. ürün çekirdeğin kendisi için belirlenmiş olan  $\lambda_2$  bozunma sabitiyle bozunacağı anlamını verir. Tek zincirleme bozunmadan daha çok bozunmalarda bile bu ifade geçerlidir. Belirli bir müddetten sonra ana çekirdek bitecek ve 1. üründe kendi bozunma hızıyla bozunmasına devam edecektir.

### 1.5.2. Sürekli Denge

Yine Denk.(21)'i ele alalım ve farz edelim ki ana çekirdeğin yarı ömrü 1. ürününkine kıyasla çok çok uzundur. ( $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ). Bu durumda  $\lambda_2 - \lambda_1 \approx \lambda_2$  ve  $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$  olduğundan Denk.(21) ile verilen

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

ifadesi

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{10} (e^{-\lambda_2 t}) \quad (30)$$

ifadesine indirgenir. Bundan başka şayet  $t$ , 1. ürünün ortalama ömrüne kıyasla çok büyükse yani  $t \gg 1/\lambda_2$  ise o zaman  $e^{-\lambda_2 t}$  de 1'in yanında ihmal edilerek Denk.(30)

$$N_2 = (\lambda_1 / \lambda_2) N_{10} \quad (31)$$

şeklinde yazılır. Bu ifade mevcut 1. ürün çekirdek miktarının ( $N_2$ ) sabit olduğunu gösterir. Bu durumda 1. ürün çekirdeğin ana çekirdekle sürekli dengede olduğu söylenir. Ana çekirdeğin yarı ömrü çok büyük olduğundan miktarı aşağı yukarı sabittir. ( $N_{10} = N_1$ ) ve dolayısıyla

$$N_2 = (\lambda_1 / \lambda_2) N_1$$

dir. Böylece sürekli denge için şart

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \quad (32a)$$

veya

$$N_1/N_2 = \lambda_2/\lambda_1 = \tau_1/\tau_2 \quad (32b)$$

veya verilen bir zamanda iki madde miktarlarının bozunma sabitleriyle ters veya ortalama ömürleriyle doğru orantılı olmasıdır. Denk.(32b) denk.(24)'ün kullanılmasıyla kolayca türetilir. Denge için,  $dN_2/dt = 0$ , (24)'deki ikinci denklem

$$\lambda_1/N_1 = \lambda_2/N_2$$

yi verir. Bu da  $dN_1/dt = 0 = -\lambda_1 N_1$  olduğunu ima eder ki, bu yaklaşık olarak doğrudur. Çünkü  $\lambda_1$  çok küçük olduğundan  $\lambda_1 N_1 \approx 0$  olacaktır. Ana çekirdeğin her bir üründen daha uzun yarı ömre sahip olduğu ve birden fazla zincirleme bozunmanın yer aldığı durumlarda kalıcı denge şartını (24) denkleminde

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots = \lambda_n N_n \quad (33a)$$

veya

$$N_1/\tau_1 = N_2/\tau_2 = N_3/\tau_3 = \dots = N_n/\tau_n \quad (33b)$$

olarak yazılabilir (Arya, 1999).

## 1.6. Doğal Radyoaktif Seriler

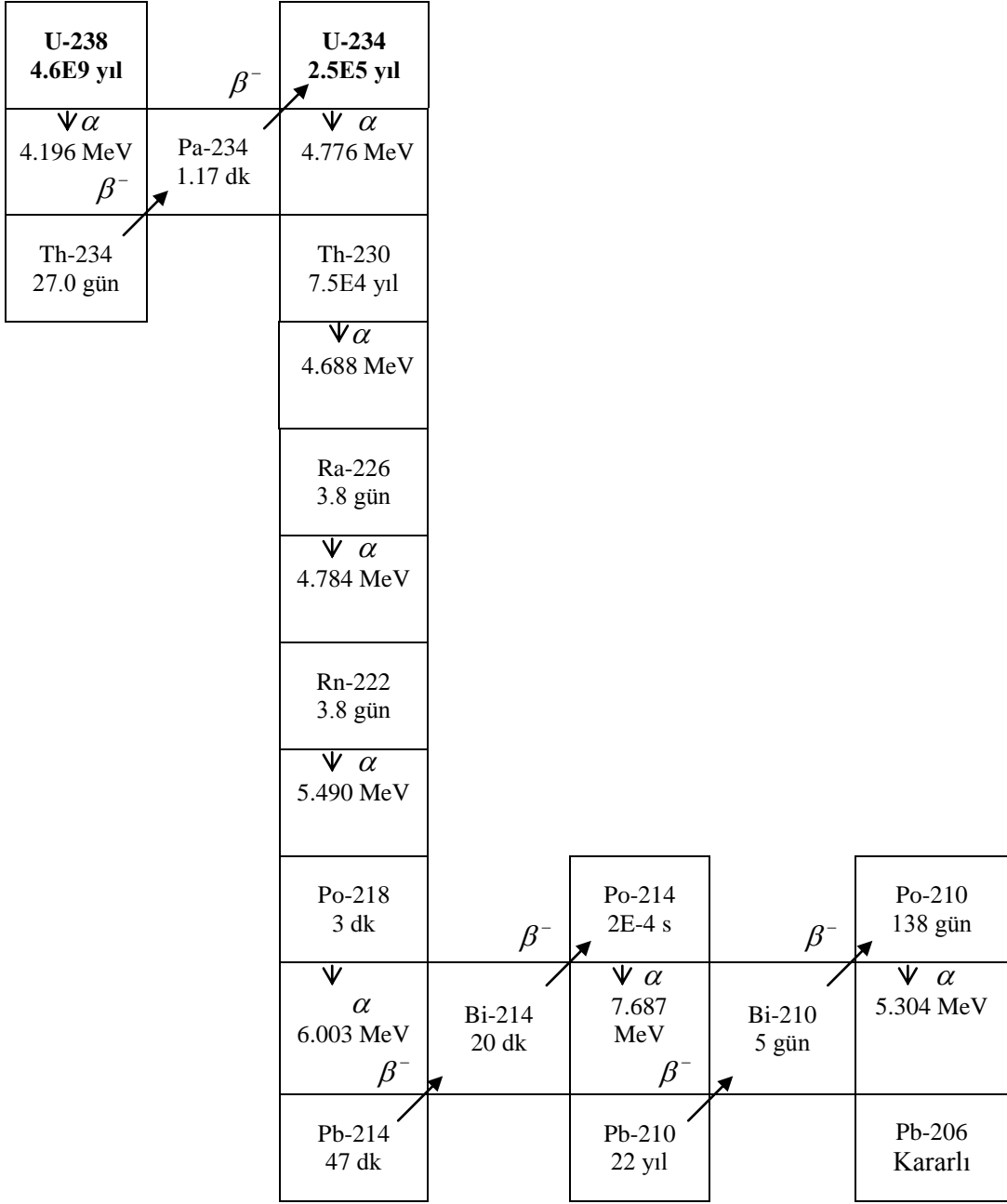
Yeryüzü ve güneş sisteminin diğer gezegenleri yaklaşık  $4,5 \times 10^9$  yıl önce demir, karbon, oksijen, silikon bakımından zengin maddeler, diğer ortam ve ağır elementler olmadan ortaya çıkmışlardır. Bu elementler  $15 \times 10^9$  yıl önce gerçekleşen Büyük Patlama (Big Bang) sonucunda oluşan hidrojen ve helyumdan sırayla yaratılmışlardır. Büyük Patlama'dan güneş sisteminin yoğunlaşmasına kadar geçen  $10 \times 10^9$  yıl boyunca hidrojen ve helyum, yıldızlar, novalar ve süper novalardaki ağır çekirdekleri oluşturmuşlardır. Bu şekilde oluşan çekirdeklerin büyük bir kısmı radyoaktiftir; fakat o zamandan beri kararlı çekirdeklere bozunmaktadırlar. Birkaç radyoaktif çekirdeğin yarı-ömrü dünyanın yaşına

kıyasla çok uzundur ve bugün hala bunların radyoaktiflikleri gözlenebilmektedir (Krane, 2001).

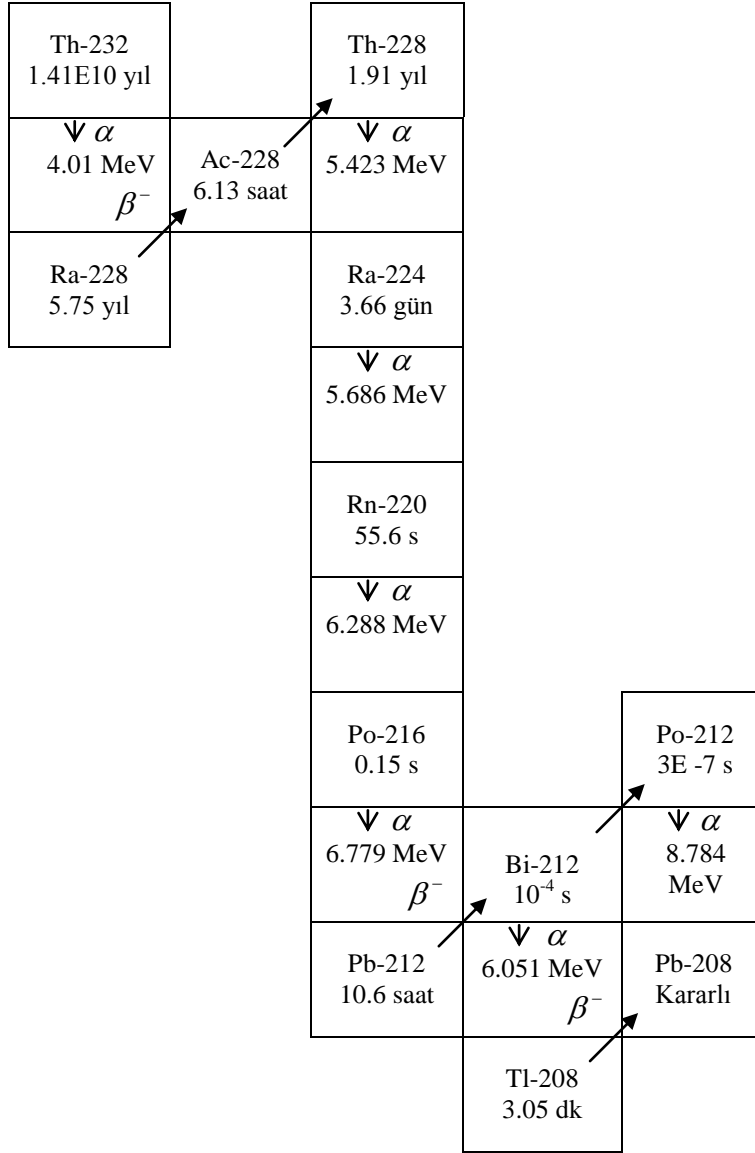
Doğada mevcut elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı diğer bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptirler. Bir çekirdeğin kararlılığını, nötron (N) ve proton (Z) sayıları, düzenlenişleri ve birbirleri üzerine uyguladıkları kuvvetler belirler. En basit çekirdek olan Hidrojen ( ${}^1_1\text{H}$ ) çekirdeğinin dışındaki tüm çekirdekler nötron ve protonlardan oluşmuştur. N/Z oranı hafif izotoplarda 1 iken, periyodik çizelgenin sonundaki ağır elementlere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. Bu oran arttıkça çekirdeklerin artık kararlı olmadığı bir yere ulaşılır. Daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsızdırlar. Böyle çekirdeklere radyoaktif çekirdek adı verilir. Bunlar fazla enerjilerinden radyasyon yayımlayarak kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar (Eisenbud, 1987).

Bir radyoaktif ana çekirdekten alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) ve gamma ( $\gamma$ ) bozunmaları sonucu yavru çekirdekler oluşturan serilere "radyoaktif seriler" denir. Radyoaktif seriler uranyum, toryum, aktinyum doğal serileri olmak üzere üç grup oluşturulmuştur. Her seri, bozunma zincirini tamamladıktan sonra kararlı bir çekirdek haline dönüşür. Aşağıda Şekil 4'de  ${}^{238}\text{U}$  serisi, Şekil 5'de  ${}^{232}\text{Th}$  serisi, Şekil 6'da ise Aktinyum ( ${}^{235}\text{U}$ ) serisi gösterilmiştir (URL-5)

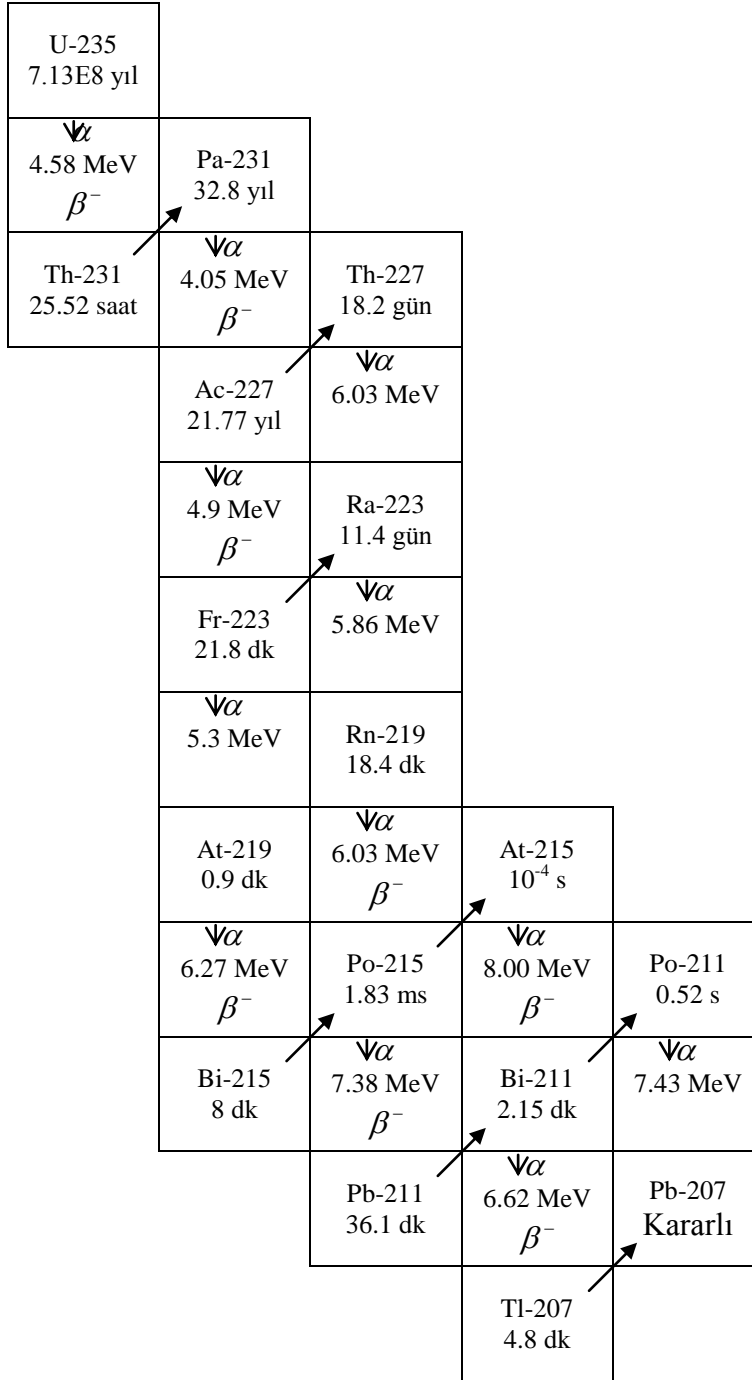




Şekil 4. Uranyum bozunma serisi



Şekil 5. Toryum bozunma serisi



Şekil 6. Aktinyum bozunma serisi

## 1.7. Radyasyon Birimleri

### 1.7.1. Aktivite Birimi

Özel Birim: Curie (Ci)

SI Birimi : Becquerel (Bq)

Curie: Saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir.

Becquerel: Saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir.

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

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

### 1.7.2. Işınlama Birimi

Özel Birim : Röntgen (R)

SI Birimi : Coulomb/kg (C/kg)

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

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

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

### 1.7.3. Soğrulma Doz Birimi

Özel Birim : Rad

SI Birimi : Gray (Gy)

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

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

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

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

#### 1.7.4. Doz Eşdeğer Birimi

Özel Birim : Rem

SI Birimi: Sievert (Sv)

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

Rem = Soğurulan Doz x Faktörler

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

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

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

Tablo 1'de radyasyon terimlerinin SI birimleri, sembolleri, eski birimleri ve aralarındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 1. Radyasyon terimlerinin SI birimleri, sembolleri, eski birimleri ve aralarındaki ilişki

BÜYÜKLÜK	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birimleri	Dönüşüm Faktörü
AKTİVİTE	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq
İŞİNLAMA	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	1 C/kg = 3876 R
SOĞURULAN DOZ	Gray (Gy)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
EŞDEĞER DOZ	Sievert (Sv)	Rem (rem)	1 Sv = 100 rem

#### 1.8. Radon

Radyoaktif bir element olan radon gazının keşfedilmesi, 1900 yılında Alman fizikçi Friedrich Ernst Dorn adıyla anılsada 1899 yılında İngiliz fizikçi Ernest Rutherford tarafından keşfedilmiştir. Aslında radon gazının alfa yayınlayıcısı olduğunu Ernest Rutherford, radonun radyumdan yayımlanan bir gaz olduğunu ise Friedrich Ernst Dorn bulmuştur.

Radon gazı üç doğal ana izotopu bulunan bir soygazdır. Bu izotoplar  $^{238}\text{U}$ 'un bozunma ürünü olan  $^{222}\text{Rn}$ , toron olarak bilinen  $^{220}\text{Rn}$  ve  $^{235}\text{U}$ 'in bozunma zincirinden çıkan  $^{219}\text{Rn}$  (aktinon)'dur. UNSCEAR'ın 1993 raporuna göre insanların doğal kaynaklardan maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık %53'ü gibi büyük bir kısmını radon gazı oluşturmaktadır. Özellikle,  $^{222}\text{Rn}$  insan sağlığına tehdit oluşturan ve radyasyon kirliliğine en fazla katkıda bulunan gazdır (Leghrouz, 2006).

Radon gazı 86 atom numarası ile periyodik cetvelin 8A grubunda yer alan, renksiz, kokusuz, tatsız, duyu organlarıyla algılanamayan, bilinen en yoğun gazdır. Yoğunluğu havadan dokuz kat fazladır. Ergime noktası 202 K, kaynama noktası 211 K'dir. Donma noktasından düşük sıcaklıklara soğutulduğunda parlak renkte fosforesans verir, daha düşük sıcaklıklara inildiğinde bu renk yeşile döner ve sıvı gaz sıcaklıklarına kadar soğutulduğunda ise bu renk turuncu-kırmızı halini alır. Radon uranyumun bozunma zincirinden meydana gelen alfa yayınlı gaz ürünlerinden biri olup bir miktar hava içinde yayılır. 3,8 günlük yarı ömrüyle radon, havada önemli bir konsantrasyon meydana getirmeye yetecek kadar yayımlanabilir. Atomik yarıçapı  $1,34\text{Å}$ 'dur. Tek atomlu olduğu için kağıt, deri, düşük yoğunluklu plastikler, boyalar ile alçı kaplamaları, beton bloklar, ahşap kaplamalar, yalıtım malzemeleri gibi yapı malzemelerinden kolaylıkla geçebilir.

### **1.8.1. Binalarda Radon Konsantrasyonu**

Radon binalara sudan, doğal gazdan, inşaat malzemelerinden, fosil yakıtlarından ve en önemlisi binanın temelini oluşturan topraktan girer. Radon topraktan geçerken suda çözünür ve bu su ile birlikte eve taşınmış olur. Radon seviyesi yüksek olan bölgelerdeki binalarda radondan korunmak için odalar sık sık havalandırılmalıdır. Ayrıca bina içine radon girişi, temellerdeki ve duvarlardaki çatlaklar, ek yerleri, lağımlar ve borular etrafındaki açıklıklar kapatılarak azaltmak mümkündür. Zemin katlarda tabandan gelen radona maruz kalma izolasyon ile en aza indirilebilir. Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa evlerin havalandırılma süresi arttırılmalıdır.

Yapı malzemelerindeki radyasyon oranı da bina içindeki radon konsantrasyon miktarını arttırmaktadır. Bu yüzden yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.



Şekil 7. Radonun evlere giriş yolları (URL-6)

### 1.8.2. Radon Gazının İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Radon kimyasal olarak etkisiz, doğal olarak ortaya çıkan radyoaktif bir gazdır. Radon bir seri bozunum ile yine radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünleri üretir. Bu radyoaktif maddeler Po, Bi ve Pb elementlerinin radyoizotoplarıdır. Bu ürünlerin radondan farkı gaz halinde olmamalarıdır (UNSCEAR, 2000). Radon gazı topraktan havaya kolaylıkla sızar ve alfa parçacıklarını yayar. Bu parçacıklar elektrik yüklüdür ve soluduğumuz havadaki tozlara ve diğer parçacıklara yapışır ve böylece soluk aldığımızda alfa parçacıkları solunum yollarımıza yerleşebilir ve DNA'ya zarar vererek akciğer kanserine yol açabilir. Radon gazının teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz.

Radon kaynaklı akciğer kanseri daha çok sigara içenler arasında gözükmektedir. Son araştırmalar göstermiştir ki, 75 yaşına kadar sigara içmeyenlerin  $100 \text{ Bq/m}^3$ 'lük radon konsantrasyonuna maruz kaldıkları takdirde akciğer kanserine yakalanma risklerinin bu oranda radona maruz kalmayanlara göre 1000'de 1 arttığı gözlenmiştir. Aynı radyasyon oranına tabi kalan sigara içen kişilerde ise akciğer kanserine yakalanma oranının 25 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir (WHO, 2002). On binlerce akciğer kanseri ölümü radonla bağdaştırılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO, The World Health

Organization) yeni yayınladığı rapora göre dünyadaki akciğer kanserinin %15'ine radon sebep olmaktadır (URL-6). USA Çevre Koruma Ajansı (EPA-Environmental Protection Agency) yılda 20.000 akciğer kanseri vakasınının radon gazına bağlı olduğunu söylemektedir (URL-7).

Aşağıda, Tablo 2’de bazı ülkelerin ve uluslar arası kuruluşların kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyon limitleri, Tablo 3’de ise evlerde ölçülen yıllık ortalama ev içi radon konsantrasyon değerleri verilmektedir (URL-8).

Tablo 2. Bazı ülkelerin kabul ettikleri radon konsantrasyon limitleri (Bq/m<sup>3</sup>).

ABD	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avusturalya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB*	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP**	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO***	100
*Avrupa Birliği, **Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi, ***Dünya Sağlık Örgütü					

Tablo 3. Bazı ülkelerin belirlenen yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri (Bq/m<sup>3</sup>)

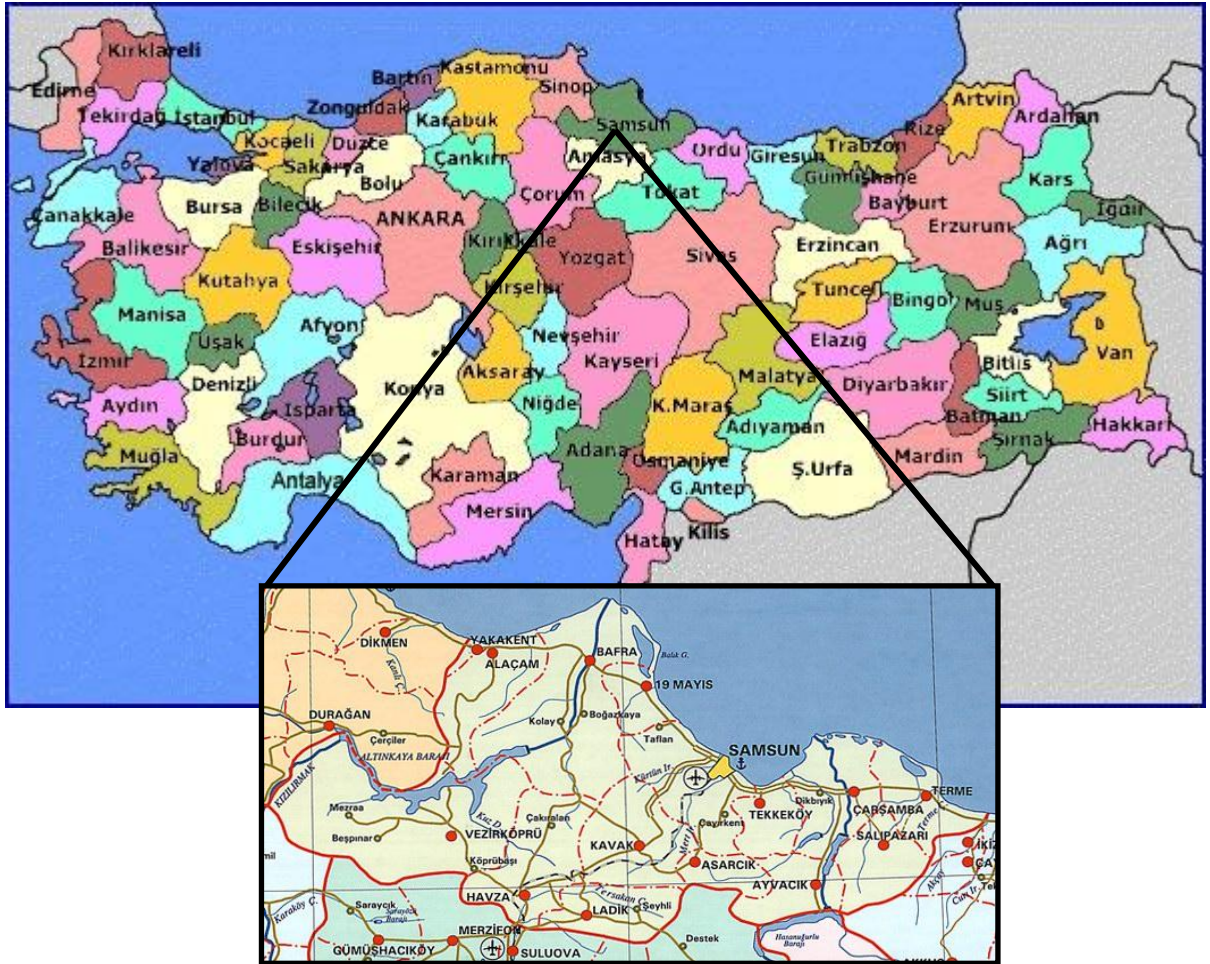
Belçika	48	İran	82	Portekiz	62
Cezayir	30	İspanya	86	Romanya	45
Çek Cum.	140	İsveç	108	Slovakya	87
Çin	24	İsviçre	70	Suriye	44
Danimarka	53	İtalya	75	Tayland	23
Ermenistan	104	Japonya	16	Türkiye	52
Fillandiya	120	Kanada	34	Yunanistan	73
ABD	46	Fransa	62	Macaristan	107
Almanya	50	Hindistan	57	Mısır	9
Arjantin	37	Hollanda	23	Norveç	73
Avusturalya	11	İngiltere	20	Polonya	41



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Çalışma Bölgesi

Samsun; yurdumuzun kuzeyinde, Karadeniz kıyı şeridinin ortasında, kuzeyde  $41^{\circ} 44^1$ , güneyde  $40^{\circ} 05^1$  kuzey enlemleriyle doğuda  $37^{\circ} 05^1$ , batıda  $35^{\circ} 30^1$  doğu boylamlarında yer almaktadır. Kentimiz; doğuda Ordu, batıda Sinop, güneyde Amasya ve Tokat, kuzeyde ise Karadeniz ile sınır oluşturmaktadır. Ordu iline 165 km, Sinop iline 160 km, Amasya iline 130 km ve Tokat iline 225 km mesafededir.



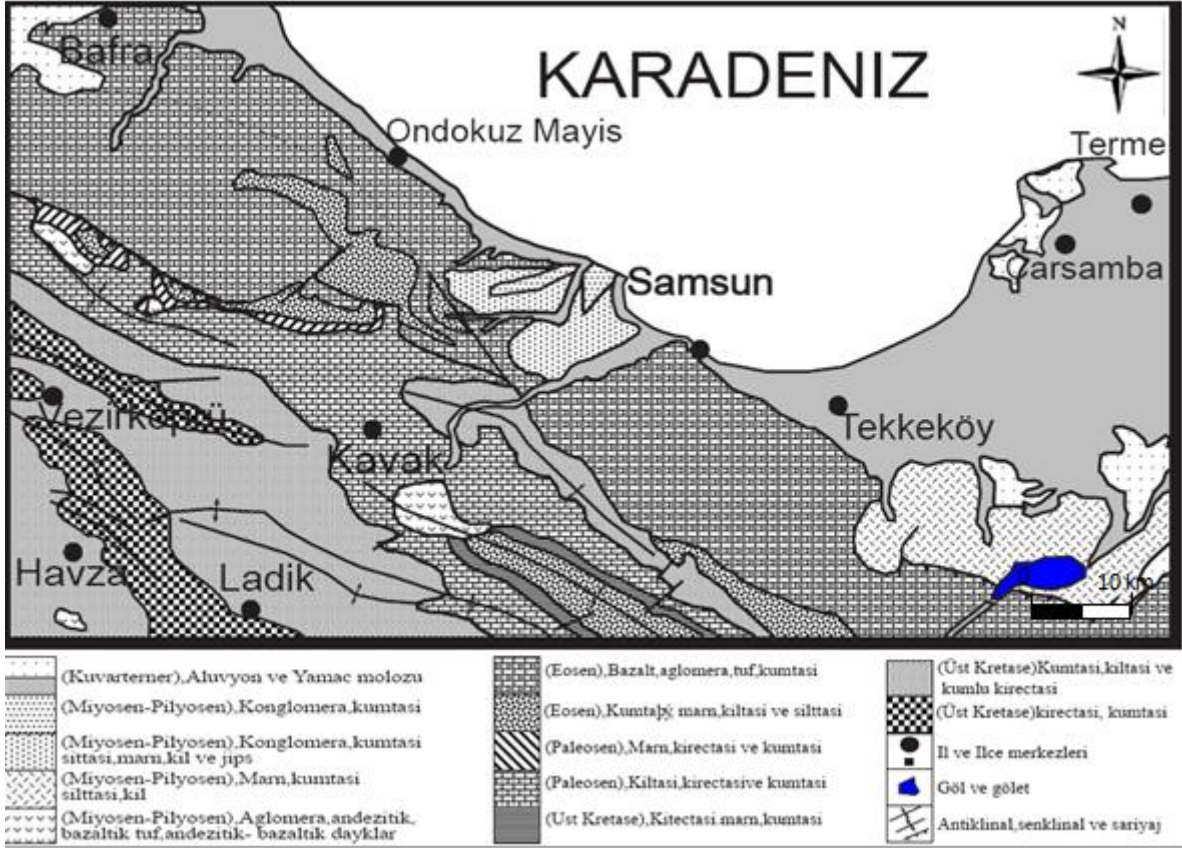
Şekil 8. Çalışma Bölgesi (URL-9)

Kent merkezi 2-10 m yükselteleri arasında uzanan kıyı şeridi ile 150-200 m yükseltelerindeki Kara Samsun sırtlarının doğu ve kuzeydoğusunda yer almaktadır. Dar kıyı şeridi dışındaki kent, eğimi %10–12’yi bulan oldukça engebeli bir topoğrafya üzerinde kurulmuştur. Tekkeköy, Çinik, Kutlukent, Atakum, Atakent, Kurupelit ve Altınkum gibi kent merkezi dışındaki yerleşim birimleri oldukça düz bir topoğrafyaya sahiptir. Doğuda Çarşamba Ovası, batıda Bafra Ovası yer almaktadır.

Çalışma bölgemiz Samsun merkez ve Bafra, Çarşamba, Kavak, Ladik, Havza, 19 Mayıs, Tekkeköy, Terme, Vezirköprü ilçelerini kapsamaktadır. Şekil 9’da çalışma bölgemizin jeolojik haritası ve jeolojik yapısı görülmektedir. Haritaya göre alttan üste doğru birimler incelendiğinde tabanda Erken Kretase yaşlı birimler görülür. Bunlar genellikle kireç taşlarından oluşur. Bunlar ince taneli beyaz plaket kireç taşlarıdır. Yer yer silisyum yumruları ile ana katkı olarak bantlı kum taşları içerirler. Bu birimler yaklaşık 700-800 m kalınlığa erişir. Geç Kretase ile çoğunlukla geçişli özellik gösterir. Bu seri kireçtaşı, marn, yer yer kumtaşları ve tüf aglomeralar ile karakteristiktir. Kireçtaşlarının globotrucana içeren seviyeleri çoğunlukla kırmızımsı-pembemsi renklere izlenir. Bu birimi kesen asitik ve bazik volkanik kayalar görülür. Serinin alt ve orta seviyeleri kireçtaşı özelliğinde olmasına karşın üst seviyeleri fliş özelliği gösterir. Volkanizma ise tabanda daha çok dasit, riyolit ve bunların tüfleri şeklindeyken üst kesimlerde daha çok andezit ve bazalt ve bunların tüfleri şeklindedir. Bu birim Paleosende fliş fasiyesi olarak geçişli olarak devam eder.

Eosen yaşlı birimler Orta Eosen’de diskordans olarak yaşlı birimlerin üzerine gelmektedir. Tabanda konglomelik özellik gösterirken üstlere doğru flis özelliği kazanır. Yer yer linyit ve bütümlü malzemeler içeren bu seviye içinde ana katkılar olarak tüf, tüfit ve aglomelik seviyeler çok miktarda izlenir. Eosen zamanında denizel volkanizma çok etkilidir. Daha çok gümüşü renkli andezitik volkanik kayalar olarak görülürler. Pliosen daha çok marn, konglomera, kumtaşı birimlerinden oluşur.

Bölgedeki en genç birimi Kuaterner yaşlı birimler oluşturur. Bunlar kil, kum ve çakıllardan oluşan bir birliktelik olarak sahillerde, bilhassa akarsu deltalarında yaygın olarak bulunmaktadır (Özel Görüşme).



Şekil 9. Samsun illinin jeolojik haritası (1/100 000 ölçekli MTA jeoloji haritasından küçültülerek alınmıştır.)

## 2.2. DeneYlerde Kullanılan Cihazlar

### 2.2.1. CR-39 Radon Dozimetreleri

Bu tez çalışmasında, Samsun ve ilçelerine dört mevsim boyunca 127 eve CR-39 pasif nükleer iz dozimetreleri dağıtılmıştır.

CR-39 pasif nükleer iz dozimetreleri ucuz ve kullanımı kolay olan dozimetreler olduklarından, ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmalarında dünyada en çok kullanılan dozimetrelerdir (Karahan, 1997).

CR-39 pasif nükleer iz dozimetreleri allil diğlikol karbonat yapıdadır. Dozimetreler, 35x55 mm silindirik plastik kutu içinde, kutunun tabanına tutturulmuş, yüzey alanı 10x10 mm ve kalınlığı 1 mm çipi olan bir yapıdır.

Dozimetrelerin yüzeyi polypropylene madde ile kaplanmıştır. Polypropylene madde alfa parçacıklarına duyarlı olup,  $^{220}\text{Rn}$  (Toron) ve toz parçacıklarının girmesini engellemektedir. Sadece radon gazı dozimetrenin içerisine difüzyon yoluyla girmektedir. Radonun bozunması sonucu oluşan alfa parçacıkları dozimetre çipinin üzerine izler bırakmaktadır. Oluşan bu izleri görünür hale getirmek için kimyasal iz kazıma işlemi yapılmaktadır.

### **2.2.1.1. Dozimetrelerin Dağıtımı ve Toplanması**

Bu çalışmada dozimetrelerin dağıtımına Mart 2007 tarihinde başlanmış olup, Samsun ve çevresindeki dokuz ilçede, homojen bir şekilde seçilmiş olan 127 eve dört mevsim dağıtım yapılmıştır. Dağıtımdaki önceliği genellikle zemin kat ve zemin kata yakın evler almıştır.

Dozimetrelerin dağıtımında eve yerleştirilme hususları ev sahiplerine sıkıca tembih edilmiştir. Dozimetrelerin ev içinde en çok zaman geçirilen yerlere olmak üzere, kapalı dolaplara, elektronik eşyaların yakınına, soba veya kalorifer petekleri yanına olmayacak şekilde ve üç ay boyunca ilk konulduğu yerden konumunun kesinlikle değiştirilmeyeceği bir yere, dozimetrelerin, ölçüme başlamadan önce radon gazına maruz kalmaması için koruma amaçlı kullanılan alüminyum folyo paketlerinden çıkartılıp uygun pozisyonda yerleştirilmesi belirtilmiştir.

Dozimetrelerin evde kalması gereken sürenin sonunda, tekrar alüminyum folyo paketlerine yerleştirilerek kesinlikle hava almayacak şekilde ağzı kapatılıp toplanmışlardır. Dozimetreler toplandıktan sonra analiz işlemi için ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) Sağlık Fiziği Bölümü'ne götürülüp analizleri yapılmıştır.

### **2.2.1.2. Dozimetrelerin Analize Hazırlanışı ve Analizi**

Dozimetrelerin analize hazırlanması için öncelikle plastik kutuları içindeki çipler penset yardımı ile dikkatlice çıkartılmıştır. Çıkarma işleminde, çıkarılan çiplerin havayla temasının önlenmesi için derhal alüminyum folyo ile sarılarak koruma altına alınmasına çok dikkat edilmiştir.

Dozimetrelerin plastik kutularından çıkartılıp koruma altına alınan çipler çok dikkatli bir şekilde radoslayt diye adlandırılan slaytlara Şekil 8'deki gibi dedektör ID'leri (dedektör



kodları) çentikli yüzeyde düz okunacak şekilde yerleştirilmiştir. Radoslaytlara yerleştirilen radona maruz kalmış CR-39 plastik dozimetre çipleri üzerinde oluşan alfa izlerinin görünür hale getirilmesi (etching; kimyasal iz kazıma işlemi) için Şekil 10'da görüldüğü gibi kazıma diskine yerleştirilmiştir. Daha sonra bu kazıma diski Şekil 11'de görülen banyo işlemi için hazırlanmış olan banyo kabının içine yerleştirilmiştir.



Şekil 10. Radoslayt dedektör tutucu (soldaki) ve kazıma diski (sağdaki) (ÇNAEM laboratuvarı)



Şekil 11. Radobath sistemi (ÇNAEM laboratuvarı)

Kazıma diskinin banyo kabının içine yerleştirilmesinden önce banyo suyu hazırlanmıştır. Bunun için önce banyo kabının içine 4 litre saf su konulup kapağı kapatılmıştır. Banyo kabının ısıtıcısı ve karıştırıcı motoru çalıştırılmış ve suyun sıcaklığı  $60^{\circ}\text{C}$ 'a çıkıncaya kadar termometre ile kontrol edilerek karıştırma ve ısıtma işlemi sürmüştür. Suyun sıcaklığı  $60^{\circ}\text{C}$ 'a ulaştığında banyo kabının ısıtıcısı kapatılmış karıştırıcı motoru ise çalışmaya devam ettirilmiştir. Banyo kabının üzerine takılan huni yardımı ile 1 kg'lık NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi özel kaşıkla, her kaşık yaklaşık 10 gr'a karşılık gelmek üzere, banyo kabına 1'er dakikalık ara ile dökülmüştür. Bu işlem bittikten sonra içerisindeki karıştırıcı çıkarılarak çiplerin takılı olduğu kazıma diski yerleştirilip, çipler 4 saat yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yıkama işlemi sonunda banyo kabı içerisindeki asitli su boşaltılıp içine 4 litre sirkeli su konularak slaytlar 1–2 dakika daha yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra tekrar bu sirkeli su boşaltılarak 4 litre saf su konup 1–2 dakika yıkama yapılmıştır. Son yıkama işleminin ardından kazıma diski çıkarılıp kuruması için temiz kuruma kağıtları üzerine bırakılmıştır. Bir saatlik kuruma süresi ardından çipler bilgisayarla ölçüm için hazır hale gelmiştir.

### 2.2.1.3. Radoys Ölçüm Sistemi



Şekil 12. Radosys ölçüm sistemi (ÇNAEM laboratuvarı)

Şekil 12’de görülen Radoys değerlendirme software çalışmaları Linux işletim sisteminde yapılmaktadır. Analiz işlemlerini gerçekleştirmek için analiz için hazır hale getirilmiş radoslaytlar Radoys ünitesine yerleştirilir ve gerekli prosedürler uygulanarak sayım işlemi başlatılır. Sayılan iz yoğunluklarını R.A.C (Radon Activity Concentration) fiziksel değerlerine dönüştürmek için dozimetrelerin evlere dağıtılış ve toplanma tarihleri bilgisayar ekranındaki gerekli yerlere doldurularak radon aktivite konsantrasyon değerleri hesaplanır ve RAC sütununda  $Bq/m^3$  olarak kaydedilir.

### 2.2.2. HPGe Dedektörü

Toprak numunelerinin radyoaktivite ölçümleri için 1332,5 keV’de 1,9 keV rezölüsyona ve %15’lik rölatif verime sahip olan Canberra, GC 1519 model HpGe dedektörü kullanılmıştır. Şekil 13’de dedektörün genel görünüşü verilmektedir.



Şekil 13. Gama spektrometre sisteminin genel görünüşü

### 2.2.2.1. Dedektörün Yapısı

Dedektör, ön yükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi ve çok kanallı analizörden (MCA) ibarettir. Gama ışınlarının ölçülmesinde kullanılan dedektörlerde, gelen foton kristalle etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda, kristalde elektron-boşluk çiftleri meydana gelir ve dedektöre uygulanan yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanı ile bu elektron-delik çiftleri diotlara sürüklenir. Gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken bu yük, analizörde ölçülebilen bir voltaj pulsu meydana getirir.

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

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

ADC, analog sayısal dönüştürücünün amacı yükselticiden gelen analog pulsu onun genliği ile ve dolayısıyla x-ışını fotonu enerjisiyle orantılı bir tam sayıya çevirir. Bu işleme analogun sayısala dönüştürülme işlemi denir. Sayılmış olan her bir puls yüksekliği kadar sayı analizörün hafızasında biriktirilir. Sonuçta bu bilgi bir enerji spektrumu olarak ekrana kaydedilir.

MCA, çok kanallı analizör, sayısal hale getirilmiş pulsları kanallara yerleştirir ve bilgisayar hafızasına kaydeder. Her bir kanal depolamak için kullanılan bir kutudur.

### 2.2.2.2. Enerji Kalibrasyonu

Çok kanallı analizörde toplanan spektrumların analiz edilebilmeleri için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Her kanal bir enerji değerine karşı gelmektedir. Ancak puls yükseklikleri, fotoçoğaltıcı tüpe uygulanan yüksek gerilim ve yükselticinin kazancı ile değişir. Bu değişim, bir kanala karşılık gelen enerji değerini değiştirmektedir. Bu nedenle, sistemde enerji kalibrasyonu yapmak bir zorunluluktur. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir. Enerji kalibrasyonunun

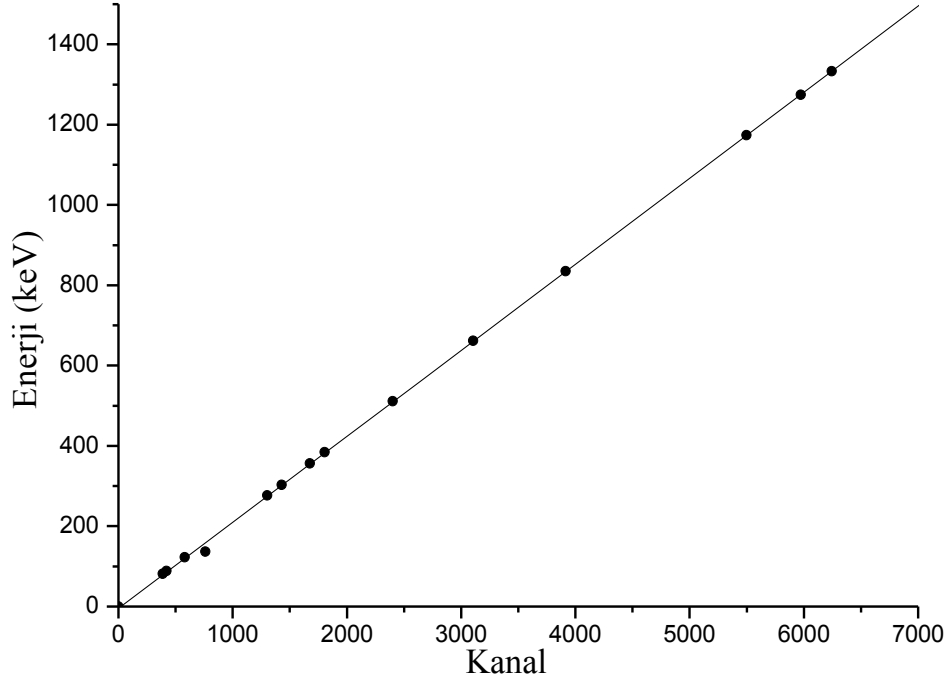


yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart bir kaynağa (kaynaklara) ihtiyaç vardır. Enerji ve verim kalibrasyonu için enerjileri 80–1400 keV arasında değişen  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  ve  $^{60}\text{Co}$ 'ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanılmıştır. Çalışma süresince enerji kalibrasyonu periyodik olarak kontrol edilmiştir. Tablo 4'de kalibrasyon için kullanılan standart kaynaklara ait bilgiler verilmektedir.

Enerji kalibrasyonu için dedektörün önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara geldiği tespit edilmiştir. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği Şekil 14'de gösterilmektedir.

Tablo 4. Standart kaynağın özellikleri

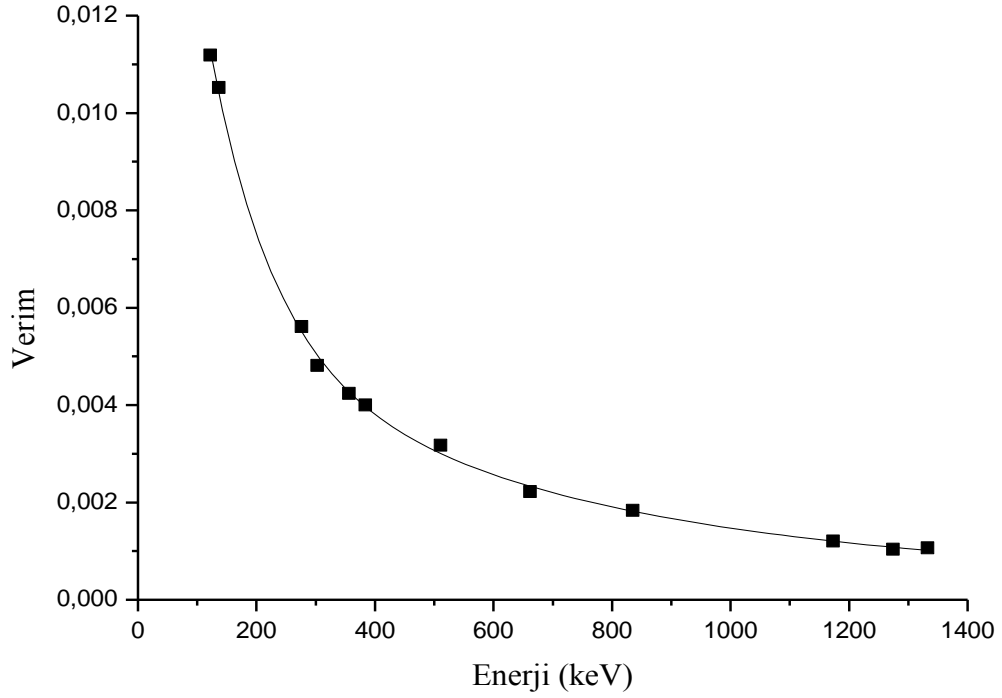
İzotoplar	Enerji (keV)	Yarı-ömür (gün)	Bolluk (%)
$^{133}\text{Ba}$	81	3830	33
$^{109}\text{Cd}$	88	464	3,72
$^{57}\text{Co}$	122,1	271	86
$^{57}\text{Co}$	136,5	271	11
$^{133}\text{Ba}$	276,4	3830	6,9
$^{133}\text{Ba}$	302,8	3830	19
$^{133}\text{Ba}$	356	3830	62
$^{133}\text{Ba}$	383,8	3830	8,7
$^{22}\text{Na}$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



Şekil 14. Enerji-Kanal grafiği

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



Şekil 15. Enerji-verim eğrisi

### 2.3. Toprak Numunelerinin Doğal Radyoaktivite Analizi

#### 2.3.1. Toprak Numunelerinin Alınması

Toprak örnekleri önceden belirlenmiş ölçüm noktalarından alınmıştır. Bu ölçüm noktaları seçilirken bölgede, homojen bir dağılım göstermesine ve ayrıca yerleşim alanlarına yakın, açık ve düz alanlar olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra belirlenmiş bu noktalarda, toprağın yapısına bağlı olarak, ekim yapılmamış toprak alanlarından, 25-30 cm kadar derinlikten yaklaşık 1-1,5 kg kadar toprak örneği temiz poşetlere konularak ve etiketlenerek alınmıştır.

#### 2.3.2. Toprak Numunelerinin Analize Hazırlanması ve Analizi

Alınan toprak numunelerinin içlerinde bulunan yabancı cisimler (taş, ot, odun parçaları, ağaç kabukları gibi) ayıklanmıştır. Topraklar iyice öğütülerek yaklaşık olarak on gün süre ile oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kuruduktan sonra 2 mm gözenekli

eleklerden geçirilerek darası alınmış 8x8 cm'lik sayım kaplarına konulmuş, ağırlıkları tartılıp her bir örnek etiketlenilerek kaydedilmiştir.

Toprak içerisinde bulunan radon ve toron gibi bozunma ürünlerinin dengeye gelmesini sağlamak amacıyla kapların ağız kısmı hava geçirmeyecek şekilde sıkıca kapatılmış ve kırk gün kadarlık bir süre bekletilmiştir.

Bu süre sonunda her bir örnek gama spektrometre cihazı HPGe dedektörü ile 50.000 saniye sayılmıştır. Gama spektrometresi sayım cihazından kaynaklanan sayma hataları yaklaşık %1-2 civarındadır. Sayım işlemi her bir radyoizotopun yayınladığı fotoelektrik pik enerjisine göre kalibre edilmiş enerji aralığında gerçekleştirilmiştir. Örneklerin kurutulması esnasında oluşan radyoaktivite kayıpları ihmal edilecek düzeylerde küçük olduğu için hesaplamalara dahil edilmemişlerdir.

### **2.3.3. Aktivite Hesabı**

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

$$\text{Aktivite (Bq/kg)} = \text{Net Alan} / (\text{Sayım Süresi} * \text{Verim} * \text{Bozunma olasılığı} * \text{Kütle})$$

formülü kullanılmıştır.

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu Yüksek Lisans Tezi çalışmasında Samsun ilinin merkez ve dokuz ilçesinde ev içi radon konsantrasyonu seviyesinin belirlenmesi için CR-39 radon dozimetreleri ile 127 evde her mevsim ölçümler yapılmış ve alınan toprak örnekleriyle topraktaki doğal radyonüklitlerin radyoaktivite seviyeleri tespit edilmiştir. Dozimetrelerin ve alınan toprak örneklerinin, Bölüm 2’de anlatıldığı şekilde ölçüme hazırlandıktan sonra, dozimetreler ÇNAEM’de (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) Sağlık Fiziği Labartuarı’nda RadoSys otomatik iz sayım sistemi ile, toprak örnekleri ise KTÜ Atom-Çekirdek Fiziği Labaratuvarı’nda HPGe dedektörü ile sayımları yapılmıştır.

#### 3.1. Radon Dedektörlerine İlişkin Alınan Deneysel Sonuçlar

Samsun’da merkez ve dokuz ilçede dört mevsim alınan ev içi radon konsantrasyon değerlerinin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri, ilçelere ve merkeze göre yıllık ortalama ve standart sapma değerleri ve genel olarak Samsun’un minimum, maksimum, ortalama, standart sapma ve yıllık ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 5’te verilmektedir. Ayrıca mevsimlerin tek tek değerlendirilmesi aşağıda başlıklar halinde verilmektedir.

Tablo 5. Samsun ili yaz, kış, ilkbahar, sonbahar dönemleri radon konsantrasyon değerleri

Samsun		Konsantrasyon (Bq/m <sup>3</sup> )				
		Yaz	Kış	İlkbahar	Sonbahar	Yıllık Ortalama
Bafra	Minumum	20	87	55	25	104
	Maksimum	70	303	194	89	
	Ortalama	44	191	126	56	
	Std Sapma	13	58	33	17	
Ondokuzmayıs	Minumum	33	143	91	42	103
	Maksimum	52	225	144	66	
	Ortalama	44	192	123	56	
	Std Sapma	8	33	21	10	
Ladik	Minumum	28	121	78	27	109
	Maksimum	96	240	193	225	
	Ortalama	54	190	125	67	
	Std Sapma	23	34	34	54	

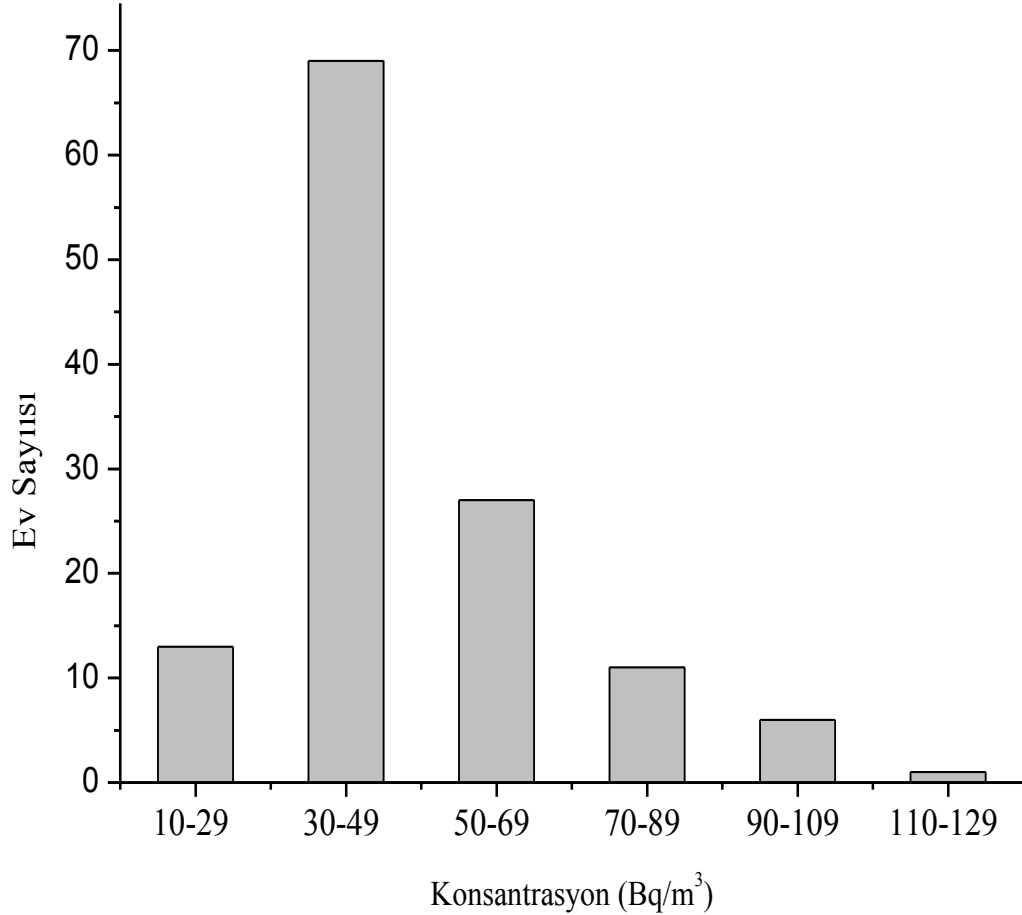
Tablo 5'in devamı

Tekkeköy	Minumum	37	155	122	15	
	Maksimum	59	256	163	75	
	Ortalama	52	208	141	50	113
	Std Sapma	8	41	22	26	20
Terme	Minumum	35	152	97	44	
	Maksimum	71	308	197	90	
	Ortalama	50	218	139	64	118
	Std Sapma	14	61	39	18	33
Kavak	Minumum	29	126	80	37	
	Maksimum	63	273	175	80	
	Ortalama	39	171	112	50	93
	Std Sapma	14	59	38	17	32
Vezirköprü	Minumum	31	134	86	39	
	Maksimum	98	425	272	125	
	Ortalama	55	237	152	70	129
	Std Sapma	21	90	58	26	49
Havza	Minumum	28	156	78	32	
	Maksimum	115	498	319	146	
	Ortalama	78	226	137	71	128
	Std Sapma	23	61	50	27	31
Çarşamba	Minumum	40	173	111	51	
	Maksimum	52	225	144	66	
	Ortalama	45	194	124	57	105
	Std Sapma	6	28	18	8	15
Merkez	Minumum	10	43	28	13	
	Maksimum	96	416	266	122	
	Ortalama	40	175	112	51	96
	Std Sapma	14	59	38	17	32
Genel Ortalama	Minumum	10	43	28	13	<b>23</b>
	Maksimum	115	498	272	225	<b>230</b>
	Ortalama	48	194	124	58	<b>106</b>
	Std Sapma	19	61	40	25	<b>34</b>

### 3.1.1. Yaz Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri

Yaz döneminde radon konsantrasyon değerleri diğer dönemlere göre daha düşük çıkmıştır. Konsantrasyon değerleri  $10 \text{ Bq/m}^3$  ile  $115 \text{ Bq/m}^3$  arasında değişmektedir. En düşük konsantrasyon değeri merkezde, en yüksek konsantrasyon değeri Havza ilçesinde kaydedilmiştir. Ortalama radon konsantrasyonu  $48 \text{ Bq/m}^3$ , standart sapması ise  $19 \text{ Bq/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Yaz mevsiminde çıkan değerler evlerin havalandırılması oranı ile orantılı olarak düşük değerler göstermektedir. Bu da havalandırmanın ev içi radon gazı konsantrasyonundaki önemini göstermektedir.

Yaz dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi Şekil 16'da verilmiştir.

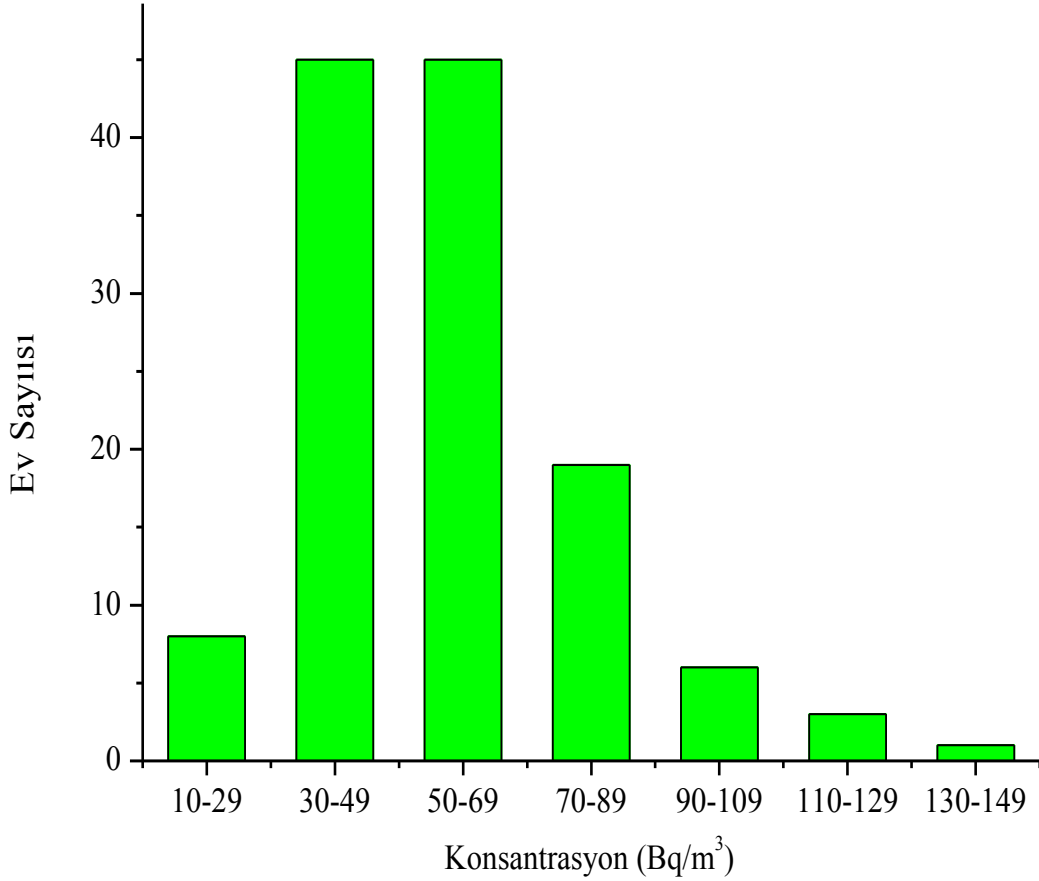


Şekil 16. Yaz dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi

### 3.1.2. Sonbahar Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri

Sonbahar dönemi ev içi radon konsantrasyon değerleri ilkbahar dönemi konsantrasyon değerlerden düşük, yaz dönemi konsantrasyon değerlerinden yüksek çıkmıştır. Konsantrasyon değerleri  $13 \text{ Bq/m}^3$  ile  $225 \text{ Bq/m}^3$  değerleri arasında değişmektedir. En düşük konsantrasyon değeri merkezde, en yüksek konsantrasyon değeri ise Ladik ilçesinde tespit edilmiştir. Ortalama radon konsantrasyon değeri  $58 \text{ Bq/m}^3$ , standart sapması ise  $25 \text{ Bq/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Sonbahar mevsimindeki değerlerin genel olarak arttığı görülmektedir. Yani evlerin daha az havalandırılmaya başlandığına işaret göstermektedir.

Sonbahar dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi Şekil 17’de verilmiştir.



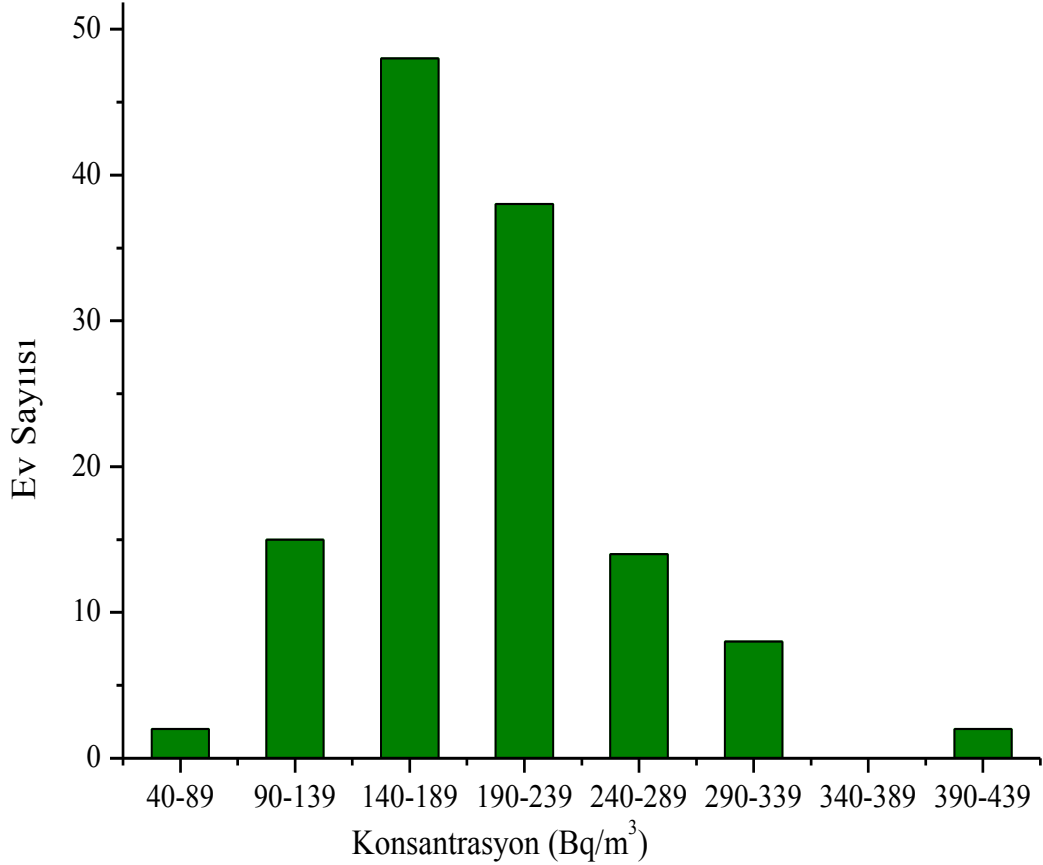
Şekil 17. Sonbahar dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi



### 3.1.3. Kış Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri

Kış dönemi ev içi radon konsantrasyon değerleri diğer dönemlere göre çok yüksek çıkmıştır. Konsantrasyon değerleri  $43 \text{ Bq/m}^3$  ile  $498 \text{ Bq/m}^3$  arasında değişmektedir. En düşük konsantrasyon değeri merkezde, en yüksek konsantrasyon değeri ise Havza'da tespit edilmiştir. Ortalama radon konsantrasyon değeri  $194 \text{ Bq/m}^3$ , standart sapma ise  $61 \text{ Bq/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Kış mevsimindeki konsantrasyon değerleri evlerin çok az havalandırılması neticesinde beklenildiği gibi dört mevsim içerisinde en yüksek değerleri barındırmaktadır.

Kış dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi Şekil 18'de verilmiştir.

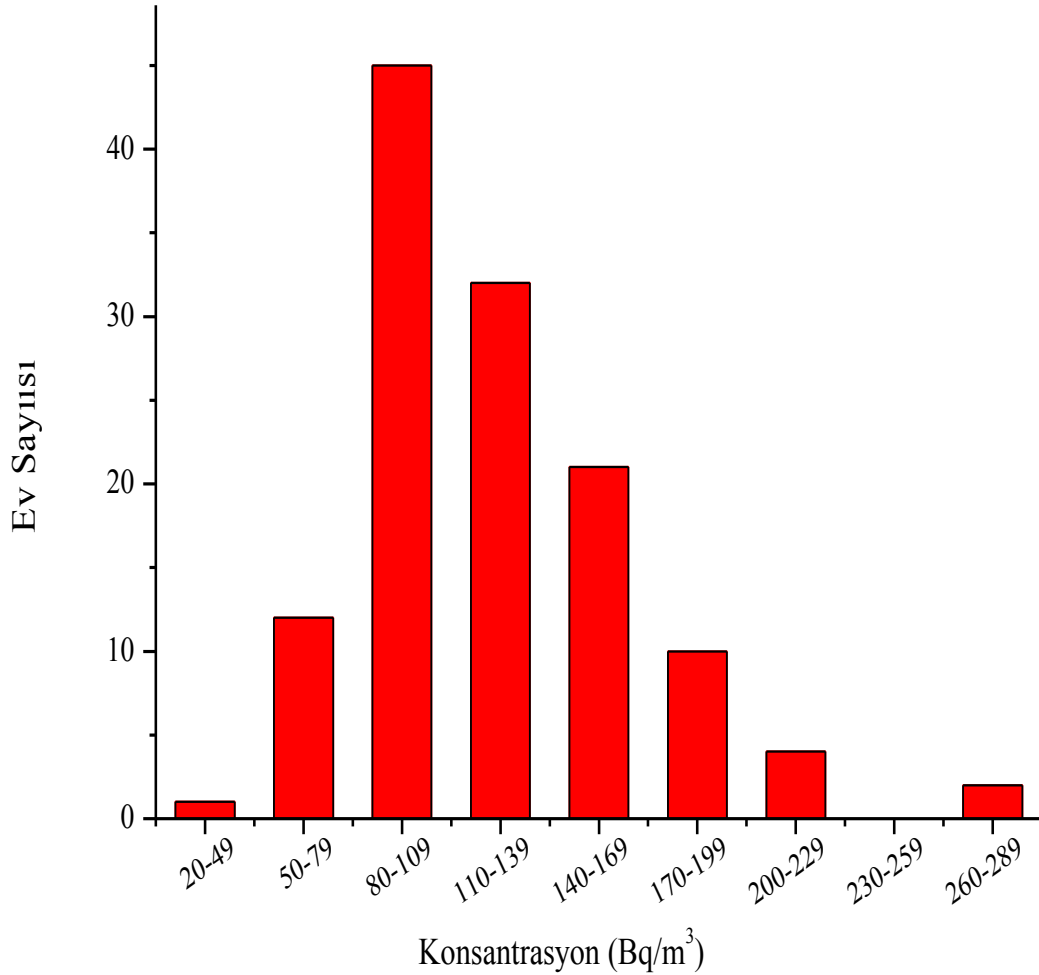


Şekil 18. Kış dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi

### 3.1.4. İlkbahar Mevsimi Radon Konsantrasyon Değerleri

İlkbahar dönemi ev içi radon konsantrasyon değerleri yaz mevsiminden yüksek, kış döneminden düşük çıkmıştır. Konsantrasyon değerleri  $28 \text{ Bq/m}^3$  ile  $272 \text{ Bq/m}^3$  değerleri arasında değişmektedir. En düşük konsantrasyon değeri merkezde, en yüksek konsantrasyon değeri ise Vezirköprü ilçesinde tespit edilmiştir. Ortalama radon konsantrasyon değeri  $124 \text{ Bq/m}^3$ , standart sapma ise  $40 \text{ Bq/m}^3$  olarak hesaplanmıştır.

İlkbahar dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi Şekil 19'da verilmiştir.

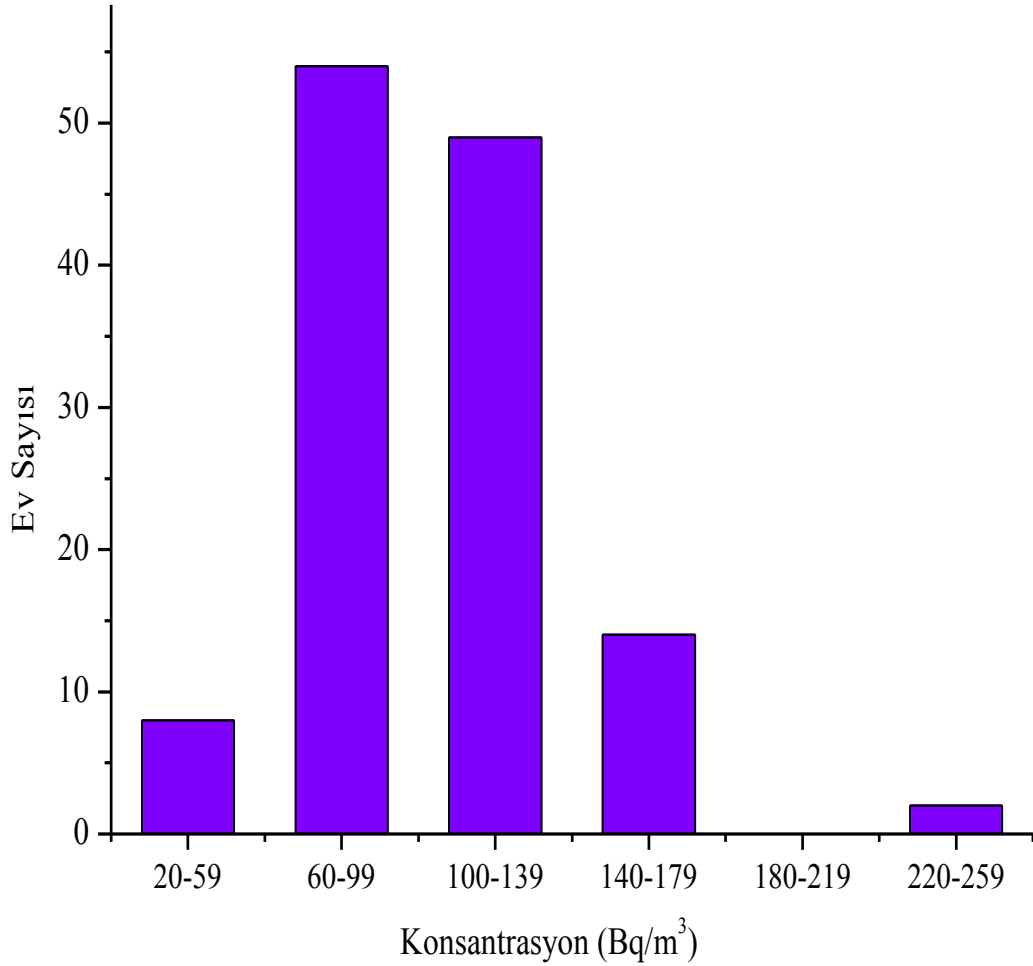


Şekil 19. İlkbahar dönemi radon konsantrasyon değerlerinin değişimi

### 3.1.5. Radon Konsantrasyonunun Yıllık Ortalama Değişimi

Samsun'un yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Bu konsantrasyon değerleri hesaplanırken her mevsimin ortalama radon konsantrasyon değerlerinin ortalaması alınarak yapılmıştır.

Yıllık ortalama ev içi radon konsantrasyon değeri  $106 \text{ Bq/m}^3$  olup standart sapma değeri  $34 \text{ Bq/m}^3$ 'tür. Şekil 20'de yıllık ortalama radon konsantrasyon değişim aralığı ve bu aralıklara karşılık gelen ev sayıları verilmiştir.

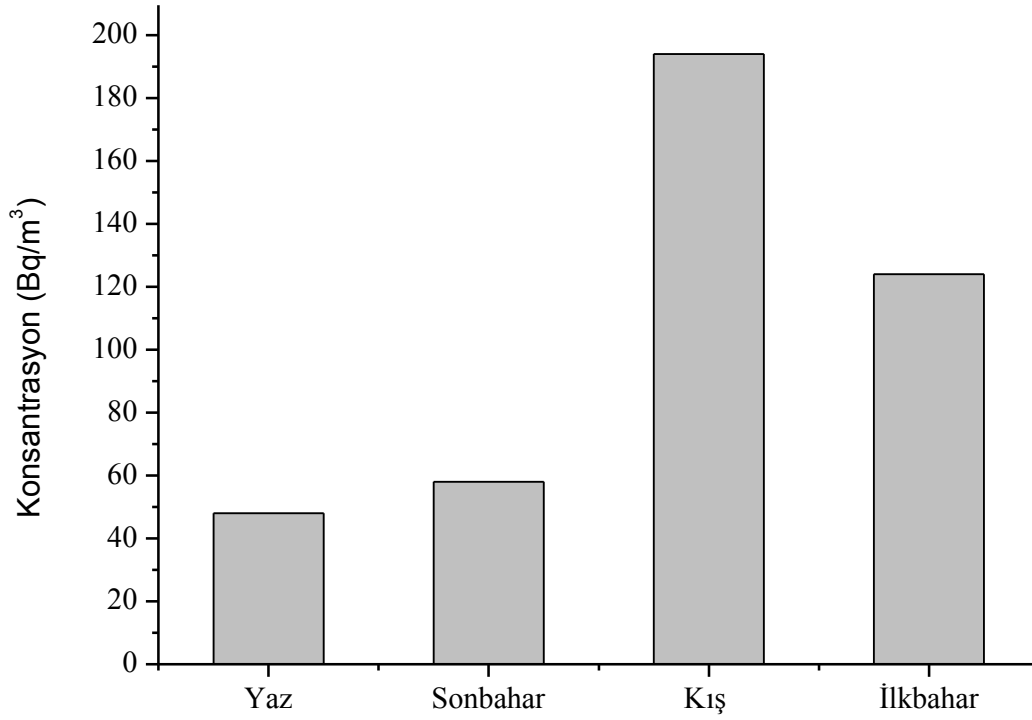


Şekil 20. Samsun ili yıllık ortalama radon konsantrasyonu değişim aralığı

### 3.1.6. Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi

Samsun’da ev içi radon konsantrasyonu seviyesi tespiti yaptığımız bu tez çalışmasında, mevsimler arasındaki konsantrasyon farklılıklarını araştırmak amacıyla, dört mevsim de ölçümler alınmıştır. Bu farklılıklar Bölüm 2’de detaylı olarak görülmektedir.

Mevsimler arasındaki konsantrasyon farklılıklarını bir arada göstermek için Şekil 21 çizilmiştir. Ayrıca radon konsantrasyon ilişkilerini belirlemek için Pearson korelasyonu uygulanmış ve sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Pearson korelasyonuna göre kış ve ilkbahar mevsimleri arasında 0,947 ile pozitif yönde bir ilişki vardır. Yani birbirine en yakın değerler kış ve ilkbahar mevsimlerinde görülmektedir. Yaz ve sonbahar arasında 0,566 ile düşük bir ilişki vardır.



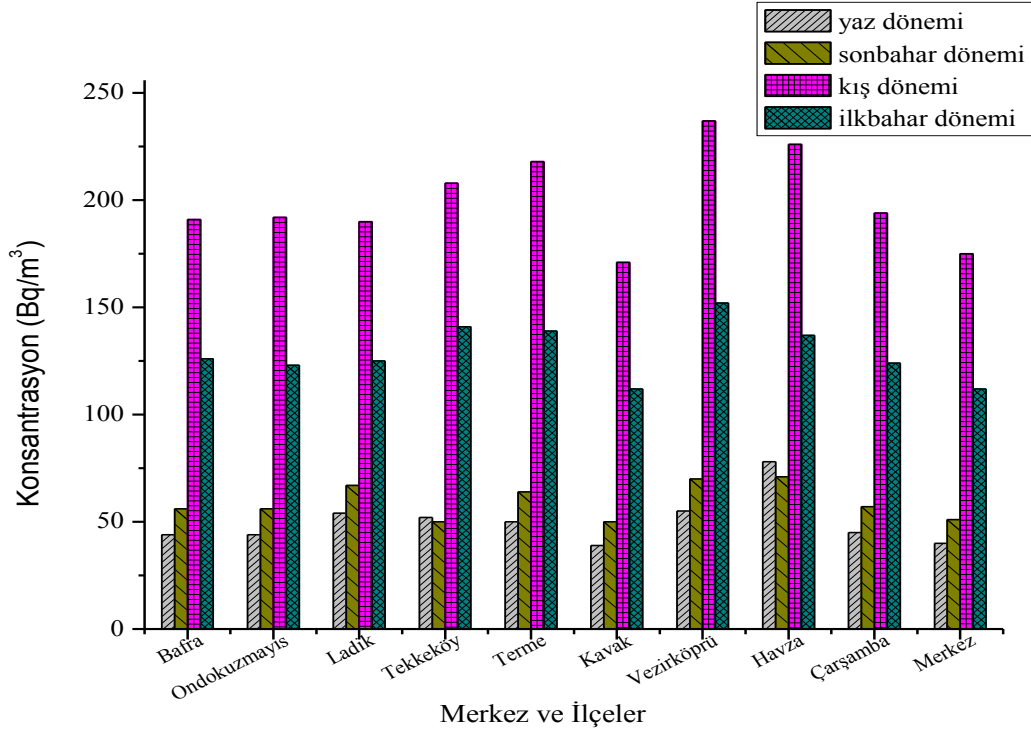
Şekil 21. Samsun ili mevsimsel radon konsantrasyonu

Tablo 6. Samsun ili radon konsantrasyonu için pearson korelasyonu

<b>KORELASYON</b>					
		<b>YAZ</b>	<b>KIŞ</b>	<b>İLKBAHAR</b>	<b>SONBAHAR</b>
<b>YAZ</b>	<b>Pearson Korelasyonu</b>	1,000	<b>,759(**)</b>	<b>,685(**)</b>	<b>,566(**)</b>
	<b>N</b>	127	127	127	127
<b>KIŞ</b>	<b>Pearson Korelasyonu</b>		1,000	<b>,947(**)</b>	<b>,749(**)</b>
	<b>N</b>		127	127	127
<b>İLKBAHAR</b>	<b>Pearson Korelasyonu</b>				<b>,791(**)</b>
	<b>N</b>				127
<b>SONBAHAR</b>	<b>Pearson Korelasyonu</b>				
	<b>N</b>				
<b>**p &lt;0,01 korelasyon sınırı önem değeridir.</b>					

### 3.1.7. Radon Konsantrasyonunun Merkez ve İlçelere Göre Mevsimsel Değişimi

Bu bölümde radon konsantrasyon değerlerinin mevsimsel değişiminin merkez ve ilçelere göre değişimi verilmektedir. Buna göre, Şekil 22’de de gördüğü gibi merkez ve bütün ilçelerde en yüksek konsantrasyon değerleri kış mevsiminde çıkmıştır. En düşük konsantrasyon değerleri ise, Havza ve Tekkeköy ilçelerinde hariç, yaz mevsiminde görülmektedir.



Şekil 22. Radon konsantrasyonunun merkez ve ilçelere göre mevsimsel değişimi

### 3.2. Toprak Örneklerine İlişkin Gama Analiz Sonuçları

Samsun'un merkez ve dokuz ilçesi olan çalışma bölgesinden, gama spektroskopik analizi için alınan toprak örneklerindeki  $^{232}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  doğal radyoaktif elementleri ve yapay radyoaktif bir element olan  $^{137}\text{Cs}$ 'nin merkez ve ilçelere göre ortalama aktiviteleri, minimum ve maksimum değerleri ve standart sapmaları Tablo 7'de verilmektedir.

Tablo 7. Samsun ili  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

SAMSUN	Aktivite (Bq/kg)				
		$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$
Bafra	Minumum	12,33±1,11	11,43±3,74	11,04±2,24	231,50±13,28
	Maksimum	48,96±3,82	28,98±3,93	12,42±2,75	408,50±22,38
	Ortalama	26,24	22,17	11,70	324,54
	Std Sapma	15,89	7,75	0,73	74,40
Ondokuzmayıs	Minumum	17,21±1,17	12,84±2,82	10,38±1,92	114,60±7,23
	Maksimum	59,54±3,76	28,32±4,75	22,65±2,29	624,86±31,05
	Ortalama	41,19	18,87	15,93	332,86
	Std Sapma	20,63	7,41	5,30	218,49

Tablo 7'nin devamı

Ladik	Minumum	20,95±1,76	15,54±3,64	12,07±5,41	85,70±5,47
	Maksimum	72,82±4,07	34,17±3,06	70,00±0,54	629,00±30,63
	Ortalama	41,31	18,87	22,70	340,46
	Std Sapma	16,60	5,73	19,46	200,41
Tekkeköy	Minumum	12,00±1,58	9,82±2,13	8,05±2,37	262,02±15,11
	Maksimum	33,27±2,4	22,65±4,05	14,43±1,86	449,70±23,15
	Ortalama	19,64	14,18	10,81	360,03
	Std Sapma	9,39	4,75	2,36	72,18
Terme	Minumum	11,59±1,19	13,31±3,04	9,73±1,89	269,70±16,34
	Maksimum	56,19±3,31	20,24±4,86	32,72±3,98	432,50±22,96
	Ortalama	36,87	16,17	16,77	364,85
	Std Sapma	20,98	2,59	9,37	60,43
Kavak	Minumum	14,17±1,77	20,33±3,5	13,00±2,51	88,98±5,95
	Maksimum	48,22±1,04	32,35±4,98	25,72±2,56	369,87±20,41
	Ortalama	29,41	24,55	16,75	272,47
	Std Sapma	12,05	4,15	4,15	97,29
Vezirköprü	Minumum	21,05±2,41	13,91±2,59	8,77±3,71	298,38±17,39
	Maksimum	36,17±2,55	40,24±2,05	19,00±4,89	527,30±19,23
	Ortalama	31,17	23,36	13,71	371,86
	Std Sapma	5,86	10,82	3,99	105,20
Havza	Minumum	17,12±1,47	11,98±3,15	11,14±3,44	50,08±3,54
	Maksimum	37,45±2,64	40,34±5,53	31,60±3,16	660,84±31,19
	Ortalama	30,94	25,71	19,07	344,97
	Std Sapma	7,25	10,47	6,44	236,27
Çarşamba	Minumum	11,29±1,3	10,97±3,22	9,68±2,53	56,53±4,14
	Maksimum	35,38±2,85	22,89±3,61	25,28±2,89	507,04±25,65
	Ortalama	19,68	18,05	15,11	324,46
	Std Sapma	9,11	5,56	5,72	158,67
Merkez	Minumum	11,88±1,28	11,11±3,53	8,32±1,95	71,14±5,3
	Maksimum	76,63±3,81	33,96±5,16	21,15±2,82	570,30±28,11
	Ortalama	31,24	21,85	14,76	357,99
	Std Sapma	16,76	7,40	03,46	125,69
Genel Ortalama	Minumum	11,29±1,3	9,82±2,13	8,05±2,37	50,08±3,54
	Maksimum	76,63±3,81	40,34±5,53	70,00±0,54	660,84±31,19
	Ortalama	30,88	21,65	16,01	341,18
	Std Sapma	15,01	7,64	7,99	143,37

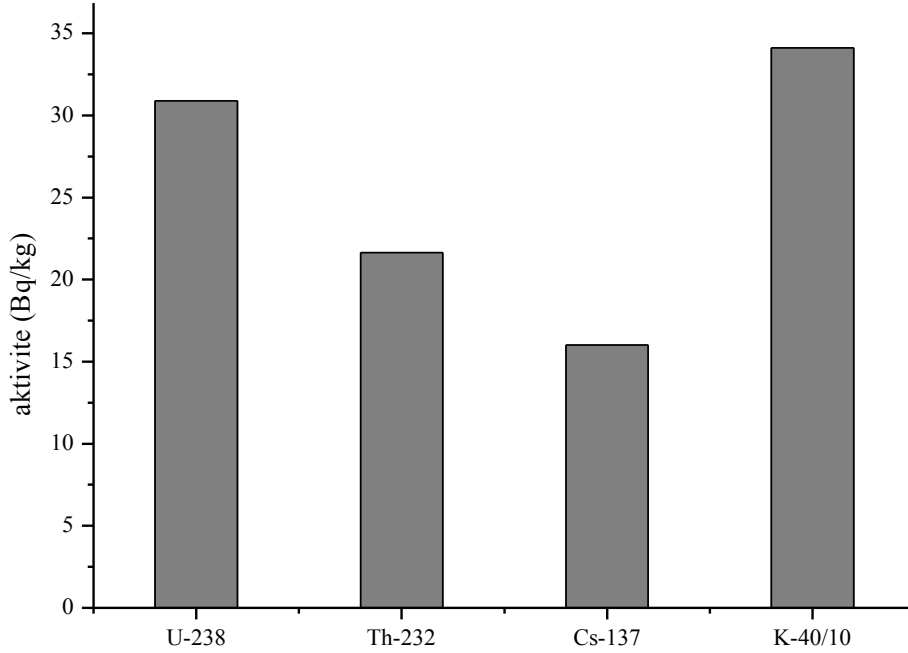
Toprak numunelerinin genel ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivitesi 30,88 Bq/kg, standart sapması ise 15,01 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. En yüksek  $^{238}\text{U}$  aktivite değeri 76,63 Bq/kg olup merkezde, en düşük  $^{238}\text{U}$  aktivite değeri 11,29 Bq/kg olup Çarşamba ilçesinde kaydedilmiştir.

$^{232}\text{Th}$ 'nin genel ortalama aktivite değeri 21,65 Bq/kg, standart sapması ise 7,64 Bq/kg'dır. En yüksek aktivite değeri 40,34 Bq/kg olup Havza ilçesinde, en düşük aktivite

değeri 9,82 Bq/kg olup Tekkeköy ilçesinde kaydedilmiştir.  $^{137}\text{Cs}$ 'nin genel ortalama aktivite değeri 16,01 Bq/kg, standart sapması ise 7,99 Bq/kg'dır. En yüksek aktivite değeri 70,00 Bq/kg olup Ladik ilçesinde, en düşük aktivite değeri 8,05 Bq/kg olup Tekkeköy ilçesinde tespit edilmiştir.  $^{40}\text{K}$  genel ortalama aktivite değeri 341,18 Bq/kg, standart sapması 143,37 Bq/kg'dır. En yüksek aktivite değeri 660,84 Bq/kg olup Havza ilçesinde, en düşük aktivite değeri ise 50,80 Bq/kg olup yine Havza ilçesinde kaydedilmiştir.

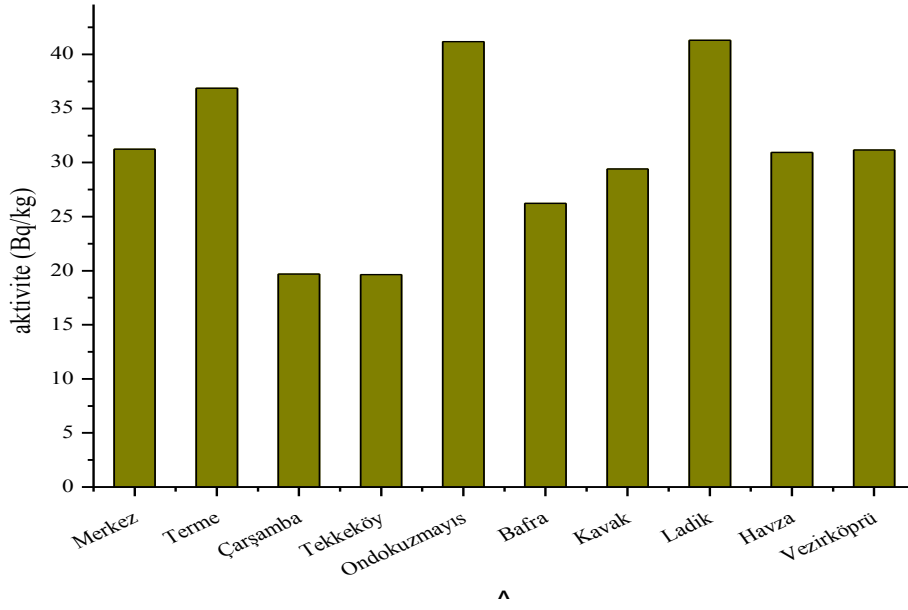
Samsun ili topraklarındaki  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklitleri için belirlenmiş olan ortalama aktivite konsantrasyon değerlerinin, dünya ortalaması olan 35 Bq/kg, 30 Bq/kg ve 400 Bq/kg değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir (UNSCEAR, 2000).

Aşağıda Şekil 23-37 arasında sırasıyla Samsun ilinin ortalama  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri, Samsun ilinin merkez ve ilçelere göre ayrı ayrı  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  ortalama aktivite değerleri, merkez ve ilçelerin ayrı ayrı  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri verilmektedir.

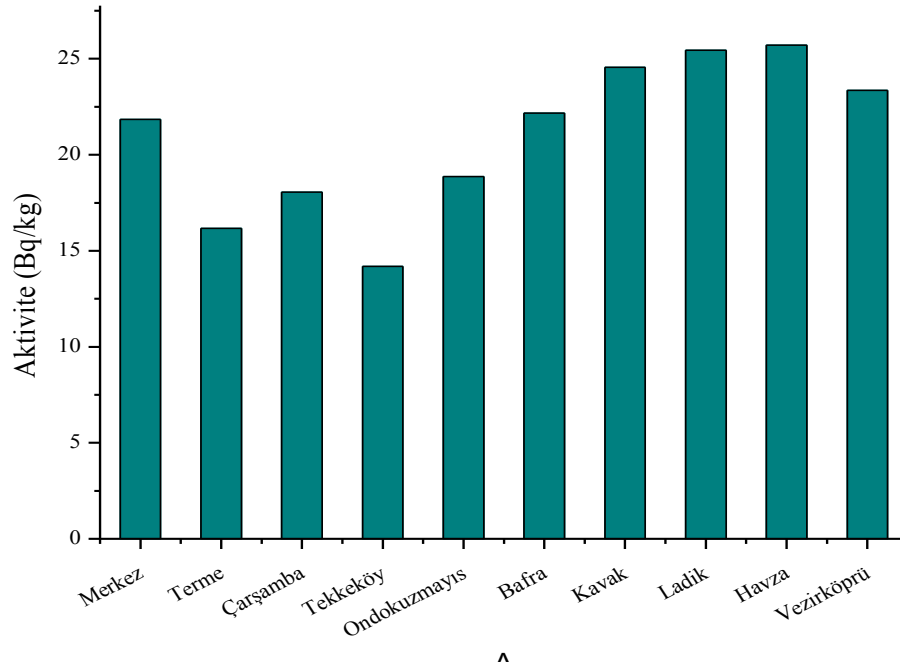


Şekil 23. Samsun ilinin ortalama  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

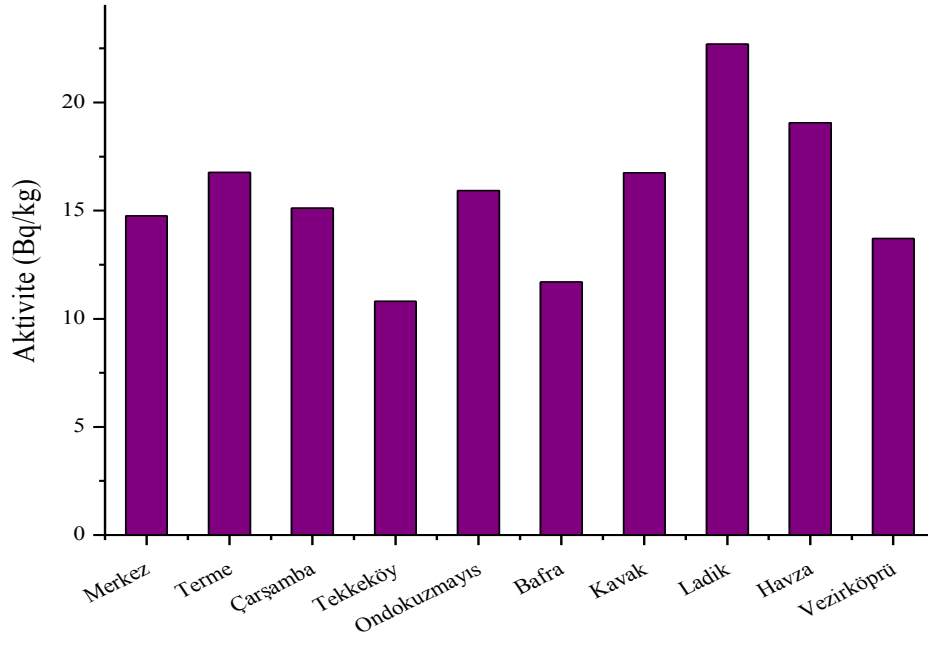




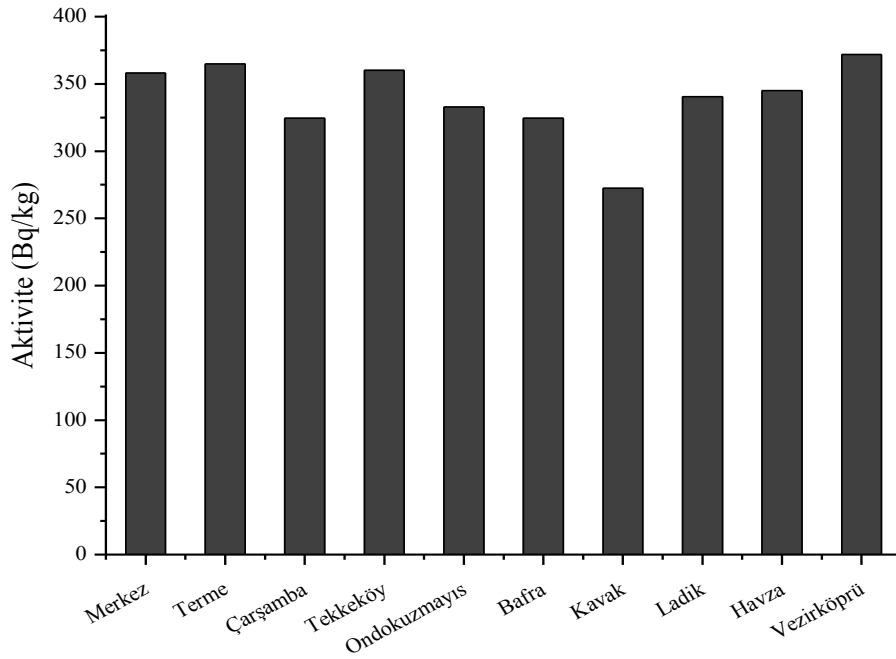
Şekil 24. Samsun ilinin merkez ve ilçelere göre ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerleri



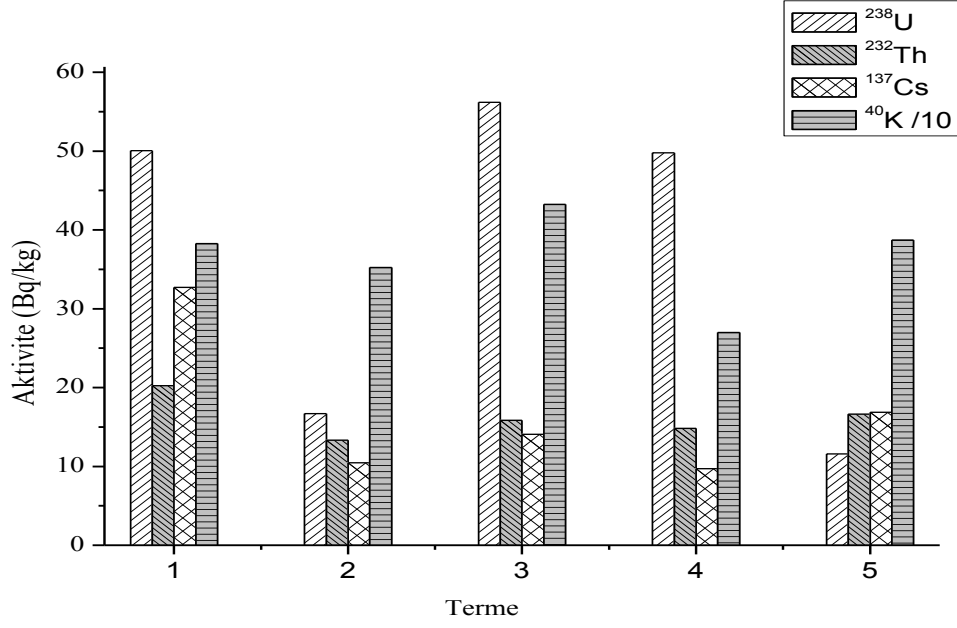
Şekil 25. Samsun ilinin merkez ve ilçelere göre ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri



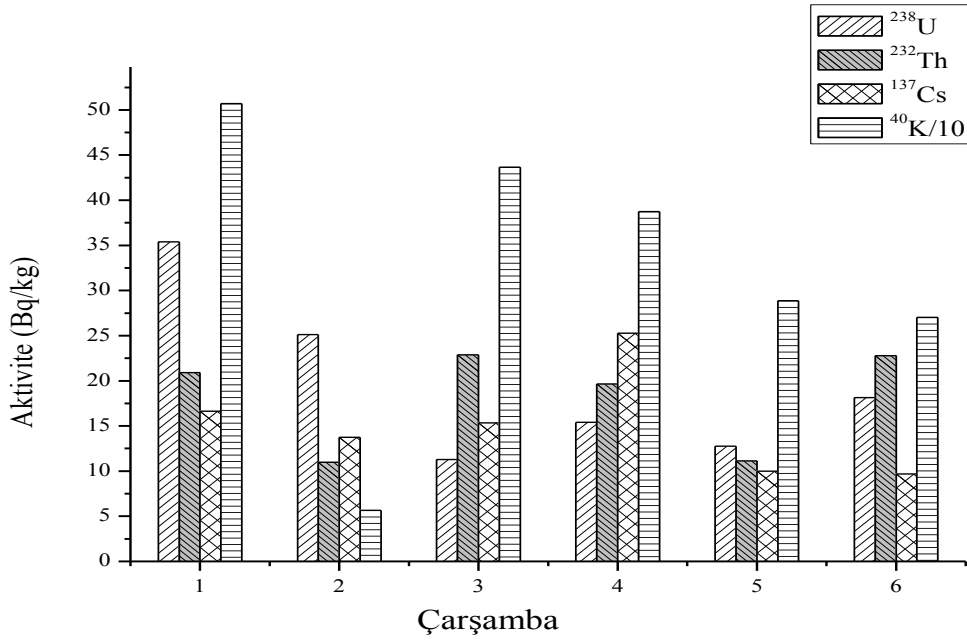
Şekil 26. Samsun ilinin merkez ve ilçelere göre ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri



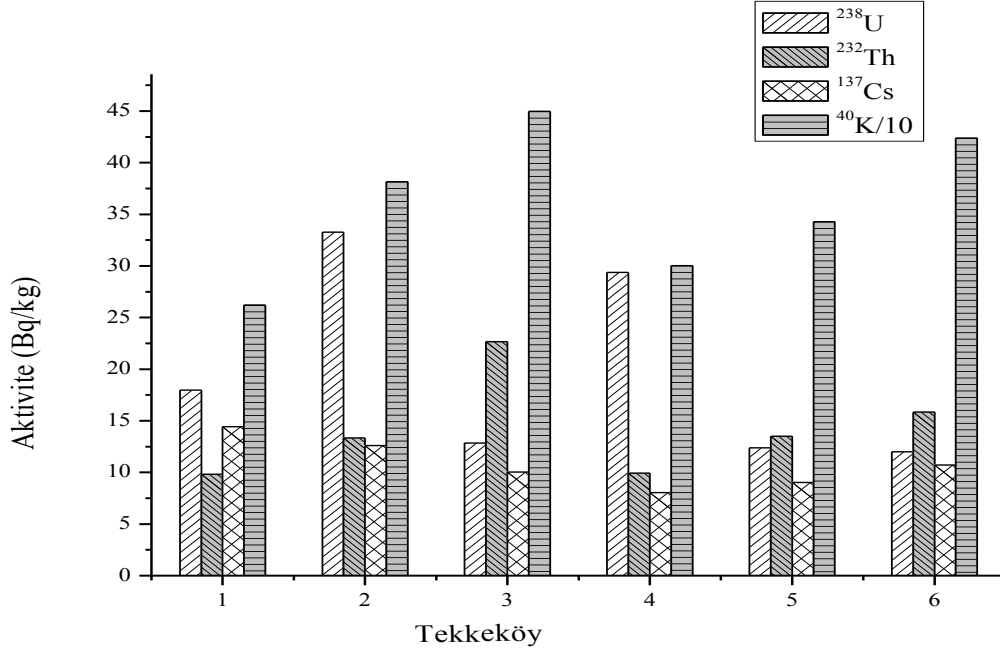
Şekil 27. Samsun ilinin merkez ve ilçelere göre ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri



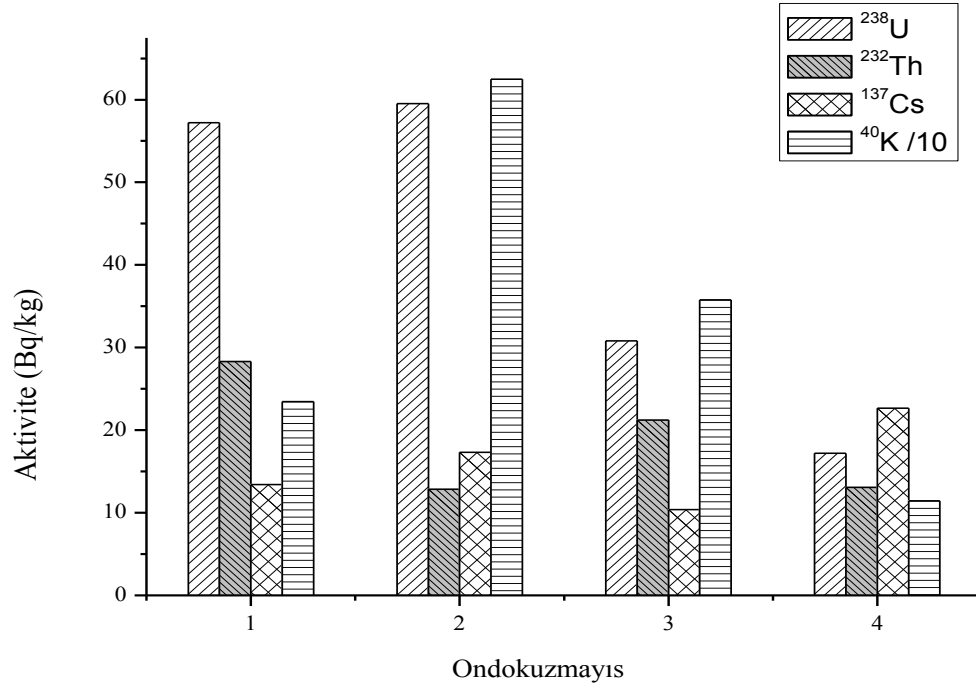
Şekil 28. Terme ilçesinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri



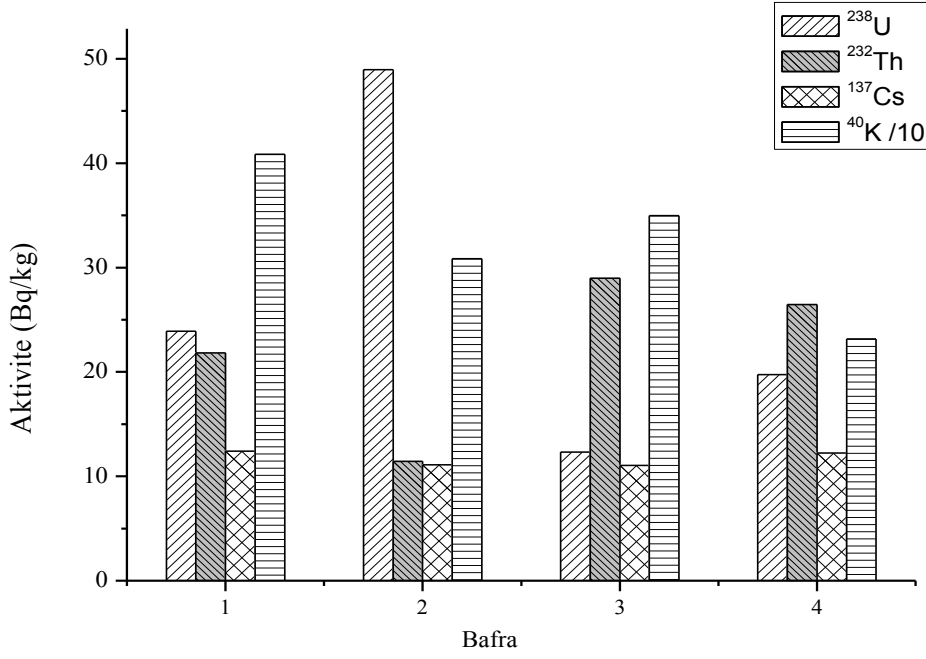
Şekil 29. Çarşamba ilçesinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri



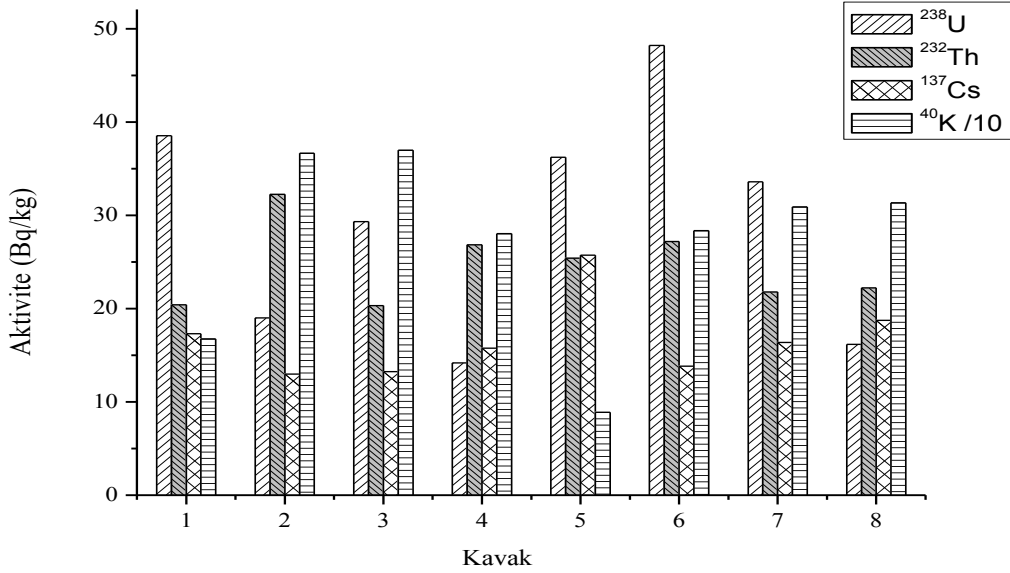
Şekil 30. Tekkeköy ilçesinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri



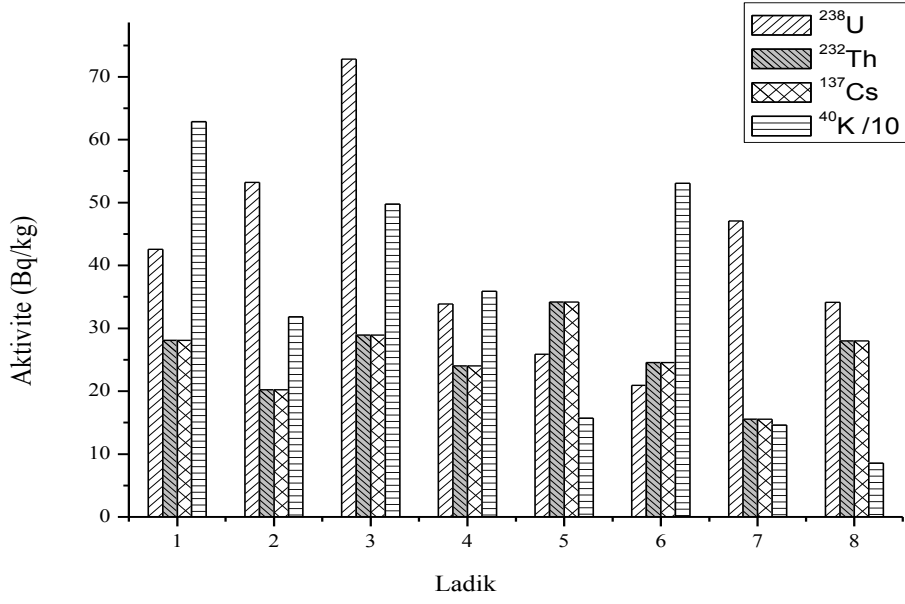
Şekil 31. Ondokuzmayıs ilçesinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri



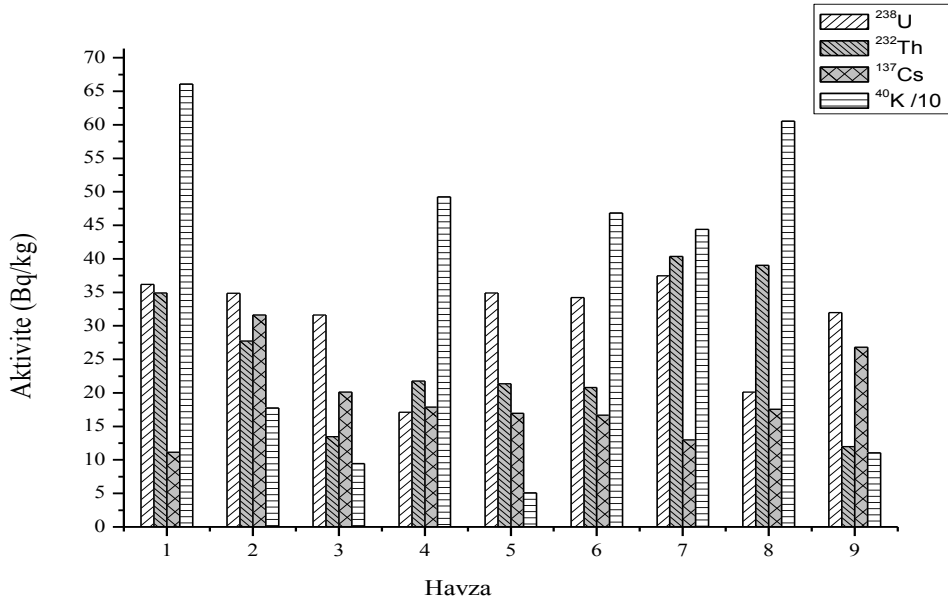
Şekil 32. Bafra ilçesinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri



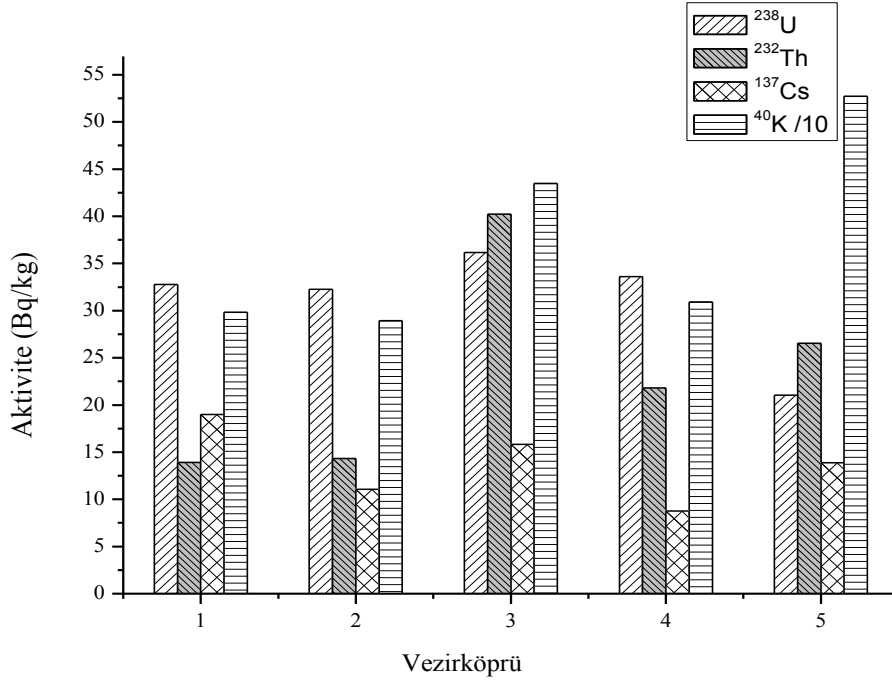
Şekil 33. Kavak ilçesinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri



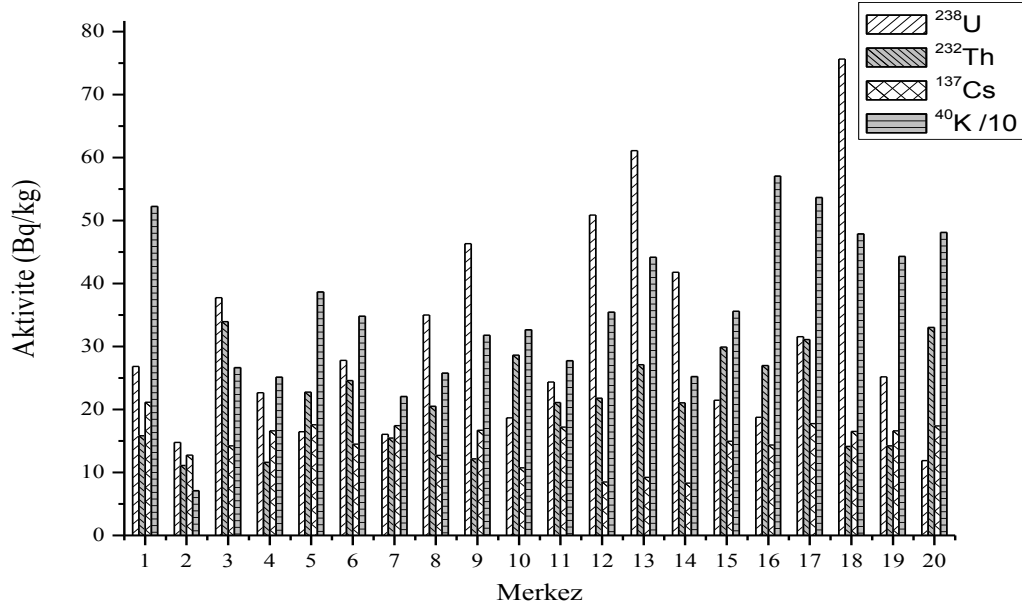
Şekil 34. Ladik ilçesinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri



Şekil 35. Havza ilçesinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri



Şekil 36. Vezirköprü ilçesinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri



Şekil 37. Merkezin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

### 3.3. Doz Hesabı

#### 3.3.1. Radondan Dolayı Maruz Kalınan Etkin Doz Hesabı

İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü evlerinde veya genel olarak kapalı ortamlarda geçirmektedirler. Bu da insanların radondan dolayı maruz kaldığı yıllık ortalama ev içi etkin doz hesabı yapılırken önemli bir kriterdir. İnsanlar zamanlarının %80'ini evlerinde geçirirler. Bu yüzden radondan dolayı maruz kalınan etkin doz hesabı yapılırken, aşağıda kullandığımız formülde insanların bina ya da evde kaldıkları zaman yani işgal faktörünü 0,8 olarak alınmıştır.

Radondan dolayı maruz kalınan etkin doz hesabı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır ve değerler tabloda verilmiştir (UNSCEAR, 2000).

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

C: Radon Konsantrasyonu (Bq/m<sup>3</sup>)

E: Denge Faktörü (ev için 0,4)

F: İnsanların bina ya da evde kaldıkları zaman (işgal faktörü) (0,8)

T: Bir yıllık zaman (8760 saat/yıl)

D: Doz dönüşüm faktörü [ $9 \times 10^{-6} \text{ mSv(Bq.m}^{-3} \cdot \text{h)}^{-1}$ ]

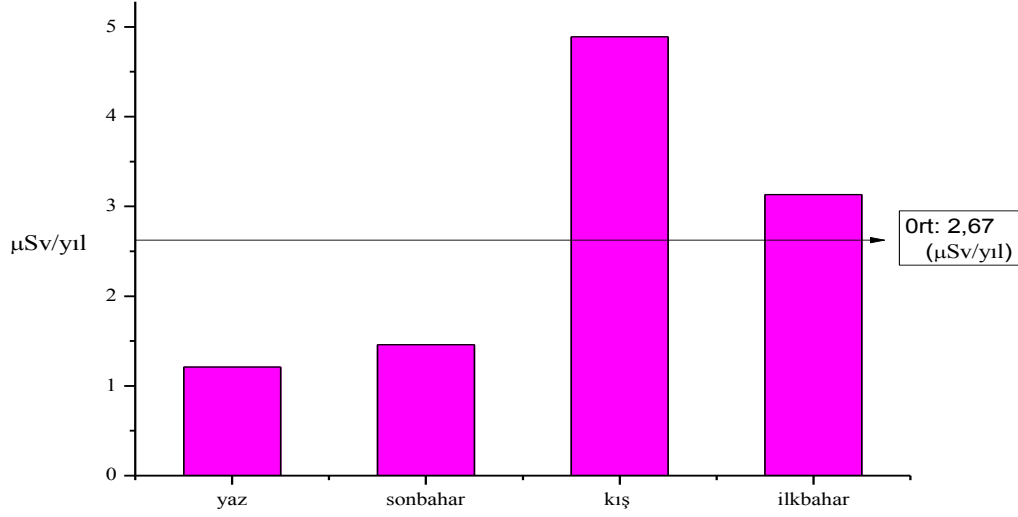
Tablo 8. Radondan Dolayı Maruz Kalınan Etkin Doz

SAMSUN	Yıllık Etkin Eşdeğer Doz (mSv/yıl)				
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yıllık Ort. Doz
Ortalama	1,21	1,46	4,89	3,13	2,67

Tablo 8'de yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar ve mevsim değerleri yıllık dağılıma göre hesaplanmıştır. Yani bir mevsimde aldıkların dozun yıllık etkin değeridir. Yapılan hesaplamalara göre Samsun'da insanların radondan dolayı maruz kaldıkları yıllık ortalama doz değeri ise 2,67 mSv/yıl'dır. Bu değer ICRP'nin öngördüğü eylem seviyesi olan 3 mSv'in



altında bir değerdir. Şekil 38’de yaz, sonbahar, kiő ve ilkbahar dönemlerine ait etkin doz ve yıllık ortalama etkin doz değerleri verilmektedir.



Şekil 38. Yaz, sonbahar, kiő ve ilkbahar, dönemlerine ait ortalama etkin doz değerleri

### 3.3.2. Toprakta Bulunan Doğal Radyonüklitlerden Dolayı Maruz Kalınan Doz

Topraktan gelen doğal radyonüklitler insanların dıőtan ve iten iőınlanarak, radyasyonlarına maruz kalmalarına neden olan en büyük etkenlerden biridir. (Li vd., 1992).

Alınan toprak numuneleri içinde U, Th ve K değişik konsantrasyonlarda bulunurlar (Çelebi, 1994). Çevresel temel seviye radyasyon ölçümleri, toprakta bulunan radyonüklitlerin konsantrasyonlarına bağlı olarak bölgesel farklılıklar göstermektedirler (Karahan, 1997).

Aldığımız örneklerden her birindeki doğal radyonüklitlerin hangi oranlarda bulunduğunu tespit etmek amacıyla gama spektroskopik analizler yapılmıştır. Bu analizlerin neticelerine göre topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı insanların maruz kaldıkları yıllık ortalama doz miktarı ilçelere göre ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo 9’da verilmiştir. Ayrıca Samsun ili genelinde, insanların topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı yılda ne kadar radyasyona maruz kaldıkları da hesaplanmıştır. Bu tespitlerin yapılabilmesi için önce aşağıdaki formül kullanılarak karasal gama radyasyonunun havadaki soğurulan doza katkısı hesaplanmıştır ve değerler Tablo 9’da verilmiştir (UNSCEAR, 2000).

$$D \text{ (nGyh}^{-1}\text{)} = 0,427 * C_{\text{Ra}} + 0,662 * C_{\text{Th}} + 0,043 * C_{\text{K}}$$

Doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kalman yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır (UNSCEAR, 2000).

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

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

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

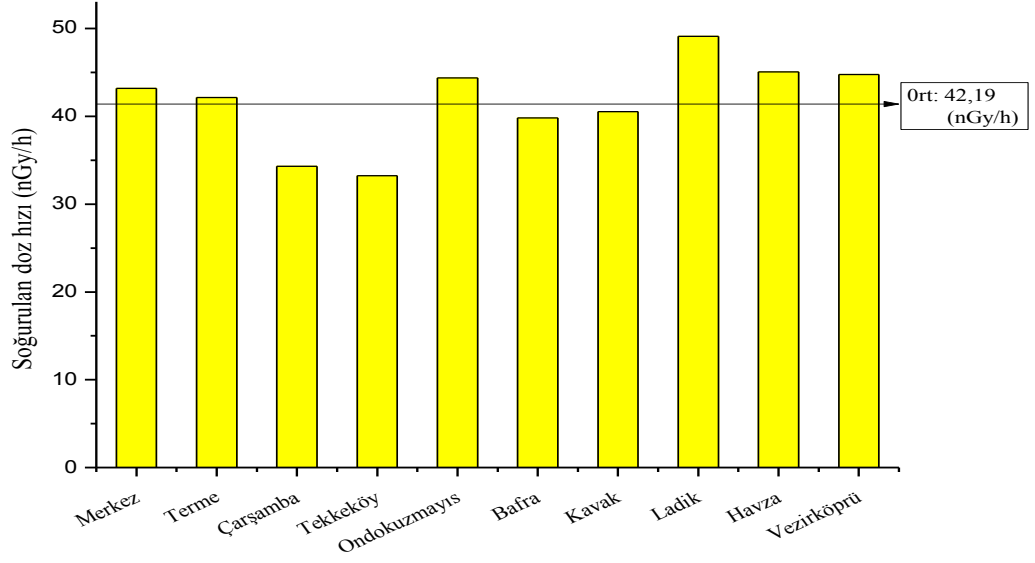
$$0,2 = \text{Ev dışında geçirilen zaman için (günün \%20'si)}$$

Tablo 9. Doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz hızı ve yıllık etkin doz değerleri

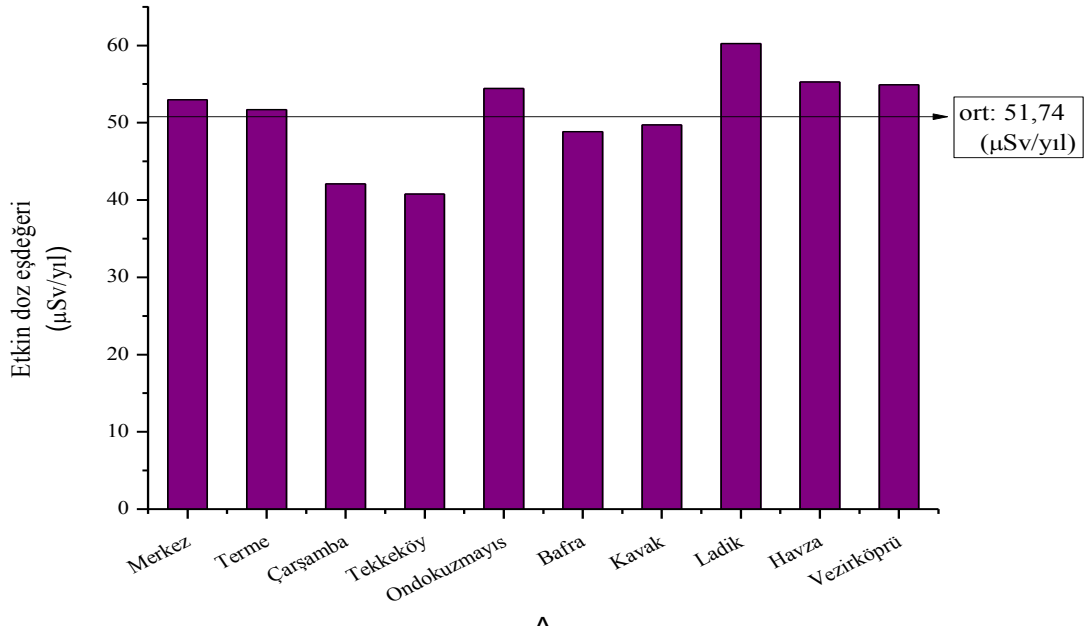
SAMSUN		D (nGy/saat)	Etkin doz ( $\mu$ Sv/yıl)
Ortalama Değerler	Merkez	43,20	52,98
	Terme	42,14	51,68
	Çarşamba	34,30	42,07
	Tekkeköy	33,25	40,78
	Ondokuzmayıs	44,39	54,44
	Bafra	39,84	48,86
	Kavak	40,53	49,70
	Ladik	49,12	60,24
	Havza	45,07	55,27
	Vezirköprü	44,76	54,90
	Genel	42,19	51,74

Tablo 9'da görüldüğü gibi Samsun ili merkez ve dokuz ilçesinden alınan toprak örneklerindeki doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan genel doz hızı 42,19 nGy/saat, yıllık etkin doz eşdeğeri ise 51,74  $\mu$ Sv/yıl'dır. En yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri 60,24  $\mu$ Sv/yıl olup Ladik ilçesinde, en düşük değer 40,78  $\mu$ Sv/yıl olup Tekkeköy ilçesinde tespit edilmiştir.

Şekil 39 ve Şekil 40'da merkez ve ilçeler göre ve genel ortalama olarak soğurulan doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmektedir.



Şekil 39. Doğal radyonüklitlerden dolayı soğurulan doz hızı



Şekil 40. Doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğeri

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma Samsun'da evlerde yaz, kış, ilkbahar ve sonbahar dönemleri için ev içi radon konsantrasyon değerini ve bu evlerin çevrelerindeki topraklarda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite oranını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Araştırma sonucunda Samsun'da evlerde kış dönemi ortalama radon konsantrasyonu  $194 \text{ Bq/m}^3$ , yaz dönemi  $48 \text{ Bq/m}^3$ , ilkbahar dönemi  $125 \text{ Bq/m}^3$  ve sonbahar dönemi ise  $58 \text{ Bq/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Minimum radon konsantrasyon değeri yaz mevsiminde belirlenmiş olup  $10 \text{ Bq/m}^3$ , maksimum radon konsantrasyon değeri ise kış mevsiminde belirlenmiş olup  $425 \text{ Bq/m}^3$ 'tür. Samsun'un yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri  $23 \text{ Bq/m}^3$  ile  $230 \text{ Bq/m}^3$  arasında olup yıllık ortalama radon konsantrasyon değeri ise  $106 \text{ Bq/m}^3$ 'tür. İnsanların, bu yıllık ortalama radon konsantrasyon değerinden dolayı maruz kaldığı yıllık etkin doz eşdeğeri  $2,67 \text{ mSv/yıl}$ 'dır. Bu değerler ICRP'nin belirlediği yıllık etkin doz değerinin altındadır.

Toprak aktivitesi ortalama değerleri ise  $^{238}\text{U}$ ;  $30,88 \text{ Bq/kg}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ;  $21,65 \text{ Bq/kg}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ;  $16,01 \text{ Bq/kg}$  ve  $^{40}\text{K}$ ;  $341,18 \text{ Bq/kg}$  olarak belirlenmiştir. Bu radyoaktif elementler için bulunan en küçük ve en büyük aktivite değerleri sırasıyla  $11,29-76,63 \text{ Bq/kg}$ ;  $9,82-40,34 \text{ Bq/kg}$ ;  $8,05-70,00 \text{ Bq/kg}$  ve  $50,80-660,84 \text{ Bq/kg}$  olarak belirlenmiştir. Jeolojik yapıya bakıldığında genel olarak Samsun ili Ladik ilçesi ve çevresi topraklarının yapısında volkanik yapı oluşumuna rastlandığı için çalışma yaptığımız diğer birçok ilçe ile karşılaştırdığımızda  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Ayrıca Radon,  $^{238}\text{U}$ 'in bir bozunma ürünü olduğu için Havza, Ladik ve Vezirköprü ilçelerinde Radon konsantrasyon değerlerinin diğer ilçelere göre daha yüksek olması da beklenen bir diğer sonuçtur.

ICRP'nin evlerde müsaade edilebilir doz değeri olarak belirlediği  $400 \text{ Bq/m}^3$ 'ü geçen evlerin oranı Samsun ili için, kış döneminde (5 ev) % 3,94'dir. İlkbahar, sonbahar ve yaz dönemlerinde ise  $400 \text{ Bq/m}^3$ 'ü geçen değer olmamıştır. Kış döneminde bu değer geçilmesinin sebebi, havaların soğuk olup evlerin yeterince havalandırılmaması, kapı ve pencerelerin yeterince açılmamasıdır. İlkbaharda değerlerin sonbahara oranla yüksek çıkmasının sebebi ise kış mevsiminin 2006-2007 yılları arasında biraz uzun sürmesi ve evlerin yeterince havalandırılmamasıdır. Yaz mevsiminde en düşük değerlerin çıkmasının sebebi evlerin kapı ve pencerelerinin sürekli açık olup havalandırma süresinin uzun olmasıdır. Sonbahar mevsiminin konsantrasyon değerlerinin ilkbahar mevsimine göre daha düşük

çıkmasının sebebi soğukların daha başlamamış olması, 2008 yaz sıcaklarının etkisini hala göstermesidir.

Bu araştırmada Samsun'un merkez ve ilçelerinde bulunan evlerde ev içi radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Radon gazı topraktan ev içine bina çatlaklarından, zemindeki boşluklardan ve drenajdan girer. Bu yüzden, radon seviyesi bodrum katlarda, kilerlerde ve toprakla temas eden zeminlerde daha fazladır. Dozimetreler genelde zemin katlara ve zemin kat üstlerine veya karşılaştırma yapmak için daha üst katlara yerleştirilmiştir. Binaların toprakla ilk temasının sağlandığı noktalar olan bodrum ve kilerlerin iyi yalıtılmış olması gerekmektedir. Bu sayede ev içine radon gazı geçişi azaltılabilir. Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.

Ev içi radon konsantrasyonunun mevsimsel olarak ne derece değişim gösterdiğini görmek açısından her mevsim ölçümler alınmıştır ve bunun yararlı olduğu açıktır. Samsun ilinde kış mevsimi dışında konsantrasyon değerlerinin sağlık örgütlerinin ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun öngördüğü değerlerin üzerinde olmadığı görülmektedir. Ancak yine de insanların sağlıkları açısından ve ileride sağlık sorunlarına sebebiyet vermemek için düzenli olarak evlerin çok iyi havalandırılması gerekmektedir.

Bu tip çalışmaların devam ettirilmesi ile Türkiye'nin radon haritasının çıkarılmasının tartışılmaz yararlı bir sonuç olduğu açıktır.

## 5. KAYNAKLAR

- Arya, A. P. (Edit: Şahin, Y.), 1999. “Çekirdek Fizikinin Esasları”, Aktif Yayın, Dağıtım LTD. ŞTİ., İstanbul.
- 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.
- Eisenbud, M., 1987. Environmental Radioactivity, Third Edition, ISBN. 0-12-235153-3, Academic Pres, Inc., London.
- El-Reefy, H.I., Sharshar, T., Zaghloul, R. and Bardan, H. M., 2006. Distribution of gamma-ray emitting radionuclides in the environment of Burullus Lake: I. Soils and vegetations. Journal of Environmental Radioactivity 87, 148-169.
- Faheem, M. ve Matiullah, 2008. Indoor radon concentration levels in several districts of the Punjab Province, Pakistan, Radiation Measurements, 43, 380–384.
- 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.
- ICRP-65, 1993. Protection against  $^{222}\text{Rn}$  at home and work, International Commission on Radiological Protection (ICRP), Annals of ICRP, Publication No. 65, Oxford: Pergamon Pres.
- Krane, S. K. (Edit: Şarer, B.), 2001. Nükleer Fizik 1. Cilt Ders Kitabı, Birinci Baskı, Palme Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara.
- Karahan, G. ve Bayulken, A., 2000. Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey), Journal of Environmental Radioactivity, 47, 213-221.
- Karahan, G., 1997. İstanbul’un Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Li, Y., Schery, D.S. ve Turk, B., 1992. Soil as a Sources of Indoor Radon. Healty Physics, 62, 453-457.
- 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.

- 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.
- Prasad Shiva, G. N., Nagaiah, N., Ashok, G. V. ve Karunakara, N., 2008. Concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  the soils of Bangalore region, India. Health Physics, 94.
- 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.
- Uluğ, A., Karabulut, M. ve Çelebi, N., 2004. Radon Measurement with CR-39 Track Dedectors at specific Locations in Turkey, Nuclear Technology and Radiation Protection, 19, 46-49.
- UNSCEAR 1988. United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, Annex A Terrestrial Sources of Radiation.
- UNSCEAR, 1988. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Annex B Exposure from natural radiation sources.
- UNSCEAR 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Annex B Exposure from natural radiation sources.
- URL-1, [http://www.taek.gov.tr/bilgi/elkitabi\\_brosur/brosurler/radon/radon.htm](http://www.taek.gov.tr/bilgi/elkitabi_brosur/brosurler/radon/radon.htm), 20 Haziran 2008.
- URL-2, <http://www.epa.gov/iaq/radon>, 20 Haziran 2008.
- URL-3, <http://www.tusak.saglik.gov.tr/pdf/kitaplar/css44.pdf>, 21 Haziran 2008.
- URL-4, [www.kaltest.com.tr/images/radyasyon1.gif](http://www.kaltest.com.tr/images/radyasyon1.gif), 12 Aralık 2008.
- URL-5, [www.aof.anadolu.edu.tr/kitap/EHSM/1222/unite13](http://www.aof.anadolu.edu.tr/kitap/EHSM/1222/unite13), 30 Ağustos 2008.
- URL-6, <http://www.hepaonline.com/radon.php>, 17 Mart 2009.
- URL-7, [http://ansiklopedi.turkcebilgi.com/Radon\\_gaz%C4%B1](http://ansiklopedi.turkcebilgi.com/Radon_gaz%C4%B1), 21 Ekim 2008.
- URL-8, [http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4\\_02.html](http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_02.html), 4 Mayıs 2009.
- URL-9, <http://www.randevu24.de/turkiye-tanitimi/turkiye-haritasi.jpg>, 05 Ağustos 2009.
- Resmi Gazete, 2000. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, Başbakanlık Basımevi, 23999.
- WHO ( World Health Organization), 2002. World Health Report.

## ÖZGEÇMİŞ

Trabzon'un Araklı ilçesinde 1981 yılında doğdu. İlk ve orta öğrenimini Yeşilce İlk Öğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Trabzon Atatürk Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde tamamladı.

2001-2006 yılları arasında üniversite eğitimini Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde bir yıl hazırlık okuyarak aldı. 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine Başladı. Şu an Nükleer Fizik Dalı'nda tez aşamasındadır. Ferhan ÖZDERYA iyi derecede İngilizce bilmektedir.