



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İSTANBUL İLİ FATİH İLÇESİ
İLKÖĞRETİM OKULLARINDA İÇ HAVA RADON
KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ**

Aziz KURT

Fizik Anabilim Dalı

Nükleer Fizik Programı

Danışman

Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

Haziran, 2015

İSTANBUL

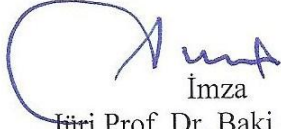
Bu çalışma 10/06/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:



İmza

Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



İmza

Jüri Prof. Dr. Baki AKKUŞ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



İmza

Jüri Prof. Dr. Suat ÖZKORUCUKLU
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



İmza

Jüri Doç. Dr. İlkay TÜRK ÇAKIR
İstanbul Aydın Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



İmza

Jüri Yard. Doç. Dr. İffet ÇAVDAR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliđinin 42253 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında bana rehber olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN başta olmak üzere lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan, bana adeta babalık yapan Sayın Fen Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Baki AKKUŞ hocama, annem gibi sevdiğim ve saydığım Sayın Fen Fakültesi Dekan Yardımcısı Prof. Dr. Yeşim ÖKTEM hocama, öz ağabeyim olsaydı bu kadar olurdu dediğim Sayın Uzman Özgür AYTAN hocama ve üzerimde emeği olan tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sürecinde bana yardımcı olan Araş. Gör. Dr. Gülfem SÜSOY, Araş. Gör. Fatma Çağla ÖZTÜRK, Araş. Gör. Ayşegül ERTOPRAK, Doktora Öğrencisi Nurgül HAFIZOĞLU, Yüksek Fizikçi Engin BOZKURT'a, Yüksek Lisans Öğrencisi olan arkadaşlarım Müzeyyen Gökçe ERDOĞAN, Güler AĞGEZ, Pınar İSEL'e ve emeği, katkısı çok büyük olan Sayın Ayhan DEMİRCAN'a, Sayın Dr. Berna ATAKSOR ve Sayın İrfan GÜRBÜZ başta olmak üzere ÇNAEM'de bana destek olan herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca eğitimim süresince maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Süleyman KURT, annem Hava KURT ve kardeşim Başak KURT'a, Akgül ARIKBOĞA başta olmak üzere yaşadığımız zor zamanlarda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tüm akrabalarımıza ve dostlarımıza, yirmi yıllık arkadaşım, dostum olan adam gibi adamlar, kardeşlerim Yüksek Çevre Mühendisi Bora GENÇ ve Yüksek Ulaştırma Mühendisi Araş. Gör. Mehmet Ali SİLGU'ya, ve tabii ki hayata tutunmamı sağlayan iyi yürekli, güzel insan Merve Şehin ÖZBALAK'a sonsuz teşekkür ederim.

Tezimi; yüksek lisans eğitimim sırasında üç ay arayla kaybettiğim, üzerimde çok büyük emekleri olan dedem İbrahim KURT ve büyük amcam Ali KURT'un anısına ithaf ediyorum.

Haziran , 2015

Aziz KURT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. ATOM ÇEKİRDEĞİNİN YAPISI	4
2.2. ÇEKİRDEĞİN KARARLILIĞI	6
2.3. RADYOAKTİVİTE	7
2.3.1. Yarı Ömür ve Bozunma Sabiti.....	8
2.4. RADYASYONUN SINIFLANDIRILMASI.....	10
2.4.1. İyonlaştırıcı Radyasyon	10
2.4.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	11
2.5. RADYOAKTİF BOZUNMA VE BOZUNMA TÜRLERİ.....	13
2.5.1. Radyoaktif Bozunma.....	13
2.5.2. Alfa Bozunması	13
2.5.3. Beta Bozunması	14
2.5.3.1. Negatron Bozunması	14
2.5.3.2. Pozitron Bozunumu	15
2.5.3.3. Elektron Yakalanması	16
2.5.4. Gama Bozunması	16
2.6. RADYASYON DOZU	17
2.7. RADYASYON BİRİMLERİ.....	18
2.7.1. Röntgen	18

2.7.2. Gray.....	18
2.7.3. Sievert	18
2.7.4. Becquerel	19
2.8. RADYASYON KAYNAKLARI.....	20
2.8.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	20
2.8.1.1. Kozmik Radyasyon	20
2.8.1.2. Karasal Radyasyon	21
2.8.1.3. Dahili Radyasyon	22
2.8.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	22
2.9. RADYOAKTİF SERİLER	24
2.9.1. Doğal Seriler	24
2.9.1.1. Uranyum Serisi.....	24
2.9.1.2. Toryum Serisi	27
2.9.1.3. Aktinyum Serisi.....	29
2.9.2. Yapay Seriler	31
2.9.2.1. Neptünyum Serisi.....	31
2.10. RADON	32
2.11. RADON GAZININ KAYNAKLARI.....	35
2.11.1. Bina İçi Radon Kaynakları.....	36
2.11.1.1. Toprak ve Kayalardan Gelen Radon.....	37
2.11.1.2. İnşaat Malzemelerinden Gelen Radon	38
2.11.1.3. Doğal Gazdan Gelen Radon	38
2.11.1.4. Sulardan Gelen Radon	38
2.11.2. Havadaki Radon Konsantrasyonu.....	39
2.12. RADON VE SAĞLIK	41
2.13. RADON ÖLÇÜM METOTLARI.....	42
2.13.1. Aktif Karbon Tekniği.....	42
2.13.2. Sıvı Sintilasyon Sayım Sisteminde Aktif Karbon.....	42
2.13.3. Elektret İyon Odaları.....	42
2.13.4. Sürekli Monitörler.....	43
2.13.5. Radon Tuzağı (Grab Sampler) Tekniği.....	43
2.13.6. Katı Hal Nükleer İz Dedektörleri (Alfa İz Dedektörleri).....	43
2.14. DÜNYADA İÇ HAVA RADON GAZI ÇALIŞMALARI	46
2.15. RADONDAN KORUNMA YOLLARI	48

2.16. RADON VE DEPREM İLİŞKİSİ	48
3. MALZEME VE YÖNTEM	50
3.1. YÖNTEM	50
3.2. ÖRNEKLEME ALANI	50
3.3. ÖRNEKLEME İŞLEMİ	51
3.4. DENEYSEL İŞLEMLER	53
3.5. KALİBRASYON İŞLEMİ	54
3.6. ETKİN DOZ HESABI.....	58
4. BULGULAR	60
4.1. 25 İLKÖĞRETİM OKULUNUN RADON KONSANTRASYONLARI.....	61
4.1.1. Genç Osman İlköğretim Okulu	61
4.1.2. Yedikule İlköğretim Okulu	63
4.1.3. Muallim Naci İlköğretim Okulu	64
4.1.4. Kırımlı Aslanbey İlköğretim Okulu	65
4.1.5. Fethiye İmam Hatip İlköğretim Okulu.....	67
4.1.6. Vedide Baha Pars İlköğretim Okulu	68
4.1.7. Silivrikapı İlköğretim Okulu	70
4.1.8. Koca Mustafa Paşa İlköğretim Okulu	71
4.1.9. İbrahim Alaettin Gavsa İlköğretim Okulu	73
4.1.10. Mehmet Akif İlköğretim Okulu	75
4.1.11. Mimar Sinan İşitme Engelliler İlköğretim Okulu	77
4.1.12. Tarık Us İlköğretim Okulu.....	79
4.1.13. Hattat Rakım İlköğretim Okulu	81
4.1.14. Yavuz Selim İlköğretim Okulu	83
4.1.15. Emin Ali Yasin İlköğretim.....	86
4.1.16. Çapa İlköğretim Okulu	87
4.1.17. Vasıf Çınar İlköğretim Okulu	89
4.1.18. Çapa Atatürk İlköğretim Okulu	91
4.1.19. Hekimoğlu Ali Paşa İlköğretim Okulu	93
4.1.20. Gazi İmam Hatip İlköğretim Okulu	95
4.1.21. Nişancı Mehmet Paşa İlköğretim Okulu	98
4.1.22. Melek Hatun İlköğretim Okulu.....	99
4.1.23. Sancaktar Hayrettin İlköğretim Okulu.....	101
4.1.24. Atik Ali İlköğretim Okulu	103

4.1.25. Muhittin Akdik İlköğretim Okulu.....	106
4.2. 25 İLKÖĞRETİM OKULUNUN KARŞILAŞTIRILMASI.....	108
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	115
KAYNAKLAR	116
EKLER.....	119
EK 1. 185 sınıfa yerleştirilen dedektörlerin verileri.	119
ÖZGEÇMİŞ.....	124

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: N – Z grafiği [14].	6
Şekil 2.2: Radyasyon türlerinin giricilik özellikleri [20].	10
Şekil 2.3: İyonlaştırıcı radyasyon [17].	11
Şekil 2.4: İyonlaştırmayan radyasyon [17].	12
Şekil 2.5: Işınlardan dalga boyları [21].	12
Şekil 2.6: Alfa bozunması örneği [22].	13
Şekil 2.7: Negatron bozunması örneği [23].	14
Şekil 2.8: Pozitron bozunması örneği [23].	15
Şekil 2.9: Elektron yakalanması örneği [23].	16
Şekil 2.10: Gama bozunması örneği [23].	17
Şekil 2.11: Kozmik ışınlardan alınan radyasyon [1].	21
Şekil 2.12: Doğal radyasyon kaynakları [1].	22
Şekil 2.13: Yapay radyasyon kaynakları [1].	22
Şekil 2.14: Uranyum (Radyum) serisi [28].	25
Şekil 2.15: Toryum serisi [28].	27
Şekil 2.16: Aktinyum serisi [28].	29
Şekil 2.17: Neptünyum serisi [28].	31
Şekil 2.18: ^{222}Rn ve ^{220}Rn 'nin bozunma zinciri [33].	35
Şekil 2.19: Radonun ev ortamına giriş yolları [34].	36
Şekil 2.20: Doğal radyoaktif elementlerin bozunma ürünlerinin yeryüzüne çıkışı [36].	40
Şekil 2.21: Ülkelerdeki evlerde ortalama radon konsantrasyonları [33].	47
Şekil 2.22: Bazı ülkelerde işyerlerinde ölçülen radon konsantrasyonları [33].	47
Şekil 2.23: 1966 ve 1967 Taşkent depremleri öncesi ve sonra radon değişimleri [40].	49

Şekil 3.1: Örneklem alanı [42].....	51
Şekil 3.2: Deney düzeneği.	52
Şekil 3.3: Sabitlenmiş deney düzeneği.	52
Şekil 3.4: LR-115 filmlerinin üzerindeki alfa izleri.	53
Şekil 3.5: LR-115 filminin üzerindeki alfa izleri.....	54
Şekil 3.6: Kalibrasyon eğrisi.	57
Şekil 3.7: ÇNAEM radon odası.....	57
Şekil 3.8: Kalibrasyon ve background filmleri.....	58
Şekil 4.1: Filmlerin yerleştirildiği 25 ilköğretim okulunun haritadaki yerleri [42].....	60
Şekil 4.2: Genç Osman İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	62
Şekil 4.3: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	62
Şekil 4.4: Yedikule İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	63
Şekil 4.5: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	64
Şekil 4.6: Muallim Naci İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	65
Şekil 4.7: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	66
Şekil 4.8: Fethiye İmam Hatip İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.....	67
Şekil 4.9: Vedide Baha Pars İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	69
Şekil 4.10: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	70
Şekil 4.11: Silivrikapı İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	71
Şekil 4.12: Koca Mustafa Paşa İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	72
Şekil 4.13: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	73
Şekil 4.14: İbrahim Alaettin Gavsı İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	74
Şekil 4.15: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	75
Şekil 4.16: Mehmet Akif İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	76
Şekil 4.17: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	77
Şekil 4.18: Mimar Sinan İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.....	78
Şekil 4.19: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	79
Şekil 4.20: Tarık Us İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.....	80

Şekil 4.21: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	81
Şekil 4.22: Hattat Rakım İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	82
Şekil 4.23: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	83
Şekil 4.24: Yavuz Selim İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	84
Şekil 4.25: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	85
Şekil 4.26: Emin Ali Yasin İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	86
Şekil 4.27: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	87
Şekil 4.28: Çapa İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	88
Şekil 4.29: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	89
Şekil 4.30: Vasıf Çınar İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	90
Şekil 4.31: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	91
Şekil 4.32: Çapa Atatürk İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	92
Şekil 4.33: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	93
Şekil 4.34: Hekimoğlu Ali Paşa İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	94
Şekil 4.35: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	95
Şekil 4.36: Gazi İmam Hatip İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	96
Şekil 4.37: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	97
Şekil 4.38: Nişancı Mehmet Paşa İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	98
Şekil 4.39: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	99
Şekil 4.40: Melek Hatun İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	100
Şekil 4.41: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	101
Şekil 4.42: Sancaktar Hayrettin İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	102
Şekil 4.43: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	103
Şekil 4.44: Atik Ali İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	104
Şekil 4.45: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	105
Şekil 4.46: Muhittin Akdik İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.	106
Şekil 4.47: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.	107
Şekil 4.48: Okulların ortalama radon konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması.	109

Şekil 4.49: Bodrum katlarının radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması.	110
Şekil 4.50: Zemin katların radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması.	111
Şekil 4.51: Birinci katların radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	112
Şekil 4.52: İkinci katların radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması.	113
Şekil 4.53: Tüm katlara göre ortalama radon konsantrasyonun karşılaştırılması.	114

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Organların doz ağırlık katsayıları [25].	19
Tablo 2.2: Doğal Uranyum serisinin yayınladığı radyasyonların enerjileri [29].	26
Tablo 2.3: Doğal Toryum serisinin yayınladığı radyasyonların enerjileri [29].	28
Tablo 2.4: Doğal Aktinyum serisinin yayınladığı radyasyonların enerjileri [29].	30
Tablo 2.5: Radonun özellikleri [17].	32
Tablo 2.6: Kabul edilen radon konsantrasyon limitleri (Bq/m ³) [30].	37
Tablo 2.7: toprak ve kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu [24].	37
Tablo 2.8: İnşaat malzemeleri içinde ²²⁶ Ra konsantrasyon ve ²²² Rn çıkış hızı değerleri [24].	38
Tablo 2.9: Radon gazı ölçüm cihazlar ve özellikleri [32].	45
Tablo 3.1: Arkaplan iz sayıları.	55
Tablo 3.2: Kalibrasyon faktörü hesaplama verileri.	56
Tablo 3.3: Kalibrasyon eğrisi verileri.	56
Tablo 4.1: Genç Osman İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	61
Tablo 4.2: Katlardaki radon konsantrasyonları.	62
Tablo 4.3: Yedikule İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	63
Tablo 4.4: Katlardaki radon konsantrasyonları.	64
Tablo 4.5: Muallim Naci İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	65
Tablo 4.6: Katlardaki radon konsantrasyonları.	65
Tablo 4.7: Kırımlı Aslanbey İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	66
Tablo 4.8: Katlardaki radon konsantrasyonları.	66
Tablo 4.9: Fethiye İmam Hatip İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	67
Tablo 4.10: Katlardaki radon konsantrasyonları.	68
Tablo 4.11: Vedide Baha Pars İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	68

Tablo 4.12: Katlardaki radon konsantrasyonları.	69
Tablo 4.13: Silivrikapı İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	70
Tablo 4.14: Katlardaki radon konsantrasyonları.	71
Tablo 4.15: Koca Mustafa Paşa İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	72
Tablo 4.16: Katlardaki radon konsantrasyonları.	73
Tablo 4.17: İbrahim Alaettin Gavsı İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	74
Tablo 4.18: Katlardaki radon konsantrasyonları.	75
Tablo 4.19: Mehmet Akif İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	76
Tablo 4.20: Katlardaki radon konsantrasyonları.	77
Tablo 4.21: Mimar Sinan İşitme Engelliler İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	78
Tablo 4.22: Katlardaki radon konsantrasyonları.	79
Tablo 4.23: Tarık Us İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	80
Tablo 4.24: Katlardaki radon konsantrasyonları.	81
Tablo 4.25: Hattat Rakım İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	82
Tablo 4.26: Katlardaki radon konsantrasyonları.	83
Tablo 4.27: Yavuz Selim İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	84
Tablo 4.28: Katlardaki radon konsantrasyonları.	85
Tablo 4.29: Emin Ali Yasin İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	86
Tablo 4.30: Katlardaki radon konsantrasyonları.	87
Tablo 4.31: Çapa İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	88
Tablo 4.32: Katlardaki radon konsantrasyonları.	89
Tablo 4.33: Vasıf Çınar İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	90
Tablo 4.34: Katlardaki radon konsantrasyonları.	91
Tablo 4.35: Çapa Atatürk İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	92
Tablo 4.36: Katlardaki radon konsantrasyonları.	93
Tablo 4.37: Hekimoğlu Ali Paşa İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	94
Tablo 4.38: Katlardaki radon konsantrasyonları.	95
Tablo 4.39: Gazi İmam Hatip İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	96

Tablo 4.40: Katlardaki radon konsantrasyonları.	97
Tablo 4.41: Nişancı Mehmet Paşa İlköğretim Okuluradon konsantrasyon değerleri.	98
Tablo 4.42: Katlardaki radon konsantrasyonları.	99
Tablo 4.43: Melek Hatun İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	100
Tablo 4.44: Katlardaki radon konsantrasyonları.	101
Tablo 4.45: Sancaktar Hayrettin İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	102
Tablo 4.46: Katlardaki radon konsantrasyonları.	103
Tablo 4.47: Atik Ali İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	104
Tablo 4.48: Katlardaki radon konsantrasyonları.	105
Tablo 4.49: Muhiddin Akdik İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.	106
Tablo 4.50: Katlardaki radon konsantrasyonları.	107
Tablo 4.51: 25 okulun tüm katlardaki ortalama radon konsantrasyonu.	108
Tablo 4.52: 25 okulun katlardaki ortalama radon konsantrasyonu.	114

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Bq	: Becquerel
Ci	: Curie
CR-35	: Pollyallyl Di-Glycol Karbonat Dedektörü
e	: Elektron
Gy	: Gray
LR-115	: Selüloz Nitrat Dedektörü
MeV	: Mega Elektron Volt
mSv	: Mili Sievert
ppm	: Milyondaki Oran
Ra	: Radyum
Rn	: Radon
SI	: Uluslararası Birim Sistemi
U	: Uranyum
α	: Alfa
β	: Beta
γ	: Gama
%RH	: Yüzde Bağlı Nem

Kısaltmalar	Açıklama
AB	: Avrupa Birliği
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
ICRP	: Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Radyasyon Etkisi Komitesi
USEPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL İLİ FATİH İLÇESİ İLKÖĞRETİM OKULLARINDA İÇ HAVA RADON KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Aziz KURT

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

Radon; Uranyum bozunum ürünü olan radyoaktif bir elementtir. Kokusuz,tatsız ve renksiz bir asal gaz olduğundan insanların duyu organları tarafından algılanamaz.

Kayalardaki Uranyum bozunumu sonucu oluşan radon gazı difüzyon yoluyla önce toprağa oradan da havaya ulaşır. İnsanlar yüksek konsantrasyonlarda radon gazına maruz kaldığında akciğer kanseri olabilirler.

Havadaki ^{222}Rn konsantrasyonunu belirlemede birçok yöntem mevcuttur. Bu çalışmada, kapalı ortamlardaki radon konsantrasyonları LR-115 katı hal iz kazıma dedektörleri kullanılarak ölçülmüştür. 509 adet LR-115 nükleer iz dedektörü Fatih ilçesindeki 25 okula yerleştirildi ve etkin doz değerleri hesaplandı.

Bu çalışmanın sonucunda, radon konsantrasyonu $40 - 395 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişmektedir. Bu sonuçlar Türkiye limitleri (400 Bq/m^3) ile kıyaslandığında düşük olmasına karşın Uluslararası Sağlık Örgütü limitlerinin (100 Bq/m^3) üstündedir.

Haziran 2015, 139.

Anahtar kelimeler: Radon, LR-115, Okul, Doz

SUMMARY

M. Sc. THESIS

DETERMINATION OF INDOOR RADON CONCENTRATIONS AT THE ELEMENTARY SCHOOLS OF FATİH DISTRICT IN İSTANBUL

Aziz KURT

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

Radon is the radioactive element found in Uranium decay chain. Radon is an odorless, tasteless, colorless noble gas and therefore can not be observed by human sense.

The Radon gas produced by the decay of Uranium in rocks, diffuses into soil and then into atmosphere. When humans exposure to high concentration of radon gas, lung cancer can be occurs.

There are many methods to determine ^{222}Rn concentration in the air. In this study, radon concentrations of closed places were measured by using LR-115 solid state nuclear track dedektors. 509 LR -115 nuclear trace detectors were placed to 25 schools in Fatih District and were calculated effective dose values.

According to the results of investigations, it was that the radon concentration varies between $40 - 395 \text{ Bq/m}^3$. This results are lower compared with Turkey's limits (400 Bq/m^3) conversely the results are higher compared with WHO's limits (100 Bq/m^3).

June 2015, 139.

Keywords: Radon, LR-115, School, Dose

1. GİRİŞ

Dünya'nın yapısı gereği tüm insanlar radyasyonun etkisinde kalırlar. Doğal olarak maruz kalınan bu doğal radyasyon toprak ve kayaların yapısında bulundurduğu radyoaktif elementlerden, evrendeki kozmik ışınlardan, hava ve suyun içerisinde bulunan radyoaktif elementlerden ve bunun gibi birçok doğal kaynaktan ileri gelmektedir. Doğal radyasyon özellikle doğal radyoaktif seriler olan Uranyum serisi, Toryum serisi ve Aktinyum serisine bağlıdır. Özellikle doğal radyoaktif serilerinden Uranyum serisinin bir ürünü olan Radon gazı maruz kaldığımız doğal radyasyonun %50 gibi büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Öyle ki sadece radon gazından dolayı maruz kalınan yıllık doz yaklaşık olarak 1.3 mSv'dir [1].

Soluduğumuz ve havada bulunan radon gazının kaynağı topraktır. Toprak ve kayalarda bulunan uranyumun bozunması sonucu difüzyon yolu ile radon gazı havaya karışır. O yüzden iç hava kalitesinin belirlenmesinde radon gazı yoğunluğu önem teşkil eder. İnsanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirdiğinden radon gazını solumaları ve radondan kaynaklı akciğer kanserine yakalanma ihtimalleri son derece yüksektir. Topraktan bina tabanındaki çatlaklar yüzünden evin içine sızan radon gazına, binanın yapı malzemesinden kaynaklanan, ısınma amaçlı kullanılan doğalgazdan kaynaklanan ve içme sularından kaynaklanan radon konsantrasyonları da eklenince bina içi radon yoğunluğu artar [2].

Ülkemiz için geçerli olan ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından bildirilen limitler; evler için 400 Bq/m^3 ve iş yerleri için 1000 Bq/m^3 'tür. Avrupa Birliği konutlar için, eski binalarda 400 Bq/m^3 ve yeni binalarda 200 Bq/m^3 'lük sınır değerleri baz almaktadır. Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP: International Commission on Radiological Protection) ise, meskenlerdeki müdahale seviyelerini $200\text{--}600 \text{ Bq/m}^3$ ve iş yerleri için bu sınırları $500\text{--}1500 \text{ Bq/m}^3$ olarak bildirmiş olmasına rağmen, en son bilimsel değerlendirmeler çerçevesinde WHO, radona maruz kalma nedeniyle oluşabilecek sağlık problemlerinin en aza indirilebilmesi için evlerde 100 Bq/m^3 'lük referans seviyesinin uygulanmasını önermektedir [3].

Havada, suda ve toprakta radon konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik son yıllarda Türkiye’de ve Dünya’da yapılan çalışmaların bazıları aşağıda verilmiştir.

Isparta ili Merkez, Eğridir ve Yalvaç ilçelerinde CR-39 pasif radon dedektörlerini kullanarak evlerdeki ortalama radon konsantrasyonunu ölçen Uluğ ve arkadaşları sırasıyla ortalama radon konsantrasyon değerlerini 164 Bq/m^3 , 124 Bq/m^3 ve 112 Bq/m^3 olarak belirlemişlerdir [4].

Yunanistan’ın Patras şehrinde Papaefthymio ve arkadaşlarının müstakil, apartman ve tüm evlerdeki ortalama radon konsantrasyonunu tespit etmek için LR-115 pasif radon dedektörleri ile yaptıkları çalışma sonucunda sırasıyla konsantrasyon değerlerinin 41 Bq/m^3 , 28 Bq/m^3 ve 38 Bq/m^3 olduğu görülmüştür [5].

Meksika şehrinde 416 evde LR-115 pasif radon dedektörü ile Marina ve arkadaşlarının yaptığı çalışmanın sonucunda ortalama radon konsantrasyonu 145 Bq/m^3 tespit edilmiştir [6].

Çelebi ve Alkan tarafından CR-39 pasif radon dedektörleri kullanılarak yapılan çalışmada Erzurum’daki evlerde ortalama radon konsantrasyonu 85 Bq/m^3 , Çanakkale’deki evlerde ortalama radon konsantrasyonu 160 Bq/m^3 olarak bulunmuştur [7].

İspanya’da Gutierrez ve arkadaşları ev içi radon konsantrasyonunu Barcelona şehrinde $68,5 \text{ Bq/m}^3$, Madrid şehrinde ise $40,2 \text{ Bq/m}^3$, olarak bulmuşlardır [8].

Hindistan’ın Nurgur bölgesinde 17 köy ve 70 evde LR-115 radon dedektörü kullanılarak yapılan ölçümlerde Singh ve arkadaşları minimum 168 Bq/m^3 , maksimum ise 429 Bq/m^3 değerlerine ulaşmışlardır [9].

Köksal ve arkadaşları İstanbul ilinde 524 eve radon dozimetreleri dağıtarak ev içi radon konsantrasyonunu ortalama olarak 50 Bq/m^3 olarak tespit etmişlerdir [10].

Kam ve Bozkurt tarafından Kastamonu’da yapılan çevresel radyoaktivite ölçüm çalışmalarında; ev içi radon aktivite konsantrasyonu $98,4 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüş, bu aktiviteye uygun yıllık efektif doz $2,48 \text{ mSv}$ olarak hesaplanmış, ev içi ve dışı gamma absorblanmış doz sırasıyla $54,81$ ve 48.03 nGy/h olarak, buna uygun toplam gamma

radasyon düzeyi (yeryüzü ve kozmik kaynaklı) 0,33 mSv/y olarak hesaplanmış, toplanan toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K doğal radyonüklidlerinin aktiviteleri sırasıyla 32.93, 27.17, 431.43 Bq/kg, fisyon ürünü ^{137}Cs için 8,02 Bq/kg olarak hesaplanmıştır [11].

Sivas'ta Mıhçı tarafından il merkezinde yapılan çalışmada radon gazı dağılımı yaz dönemi kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması ortalama değeri 98 Bq/m³ iken kış dönemi radon gazı yoğunlaşması ortalama değeri 89 Bq/m³ olarak ölçülmüştür [12].

Bozkurt ve Kam tarafından 88 adet CR-39 nükleer iz dedektörü ile Edirne'deki bazı apartman ve evlerde yapılan ölçüm sonucunda kapalı alanlardaki ortalama radon aktivitesi 49.2 Bq/m³ ve yıllık efektif doz 1.24 mSv olarak bulunmuştur [13].

Bu tez çalışmasında ise İstanbul ili Fatih ilçesindeki 25 tane ilköğretim okulunda radon konsantrasyonunu ölçmek için 185 sınıfa 509 tane LR-115 (katı hal iz kazıma dedektörü) yerleştirilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ATOM ÇEKİRDEĞİNİN YAPISI

Atom; proton, nötron ve elektronlardan oluşmuştur ve yarıçapı 10^{-10} cm mertebesinde. Proton ve nötron $10^{-13} - 10^{-12}$ cm yarıçapında atom çekirdeği olarak adlandırılan yapıyı oluşturur. Elektronlar ise çekirdeğin etrafındaki yörüngelerde bulunur. Atomun fiziksel özellikleri, dinamik ve kinetik davranışı kütesine bağlı olarak değişirken kimyasal özellikleri elektron yapısına ve çekirdeğin pozitif yüküne bağlı olarak değişir. Çünkü çekirdeğin pozitif yükü aynı zamanda çekirdek dışındaki elektron sayısını belli eder. Atomun fiziksel özelliklerini, dinamik ve kinetik özelliklerini değiştiren kütle yapısının neredeyse tamamı proton ve nötrona bağlıdır. Dolayısıyla atomun fiziksel özellikleri ile kimyasal özellikleri atomun çekirdeğine bağlı olarak değişir.

Bir atom çekirdeğinin yükünü protonlar, kütesini ise proton ve nötronlar belirler. Z proton sayısını, e elektron yükünü temsil etmek üzere $+Ze$ çekirdeğin yükünü gösterir. Z aynı zamanda atom numarasını ifade eder. Çekirdeğin kütesini proton ve nötron belirlerken atomun kütesini proton, nötron ve elektronlar belirler ama elektronun kütlesi protonların kütesine oranla çok küçük olduğundan ($m_p = 2000.m_e$) atomun kütlesi de hesaplanırken elektronların kütlesi ihmal edilebilir. Bir atom çekirdeği; X kimyasal simge, A kütle sayısı, Z proton sayısı, N nötron sayısı olmak üzere ${}_Z^AX_N$ biçiminde gösterilir. A kütle sayısını ise nötron ve proton sayılarının toplamı oluşturur. Nötron ve protonlar da genel olarak nükleon olarak isimlendirilir. Bu sebepten kütle numarası A olan bir çekirdek, A tane nükleon içerir. Z atom numarası ve A kütle sayısı belli olan bir çekirdeğe nüklid denilir ve bilinen 700'den fazla nüklid vardır.

Proton (p), en basit atom olan hidrojenin çekirdeğidir ve pozitif elektrik yüklü temel parçacıktır. Nötron (n) ise 1932 yılında Chadwick tarafından keşfedilen kütesi protonun kütesinden %0,1 daha büyük olan elektrik yükü nötr temel parçacıktır. Proton ve nötronun kütleleri birbirine eşit kabul edilir. Proton ve elektronun mutlak yük değerleri

birbirine eşittir. Proton pozitif, elektron ise negatif değerlidir. Bu sebeple nötr atomda proton sayısı ile elektron sayısı birbirine eşit olmak zorundadır. Elektronlar atomun yörüngelerinde belli enerji düzeylerine göre dağılım gösterirken, protonlar da nötronlar ile birlikte çekirdek içinde benzer bir dağılım gösterir.

Doğal olarak bulunan birçok element incelendiğinde, aynı proton sayılarına sahip olmalarına rağmen toplam nükleon sayılarının farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Aynı proton sayısına sahip ama farklı sayıda nötron barındıran çekirdeklere izotop çekirdekler denir. İzotop çekirdekler yörüngelerinde aynı sayıda elektron içereceklerinden kimyasal özellikleri de benzerlik gösterir. Doğal olarak gözlenen izotopların dışında nükleer reaksiyonlar ile de izotop çekirdekler üretilebilir ve radyoizotop olarak adlandırılır. Benzer şekilde nötron sayısı aynı proton sayısı farklı olan çekirdeklere izoton, toplam nükleon sayıları aynı olan çekirdeklere de izobar denilir [14,15].

Bir cismin şeklini ve büyüklüğünü belirlemek için cisimden saçılan radyasyonu incelememiz gerekmektedir. Yapılan birçok saçılma deneyi neticesinde nükleer madde dağılımları aynıdır ve birim hacim başına nükleon sayısı sabittir.

$$\frac{A}{\frac{4}{3}\pi R^3} \sim \text{sabit} \quad (2.1)$$

Buradaki A kütle numarası ve R ortalama çekirdek yarıçapıdır.

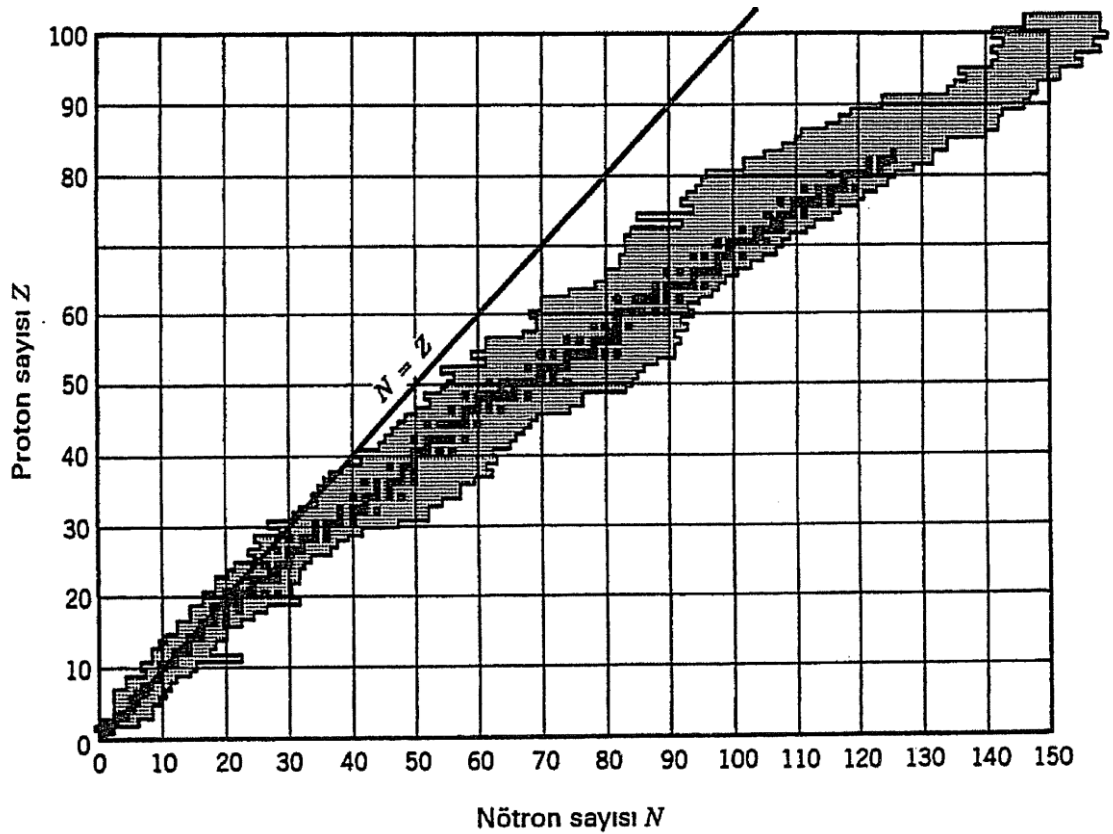
$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (2.2)$$

Elektron saçılma deneylerinden $R_0 \cong 1,2$ fm gibi sabit bir sayı bulunur. Çekirdek içerisindeki belli alanlarda yük dağılımının sabit olduğu düşünülür. Çekirdeğin merkezinden belli bir uzaklıktan sonra yük dağılımı azalmaya başlar ve en son sıfır olur. Yük dağılımının bu azalma süreci çekirdeğin büyüklüğünden bağımsızdır. Yük yoğunluğunun merkezdeki değerinin %90'ından %10'una kadar düştüğü mesafe t yüzey kalınlığı olarak ifade edilir ve yaklaşık değeri tüm çekirdekler için 2,3 fm'dir [14].

2.2. ÇEKİRDEĞİN KARARLILIĞI

Çekirdek içerisinde nötr parçacık nötron ve pozitif yüklü parçacık protonların bir arada bulunmaları ilk düşünüldüğünde normal bir durum olarak algılanmayabilir. Çünkü pozitif yüklü protonların birbirlerini elektrostatik kuvvet ile itmeleri ve bunun neticesinde dağılmaları beklenir. Çekirdeğin dağılmaması ve aksine kararlı bir yapıda olması başka bir kuvvetin varlığına işarettir. Bu kuvvet çekirdek kuvveti olarak isimlendirilir ve çok kısa menzilli çekici bir kuvvettir [14].

Çekirdek kuvvetinin bir arada tutabildiği yaklaşık 400 adet kararlı çekirdek vardır. Bunun dışında kalan çekirdekler kararsız yapıdadır. Kararlı ve kararsız çekirdeklerin nötron sayısı ile proton sayısı arasındaki ilişki Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: N – Z grafiği [14].

$Z = 20$ civarına kadar kararlı çekirdeklerde nötron ve proton sayılarının eşit olduğu net bir şekilde görülüyor. Aynı şekilde proton sayısı 20'den fazla olunca bu eşitlik bozuluyor ve Şekil 2.1.'den net bir şekilde görebiliyoruz ki proton sayısı 83'ün üzerine çıktığında kararlı çekirdek ile karşılaşmıyoruz. Açık ki protonların sayısı çoğaldıkça birbirlerine uyguladıkları itme kuvveti ya da başka bir deyişle Coulomb kuvvetinin şiddeti artacaktır ve çekirdek bölünmeye uğrayacaktır. Proton sayısı 83'den fazla olan çekirdekler kararsızdır.

Kararlı çekirdeklerin birçoğunda toplam nükleon sayısı çifttir. Proton ve nötron sayılarının birlikte tek olması ise yalnızca sekiz çekirdekte görülür. Belirli sayıda nötron ve protona sahip çekirdekler çok yüksek kararlılığa sahiptir. Bu sayı değerlerine sihirli sayılar denir. 2, 8, 20, 28, 50, 82 sayıları sihirli sayılar olarak bilinir. Örneğin 2 proton ve 2 nötrona sahip olan alfa parçacıkları çok kararlıdır [14, 16].

2.3. RADYOAKTİVİTE

24 Şubat 1896 yılında Becquerel'in ışığa karşı korunmuş olmasına rağmen fotoğraf plağının uranyum tuzu kristallerinin yayınladığı görünmeyen ışınlar ile karardığını keşfetmesi ile başlayan bir süreçtir. Kendiliğinden ve hiçbir dış uyarı olmaksızın radyasyon yayınlama olayı radyoaktiflik olarak adlandırıldı. Marie ve Pierre Curie başta olmak üzere diğer araştırmacıların yaptıkları birçok deney ile başka radyoaktif maddeler keşfedilmiştir. 1898 yılında Curie'lerin keşfettiği polonyum ve radyum bunların başlıcalarıdır. Kaynaklara göre 1899 yılında Ernest Rutherford ve 1900 yılında Friedrich Ernest Dorn radyum tuzlarının radyoaktif bir gaz olan radonu çıkardığını keşfetmişlerdir. E. Rutherford'un alfa parçacıklarının saçılması deneyi başta olmak üzere birçok deney sonucu radyoaktifliğin kararsız çekirdeklerin parçalanması sonucu meydana geldiği sonucuna varılmıştır [16].

Radyoaktivite; kararsız çekirdeğin nükleer parçacıklar veya elektromanyetik radyasyon yayarak kararlı hale geçmeye çalıştığı bozunma veya parçalanma işlemidir. Radyoaktivite yavaşlatılması ve durdurulması mümkün olmayan, kontrol edilemeyen bir olaydır. Radyasyon yayan nesneler, radyoaktif olarak adlandırılır [17].

Doğal ve yapay olmak üzere radyoaktiviteyi iki ayrı sınıfta inceleyebiliriz. Doğal radyoaktivite, atomların kararlı hale gelmek için kendiliğinden ışıma yapması olayıdır.

Kendiliğinden ışıma yapan bu elementlere doğal radyoaktif element denir. 83 atom numarasından düşük olan birkaç elementin de kendiliğinden ışıma yapmasına rastlansa da genel olarak atom numarası 83 ile 92 arasındaki kararsız yapıdaki elementler doğal radyoaktif elementlerdir. Kararlı ya da kararsız yapıdaki atomları alfa, nötron, proton gibi parçacıklar ile bombardıman ettiğimizde oluşan yeni çekirdek kararsız yapıda olacaktır ve parçalanmak isteyecektir. Dolayısıyla dışarıdan bir etki ile radyoaktif bir çekirdek oluşturmuş oluruz ve bu olaya yapay radyoaktiflik denir. 1934 yılında Madam Curie'nin kızı I. Curie ve damadı F. Joliot'un çalışmaları ile hızlanan yapay radyoaktiflik sonucunda 400'den fazla yapay radyoaktif izotop elde edilmiştir.

Kararsız yapıdaki çekirdekler kararlı yapıya ulaşıncaya kadar bozunum süreci geçirirler. Bu süreçte radyoaktif bozunma serileri ortaya çıkar. Doğal radyoaktif bozunma serilerinin başında Uranyum serisi, Toryum serisi, Aktinyum serisi gelirken yapay radyoaktif serilerin başında Neptinyum serisi gelmektedir [18].

2.3.1. Yarı Ömür ve Bozunma Sabiti

Henüz parçalanmamış radyoaktif çekirdek sayısı radyoaktif maddenin bozunma hızını belirlememizde yol göstericidir. Çok küçük bir zaman diliminde radyoaktif çekirdek sayısındaki değişim $-\lambda N$ kadar olacaktır. Eksi işareti azalmayı ifade etmektedir. Herhangi bir andaki radyoaktif çekirdek sayısı N ve λ bozunma sabiti olmak üzere; radyoaktif çekirdek sayısının değişme hızı denklem (2.3)'teki gibidir.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2.3)$$

Denklem (2.3)'i düzenleyip integralini alırsak radyoaktif çekirdek sayısındaki değişimi daha net görebiliriz.

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad (2.4)$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad (2.5)$$

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \quad (2.6)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

Denklem (2.7)'de N_0 , $t = 0$ anındaki radyoaktif çekirdek sayısıdır ve net bir şekilde radyoaktif çekirdek sayısının üstel olarak azaldığını görürüz.

Çok küçük dt zaman aralığında radyoaktif çekirdek sayısındaki çok küçük dN değişiminin mutlak değeri bize bozunma hızını gösterecektir. Bozunma hızı R ile gösterilmek üzere; denklem (2.8)'daki gibi ifade edilebilir.

$$R = \left| \frac{dN}{dt} \right| \quad (2.8)$$

Denklem (2.7)'nin zamana göre türevini alırsak; bozunma hızının da üstel olarak azaldığını görebiliriz. Aktivite olarak adlandırılan bir radyoaktif örneğin bozunma hızını R_0 , $t = 0$ anındaki bozunma hızı olmak üzere denklem (2.9)'daki gibi gösterebiliriz. Ayrıca bozunma hızı bazı kaynaklarda R harfi yerine A ile de gösterilebilir.

$$R = \left| \frac{dN}{dt} \right| = N_0 \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t} = R_0 e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

Üstel olarak azalan radyoaktif çekirdek sayısının yarıya inmesine kadar geçen süreye yarı ömür denir ve $t_{1/2}$ ile gösterilir. Denklem (2.7)'de herhangi bir andaki radyoaktif çekirdek sayısı olan N değeri yerine $N_0 / 2$ değerini ve t zamanı yerine $t_{1/2}$ zamanını koyarsak denklemden yarı ömür değerini çekebiliriz. Denklem (2.11)'de yarı ömür ile bozunma sabiti arasındaki ilişki gösterilmiştir.

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2.10)$$

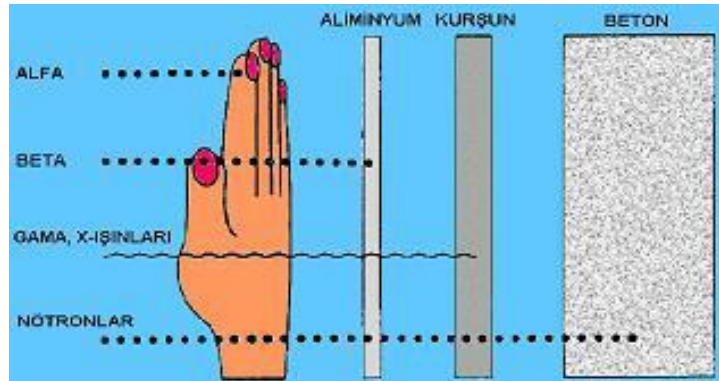
$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2.11)$$

$t = 0$ anında N_0 tane olan radyoaktif çekirdek sayısı yarı ömür süresi sonunda $N_0 / 2$ olacaktır. Bir sonraki yarı ömür süresi sonunda ise bozunmamış çekirdek sayısı $N_0 / 4$ olacaktır. Dolayısıyla n tane yarı ömür sonunda $N_0 / 2^n$ tane radyoaktif çekirdek

kalacaktır. Şekil 2.2’de yarı ömür sürelerindeki radyoaktif çekirdek sayısındaki değişimi görebiliriz [16].

2.4. RADYASYONUN SINIFLANDIRILMASI

Dalga veya tanecik halinde yayılan enerjiye radyasyon denir. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, morötesi ışınlar, X-ışınları, gama ışınları ve kozmik ışınlar artar frekans sırasına göre elektromanyetik radyasyonlardır. Radyasyonun giriciliği dalga veya tanecik olmasına göre değişirken bunun yanı sıra enerjisine ve dalga boyuna da bağlıdır. Örneğin görünür ışık ile gama ışınlarının yapısı aynı olmasına rağmen gama ışınlarının enerjileri yüksek ve dalga boyları kısa olduğundan giricilerdir. Oysa görünür ışık düşük enerjili olduğundan girici değildir. Küçük frekansa sahip olan ışınlar genel olarak dalga özelliği gösterirken, morötesi ve daha yüksek frekanslı ışınlar tanecik özelliği gösterir. Alfa ve beta radyasyonları tanecik özelliği gösteren en yaygın örneklerdir [19].



Şekil 2.2: Radyasyon türlerinin giricilik özellikleri [20].

Radyasyonu iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Radyasyonun bu özelliği etkileşime girdiği ortamdaki atom ve molekülleri iyonize edip edemediğine bağlıdır.

2.4.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaşabilen atom veya moleküllerden elektron koparmak için yeterli enerji taşıyan elektromanyetik radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon denir. X-ışınları, gama ışınları, alfa ve beta radyasyonları, kozmik ışınlar ve nötronlar iyonlaştırıcı radyasyona örnektir. 10

elektron volt (eV) ve daha yüksek enerjili radyasyon iyonlaştırabilir radyasyon olarak kabul edilir [17].



Şekil 2.3: İyonlaştırıcı radyasyon [17].

İyonlaştırıcı radyasyonu da kendi içinde doğrudan ve dolaylı iyonlaştırıcı radyasyon olarak ikiye ayırabiliriz. Yüklü parçacıklar diğer atom ve moleküller ile doğrudan etkileşirken x-ışını, gama ışının ve nötronlar gibi yüksüz parçacık veya elektromanyetik dalgalar radyasyonun madde ile etkileşmesi prensibine dayanarak oluşturduğu ikincil radyasyon ile ortamı iyonlaştırır.

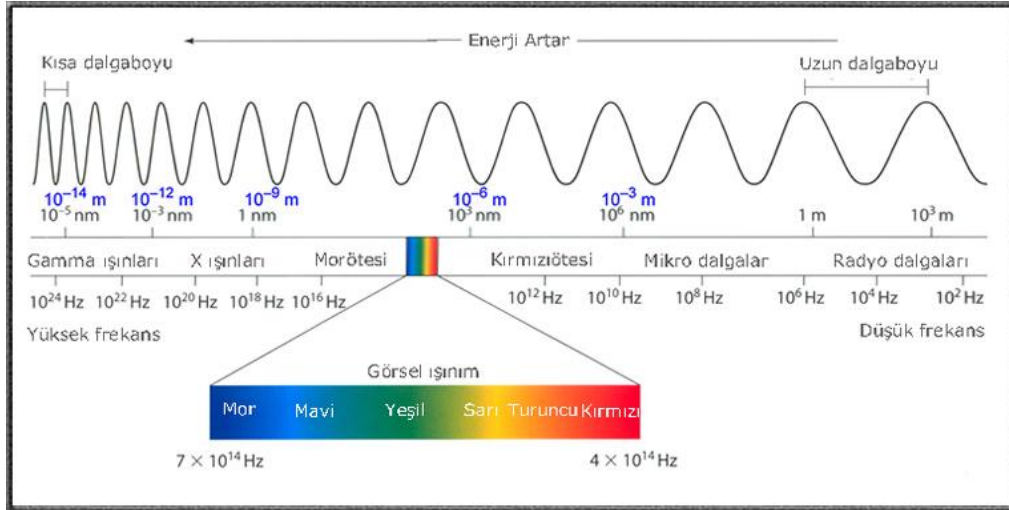
2.4.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaşabilen atom ve moleküllerden elektron koparmak için yeterli enerjiye sahip olmayan elektromanyetik radyasyonlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon adı altında toplanır. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, görünür ışık, kızılötesi ışınlar ve ultraviyole ışınlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun başlıca örnekleridir [17].



Şekil 2.4: İyonlaştırmayan radyasyon [17].

Dalga özelliği gösteren radyo dalgaları, kızılötesi ışınlar, mikro dalgalar ve ultraviyole ışınları madde ile etkileştiklerinde iyonizasyona neden olmazlar. Şekil 2.5'dan da anlaşılacağı üzere kısa dalga boylu ve yüksek frekanslı ışınlarda enerji değeri yüksek olduğundan iyonlaştırma ihtimalleri daha fazla iken düşük frekans ve uzun dalga boylu ışınların enerjileri düşük olacağından atom ve moleküllü iyonlaştırıcı etkiye sahip olmamaları olağandır.



Şekil 2.5: Işınların dalga boyları [21].

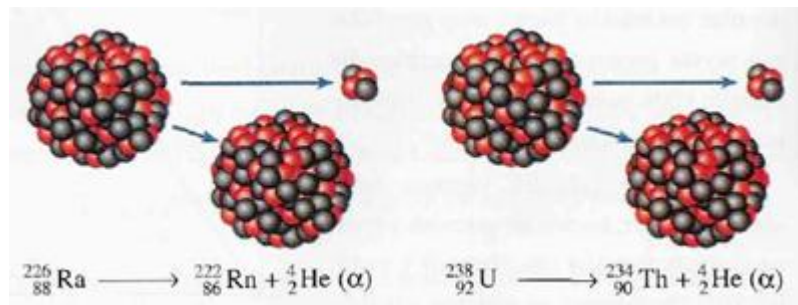
2.5. RADYOAKTİF BOZUNMA VE BOZUNMA TÜRLERİ

2.5.1. Radyoaktif Bozunma

Kararsız atomların kararlı hale geçmek için parçacık ya da ışın yayınlamaya fazla enerjisini dışarıya vermesi olayına radyoaktif bozunma denir. Radyoaktif bozunma temelde bir çekirdekteki nötron sayısının proton sayısına oranına bağlıdır. Atom numarası 20'ye kadar olan, radyoaktif bozunmaya karşı kararlı bir tavır sergileyen çekirdeklerin genel olarak proton ve nötron sayıları birbirine yakındır. Atom numarası yani proton sayısı 20'den yukarı doğru çıktıkça protonların birbirlerine uyguladıkları itme kuvveti artacaktır ve yalıtımı sağlamak adına nötron sayısının daha fazla olması gerekecektir. Bu sebeple atom numarası arttıkça, kararlı bir çekirdek için gerekli olan nötron – proton oranı 1,5 civarında olacaktır. Kararsız çekirdekler bu nötron – proton oranına erişmek yani kararlı hale geçmek için proton veya nötron yayınlamalar. Bunun dışında proton nötrona veya nötron protona dönüşebilir [17].

2.5.2. Alfa Bozunması

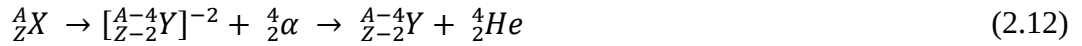
Kararsız yapıdaki çekirdeğin proton sayısını 2, nötron sayısını 2 azaltarak kararlı yapıya geçmeye çalışmasında gözlenir. Bu durumda atom numarası 2 ve kütle numarası 4 azalmış olur. Çekirdek, helyum çekirdeği özel adıyla ise alfa parçacığı saçarak fazla enerjisinden kurtulur. Yunan alfabesinde yer alan α ile gösterilir. Genellikle atom numarası 82'den büyük olan radyoizotoplardan yayınlanır.



Şekil 2.6: Alfa bozunması örneği [22].

Alfa bozunması yapan radyoaktif X çekirdeği Y bozunma ürününü oluşturur. Nötr X atomu alfa bozunumu yaparak 2 proton ve 2 nötron yayınlamaya ama elektronlar atom yörüngesinde kalır. Dolayısıyla bozunma ürünü olan Y atomu proton sayısından 2 fazla elektron sayısına sahip olduğu için nötr değildir ve -2 değerliklidir. Kısa bir süre

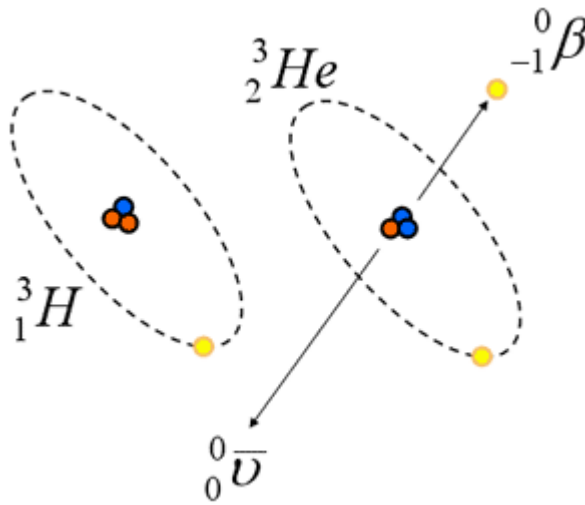
sonra bu elektronlar yörüngeden kopar ve bozunma ürünü olan Y’de elektriksel olarak nötr hale gelir. Alfa parçacığı da kinetik enerjisini kaybederek yavaşlar ve 2 elektron toplayarak nötr helyum atomuna dönüşür. Bu süreci anlatan alfa bozunma işlemi denklem (2.12)’deki gibi gösterilir. Momentum korunumu kurallarına göre bozunum sonucunda ortaya çıkan enerjinin büyük kısmı alfa parçacığı alır. Alfa bozunumu 190’dan fazla nükleona sahip olan çekirdeklerde daha sık görülür [19].



2.5.3. Beta Bozunması

2.5.3.1. Negatron Bozunması

Kararsızlık durumu nötron fazlalığından ileri geliyorsa, nötronlardan biri protona dönüşme eğilimi gösterir ve negatif beta parçacığı ile antinötrino parçacığı yayınlanır. Negatif beta parçacığı elektronun aynısıdır. Çekirdekten yayınlanması sebebiyle kinetik enerjisi dolayısıyla hızı çok fazladır. Yüksek hızlı bu elektrona aynı zamanda negatif beta parçacığı anlamına gelen negatron adı da verilir. Negatron bozunması yapan çekirdeğin kütle numarası aynı kaldığından bu bozunmaya izobarik bozunma denilir [19].



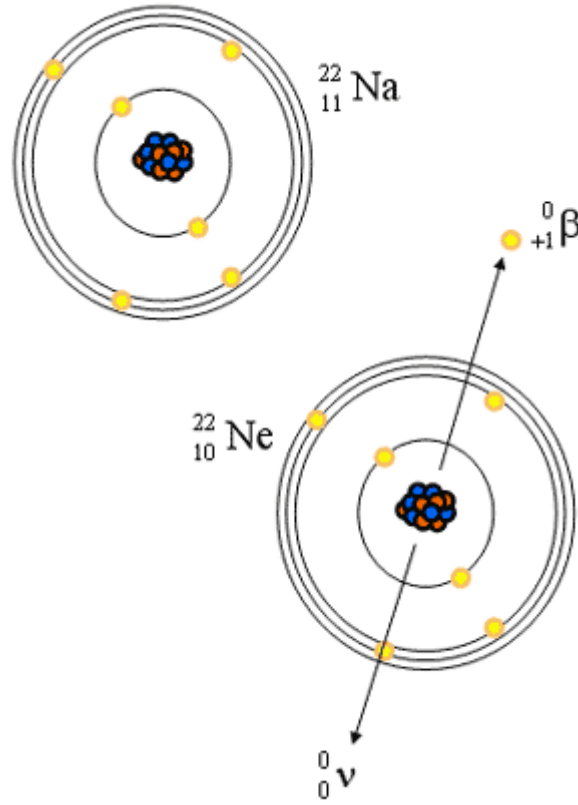
Şekil 2.7: Negatron bozunması örneği [23].

$$n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu} \quad (2.13)$$

$${}^A_Z X_N \rightarrow {}^A_{Z+1} Y_{N-1} + \beta^- + \bar{\nu} \quad (2.14)$$

2.5.3.2. Pozitron Bozunumu

Kararsızlık durumu proton fazlalığından dolayı oluşuyorsa, çekirdek içerisindeki protonlardan biri nötrona dönüşme eğilimi göstererek kararlı duruma geçmeye çalışır. Nötron çekirdekte kalırken pozitron ve küçük nötron anlamına gelen nötrino çekirdekten yayınlanır. Negatron bozunumuna benzer şekilde çekirdeğin toplam kütle numarası değişmediği için izobarik bozunma olarak adlandırılır [19].



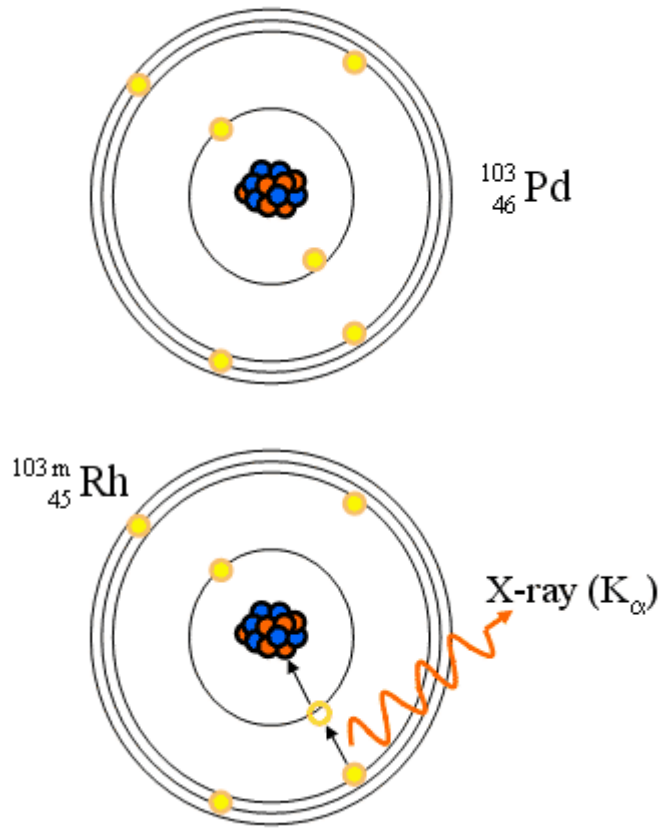
Şekil 2.8: Pozitron bozunması örneği [23].

$$p \rightarrow n + \beta^+ + \nu \quad (2.15)$$

$${}^A_Z X_N \rightarrow {}^A_{Z-1} Y_{N+1} + \beta^+ + \nu \quad (2.16)$$

2.5.3.3. Elektron Yakalanması

Kararsızlık durumu proton fazlalığından kaynaklanıyorsa, çekirdeğe en yakın yörüngelerdeki (K, L yörüngeleri) elektronlardan biri çekirdek içine çekilir ve proton ile birleşerek nötrona dönüşür. Çekirdeğin içindeki proton – nötron dengesi bu şekilde sağlanır. Elektron yakalama olayını takiben üst yörüngelerdeki elektronlardan biri alt yörüngedeki elektron boşluğunu doldurur ve bunun sonucunda X - ışını yayınlanması gerçekleşir [19].



Şekil 2.9: Elektron yakalanması örneği [23].

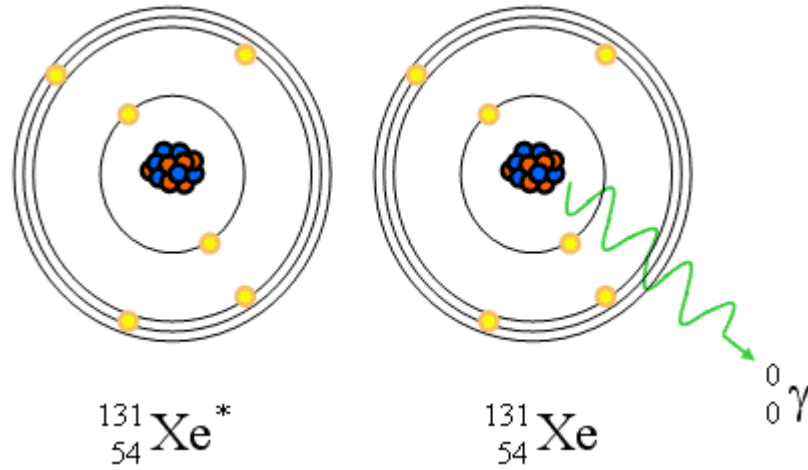
$$p + e^{-} \rightarrow n + \nu \quad (2.17)$$

$${}^A_Z X_N + e^{-} \rightarrow {}^A_{Z-1} Y_{N+1} + \nu \quad (2.18)$$

2.5.4. Gama Bozunması

Kararsız olan çekirdek kararlı hale geçmek için yaptığı bozunmadan hemen sonra tam kararlı değildir. Uyarılmış durum olarak adlandırdığımız yarı kararlı durumdadır. Yarı

kararlı durumdaki çekirdek, proton ve nötron sayısında bir değişiklik olmadan fazla enerjisini elektromanyetik özellik gösteren gama ışını yayınlayarak dışarı atar. Kütle ve atom numarası değişmediği için çekirdeğin uyarılmış seviyeden temel enerji seviyesine ulaştığı bu geçiş izomerik geçiş adı verilir. Genel olarak uyarılmış seviyedeki bir atom 10^{-9} saniye yarı ömre sahip 0,1 ile 3 MeV enerji aralığındaki gama ışınını yayınlayarak temel enerji seviyesine ulaşır [19].



Şekil 2.10: Gama bozunması örneği [23].



2.6. RADYASYON DOZU

Radyasyon dozu, malzeme veya dokular tarafından emilmiş toplam iyonlaştırıcı radyasyon miktarıdır [4]. Belirli bir zaman içerisinde kullanılan veya tüketilen madde miktarına doz olarak nitelendirildiğine göre hedef bir kütlenin belli bir sürede soğurduğu radyasyon miktarına da radyasyon dozu denilebilir. Radyasyonun çeşidine, soğurulma hızına ve soğurulma miktarına bağlı olarak yarattığı zararlı etkiler değişkendir. Tüm bu değerler bilindiğinde radyasyonun yaratacağı etki önceden belirlenebilir ve gerek tanı ve tedavide gerekse de öncesinde alınacak önlemlerde etkili yol izlenilebilir [24].

2.7. RADYASYON BİRİMLERİ

2.7.1. Röntgen

İyonlaştırıcı ışınların bir kilogram havada ürettikleri elektriksel yük miktarıdır. Röntgen birimi sadece hava için kullanılmaktadır. Röntgen kısaca R harfi ile gösterilmektedir. Havadaki doz hızını ölçen aletlerde genel olarak birim saat başına mili Röntgen (mR) veya mikro Röntgen (μ R) değerleri kullanılmaktadır. Röntgen'e kısaca iyon dozu birimi de diyebiliriz [25].

$t = 0^{\circ}\text{C}$ ve $p = 1013 \text{ hPa}$ değerleri için bir röntgenin sayısal değeri denklem (2.20)'de verilmiştir.

$$1 R = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Coulomb}}{1 \text{ kg hava}} \quad (2.20)$$

2.7.2. Gray

Soğurma dozu veya enerji dozu birimi olarak adlandırılabilir. Bir kilogram maddenin 1 joule enerji soğurumuna 1 Gray denir ve kısaca Gy ile gösterilir. Soğurma dozu olarak kullanılan eski birim rad'dır ve radiation absorbed dose (radyasyon soğurma dozu) anlamına gelmektedir. $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gray}$ 'e karşılık gelir [25].

2.7.3. Sievert

Eşdeğer doz birimidir. İyonlayıcı ışınların biyolojik etkinliğinin ölçüsünü ifade eder. Vücutta aynı enerji dozunu oluşturan alfa, beta ve gama gibi iyonlayıcı ışınlar vücuttaki doku ve hücrelerde farklı bozunmalara ve bunun sonucunda farklı hasarlara yol açıyorlar. Örneğin, kütleleri büyük olan alfalar vücudun içerisine girdikten sonra enerjilerinin büyük bir çoğunluğunu hücrelere aktarıyor. İyonizasyon yoğunluğu çok büyük olduğundan dolayı hücrelerde çok daha fazla bozunmaya ve hasara yol açıyor. Bu yüzden de sık iyonlayıcılar veya yoğun iyonlayıcılar olarak isimlendiriliyor. Betalar ise betanın kütlesinin çok daha küçük olmasında dolayı daha derinlerdeki hücrelere kadar ilerleyebiliyor. Dolayısıyla da enerji soğurumu yolları boyunca birçok hücrede oluyor. Hücre başına düşen enerji soğurumu azalıyor bu nedenle betalara seyrek iyonlayıcılar deniliyor. Buradan anlayacağımız üzere alfaların biyolojik etkinliğinin betaların biyolojik etkinliğine oranla çok daha büyük olduğunu görüyoruz. Uluslararası Radyasyon Güvenlik Kurulu (ICRP) biyolojik etkinliklerini gözönüne alarak iyonlayıcı

ışınların cinsine göre kalite katsayıları belirlemiştir. Örneğin beta ve gamalar için kalite katsayısı 1 iken, alfalar için bu değer 20'dir. Yüksek enerjili proton ve nötronlar için ise bu değer sahip oldukları enerjilere göre 5 ile 20 arasında değişir. Dolayısıyla biyolojik etkinliği de hesaba hatan eşdeğer doz kavramı enerji dozunun kalite katsayısıyla çarpımıdır diyebiliriz. Kalite katsayısı birimsiz olmasına rağmen enerji dozu ile eşdeğer dozu ayırmak için Gray yerine Sievert birimi seçilmiştir. Eşdeğer dozun eski birimi rem'dir. Aralarında 1 Sievert = 100 rem eşitliği bulunmaktadır [25].

$$\text{Eşdeğer Doz (Sv)} = \text{Enerji Dozu (Gy)} \times \text{Kalite Katsayısı} \quad (2.21)$$

Vücudun çeşitli organ ve dokularının radyasyona olan duyarlılığı farklı olduğundan bunları karşılaştırmak için ise etkin doz kavramını kullanırız. Eşdeğer dozu organ ya da dokuların radyasyona olan duyarlılığını belirten ağırlık katsayı ile çarparsak o organa etkileyen etkin dozu buluruz. Etkin dozun birimi de eşdeğer dozun olduğu gibi Sievert'tir. Uluslararası Radyasyon Güvenlik Kurulu'nun (ICRP-90) raporuna göre belirlenen bazı organların doz ağırlık katsayıları aşağıda verilmiştir [25].

Tablo 2.1: Organların doz ağırlık katsayıları [25].

ORGAN	Doz Ağırlık Katsayısı	ORGAN	Doz Ağırlık Katsayısı
Üreme Organları	0,20	Göğüs	0,12
Kemik İliği	0,12	Akciğer	0,12
Kemik Yüzeyi	0,01	Tiroit Bezi	0,05
Diğer	0,3		

2.7.4. Becquerel

Radyoaktivitenin SI ölçü sistemindeki birimidir. Radyoaktiviteyi keşfeden Henry Becquerel isim babasıdır. Saniyede bir parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesini ifade etmektedir. Aktivitenin eski birimi olan Curie ise saniyede 3.7×10^{10} parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir [1,17].

2.8. RADYASYON KAYNAKLARI

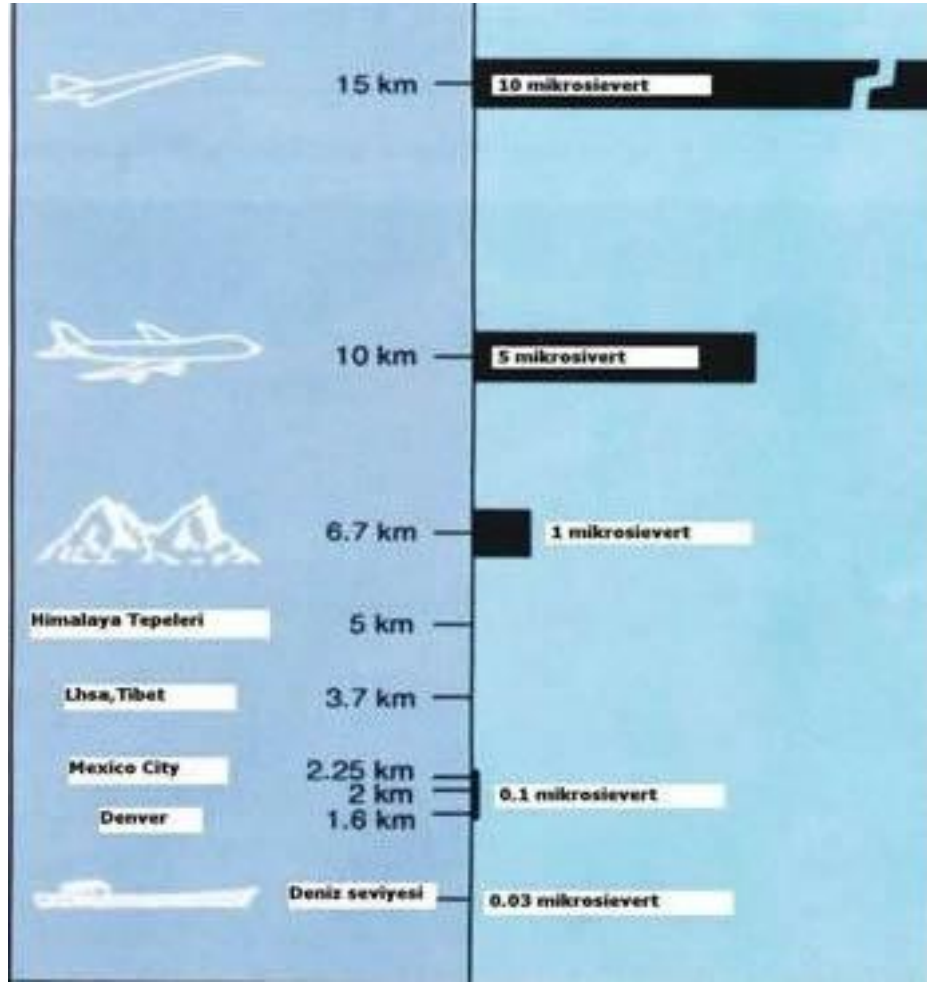
Radyasyon, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar ile enerji yayımlanmasıdır. Bir atom çekirdeğindeki nötronların sayısı, proton sayısına göre oldukça fazla olduğunda çekirdek kararsız bir durum sergiler ve alfa, beta parçacığı veya gama ışını yayımlamak suretiyle kararlı yapıya geçmeye çalışır. Çevresine bu şekilde parçacık veya ışın saçarak kararlı yapıya ulaşmaya çalışan maddelere radyoaktif madde denir [17].

2.8.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Çevremizde bulunan ve farkında olmadan maruz kaldığımız radyasyonun büyük bir kısmını doğal radyoaktif maddeler oluşturmaktadır. Mineralli kumun veya granitin olduğu bölgelerde yaşayanlar karasal radyasyona maruz kalırken, yüksek seviyelerde bulunanlar daha çok kozmik radyasyona maruz kalırlar. Doğal radyasyonun çoğunluğu radon gazından ileri gelmektedir. Doğal radyasyonu kozmik radyasyon, karasal radyasyon ve dahili radyasyon olmak üzere üç ana başlık altında inceleyebiliriz.

2.8.1.1. Kozmik Radyasyon

Yıldızların oluşumunu ve ömrünü tamamlamaması sonucu uzaydan sürekli olarak Dünya'ya doğru gelen, birçoğu atmosfer tarafından tutulan ve bir kısmı yeryüzüne kadar ulaşan çeşitli atomaltı parçacıklarına kozmik radyasyon denir. En büyük yayıcısı yıldızlardır. Bir dağın tepesinde yaşayan veya havada yol alan bir araçta yer alan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Bu yüzden bir pilot uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla radyasyona maruz kalır. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun Dünya ortalaması 0.39 mSv / yıl'dır [1].



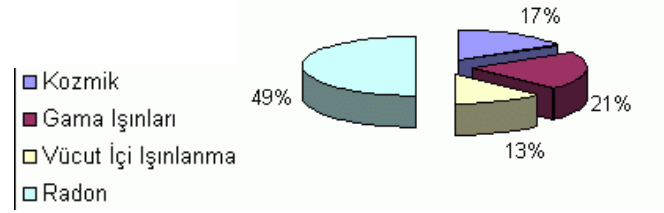
Şekil 2.11: Kozmik ışınlardan alınan radyasyon [1].

2.8.1.2. Karasal Radyasyon

Karasal radyasyon Dünya'nın kendisinden gelen ve yerkabuğunda Dünya'nın ilk oluşumundan beri var olan bozunmalar ve kozmojenik radyonüklitlerle oluşurlar. Örneğin yer altında bulunan uranyum ve toryum elementleri milyonlarca yıldır bozunuyor ve bu bozunmalar sonucunda radyasyon yayarak kararlı ve radyasyon yaymayan kurşuna dönüşüyorlar. Uranyumun bozunma zincirinin üyelerinden birisi olan radon gazı atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Granit gibi volkanik kayalarda, tortularda ve fosfat kayalarda da radyoaktivite bulunabilmektedir. Günlük hayatta sürekli içinde bulunduğumuz yapı malzemeleri de taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda da olsa radyoaktivite içerebilirler. Yaşanılan bölgenin jeolojik özellikleri dışında binada kullanılan yapı malzemeleri ile alınan radyasyon dozu da çok önem teşkil etmektedir. Betonarme binalardaki radyasyon dozu, ahşap yapılara oranla daha fazladır [1].

2.8.1.3. Dahili Radyasyon

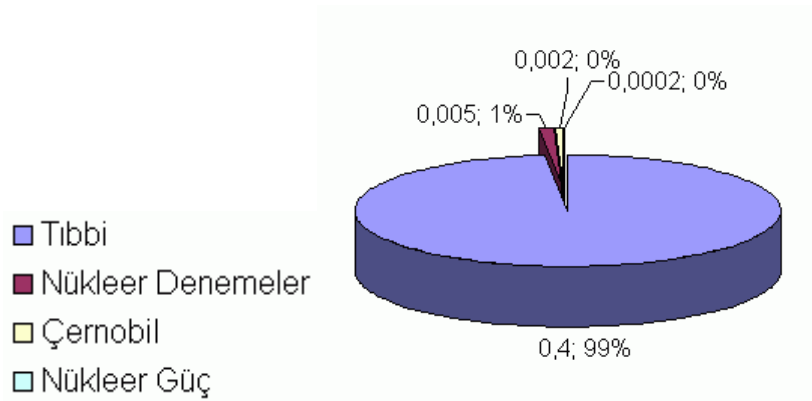
Yıllık ortalama doz miktarı 0,4 mSv/yıl ile karasal ve kozmik radyasyondan daha az etkisi olan radyasyon türüdür. Tüm insanlarda doğuştan var olan ^{14}C , ^{210}Pb , ^{40}K gibi radyoaktif maddelerin oluşturduğu radyasyondur. Ayrıca solunum yoluyla vücuda farkında olunmadan alınan toz parçacıkları solunum yoluyla alınan dozun; yiyecekler ve içecekler ile vücudumuza aldığımız birçok radyoaktif kaynak içerikli besinler ise sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluştururlar. Solunum veya sindirim yolu ile farkında olmadan vücuda alınan radyoaktif maddelerin yine büyük bir çoğunluğunu radon gazı oluşturur. Havada gaz halinde bulunan radon; suyun içinde çözülmüş halde bulunabilir. Bu sebeple kapalı ortamlardaki radon gazı konsantrasyonun yanı sıra sudaki çözülmüş radon gazının konsantrasyon değeri de oldukça önemlidir [1].



Şekil 2.12: Doğal radyasyon kaynakları [1].

2.8.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Tıbbi uygulamalar, nükleer denemeler, nükleer kazalar ve nükleer güç yapay radyasyon kaynaklarını oluşturan temel bileşenlerdir.



Şekil 2.13: Yapay radyasyon kaynakları [1].

Tıbbi uygulamalar; tıbbi alandaki radyasyon uygulamalarıdır. Radyasyon, görüntü elde etmek ve tümörlü hücreleri yok etmek için kullanılır. Genellikle hastalıkların teşhisi amacıyla kullanılan X – ışınları, hastadan geçirilerek hastalıklı bölgenin görüntüsü alınır. Vücutta belirli bir organ veya dokunun durumunu öğrenmek için ise insana radyoaktif madde verilir ve o radyoaktif maddenin incelenecek olan organda toplanması ve buradan gama ışınları yayınlanması sonucu hastalıkla ilgili bilgiler elde edilir. Ayrıca kanser hastalarının neredeyse yarısının tedavisinde yüksek enerjili elektron hızlandırıcıları ve Co-60 kaynaklı cihazlar ile uygulanan radyoterapi etkin olarak kullanılır [1].

X ve gama ışınlarından yararlanılarak endüstriyel ürünlerde hata olup olmadığını kontrol etmeye yarayan radyografi işlemi başta olmak üzere birçok sanayi ürününün üretiminde radyasyondan yararlanılır. Bu tip endüstriyel uygulamaların yanı sıra atmosferde gerçekleştirilen nükleer bomba denemeleri sonucunda da radyoaktif serpintiler ve radyoaktif çevre kirliliği oluşur [1].

Ukrayna'nın Kiev iline bağlı Çernobil kentinde 26 Nisan 1986 günü erken saatlerde Nükleer Güç Reaktörünün 4. Ünitesinde nükleer kaza meydana geldi ve bunun sonucunda atmosfere çok büyük miktarlarda fisyon ürünleri salındı. Bu kaza 30 Nisan 1986 tarihinde tüm dünya tarafında öğrenildi [17].

Fisyon ve füzyon gibi nükleer tepkimeler sonucunda ortaya çıkan büyük miktardaki enerjiye nükleer enerji denir. Nükleer güç santrallerinde şimdiye kadar sadece fisyon reaksiyonu sonucu elde edilen enerjinin elektriğe çevrilmesi üzerine çalışılmıştır. Füzyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkan sıcaklık milyon derece santigrad mertebesinde dir. Bu sıcaklığı kontrol edecek bir füzyon reaktörü henüz kurulamamıştır. Ayrıca televizyon, duman dedektörleri, fosforlu saatler, paratonerler ve lüks lambası fitilleri gibi tüketici ürünleri de radyoaktif maddeler içerir. Yakıt olarak kullanılan kömür ve gübre amacıyla kullanılan fosfat kayaları da uranyum, radyum, potasyum ve toryum içerirler. Dolayısıyla çevreye radyasyon yayarlar [1].

2.9. RADYOAKTİF SERİLER

Kararsız yapıdaki radyoaktif elementlerin bir kısmı doğrudan kararlı yapıya geçmezler. Kararlı hale gelinceye kadar bozunma ürünleri de radyoaktif element olan bir bozunma zinciri oluştururlar.

Bozunma zincirinin ilk elementi ana çekirdek, bir alt ürünü kız çekirdek ve alt ürününün alt ürünü torun çekirdek olarak isimlendirilir. Ürünleri de radyoaktif olan radyoaktif elementlerin kararlı hale gelinceye kadar oluşturduğu bu radyoaktif element grubuna radyoaktif seriler denir.

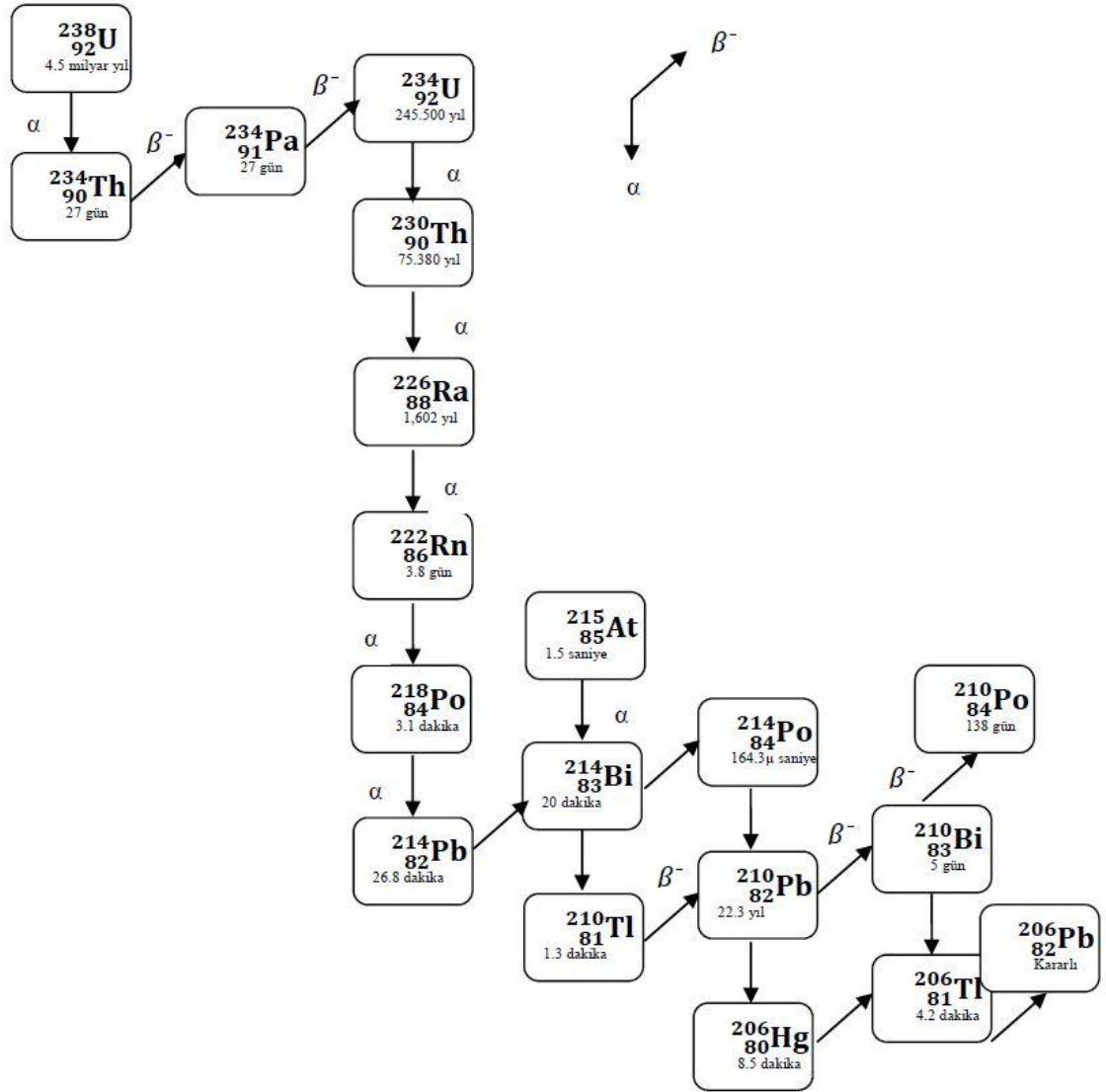
Üç tanesi doğal ve bir tanesi yapay olmak üzere toplam dört adet radyoaktif seri mevcuttur. Atom numarası 81 ile 92 arasında olan radyoaktif izotoplar kütle numaralarına bağlı olarak bu dört radyoaktif seriden birine dahildirler [26].

2.9.1. Doğal Seriler

Doğal radyoaktif izotopların birçoğu ağır elementlerden oluşmaktadır ve bu ağır elementler toryum, uranyum ve aktinyum serilerinde toplanmaktadır. Seriye ismini veren elementler; seride bulunan radyoaktif izotoplardan en uzun yarı ömre sahip olanıdır. n bir tam sayı olmak üzere; toryum serisi $4n$, uranyum serisi $4n+2$ ve aktinyum serisi $4n+3$ olarak tanımlanır. Bu denklemler serideki radyoaktif çekirdeklerin kütle numaralarını verir [27].

2.9.1.1. Uranyum Serisi

^{238}U 'in $4n+2$ zinciri uranyum serisi olarak ve bazı yerlerde de radyum serisi olarak adlandırılır. Toprakta bulunan Uranyum-238 elementi ile başlamaktadır ve Astatin, Bizmut, Kurşun, Polonyum, Protaktinyum, Radyum, Radon, Talyum ve Toryum elementlerini içermektedir. ^{206}Pb ile son bulan bu seri Uranyum içeren tüm örneklerde bulunmaktadır [28].



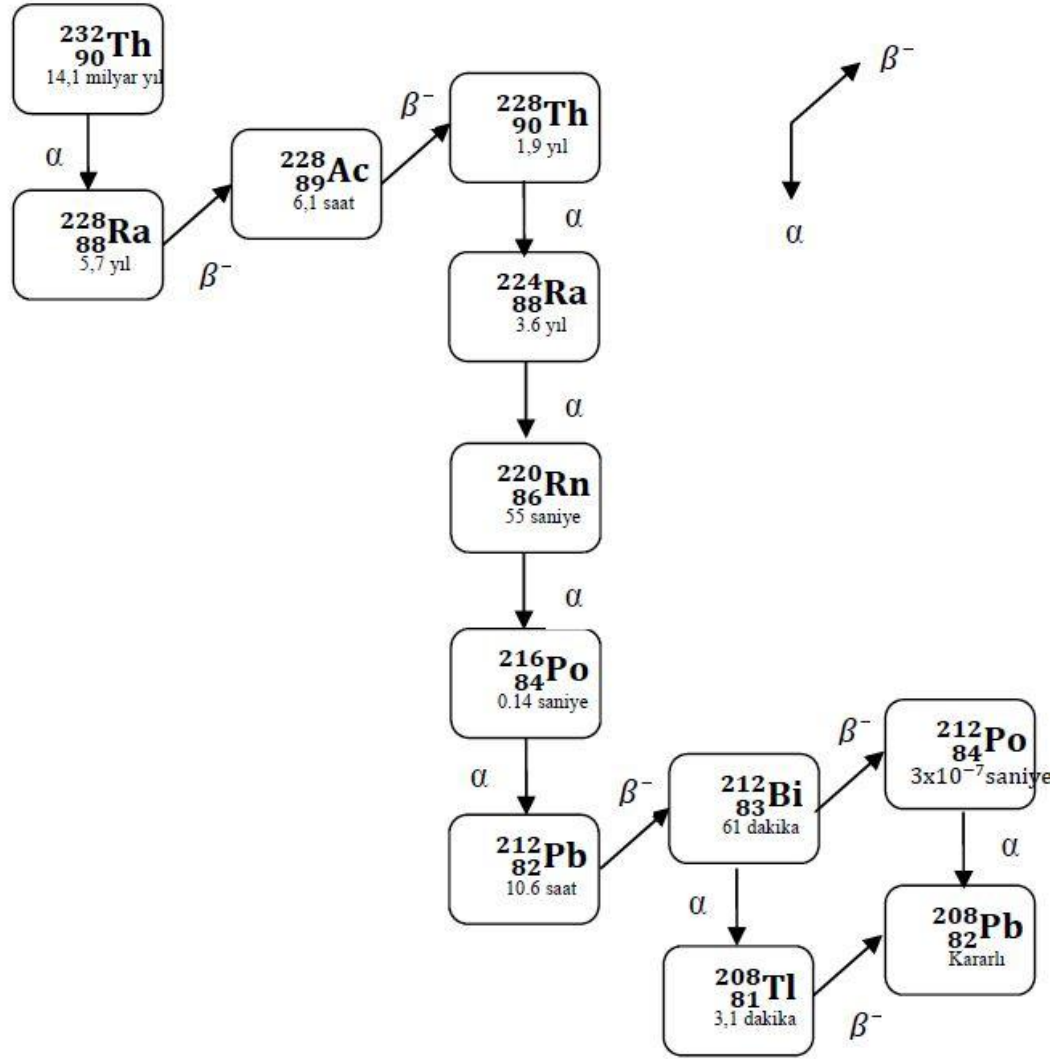
Şekil 2.14: Uranyum (Radyum) serisi [28].

Tablo 2.2: Doğal Uranyum serisinin yayınladığı radyasyonların enerjileri [29].

Element	Alfa (MeV)	Beta (MeV)	Gama (MeV)
²³⁸ U	4.2	-	0.048
²³⁴ Th	-	0.19	0.09
²³⁴ Pa	-	2.29	1.0
²³⁴ U	4.8	-	0.05
²³⁰ Th	4.8	-	0.068
²²⁶ Ra	4.8	-	0.186
²²² Rn	5.49	-	0.5
²¹⁸ Po	6	-	-
²¹⁴ Pb	-	0.65	0.24
²¹⁴ Bi	5.5	1.5	0.61
²¹⁴ Po	7.7	-	0.8
²¹⁰ Pb	-	0.016	0.046
²¹⁰ Bi	-	1.16	-
²¹⁰ Po	5.30	-	0.80
²⁰⁶ Pb	-	-	-

2.9.1.2. Toryum Serisi

Toryum serisi olarak adlandırılan ^{232}Th 'nin $4n$ zinciri doğada bulunan ^{232}Th elementi ile başlamaktadır. Toryum serisinin ürünleri olarak Aktinyum, Bizmut, Kurşun, Polonyum, Radyum ve Radon elementleri sayılabilir. ^{232}Th içeren tüm örneklerde bu elementler de bulunacaktır [28].



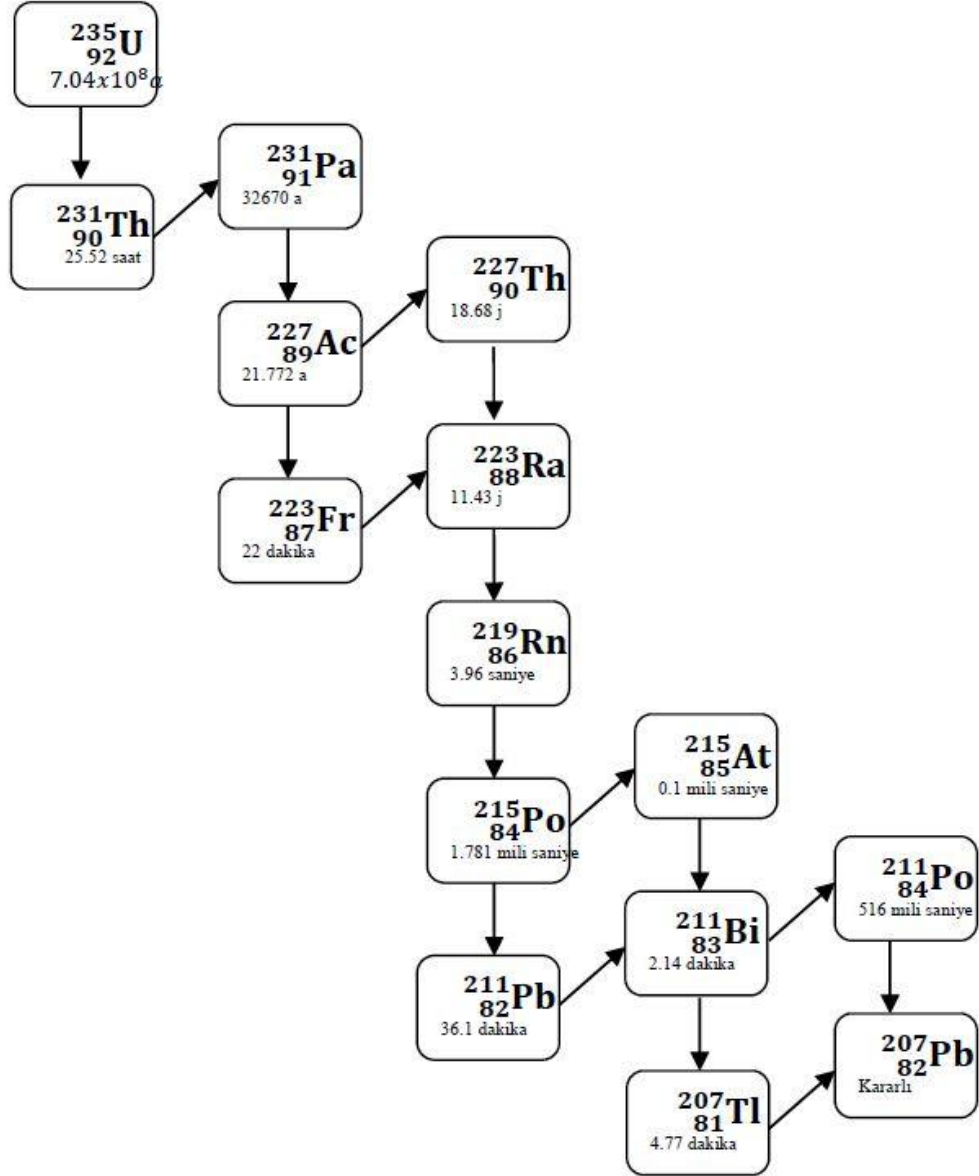
Şekil 2.15: Toryum serisi [28].

Tablo 2.3: Doğal Toryum serisinin yayınladığı radyasyonların enerjileri [29].

Element	Alfa (MeV)	Beta (MeV)	Gama (MeV)
^{232}Th	4	-	0.06
^{228}Ra	-	0.054	-
^{228}Ac	-	1.11	0.09
^{228}Th	5.43	-	0.08
^{224}Ra	5.68	-	0.24
^{220}Rn	6.29	-	-
^{216}Po	6.78	-	-
^{212}Pb	-	0.36	0.238
^{212}Bi	6.05	2.2	0.04
^{212}Po	8.78	-	-
^{208}Tl	-	1.79	2.62
^{208}Pb	-	-	-

2.9.1.3. Aktinyum Serisi

Aktinyum, Astatin, Bizmut, Fransiyum, Kurşun, Polonyum, Protaktinyum, Radyum, Talyum ve Toryum elementlerini içeren ve ^{235}U izotopu ile başlayan $4n+3$ zincirine Aktinyum Serisi denir. ^{235}U içeren tüm örneklerde bu elementlerin tümü bulunmaktadır ve seri ^{207}Pb elementi ile sonlanır [28].



Şekil 2.16: Aktinyum serisi [28].

Tablo 2.4: Doğal Aktinyum serisinin yayınladığı radyasyonların enerjileri [29].

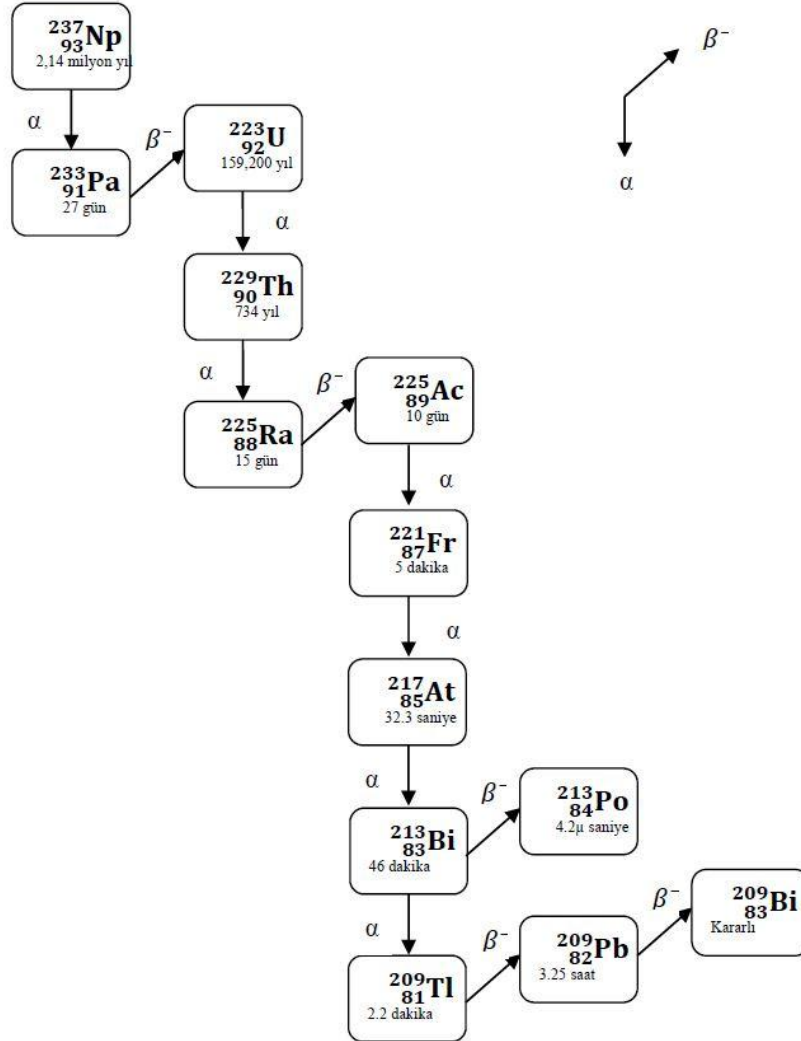
Element	Alfa (MeV)	Beta (MeV)	Gama (MeV)
²³⁵ U	4.38	-	0.185
²³¹ Th	-	0.30	0.25
²³¹ Pa	5.06	-	birçok
²²⁷ Ac	4.95	0.046	birçok
²²⁷ Th	6.04	-	birçok
²²³ Ra	5.86	-	birçok
²¹⁹ Rn	6.82	-	0.27
²¹⁵ Po	7.38	-	-
²¹¹ Pb	-	1.36	0.83
²¹¹ Bi	6.62	0.59	0.35
²⁰⁷ Tl	-	1.44	2.90
²⁰⁷ Pb	-	-	-

2.9.2. Yapay Seriler

Yapay yolla elde edilen radyoaktif bir kaynak olan Neptünyum ve bunun bozunma ürünlerinin oluşturduğu bir radyoaktif seridir. 239 kütle numaralı Neptünyum izotopu ilk olarak 1940 yılında Edwin M. McMillan ve P. H. Abelson tarafından Berkeley Laboratuvarı'nda Uranyumun siklotrondan üretilen nötronlar ile bombardıman edilmesi sonucu elde edilmiştir [30].

2.9.2.1. Neptünyum Serisi

Neptünyum izotoplarının en çok bilineni ^{237}Np 'nin $4n+1$ zinciri Neptünyum Serisi olarak isimlendirilir. Bizmut ve Talyum dışında bu serinin içinde doğada bulunan element yoktur [28].



Şekil 2.17: Neptünyum serisi [28].

2.10. RADON

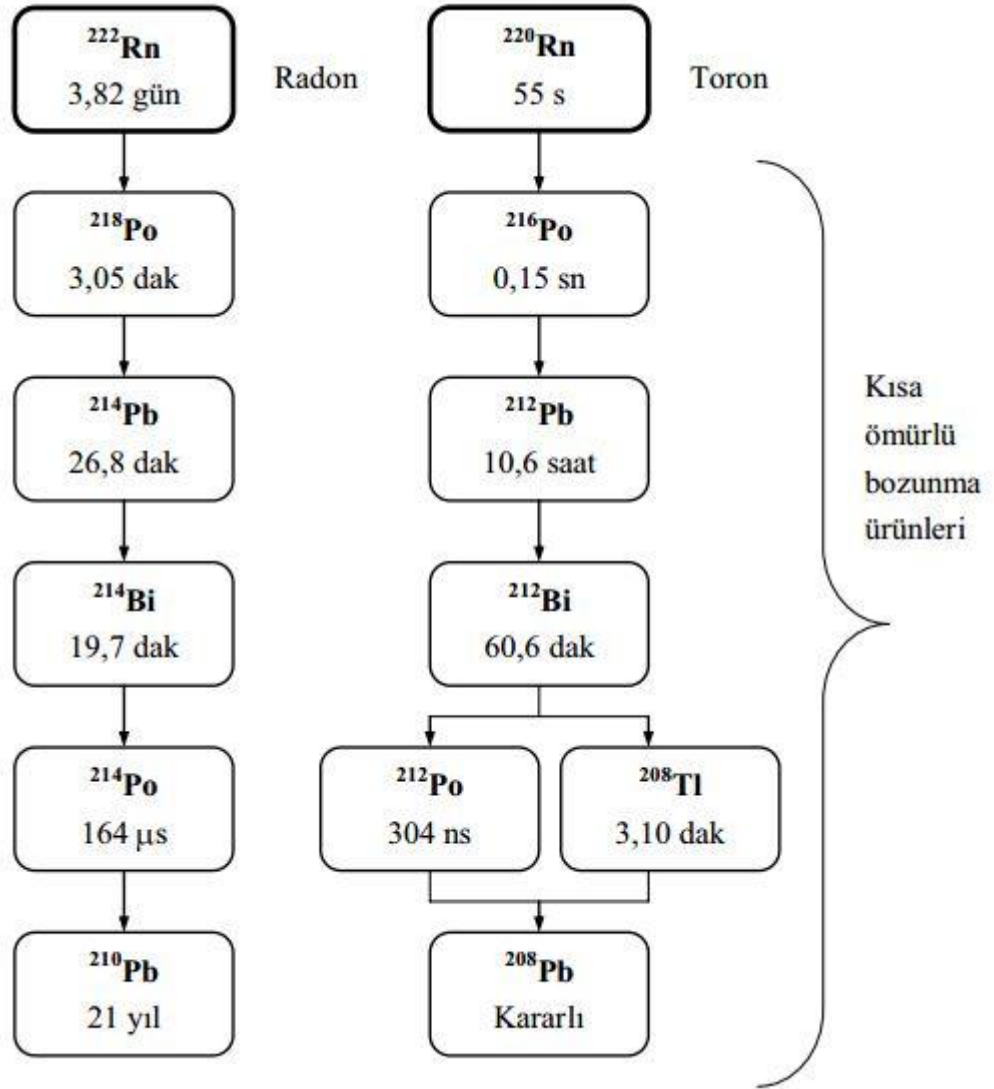
Radon, atom numarası 86, atom ağırlığı 222 olan ve Rn simgesi ile gösterilen periyodik cetvelin 8A grubunda yer alan, normal sıcaklık ve atmosfer basıncında gözle görülemeyen, renksiz, kokusuz ve tatsız bir radyoaktif gazdır. -62 °C'ta sıvılaşıp ve -71 °C'ta donan soygazlar grubunun en son üyesi ve en ağır olan radon, radyum tuzunun suyla işlenmesi sonucunda karışım durumunda bulunduğu hidrojen ve oksijenden, sıvılaştırılmış havadan geçerek ayrılır. Bilinen yirmiyi aşkın izotopun başlıcaları arasında toryumun emanasyonu olan toron (^{220}Rn), radyumun emanasyonu olan radon (^{222}Rn) ve aktinyumun emanasyonu olan aktinon (^{219}Rn) sayılabilir [17]. -71 °C'den daha fazla soğutulması durumunda yumuşak sarı bir renk açığa çıkararak parlar. Havadan yedi buçuk kez, hidrojenden ise 100 kez daha ağırdır. Diğer elementler ile kimyasal reaksiyona girmeyen, bilinen en ağır gazdır [31]. Uranyum-238 serisinin bozunma ürünü olan ve yer kabuğu üzerinde değişen konsantrasyonlarda bulunan radon, radyum-226'nın bozunması sonucu ortaya çıkar ve 3,8 gün yarı ömre sahiptir [32]. 1898 yılında ilk kez ünlü fizikçi Ernest Rutherford tarafından keşfedilmiş olmasına rağmen 1900 yılında Alman kimyacı Friedrich Ernst Dorn tarafından ilk kez bulunduğu kabul edilir. Dorn, radona parıldayan anlamına gelen niton adını vermiştir 1923 yılında ise radyumdan sonra keşfedildiği için radon adını almıştır [19].

Tablo 2.5: Radonun özellikleri [17].

Özellik	Açıklama
Atom numarası	86
Element serisi	Asal gazlar
Grup, periyot, blok	18, 6, p
Görünüş	Renksiz gaz

Özellik	Açıklama
Atom ağırlığı	222 g/mol
Elektron dizilimi	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶
Enerji seviyesi başına Elektronlar	2, 8, 18, 32, 18, 8
CAS kayıt numarası	10043-92-2
Maddenin hali	gaz
Yoğunluk	9.73 g/cm ³
Sıvı haldeki yoğunluğu	4.4 g/cm ³
Ergime noktası	202.0°K -71.15 °C
Kaynama noktası	211.3°K -61.85 °C
Ergime ısısı	3.247 kJ/mol
Buharlaşma ısısı	18.10 kJ/mol
Isı kapasitesi	20.786 J/(mol·K)
Kristal yapısı	Yüzey Merkezli Kübik Kafes
Yükseltgenme seviyeleri	6, 2, 0

Özellik	Açıklama
Elektronegatifliği	2.2 Pauling ölçeği
İyonlaşma enerjisi	1037 kJ/mol
Atom yarıçapı	pm
Kovalent yarıçapı	150 pm
Van der Waals yarıçapı	220 pm
Elektrik direnci	$\text{n}\Omega \cdot \text{m}$ (20°C'de)
Isıl iletkenlik	3.61 m W/(m·K)
Isıl genleşme	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (25°C'de)
Ses hızı	m/s ('de)



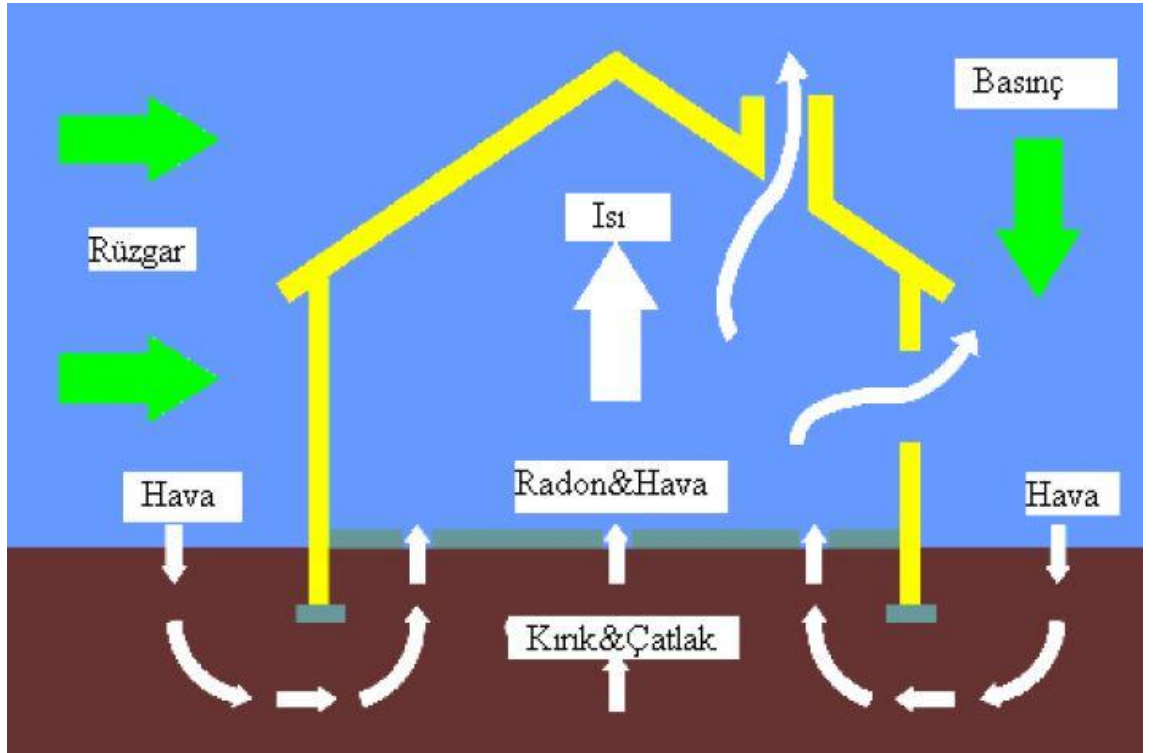
Şekil 2.18: ^{222}Rn ve ^{220}Rn 'nin bozunma zinciri [33].

2.11. RADON GAZININ KAYNAKLARI

Radonun ana kaynağı yer küredir ve dünya üzerinde yaklaşık 100 ton radon bulunduğu öne sürülmektedir. Yer altında biyosfer olarak isimlendirilen tabakada serbest halde bulunan radon gazı difüzyon ve çözünme yoluyla atmosfere taşınırken uranyum konsantrasyonuna bağlı olarak toprakta, sularda ve atmosferde değişik yoğunluklarda bulunabilir [19].

2.11.1. Bina İçi Radon Kaynakları

Binanın civarındaki ve altındaki toprak ve kayalar, binanın yapı malzemeleri, su kaynakları, doğalgaz ve dışarıdaki hava bina için potansiyel radon kaynağıdır. Radon, binanın içine duvar arası boşluklardan, zemindeki çatlaklardan, yapı bağlantı noktalarından, duvardaki çatlaklardan, evde kullanılan kuyu suyundan, asma kat boşluklarından, tesisat boru boşluklarından, pencereden ve radon gazının basınç farkından dolayı sızabileceği her noktadan girer [32].



Şekil 2.19: Radonun ev ortamına giriş yolları [34].

Tablo 2.6: Kabul edilen radon konsantrasyon limitleri (Bq/m³) [30].

Ülke	Bq/m ³	Ülke	Bq/m ³	Ülke	Bq/m ³
A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO	100

2.11.1.1. Toprak ve Kayalardan Gelen Radon

Binanın bulunduğu arazideki toprak ve kayaların sahip olduğu radon konsantrasyon değeri konuta giren radonun gerçek kaynağıdır. Uranyum konsantrasyonunun mevcut ve yüksek olduğu bütün kaya ve topraklardan radon gazı bulduğu çatlaklar vasıtasıyla atmosfere kaçma eğilimi gösterir. Tablo 2.7’de çeşitli toprak ve kayaların radyoaktiviteleri verilmiştir [24].

Tablo 2.7: toprak ve kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu [24].

Toprak ve Kaya Çeşidi	Uranyum Konsantrasyonu (ppm)
Tortul Kayalar	1.2
Kireç Taşı	1.3
Volkanik Kayalar	3.0
Fosfat Kayaları (Kuzey Afrika)	4.0
Granit	20 - 30
Fosfat Kayaları (Florida)	120

2.11.1.2. İnşaat Malzemelerinden Gelen Radon

Bina içlerinde radon konsantrasyon değerlerinin artmasının en büyük nedenlerinden biri de inşaat malzemelerinde doğal olarak bulunan ^{226}Ra elementidir. Tablo 2.8’de bazı inşaat malzemelerinin radyum konsantrasyonları ve radon çıkış hızları verilmektedir [24].

Tablo 2.8: İnşaat malzemeleri içinde ^{226}Ra konsantrasyon ve ^{222}Rn çıkış hızı değerleri [24].

İnşaat Malzemesi	^{226}Ra Konsantrasyonu (Bq/kg)	^{222}Rn Çıkış Hızı ($\mu\text{Bq/kg.sn}$)
Tahta	-	0.2
Beton	9-32	2.5-20
Tuğla	45	1.0
Alçı Taşı	12	6.3
Alçı Taşı (Fosfat)	580-740	0.13-0.20
Çimento	50	1.0
Kum	10	3.0

2.11.1.3. Doğal Gazdan Gelen Radon

Doğaz gaz üretim tesislerinde radon konsantrasyon değerleri 50 kBq/m^3 seviyelerine kadar çıkmaktadır. Dolayısıyla doğal gaz ev içinde ısıtma ve yemek pişirme amacıyla kullanıldığında bozunması sonucu ortama radon gazı yayar ve ev içindeki radon konsantrasyon değerini arttırmış olur [30].

2.11.1.4. Sulardan Gelen Radon

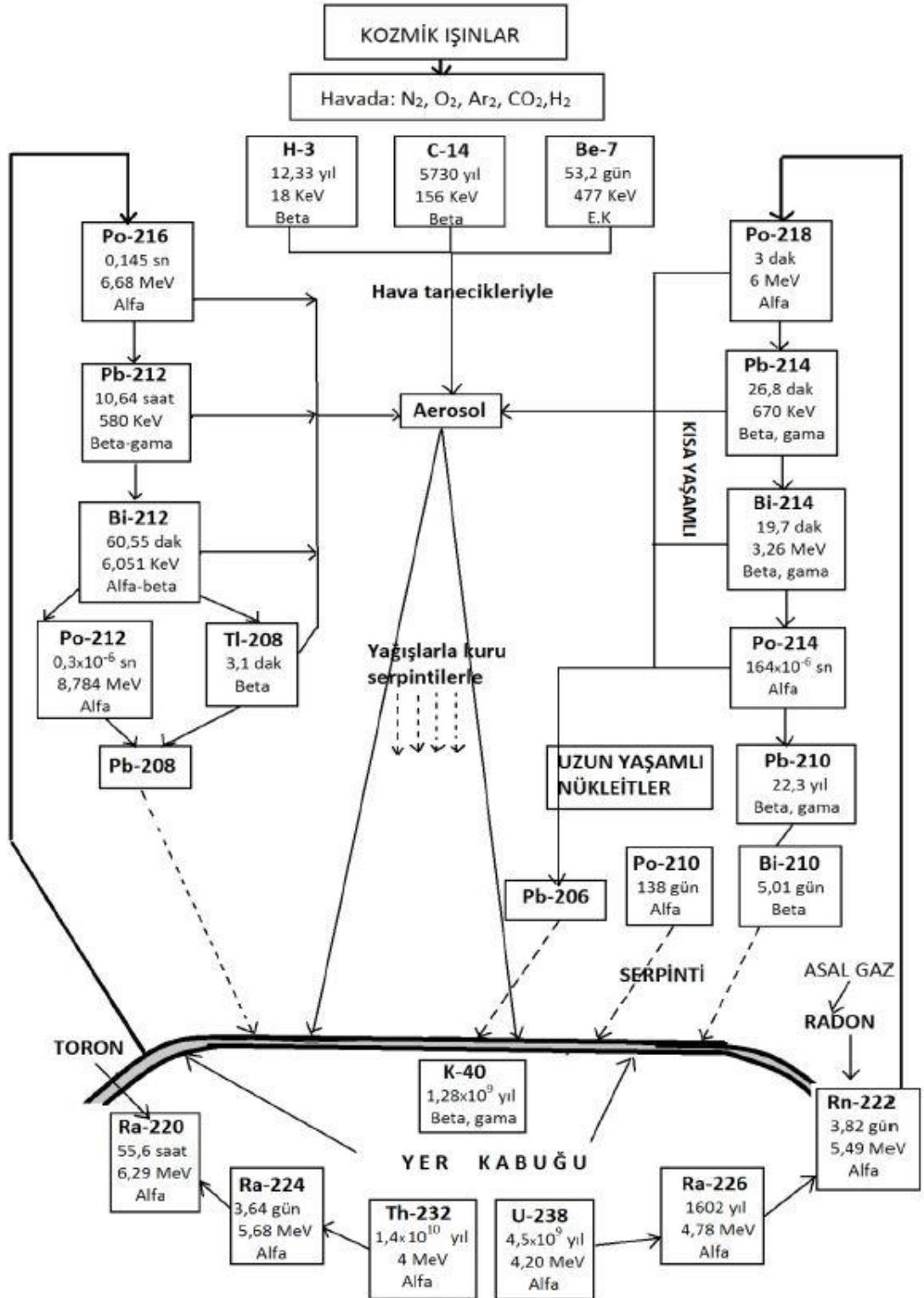
Evlerimizde kullanılan suyun içindeki radon konsantrasyonu sadece suyun kaynağından kaynaklanmaz aynı zamanda geçtiği yerlerdeki toprak ve kayalardan da radyum kazanabilir. Suyun sıcaklığının arttığı ve püskürtülüp, çalkalandığı uygulamalarda yüksek miktarda radon gazı ortama salınabilir. Bazı bölgesel evlerde kuyu suyu kullanılır ve yüzeysel su kullanan evlere kıyasla bu evlerde sudan kaynaklanan radon

konsantrasyon değeri daha yüksek olacaktır. Yüzeysel suların ev gibi kapalı ortamlardaki radon konsantrasyonuna katkısı % 0.2 iken, yer altı sularının katkısı % 20 seviyelerine ulaşmaktadır [24].

2.11.2. Havadaki Radon Konsantrasyonu

^{222}Rn ve ^{220}Rn (Toron) radyoizotoplarının bir kısmı topraktan moleküler difüzyon veya konveksiyon yoluyla sızıp, yükselerek atmosfere ulaşır. Bir kısmı ise toprağın altında yeraltı sularına karışır. Yağmur yağışı, kar yağışı, havanın soğuk olması ve atmosfer basıncı difüzyon oranını azaltıp radonun solunma oranını düşürürken, rüzgar hızının ve sıcaklığın artması difüzyon oranını ve radonun solunma oranını arttırır [35].

Ayrıca havada bulunan radon ve toron radyoizotopları yağışla birlikte havadaki taneciklere tutunarak yiyeceğimiz besinlerin üzerine iner ve besinleri vücudumuza almamız neticesinde doğrudan ışınlanmamıza neden olur [36].



Şekil 2.20: Doğal radyoaktif elementlerin bozunma ürünlerinin yeryüzüne çıkışı [36].

2.12. RADON VE SAĞLIK

Radonun bozunması sonucu Po, Bi ve Pb elementlerinin radyoizotopları oluşur. Bu radyoaktif bozunma ürünlerinin radondan farkı gaz halinde olmamalarıdır. Havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturur ve solunum yoluyla akciğere ulaşırlar.

Radonun reaktivitesi zayıf olduğundan teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Radonun bozunum ürünleri gaz olmadığından solunmaları durumunda dokulardaki çözünürlüğü radondan daha fazla olacaktır. Radon ve bozunum ürünlerinin solunması durumunda bronşal epiteldeki radyasyon dozu artacaktır ve bozunum ürünleri kararlı hale gelinceye kadar radyasyona maruz kalınacaktır. Solunum sistemindeki radyasyon dozu; solunmuş havadaki radon ve bozunum ürünlerinin konsantrasyonuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır. Radon bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa radyasyonu radonun yayınladığı alfa radyasyonuna kıyasla 100 kat fazla, aynı şekilde toron bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa radyasyonu toronun yayınladığı alfa radyasyonuna kıyasla 500 kat daha fazladır.

Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunum ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış kişilerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41000 akciğer kanseri vakasından en az 2500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5000'ini, sigara içenlerden ise 15000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin % 10'unu radona bağlamaktadır [37].

1979 yılında ilk defa Dünya Sağlık Örgütü radon gazının ev içinde yarattığı maruziyete ve olası sağlık etkilerine değinmiştir. IARC tarafından Radon gazı 1988 yılında kanserojen kabul edilmiş ve 1993 yılında Dünya Sağlık Örgütü üye ülkelere Radon'un sağlık etkilerini kontrol etme çağrısı yapmıştır. 30 ülkenin katılımı ile 2005 yılında radonun sağlık üzerindeki negatif etkilerinden korunmanın yolları araştırılmaya başlanmıştır ve bu araştırmalar neticesinde 2009 yılında bir kitap yayınlanmıştır. Dünya Sağlık Örgütü, ülkelere coğrafik yapılaraya göre radon haritası çıkarmalarını, ülke genelinde ev içi radon seviyelerinin tesbit edilmesini, ulusal radon eşik seviyelerinin tespit edilmesini önermektedir [38].

2.13. RADON ÖLÇÜM METOTLARI

Radon ve bozunum ürünlerini ölçmek için aktif ölçüm yöntemi ve pasif ölçüm yöntemi olmak üzere iki temel yöntem geliştirilmiştir.

İyon odaları, sintilasyon hücreleri veya spektroskopik sayım cihazları gibi elektronik sistemlerin kullanıldığı yöntemlere aktif ölçüm yöntemi denir. Termoluminesans dedektörler ile katı hal nükleer iz dedektörleri olan selüloz nitrat (LR-115) ve alil diglikol karbonat (Cr-39) filmlerinin kullanıldığı yöntemlere ise pasif ölçüm yöntemi denir. Ölçüm sonuçlarının alınma süresine bağlı olarak da radon ölçüm tekniklerini kısa dönem ölçüm teknikleri ve uzun dönem ölçüm teknikleri olmak üzere iki grupta inceleyebiliriz. Alfa iz dedektörleri kısa dönem ölçümünde hata payı çok yüksek olacağından uzun dönem ölçüm teknikleri başlığı altında sınıflandırılır [39].

2.13.1. Aktif Karbon Tekniği

Kömür gibi absorblayıcı ortamda radon gazı birikmesine daha sonrasında radonun bozunum ürünleri olan Pb-214 ve Bi-214'ün yayımladığı gama ışınlarının aktivitelerinin ölçülmesi ile radon miktarının tespit edildiği tekniktir. Kapaklı metal bir kap içine birkaç gram aktif karbon yerleştirilir ve ortamdaki radon karbon yatağına difüze olması sağlanır. Birkaç gün sonra laboratuvar ortamında NaI sayıcıları ile gama aktivite ölçümü yapılır. Kısa dönem ölçüm teknikleri altında sınıflandırılır. Çeşitli metal kap tasarımları mevcuttur. Örneğin toron girişini engelleyen ve nemi minimize eden difüzyon bariyerleri yaygındır [39].

2.13.2. Sıvı Sintilasyon Sayım Sisteminde Aktif Karbon

2.13.1.'deki teknikten farkı kullanılan ekipmanlardır. 20 ml'lik sıvı sintilasyon şişesi içine 1-3 gram kömür konulması ve sintilasyon şişesinin ağzı açılarak radonun kömür difüze olması sağlanır. Laboratuvar ortamında sıvı sintilasyon sayıcısı ile sayım alınır [39].

2.13.3. Elektret İyon Odaları

Çelik bir kap içerisine teflon gibi kalıcı elektriksel yük gösterebilen bir dielektrik malzeme yani elektret malzemesi yerleştirilerek güçlü bir elektrostatik alan oluşturulur. Kabin içine giren radon gazı ve bozunum ürünleri yayınladıkları alfa, beta ve gama ışınları hava ile etkileşerek iyonize parçacıklar üretirler ve elektret tarafından oluşan

elektrik alan bu iyonların toplanmasını ve elektretin toplam yükünün değişmesini sağlar. Bu değişimden yararlanılarak radon konsantrasyonu bulunur [39].

2.13.4. Sürekli Monitörler

Taşınabilir olması, sahada sonuç alması, gerçek zamanlı değişimleri göstermesi avantajları taraflarını oluştururken; pahalı olmaları, düzenli kalibrasyon gereksinimi, yetişmiş eleman ihtiyacı ve neme karşı duyarlılıkları dezavantajlı taraflarını oluşturur. Üç farklı çeşidi mevcuttur.

Alfa sintilasyon hücresi ve foto çoğaltıcı tüp ile oluşturulan sistemde, difüzyon yoluyla alınan hava numulerinin ölçümü sağlanır ve bu sistem alfa sintilasyon sürekli radon monitörleri olarak adlandırılır. Difüzyon yoluyla alınan hava numunesindeki radonun iyonizasyon odasındaki gazı iyonlaştırması ve iyonların oluşturduğu elektrik sinyallerinin sayıldığı sistem ise iyonizasyon odaları sürekli radon monitörleri olarak isimlendirilir. Alfa bozunumuna hassas bir katı hal silikon dedektörünün kullanıldığı sistem ise katı hal sürekli radon monitörleri olarak adlandırılır [39].

2.13.5. Radon Tuzağı (Grab Sampler) Tekniği

Lucas hücresi olarak bilinen duvarları ZnS(Ag) fosfor ile kaplanmış bir alfa sintilasyon hücresi ve iki fototübün kullanıldığı sistemdir. Hava numunesi vanalar yardımıyla toplanır ve numune toplandıktan sonra vanalar kapatılır. Radonun bozunum ürünleriyle dengeye gelmesi için yaklaşık dört saat beklemenin ardından sintilasyon hücresi sayım için fototübün ağzına yerleştirilir. Alfa parçacıklarının duvardaki ZnS ile etkileşimi sonucu oluşan elektrik sinyalleri sayılarak radon konsantrasyonu bulunur [39].

2.13.6. Katı Hal Nükleer İz Dedektörleri (Alfa İz Dedektörleri)

Şimdiye kadar anlatılan radon ölçüm teknikleri genel olarak kısa dönem ölçüm teknikleri olarak sınıflandırılırken katı hal nükleer iz dedektörleri kısa dönem ölçüm teknikleri olarak da kullanılmasına rağmen ağırlıklı olarak uzun dönem radon ölçümleri için kullanılırlar.

Ortamdaki radon konsantrasyonunun yayınladıkları alfa parçacıkları ile doğru orantılı olduğunu biliyoruz. O halde alfa parçacıklarına duyarlı plastik filmler kullanılarak radon konsantrasyonunu bulabiliriz. Beta ve gama ışınlarının filmler üzerinde bir etkisi yok iken, alfa parçacıkları selüloz nitrat, selüloz asetat, polikarbonat, allil diglikol

karbonat yapıdaki plastik filmler üzerinde iz bırakırlar. Alkali (NaOH veya KOH) yada asit çözeltileri (HF veya HNO₃) gibi kimyasallar ile izler kazınır ve açığa çıkarılan izler mikroskop yardımıyla sayılır. Hesaplamalar yapılarak radon konsantrasyonu belirlenir.

Küçük olmaları, kolay kullanımları, elektronik cihaza ihtiyaç duymamaları, taşınma kolaylığı, işlenme ve okunma kolaylığı, ucuzluğu, uzun süreli radon ölçümüne uygun olması, nemden ve makul seviyedeki ısı, ışıktan etkilenmemeleri nükleer iz dedektörlerinin avantajlarını oluştururken; radon konsantrasyonu düşük olan yerlerde anlık ölçüm yapmaya uygun olmayan yapıları ve bu durumlardaki hata oranlarının yüksekliği nükleer iz dedektörlerinin dezavantajlarını oluşturur [39].

Alfa parçacıkların katı hal iz dedektörlerinin üstünde iz bırakması sebebiyle radon yoğunluğu ölçümünde selüloz ester (nitrat ve asetat), polikarbonat ve CR-39 dedektörleri kullanılabilir. Beta ve gama ışınlarına duyarlı olmadığı için dedektörlerin üzerinde beta ve gama ışınlarının yarattığı kazınabilir bir ize rastlanmaz.

Polimer molekülleri yüklü taneciklerle etkileşmesi sonucu zincirleri kopar ve kopan kısımlarda radikal uçlar oluşur. Bu olay yüklü taneciklerin polimer moleküllerini makaslaması olarak adlandırılabilir. Dedektöre kimyasal işlem uygulanarak radikallerin çözünmesi ve 100-1000 kat hasarlı kısım büyütülerek kalıcı hale gelmesi sağlanır. Çok uzun süre kimyasal işleme tabi tutulmayan dedektörler sıcaklığın etkisi ile kaybolabilir. Hasar boyutu yüklü taneciğin polimer malzemeye aktardığı enerjiye bağlıdır.

Kapalı ve açık olmak üzere iki çeşit pasif dedektör çeşidi mevcuttur. Kapalı dedektör sistemlerinde radon ürün çekirdeklerinin içeri girmesi engellenip yalnızca radon atomlarının dedektör yüzeyine ulaşması ve dedektörle etkileşmesi sağlanır. Dedektör kabında farklı ve istenmeyen yükleri azaltmak için dedektör yüzeyinin iletken olması solüsyon yardımıyla sağlanır. Açık dedektörler, dedektör malzemesine bağlı olarak radon ve radon ürünlerine kapalı dedektörlere göre daha fazla maruz kalırlar. LR-115 filmleri 1,7-4,1 MeV enerji aralığındaki alfa parçacıklarına daha fazla duyarlı olan açık olarak kullanılan dedektörlerdir. 1,7-4,1 MeV enerji aralığının çok üzerindeki enerjilere sahip alfalar veya bozunma ürünleri dedektör üzerinde iz oluşturmaz ama bunun dışında LR-115 açık olarak kullanıldığından ötürü dış faktörlerden etkilenip, deformasyona uğrayabilir. Örneğin uzun süreli olarak güneş ışığına maruz kalması LR-115'in yapısını

bozar ve uygulanan kimyasal işlemler sonucunda tüm filmin soyulduğu, başka bir söylemle yandığı gözlenir. Toron (^{220}Rn) atomu 6,29 MeV, 216-Po atomu 6,78 MeV, 212-Bi atomu 6,05 MeV, 212-Po atomu 8,78 MeV, 214-Po atomu 8,78 MeV, 218-Po atomu 6 MeV enerjiye sahip alfa parçacıkları yayınlar. Dolayısıyla LR-115 dedektörü radon bozunma ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıkları ile etkileşmez. Radon atomlarının yayınladığı 4-6 MeV enerji aralığındaki alfa parçacıkları ile etkileştiği için LR-115 dedektörleri üzerindeki izler ortamdaki radon ile doğru orantılıdır.

Kimyasal işlem sonunda dedektör üzerinde gözüken izlerin büyüklükleri farklılık gösterebilir. Bu farklılık dedektöre çarpan alfa parçacıklarının enerjisinden ileri gelmektedir. Yüksek enerjili alfa parçacıkları, düşük enerjili alfa parçacıklarına oranla daha büyük iz bırakır.

Sahaya yerleştirme ve sahadan toplama süreçlerinde dedektör ölçüm alacağımız ortamın dışında da alfa radyasyonuna maruz kalabilir. Bunu önlemek adına dedektörler alüminyum folyo ile sarılmasının yanı sıra saklama poşetlerine de konularak alfa radyasyonundan muhafaza edilir.

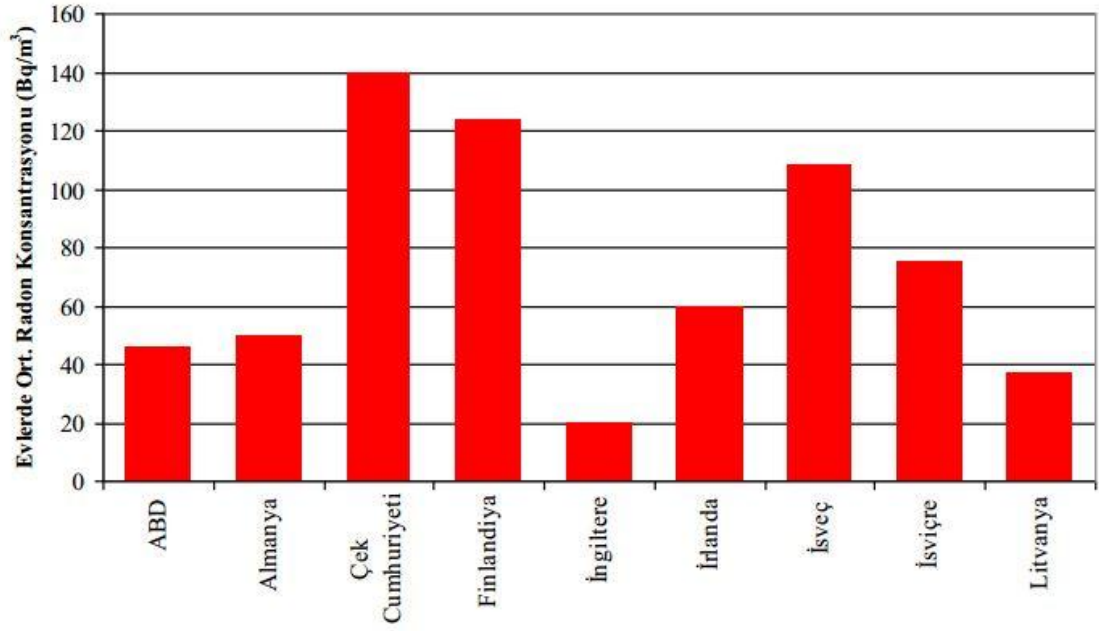
Aşağıdaki Tablo 2.9’de radon gazı ölçüm cihazları karşılaştırılmaktadır.

Tablo 2.9: Radon gazı ölçüm cihazlar ve özellikleri [32].

Dedektör	Cinsi	Belirsizlik %	Örnekleme Süresi	Maliyet
Alfa İz Dedektörü	Pasif	10-25	1-12 ay	Düşük
Aktif Kömür Dedektörü	Pasif	10-30	2-7 gün	Düşük
Elektret İyon Odası	Pasif	8-15	5 gün – 1 yıl	Orta
Elektronik Cihazlar	Aktif	~ 25	2 gün – 1 yıl	Orta
Sürekli Radon Monitörleri	Aktif	~ 10	1 saat – 1 yıl	Yüksek

2.14. DÜNYADA İÇ HAVA RADON GAZI ÇALIŞMALARI

Evlerde bulunması doğal karşılanan radon gazı konsantrasyon limitleri ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. İngiltere radon gazı ile ilgili olarak evlerde var olan yüksek radon gazı seviyelerinin iyileştirilmesi ve yeni binalarda önleyici ölçümler yapılması başlıkları altında iki farklı programa 1980 yılından beri sahiptir. Bu programlar kapsamında %30'a varan oranlarda iyileştirmeler mevcuttur. İsviçre de İngiltere ile paralellik gösteren radon gazı politikası uygulamaktadır. Brezilya da ise uranyum içeren toprak ve yapı malzemeleri radon gazı yoğunlaşmasını bazı alanlarda 1000 Bq/m^3 düzeyine çıkarmıştır ve bu alanlarda iyileştirme yapılması için ulusal yönetmelik onaylanmıştır. Çin Halk Cumhuriyeti eski yapılar için 400 Bq/m^3 ve yeni yapılacak binalar için 200 Bq/m^3 sınır şartını kabul etmiş ve Uluslar arası Sağlık Örgütü'nün radon gazı projesine katılmayı planlamaktadır. Finlandiya'da ev sahiplerini radon konusunda bilgilendirmek için sağlık uzmanları görevlendirilmiştir. İsveç ise halka açık olan tüm binalarda radon konsantrasyon sınır değerini 200 Bq/m^3 olarak belirlemiş ayrıca tüketime uygun olan su için de 100 Bq/litre değerini sınır değer olarak kabul etmiştir. Slovenya'da ise ülke çapında okullardaki radon gazı ölçümleri yapılmış ve sadece %2'sin de 1000 Bq/m^3 üzerinde değerler çıkarken %70 civarında 100 Bq/m^3 'den düşük değerler çıkmıştır. Yüksek radon konsantrasyonlarına alüvyon ve karstik alanlarda rastlanmıştır [24].



Şekil 2.21: Ülkelerdeki evlerde ortalama radon konsantrasyonları [33].

İşyeri	Ülke	Radon Konsantrasyon Aralığı (Bq/m ³)
Turistik Mağaralar	Almanya	400-11 180
	Macaristan	130- 21 100
	İrlanda	260- 19 060
	Slovenya	20- 10 000
	ABD	48- 1850
Tüneller	Çek Cumhuriyeti	229-3 312
	Finlandiya	500- 7 000
	Norveç	250 (ortalama)
Metro	Finlandiya	45-200 (istasyon)
		20-790 (ofisler)
	Yunanistan	9-22 (istasyon)

Şekil 2.22: Bazı ülkelerde işyerlerinde ölçülen radon konsantrasyonları [33].

2.15. RADONDAN KORUNMA YOLLARI

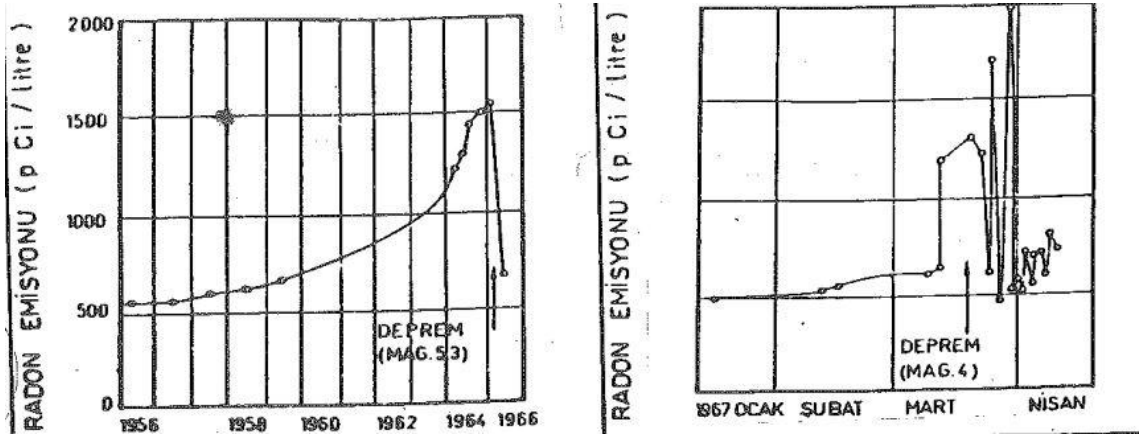
“Evlerde ve İş Yerlerinde Radon-222’ye Karşı Korunma” başlığı altında Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi 65 numaralı raporunda limit değerler belirterek radona maruz kalmayı sınırlandırmıştır. Eşdeğer doz seviyesini 3-10 mSv düzeyinde belirlerken buna bağlı olarak evlerdeki radon konsantrasyon değerlerini 200-600 Bq/m³ ve iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ düzeyinde belirlemiştir [32].

Radondan korunmanın en iyi yolu binalara radon girişini azaltmaktır. TAEK’in 2012’de yayınladığı teknik rapor doğrultusunda binalara radon girişini azaltma yöntemlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Zemin altındaki radon gazı boru ya da fan yardımı ile atmosfere verilir.
- Bina yapımında kullanılan malzemelerin radyoaktivite analizleri yapılmalı ve sınır değerlerin üstünde olan kesinlikle kullanılmamalıdır.
- Toprak ile doğrudan temasa imkan verilmemeli ve izole edilmelidir.
- Su ve kanalizasyon borularının geçtiği yerler başta olmak üzere tüm duvarlarda, yerlerde bulunan çatlaklar, açıklıklar doldurulmalı ve kapatılmalıdır.
- Bina projesi radon gazının binaya girmeden atmosfere tahliye edileceği sistemler düşünülerek çizilmelidir.
- Kapalı ortamların sık sık havalandırılmasına özen gösterilmelidir [33].

2.16. RADON VE DEPREM İLİŞKİSİ

Depremlerden korunmanın en etkili yolu depremlerin önceden belirlenmesidir ve bu konudaki çalışmalar 1970 yılından sonra önem kazanmıştır. Gözlenen fiziksel değişkenlerden biri de toprakta ve yer altı sularındaki radon miktarının değişmesidir. Yer altı suları ile uzunca süre taşınan ve aynı zamanda aktif faylar yoluyla atmosfere yayılan radon gazı, depremlerden önce genişleyen kayaçlar nedeniyle yer altı sularına ve toprağa geçişini arttırır. Bu sebeple yer altı sularındaki radon konsantrasyonu değeri sürekli olarak ölçülürse olası bir deprem önceden belirlenebilir. Ani ve yüksek radon konsantrasyonu artışları bize yol gösterecektir. Aşağıdaki şekillerde bazı depremler öncesinde radonun artış gösterdiği açıkça görülmektedir [40].



Şekil 2.23: 1966 ve 1967 Taşkent depremleri öncesi ve sonra radon değişimleri [40].

Uzmanlar büyük depremlerden birkaç gün önce bölgedeki radon gazı çıkışının ciddi oranda arttığını düşündüğü için Türkiye genelinde çeşitli noktalarda radon gazı çıkışını incelemeye almışlardır. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü olası Marmara depremini önceden kestirebilmek amacıyla 16 noktada radon gazı incelemesi başlatmıştır ve yerleştirilen ölçüm aletlerinden 15 dakikada bir veri akışı sağlanmaktadır. 2001'de Marmara Bölgesi'nde 16 noktada başlayan radon gazı ölçüm projesi, bölge üniversiteleriyle Doğu Anadolu Fay Alanı, Kuzey Anadolu Fay Alanı ve Ege Açılma Sistemi'ne kadar genişlemektedir. Ayrıca Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun (TAEK) Sinop'ta yapılması planlanan nükleer santral bölgesi için kendilerinden ölçüm talep etmesi üzerine, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü yaptıkları ölçüm sonucunda bölgenin herhangi bir risk taşımadığı yönündeki raporlarını TAEK'e sunmuştur [41].

3. MALZEME VE YÖNTEM

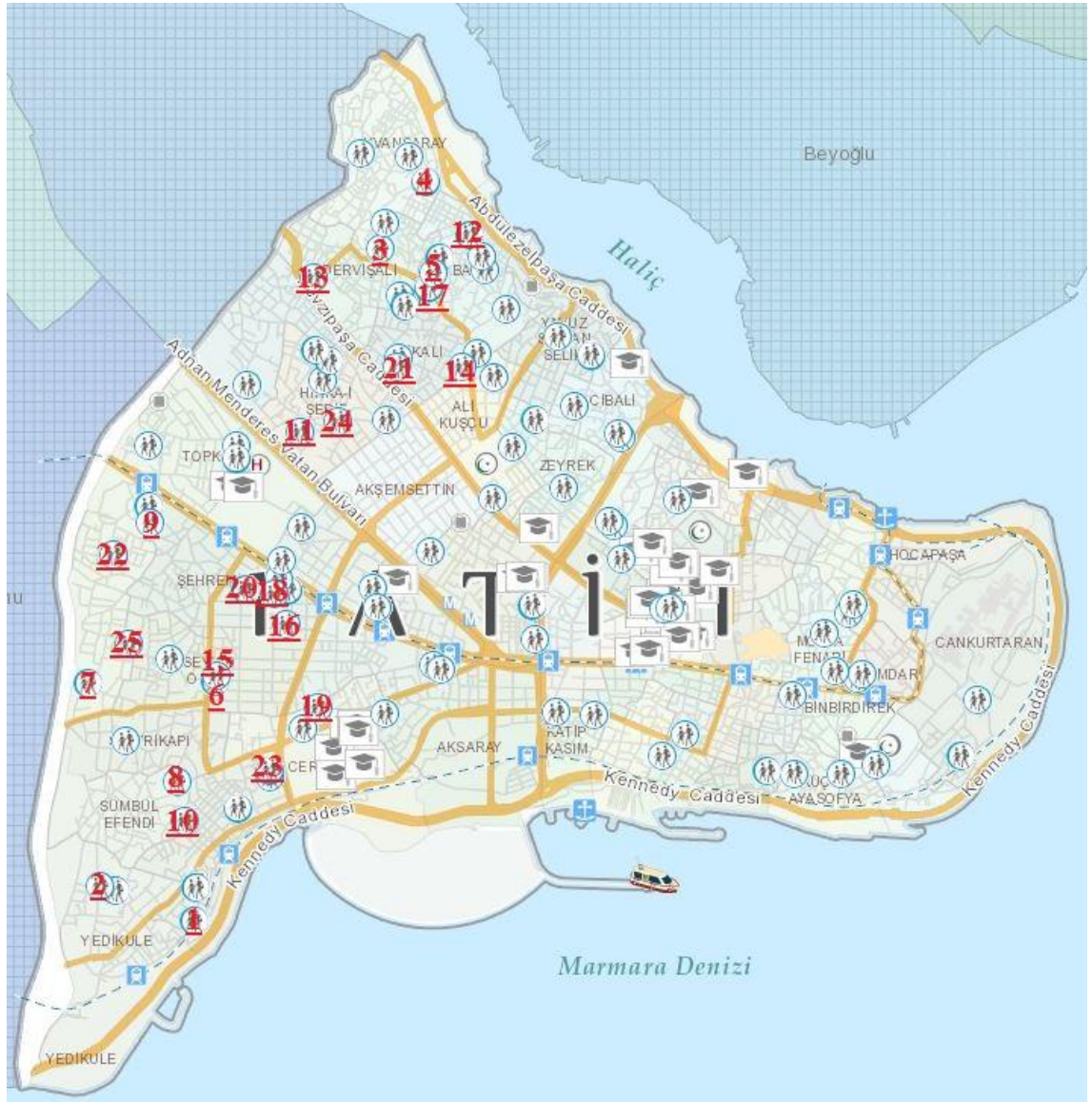
3.1. YÖNTEM

Katıhal iz kazıma dedektörü olan LR-115 filmi ile radon gazının ortamdaki konsantrasyonu ölçülebilir. Ortamda bulunan radon gazı LR-115 dedektörü üzerinde izler oluşturur ve oluşan izlerin uygulanan kimyasal işlem neticesinde kalıcı hale getirilmesinin yanı sıra optik mikroskopla görülebilecek büyüklüğe getirilmesi sağlanır. Optik mikroskop yardımıyla LR-115 filmlerinin üstünde sayılan izler, ortamdaki alfa yayımlayıcısı olan radonun konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Bir dizi kalibrasyon ve hesaplama işleminden sonra ortamdaki radon yoğunluğu bulunabilir.

3.2. ÖRNEKLEME ALANI

Kuzeyden Haliç, güneyden Marmara Denizi, doğudan İstanbul Boğazı ve güneybatıdan Zeytinburnu, kuzeybatıdan Eyüp ilçeleri ile çevrili olan İstanbul şehrinin kurulduğu ve geliştiği bölge olan Suriçi'nin diğer bir adıyla Tarihi Yarımada'nın tamamını kapsayan Fatih ilçesi örnekleme alanımızı oluşturmaktadır. Fatih, 2008 yılından beri Tarihi Yarımada üzerinde kırsal yerleşimi olmayan 1562 hektarlık alanı kapsayan ve 57 mahalleden oluşan ilçedir. $41^{\circ}00'25''\text{K}$ $28^{\circ}58'42''\text{D}$ koordinatlarına sahiptir.

Fatih ilçesinde bulunan yaklaşık 50 ilköğretim okulunda radon konsantrasyonunu tayin etmek amacıyla okullara yaklaşık olarak 1200 adet LR-115 filmleri yerleştirilmiştir. Maalesef okul yetkililerinin özensiz tutumları neticesinde yalnızca 25 okula yerleştirilen 509 adet film geri toplanabilmiştir. Örnekleme işlemi Temmuz 2013 – Eylül 2013 tarihleri arasında yapılmıştır.



Şekil 3.1: Örnekleme alanı [42].

3.3. ÖRNEKLEME İŞLEMİ

Alfa duyarlı LR-115 katı hal iz kazıma dedektörleri 1.5 x 1.5 cm kesilerek plastik bardakların içine aktif bölgesi dışarıya bakacak şekilde sabitlenmiş ve İstanbul ili Fatih ilçesindeki 25 okula, her sınıfa 3 adet olmak üzere öğrencilerin boy ortalaması, güneş ve havalandırma sistemleri göz önüne alınarak yerleştirilmiştir. Yerleştirilme esnasında tüm dedektörler numaralandırılmış, yerleştirilme zamanı not edilmiş ve ortamdaki nem değeri ölçülmüştür. Ayrıca zaman içerisinde dedektörlerin açısının değişmesini engellemek için dedektörler alttan ve üstten sağlam bir şekilde sabitlenmiştir.



Şekil 3.2: Deney düzeneği.



Şekil 3.3: Sabitlenmiş deney düzeneği.

3.4. DENEYSEL İŞLEMLER

Ortalama bir ay sonunda toplanan dedektörler dörderli gruplar şeklinde %10'luk NaOH çözeltisinde kimyasal işleme tabi tutulmuştur. 250 ml'lik beherlerin içine önce 10 g NaOH koyulup ardından saf su cihazından elde ettiğimiz 90 g saf su eklenerek manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılarak 100 ml %10'luk NaOH çözeltisi elde edilmiştir. Elde edilen çözelti beherle birlikte su banyosuna yerleştirilmiş ve çözelti sıcaklığının 60 °C'ye gelmesi beklenmiştir. Çözelti sıcaklığı 60 °C'ye geldikten sonra dedektörlerin tüm yüzeyinin çözelti içinde kalmasına özen göstererek, dört adet LR-115 filmi birbirine ve beherin iç yüzeyine değmeyecek şekilde çözeltiye sarkıtılmıştır. 95 dakika sonra çözeltiden çıkartılan dedektörler, 200 ml'ye kadar saf su ile doldurulmuş 250 ml'lik beherlerin içine bırakılmış ve 20 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılarak durulanmıştır. En son durulanan filmler boş bir behere asılarak 20 dakika kadar 40 °C'deki fırına bırakılmıştır. Kuruyan ve üzerinde su taneciği kalmayan filmler lam-lamel arasına koyularak optik mikroskop yardımıyla üzerlerinde alfa ışınlarının bıraktığı izler sayılmıştır.



Şekil 3.4: LR-115 filmlerinin üzerindeki alfa izleri.



Şekil 3.5: LR-115 filminin üzerindeki alfa izleri.

3.5. KALİBRASYON İŞLEMİ

Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nin Sağlık Fiziği Bölümü'nde konsantrasyonu $3,2 \text{ kBq/m}^3$ olan Radon kalibrasyon odası mevcuttur. Kalibrasyon odası Şekil 3.7'de gösterildiği gibi tabanında ^{226}Ra kaynağı olan 225 litrelik bir bidondan oluşmaktadır. Kalibrasyon odasına 24 saat, 48 saat ve 72 saat süreyle kalması için dörder, toplamda 12 adet $1,5 \times 1,5 \text{ cm}$ 'lik LR-115 dedektörü yerleştirildi. Ayrıca background hesaplaması yapılması için 12 adet $1,5 \times 1,5 \text{ cm}$ 'lik LR-115 dedektörü radon kalibrasyona odasına götürülmeden alüminyum folyoya sarılı bir şekilde aynı süreyle bekletildi. Bu şekilde filmlerin dedektör haline getirildiği süre içinde alfa radyasyonu ile etkileşmesi de göz önüne alındığından gerçek background iz değerleri bulunmuş oldu. 12 adet radon odasına bırakılan LR-115 filmi, 12 adet background için bekletilen LR-115 filmi olmak üzere toplam 24 adet LR-115 dedektörünün üzerinde oluşan radon izleri, kimyasal kazıma işleminden sonra CX31 mikroskop ile sayılmıştır. Radon odasının bilinen radon konsantrasyonu göz önüne alınarak kalibrasyon faktörü bulunmuş oldu.

Kalibrasyon faktörünün hesaplanması denklem 3.1 ile yapılmaktadır.

$$K_F = \frac{X}{S \cdot h \cdot C_{RO}} \quad (3.1)$$

K_F : Kalibrasyon faktörü

C_{RO} : ÇNAEM radon odası konsantrasyon değeri (3,2 kBq / m³)

h : Radon odasında radona maruz kalma süresi (saat)

S : LR – 115 filminin alanı (2,25 cm²)

X : Radon odasına yerleştirilen dedektörlerin üzerindeki net iz sayısı (iz)

olmak üzere gerekli olan hesaplamalar yapıldığı zaman kalibrasyon faktörünün biriminin (iz . m³) / (kBq . saat . cm²) olduğu açıkça görülür.

Net iz sayısının hesaplanabilmesi için öncelikle background iz sayısının bulunması gerekmektedir. Bunun için dedektör haline getirilen ve alüminyum folyoya sarılarak muhafaza edilen 12 adet background filminden elde edilen sayımlar tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Arkaplan iz sayıları.

Film	İz Sayısı	Film	İz Sayısı	Film	İz Sayısı
BG1	189	BG5	188	BG9	135
BG2	146	BG6	152	BG10	164
BG3	156	BG7	162	BG11	168
BG4	195	BG8	133	BG12	241

12 adet background filminin üzerindeki ortalama background iz sayısı 169,08 olarak bulunmuştur.

Aşağıdaki tablo 3.2’de ise 24 saat, 48 saat ve 72 saat radon odasında 3,2 kBq / m³ konsantrasyondaki radona maruz kalan LR – 115 filmlerinin üzerindeki iz sayıları ve denklem 3.1 kullanılarak bulunan kalibrasyon faktörleri verilmiştir.

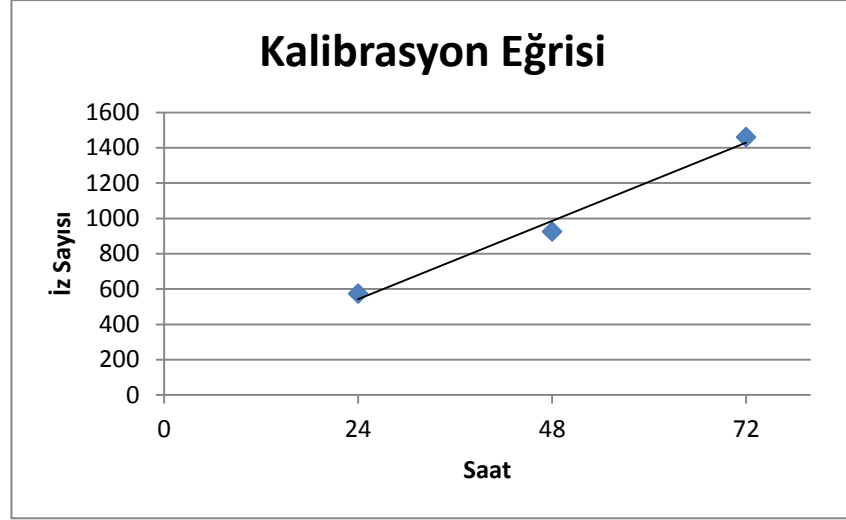
Tablo 3.2: Kalibrasyon faktörü hesaplama verileri.

Gün	1.Film (iz)	2.Film (iz)	3.Film (iz)	4.Film (iz)	Ort. İz	K _F
1	490	613	561	629	573,25	2,33
2	1023	667	997	1007	923,5	2,18
3	1666	1548	1151	1472	1459,25	2,48

Ortalama kalibrasyon faktörü 2,33 (iz . m³) / (kBq . saat . cm²) olarak bulunmuştur. Standart sapma değeri 0.15, ortalama sapma değeri 0.1 ve yüzde hata payı % 4.28 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.3: Kalibrasyon eğrisi verileri.

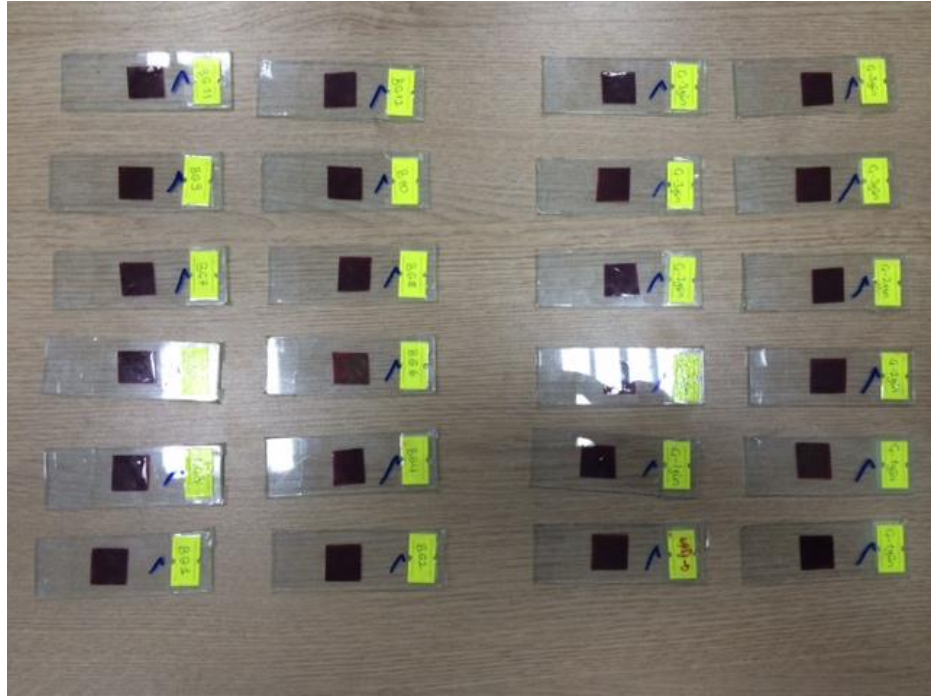
Gün	Saat	Ort. İz
1	24	573,25
2	48	923,5
3	72	1459,25



Şekil 3.6: Kalibrasyon eğrisi.



Şekil 3.7: ÇNAEM radon odası.



Şekil 3.8: Kalibrasyon ve background filmleri.

3.6. ETKİN DOZ HESABI

Ortamdaki radonun bir saatte cm^2 başına oluşturduğu net iz sayısını hesapladıktan sonra kalibrasyon faktörüne bölerek ortamdaki radon konsantrasyonunu kBq/m^3 cinsinden elde edebiliriz.

$$C_{Rn} = \frac{X_{ortam}}{K_F} \quad (3.2)$$

C_{Rn} : Ortamdaki radon konsantrasyonu (kBq/m^3)

X_{ortam} : Ortamdaki radonun bir saatte cm^2 başına oluşturduğu net iz sayısı [$\text{iz}/(\text{cm}^2 \cdot \text{saat})$]

K_F : Kalibrasyon faktörü [$(\text{iz} \cdot \text{m}^3) / (\text{kBq} \cdot \text{saat} \cdot \text{cm}^2)$]

UNSCEAR – 2000 raporundan yararlanılarak yıllık etkin doz değerleri bulunabilir. Öğrenciler, öğretmenler ve diğer okul görevlileri tatiller de göz önüne alındığında zamanlarının yaklaşık olarak % 18’ini okulda kapalı ortam içinde geçirirler. Bu sebeple radondan dolayı maruz kalınan etkin doz hesabını yaparken okul binası içinde kaldıkları zamanı göz önünde bulunduran işgal faktörünü 0,18 almamız gerekecektir. Yıllık etkin

doz değerini Bq/m^3 cinsinden bulduęumuz ortam radon konsantrasyonunu ve diğer dnşm sabitlerini (3.3) formülünde yerine koyarak mSv cinsinden bulabiliriz [43].

$$\text{Etkin Doz} = ED = C \cdot E \cdot F \cdot T \cdot D \text{ (mSv/yıl)} \quad (3.3)$$

C : Radon konsantrasyonu (Bq/m^3)

E : Denge faktörü (kapalı ortam için 0,4)

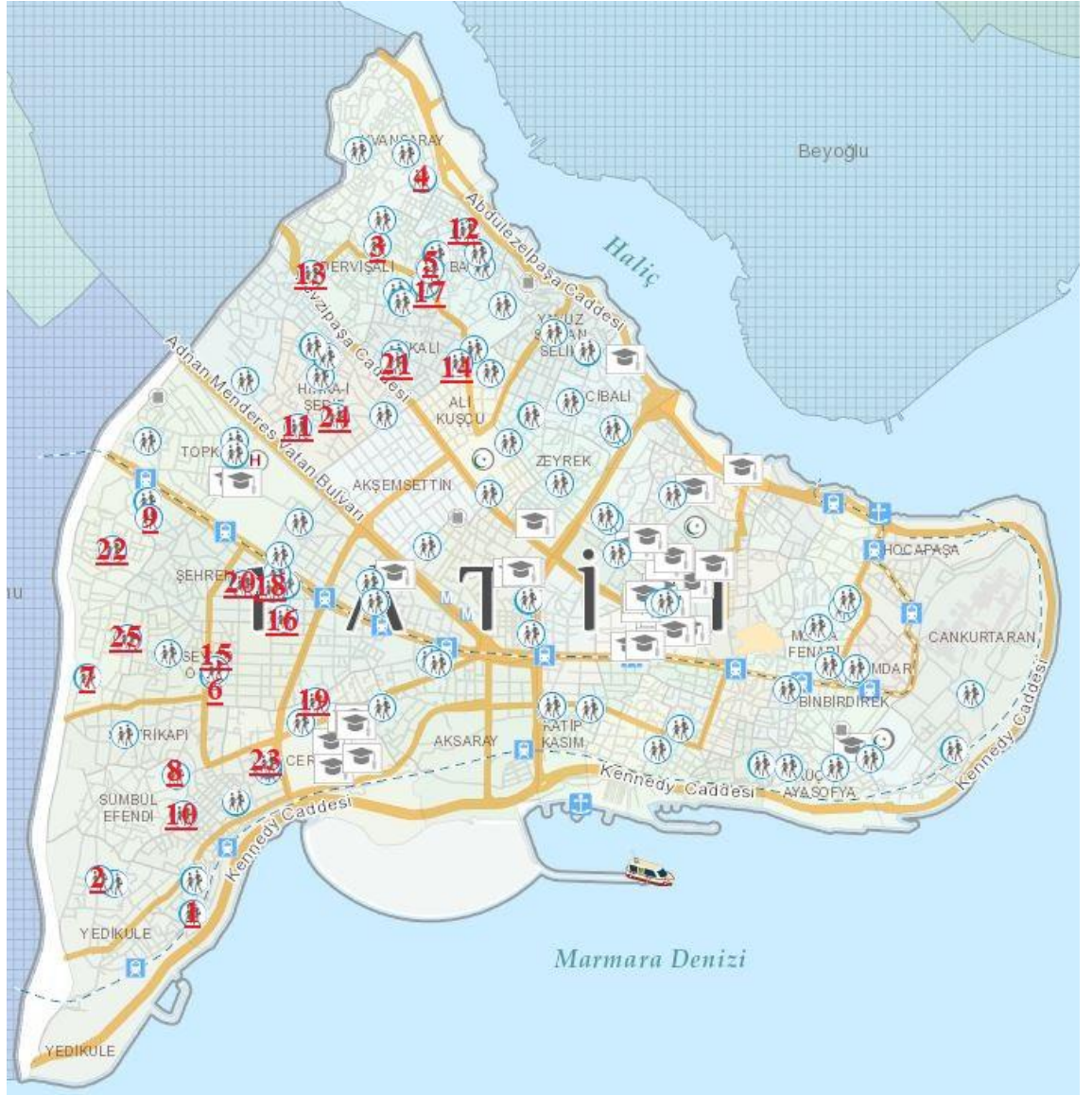
F : İnsanların okulda kaldıkları zaman – işgal faktörü (0,18)

T : Bir yıllık zaman (8760 saat/yıl)

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

4. BULGULAR

İstanbul ili Fatih ilçesinde yaptığımız çalışmanın bulguları Şekil 4.1’de görüldüğü üzere 25 ilköğretim okulunu içermektedir.



Şekil 4.1: Filmlerin yerleştirildiği 25 ilköğretim okulunun haritadaki yerleri [42].

4.1. 25 İLKÖĞRETİM OKULUNUN RADON KONSANTRASYONLARI

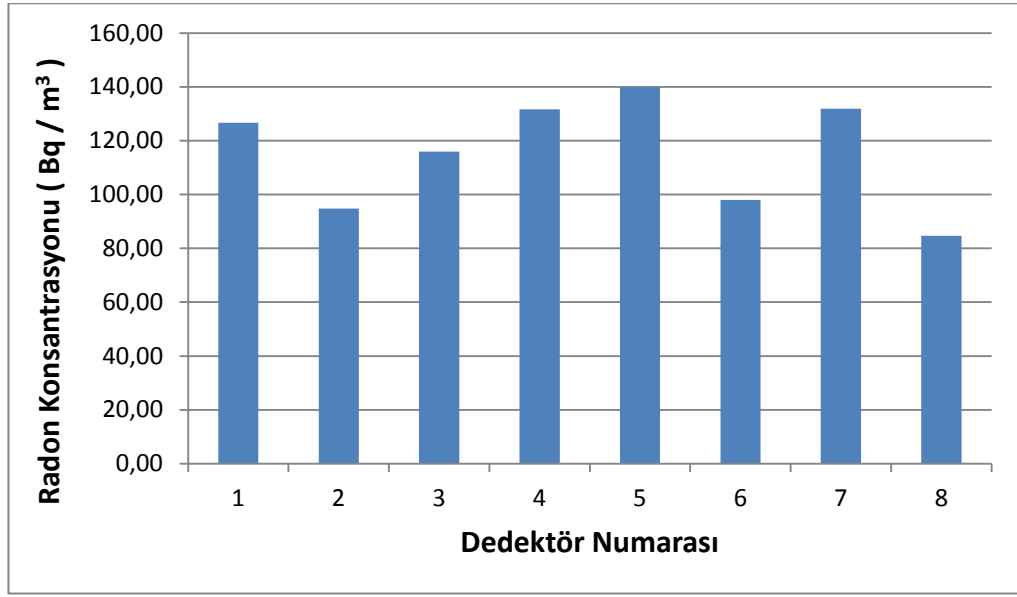
İstanbul ili Fatih ilçesi 25 ilköğretim okulundaki 185 sınıfa toplam 509 adet LR-115 katihal iz kazıma dedektörü yerleştirilmiştir.

4.1.1. Genç Osman İlköğretim Okulu

Tablo 4.1’de Genç Osman İlköğretim Okulu’nda 8 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.2’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 5 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.1: Genç Osman İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
1	126,67	0,72	28,7	41,5	0
2	94,82	0,54	29,1	41,5	0
3	115,95	0,66	28,3	41,5	0
4	131,61	0,75	28,2	42,5	1
5	139,80	0,79	28,5	43	1
6	98,01	0,56	28,65	42,5	1
7	131,91	0,75	28,9	44	2
8	84,70	0,48	28,9	42,5	2

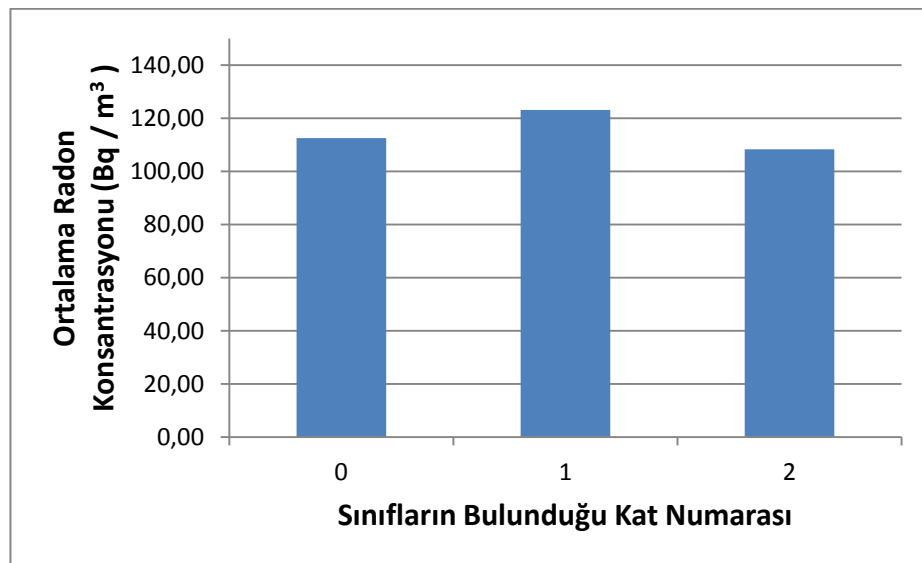


Şekil 4.2: Genç Osman İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.2’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.3’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	112,48	0,64	28,70	41,50
1	123,14	0,70	28,45	42,67
2	108,30	0,61	28,90	43,25



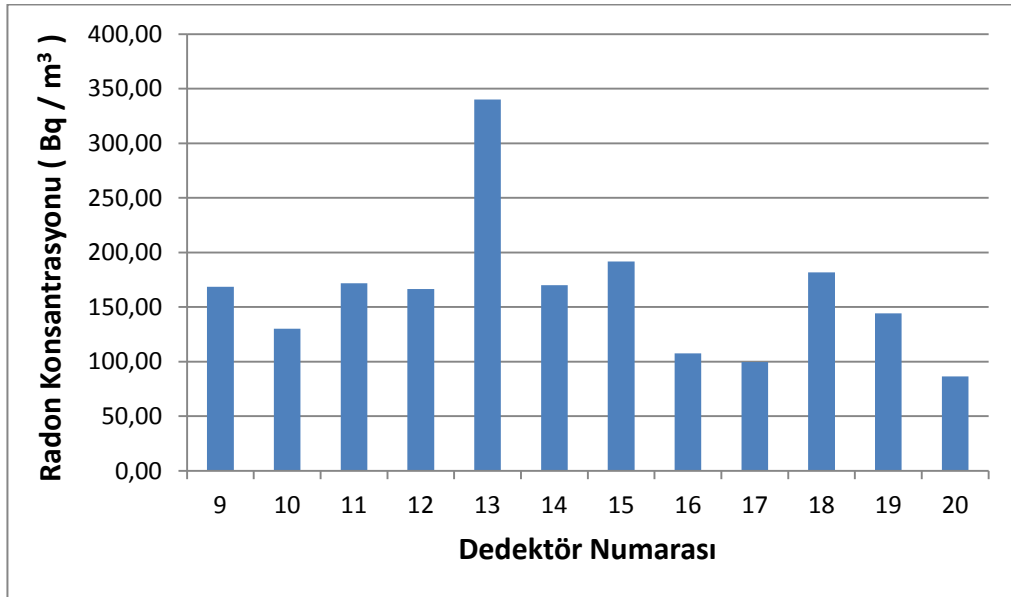
Şekil 4.3: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.2. Yedikule İlköğretim Okulu

Tablo 4.3’de Yedikule İlköğretim Okulu’nda 12 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.4’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 13 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.3: Yedikule İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
9	168.58	0.96	30.75	32	0
10	129.98	0.74	30.65	32	0
11	171.71	0.97	30.1	35.5	1
12	166.35	0.94	30.1	36	0
13	340.00	1.93	30.1	36.5	0
14	169.96	0.96	29.9	36	1
15	191.76	1.09	29.8	36.5	0
16	107.52	0.61	29.7	36.5	0
17	99.45	0.56	29.8	37	1
18	181.64	1.03	30.1	37	0
19	144.25	0.82	30.2	37.5	0
20	86.39	0.49	30.25	37	1

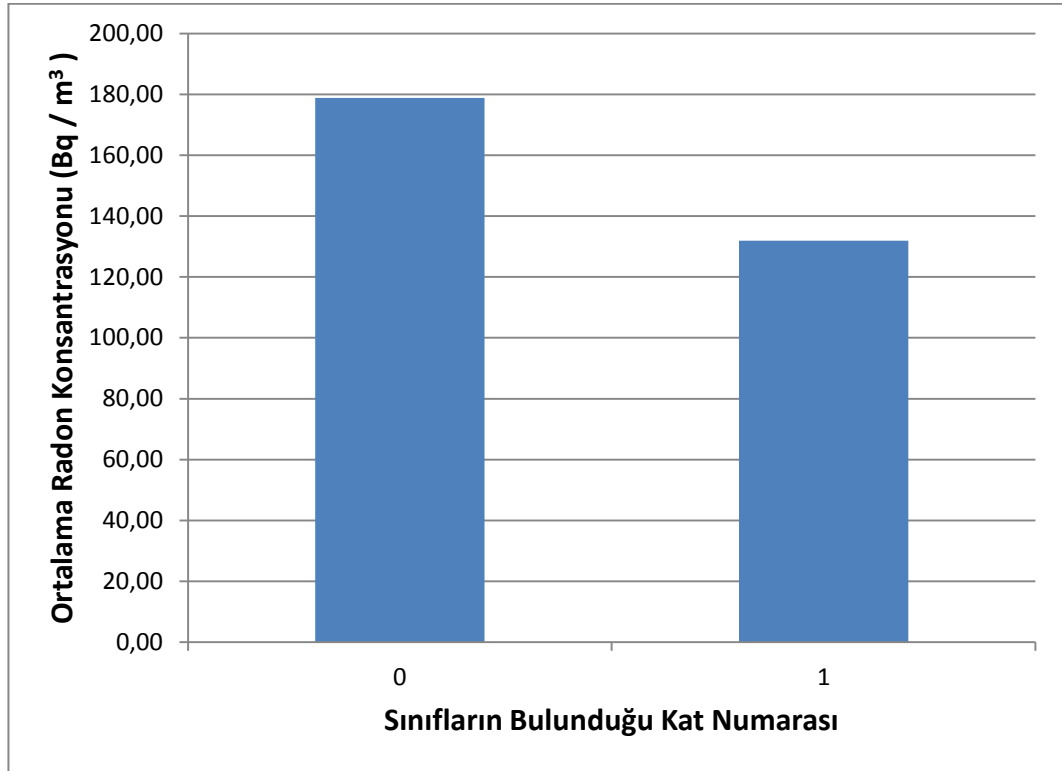


Şekil 4.4: Yedikule İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.4’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.5’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	178.76	1.01	30.18	35.50
1	131.88	0.75	30.01	36.38



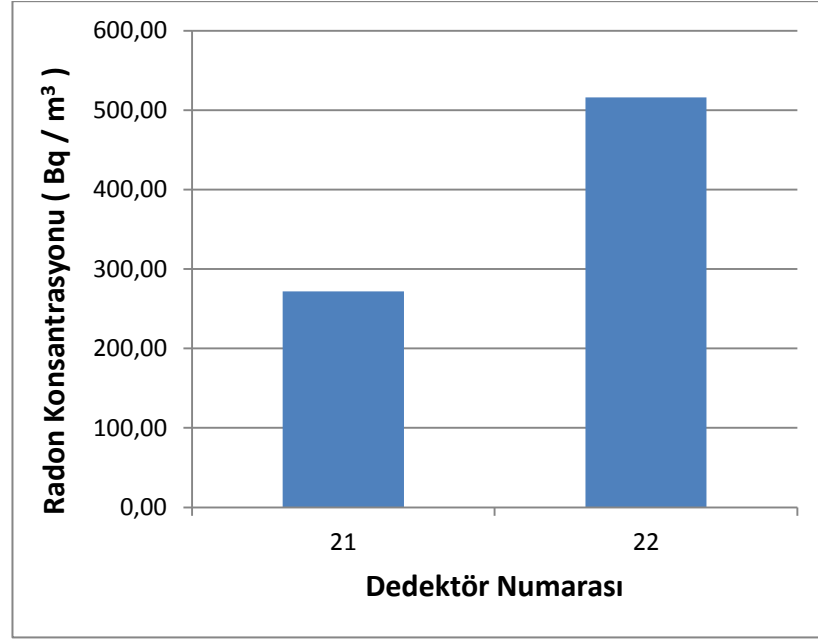
Şekil 4.5: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.3. Muallim Naci İlköğretim Okulu

Tablo 4.5’de Muallim Naci İlköğretim Okulu’nda 2 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.6’da sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 22 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.5: Muallim Naci İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
21	272.02	1.54	29.65	36.5	0
22	516.11	2.93	29.55	37	0

**Şekil 4.6:** Muallim Naci İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.6’da okuldaki zemin katın ortalama radon konsantrasyonu verilmiştir.

Tablo 4.6: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	394.07	2.24	29.60	36.75

4.1.4. Kırımlı Aslanbey İlköğretim Okulu

Tablo 4.7’de Kırımlı Aslanbey İlköğretim Okulu’nda 4 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. 25 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

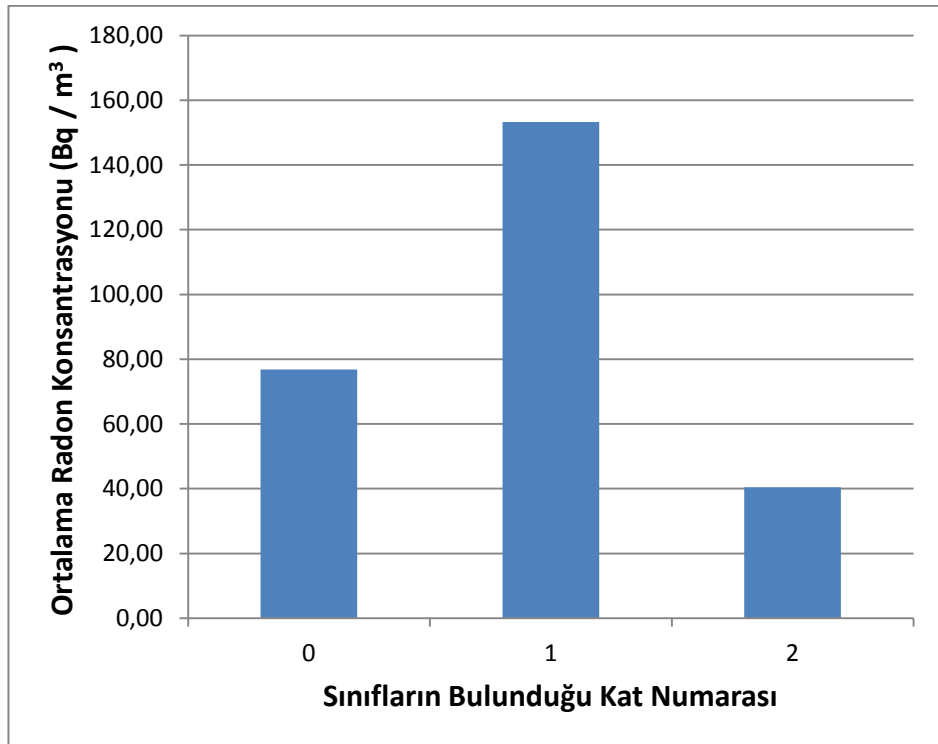
Tablo 4.7: Kırımlı Aslanbey İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
23	76.84	0.44	31.65	34	0
24	133.29	0.76	30.6	33.5	1
25	173.27	0.98	30.6	35	1
26	40.45	0.23	30.45	34.5	2

Tablo 4.8’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.7’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	76.84	0.44	31.65	34
1	153.28	0.87	30.60	34.25
2	40.45	0.23	30.45	34.5

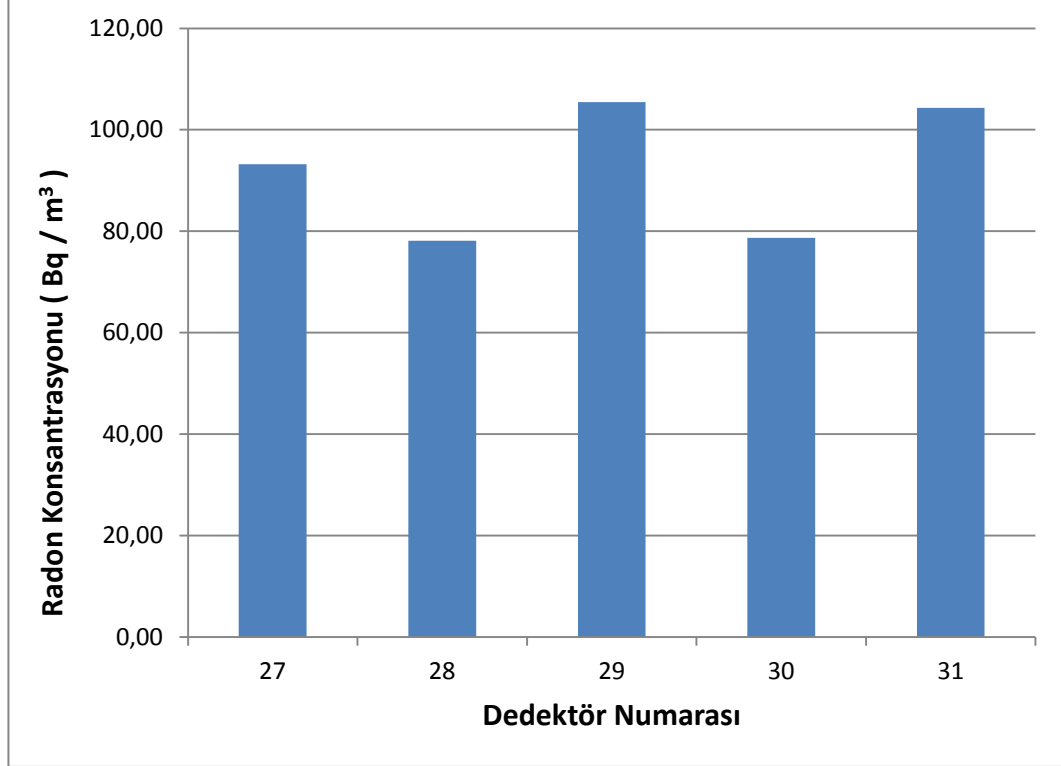
**Şekil 4.7:** Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.5. Fethiye İmam Hatip İlköğretim Okulu

Tablo 4.9’da Fethiye İmam Hatip İlköğretim Okulu’nda 5 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.8’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 29 ve 30 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin birbirine yakın ve diğer sınıflara göre fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.9: Fethiye İmam Hatip İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
27	93.19	0.53	29.35	36.5	0
28	78.14	0.44	29.35	36.5	0
29	105.47	0.60	29.2	37.5	0
30	78.68	0.45	29.05	37.5	0
31	104.33	0.59	29.05	38.5	0



Şekil 4.8: Fethiye İmam Hatip İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.10’da okuldaki zemin katın ortalama radon konsantrasyonu verilmiştir.

Tablo 4.10: Katlardaki radon konsantrasyonları.

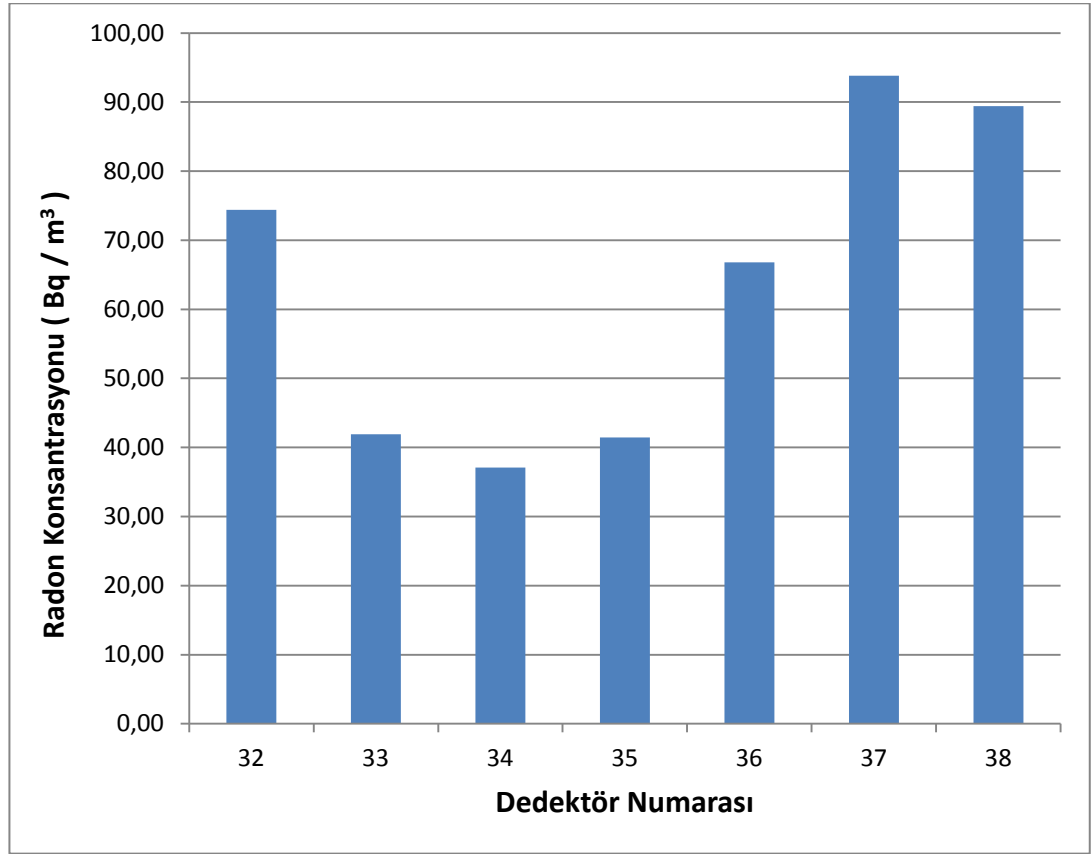
Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	91.96	0.52	29.20	37.30

4.1.6. Vedide Baha Pars İlköğretim Okulu

Tablo 4.11’de Vedide Baha Pars İlköğretim Okulu’nda 7 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.9’da sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 37 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.11: Vedide Baha Pars İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
32	74.41	0.42	30.95	30.5	0
33	41.89	0.24	31.05	31	1
34	37.08	0.21	30.85	31	1
35	41.47	0.24	30.65	30.5	1
36	66.82	0.38	30.65	31	2
37	93.79	0.53	30.55	31.5	2
38	89.40	0.51	31	30.5	3

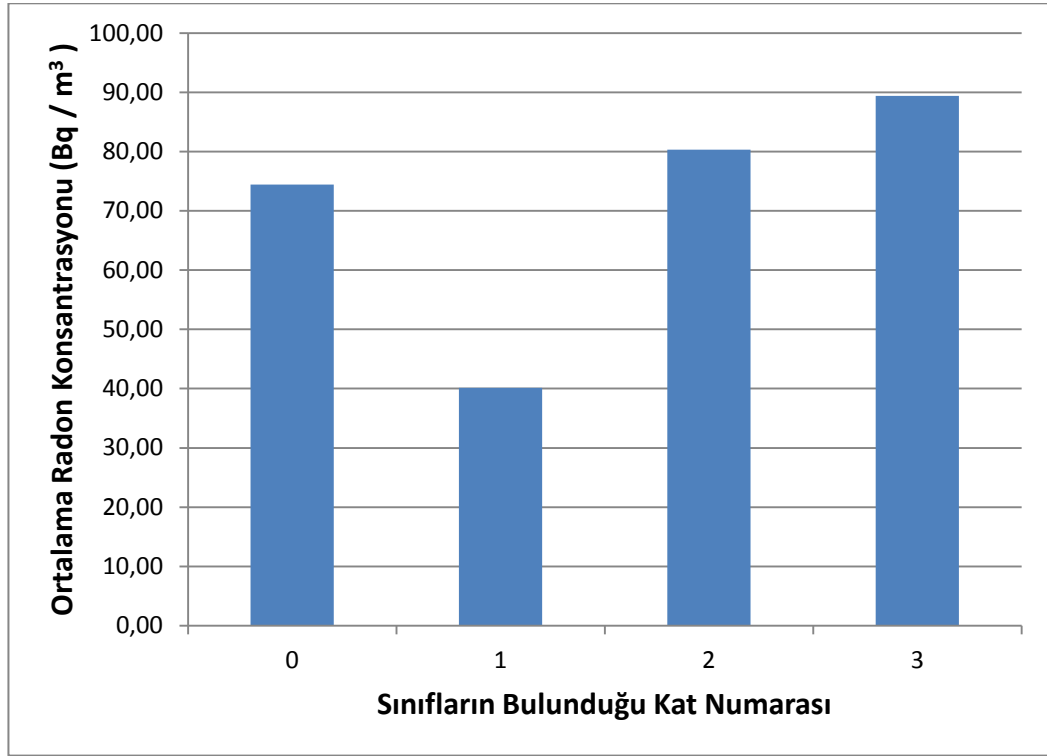


Şekil 4.9: Vedide Baha Pars İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.12’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.10’da grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.12: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	74.41	0.42	30.95	30.5
1	40.15	0.23	30.85	30.83
2	80.31	0.46	30.60	31.25
3	89.40	0.51	31	30.5



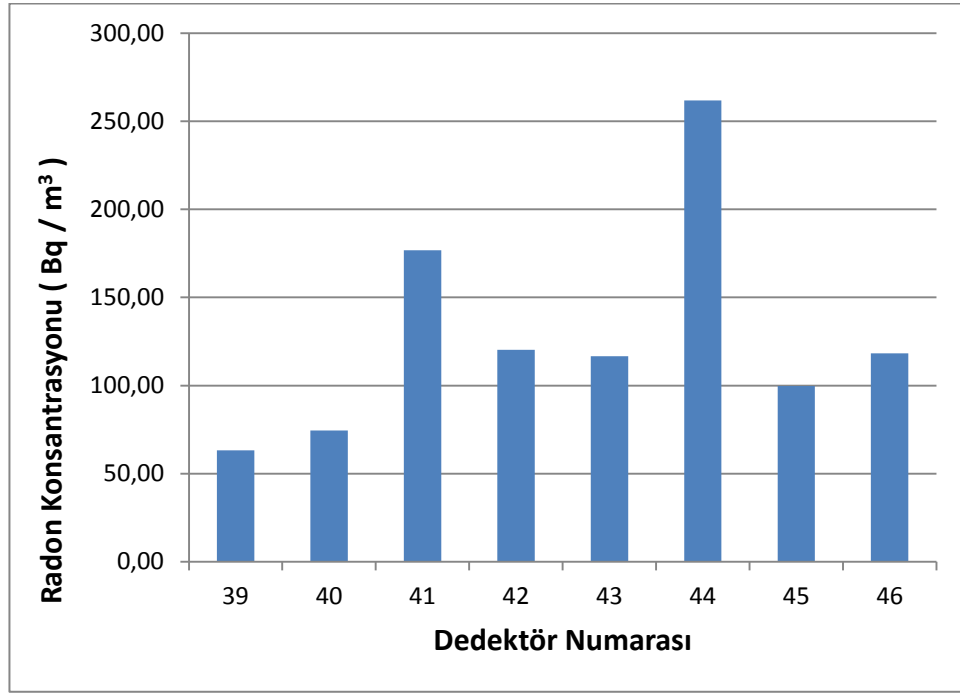
Şekil 4.10: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.7. Silivrikapı İlköğretim Okulu

Tablo 4.13’de Silivri İlköğretim Okulu’nda 8 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.11’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 44 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.13: Silivrikapı İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
39	63.17	0.36	32.05	30.5	0
40	74.56	0.42	31.45	29	0
41	176.76	1.00	31.1	27.5	0
42	120.19	0.68	30.75	27	0
43	116.68	0.66	30.85	27.5	0
44	261.80	1.49	30.6	25	0
45	99.73	0.57	30.45	24.5	0
46	118.21	0.67	30.25	28.5	0



Şekil 4.11: Silivrikapı İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.14’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 4.14: Katlardaki radon konsantrasyonları.

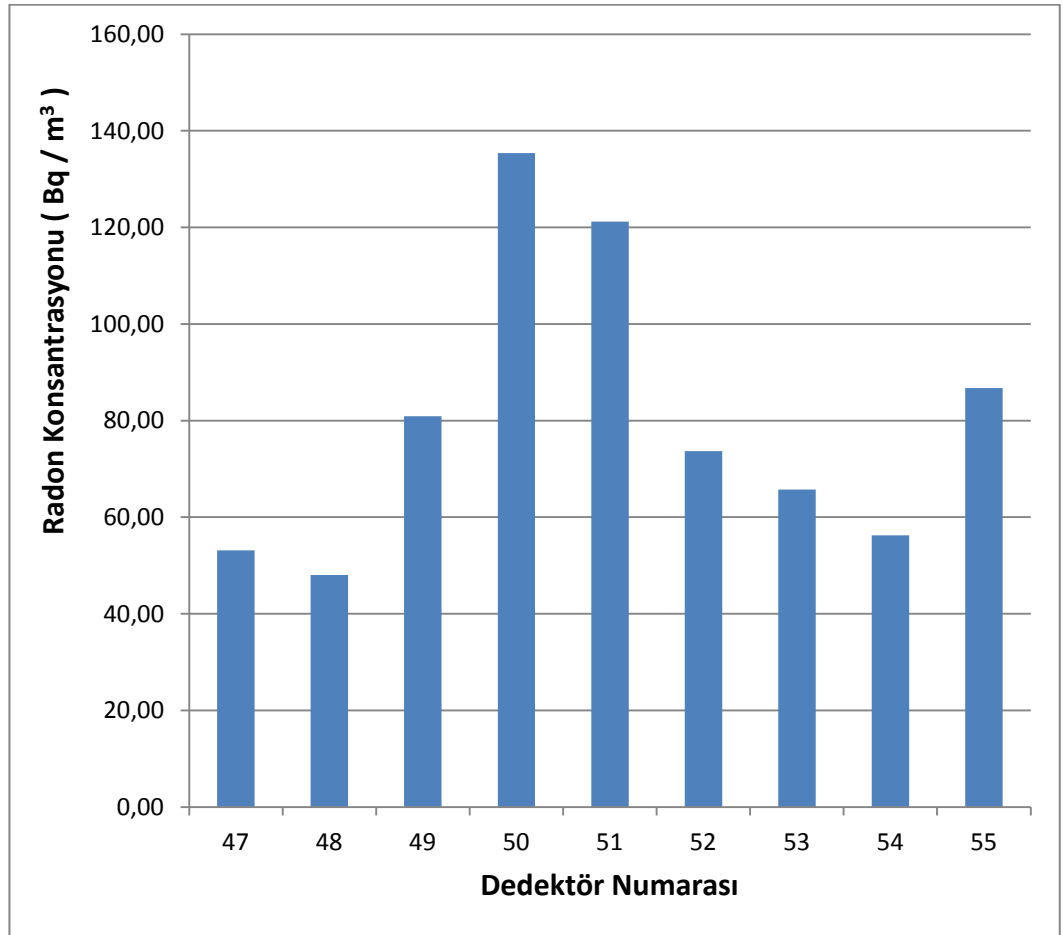
Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	128.89	0.73	30.94	27.44

4.1.8. Koca Mustafa Paşa İlköğretim Okulu

Tablo 4.15’de Koca Mustafa Paşa İlköğretim Okulu’nda 9 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.12’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 50 ve 51 numaralı sınıflardaki radon konsantrasyonu değerleri birbirine çok yakındır ve bu sınıflarda maruz kalınan yıllık etkin doz değeri diğer sınıflara göre fazladır.

Tablo 4.15: Koca Mustafa Paşa İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

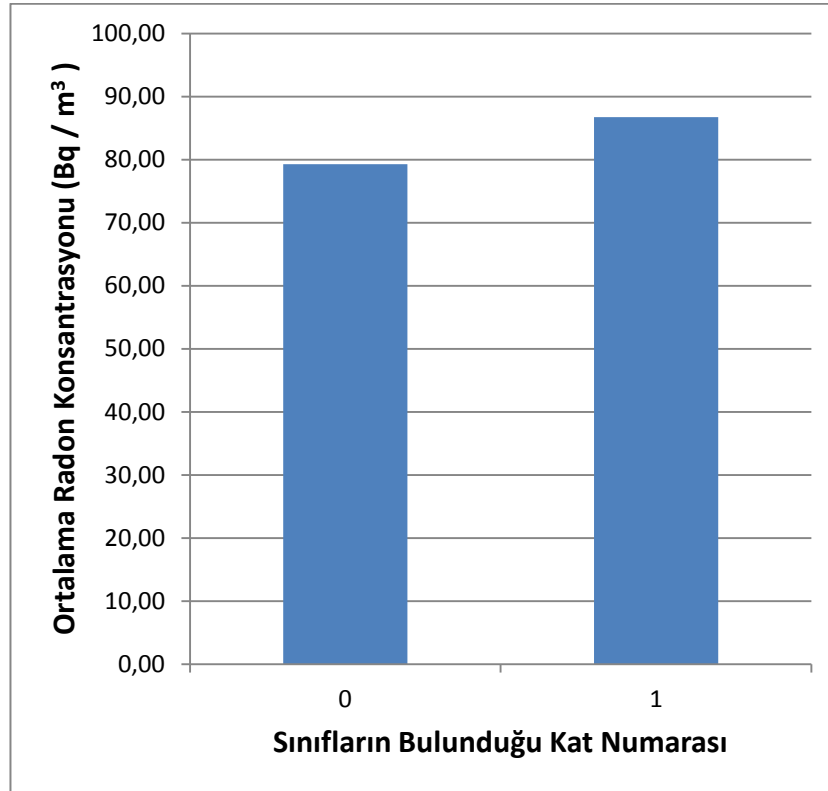
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
47	53.15	0.30	30.9	36	0
48	48.03	0.27	30	37	0
49	80.91	0.46	30.95	34.5	0
50	135.37	0.77	30.55	36.5	0
51	121.19	0.69	30	38.5	0
52	73.68	0.42	30.05	37.5	0
53	65.74	0.37	30.1	38.5	0
54	56.22	0.32	30.2	38	0
55	86.75	0.49	30.15	38.5	1

**Şekil 4.12:** Koca Mustafa Paşa İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.16’da okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.13’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.16: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	79.29	0.45	30.34	37.06
1	86.75	0.49	30.15	38.5



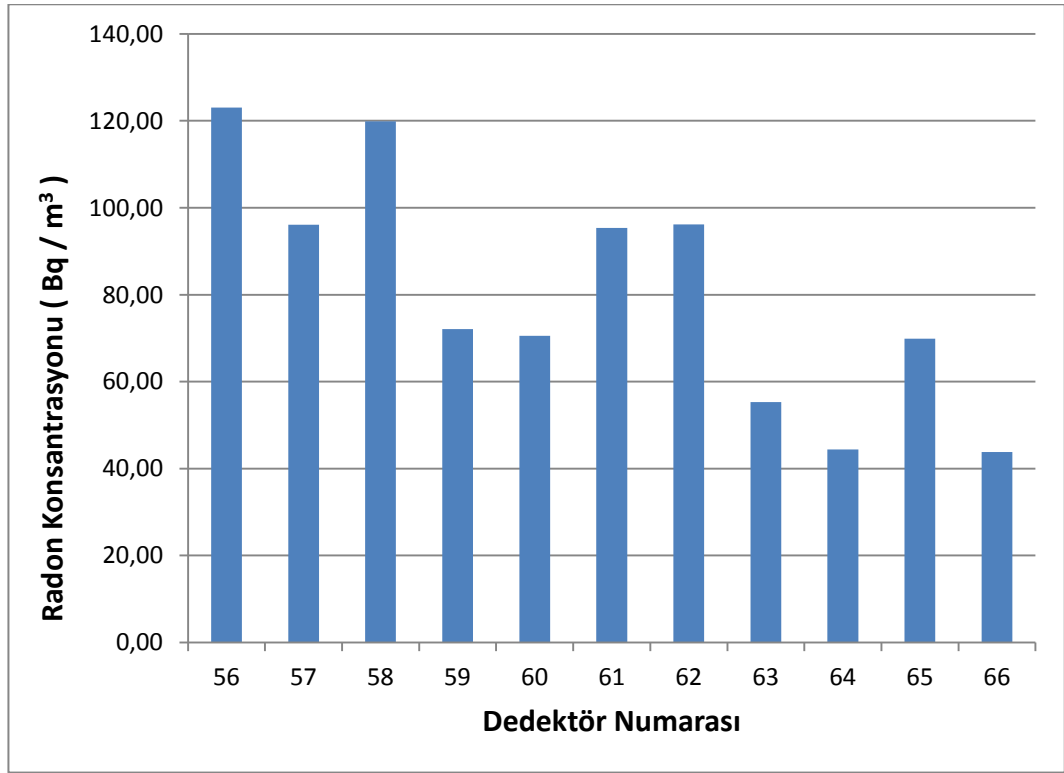
Şekil 4.13: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.9. İbrahim Alaettin Gavsı İlköğretim Okulu

Tablo 4.17’de Koca Mustafa Paşa İlköğretim Okulu’nda 11 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.14’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 56 ve 58 numaralı sınıflardaki radon konsantrasyonu değerleri birbirine çok yakındır ve bu sınıflarda maruz kalınan yıllık etkin doz değeri diğer sınıflara göre fazladır.

Tablo 4.17: İbrahim Alaettin Gavsı İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

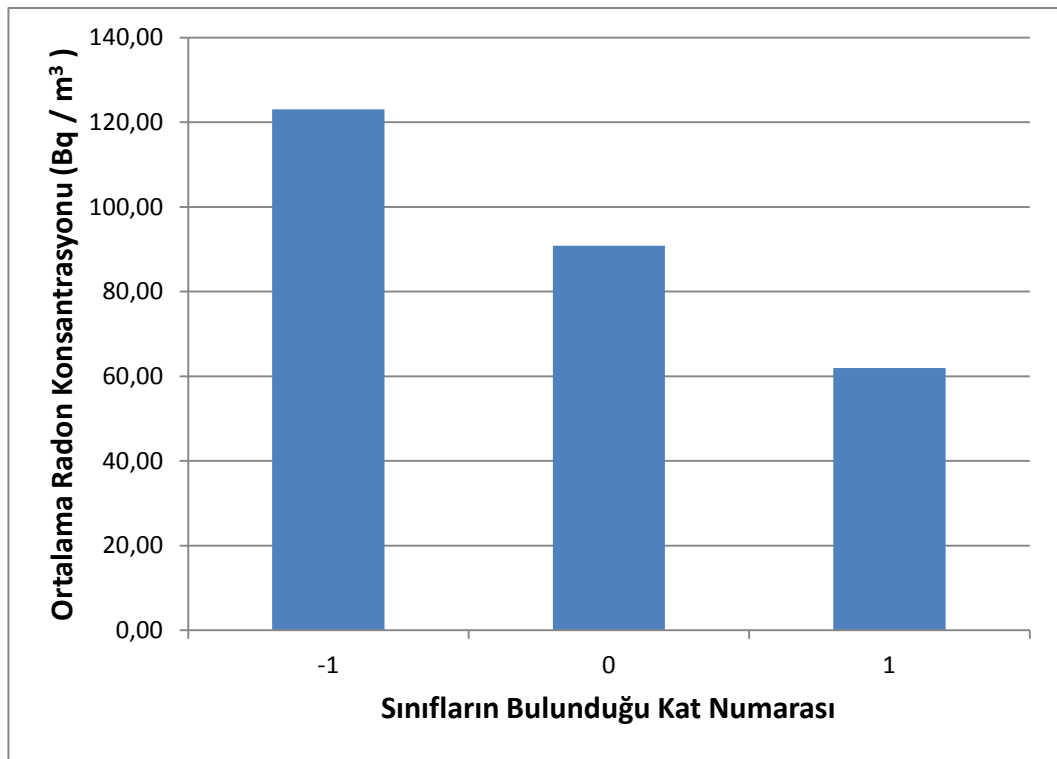
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
56	123.03	0.70	30.6	32.5	-1
57	96.07	0.55	30.15	35.5	0
58	119.85	0.68	30.05	34	0
59	72.10	0.41	30.05	35	0
60	70.54	0.40	30.05	34.5	0
61	95.36	0.54	29.85	35	0
62	96.13	0.55	29.6	36.5	1
63	55.33	0.31	29.45	35	1
64	44.43	0.25	29.6	35	1
65	69.87	0.40	29.85	35	1
66	43.79	0.25	29.9	35	1

**Şekil 4.14:** İbrahim Alaettin Gavsı İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.18’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.15’de grafik olarak gösterilmiştir. Katlarla ters orantılı olarak radon konsantrasyonunun azalması radon konsantrasyonunun üst seviyelere çıktıkça azaldığını göstermektedir.

Tablo 4.18: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
-1	123.03	0.70	30.6	32.5
0	90.79	0.52	30.03	34.80
1	61.91	0.35	29.68	35.30



Şekil 4.15: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

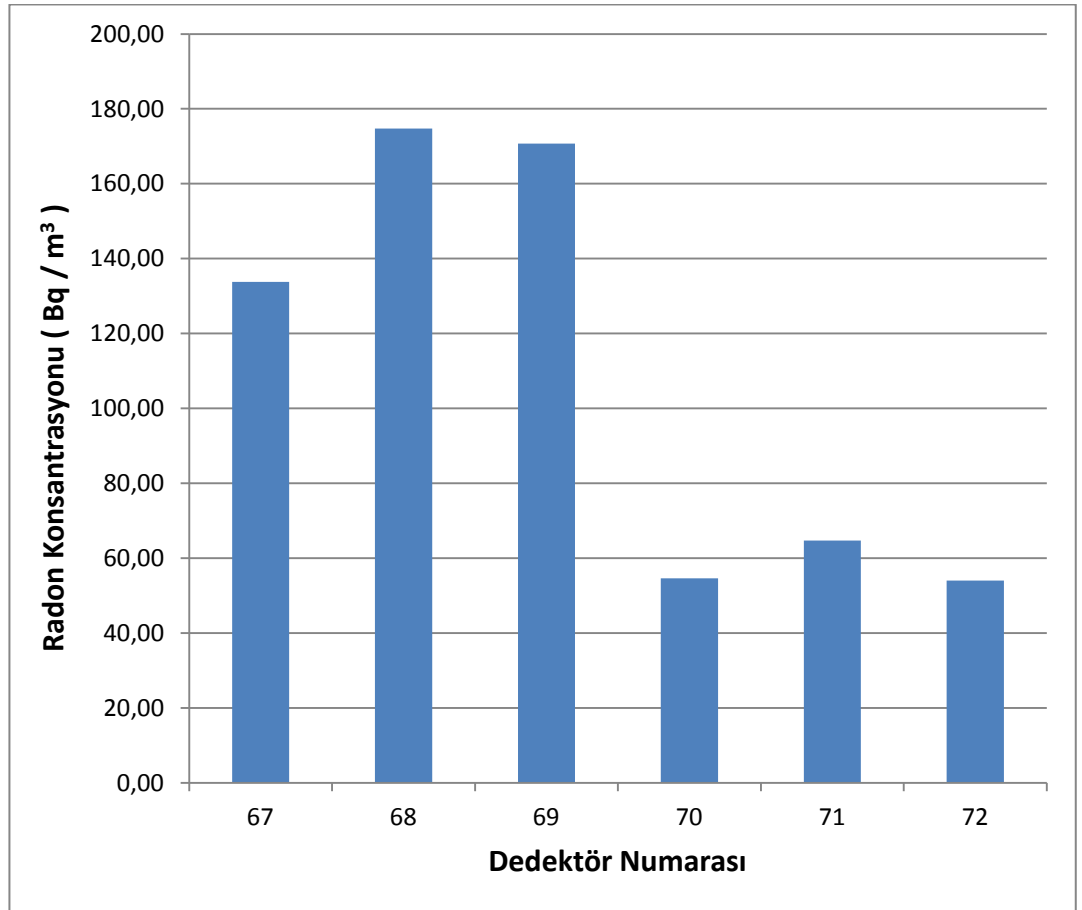
4.1.10. Mehmet Akif İlköğretim Okulu

Tablo 4.19’da Mehmet Akif İlköğretim Okulu’nda 6 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.16’da sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 67, 68 ve 69 numaralı

sınıflardaki radon konsantrasyonu değeri ve buna bağlı olarak yıllık maruz kalınan etkin doz değeri diğer sınıflara oranla oldukça fazladır.

Tablo 4.19: Mehmet Akif İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
67	133.74	0.76	32.2	30.5	0
68	174.78	0.99	32.75	31	1
69	170.68	0.97	30	35	-1
70	54.60	0.31	31.1	37.5	0
71	64.71	0.37	30.1	36.5	1
72	53.99	0.31	30.1	37	2

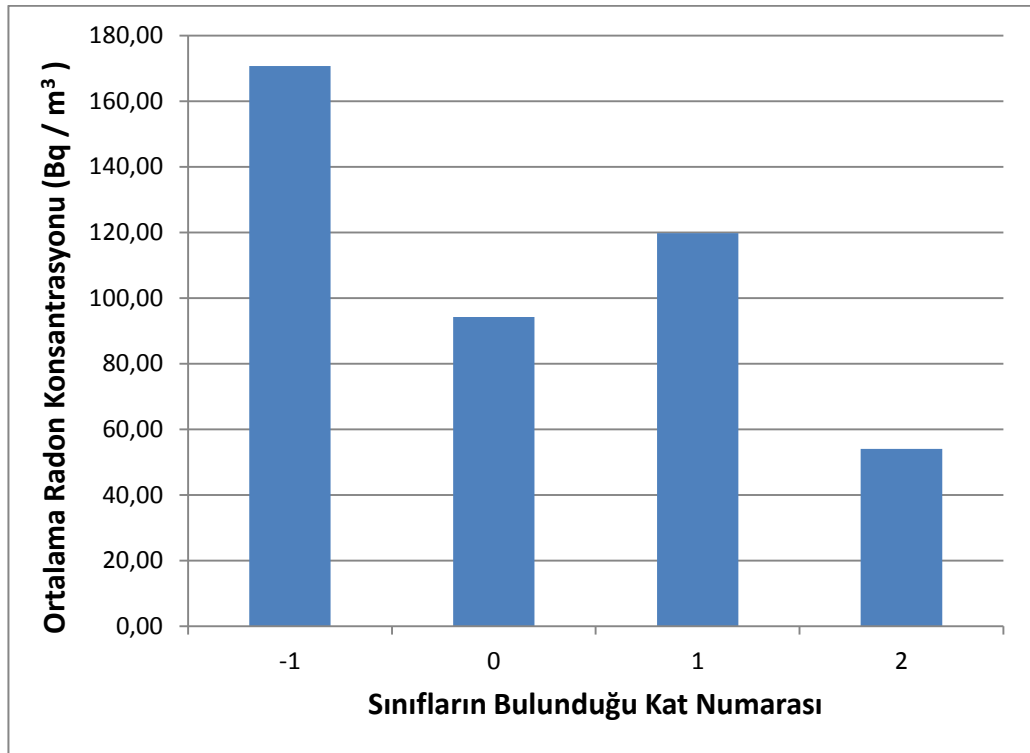


Şekil 4.16: Mehmet Akif İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.20’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.17’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.20: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
-1	170.68	0.97	30	35
0	94.17	0.53	31.65	34.00
1	119.74	0.68	31.43	33.75
2	53.99	0.31	30.1	37



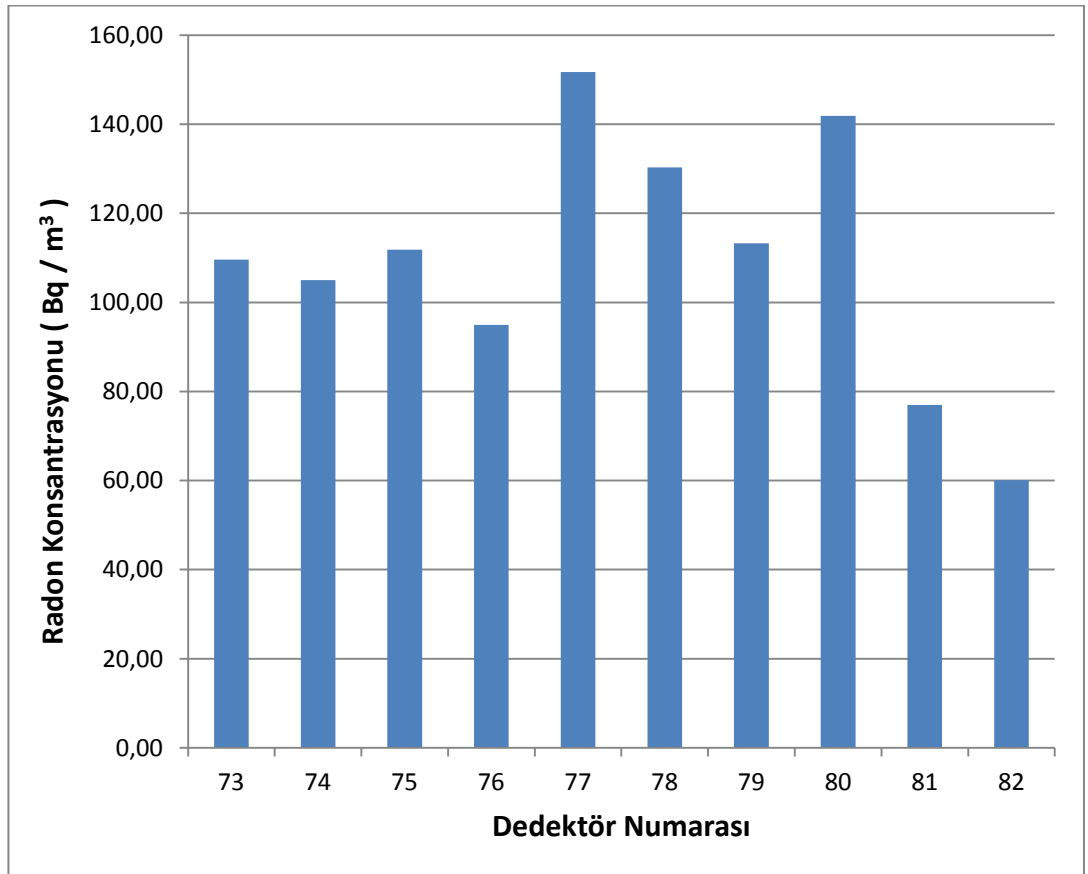
Şekil 4.17: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.11. Mimar Sinan İşitme Engelliler İlköğretim Okulu

Tablo 4.21’de Mimar Sinan İşitme Engelliler İlköğretim Okulu’nda 10 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.18’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. Zemin ve birinci kattaki sınıfların yüksek radon konsantrasyonuna sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4.21: Mimar Sinan İşitme Engelliler İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

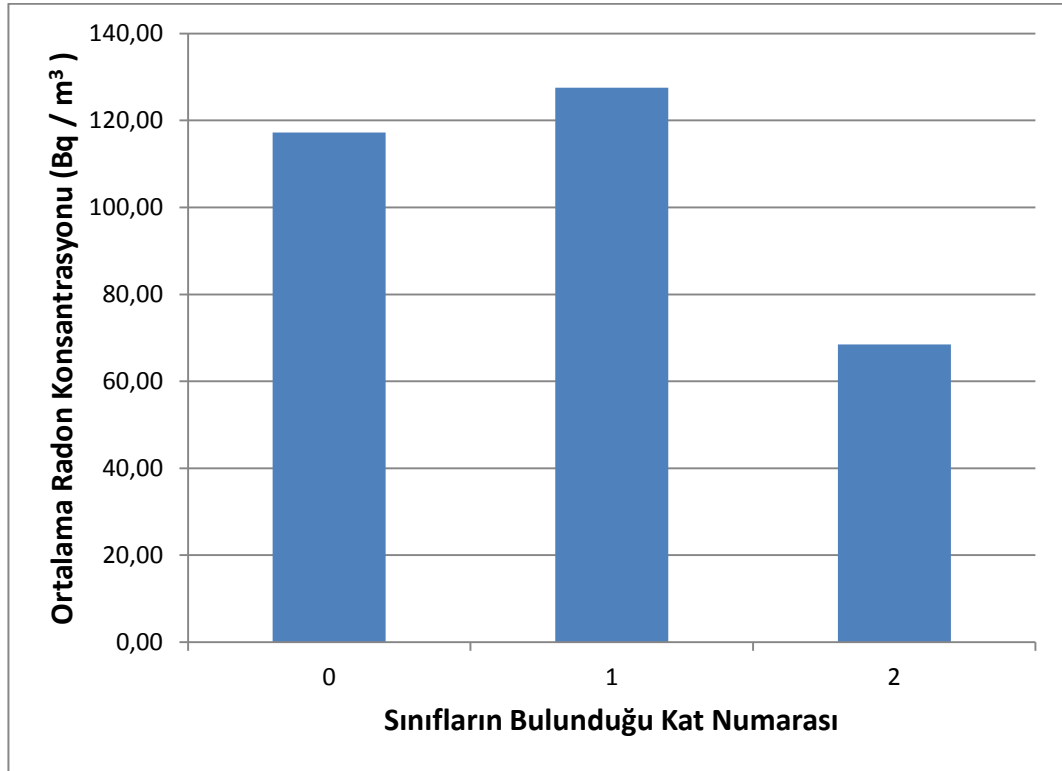
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
73	109.61	0.62	30.55	29	0
74	105.02	0.60	30.35	30	0
75	111.83	0.63	30	31.5	0
76	94.93	0.54	29.6	33	0
77	151.71	0.86	29.4	34	0
78	130.30	0.74	29.3	34.5	0
79	113.26	0.64	29.7	32	1
80	141.83	0.81	29.95	32	1
81	76.95	0.44	29.85	33	2
82	60.06	0.34	29.8	30.5	2

**Şekil 4.18:** Mimar Sinan İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.22’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.19’da grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.22: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	117.23	0.67	29.87	32.00
1	127.54	0.72	29.83	32.00
2	68.51	0.39	29.83	31.75



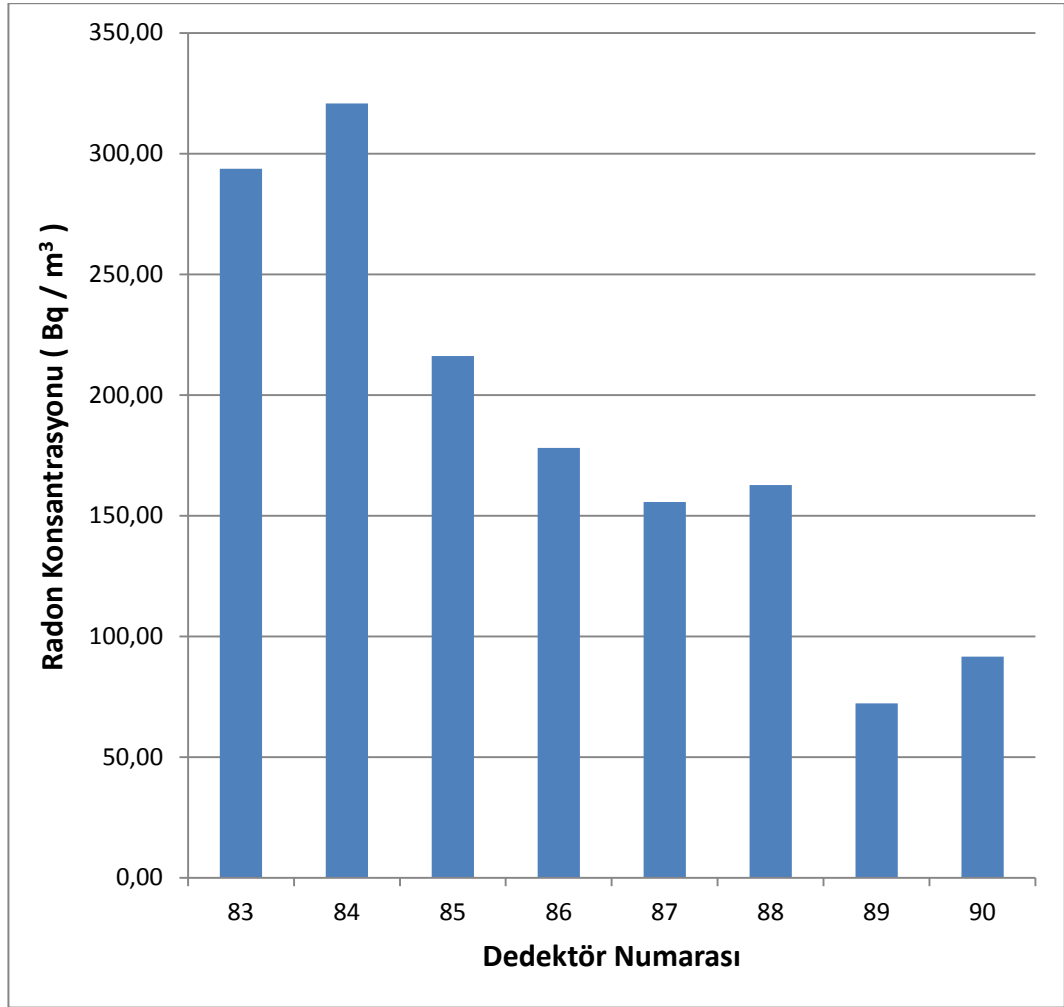
Şekil 4.19: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.12. Tarık Us İlköğretim Okulu

Tablo 4.23’de Tarık Us İlköğretim Okulu’nda 8 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.20’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 84 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.23: Tarık Us İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

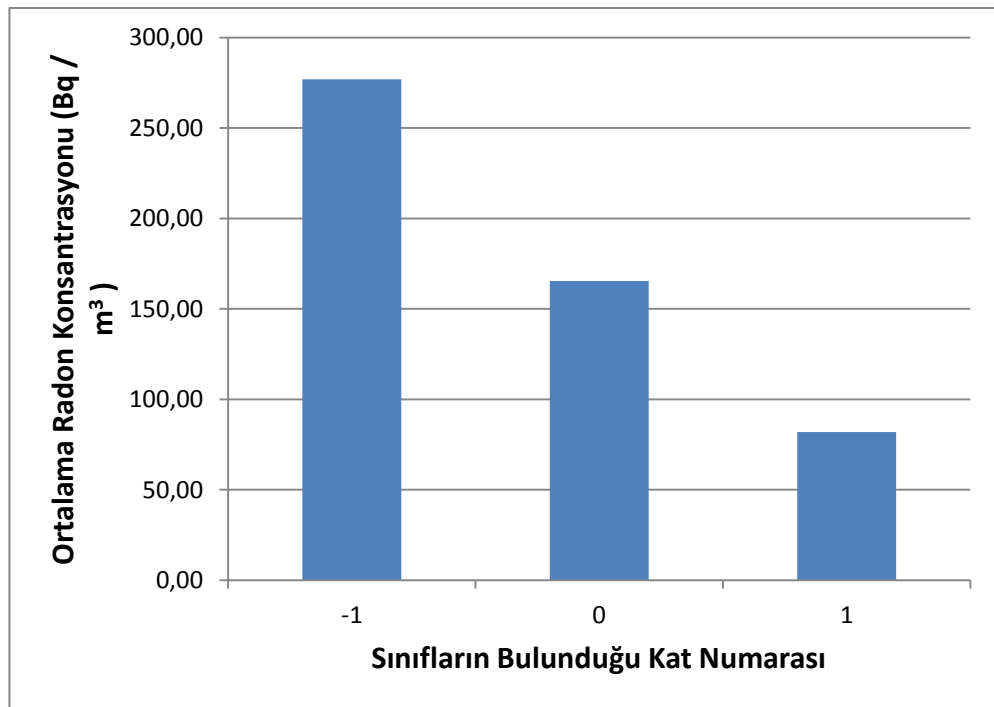
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
83	293.69	1.67	29.25	41.5	-1
84	320.79	1.82	29.15	42	-1
85	216.08	1.23	29.15	41.5	-1
86	178.03	1.01	30.7	34	0
87	155.69	0.88	30.2	35	0
88	162.62	0.92	30.35	36	0
89	72.24	0.41	31.4	31	1
90	91.63	0.52	31.05	33	1

**Şekil 4.20:** Tarık Us İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.24’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.21’de grafik olarak gösterilmiştir. Bodrum katlarda beklenen yüksek radon konsantrasyonu Tarık Us İlköğretim Okulu’nda net bir şekilde gözükmemektedir.

Tablo 4.24: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
-1	276.86	1.57	29.18	41.67
0	165.45	0.94	30.42	35.00
1	81.93	0.47	31.23	32.00



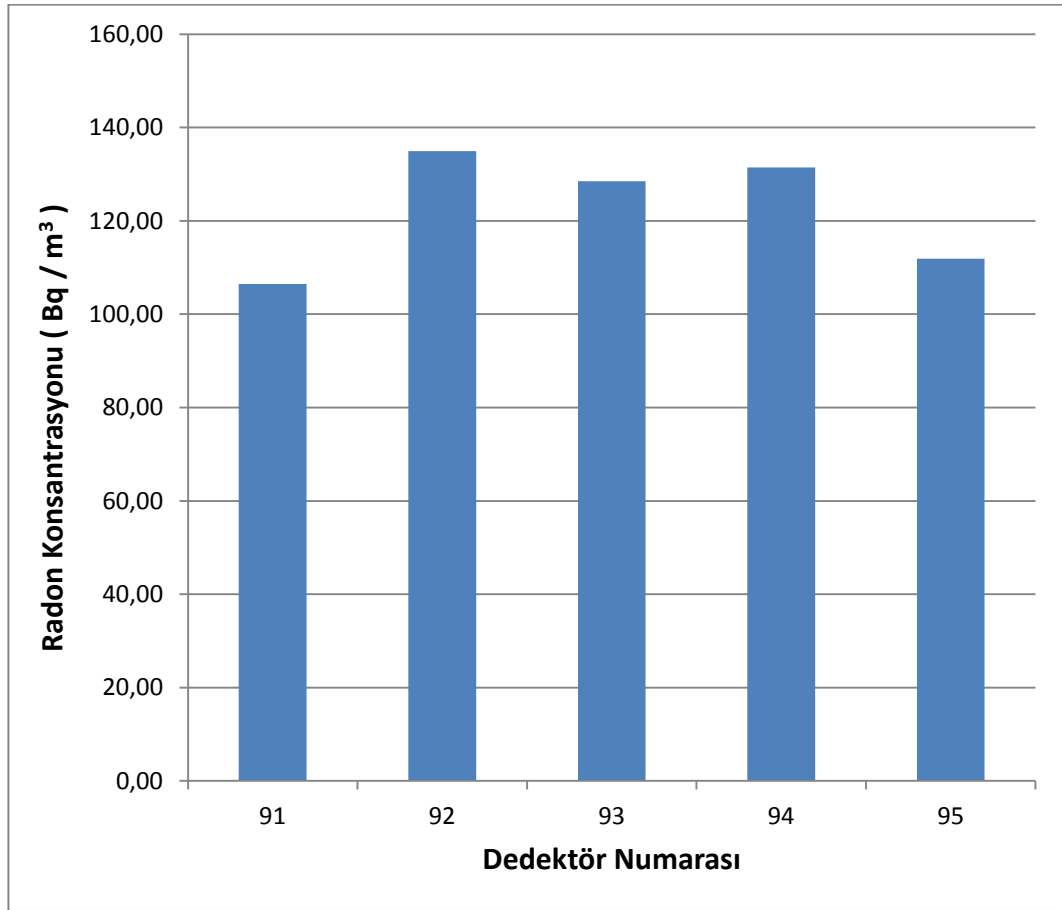
Şekil 4.21: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.13. Hattat Rakım İlköğretim Okulu

Tablo 4.25’de Hattat Rakım İlköğretim Okulu’nda 5 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.22’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. Sınıflardaki radon konsantrasyonu değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

Tablo 4.25: Hattat Rakım İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

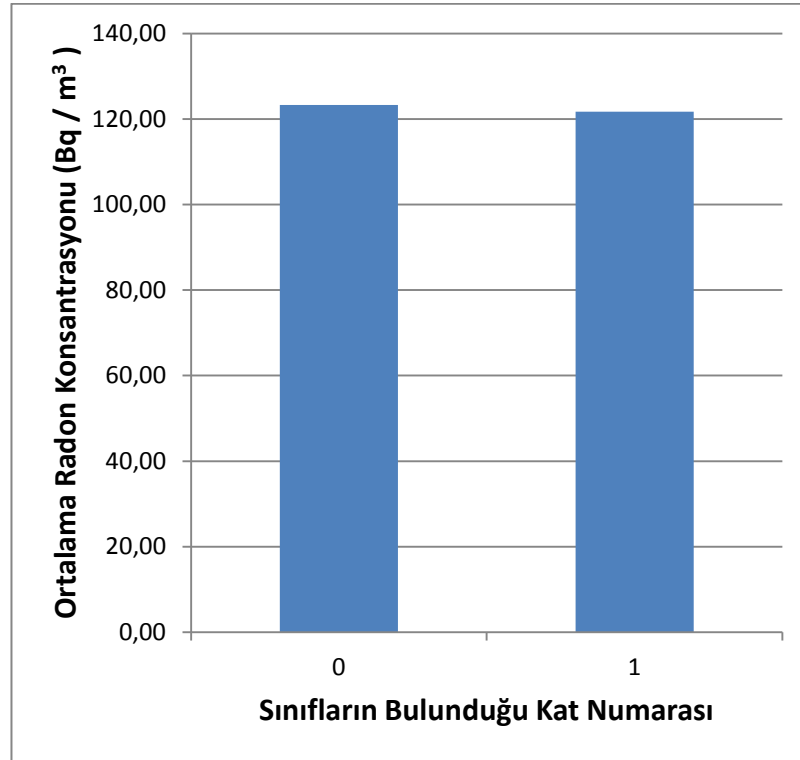
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
91	106.50	0.60	30.1	35.5	0
92	134.92	0.77	31.35	31	0
93	128.48	0.73	31	31.5	0
94	131.43	0.75	30.65	31.5	1
95	111.92	0.64	30.45	32.5	1

**Şekil 4.22:** Hattat Rakım İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.26’da okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.23’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.26: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	123.30	0.70	30.82	32.67
1	121.67	0.69	30.55	32.00



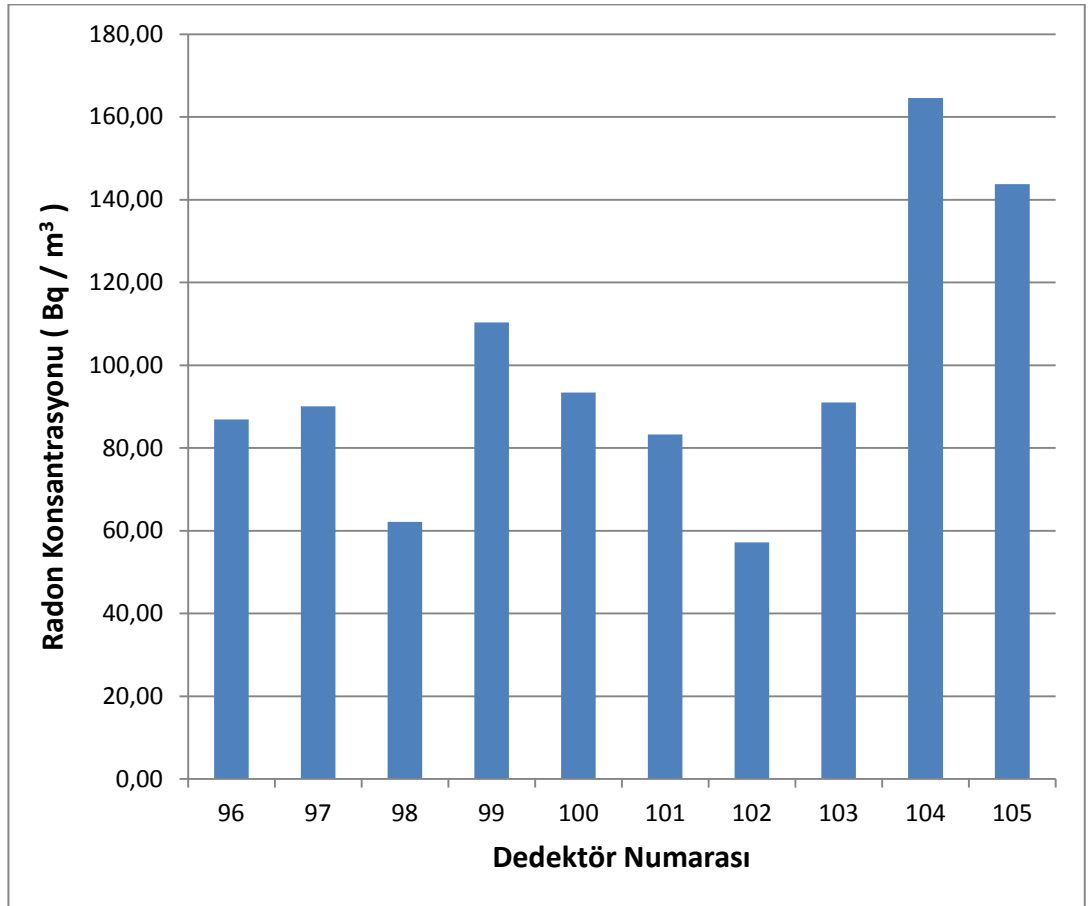
Şekil 4.23: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.14. Yavuz Selim İlköğretim Okulu

Tablo 4.27’de Yavuz Selim İlköğretim Okulu’nda 10 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.24’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 104 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.27: Yavuz Selim İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

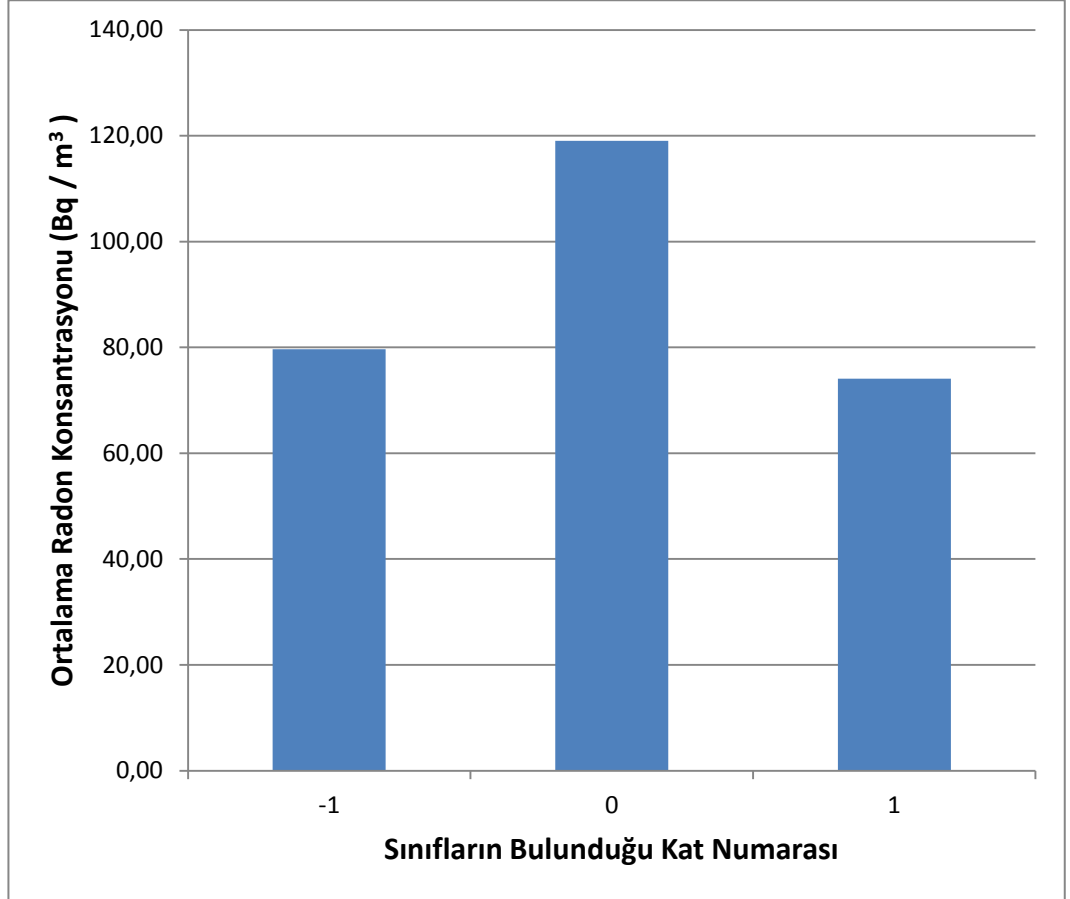
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
96	86.87	0.49	30.1	32.5	-1
97	90.03	0.51	29.9	38	-1
98	62.12	0.35	29.65	38.5	-1
99	110.35	0.63	29.6	40.5	0
100	93.37	0.53	29.75	39.5	0
101	83.26	0.47	30.05	36	0
102	57.19	0.32	30.05	36	1
103	91.02	0.52	30.5	32.5	1
104	164.54	0.93	30.45	35	0
105	143.77	0.82	29.7	37.5	0

**Şekil 4.24:** Yavuz Selim İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.28’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.25’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.28: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
-1	79.67	0.45	29.88	36.33
0	119.06	0.68	29.91	37.70
1	74.10	0.42	30.28	34.25



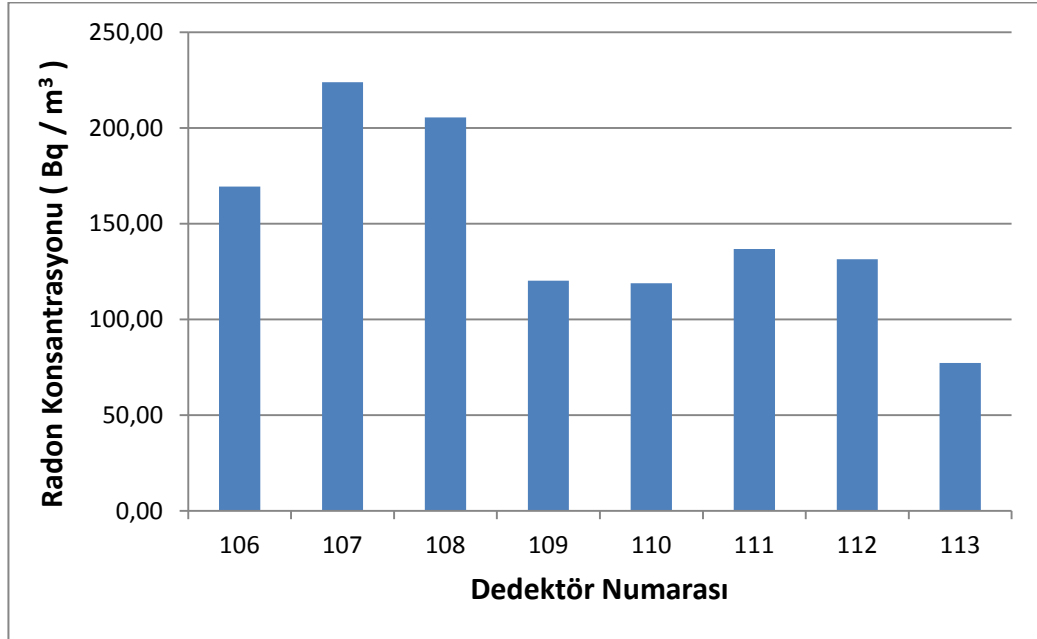
Şekil 4.25: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.15. Emin Ali Yasin İlköğretim

Tablo 4.29’da Emin Ali Yasin İlköğretim Okulu’nda 8 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.26’da sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. Bodrum katlarda radon konsantrasyon değerlerinin yüksek çıktığı net bir şekilde gözükmemektedir.

Tablo 4.29: Emin Ali Yasin İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
106	169.36	0.96	30	35.5	-1
107	223.91	1.27	29.9	37	-1
108	205.49	1.17	29.7	32.5	-1
109	120.20	0.68	29.3	35	0
110	118.93	0.68	29.3	36.5	0
111	136.72	0.78	28.7	40.5	0
112	131.37	0.75	28.9	40	1
113	77.18	0.44	29.3	39.5	2

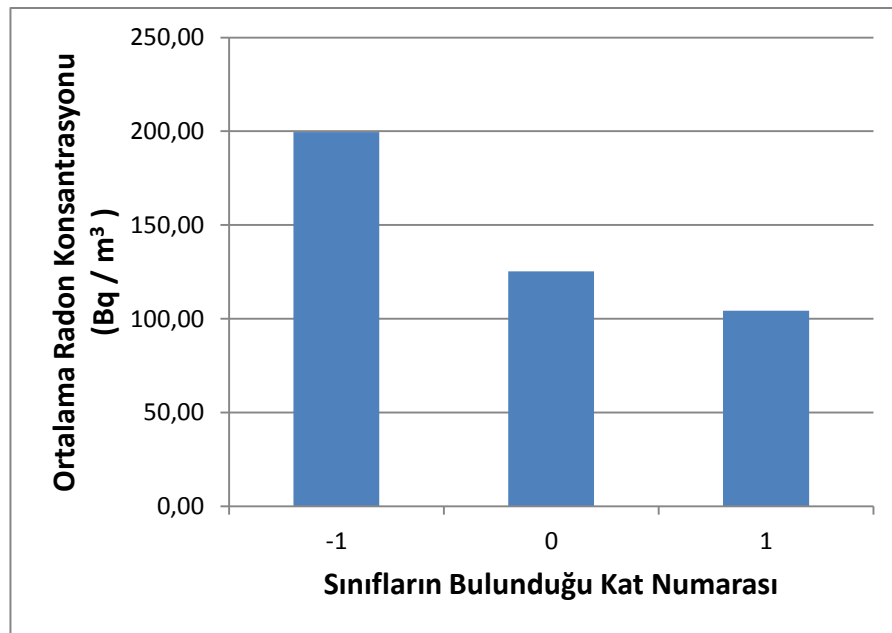


Şekil 4.26: Emin Ali Yasin İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.30’da okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.27’de grafik olarak gösterilmiştir. Radon konsantrasyonu bodrum kattan yukarı katlara çıkıldıkça azalmaktadır.

Tablo 4.30: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
-1	199.58	1.13	29.87	35.00
0	125.28	0.71	29.10	37.33
1	104.27	0.59	29.10	39.75



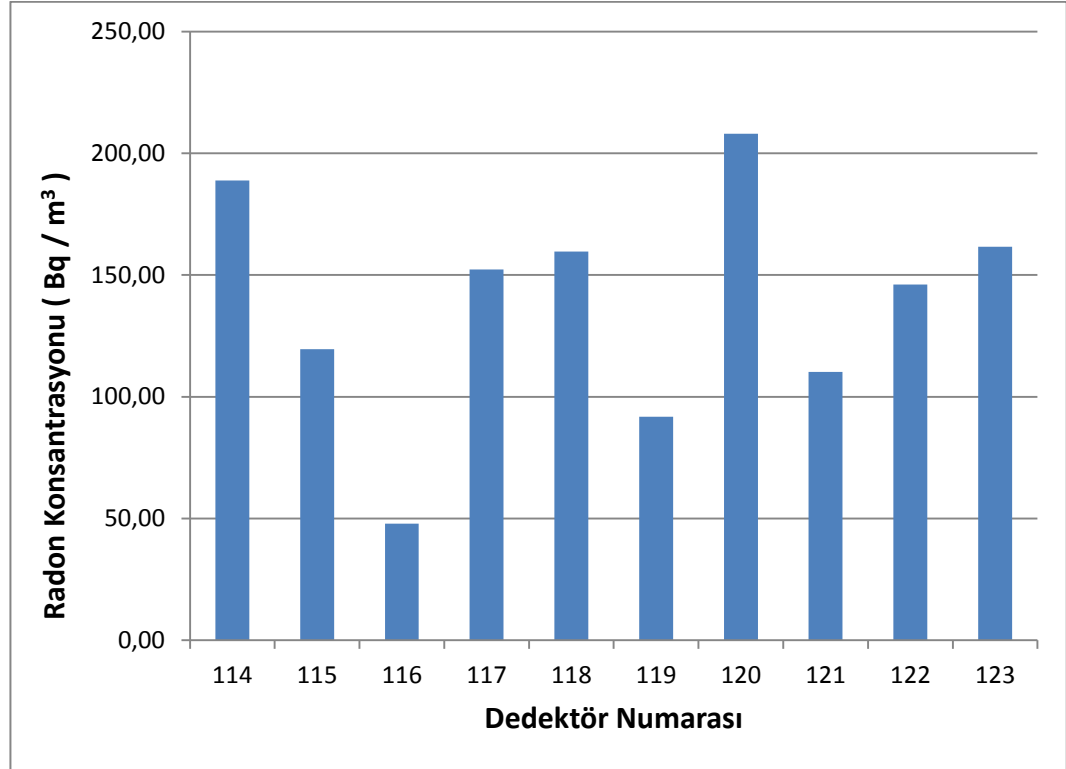
Şekil 4.27: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.16. Çapa İlköğretim Okulu

Tablo 4.31’de Çapa İlköğretim Okulu’nda 10 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.28’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 120 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.31: Çapa İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

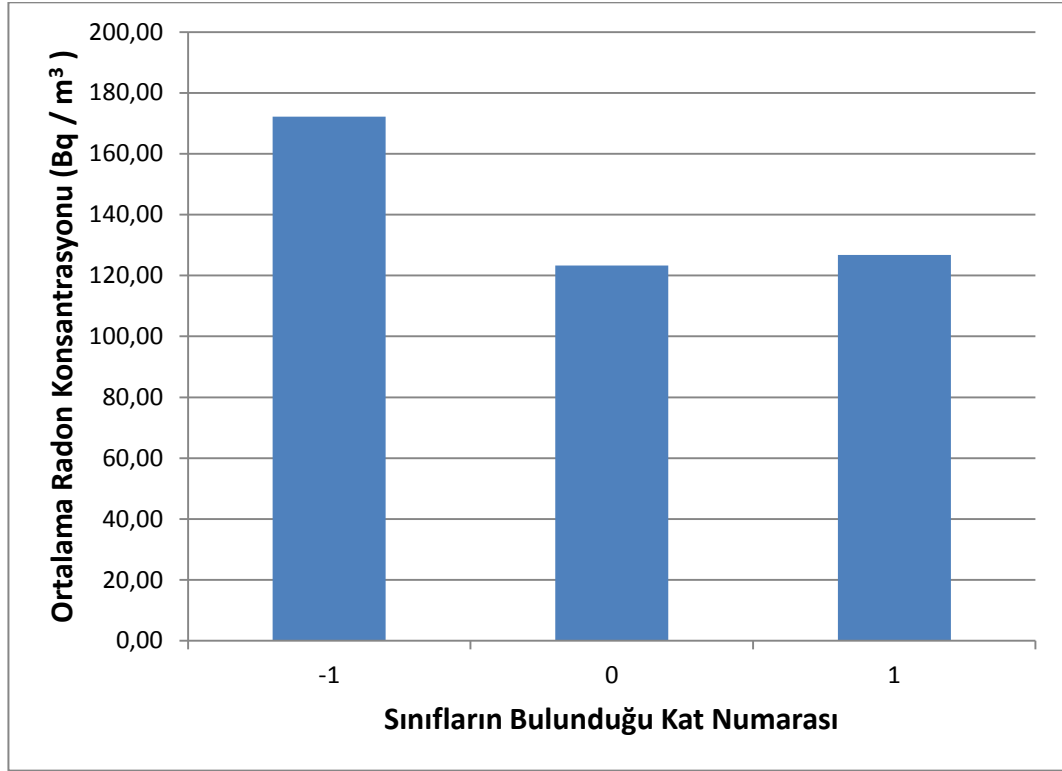
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
114	188.85	1.07	28.6	40	-1
115	119.56	0.68	28.75	39.5	-1
116	47.94	0.27	28.85	37.5	0
117	152.29	0.86	29.4	37	0
118	159.65	0.91	29.15	37	0
119	91.83	0.52	29.65	37	1
120	208.04	1.18	29.45	43.5	-1
121	110.14	0.63	29.55	44.5	0
122	146.14	0.83	29.6	43	0
123	161.59	0.92	29.15	43.5	1

**Şekil 4.28:** Çapa İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.32’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.29’da grafik olarak gösterilmiştir. Bodrum katta beklenildiği gibi radon konsantrasyon değeri diğer katlara göre yüksek çıkmıştır.

Tablo 4.32: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
-1	172.15	0.98	28.93	41.00
0	123.23	0.70	29.31	39.80
1	126.71	0.72	29.40	40.25

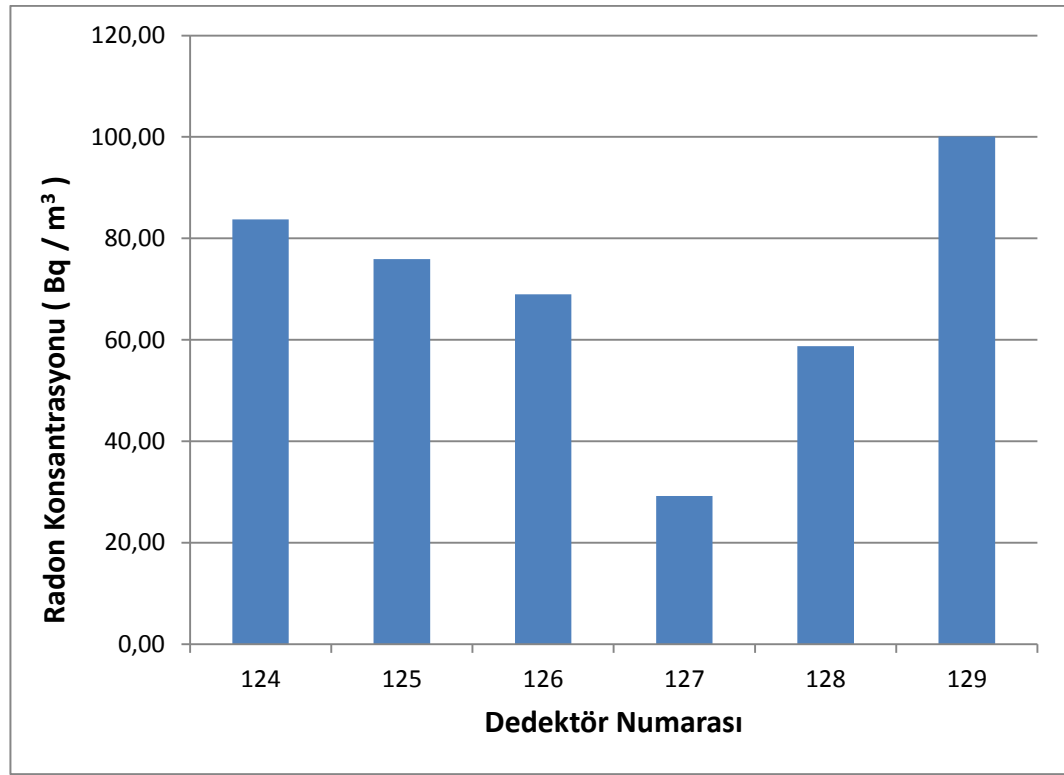
**Şekil 4.29:** Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.17. Vasıf Çınar İlköğretim Okulu

Tablo 4.33’de Vasıf Çınar İlköğretim Okulu’nda 6 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.30’da sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 129 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.33: Vasıf Çınar İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

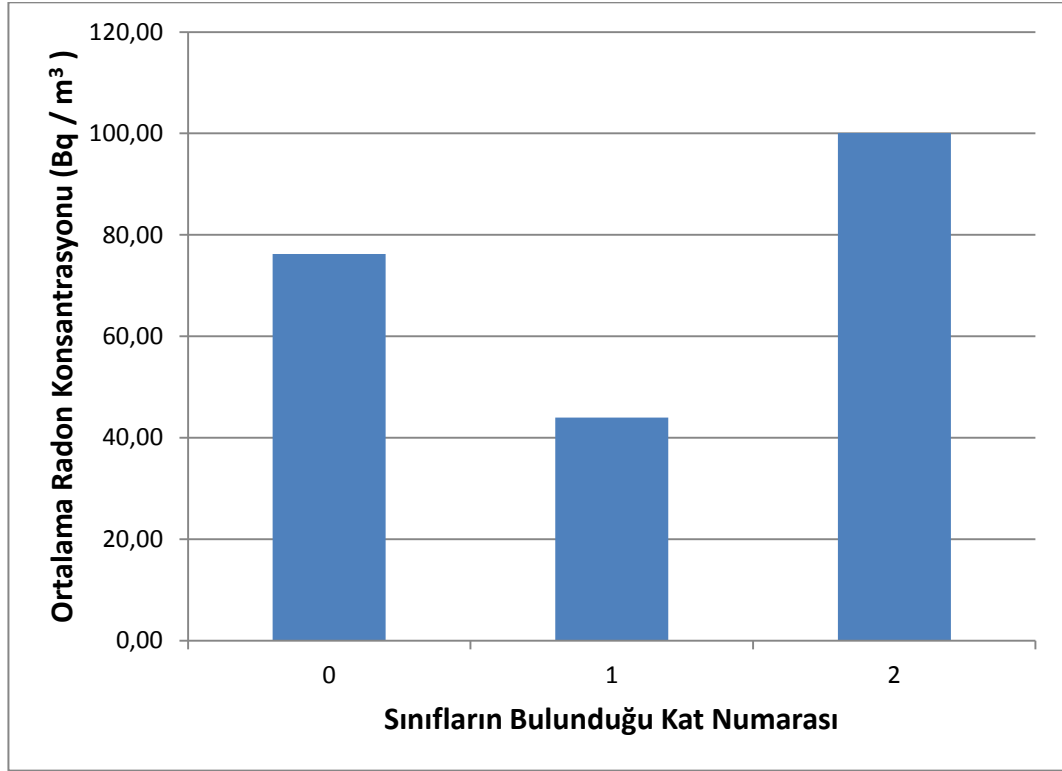
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
124	83.74	0.48	30.5	31.5	0
125	75.94	0.43	29.8	36	0
126	68.99	0.39	29.3	38.5	0
127	29.25	0.17	29.85	32.5	1
128	58.75	0.33	29.7	33	1
129	100.12	0.57	29.8	34.5	2

**Şekil 4.30:** Vasıf Çınar İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.34’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.31’de grafik olarak gösterilmiştir. Üst katlarda radon konsantrasyon değerinin alt katlara göre yüksek çıkması beklenmeyen bir durumdur. Zemin ve birinci katta havalandırmanın yapılıyor olması ve ikinci katta camların kapalı olup havalandırma yapılmıyor olması bu durumu açıklayabilir.

Tablo 4.34: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	76.22	0.43	29.87	35.33
1	44.00	0.25	29.78	32.75
2	100.12	0.57	29.8	34.5

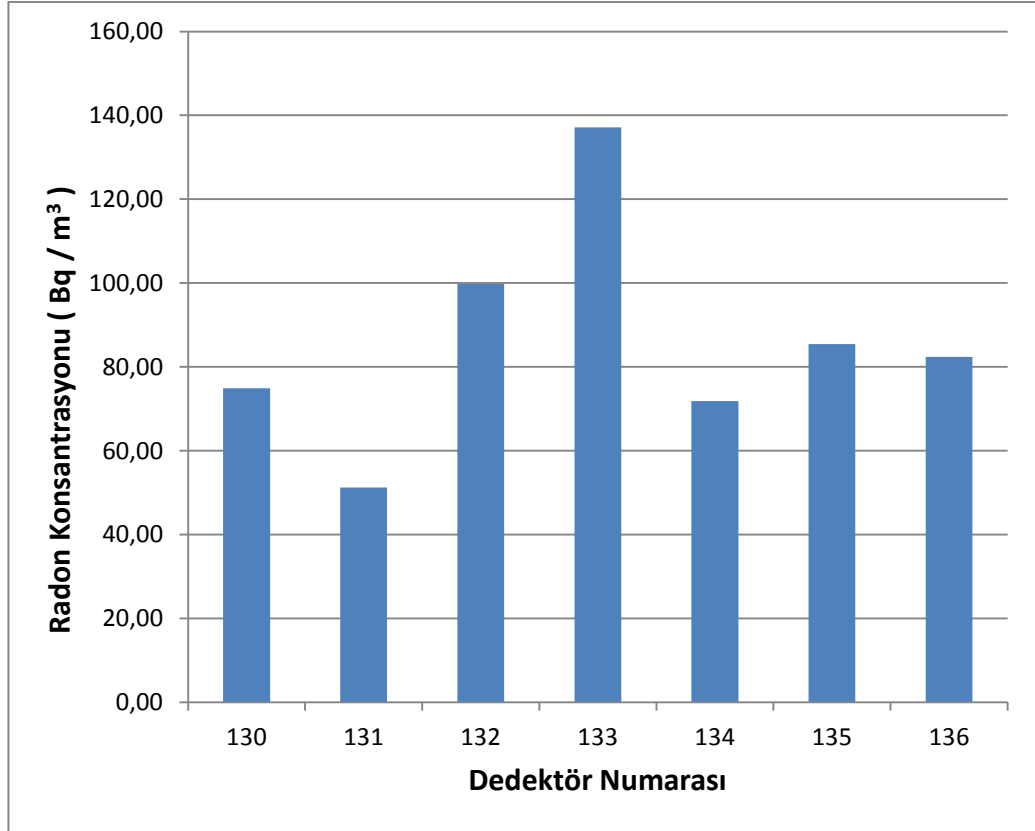
**Şekil 4.31:** Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.18. Çapa Atatürk İlköğretim Okulu

Tablo 4.35’de Çapa Atatürk İlköğretim Okulu’nda 7 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.32’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 133 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.35: Çapa Atatürk İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

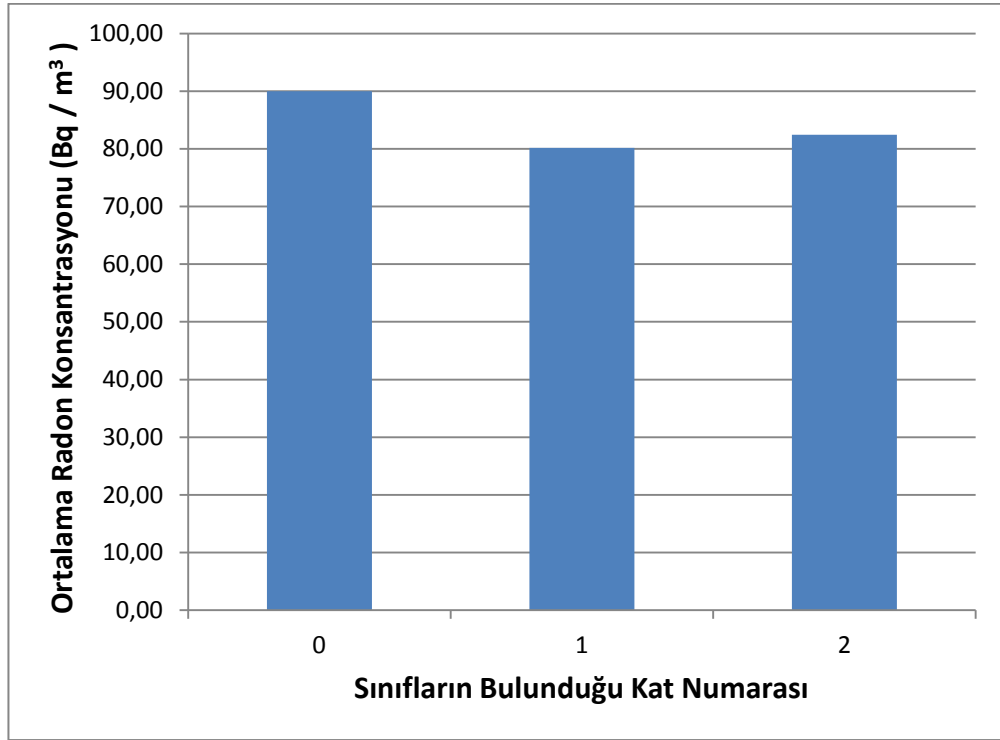
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
130	74.87	0.43	29.2	39.5	1
131	51.26	0.29	29.65	39	0
132	99.78	0.57	29.4	39.5	0
133	137.16	0.78	29.45	39	0
134	71.81	0.41	29.35	39	0
135	85.41	0.48	29.65	39	1
136	82.41	0.47	29.55	40	2

**Şekil 4.32:** Çapa Atatürk İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.36’da okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.33’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.36: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	90.00	0.51	29.46	39.13
1	80.14	0.45	29.43	39.25
2	82.41	0.47	29.55	40



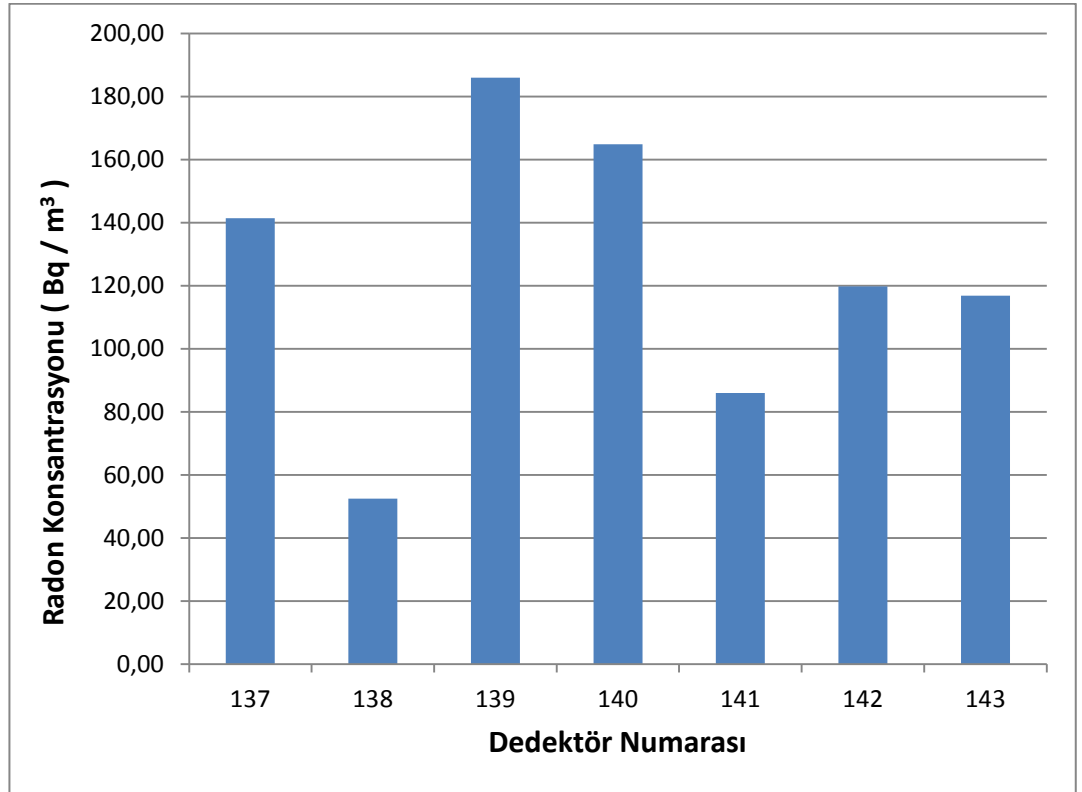
Şekil 4.33: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.19. Hekimoğlu Ali Paşa İlköğretim Okulu

Tablo 4.37’de Hekimoğlu Ali Paşa İlköğretim Okulu’nda 7 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.34’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 139 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.37: Hekimoğlu Ali Paşa İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

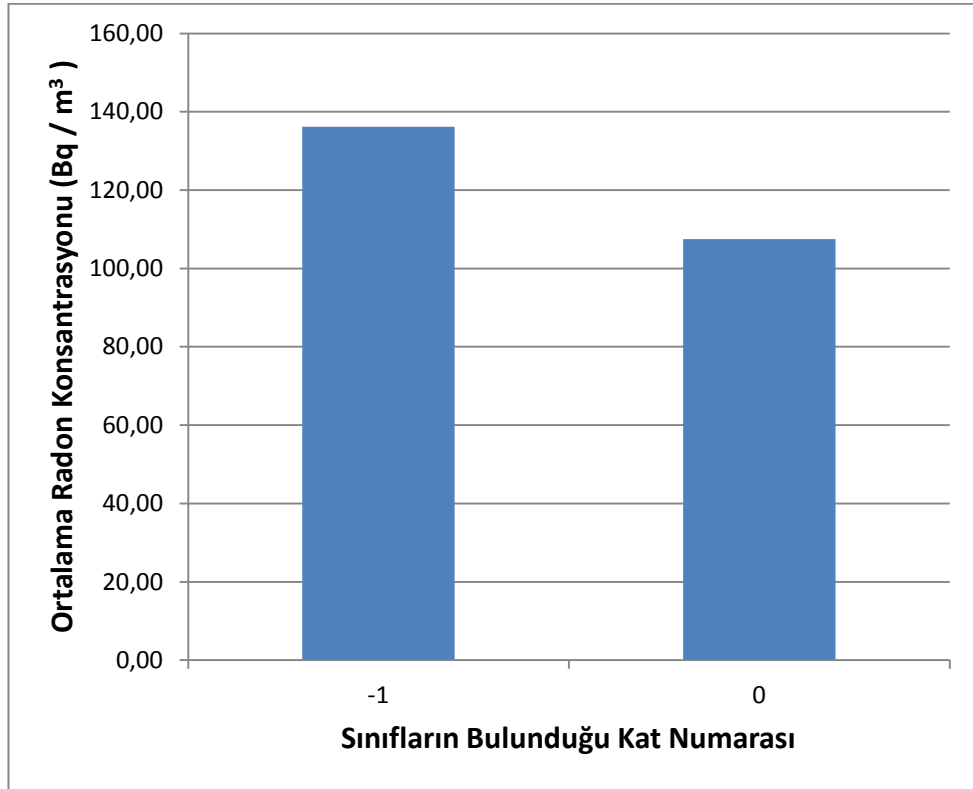
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
137	141.34	0.80	29.8	45	-1
138	52.44	0.30	29.55	47.5	-1
139	185.97	1.06	29.5	44	-1
140	164.83	0.94	29.7	46.5	-1
141	86.00	0.49	29.8	45	0
142	119.79	0.68	30	44	0
143	116.82	0.66	29.4	48.5	0

**Şekil 4.34:** Hekimoğlu Ali Paşa İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.38’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.35’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.38: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
-1	136.14	0.77	29.64	45.75
0	107.54	0.61	29.73	45.83



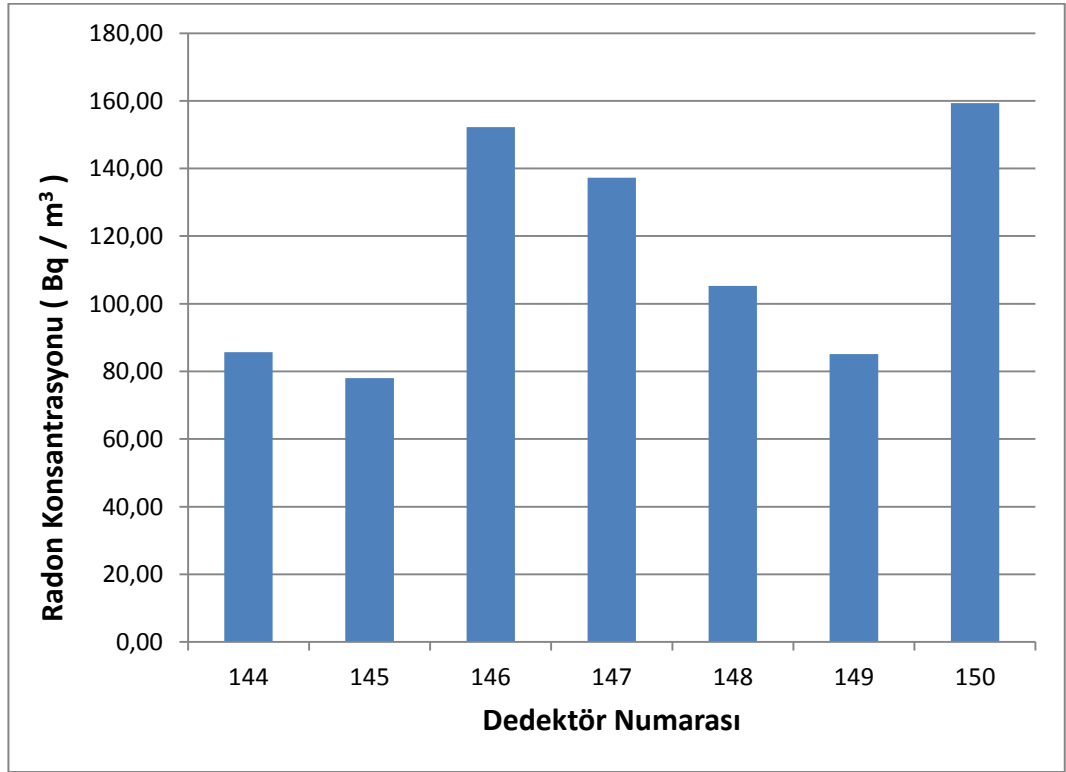
Şekil 4.35: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.20. Gazi İmam Hatip İlköğretim Okulu

Tablo 4.39’da Gazi İmam Hatip İlköğretim Okulu’nda 7 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.36’da sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 150 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.39: Gazi İmam Hatip İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

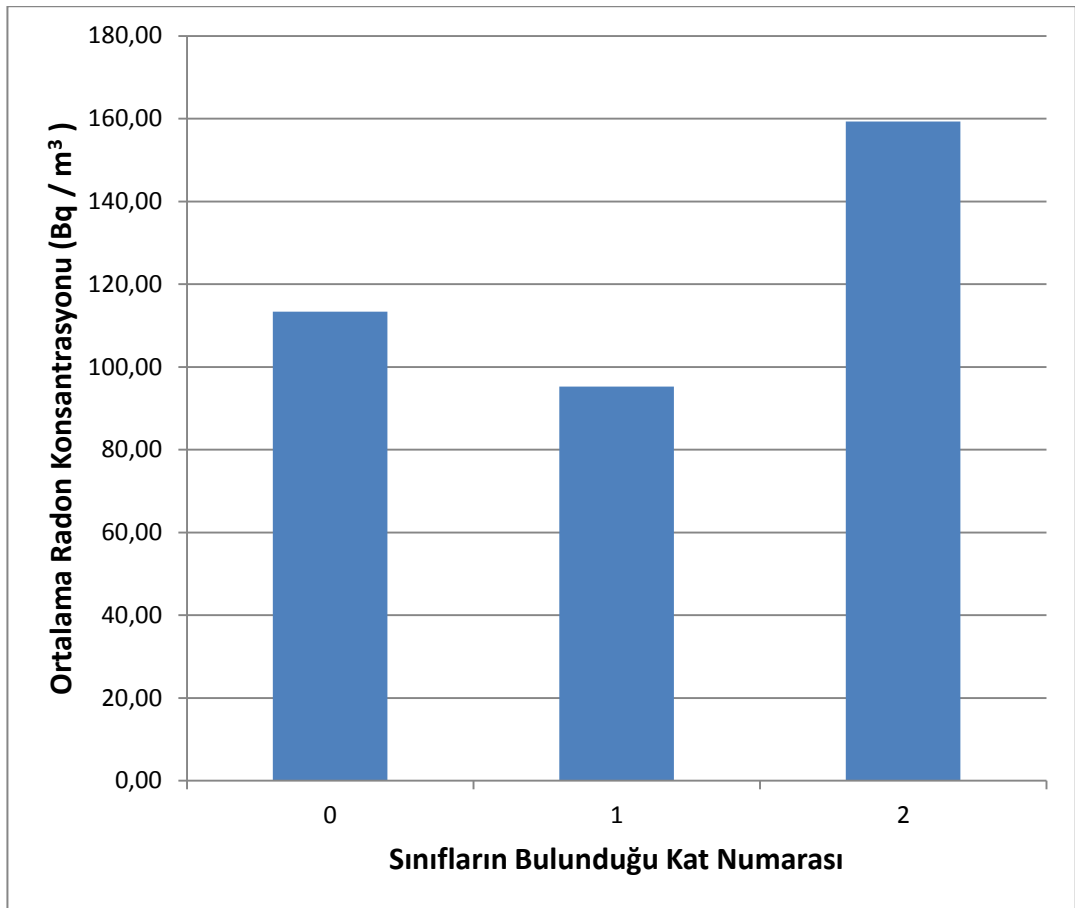
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
144	85.70	0.49	30.2	39.5	0
145	78.05	0.44	30.05	38	0
146	152.23	0.86	30	39	0
147	137.28	0.78	30.1	38.5	0
148	105.31	0.60	30.1	38	1
149	85.12	0.48	30.2	38.5	1
150	159.30	0.90	30.4	38	2

**Şekil 4.36:** Gazi İmam Hatip İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.40’da okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.37’de grafik olarak gösterilmiştir. Zemin ve birinci katta havalandırmanın yapılıyor olması ve ikinci katta camların kapalı olup havalandırma yapılmıyor olması bu durumu açıklayabilir.

Tablo 4.40: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	113.32	0.64	30.09	38.75
1	95.21	0.54	30.15	38.25
2	159.30	0.90	30.4	38



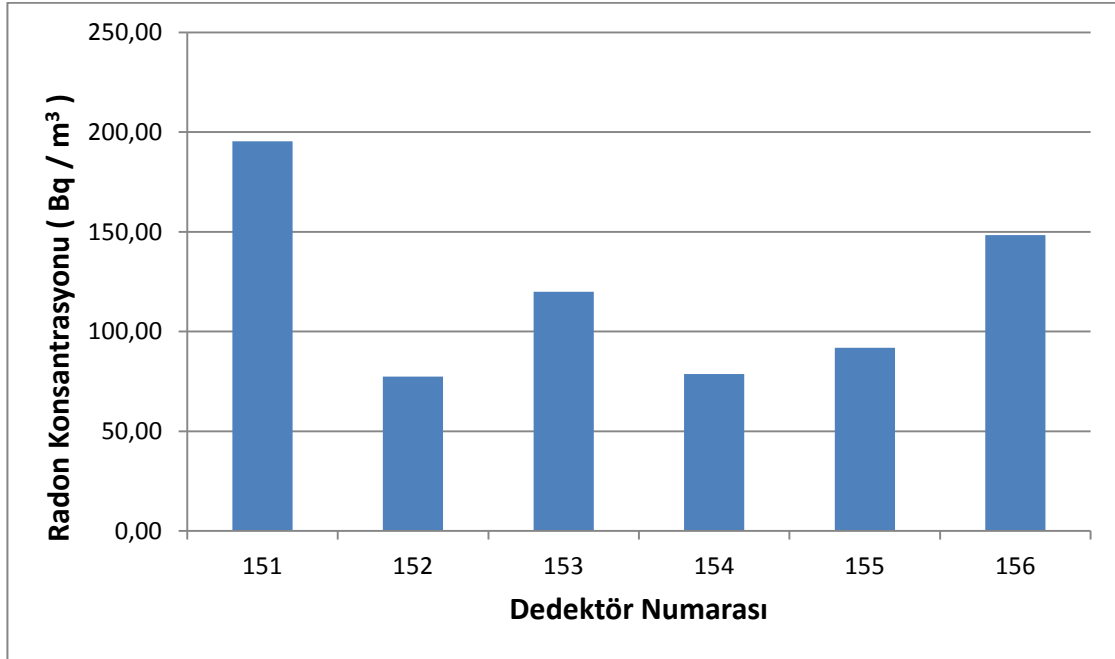
Şekil 4.37: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.21. Nişancı Mehmet Paşa İlköğretim Okulu

Tablo 4.41’de Nişancı Mehmet Paşa İlköğretim Okulu’nda 6 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.38’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 151 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.41: Nişancı Mehmet Paşa İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
151	195.40	1.11	30.55	40.5	1
152	77.33	0.44	29.85	46.5	1
153	120.01	0.68	29.85	43	2
154	78.66	0.45	29.8	43.5	2
155	91.79	0.52	29.35	45	2
156	148.29	0.84	29.2	45.5	2

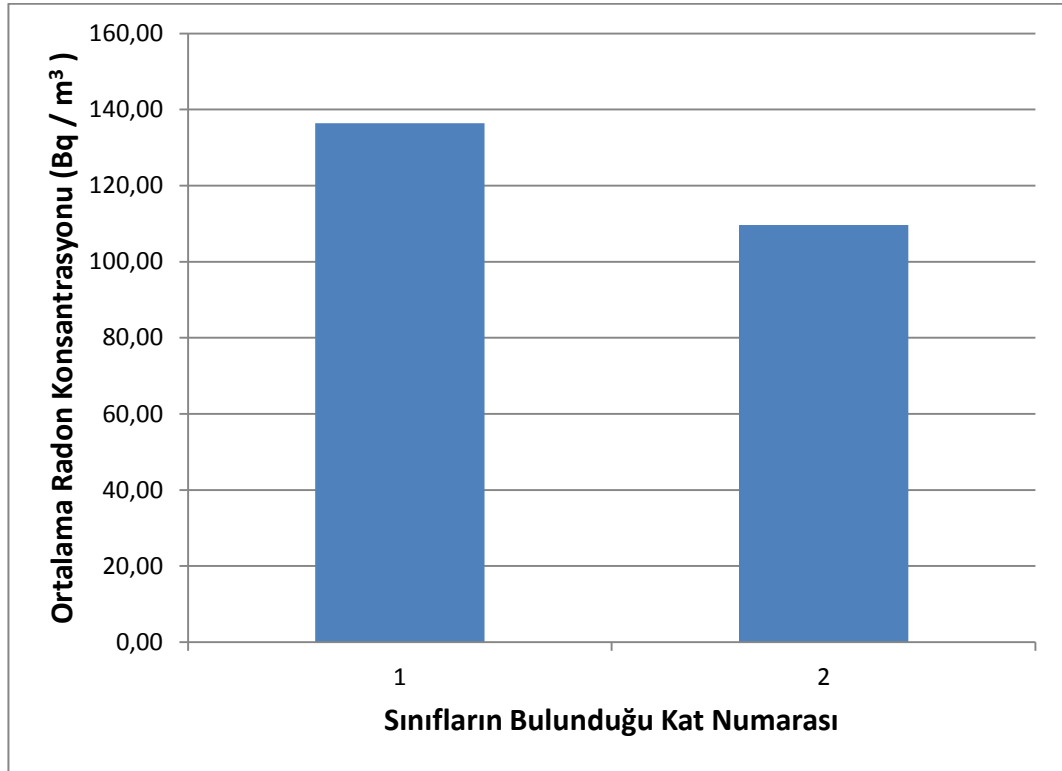


Şekil 4.38: Nişancı Mehmet Paşa İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.42’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.39’da grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.42: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
1	136.37	0.77	30.20	43.50
2	109.69	0.62	29.55	44.25



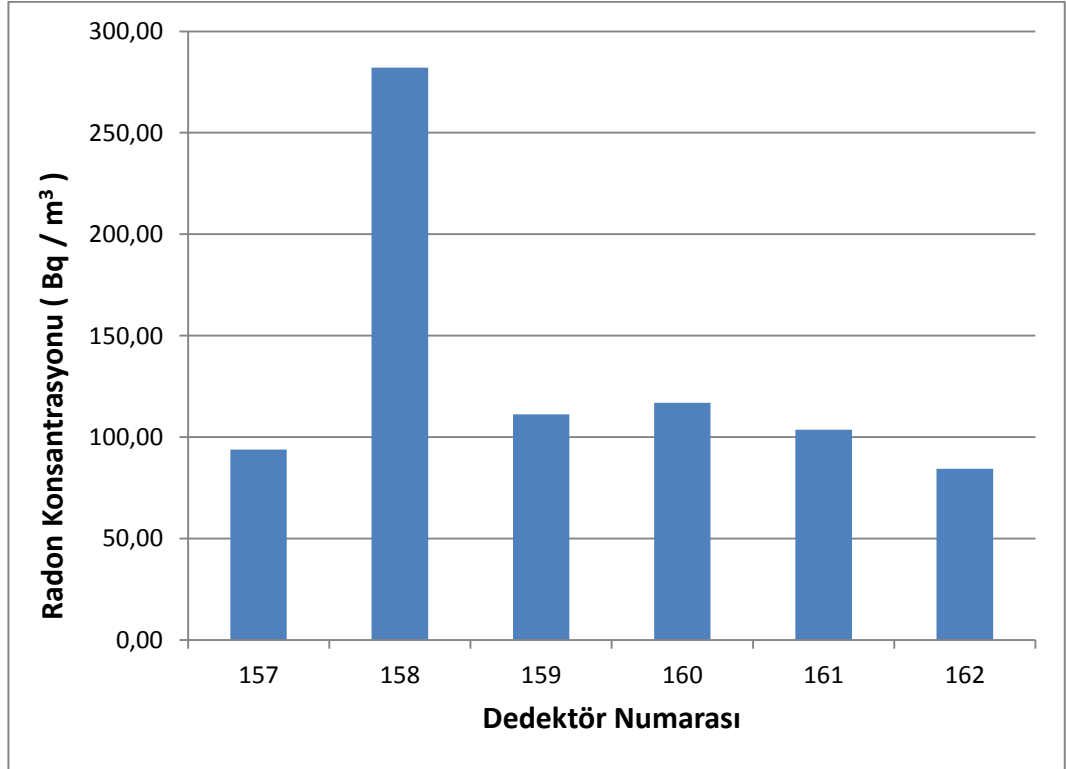
Şekil 4.39: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.22. Melek Hatun İlköğretim Okulu

Tablo 4.43’de Melek Hatun İlköğretim Okulu’nda 6 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.40’da sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 158 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.43: Melek Hatun İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

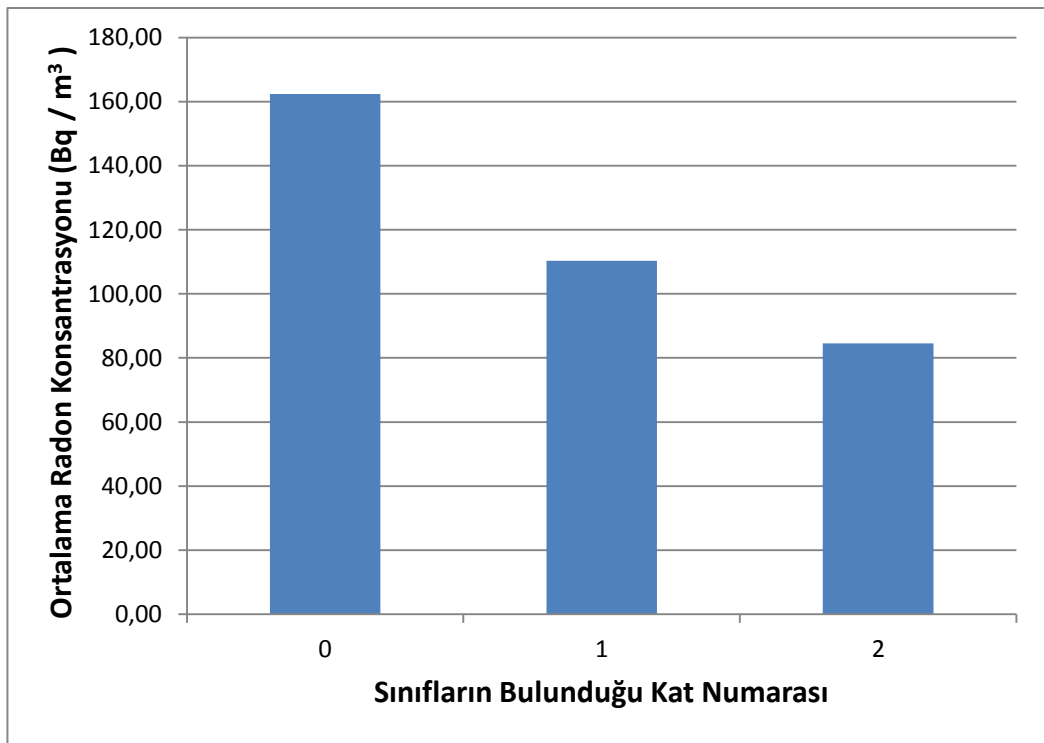
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
157	93.83	0.53	30.7	35	0
158	282.05	1.60	30.55	34	0
159	111.26	0.63	30.35	33.5	0
160	116.91	0.66	30.05	33.5	1
161	103.72	0.59	29.65	35	1
162	84.50	0.48	29.5	31.5	2

**Şekil 4.40:** Melek Hatun İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.44’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.41’de grafik olarak gösterilmiştir. Beklenildiği gibi zemin katta yukarı katlara çıkıldıkça radon konsantrasyon değeri azalmaktadır.

Tablo 4.44: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	162.38	0.92	30.53	34.17
1	110.31	0.63	29.85	34.25
2	84.50	0.48	29.5	31.5



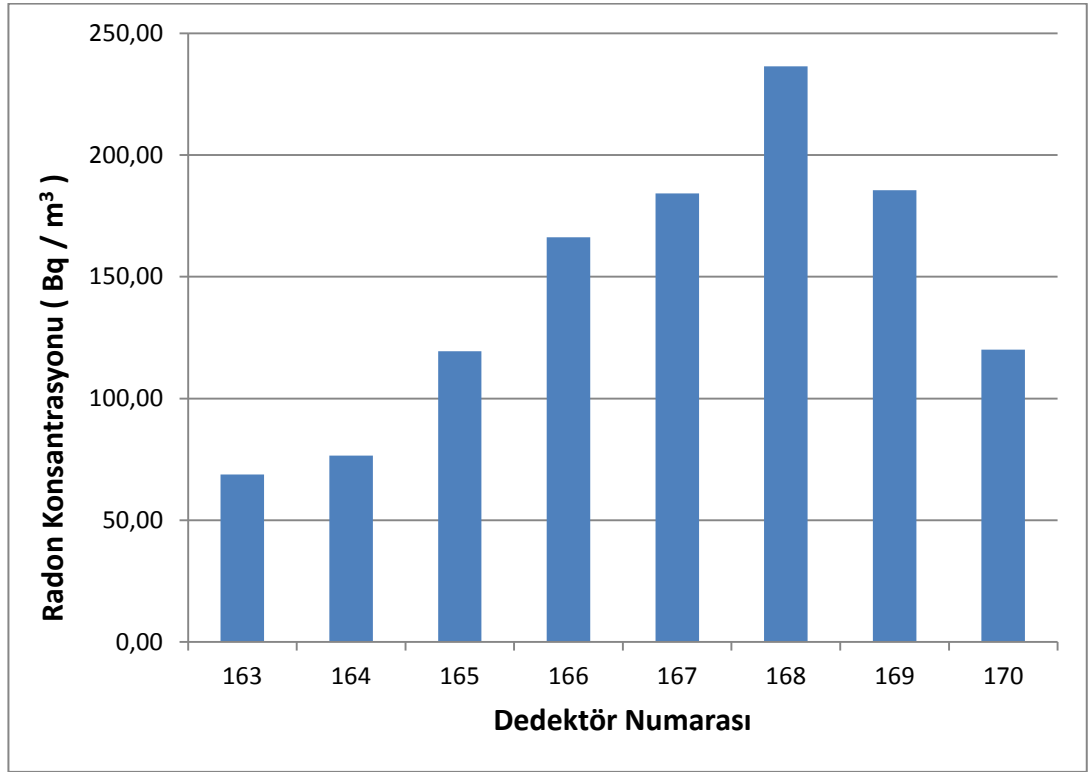
Şekil 4.41: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.23. Sancaktar Hayrettin İlköğretim Okulu

Tablo 4.45’de Sancaktar Hayrettin İlköğretim Okulu’nda 8 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.42’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 168 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.45: Sancaktar Hayrettin İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

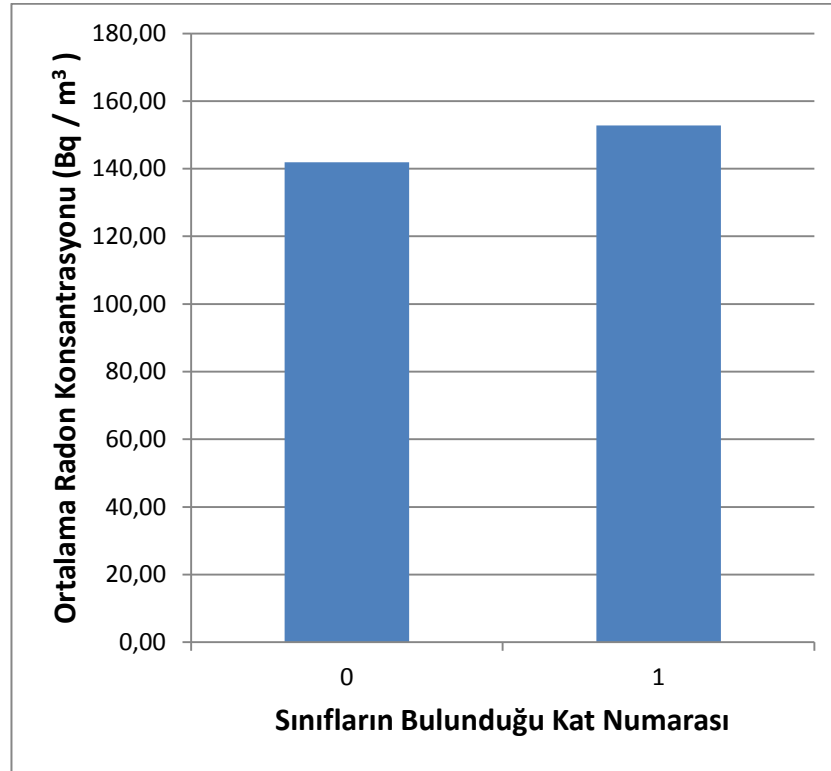
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
163	68.81	0.39	32.25	32.5	0
164	76.51	0.43	31.4	30.5	0
165	119.38	0.68	31.2	29.5	0
166	166.17	0.94	31.15	33	0
167	184.14	1.05	31.05	30	0
168	236.43	1.34	31.15	30.5	0
169	185.50	1.05	31.2	31	1
170	120.02	0.68	31.15	31	1

**Şekil 4.42:** Sancaktar Hayrettin İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.46’da okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.43’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.46: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	141.91	0.81	31.37	31.00
1	152.76	0.87	31.18	31.00



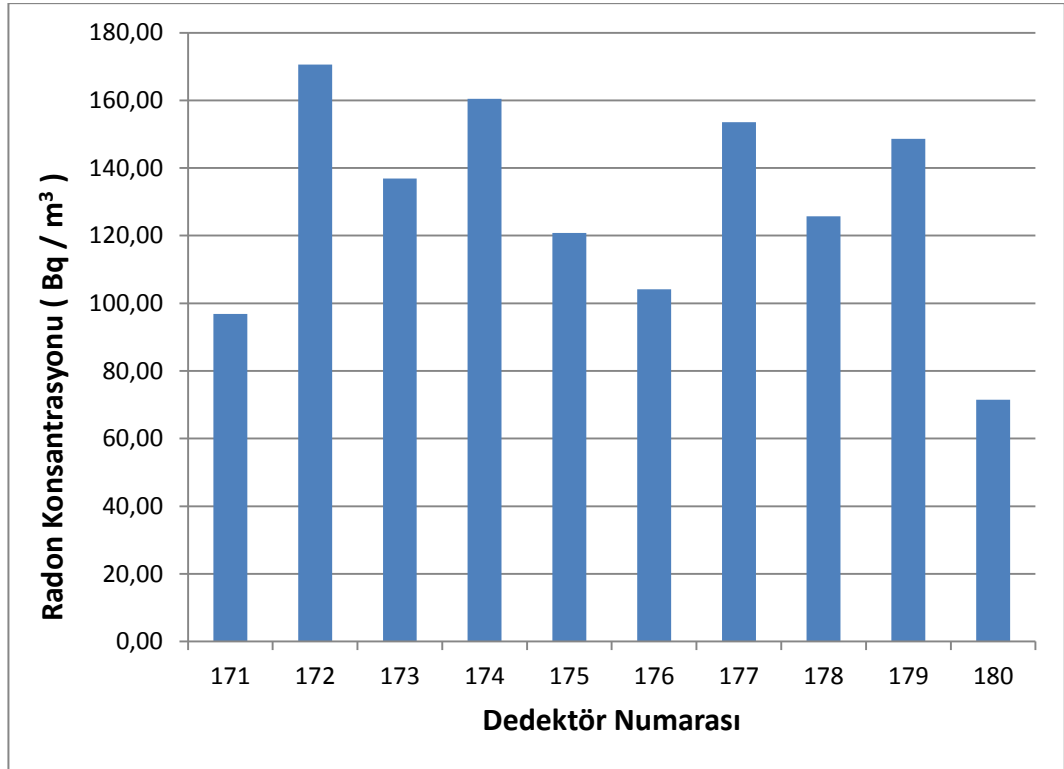
Şekil 4.43: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.24. Atik Ali İlköğretim Okulu

Tablo 4.47’de Atik Ali İlköğretim Okulu’nda 10 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.44’de sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 172 numaralı sınıftaki radon konsantrasyonu değerinin ve buna bağlı olarak maruz kalınan yıllık etkin doz değerinin en fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.47: Atik Ali İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

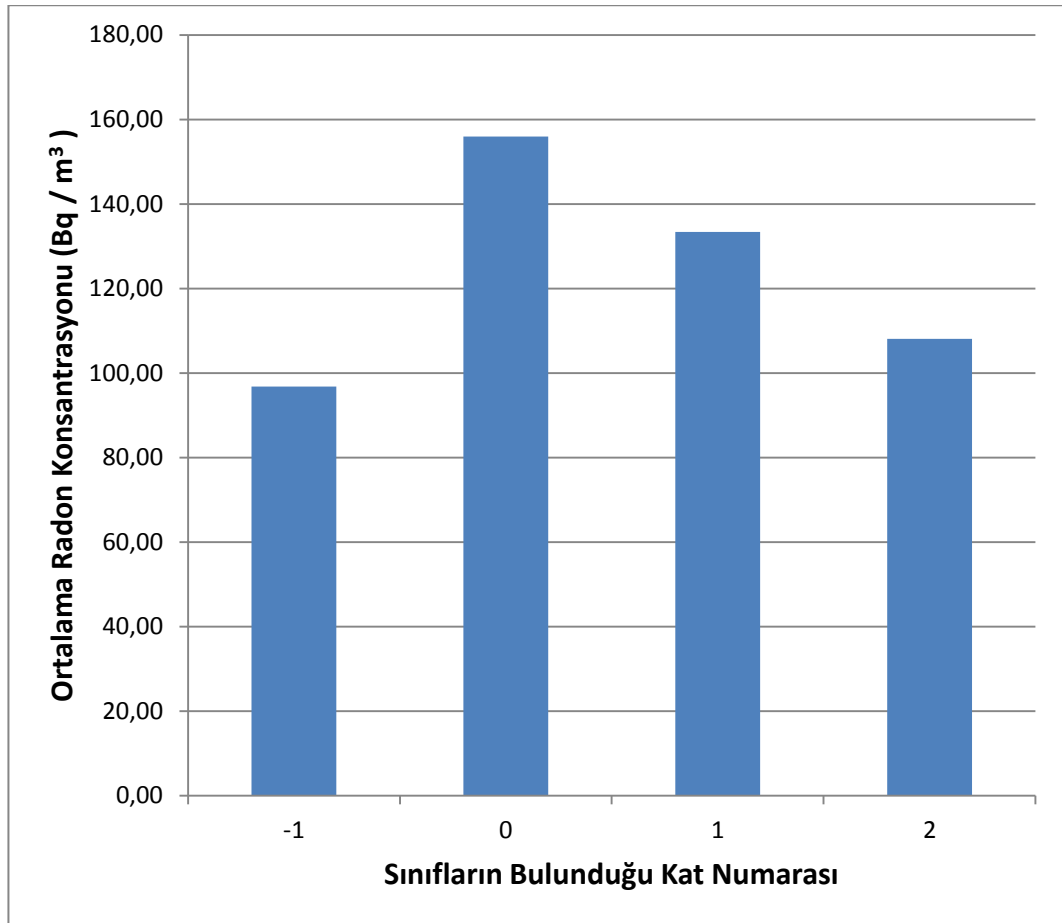
Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
171	96.83	0.55	29.95	34.5	-1
172	170.54	0.97	31.05	34.5	0
173	136.92	0.78	30.95	33.5	0
174	160.41	0.91	30.65	33	0
175	120.79	0.69	29.9	34.5	1
176	104.10	0.59	29.75	35	2
177	153.53	0.87	30.05	35	1
178	125.74	0.71	30.2	34.5	1
179	148.58	0.84	30.2	35	2
180	71.52	0.41	30.15	34.5	2

**Şekil 4.44:** Atik Ali İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.48’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, şekil 4.45’de grafik olarak gösterilmiştir. Bodrum katta radon konsantrasyonunun az, aksine üst katlarda fazla olması beklenmeyen bir durumdur. Bodrum katının havalandırılması radon konsantrasyonunun az çıkmasını açıklayabilir.

Tablo 4.48: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
-1	96.83	0.55	29.95	34.5
0	155.96	0.89	30.88	33.67
1	133.35	0.76	30.05	34.67
2	108.07	0.61	30.03	34.83



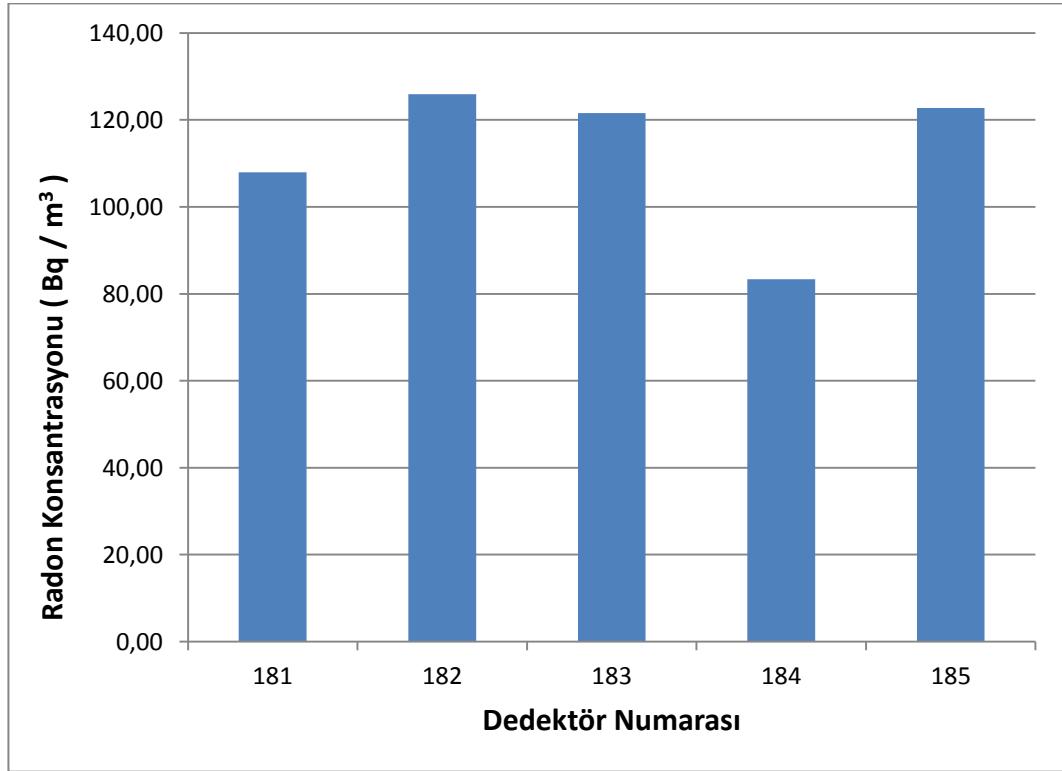
Şekil 4.45: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

4.1.25. Muhittin Akdik İlköğretim Okulu

Tablo 4.49’da Genç Osman İlköğretim Okulu’nda 5 farklı sınıfa yerleştirilen dedektörlerden elde edilen sınıfların radon konsantrasyonu değerleri ve buna bağlı olarak o sınıftaki öğrencilerin, öğretmenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı, sınıfların bulunduğu kat ve ortalama sıcaklık ile nem değerleri verilmiştir. Şekil 4.46’da sınıflardaki radon konsantrasyonu rahatlıkla karşılaştırabiliriz. 182, 183 ve 185 numaralı sınıflarda radon konsantrasyon değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

Tablo 4.49: Muhiddin Akdik İlköğretim Okulu radon konsantrasyon değerleri.

Film No	Bq/m ³	mSv/yıl	°C	%RH	Kat
181	107.94	0.61	30.7	27.5	0
182	125.89	0.71	30.7	27.5	0
183	121.59	0.69	30.7	27	1
184	83.37	0.47	30.75	27	1
185	122.71	0.70	30.75	27	2

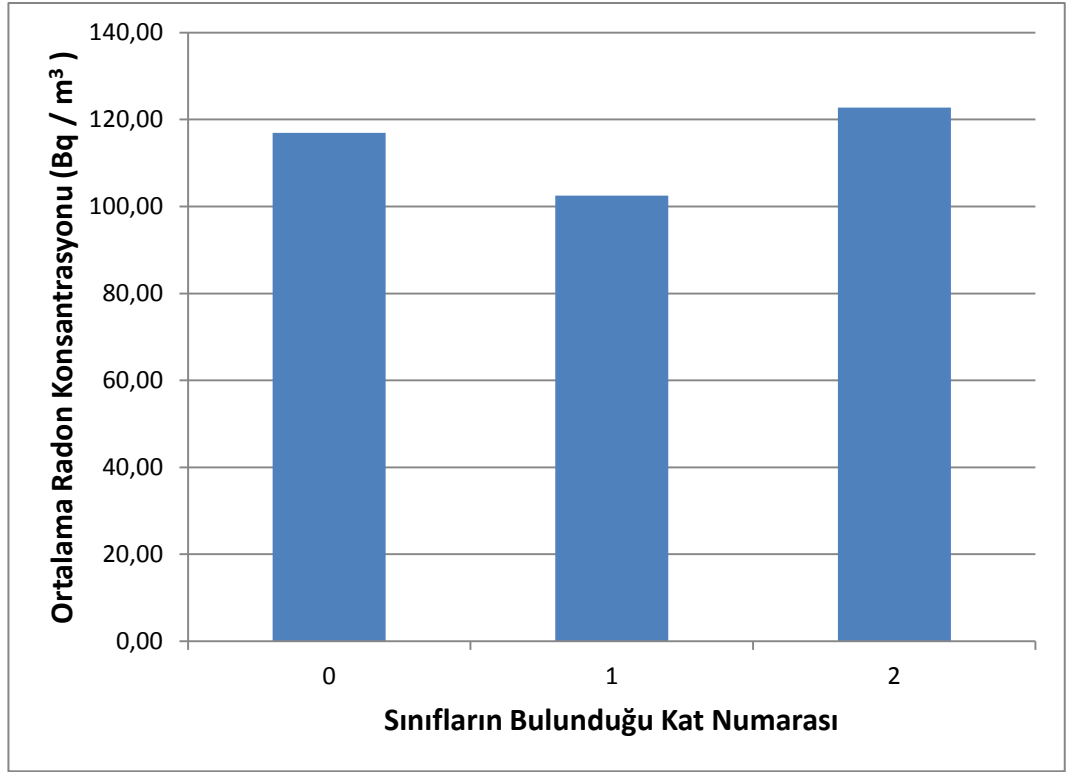


Şekil 4.46: Muhittin Akdik İlköğretim Okulu sınıflardaki radon konsantrasyonu.

Tablo 4.50’de okuldaki katların ortalama radon konsantrasyonları verilmiş olup, Şekil 4.47’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.50: Katlardaki radon konsantrasyonları.

Kat	Ort. Bq/m ³	Ort. mSv/yıl	°C	%RH
0	116.92	0.66	30.70	27.50
1	102.48	0.58	30.73	27.00
2	122.71	0.70	30.75	27



Şekil 4.47: Katlara göre ortalama radon konsantrasyonu.

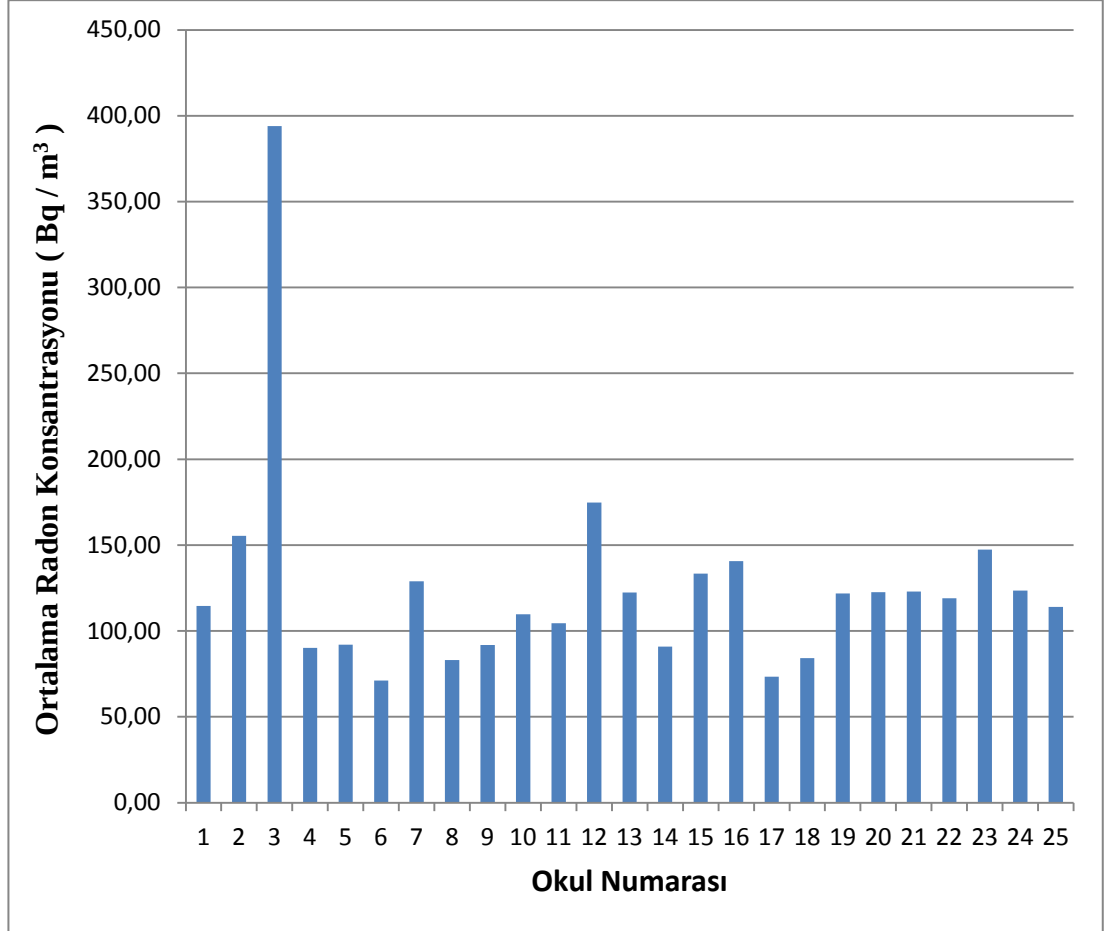
4.2. 25 İLKÖĞRETİM OKULUNUN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 4.51’de 25 okulun tüm katlarındaki ortalama radon konsantrasyon değerleri Bq/m³ cinsinden belirtilmiştir.

Tablo 4.51: 25 okulun tüm katlardaki ortalama radon konsantrasyonu.

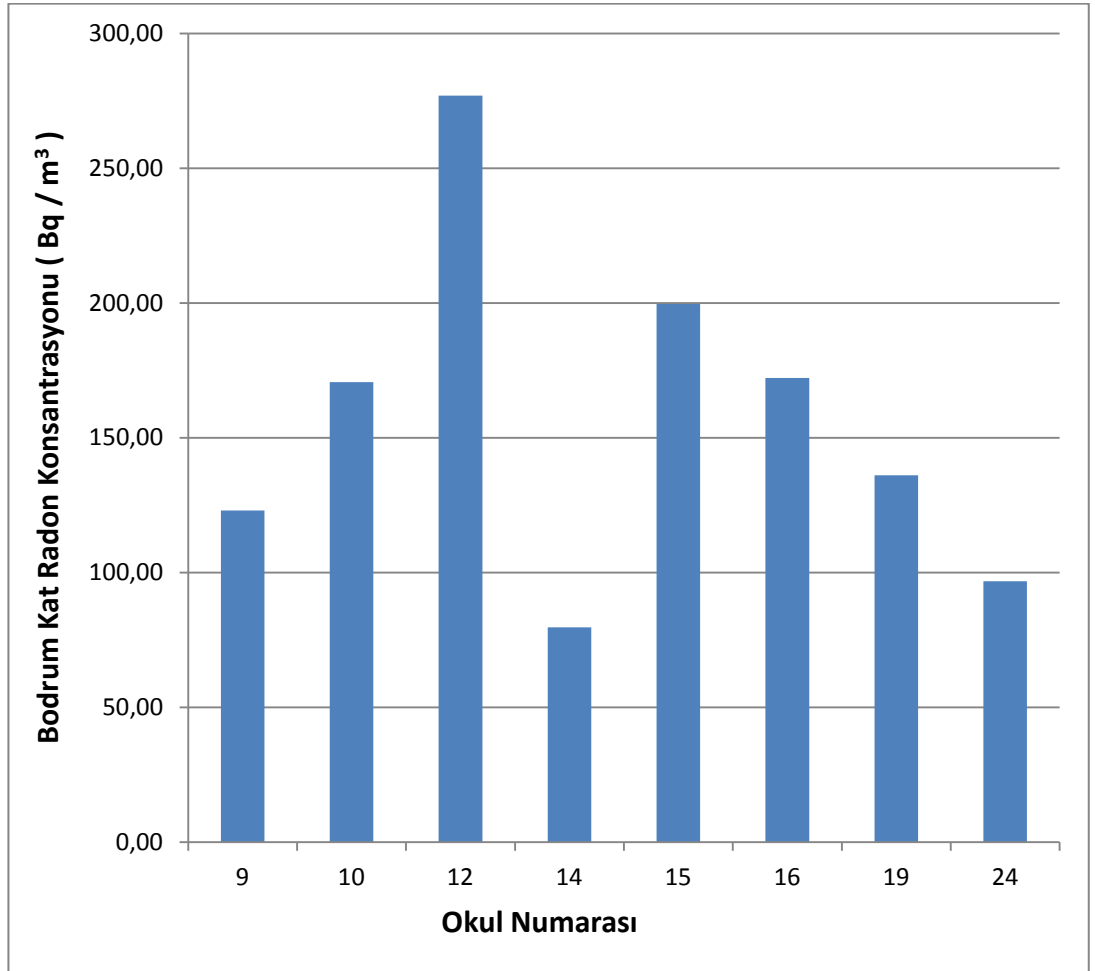
Okul Numarası	Okul Ortalaması (Bq/m ³)	Bodrum (Bq/m ³)	Zemin (Bq/m ³)	1.Kat (Bq/m ³)	2.Kat (Bq/m ³)	3.Kat (Bq/m ³)
1	114.64		112.48	123.14	108.30	
2	155.32		178.76	131.88		
3	394.07		394.07			
4	90.19		76.84	153.28	40.45	
5	91.96		91.96			
6	71.06		74.41	40.15	80.31	89.40
7	128.89		128.89			
8	83.02		79.29	86.75		
9	91.91	123.03	90.79	61.91		
10	109.65	170.68	94.17	119.74	53.99	
11	104.43		117.23	127.54	68.51	
12	174.74	276.86	165.45	81.93		
13	122.48		123.30	121.67		
14	90.95	79.67	119.06	74.10		
15	133.35	199.58	125.28	131.37	77.18	
16	140.70	172.15	123.23	126.71		
17	73.45		76.22	44.00	100.12	
18	84.18		90.00	80.14	82.41	
19	121.84	136.14	107.54			
20	122.61		113.32	95.21	159.30	
21	123.03			136.37	109.69	
22	119.06		162.38	110.31	84.50	
23	147.33		141.91	152.76		
24	123.55	96.83	155.96	133.35	108.07	
25	114.04		116.92	102.48	122.71	

Şekil 4.48’de görüldüğü gibi üç numaralı Muallim Naci İlköğretim Okulu’nda ortalama radon konsantrasyonu diğer okullara oranla çok yüksek çıkmıştır. Altı numaralı Vedide Baha Pars ve on yedi numaralı Vasıf Çınar İlköğretim Okulları’nda ise radon konsantrasyonu diğer okullara oranla düşük çıkmıştır.



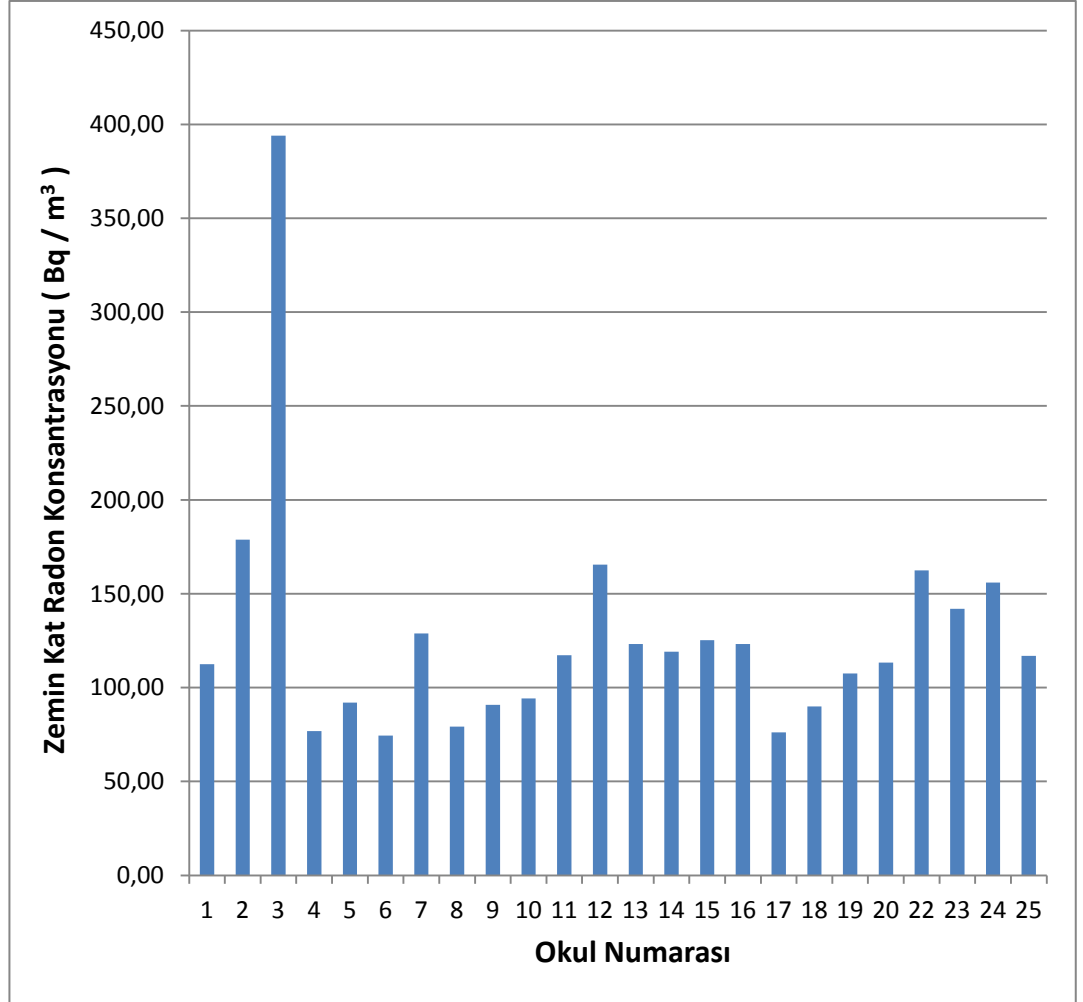
Şekil 4.48: Okulların ortalama radon konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.49’da görüldüğü üzere bodrum katlarındaki ortalama radon konsantrasyonu sonuçlarına göre on iki numaralı Tarık Us İlköğretim Okulu’nda radondan dolayı maruz kalınan radyasyon diğer okullara oranla daha yüksektir. Okulların bodrum kattaki ortalama radon konsantrasyonları 156 Bq/m^3 civarındadır.



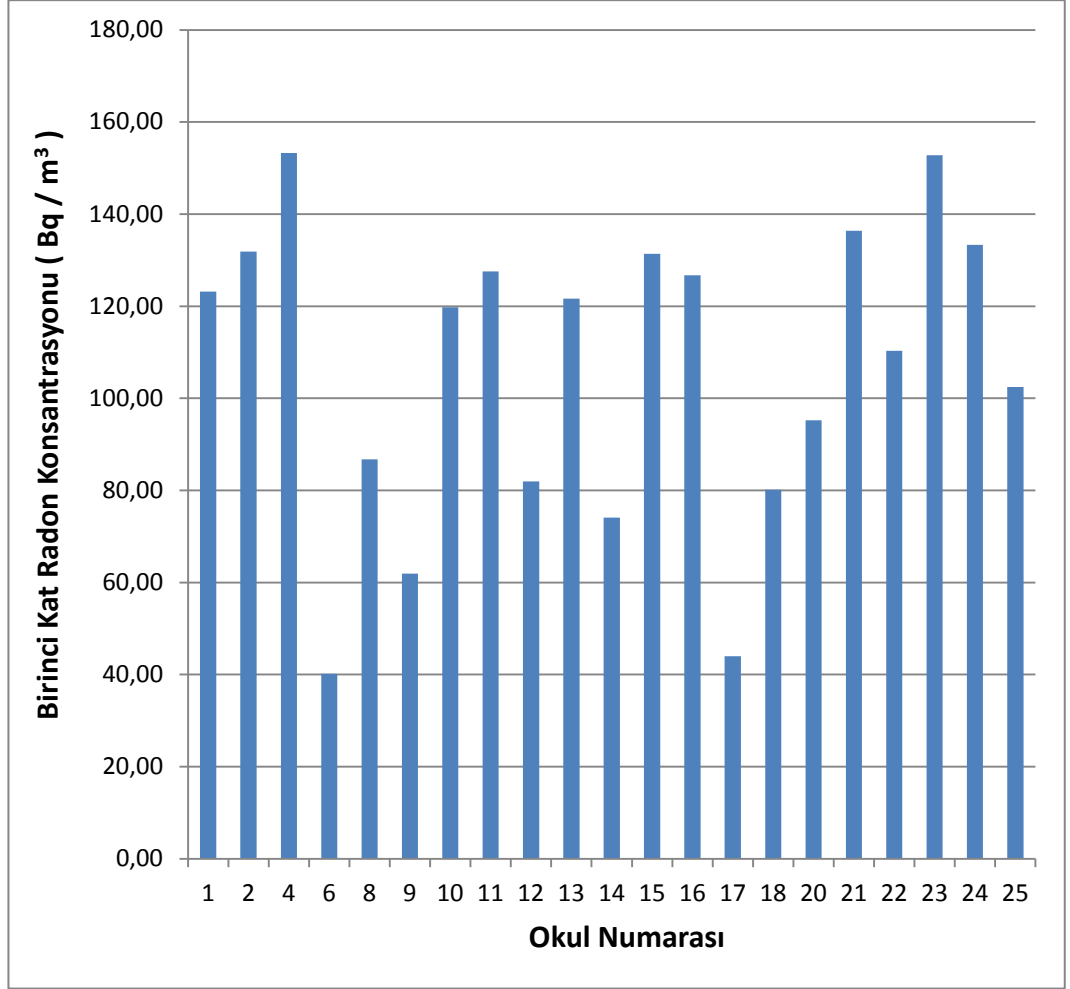
Şekil 4.49: Bodrum katlarının radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.50’de üç numaralı Muallim Naci İlköğretim Okulu’nun zemin kattaki radon konsantrasyonunun diğer okullara göre çok yüksek seviyelerde olduğunu görüyoruz. Okulların zemin kattaki ortalama radon konsantrasyonları 127 Bq/m^3 civarındadır.



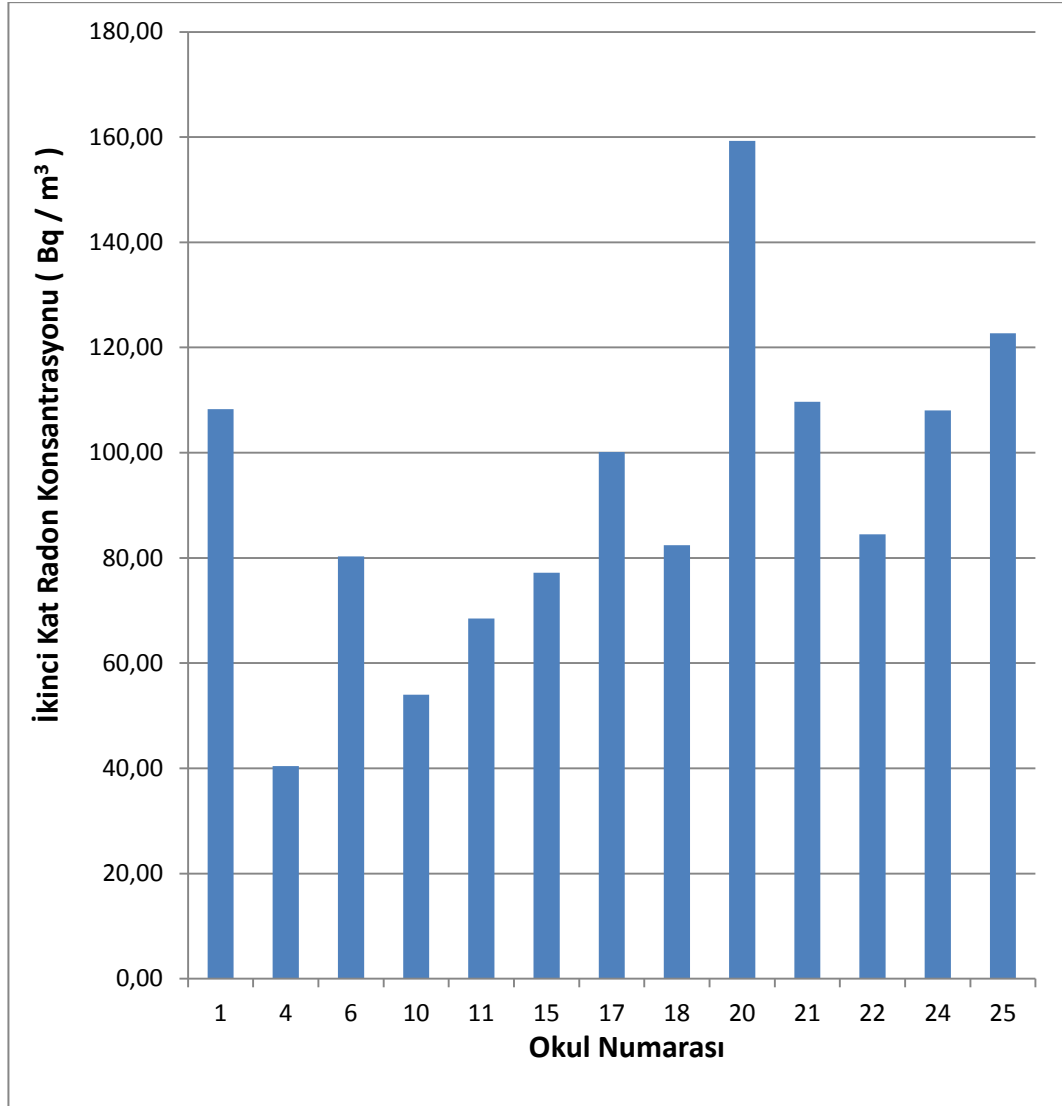
Şekil 4.50: Zemin katların radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

Altı numaralı Vedide Baha Pars İlköğretim Okulu ve on yedi numaralı Vasıf Çınar İlköğretim Okulu'nun birinci kat ortalama radon konsantrasyonları diğer okullara göre düşük çıkmış olup, genel olarak okulların birinci kat ortalaması 106 Bq/m^3 civarındadır.



Şekil 4.51: Birinci katların radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

İkinci kattaki ortalama radon konsantrasyonlarına bakıldığında yirmi numaralı Gazi İmam Hatip İlköğretim Okulu'nun radon konsantrasyon değerinin yüksek olduğunu görüyoruz. Okulların ikinci katlarındaki ortalama radon konsantrasyon değerleri 91 Bq/m³ civarındadır.

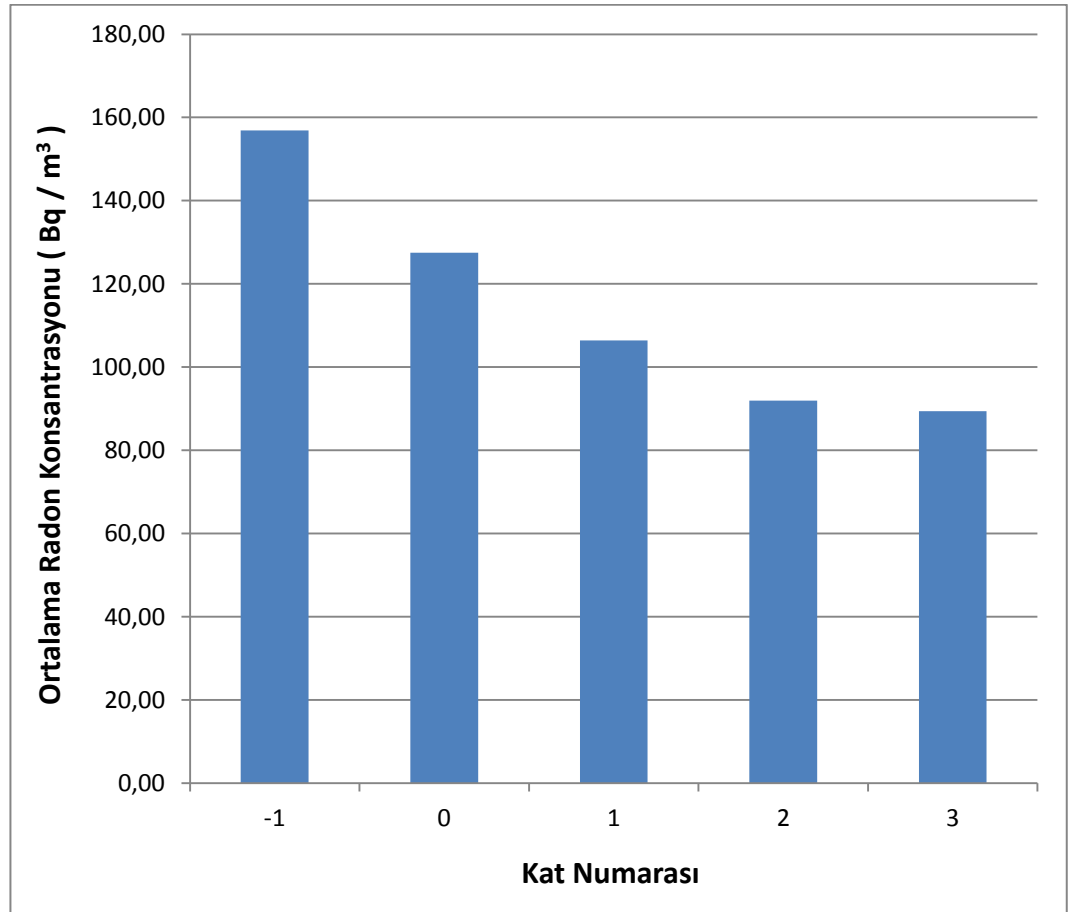


Şekil 4.52: İkinci katların radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

Tablo 4.52’ de 25 okulun katlardaki ortalama radon konsantrasyonları Bq/m^3 cinsinden yazılmıştır. Şekil 4.53’de görüldüğü üzere alt katlarda radon konsantrasyonu fazladır ve üst katlara çıkıldıkça azalmaktadır. 25 okulun sahip olduğu ortalama radon konsantrasyon değeri 125 Bq/m^3 ’dür.

Tablo 4.52: 25 okulun katlardaki ortalama radon konsantrasyonu.

Bodrum	Zemin	1. Kat	2. Kat	3.Kat
156.87	127.48	106.42	91.96	89.40



Şekil 4.53: Tüm katlara göre ortalama radon konsantrasyonun karşılaştırılması.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

İstanbul ili Fatih ilçesindeki 25 ilköğretim okulunun 185 sınıfında 509 adet LR-115 radon dedektörü ile yapılan radon konsantrasyonu ölçüm çalışması sonucunda 29 Bq/m^3 'den 516 Bq/m^3 'e kadar değişen sonuçlar edilmiştir. 25 okulun ortalama radon konsantrasyon değeri 125 Bq/m^3 'dür. Ölçüm sonuçlarının farklılığı, sınıfların havalandırılmalarının ve sınıf büyüklüklerinin farklı olmasından, okulların bulundukları zeminden, okulların yapı malzemelerinden, okulların zeminindeki çatlaklardan, ölçüm hatalarından ileri gelmektedir. 516 Bq/m^3 değeri ile en yüksek radon konsantrasyon değerine sahip olan 22 numaralı sınıf fen laboratuvarıdır ve iş yerleri için Türkiye'de TAEK tarafından belirlenen müsaade edilebilir üst sınır olan 1000 Bq/m^3 değerini aşmamaktadır [3].

Örnekleme alanında çalışan kişilerin ortamdaki radondan dolayı aldıkları yıllık etkin doz değerleri 0.17 mSv/yıl ile 2.93 mSv/yıl arasında değişmektedir. 2000 yılında UNSCEAR'ın yayınladığı rapora göre doğal kaynaklardan alınan $1-10 \text{ mSv/yıl}$ arasındaki radyasyonun $1,3 \text{ mSv/yıl}$ kadarı radondan kaynaklanmaktadır [24]. 22 numaralı sınıf olan fen laboratuvarı 2.93 mSv/yıl etkin doz değeri ile önlem alınması gereken sınıfların en başında gelmektedir. 25 okulun ortalama yıllık etkin doz değeri ise $0,7 \text{ mSv/yıl}$ olarak belirlenmiştir.

Ölçüm sonuçlarına göre bir derslik haricinde diğer dersliklerde yıllık etkin doz değerleri izin verilen limit değerlerin altında çıkmıştır. Limit değerini aşan veya limit değerlere yaklaşan derslikler için havalandırmanın düzenlenmesi, yapı malzemelerinin ve kimyasalların kontrol edilmesi, yapıdaki çatlakların kontrol edilmesi gibi temel önlemlerin yerine getirilmesi gerekmektedir.

185 örnekleme noktasından elde edilen ortalama radon konsantrasyonu 125 Bq/m^3 olup insan sağlığı açısından risk taşımamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1]. <http://www.taek.gov.tr/> [17 Mayıs 2015].
- [2]. Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997, *Radon Kirliliği*, Ankara
- [3]. Aras, G., 2011, *Kastamonu Merkezdeki Okul Binalarında Havadaki Radon Aktivitesinin Ölçülmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi.
- [4]. Uluğ, A., Karabulut, M.T., Çelebi, N. 2004. Radon Measurement with CR-39 Track Detectors at Specific Locations in Turkey, *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 19(1), 46-49.
- [5]. Papaethymiou, H., Mavroudis, A., Kritidis, P., 2003. Indoor Radon Levels and Influencing Factors in Houses of Patras, *Journal of Environmental Radioactivity*, 66, 247-260.
- [6]. Marina, F. F., Segovia, N., Ruiz, W., Godinaz, L., Tavera, L., Lopez, A., Chavez, A., Pena, P., Ponciano, G., 2001. Short and long term indoor radon survey in Mexico City, *Radiation Measurement*, 34, 545-548.
- [7]. Çelebi, N., Alkan, H., 1997. Evaluation of Natural Radiation in Kestanbol Spa Region, *Radiation Protection Dosimetry*, 69, 227-230.
- [8]. Gutierrez, J., Baixeras, C., Robles, B., Saez, C. J. and Font, L., 1992. Indoor Radon Levels and Dose Estimation in Two Major Spanish Cities, *Radiation Protection Dosimetry*, 45, 495-498.
- [9]. Singh, S., Sharma, D. K. and Kumar, A., 2004. Environmental radon studies using solid state nuclear track dedectors, *Journal of Environmental Radioactivity*, 76, 369-376.
- [10]. Koksall, E. M., Celebi, N., Ozcinar, B., 1993. Indoor 222Rn Concentrations in Istanbul Houses, *Health Physics*, 65, 87-88.
- [11]. Kam, E. and Bozkurt, A., 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey, *Applied Radiation Isotopes*, 65(4), 440-444.
- [12]. Mıhçı, M., 2008, *Sivas Merkez Yerleşiminde Radon Gazı Dağılımının Belirlenmesi ve Türkiye’de Yapılaşma Öncesi Radon Gazı Ölçümüne Yönelik Yönetmelik Taslağı Hazırlanması*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi.
- [13]. Bozkurt, A., Kam, E., 2007. Indoor Radon Measurement in the City of Edirne, *American Institute of Physics Conference Proceedings*, 899, 395-396.

- [14]. Krane, K. S., 2001, *Nükleer Fizik 1. Cilt*, 2.Baskı., Palme Yayıncılık.
- [15]. Yaramış, B., 1985, *Nükleer Fizik 1.Cilt*, 1.Baskı., İ.T.Ü. Yayınları.
- [16]. Serway, R. A., 1996, *Fen ve Mühendislik için Fizik 3. Cilt*, Palme Yayıncılık.
- [17]. <http://tr.wikipedia.org/> [12 Mayıs 2015].
- [18]. http://www.turkcebilgi.org/kimya/cekirdek-kimyasi/radyoaktiflik-51231_5.html [7 Mayıs 2015].
- [19]. Demirel, S., 2013, *Konya'nın İçme Suyunun Sağlandığı Bazı Kuyu Sularında ^{222}Rn Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- [20]. <http://radyasyon17.wordpress.com/tag/parcacikli-radyasyon/> [7 Nisan 2015].
- [21]. <http://bunubenbugunogrendim.wordpress.com/2012/12/08/doppler-kaymasi/> [17 Nisan 2015].
- [22]. <http://atanesa.atauni.edu.tr/NesneGor.aspx?NesneId=6683> [2 Mayıs 2015].
- [23]. <https://courses.ecampus.oregonstate.edu/ne581/three/index2.htm> [2 Mart 2015].
- [24]. Gelgün, S., 2010, *Kütahya İli Kapalı Mekanları Radon Gazı Konsantrasyonu Ölçümü*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.
- [25]. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bdergi/yeniufuk/icerik/iyonlayici.pdf> [20 Şubat 2015].
- [26]. Arya, A.P. 1989, *Çekirdek Fiziğinin Esasları*, Aktif Yayıncılık.
- [27]. <http://kaynak.home.uludag.edu.tr/images/radyoaktivite.pdf> [13 Nisan 2015].
- [28]. Hafızoğlu, N., 2012, *Kütahya İli ve İlçelerinde Çevresel Gama Radyasyonu Ölçümü*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.
- [29]. <http://kaynak.home.uludag.edu.tr/images/radyoaktivite.pdf> [20 Mayıs 2015].
- [30]. Öztürk, E., 2012, *Erzincan İli Ev İçi Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi ve Topraktaki Radyoaktivitenin Tayini*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- [31]. Uludağ, H. İ., 2010, *Radon Kirliliği ve Halk Sağlığı İlişkisi*, Bitirme Tezi, Ege Üniversitesi.
- [32]. *Konutlarda Radon Ölçümleri*, 2014, Teknik Rapor, TAEK.
- [33]. *Kapalı Ortamlarda Radon Gazı*, 2012, Teknik Rapor, TAEK.

- [34]. Soğukpınar, H., 2013, *Eskişehir İlinde Kapalı Ortam Radon Yoğunlukları İçin Mevsimsel Düzeltme Faktörlerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- [35]. Çelebi, N., 1995, *Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- [36]. http://www.esrefatabey.com.tr/upload/tibbi_jeoloji_dosya99.pdf [2 Haziran 2015].
- [37]. <http://me.emu.edu.tr/haybar/Radon/BinalardaRadon.pdf> [12 Nisan 2015].
- [38]. <http://kanser.gov.tr/Dosya/Bilgi-Dokumanlari/raporlar/radonvekanser.pdf> [19 Nisan 2015].
- [39]. Kapdan, E., 2009, *Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [40]. Altınok, Y. ve Gündoğdu, O., 1990, Depremlerin Önceden Belirlenmesinde Radon Ölçümleri, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi* C.7, S.1-2, 211-221.
- [41]. http://www.sabah.com.tr/yasam/2010/02/26/deprem_onesinde_radon_incelemesi [19 Nisan 2015].
- [42]. <https://gis.fatih.bel.tr/webgis/default.aspx> [2 Mayıs 2015].
- [43]. Özderya, F., 2009, *Samsun İli Ev İçeri Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

EKLER

EK 1. 185 sınıfa yerleştirilen dedektörlerin verileri.

Dedektör Numarası	Ortamda Bulunma Süresi (Saat)	Net İz Sayısı	Bq/m3	mSv/yıl
1	1056	701	126,67	0,72
2	1056	525	94,82	0,54
3	1056	642	115,95	0,66
4	1056	729	131,61	0,75
5	1056	774	139,80	0,79
6	1056	543	98,01	0,56
7	1056	730	131,91	0,75
8	1056	469	84,70	0,48
9	1056	933	168,58	0,96
10	1056	720	129,98	0,74
11	1056	951	171,71	0,97
12	1056	921	166,35	0,94
13	1056	1882	340,00	1,93
14	1056	941	169,96	0,96
15	1056	1062	191,76	1,09
16	1056	595	107,52	0,61
17	1056	551	99,45	0,56
18	1056	1006	181,64	1,03
19	1056	799	144,25	0,82
20	1056	478	86,39	0,49
21	1056	1506	272,02	1,54
22	1056	2857	516,11	2,93
23	1056	425	76,84	0,44
24	1056	738	133,29	0,76
25	1056	959	173,27	0,98
26	1056	224	40,45	0,23
27	1056	516	93,19	0,53
28	1056	433	78,14	0,44
29	1056	584	105,47	0,60
30	1056	436	78,68	0,45
31	1056	578	104,33	0,59
32	1056	412	74,41	0,42
33	1056	232	41,89	0,24
34	1056	205	37,08	0,21

Dedektör Numarası	Ortamda Bulunma Süresi (Saat)	Net İz Sayısı	Bq/m3	mSv/yıl
35	1056	230	41,47	0,24
36	1056	370	66,82	0,38
37	1056	519	93,79	0,53
38	1056	495	89,40	0,51
39	960	318	63,17	0,36
40	960	375	74,56	0,42
41	960	890	176,76	1,00
42	960	605	120,19	0,68
43	960	587	116,68	0,66
44	960	1318	261,80	1,49
45	960	502	99,73	0,57
46	960	595	118,21	0,67
47	1056	294	53,15	0,30
48	1056	266	48,03	0,27
49	1056	448	80,91	0,46
50	1056	749	135,37	0,77
51	1056	671	121,19	0,69
52	1056	408	73,68	0,42
53	1056	364	65,74	0,37
54	1056	311	56,22	0,32
55	1056	480	86,75	0,49
56	1080	697	123,03	0,70
57	1080	544	96,07	0,55
58	1080	679	119,85	0,68
59	1080	408	72,10	0,41
60	1080	399	70,54	0,40
61	1080	540	95,36	0,54
62	1080	544	96,13	0,55
63	1080	313	55,33	0,31
64	1080	252	44,43	0,25
65	1080	396	69,87	0,40
66	1080	248	43,79	0,25
67	1056	740	133,74	0,76
68	1056	968	174,78	0,99
69	1056	945	170,68	0,97
70	1056	302	54,60	0,31
71	1056	358	64,71	0,37
72	1056	299	53,99	0,31
73	888	510	109,61	0,62
74	888	489	105,02	0,60
75	888	521	111,83	0,63

Dedektör Numarası	Ortamda Bulunma Süresi (Saat)	Net İz Sayısı	Bq/m3	mSv/yıl
76	888	442	94,93	0,54
77	888	706	151,71	0,86
78	888	607	130,30	0,74
79	888	527	113,26	0,64
80	888	660	141,83	0,81
81	888	358	76,95	0,44
82	888	280	60,06	0,34
83	1056	1626	293,69	1,67
84	1056	1776	320,79	1,82
85	1056	1196	216,08	1,23
86	1056	986	178,03	1,01
87	1056	862	155,69	0,88
88	1056	900	162,62	0,92
89	1056	400	72,24	0,41
90	1056	507	91,63	0,52
91	1056	590	106,50	0,60
92	1056	747	134,92	0,77
93	1056	711	128,48	0,73
94	1056	728	131,43	0,75
95	1056	620	111,92	0,64
96	1056	481	86,87	0,49
97	1056	498	90,03	0,51
98	1056	344	62,12	0,35
99	1056	611	110,35	0,63
100	1056	517	93,37	0,53
101	1056	461	83,26	0,47
102	1056	317	57,19	0,32
103	1056	504	91,02	0,52
104	1056	911	164,54	0,93
105	1056	796	143,77	0,82
106	1056	938	169,36	0,96
107	1056	1240	223,91	1,27
108	1056	1138	205,49	1,17
109	1056	665	120,20	0,68
110	1056	658	118,93	0,68
111	1056	757	136,72	0,78
112	1056	727	131,37	0,75
113	1056	427	77,18	0,44
114	1080	1069	188,85	1,07
115	1080	677	119,56	0,68
116	1080	271	47,94	0,27

Dedektör Numarası	Ortamda Bulunma Süresi (Saat)	Net İz Sayısı	Bq/m3	mSv/yıl
117	1080	862	152,29	0,86
118	1080	904	159,65	0,91
119	1080	520	91,83	0,52
120	1080	1178	208,04	1,18
121	1080	624	110,14	0,63
122	1080	827	146,14	0,83
123	1080	915	161,59	0,92
124	1056	464	83,74	0,48
125	1056	420	75,94	0,43
126	1056	382	68,99	0,39
127	1056	162	29,25	0,17
128	1056	325	58,75	0,33
129	1056	554	100,12	0,57
130	1080	424	74,87	0,43
131	1080	290	51,26	0,29
132	1080	565	99,78	0,57
133	1080	777	137,16	0,78
134	1080	407	71,81	0,41
135	1080	484	85,41	0,48
136	1080	467	82,41	0,47
137	1080	800	141,34	0,80
138	1080	297	52,44	0,30
139	1080	1053	185,97	1,06
140	1080	933	164,83	0,94
141	1080	487	86,00	0,49
142	1080	678	119,79	0,68
143	1080	661	116,82	0,66
144	1080	485	85,70	0,49
145	1080	442	78,05	0,44
146	1080	862	152,23	0,86
147	1080	777	137,28	0,78
148	1080	596	105,31	0,60
149	1080	482	85,12	0,48
150	1080	902	159,30	0,90
151	1104	1131	195,40	1,11
152	1104	448	77,33	0,44
153	1104	695	120,01	0,68
154	1104	455	78,66	0,45
155	1104	531	91,79	0,52
156	1104	858	148,29	0,84
157	1080	531	93,83	0,53

Dedektör Numarası	Ortamda Bulunma Süresi (Saat)	Net İz Sayısı	Bq/m3	mSv/yıl
158	1080	1597	282,05	1,60
159	1080	630	111,26	0,63
160	1080	662	116,91	0,66
161	1080	587	103,72	0,59
162	1080	478	84,50	0,48
163	1056	381	68,81	0,39
164	1056	424	76,51	0,43
165	1056	661	119,38	0,68
166	1056	920	166,17	0,94
167	1056	1019	184,14	1,05
168	1056	1309	236,43	1,34
169	1056	1027	185,50	1,05
170	1056	664	120,02	0,68
171	1080	548	96,83	0,55
172	1080	966	170,54	0,97
173	1080	775	136,92	0,78
174	1080	908	160,41	0,91
175	1080	684	120,79	0,69
176	1080	589	104,10	0,59
177	1080	869	153,53	0,87
178	1080	712	125,74	0,71
179	1080	841	148,58	0,84
180	1080	405	71,52	0,41
181	960	543	107,94	0,61
182	960	634	125,89	0,71
183	960	612	121,59	0,69
184	960	420	83,37	0,47
185	960	618	122,71	0,70

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Aziz KURT
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi, Yeri	07/04/1987 , FATİH
Telefon	0545 224 19 87
E-mail	azizkurt87@gmail.com
Web adres	http://aves.istanbul.edu.tr/aziz.kurt/

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü / Fizik / Nükleer Fizik	2015
Lisans	İstanbul Üniversitesi / Fizik	2010
Lise	Arnavutköy Korkmaz Yiğit Anadolu Lisesi	2005

Makaleler / Bildiriler

Particle Sources, 10th International Student Conference of the Balkan Physical Union, ISCBPU-10, 3-5 September 2013, İstanbul – TURKEY
 İçme Sularındaki Radon Konsantrasyonu, Türk Fizik Derneği 31. Uluslararası Fizik Kongresi, 21-24 Temmuz 2014, Bodrum - TÜRKİYE