

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

**GEYVE, ÖRENCİK VE DOĞANÇAY BÖLGELERİNDE
RADON AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasemin SAĞLAM

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Filiz ERTUĞRAL YAMAÇ

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEYVE, ÖRENCİK VE DOĞANÇAY BÖLGELERİNDE
RADON AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasemin SAĞLAM

Enstitü Anabilim Dalı

:

FİZİK

Bu tez ...05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Filiz ERTUGRAL YAMAÇ

Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Hakan YAKUT

Üye

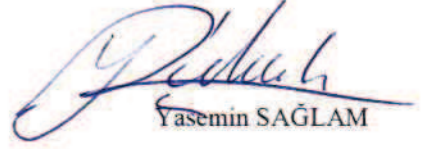


Doç. Dr.
Betül USTA

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Yasemin SAĞLAM

30.05.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Filiz ERTUĞRAL YAMAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı Prof. Dr. Recep AKKAYA'ya ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocalarım Doç. Dr Hakan YAKUT'a ve Araş. Gör. Dr. Emre TABAR'a teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca katkılarından dolayı Geyve, Doğançay, Doğançay Jandarma Komutanlığına, Örencik halkına ve bireysel yardımları açısından meslektaşım Erkan YILMAZ başta olmak üzere Geyve Alifuat Başgil Anadolu Lisesi öğretmenlerine, Özel Serdivan Teksen Koleji ailesine ve öğrencilerime teşekkürü borç bilirim. Bu tez çalışması boyunca manevi desteklerini esirgemeyen Sibel SOY KESKİN, Ömer KESKİN'e ve bu süreçte vefat eden değerli arkadaşlarım Tuğba ERDOĞAN ve Sevgi ÖZKAN'a da teşekkür ederim.

Ayrıca benden bu tez süresince desteklerini hiç esirgemeyen Hülya ÇALIŞKAN ve Turgut ÇALIŞKAN'a da sonsuz teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini üzerimden eksik etmeyen, her zaman maddi ve manevi olarak yardımlarını esirgemeyen sevgili annem Gülcihan SAĞLAM'a ve ablalarım Elvan IŞIK'a ve Aylin SAĞLAM'a da sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Kısa Literatür Özeti.....	3
1.1.1. Kapalı ortam radon aktivitesi.....	3
1.1.2. Topraktaki radon aktivitesi.....	13
1.1.3. Sudaki radon aktivitesi.....	23
BÖLÜM 2.	
TEMEL BİLGİLER.....	32
2.1. Radyasyon.....	32
2.1.1. İyonlaştırıcı radyasyon.....	33
2.1.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon.....	33
2.1.3. Radyasyonun madde ile etkileşmesi.....	33
2.1.4. Radyasyon dozu.....	34
2.1.5. Radyasyon birimleri.....	34
2.1.6. Radyasyon kaynakları.....	37

BÖLÜM 3.

RADON.....	40
3.1. Radonun Bozunum Ürünleri.....	40
3.1.1. Radon bozunum ürünleri için özel büyüklükler ve birimler.....	41
3.1.1.1. Potansiyel alfa parçacık enerji konsantrasyonu (PAEC).....	42
3.1.1.2. Çalışma düzeyi (Working Level, WL)	42
3.1.2. Bina içi radon konsantrasyonu.....	43
3.1.2.1. Toprak gazından gelen radon.....	45
3.1.2.2. İnşaat malzemelerinden gelen radon.....	47
3.1.2.3. Doğal gazdan gelen radon.....	47
3.1.2.4. Sulardan gelen radon.....	48
3.1.3. Radon gazının sağlık üzerine etkileri.....	49
3.1.4. Radon uranyum rezerv ilişkisi.. ..	51
3.1.5. Radon – deprem ilişkisi.....	51
3.1.6. Radon ölçüm yöntemleri	52
3.1.6.1. Kısa dönem ölçüm teknikleri.....	53
3.1.6.2. Uzun dönem ölçüm teknikleri.....	56

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.. ..	58
4.1. Çalışma Alanı.....	58
4.1.1. Geyve	60
4.1.2. Doğançay.....	61
4.1.3. Örencik.....	62
4.2. Dedektörlerin Hazırlanması ve Yerleştirilmesi.....	63
4.2.1. Dedektörlerin hazırlanması.....	63
4.2.2. Dedektörlerin yerleştirilmesi.....	63
4.3. Dedektörlerin Okunması	67
4.3.1. Çalışmada kullanılan radon ölçüm sistemleri.....	67
4.3.1.1. Lr – 115 dedektörleri ve iz kazıma yöntemi.....	67
4.3.1.2. Kapalı kutu tekniği (Sealed can technique).....	70

4.3.1.3.RAD7 ölçüm cihazı.....	72
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI	75
5.1. Radon Yoğunluğu Değerleri.....	75
5.1.1. Kapalı ortam radon gazı konsantrasyon değerleri.....	75
5.1.2. Sudaki radon gazı konsantrasyon değerleri.....	96
5.1.3. Topraktaki radon gazı konsantrasyon değerleri.....	101
5.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	117
5.2.1. Evler için yıllık etkin doz eşdeğeri.....	117
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE TARTIŞMA	124
6.1. Evlerde Ölçülen Radon Konsantrasyonunun Değerlendirilmesi.....	124
6.1.1. Geyve.....	124
6.1.2. Örencik.....	126
6.1.3. Doğançay.....	128
6.2. İçme Sularındaki Radon Gazı Konsantrasyonunun Değerlendirilmesi.....	129
6.2.1. Geyve.....	129
6.2.2. Örencik.....	130
6.2.3. Doğançay.....	130
6.3. Topraktaki Radon Gazı Konsantrasyonunun Değerlendirilmesi.....	131
6.3.1. Geyve.....	131
6.3.2. Örencik.....	131
6.3.3. Doğançay.....	132
KAYNAKLAR	133
ÖZGEÇMİŞ	148

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Bq	: Bequerel
C	: Işık hızı
E _b	: Bağlanma enerjisi
EEC	: Denge eşdeğer konsantrasyonu
ICRP	: Uluslararası radyolojik korunma komitesi
NRPB	: İngiltere milli radyasyondan korunma komitesi
PAEC	: Potansiyel alfa parçacık enerji konsantrasyonu
R	: Röntgen
RAD	: Soğurulan radyasyon dozu
Rem	: İnsanda röntgen eşdeğeri
Rn	: Radon
WL	: Çalışma düzeyi
Y.E.D.E.	: Yıllık etkin doz eşdeğeri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum.....	32
Şekil 2.2. Uranyum serisinin bozunma şeması.....	38
Şekil 2.3. Toryum serisinin bozunma şeması.....	38
Şekil 3.1. Radonun binaya giriş yolları.....	44
Şekil 3.2. Radonun difüzyonunun şematik gösterimi.....	45
Şekil 3.3. Geri tepme olayı.....	46
Şekil 3.4. Akifer.....	48
Şekil 4.1. Sakarya ili toprak yapısı.....	59
Şekil 4.2. Sakarya ili ve ilçeleri.....	59
Şekil 4.3. Geyve ilçesi.....	60
Şekil 4.4. Doğançay.....	61
Şekil 4.5. Örencik.....	62
Şekil 4.6. Geyve dedektör konumları.....	64
Şekil 4.7.Örencik dedektör konumları.....	64
Şekil 4.8. Doğançay dedektör konumları.....	65
Şekil 4.9. Kurutulmuş toprağın dövülerek toz haline getirilmesi.....	66
Şekil 4.10. Filmlerin banyo edilmesi.....	68
Şekil 4.11. Gizli izler.....	68
Şekil 4.12. İzlerin okunması.....	69
Şekil 4.13. İzlerin mikroskopta görünümü.....	69
Şekil 4.14. Toprak örneklerinin radon konsantrasyon, radon yayılım hızı ve radyum içeriği ölçümleri için kullanılan deney düzeneği.....	70
Şekil 4.15. RAD7 aktif ölçüm cihazı.....	73
Şekil 4.16. RAD7 aktif ölçüm cihazı, ölçümden önce hava üfleme aşaması.....	74
Şekil 4.17. RAD7 aktif ölçüm cihazı sonuç yazdırması.....	74
Şekil 5.1. Geyve kapalı ortam iz sayısı.....	76

Şekil 5.2. Geyve kapalı ortam aktivite değerleri.....	77
Şekil 5.3. Geyve ısıtma sistemine göre aktivite değerleri.....	78
Şekil 5.4. Geyve, kapalı ortam sigara içilme durumuna göre aktivite yoğunluğu...	79
Şekil 5.5. Geyve, pencerelerin ısı yalıtımı durumuna göre aktivite yoğunluğu.....	80
Şekil 5.6. Geyve, bina yaşına göre aktivite yoğunluğu.....	81
Şekil 5.7. Örencik kapalı ortam iz sayısı.....	83
Şekil 5.8. Örencik kapalı ortam aktivite yoğunluğu.....	83
Şekil 5.9. Örencik kapalı ortam sigara içilmesine göre aktivite yoğunluğu.....	84
Şekil 5.10. Örencik pencerelerin ısı yalıtımı durumuna göre aktivite yoğunluğu...	85
Şekil 5.11. Örencik, konumların bölge içindeki coğrafi konumlarına göre aktivite yoğunluğu.....	86
Şekil 5.12. Örencik, bina yapım yılına göre aktivite yoğunluğu.....	87
Şekil 5.13. Doğançay kapalı ortam iz sayısı.....	89
Şekil 5.14. Doğançay kapalı ortam aktivite yoğunluğu.....	89
Şekil 5.15. Doğançay tavan yapı malzemesine göre aktivite yoğunluğu.....	90
Şekil 5.16. Doğançay taban yapı malzemesine göre aktivite yoğunluğu.....	91
Şekil 5.17. Doğançay taban – tavan – duvarlar yapı malzemesine göre aktivite yoğunluğu.....	92
Şekil 5.18. Doğançay kapalı ortam sigara içilmesine göre aktivite yoğunluğu.....	93
Şekil 5.19. Doğançay pencerelerin ısı yalıtımına göre aktivite yoğunluğu.....	94
Şekil 5.20. Doğançay bina yapım yılına göre aktivite yoğunluğu.....	95
Şekil 5.21. Geyve sudaki Rn konsantrasyonu.....	97
Şekil 5.22. Örencik sudaki Rn konsantrasyonu.....	99
Şekil 5.23. Doğançay sudaki Rn konsantrasyonu.....	101
Şekil 5.24 Geyve 17.12.2013 – 17.03.2013 toprak ölçümleri iz sayısı.....	105
Şekil 5.25. Örencik 17.12.2013 – 17.03.2013 toprak ölçümlerinin iz sayısı.....	106
Şekil 5.26. Doğançay 17.12.2013 – 17.03.2013 toprak ölçümleri iz sayısı.....	107
Şekil 5.27. Geyve toprak ölçümleri TD değerleri.....	109
Şekil 5.28. Örencik toprak ölçümleri TD değerleri.....	110
Şekil 5.29. Doğançay toprak ölçümleri TD değerleri.....	111
Şekil 5.30. Geyve, Örencik ve Doğançay toprak ölçümleri iz yoğunluğu değerleri.....	113

Şekil 5.31. Geyve, Örencik ve Doğançay toprak ölçümleri Ra aktivitesi değerleri	114
Şekil 5.32. Geyve, Örencik ve Doğançay toprak ölçümleri Ra içeriği değerleri...	115
Şekil 5.33. Geyve, Örencik ve Doğançay toprak ölçümleri kütle Rn yayılımı (Bq/kg gün) değerleri.....	116
Şekil 5.34. Geyve, Örencik ve Doğançay toprak ölçümleri yüzey Rn yayılımı (Bq/m ² gün) değerleri.....	117
Şekil 5.35. Geyve kapalı ortam Y.E.D.E. değerleri.....	119
Şekil 5.36. Örencik kapalı ortam Y.E.D.E. değerleri.....	121
Şekil 5.37. Doğançay kapalı ortam Y.E.D.E. değerleri.....	123
Şekil 6.1. Geyve içme suyunun kaynaklarından ilçeye dağılım yolu.....	130

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Coulomb etkisinden dolayı elektrikle yüklenmiş yüklü parçacık radyasyonu (sol sütun) ve yüksüz parçacıklar (sağ sütun)	34
Tablo 2.2. Radyasyon ve ölçü birimleri.....	34
Tablo 2.3. Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri.....	36
Tablo 2.4. Toprakta bulunan doğal radyonüklitler.....	39
Tablo 3.1. Radon ve bozunum ürünlerinin özellikleri	41
Tablo 3.2. Çalışma düzeyinin hesaplanması.....	42
Tablo 3.3. Farklı ülkelerde ev içi radon konsantrasyonları (Bq/m ³).....	44
Tablo 3.4. İnşaat malzemeleri içindeki ²²⁶ Ra ve ²²² Rn değerleri.....	47
Tablo 3.5. Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri.....	50
Tablo 3.6. Ülkelere göre evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri.....	51
Tablo 5.1. Geyve kapalı ortam radon konsantrasyonu iz sayısı.....	75
Tablo 5.2. Örencik köyü kapalı ortam radon konsantrasyonu iz sayısı.....	82
Tablo 5.3. Doğançay kapalı ortam radon konsantrasyonu iz sayısı.....	88
Tablo 5.4. Geyve sudaki radon konsantrasyonu.....	96
Tablo 5.5. Örencik sudaki radon konsantrasyonu.....	98
Tablo 5.6. Doğançay sudaki radon konsantrasyonu.....	100
Tablo 5.7. Geyve toprak örneklerinin toplandığı konumlar.....	102
Tablo 5.8. Örencik toprak örneklerinin toplandığı konumlar.....	103
Tablo 5.9. Doğançay toprak örneklerinin toplandığı konumlar.....	103
Tablo 5.10. Geyve 17.12.2013 – 17.03.2013 iz sayısı.....	104
Tablo 5.11. Örencik 17.12.2013 – 17.03.2013 iz sayısı.....	106
Tablo 5.12. Doğançay 17.12.2013 – 17.03.2013 iz sayısı.....	107
Tablo 5.13. Geyve TD değerleri.....	108

Tablo 5.14. Örencik TD değerleri.....	109
Tablo 5.15. Doğançay TD değerleri.....	110
Tablo 5.16. Geyve, Örencik, Doğançay Rn ve Ra aktivite, Etkin Ra içeriğinin, kütle (Bq/kg.gun) ve yüzey (Bq/m ² gun)Rn yayılım hızlarının ölçülen değerleri.....	112
Tablo 5.17. Geyve kapalı ortam radon konsantrasyonu için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	118
Tablo 5.18. Örencik köyü kapalı ortam radon konsantrasyonu için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	120
Tablo 5.19. Doğançay kapalı ortam radon konsantrasyonu için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	121

ÖZET

Anahtar kelimeler: Radon, radyum, bina içi radon konsantrasyonu, sularda radon, toprak gazındaki radon konsantrasyonu, Lr-115, Rad7, Geyve, Örencik, Doğançay

Bu tez çalışmasında Sakarya ilinin güney sınırları içerisinde yer alan jeolojik yapısı içinde granit bulunan Geyve ilçesi, Doğançay bölgesi ve Örencik köyünde kapalı ortam, toprak ve su örnekleri için doğal radon aktivite konsantrasyonları belirlenerek radyolojik risk açısından değerlendirmeler yapılmıştır.

Kapalı ortam ve toprak gazı radon konsantrasyonlarının nükleer iz kazıma yöntemi ile belirlendiği bu çalışmada kullanılan dedektörler Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Laboratuvarında yapılmıştır. Su örneklerindeki ^{222}Rn konsantrasyonları ise RAD7 yöntemi kullanılarak yine aynı laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Bina içi radon aktivite yoğunluğunun ölçülmesi amacıyla bu bölgelerde bulunan okul ve konutların bir bölümüne LR-115 plastik detektörler yerleştirilmiş ve 2 ay süreyle radon ve ürünlerini toplamak üzere bekletilmiştir. Bölgelerden toplanan toprak örnekleri laboratuvara getirilerek analize uygun hale getirilerek kapalı kutu tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Kapalı kaplarda 3 ay bekletildikten sonra ölçümü yapılmıştır.

Bina içi radon konsantrasyon ölçümleri ortalama olarak kış dönemi için Geyve, Örencik ve Doğançay bölgelerinde sırasıyla 221.63 Bq/m^3 , 793.67 Bq/m^3 ve 273.67 Bq/m^3 , yaz dönemi için ise sırasıyla 138.37 Bq/m^3 , 194.00 Bq/m^3 ve 150.56 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür.

Su örneklerinin radon konsantrasyonu Geyve, Örencik ve Doğançay için sırasıyla 1.66 Bq/L , 0.93 Bq/L ve 1.15 Bq/L olarak bulunmuştur

Kapalı kutu tekniği kullanılarak hesaplanan toprak örneklerindeki radon konsantrasyon değerleri ise Geyve, Örencik ve Doğançay için sırasıyla 463.4 Bq/m^3 , 587.11 Bq/m^3 ve 447.18 Bq/m^3 olarak elde edilmiştir.

Çalışmada elde edilen radon konsantrasyonları ICRP ve TAEK' tarafından belirlenen limit değerleriyle karşılaştırıldığında bölgenin toprak ve su ölçümleri için radyolojik herhangi bir risk bulunmadığı, bina içi radon konsantrasyonunun Geyve ve Doğançay için yine güvenilir değer aralığında bulunduğu fakat Örencik bölgesi için elde edilen değerlerin limit değerlerden fazla çıktığı bu durumun bölgede radyolojik bir risk oluşturabileceği ve köyde rastlanan kanser vakalarıyla ilişkisinin kurulabilmesi için daha ileri vaka-konum bağlantısının incelenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

RADON MEASUREMENT IN GEYVE DISTRICT, DOGANÇAY REGION AND ORENCİK VILLAGE

SUMMARY

Keywords: Radon, Radium, indoor radon concentration, drinking water radon concentration, soil radon concentration, Lr-115, RAD7, Geyve, Örencik, Doğançay

In this study, the geographic locations that have the richest granite reserves in south of Sakarya were identified. The measurement and the evaluation of the levels of the indoor places, soil and the drinking water activity concentrations in Geyve Town where the soil has granite alloy, Doğançay region and Örencik village were done.

This study examined the existence of the Radon Gas Concentration at the indoor places and in soil by the nuclear tracing scrape method using the detectors which were checked in the Nuclear Physics Labs in the Science and Literature Faculty of the Sakarya University. The Water measurements were also taken by the RAD7 measurement device in there. The detectors to measure the concentration of the indoor activity were kept in the houses for 2 months. In order to do the soil measurement can method were used. All the soil that was collected from the region was first sifted off the bugs and rubbish then kiln dried to free it from its humidity. The kiln dried soil was ground and they were kept in closed cans for 90 days.

Indoor radon concentration have measured respectively in Geyve for winter 221.63 Bq/m³ and for summer 138.37Bq/m³, in Örencik for winter 793.67Bq/m³ and for summer 194.00 Bq/m³, in Doğançay for winter 273.67Bq/m³ and for summer 150.56Bq/m³.

Drinking water radon concentration have measured respectively in Geyve 1.66 Bq/L, in Örencik 0.93 Bq/L and in Doğançay 1.15 Bq/l.

Soil radon concentration have measured respectively in Geyve 463.4 Bq/m³, in Örencik 587.11Bq/m³ and in Doğançay 447.18 Bq/m³.

It was observed that the measured water activity was very low but the soil measurement was normal compare to the results of the WHO (Worlds Health Organization) and TAEK's maximum limits. However, it was observed that the indoor places in Geyve and Dogancay have no risks of the Radon Activity, while the maximum limits were around twice as much in Orencik village. Cancer cases found in the region showed that the situation is alarming enough to constitute a problem.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanlık var olduğundan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla birlikte yaşıyor. Çevremizde bulunan uzun ömürlü radyoaktif elementler ve hatta vücudumuzda bulunan radyoaktif maddelerin yaydığı radyasyonlar sebebiyle vücudumuz her saniye 10 bin, günde 800 milyon görünmez ışının etkisi altında kalıyor. Bina içinde bulunan radon gazının solunmasıyla, sindirim yoluyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddelerle, yapı malzemelerinin içinde bulunan radyoaktif maddelerle, binanın bulunduğu toprak yapısında bulunan radyoaktif maddelerle vücudumuz hem içten hem de dıştan ışınlanmaya maruz kalıyor (Atakan Y., 2014; Radyasyon ve Sağlığımız kitabı). Bu sebeple insana da düşük radyoaktiviteye sahip bir radyasyon kaynağı olarak bakılabilir. Mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler (TAEK, 2011).

Aynı zaman da ikamet edilen evlerin çevresindeki toprak yapısı, yeraltı su kaynakları, evlerin inşasında kullanılan yapı malzemeleri içerisinde bulunan doğal uranyum ve toryumun bozunmasıyla ortaya çıkan radyoaktif radon ve toron gazları sebebiyle radyasyon miktarında artış meydana gelir. İnsanoğlu gününün büyük bir kısmını kapalı ortamlarda geçirdiğinden dolayı organlar, dokular sürekli olarak radyasyonla etkileşime girmekte ve bu etkileşim radon gazı ve bozunma türleri ile vücudu etkilemektedir. Radon, radyum (^{226}Ra) elementinin radyoaktif bozunumundan meydana gelen, renksiz kokusuz ve radyoaktif bir gazdır. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselerek binanın altında hapsolür ve bir basınç oluştururlar. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, daha çok çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar. Bina içine radon

girişleri; zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat boşlukları, duvar arası boşluklarından ve içme sularından kaynaklanmakta ve bina içi yoğunluğunu artırmaktadır. UNSCEAR'ın 1993 yılındaki raporuna göre insanların maruz kalacağı ev içi gama radyasyonu 1,2 mSv/yıl olarak belirtilmiştir (UNSCEAR, 1993).

Epidemiyolojik çalışmalar uzun süre radyasyona maruz kalmanın akciğer kanseri riskini artırdığını ortaya koymuştur (Steck ve Field, 1999). Radyasyondan alınan dozun hesaplanabilmesi için, öncelikle ortamdaki doğal radyoaktivitenin incelenmesinin zorunlu olduğu anlaşılmıştır. Bir bölgenin veya bir yerin doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi demek, o yerin radyolojik açıdan incelenmesi, başka bir deyişle, o yerin toprağında, bina materyalinde, suyunda ve havasında bulunan doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi demektir (Karahan, 1997; UNSCEAR, 1982; 1988; Yaprak, 2009). Örneğin jeolojik yapısı granit olan bölgelerde yüksek radyoaktivite düzeyleri gözlenirken, kireç taşı gibi tortul kayalardan oluşan bölgelerde ise düşük radyoaktivite gözlenmektedir (UNSCEAR, 2000).

Radyoaktivite miktarını ölçmeye yönelik araştırmalar; Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi (ICRP), Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR), Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu (EURATOM) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) gibi uluslararası ve ulusal kuruluşlar tarafından gerçekleştirilmekte ve Radon gazının ölçümleri sağlık açısından incelendiğinde, elde edilen sonuçların bahsi geçen uluslararası kuruluşların belirttiği limit değerlerin altında olması istenir.

Son zamanlarda dünyada ve ülkemizde Radon ve ürünlerinin aktivitesini belirlemek amacıyla yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur ve bu türdeki çalışmalar halen güncelliğini koruyarak devam etmektedir. Bu kapsamda Sakarya ilinin güneyinde bulunan granit alışımlı toprağa sahip Geyve ilçesi, Doğançay bölgesi ve Örencik köyünde radon aktivite konsantrasyon ölçümleri ilk kez yapılmıştır. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada bölgede belirlenen bazı konut ve okullarda kapalı alan radon ölçümleri LR115 dedektörleri kullanılarak yaz ve kış dönemi için

belirlenmiştir. İkinci aşamada bu coğrafi alandan alınan toprak örneklerinde kapalı kutu tekniği uygulanarak bölgedeki toprak yapısında radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise belirlenen konut ve okullardan su örnekleri alınarak RAD7 radon dedektörü kullanılarak içme sularında radon konsantrasyonları belirlenmiş olup elde edilen veriler ışığında sağlık açısından risk değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.1. Kısa Literatür Özeti

Son zamanlarda dünyada insanların maruz kaldığı doğal radyasyonu saptamak amacıyla radon aktivite konsantrasyonunu belirlemek için kapalı ortamdaki hava, toprak, içme suyu ve su kaynaklarını ölçmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır.

1.1.1. Kapalı ortam radon aktivitesi

Kapalı ortam radon aktivitesini belirlemek amacıyla ülkemiz de dahil birçok ülkede LR-115, CR-39, CN-85 katıhal nükleer iz dedektörleri (SSTND) çalışmalar yapılmıştır. Örneğin dünya genelindeki çalışmaların bir kısmı;

İtalya'da Ulusal sağlık Örgütü'yle birlikte 1989 – 1994 yılları arasında 4866 konutta yürütülen, 6 aylık periyotlarla yılda iki kez ölçümler tekrarlanmış olup, sonuçlar 19 bölge laboratuvarında aynı teknik ve metotlarla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda ulaşılan ortalama değer 75 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Ancak $400 - 600 \text{ Bq/m}^3$ değerleri de ölçülmüştür (Bochicchio ve ark., 1996).

İspanya'da, Caceres ve Badajoz bölgelerinde 1998 – 2000 yılları arasında yürütülen çalışmada ortalama değer 90 Bq/m^3 ve yıllık doz değeri 16 mSv/yıl olarak belirlenmiştir (Baeza ve ark., 2003).

Yunanistan'da yapılan çalışmada çoğu konutun ölçüm sonuçları $50 - 200 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişirken en yüksek ölçüm 695 Bq/m^3 olarak gözlenmiştir. Ortalama değer ise 123 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir (Clouvas ve ark., 2006).

Mısır'da katı hal alfa iz dedektörü CR-39 kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda, kapalı ortam radon yoğunluğu seviyesinin $24 - 55 \text{ Bq/m}^3$ aralığında değişmekte olduğu gözlenmiştir. Yıllık etkin doz eşdeğeri ise $0,6 - 1,4 \text{ mSv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Maged A.F. ark., 2005).

Romanya, Transilvanya'da katı hal iz dedektörü CR-39 ile 406 konuttan gerçekleştirilen kapalı ortam radon konsantrasyonu ölçüm sonuçlarının ortalama değeri 82.5 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir (Cosma ve ark., 2009).

Brezilya'nın Sao Paulo eyaletindeki Santana Mağarasının sıklıkla ziyaret edilen dört galerisinde, Kasım 2009 ve Haziran 2010 tarihleri arasında, katı hal iz dedektörü CR – 39 ile yapılan ölçüm sonuçlarının ortalamaları yaklaşık $1,9$ ve $8,4 \text{ Bq/m}^3$ aralığında değiştiği gözlenmiştir. Yıllık etkin eşdeğer doz oranının ise $3,32 \text{ mSv/y}$ olduğu gözlenmiştir (Alberigi ve ark., 2011).

Pakistan'ın yedi büyük şehrinden (Fort Abbas, Minchin Abad, Hasilpur, Bahawalpur, Liagatpur, Rahimyar Khan and Sadiq Abad) 100 konuttan, Cr-39 alfa iz dedektörü kullanılarak elde edilen yatak odası ölçüm sonuçları $20, 20, 26, 28, 34, 42, 47 \text{ Bq/m}^3$; oturma odaları ölçüm sonuçları ise $24, 26, 27, 26, 27, 40, 43 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulunmuştur (Ahad ve ark., 2003).

Fransa'da LR-115 katı hal iz dedektörü kullanılarak 36 bölgede 2500 konutta yapılan ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması 115 Bq/m^3 ve geometrik ortalaması 62 Bq/m^3 olarak bulunmuştur (Rannou, A., 1990).

Hindistan'a bağlı Pencap'ın Malwa bölgesinde yıllık ortama kapalı ortam radon gazı konsantrasyonunun LR-115 katı hal iz dedektörü kullanılan elde edilen sonuçlarına göre 54 Bq/m^3 ve 168 Bq/m^3 arasında değiştirdiği gözlenmiştir (Mehra ve ark., 2006).

Pakistan'ın Lahore, Islamabad ve Rawalpindi şehirlerinde CN-85 katı hal nükleer iz dedektörü kullanılarak; yatak odalarında, oturma odalarında, mutfaklarda ve TV odalarında ayrı ayrı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm sonuçlarına göre Lahore

şehrindeki TV odası vs ölçüm sonuçları 20 Bq/m^3 çıkarken, yatak odalarındaki ölçüm sonuçları 93 Bq/m^3 olduğu gözlenmiştir. Birbirine yakın sonuçlar veren Islamabad ve Rawalpindi şehirlerinde bu ölçümlerin ortalama 12 Bq/m^3 ve 83 Bq/m^3 değerlerinde olduğu gözlenmiştir (Tufail ve ark., 1992).

Hindistan'daki 50 farklı bölgedeki konutların katı hal iz detektörü ile yapılan ölçümler sonucunda ortama radon konsantrasyonu 67 Bq/m^3 olduğu gözlenmiştir. Bangladeş'in Chuadanga ili 27 Bq/m^3 değeriyle en düşük ortalama sahipken, Hindistan'ın kuzey tarafındaki Una ise 281.5 Bq/m^3 değeriyle en yüksek ortalama sahip olduğu bulunmuştur (Srivastava, 2004).

Güney Yunanistan'da Megalopolis şehrindeki 42 konutta LR – 115 ve CR – 39 katı hal iz detektörleri kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda kapalı ortam ortalama radon konsantrasyon seviyesinin 52 Bq/m^3 olduğu, yıllık etkin doz ise $1,3 \pm 0,4 \text{ mSv/y}$ olduğu gözlenmiştir (Manousakas ve ark., 2010).

Mısır, İskenderiye şehrinde 14 bölgede 56 konutun yatak odalarında, oturma odalarında ve mutfaklarında LR-115 alfa iz detektörü ile yapılan ölçüm sonuçları bodrum katlar için ortalama 39 ± 10 , 63 ± 15 and $81 \pm 25 \text{ Bq m}^{-3}$, zemin katlar için ortalama 35 ± 9 , 44 ± 6 and $56 \pm 10 \text{ Bq m}^{-3}$ ve birinci katlar için ortalama 29 ± 8 , 34 ± 7 and $45 \pm 8 \text{ Bq m}^{-3}$ olduğu gözlenmiştir. Ortalama yıllık etkin doz değeri ise $0,75 \text{ mSv/y}$ olarak belirlenmiştir (Abd-Elzaher, 2013).

Yunanistan'ın Patras şehrinde 28 alçak ev ve 30 apartman, katı hal iz detektörü kullanılarak Aralık 1996 – Kasım 1997 tarihleri arasında ölçülmüştür. Evler için ortalama değer 41 Bq m^{-3} , apartmanlar için 28 Bq m^{-3} , tüm konutlar için ortalama değer ise 38 Bq m^{-3} olarak bulunmuştur. Ortalama etkin doz değeri 1,1, 0,7 ve 0,9 mSv/y olarak ölçülmüştür. Kış mevsiminde ise zemin katlarında bu değer $2,1 \text{ mSv/y}$ olarak gözlenmiştir (Papaefthymiou ve ark., 2003).

Irak'ın kuzeyi ve merkezinde LR_115 katıhal iz detektörü ile yapılan ölçümler sonucunda en düşük ve en yüksek değerler $36,36 - 125,10 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak ölçülürken

ortalama değeri ise $59,93 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Yıllık etkin doz eşdeğeri ise $1,425 \text{ mSv/y}$ olarak bulunmuştur (Battawy ve ark.2013).

Hindistan'ın kuzeyinde Uttar Pradesh eyaletinin Kanshiram Nagar (Kasganj) bölgesindeki dört köyde yapılan radon, toron ve ürünleri ölçümlerinde radon ve toron değerleri sırasıyla $10,32 - 72,24 \text{ Bq m}^{-3}$ ve $11,61 - 84,49 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Ortalama değerler ise $29,49 \text{ Bq m}^{-3}$ ve $31,20 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak gözlenmiştir (Khan ve ark., 2014).

Hindistan'ın Pencap iline bağlı Bathinda bölgesinde LR-115 katıhal nükleer iz detektörü kullanılarak yapılan ölçüm sonuçlarında, yıllık ortalama kapalı alan radon aktivitesinin 95 ± 24 ile $202 \pm 90 \text{ Bq m}^{-3}$ aralığında değiştiği görülmüştür. Yıllık etkin doz eşdeğeri ise $1,63$ ile $3,45 \text{ mSv/y}$ arasında değişmektedir (Singh ve ark., 2005).

Hindistan, Garhwal Himalaya, Bhilangana vadisinde yapılan ölçüm sonuçlarında radon konsantrasyonu değerinin $95 - 208 \text{ Bq/m}^3$ arasında değiştiği görülmektedir (Choubey ve Ramola, 1997).

Yine Hindistan'ın Assam eyaletinin Brahmaputra Vadisi'nde LR-115 detektörleri kullanılan yapılan ölçümler sonucunda radon yoğunluğunun $39,5 - 215,2 \text{ Bq/m}^3$ olduğu bulunmuştur (Deka ve ark., 2003).

Meksika şehrinde 416 evde LR-115 iz detektörü kullanılarak üç aylık periyotta yapılan ölçüm sonuçlarında radon yoğunluğunun ortalaması 145 Bq/m^3 olarak bulunmuştur (Franco-Marina ve ark., 2001).

İspanya'da Santiago de Compostela (Kuzey İspanya Galicia) bir yıllık süreçte yapılan ölçüm sonuçlarında ortalama radon yoğunluğu $253 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulunmuştur (Cortina ve ark., 2008).

Finlandiya'da, 65,000 nüfuslu $80 \times 50 \text{ km}^2$ 'lik alanda 31 alandaki 754 konutta Lr-115 iz detektörü kullanılarak yapılan ölçümlerde radon yoğunluğu en yüksek 1200

Bq/m^3 ve en düşük 95 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Tüm alanlar için ortalama yoğunluk ise 370 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir (Castren ve ark., 1985).

Yugoslavya'nın kırsal kesimlerinde CR-39 ve LR-115 kullanılarak yapılan ölçüm sonuçlarında bireysel gözlemlerde 8700 Bq/m^3 'lük değerler görülebilirken ortalama radon yoğunluğunun 200 Bq/m^3 olduğu belirlenmiştir (Zunic ve ark., 1999).

Kapalı ortam radon konsantrasyonu değerinin hala belirlenmediği Tunus'ta, İlk olarak ölçümler ülkenin belirli bölgeleri seçilerek LR-115 iz detektörü kullanılarak yapıldı. Ölçüm sonuçlarının çoğunun 100 Bq/m^3 altında olduğu gözlemlendi. En yüksek değer ise 392 Bq/m^3 olarak bulundu (El May ve ark., 2004).

Çek Cumhuriyeti'ndeki Prag ve Plzeň şehirlerine bağlı bir birim olan Teplá-Barrandian bölgesinde LR-115 iz detektörü kullanılarak bir yıllık periyotlarla yapılan çalışmalar sonucunda kapalı ortam radon gazı konsantrasyonu $244,3 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulunmuştur (Barnet ve ark., 2013).

Kuveyt'te farklı okullarda, ticari bölgelerde ve komşu sanayi bölgelerinde kapalı ortam radon konsantrasyonunu belirlemek için yapılan ölçümler CR-39 detektörleri kullanılarak yapılmıştır. Dozimetreler, seçilen okullarda iki ayrı bölgede ve bazıları da iki dalga halinde konutlarda farklı yerlerde kurulmuştur. Ölçümler 22 Aralık 2010 – 3 Nisan 2011 ve 6 Ekim 2011 – 14 Mart 2012 olmak üzere iki periyotta yapılmıştır. Yaklaşık 150 konum 6 aylık sürelerle ölçülmüştür. En yüksek seviye ilk dalgada Al-Dasma kızlar ortaokulu kontrol odasında $266 \pm 21 \text{ Bq/m}^3$ ve ikinci dalgada Al-Mansouriya kızlar ilkokulu sınıfında $404 \pm 21 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulunurken, en düşük radon seviyesi ise ilk dalgada Al-Mansouriya kızlar ilkokulu sınıfında $7 \pm 1 \text{ Bq/m}^3$ ve ikinci dalgada Al-Ahmadiyah Erkekler ilkokulu sınıfında $9 \pm 1 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulunmuştur. En yüksek radon konsantrasyon değerinin Fahaheel'de bodrum katındaki bir konutta $595 \pm 30 \text{ Bq/m}^3$ değerine ulaştığı ölçülürken, en düşük değer Ada'an bölgesinde bir konutta $13 \pm 1 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür (Al-Awadi ve ark., 2018).

Meksika’da havadaki radonu ölçmek için yapılan çalışmada LR-115 iz detektörü kullanılarak 60 farklı konutta ölçüm yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçlarına göre hem kapalı alan hem açık alan havadaki radon gazı konsantrasyon değeri 148 Bq/m^3 ’ten düşük çıkmıştır (Garcia Pena, P., 1992).

Çin’in Beijing, Nanjing ve Xi’an olmak üzere üç farklı şehrinde, Çin, Toplum Sağlığı Bakanlığı, Endüstriyel Hijyen Laboratuvarı ve Japonya, Nagoya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Nükleer Mühendislik Bölümü birlikte çalışarak kapalı ve açık alan radon ölçümlerini Kasım 1989 – Şubat 1990 tarihleri arasında LR-115 katı hal iz detektörü kullanarak iki aylık periyotlarla gerçekleştirmişlerdir. Beijing, Nanjing ve Xi’an için açık ve kapalı ortam radon konsantrasyonları sırasıyla 8.0 ± 2.5 ve 22.6 ± 3.4 , 6.4 ± 1.3 ve 13.7 ± 5.3 , 11.2 ± 3.0 ve $23.9 \pm 7.7 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür (Deyuan, 1992).

Çin’in Pekin (Beijing) şehrindeki Atom Enerji Enstitüsü’ndeki yerleşim yerindeki (CIAE) 80 konutta yapılan ölçümlerde sonuçlar $16 - 209 \text{ Bq/m}^3$ aralığında bulunmuştur. Yıllık etkin doz değeri ise 1.4 mSv/y olarak hesaplanmıştır (Huaiqin ve ark., 1992).

Bangladeş’in kuzeyindeki Naogaon, Rajshahi, Nawabgong ve Ruppur olmak üzere dört farklı bölgesinde gerçekleştirilen ölçümlerde özellikle Naogaon bölgesinde çok yüksek sonuçlar elde edilmiştir. 425 Bq/m^3 ’lük ölçüm sonucuyla çamurdan (topraktan) yapılan evlerdeki sonuçlar betonarme yapılardan daha yüksek çıkmıştır (İslam ve ark., 1992).

Rusya’ya bağlı Kalmukya Cumhuriyeti’nde, Rusya Federasyonu 2006 – 2007 yılları arasında İsviçre Radyasyondan Korunma Yetkilileri (SSI) ve Rusya Radyasyon Hijyeni Enstitüsü’yle birlikte kapalı ortam radon konsantrasyonunu ölçmek için çalışma yürütmüştür. Kışlık ölçümler üç aylık süreyle Kamukya’nın 525 konutunda gerçekleştirilmiş olup radon gazı aktivitesinin $3 - 973 \text{ Bq/m}^3$ arasında değiştiği ve ortalama değerinin 122 Bq/m^3 olduğu gözlenmiştir. 835 konuttan 19’unun Rusya

için belirlenmiş olan 200 Bq/m^3 'lük değeri aştığı gözlenmiştir (Aakerblom ve ark., 2009).

Türkiye'de LR-115, Cr-39 veya CN-85 SSNTD (katı hal nükleer iz detektörleri) kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalara örnek olarak;

Kozak-Bergama'da 8 ay boyunca yapılan çalışmalar sonucunda radon yoğunluğu, 2 Bq/m^3 'lük standart sapma ile 63 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Yıllık etkin doz eşdeğeri ise 0,27 ile $18,34 \text{ mSv/y}$ arasında değişmekte olup ortalaması $1,95 \text{ mSv/y}$ olduğu gözlenmiştir (Karadeniz ve ark., 2012).

Trabzon'da 97 konutta yapılan ölçüm sonuçlarına göre kapalı ortam radon yoğunluğunun 8 ile 583 Bq/m^3 arasında değişmekte olduğu görülmüştür. Aktivite konsantrasyonunun Kış/yaz oranı 3,62 olarak belirlenmiştir. Ortalama gama dozu ve yıllık etkin doz değeri sırasıyla 63 nGy/h ve $77 \mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur (Kurnaz ve ark., 2011).

İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Sanat Ve Bilim Fakültesi'nin sınıflarında, tuvaletlerinde, kantininde, ofislerinde ve lojmanlarında bir aylık süre ile LR-115 katıhal nükleer iz detektörü kullanılarak yapılan ölçüm sonuçlarında ortalama radon konsantrasyonu seviyesi 161 Bq m^{-3} olarak bulunmuştur. Yıllık etkin doz değerinin ise 0,79 ve $4,27 \text{ mSv/y}$ arasında değiştiği gözlenmiştir (Alkan ve Karadeniz, 2014).

Karaca ve Çal mağaralarında kışlık ve yazlık ölçümler sırasıyla Karaca mağarası için 1,023 ve 832 Bq/m^3 arasında değişirken Çal mağarası için 264 ve 473 Bq/m^3 arasında değişmektedir. Ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K aktivite konsantrasyonları Karaca mağarası için sırasıyla 43, 19 ve 262 Bq/kg bulunurken Çal mağarası için sırasıyla 31, 27 ve 460 Bq/kg bulunmuştur. Karaca mağarası için yıllık etkin doz değeri kış için $2,9 \text{ mSv/y}$, yaz için $2,3 \text{ mSv/y}$ olarak bulunmuştur. Çal mağarası için ise kış için $0,6 \text{ mSv/y}$ ve yaz için $1,1 \text{ mSv/y}$ olarak bulunmuştur (Çevik ve ark., 2011).

Çanakkale Ezine'nin kırsal kesimlerinde CR-39 plastik alfa iz detektörü kullanılarak yapılan ölçüm sonuçlarında radon konsantrasyonun 9 ile 300 Bq/m³ arasında değiştiği gözlenmiştir. Ortalama kapalı ortam radon aktivite yoğunluğu değeri ise 67.9 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Radon aktivitesinin etkin doz değeri 0.4 ile 5.2 mSv/y arasında değişmekte olup ortalaması 1.7 mSv/y olarak bulunmuştur (Örgün ve ark., 2008).

Türkiye'de 81 ilde 1536 yerleşim biriminde 7293 konutta yapılan araştırmaya göre kapalı ortam radon konsantrasyonunun 1 – 1400 Bq/m³ değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. Radon gaz konsantrasyonunun aritmetik ortalaması 81 Bq/m³ olarak bulunurken, 2,3 lük standart sapmaya bağlı olarak geometrik ortalaması da 57 Bq/m³ olarak bulunmuştur (Çelebi ve ark., 2015).

İzmir'in dört şehrinde (Buca, Gaziemir, Karşıyaka, Bornova) LR-155 selüloz nitrat ince filmleri kullanılarak yapılan ölçümler gerçekleştirilmiştir. Konutlar doğalgaz kullananlar ve kullanmayanlar olarak iki gruba ayrılmıştır. Kapalı ortam radon gazı seviyesi doğal gaz kullanan konutlarda yüksek çıkmıştır. Bornova'nın üçüncü kat konutlarının mutfaklarında sonuçlar 22.8 – 707.8 Bq/m³ olmak üzere belirlenmiş olup en yüksek sonuçlardır. Karşılaştırma yapıldığında mutfak ölçüm sonuçları oturma odasından yüksek çıkmıştır. Buna ek olarak yıllık ortalama etkin doz değeri mutfak ve oturma odaları için sırasıyla 1.65 ve 2.39 mSv/y olarak belirlenmiştir. En yüksek yıllık etkin doz değeri ikinci kat konutların mutfağında 3.39 mSv/y olarak belirlenmiştir. Karşıyaka'da ise radon konsantrasyonu seviyesinin konut yüksekliğiyle birlikte azaldığı görülmektedir. Yıllık etkin doz değeri mutfak ve oturma odası için sırasıyla 0.83 ve 2.13 mSv/y olarak hesaplanmıştır. En yüksek etkin doz değeri ikinci kat konutların mutfağı için olmak üzere 3.12 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Gaziemir'de radon konsantrasyonu değeri 22.8 – 205.5 Bq/m³ arasında değişmekte olup ortalama radon konsantrasyonu değeri 85.3 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. Yıllık etkin doz değeri ise mutfak ve oturma odası için sırasıyla 0.62 ve 1.19 mSv/y olarak hesaplanmıştır. En yüksek etkin doz değeri üçüncü kat konutların oturma odalarında 1.73 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Buca'da ise radon konsantrasyonu 40 – 177 Bq/m³ arasında değişmektedir. Yıllık etkin doz değeri

mutfak ve oturma odası için sırasıyla 0.49 ve 1.29 mSv/y olarak hesaplanmıştır. En yüksek eşdeğer doz değeri üçüncü kat konutların oturma odaları için bulunmuş olup değeri 2.26mSv/y olarak hesaplanmıştır (Şen ve ark., 2013).

Konya'da Tınaztepe mağarasında yapılan ölçümlere göre radon konsantrasyonu 41.75 – 1480 Bq/m³ değerleri arasında değişmektedir. Ortalama yoğunluk ise 779.36 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır. Mağara çalışanları için 3.84 mSv/y olan yıllık eşdeğer doz değeri, turistler için ise 3.5µSv/y olarak hesaplanmıştır (Çömlek, 2010).

Adana kış mevsiminde 52, yaz mevsiminde 57 hane ölçülmüş olup, mevsimsel değişikliği de göz önünde bulundurmak amacıyla bunlarda iki mevsimde de ölçülmüş olan 44 hane baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Ölçümler bir yılda iki aylık periyotlarla CR-39 nükleer iz detektörü kullanılarak yapılmıştır. 2005 yılının Ocak –Şubat 60 günlük ölçümleri 15 – 70 Bq/m³ arasında değişirken, yine 2005 yılının Haziran – Temmuz 60 günlük ölçümleri 5 – 70 Bq/m³ arasında değiştiği görülmektedir. Ortalama radon konsantrasyonu yaz için 25.8 Bq/m³ ve kış için 48.9 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Yaz ve kış için genel ortalama ise 37 Bq/m³ olarak ve yıllık etkin doz değeri ise 0.9 mSv/y olarak hesaplanmıştır (Değerlier ve Çelebi, 2008).

Türkiye genelinde yapılan başka bir çalışmada radon konsantrasyonunun 10 – 380 Bq/m³ arasında değiştiği ölçülmüştür. Bu çalışma katıhal nükleer iz detektörleri kullanılarak 27 ilin merkezinde gerçekleştirilmiştir (Köksal ve ark., 2004).

Elazığ'da CR-39 iz detektörü ile yapılan çalışmada toplamda 208 evde ölçüm yapılmıştır. Ve bu ölçüm sonuçlarına göre ortalama radon konsantrasyonu değeri 98 Bq/m³ bulunurken yıllık etkin doz değeri 2.48 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Havadaki radyasyon oranı 214 noktada plastik sintilatörle ölçülmüştür. Kapalı alan ve açık alan ortalama absorbe doz değerleri sırasıyla 105.8 ve 85.4 nGy/h olarak ölçülmüştür (Canbazoglu ve ark., 2012).

Çankırı ilinde ilk kez gerçekleştirilen ölçümde CR-39 (Columbia Resin-39) nükleer iz detektörü kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ortalama ^{222}Rn aktivitesi 44 Bq/m^3 bulunmuş ve yıllık etkin doz değeri ise 1.1 mSv/y olarak hesaplanmıştır (Kapdan ve ark.2012).

Samsun'da CR-39 kullanılarak 127 konutta yapılan ölçümler sonucunda yıllık ortalama ^{222}Rn değeri 106 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Yıllık etkin doz değeri ise 1.88 mSv/y olarak bulunmuştur (Küçükömeroğlu ve ark., 2012).

Ankara'da üç farklı bölgede; METU, CIGDEM, DOSTLAR bölgelerinde yapılan ölçüm sonuçlarına göre CIGDEM ve DOSTLAR arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Geometrik ortalamaları alındığında sırasıyla 87.5 ve 54.5 Bq/m^3 sonuçlarına ulaşılmıştır. Modern binalar bulunan CIGDEM'de yazlık ve kışlık ölçümler çok farklılık göstermezken, çoğunlukla gecekondü bölgesi olan ve ısı yalıtımı konusunda zayıf yapıların bulunduğu DOSTLAR'da ise mevsimler farklılıkları gözlenmiştir. Yıllık etkin doz değerleri $0.4 - 8.4 \text{ mSv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Kıldır ve ark., 2016).

Erzincan'da yapılan kapalı ortam radon konsantrasyonu ölçümleri 89 konutta CR-39 pasif katıhal nükleer iz detektörü kullanılarak dört mevsimde gerçekleştirilmiştir. Yıllık ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu ortalaması 119 Bq/m^3 olarak bulunmuştur (Kucukomeroglu, Ozturk ve ark., 2015).

Adana'da CR-39 katıhal iz detektörü kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda en düşük değer Temmuz 1991'de 10 Bq/m^3 ve en yüksek değer Kasım 1991 yılında 315 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür (Ünlü ve Yeğingil, 1992).

Kastamonu'da yapılan kapalı ortam radon konsantrasyonu ölçüm sonucu 98.4 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Yıllık etkin doz eşdeğeri ise 2.48 mSv/y olarak hesaplanmıştır (Kam ve Bozkurt, 2007).

Edirne’de kapalı ortam radon konsantrasyonunu gerçekleştirmek üzere 88 adet CR-39 detektörü çoğunlukla binaların bodrum katlarına yerleştirilmiştir. Üç aylık periyotlarla konutlarda ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre ortalama kapalı ortam radon konsantrasyonu 49.2 Bq/m^3 olarak ve ortalama yıllık etkin doz değeri ise 1.24 mSv/y olarak bulunmuştur (Bozkurt ve Kam, 2007).

Eskişehir’de şehir merkezinde yapılan ölçümler LR-115 iz detektörü kullanılarak 220 farklı evde gerçekleştirilmiştir. 2010 – 2011 tarih aralığında gerçekleştirilen 524 ölçümde radon konsantrasyonunun kış için $34 - 531 \text{ Bq/m}^3$, baharda $22 - 424 \text{ Bq/m}^3$, yaz için $25-320 \text{ Bq/m}^3$ ve sonbaharda $19 - 412 \text{ Bq/m}^3$ aralığında olduğu gözlenmiştir. Yıllık ölçümlerin ortalaması $19 - 338 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulunurken ortalama yıllık etkin doz değeri ise 3.398 mSv/y olarak hesaplanmıştır (Soğukpınar ve ark., 2014).

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Kampüsü’nde Mayıs 2012 – Mayıs 2013 tarihleri arasında gerçekleştirilen ölçümlerde kapalı ortam radon konsantrasyonu ortalama değerinin $14 \pm 8.5 \text{ Bq/m}^3$ aralığında olduğu, aylık bazda incelendiğinde eylül için $37.3 \pm 21.6 \text{ Bq/m}^3$ ve Nisan için $13.1 \pm 7.7 \text{ Bq/m}^3$ aralığında, Mevsimsel olarak incelendiğinde Haziran – Eylül yaz için $23.4 \pm 18.4 \text{ Bq/m}^3$, Nisan – Mayıs bahar için $13.3 \pm 7.8 \text{ Bq/m}^3$ aralığında olduğu belirlenmiştir (Atik ve ark., 2016).

Kırıkkale’nin dokuz bölgesindeki radon konsantrasyonunu ölçmek için yürütülen çalışmada yazlık ölçümlerde radon aktivitesi değerinin $14.0 \pm 1.5 - 288.0 \pm 21.9 \text{ Bq/m}^3$ aralığında değişmekte olup ortalaması 63.27 Bq/m^3 bulunurken, kışlık ölçümlerde ise $17.0 \pm 4.5 - 484.0 \pm 26.9 \text{ Bq/m}^3$ aralığında değişmekte olup ortalaması 86.94 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Yıllık etkin doz değeri $0.04-0.59 \text{ mSv/y}$ arasında değişmekte olup ortalaması 0.23 mSv/y olarak hesaplanmıştır (Bingöldağ ve Otansev, 2017).

1.1.2. Topraktaki radon aktivitesi

Topraktaki radon aktivitesini belirlemek amacıyla ülkemiz de dâhil birçok ülkede kapalı kutu tekniği (Can Technique) ile LR-115, CR-39 katıhal nükleer iz

dedektörleri (SSTND) ile çalışmalar yapılmıştır. Dünya genelindeki çalışmaların bir kısmına örnek olarak;

Güney Tayland'ın Songkhla ilinin, Namom bölgesinde RTM1688 – 2 radon monitörüyle yapılan ölçümler sonucunda, topraktaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K içerikleri sırasıyla 108 ± 26 , 114 ± 22 ve $1081 \pm 278 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Pisapak ve ark., 2017).

Hindistan'ın Garhwal Himalaya, Bhilangana Vadisinde LR-115 iz detektörü kullanılarak yapılan ölçümlerde topraktaki radon konsantrasyonu $1 \text{ kBq/m}^3 - 57 \text{ KBq/m}^3$ değerleri arasında bulunmuştur (Choubey ve Ramola, 1997).

Hindistan'ın Tehri Garhwal, Budhakedar bölgesinde LR-115 kullanılarak yapılan çalışmada, topraktaki radon konsantrasyonunun 1.10 ± 0.29 ile $31.8 \pm 1.6 \text{ kBq/m}^3$ arasında değiştiği gözlenmiştir. Ortalama radon konsantrasyonu ise $7.46 \pm 0.69 \text{ kBq/m}^3$ olarak değişmektedir (Prasad ve ark., 2008).

Hindistan'ın, Gucarat, Kutch bölgesinde radon yayılımını incelemek üzere Radon monitörü RMT 1688 – 2 iki istasyona kurulmuştur. Badargadh için 21 Şubat 2011 – 8 Haziran 2011 ve Desalpar için 2 Mart 2011 – 19 Mayıs 2011 tarihleri arasında ölçümler alınmıştır. Desalpar bölgesinde radon konsantrasyonu $781 - 4320 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişirken ortalaması 2499 Bq/m^3 olarak hesaplanmış olup toron için bu değerler $191 - 2017 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişmekte ve ortalaması 1433.69 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde Badargadh bölgesinde radon konsantrasyon değeri $264 - 2221 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişirken ortalaması 1135.4 Bq/m^3 olarak hesaplanırken toronun ise $97 - 556 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişmekte olduğu ölçülmüştür (Sahoo ve ark., 2018).

Kamerun'da volkanik alanda yapılan çalışmalarda yüzey toprağından elde edilen ölçümlerde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarının sırasıyla $11 - 17 \text{ Bq/kg}$, $22 - 36 \text{ Bq/kg}$ ve $43 - 201 \text{ Bq/kg}$ olarak değiştiği gözlenmiştir. ^{137}Cs ise çok küçük bir değerde bulunmuştur. LR-115 katı hal nükleer iz detektörü kullanılarak yapılan

ölçümler dedektörlerin yerin 50cm altına yerleştirilmesi yoluyla yapılmıştır. Toprak gazı radon konsantrasyonu Buea ve Limbe için sırasıyla $6.7 - 10.8 \text{ kBq/m}^3$ ve $5.5 - 8.7 \text{ kBq/m}^3$ olarak ölçülmüştür (Ngachin ve ark., 2008).

Afrika, Gana(Akra)'nın güneydoğusunda yapılan radon gaz yayılımı ölçümleri Lr-115 detektörü kullanılarak yapılmıştır. Detektörler 500m x 500m boşluklarla 47 noktaya yerleştirilmişlerdir. Yüksek fay hattı bölgesinde radon aktivitesi 115.00 kBq/m^3 olarak ölçülürken, düşük fay hattı bölgesinde radon aktivitesi 20.00 kBq/m^3 'ten düşük sonuçlar vermiştir (Amponsah ve ark., 2008).

Hindistan, Pencap ilinde Bathinda bölgesinde toprak gazı ölçümleri kapalı kutu tekniğiyle gerçekleştirilmiştir. Uranyum ve radyum konsantrasyonlarının sırasıyla $0.54 - 3.68 \text{ mg/kg}$ ve $5.70 - 25.45 \text{ Bq/kg}$ arasında değiştiği ölçülmüştür. Radon kütle yayılım hızı $246.63 - 1100.00 \text{ mBqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ve yüzey yayılım hızı ise $7.17 - 31.98 \text{ mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Singh ve ark., 2005).

Hindistan'ın kuzeyinde yer alan Uttar Pradeş'te Aligarh, Etah ve Mathura bölgelerinde topraktaki radon gazı ölçümleri için toprak örnekleri toplanıp bu örneklerin ölçümleri kapalı kutu tekniği kullanılarak yapılmıştır. Etkin radyum içeriği değerinin $8.11 - 112.83 \text{ Bq/kg}$ arasında değiştiği ölçülmüş ve ortalama değeri 33.21 Bq/kg olarak 28.15 standart sapma ile hesaplanmıştır. Kütle yayılım hızı $0.76 \times 10^{-6} \text{ Bqkg}^{-1}\text{gün}^{-1}$ ve $15.80 \times 10^{-6} \text{ Bqkg}^{-1}\text{gün}^{-1}$ arasında değişmekte olup ortalaması $4.21 \times 10^{-6} \text{ Bqkg}^{-1}\text{gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Yüzey yayılım hızı ise $1.97 \times 10^{-5} \text{ Bqm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ ve $41.03 \times 10^{-5} \text{ Bqm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ arasında değişmekte olup ortalaması $10.93 \times 10^{-5} \text{ Bqm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır (Khan ve ark., 2012).

Ürdün-Irbid, Deir Abu-Said bölgesinde CR-39 katıhal nükleer iz detektörü ile gerçekleştirilen topraktaki radon gazı konsantrasyonunun mevsime bağlı ölçümleri iki bölgede 5 farklı derinlikte (10, 25, 50, 75 ve 100cm) gerçekleştirilmiştir. Uwaqqar Chalky-Marl için yazlık ve kışlık sonuçlar sırasıyla 6.85 kBq/m^3 ve 4.01 kBq/m^3 ve Al-Hisa Phosphatic(AHP) Limestone için yazlık ve kışlık ölçümler

sırasıyla 35.5 kBq/m³ ve 24.6 kBq/m³ olarak ölçülmüştür (Al-Shereideh ve ark., 2006).

Mısır'ın güneyindeki 6 farklı yerleşim yerinden toplanan 30 toprak örneği radon konsantrasyonunu belirlemek amacıyla Cr-39 katı hal nükleer iz detektörü ile ölçülmüştür. Radon konsantrasyon değeri 1.54 – 5.37 Bq/kg arasında değişkenlik gösterirken yayılım hızı ise 338.81 – 1426.47 Bq/m²d olarak hesaplanmıştır (Sroor ve ark., 2001).

Hindistan, Himachal Pradesh, Kangra köylerinden toplanan toprak örnekleri radon konsantrasyonunu ölçmek üzere LR-115 iz detektörü kullanılarak ölçülmüştür. Toprak örneklerindeki radyum konsantrasyonu 11.54 – 26.71 Bq/kg arasında değişkenlik göstermektedir. Uranyum konsantrasyonu ise 0.75 – 2.06 ppm arasında değişkenlik göstermektedir. Radon kütle yayılım hızı yüzey yayılım hızları sırasıyla 35.11 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 502.12 – 1162.64 mBqm⁻²h⁻¹ olarak bulunmuştur (Sharma ve ark., 2003).

Pakistan'ın Pencap ilindeki en büyük bölge olan Bahawalpur'da toprak gazı radon konsantrasyonu ölçümü gama spektrometresi yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs ortalama değerleri sırasıyla 32.9 ± 0.9, 53.6 ± 1.4, 647.4 ± 14.1 ve 1.5 ± 0.2 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ortalama Ra değeri, harici tehlike endeksi, dâhili tehlike endeksi ve soğrulan doz miktarı sırasıyla 158.5 ± 4.1 Bq/kg, 0.4, 0.5 ve 77.32 nGyh⁻¹ olarak bulunmuştur (Matiullah ve ark., 2004).

Pakistan, Pencap ilinin güneyinde yapılan toprak gazı radon konsantrasyonu ölçümlerinde Ra eşdeğer aktivitesi 96.7 ± 15.2 Bq/kg ve soğurulan doz değeri ise 46.1 ± 7.3 nGy/h olarak bulunmuştur. Yıllık etkin doz değeri ise 0.28 ± 0.05 mSv olarak hesaplanmıştır (Fatima ve ark., 2008).

Pakistan'ın Pencap iline bağlı Narowal, Mandibahauddin, Sialkot, Hafizabad, Gujrat, Gujranwala bölgelerinden toprak örnekleri toplanmıştır. 200gr'lık örnekler Cr-39 detektörü ile kaplara konulmuş 30 günlük ölçümler alınmıştır. Bu ölçüm sonuçları

122 ± 19 ile 681 ± 10 $\text{mBqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ arasında değişmekte olup ortalaması 376 ± 147 $\text{mBqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Faheem ve Matiullah, 2008).

Pakistan'ın Azad Kashmir, Muzaffarabad ve Neelum vadisinden toplanan örnekler plastik kaplara konulmuştur. Bu kapların içine toprak örneklerinin yüzeyinden 25cm yukarıda olacak şekilde CR-39 iz detektörleri yerleştirilmiş ve 80 günlük ölçümler alınmıştır. Bu ölçüm sonucunda yüzey yayılım hızının 171 ± 11 ile 344 ± 11 $\text{mBqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ arasında olduğu gözlenmiştir (Rafique ve ark., 2011).

Romanya, Băița-Ștei bölgesinde toprak üzerine yapılan çalışmalar sonucunda radon konsantrasyonunun 20 ile 500 kBq/m^3 arasında değişmekte olduğu ölçülmüştür. Kütle yayılım hızı ise 80 $\text{mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır (Cosma ve ark., 2013).

Hindistan, Racastan bölgesindeki Bikaner ve Jhunjhunu yerleşim yerlerinde topraktaki radon gazı konsantrasyonunu belirlemek amacıyla 20 farklı yerden örnekler toplanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda radon gazı seviyesinin 941 ile 10,050 Bq/m^3 arasında değişmekte olduğu gözlenirken, ortalama değeri 4561 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır (Mittal ve ark., 2016).

İspanya'ya bağlı İber Yarımadası'nın kuzeydoğusunda yer alan ve 4 ilden oluşan özerk bölge Katalonya'daki, La Garrotxa'nın volkanik bölgesinde topraktaki radon konsantrasyonunu ölçmek için çalışmalar yapılmıştır. Volkanik ve volkanik olmayan çeşitli bölgelerden toprak örnekleri toplanmıştır. ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th için elde edilen konsantrasyon değerleri sırasıyla 448 ± 70 Bqkg^{-1} , 35 ± 5 Bqkg^{-1} ve 38 ± 5 Bqkg^{-1} şeklindedir. Soğurulan doz ise 27- 91 nGyh^{-1} olarak elde edilmiştir (Moreno ve ark., 2014).

Sudan'ın 15 eyaletinden biri olan Kordofan'ın güneyindeki Nuba Dağı'nın doğusunda bulunan Uro ve Korn alanlarından 30 farklı toprak örneğinin radon gazı konsantrasyon değeri hesaplanmıştır. Radon seviyesinin 20 ile 1,359 Bq/m^3 arasında değiştiği ölçülmüştür. Ortalaması ise 102.80 Bq/cm^3 olarak hesaplanmıştır (Idriss ve ark., 2014).

Polonya’da Krakow ve Silesia şehirlerinde 48 konuttaki minyatür difüzyon odalarıyla yürütülen topraktaki radon gazı konsantrasyonu ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler için hazırlanan $25 \times 4 \times 0.5$ mm ölçülerindeki CR-39 iz detektörleri yerin 1 m altına yerleştirilmiştir. Ortalama bekleme süresi 2 ile 14 gün arasında değişmektedir. Oluşturulan oda, AlphaGUARD PQ-2000 aktif probuna karşı test edilmiştir. Test sonuçları tutarlı sonuçlar vermiştir. Bulunan en düşük değer 0.5 MBqhm^{-3} olarak ölçülmüştür. Bunun dışında kaydedilen değerler 2 ile 20 MBqhm^{-3} değerleri arasında ölçülmüştür. Ortalaması ise 13 kBq/m^3 olarak hesaplanmıştır (Mazur ve ark., 1999).

İspanyol Pireneleri’nde (Pirene Dağları’nda) Amer kasabası yakınlarında seçilen iki bölgede toprak gazı radon konsantrasyonu ölçümleri yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyonu 52 kBq/m^3 olarak ölçülürken en düşük değerler $0.2 - 0.4 \text{ kBq/m}^3$ olarak değişmektedir (Zarroca ve ark., 2012).

Rusya’da özellikleri bilinen 50 jeolojik nokta belirlenmiş ve topraktaki radon gazı konsantrasyonunu belirlemek amacıyla ölçüm yapılmıştır. Haziran – Ekim 2000 tarih aralığında nükleer katı hal iz detektörleri (SSNTD) 70 cm derine yerleştirilmişlerdir. Radona ortalama maruz kalma süreleri 72 – 96 saat aralığında farklılık göstermektedir. Topraktaki radon gazı konsantrasyonu $1.7 - 24 \text{ kBq/m}^3$ arasında değişkenlik gösterirken ortalama değeri ise 11 kBq/m^3 olarak ölçülmüştür (Iakovleva ve Ryzhakova, 2003).

Portekiz’in Merkezinde bulunan Oliveira Hastanesi (Oliveira do Hospital) bölgesinden Toprak örnekleri toplanmıştır. Bu bölge İber yarımadası Uranyum Bölgesi (Iberian Uranium Province)’ndedir. Ölçümler $12,850 \text{ kBq/m}^3$ gibi yüksek sonuçlar vermiştir. Ölçüm noktalarının büyük bir kısmı 100 kBq/m^3 değerinde üstünde sonuçlar vermiştir (Pereira ve ark., 2010).

Macaristan’da yüksek radon konsantrasyonu Kővágószőlős köyünün 15 – 55 m altında bulunan Uranyum madeninde 410 kBq/m^3 olarak ölçülmüştür. Bu maden 1997’de kapatılmıştır. Topraktaki radon gazı konsantrasyonu ortalama 88.8 kBq/m^3

olarak ölçülmüştür. Radon yayılım hızı ise $71.4 \text{ Bqm}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır (Somlai ve ark., 2006).

Güney Kore’de topraktaki radon gazı konsantrasyonu ölçümü CR-39 detektörü kullanılarak 6 farklı şehirde 2 – 3 aylık periyotlarla gerçekleştirilmiştir. Topraktaki radon gazı konsantrasyonu değeri $3.9 - 23.1 \text{ kBq/m}^3$ aralığında bulunmuştur (Chung ve Tokonami, 1998).

Bulgaristan’da 2008 – 2012 yılları arasında ölçülen topraktaki radon gazı konsantrasyonu 13 kentsel alanda 64 yerleşim yerinde AlphaGUARD ekipmanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 3 ile 97 kBq/m^3 arasında bulunan değerlerin ortalaması 26 kBq/m^3 olarak bulunmuştur (Kunovska ve ark., 2013).

Türkiye’de yine kapalı kutu (Can Technique), LR-115, Cr-39 SSNTD (katı hal nükleer iz detektörleri) kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalara örnek olarak;

Yalova’da yapılan çalışmalarda ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs için değerler sırasıyla $8.5 - 37.3 \text{ Bq/kg}$, $3.8 - 43.9 \text{ Bq/kg}$, $8.3 - 41 \text{ Bq/kg}$, $197.1 - 950.0 \text{ Bq/kg}$ ve $0.5 - 13.4 \text{ Bq/kg}$ değerleri arasında ölçülmüştür. Ortalama değerleri ise yine sırasıyla 17.95 Bq/kg , 26.87 Bq/kg , 22.36 Bq/kg , 419.32 Bq/kg ve 2.53 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Kapdan ve ark., 2011).

Bursa’da Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde yapılan ölçümlerde topraktaki radon gazı konsantrasyonunun ve toron gazı konsantrasyonunun sırasıyla 2272 ± 121 ile $245196 \pm 3455 \text{ Bq/m}^3$ arasında ve 999 ± 218 ile $178,848 \pm 17,742 \text{ Bq/m}^3$ arasında değiştiği görülmüştür. Soğurulan doz ise 38 ile 180 nGyh^{-1} olarak bulunmuştur (Akkaya ve ark., 2016).

Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Hattı’nda topraktaki radon konsantrasyonunu ölçmek amacıyla CR-39 katı hal nükleer iz detektörlerini içeren kapalı kutu tekniği ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda uranyum konsantrasyonunun 12.4 ± 1.2

ve 138.0 ± 6.1 Bq/kg değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. En yüksek etkin değer radyum ve radon için sırasıyla 55.1 ve 14.5 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Baykara ve Doğru, 2006).

Ordu'da topraktaki konsantrasyonu belirlemek için yapılan ölçümlerde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için bulunan değerler sırasıyla $13.4 - 151.7 \text{ Bq kg}^{-1}$, $14.3 - 98.5 \text{ Bq kg}^{-1}$, $303 - 1107 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve $67.4 - 275.3 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri ise 34.5, 26.9 ve 378.4 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Çelik ve ark., 2010).

Türkiye'de iki aktif Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde CR-39 detektörü ile gerçekleştirilen sonucunda Radon konsantrasyonunun iki hat için 4.3 ile 9.8 kBq/m^3 arasında değiştiği gözlenmiştir. Kuzey Anadolu Fay Hattı radon konsantrasyon seviyesi Doğu Anadolu Fay Hattı'na göre daha yüksek çıkmıştır (Inceöz ve ark., 2006).

Giresun'da yapılan topraktaki radon gazı konsantrasyonunun $52 - 360 \text{ Bq/m}^3$ değerleri arasında olduğu ölçülmüş olup, ortalama değeri 130 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır (Çelik ve ark., 2008).

Ovacık – Silifke – Mersin bölgelerinde toprakta gama ışını spektrometresi tekniğiyle yapılan ölçüm sonuçlarında ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K için sırasıyla $81.7 \pm 22.9 \text{ Bq/kg}$, $6.3 \pm 2.8 \text{ Bq/kg}$, $77.5 \pm 24.3 \text{ Bq/kg}$ ve $140.0 \pm 124.1 \text{ Bq/kg}$ olarak bulunmuştur. Gama indeksi, iç maruz kalma indeksi, kapalı alan absorbe doz oranı ve kum örneklerinin kullanımından kaynaklanan tehlikeye maruziyet oranı sırasıyla 0.20 ile 0.75 değerli arasında ve 0.34 ± 0.11 ortalamasıyla, 0.23 ile 0.77 değerleri arasında ve 0.39 ± 0.12 ortalamasıyla, 58.27 ile 201.51 nGyh^{-1} değerleri arasında ve $93.33 \pm 27.62 \text{ nGyh}^{-1}$ ortalamasıyla, 0.29 ile 0.99 mSv ve $0.46 \pm 0.14 \text{ mSv}$ ortalamasıyla hesaplanmıştır (Turhan ve ark., 2009).

Samsun’da CR-39 katıhal nükleer iz detektörü kullanılarak toprakta yapılan ölçümler sonucunda ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitleri için bulunan değerler sırasıyla 31, 22, 341 ve 16 Bq/kg şeklindedir (Küçükömeroğlu ve ark., 2012).

İğdır ilinden yüzeyin 10 – 30 cm derinliğinden toprak örnekleri toplanıp radon seviyesi için ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs sonuçları sırasıyla 12.8 – 31.2, 11.6 – 36.8, 285.0 – 613.7 ve 2.5 – 51.1 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ortalama değerleri ise yine sırasıyla 19 ± 0.6 , 21.9 ± 0.6 , 437.7 ± 10.3 ve 11.8 ± 1.1 Bq/kg olarak bulunmuştur (Turhan ve ark., 2017).

Mersin ve Akkuyu Nükleer Santrali bölgesinden toplanan toprak örnekleri radon konsantrasyonunu belirlemek amacıyla HPGE dedektörleri ile ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerin sonucunda ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs değerlerinin sırasıyla 14.1 ± 0.7 – 65.4 ± 2.9 , 12.0 ± 0.8 – 51.7 ± 2.1 , 172.2 ± 15.8 – 511.1 ± 37.8 ve 86.2 ± 1.4 Bq/kg olarak bulunmuştur. Topraktaki ve havadaki ortalama radon gazı konsantrasyonu sırasıyla 23.9 kBq/m^3 ve 76 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Yıllık etkin doz değeri ise 51 nGv/h olarak hesaplanmıştır (Karataşlı ve ark., 2016).

Ganos Fayı’ndan toplanan toprak örnekleri ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri için doğal radyoaktivite konsantrasyonlarını ölçmek amacıyla toplanmıştır. Gama spektrometresi ışınlanmasıyla belirlenen bu değerler ^{226}Ra için ND (No Data) – 24.1 Bq/kg , ^{232}Th için ND (No Data) – 40.2 Bq/kg ve ^{40}K için ise 315.9 – 748.9 Bq/kg olarak belirlenmiştir (Günay ve ark., 2018).

Van ilindeki Tendürek Dağlarının yanındaki Bendimahı nehrinin civarından toplanan toprak örnekleri, Mayıs – ağustos 2005 tarih aralığında alfa ve beta radyoaktivite yoğunluğunu ölçmek için incelenmiştir. Topraktaki alfa ve beta aktiviteleri Mayıs ayında sırasıyla 0.800 – 4.277 Bq/g ve 0.951 – 11.773 Bq/g şeklinde ölçülmüş olup ağustos ayında yine sırasıyla 0.686 – 4.713 ve 0.073 – 9.524 Bq/g arasında değiştiği gözlenmiştir. Konsantrasyon aralığı Mayıs ayında 0.782 ile 4.596 Bq/g ve ağustos ayında 0.580 – 5.824 Bq/g aralığında değiştiği hesaplanmıştır (Zorer ve ark., 2009).

Ardahan ilinden radon konsantrasyonu analizleri için toprak ölçümleri toplanmıştır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için ölçüm sonuçları sırasıyla 29.9 ± 6.2 , 36.7 ± 6.8 ve 435.1 ± 23.9 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Fizyon ürünü olan ^{137}Cs ise 15.5 ± 0.8 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Toplanan 35 toprak örneği için ortalama (karasal ve kozmik) gama oranı ve yıllık etkin doz değeri sırasıyla 56.3 ± 8.7 nGy/h ve 69.0 ± 6.7 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlenmiştir (Cengiz, 2017).

Zonguldak ilinde toprakta yapılan ölçümlerde radon gazı konsantrasyon değerinin $295.67 - 70852.92$ Bq/m³ arasında olduğu gözlenmiştir (Koray ve ark., 2014).

Bergama, Kozak bölgesinde topraktaki radon gazı konsantrasyonunu ölçmek amacıyla yapılan çalışmada ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin değerlerinin $32 - 82$, $42 - 88$ ve $667 - 1127$ Bq/kg aralığında olduğu belirlenmiştir. Soğurulan doz birimi 100 nGy/h olarak hesaplanmıştır (Çıyrak, 2010).

Dikili bölgesinde yapılan toprak LR-115 katıhal nükleer iz detektörü kullanılarak yapılan ölçümlerde topraktaki radon gazı konsantrasyonu ve mevsimsel değişikliklere bağlı olarak ölçülmüştür. Bölgenin radon gazı konsantrasyonu değerinin $98 - 8594$ Bq/m³ arasında değişmekte olduğu ölçülmüş ve ortalama değeri 1920 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır. En yüksek konsantrasyon değeri yazın ve en düşük konsantrasyon değeri ise kışın elde edilmiştir. Ortalama aktivite değerleri ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitleri için sırasıyla 28.7 , 17.6 ve 579.2 Bq/kg olarak bulunmuştur (Tabar ve ark., 2013).

Tekirdağ ilinde gama ışını spektrometresi ile yapılan toprak ölçümleri sonucunda ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için bulunan değerler sırasıyla 29 , 39 , 580 ve 5.2 Bq/kg şeklindedir. Yıllık etkin doz değeri ise 75 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Kam ve ark., 2010b).

1.1.3.Sudaki Radon Aktivitesi

Sudaki radon aktivitesini belirlemek amacıyla ülkemiz de dâhil birçok ülkede RAD7, AlphaGUARD PQ2000PRO gibi tekniklerle çalışmalar yapılmıştır. Dünya genelindeki çalışmaların bir kısmına örnek olarak;

Hindistan, Pencap ilindeki Hoshiarpur bölgesindeki köylerden ve köylerden radon seviyesini belirlemek amacıyla su örnekleri toplanmıştır. Toplanan su örnekleri RAD7 detektörü ile ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda radon seviyesinin 2.03 – 6.65 Bq/l değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. Ortalama değer ise 4.27 Bq/l olarak hesaplanmıştır (Mehra ve ark., 2010).

Hindistan'ın Karnataka eyaletinin Varahi ve Markandeya komuta alanlarından radon seviyesini ve yıllık etkin doz değerlerini belirlemek amacıyla yeraltı sularından örnekler toplanmıştır. Bu örnekler RAD7 (DurrIDGE Company) detektörü ile ölçülmüştür. Varahi bölgesinden toplanan 16 su örneğinin sonuçları $0,2 \pm 0.4$ – 10.1 ± 1.7 Bq/l değerlerinin arasında olduğu gözlenmiş ve ortalaması ise 2.07 ± 0.84 Bq/l olarak hesaplanmıştır. Markandeya bölgesinden toplanan 14 su örneğinin sonuçları 2.21 ± 1.66 – 27.3 ± 0.787 Bq/l aralığında olduğu gözlenmiş ve ortalaması ise 9.30 ± 1.45 Bq/l olarak hesaplanmıştır yıllık etkin doz değeri ise UNSCEAR ve WHO tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinin oldukça altında çıkmıştır (Somashekar ve Ravikumar, 2010).

Filistin'de su ölçümleri RAD7 (DurrIDGE comp) detektörü ile yapılmıştır. Nablus şehrinin yerleşim yerlerinden 4 kuyu, 5 kaynak suyu toplanmıştır. Toplanan örnekler 3'er kez toplanıp 4 döngüde ölçülmüştür. Daha sonra Nablus şehrinin yedi bölgesinden 3 musluk suyu örneği toplanmıştır. Bu eski şehre ilişkin on örnek alınmıştır. Ölçüm sonuçlarında ortalama radon seviyesi sırasıyla kaynak, kuyu, musluk ve eski şehir için 4.6, 9.5, 1.0 (0.9 – 1.3), 2.3 (0.9 – 3.9) değerlerinde bulunmuştur (Zabadi ve ark., 2012).

Malezya’da Peninsular kuzeyindeki, Penang ilindeki ve adasındaki yerel su kaynakları ve içme sularından 39 örnek radon seviyesini ölçmek amacıyla toplanmıştır. Ham su, işlenmiş su ve şişelenmiş su örneklerinin ölçüm sonuçları 7.49 – 26.25, 0.49 – 9.72 ve 0.58 – 2.54 Bq/l değerleri arasında çıkmıştır. Yıllık etkin dozlarının aralığı 0-1, 2-16 ve 16 yaşından büyük olan yaş grupları için sırasıyla 0.003 – 0.048, 0.001 – 0.018 ve 0.002 – 0.023 mSv/y değerleri arasında hesaplanmıştır (Muhammad ve ark., 2012).

Pakistan, Khyber Pakhtunkhwa, Peshawar Ana Kampüsü’den radon seviyesinin belirlemek amacıyla 36 içme suyu örneği toplanmıştır. Örnekler RAD7 detektörü ile ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları minimum, maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 1.6 ± 0.3 , 18.2 ± 1.0 ve 8.8 ± 0.8 aralığında elde edilmiştir (Khattak ve ark., 2011).

Hindistan, Pencap ilinin Malwa bölgesinden 36 su örneği toplanmıştır. Su örneklerinin radon seviyesi 5.01 – 11.6 Bq/m³ aralığında bulunmuştur. Yıllık etkin doz değeri ise 13.42 – 31.08 µSv/y aralığında elde edilmiştir (Kumar ve ark., 2011).

Romanya, Transilvanya’da radon seviyesinin belirlemek amacıyla doğal su örnekleri toplanmıştır. Radon konsantrasyon aralığı 0.5 – 129.3 kBq/m³ olarak elde edilmiştir. Ortalama değeri ise 15.4 kBq/m³ olarak hesaplanmıştır (Cosma ve ark., 2008).

Hindistan, Karnataka şehrinin sahil kesimindeki Kali ve Sharavathi nehirlerinin yüzeyinden ve yeraltı kaynaklarından radon seviyesi ölçümü amacıyla su örnekleri toplanmıştır. Ölçümler AlphaGUARD PQ2000PRO detektörü ile yapılmıştır. Kali nehrinden sağlanan iyi su ve açık su kuyuları için ölçüm sonuçları sırasıyla 0.91 – 15.86 ve 0.33 – 9.70 Bq/l ve Sharavathi nehrinden sağlanan iyi su ve açık su kuyuları için ölçüm sonuçları sırasıyla 1.07 – 10.72 ve 2.01 – 10.02 Bq/l aralığında elde edilmiştir. Kali nehri için elde edilen değer 0.16- 1.79 ve Sharanathi nehrinden elde edilen değer 1.19 – 9.92 Bq/l olarak elde edilmiştir (Rajashekara ve ark.2007).

Lübnan’da kuyu ve kaynak suları radon seviyesini ölçmek amacıyla toplanmıştır. Toplanan örnekler E-PERM metoduyla ölçülmüştür. Kuyu sularının seviyesi 0.91

Bq/l olarak elde edilirken, daha yüksekteki kaynak sularının radon seviyesi 49.6 Bq/l olarak elde edilmiştir. Toplanan 20 ölçeğin sadece 5 tanesi 11 Bq/l değerinde yüksek çıkmıştır (Abdallah ve ark., 2007).

Brezilya'nın Santos bölgesinden doğal sular radon aktivitesini belirlemek amacıyla toplanmıştır. Ölçümler için Makrofol E polycarbonate plastik detektörü kullanılmıştır. Su örneklerinden yayılan 30 günlük maruziyet sonrasında yapılan ölçümlere göre yer altı sularının, deniz suyunun, musluk sularının ve nehir sularının elde edilen değerleri sırasıyla 0.95 – 36.00, 0.30 – 0.54, 0.39 – 0.47 ve 0.43 – 2.40 Bq/l olduğu gözlenmiştir. Santos Vicente halka açık su kaynaklarının değeri 2.35 Bq/l olarak elde edilmiştir (Marques ve ark., 2004).

Kore'nin güney-doğu bölgesinden radon aktivitesini ölçmek amacıyla toplanan 439 örnek üzerinde ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçları 0 – 300 Bq/l arasında olarak elde edilmiştir (Cho ve ark., 2004).

İspanya, Extremadura bölgesinden radon aktivitesini ölçmek amacıyla 300 yeraltı suyu örneği toplanmıştır. Ölçümler sonucunda radon konsantrasyonlarının ölçüm sonucu $0.15 - 1.2 \times 10^3$ Bq/l değerleri aralığındadır. Aritmetik ve geometrik ortalamaları sırasıyla 98 ve 29 Bq/l değerlerindedir (Lopez ve ark., 2004).

İtalya, Mt. Etna volkanik bölgesinden 119 yeraltı suyu radon aktivitesini belirlemek üzere Lucas-type sintilasyon odası tekniği ile ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları 1.8 – 52.7 Bq/l değerleri arasında elde edilmiştir (D'Alessandro ve Vita, 2003).

Cezayir'de içme suları (maden suları) radon aktivitesinin belirlemek amacıyla şişe maden suları örnek olarak toplanmış ve Cr-39 detektörü ile ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarında içme sularındaki ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerleri sırasıyla 7 ± 4 Bq/l, 26 ± 11 mBq/l, 30 ± 13 mBq/l ve 1 ± 0.5 Bq/l olarak elde edilmiştir. Yine sırasıyla yıllık etkin doz değerleri 56.8 $\mu\text{Sv/y}$, 3.94 $\mu\text{Sv/y}$, 4.45 $\mu\text{Sv/y}$ ve 3.33 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Amrani, 2002).

Ürdün’de radon aktivitesini ölçmek amacıyla değişik doğal kaynaklardan su örnekleri toplanmıştır. Ölçümler CR-39 plastik detektörleriyle yapılmıştır. Aktivite yoğunluğu soğuk kaynak suları, sıcak kaynak suları, kuyu suları, içme suları ve deniz suyu için sırasıyla 3.3 – 5.5, 3.1 – 10.7, 3.2 – 4.7 ve 4.3 – 6.3 Bq/l değerleri arasında elde edilmiştir (Al-Bataina ve ark., 1997).

Hindistan, Garhwal Himalaya, Bhilangana Vadisi yer altı suları radon aktivitesini ölçmek amacıyla toplanmıştır. Ölçümler sonucunda radon konsantrasyon değer aralığı 5 – 887 Bq/l olarak elde edilmiştir (Choubey ve Ramola, 1997).

Kıbrıs’ta sudaki radon aktivitesini belirlemek için yeraltı suları ölçülmüştür. Verilere göre kış için elde edilen sonuçlar 0.7 – 0.9 Bq/l arasında değişirken, bahar ve yaz ortasında 1.4 Bq/l değerine ulaştığı gözlenmiştir. Yaz sonu ve sonbahar ortasında 0.65 Bq/l değerlerine kadar düşmekte olduğu gözlenmiştir (Tsialli ve ark., 2011).

Kanada, Quebec’ten içme sularındaki radon aktivitesini ölçmek amacıyla 236 su örneği toplanmıştır. Ölçüm sonuçlarında 52 mBq/l değeri elde edilmiştir. Ölçüm sonuçlarının %3’lük kısmı kirletici seviye olan 555 mBq/l seviyesinden yüksek çıkmıştır (Zikovsky, 2006).

Amerika, Maine eyaletinin 16 şehrinden kamu ve özel kuyu sularından yaklaşık 2000 örnek toplanmıştır. Bunların 350 tanesi jeoloji ve hidroloji ölçümleri için ayrılmıştır. Toplanan bu örneklerin sudaki ^{222}Rn seviyesi sıvı sintilasyon ile ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda sudaki radon seviyesinin 20 ile 180,000 pCi/l (0.074 – 6660 Bq/l) olduğu görülmüştür. En yüksek değerler granit yapıya sahip olan 136 konutun ölçüm sonuçlarından elde edilmiştir. Bu bölgelerin ortalaması 22,100 pCi/l (817.7 Bq/l) olarak hesaplanmıştır (Hess ve ark., 1983).

Kanada, Yeni İskoçya, Halifax şehrinde, sularını derin kuyu sularından temin eden evlerde radon ve ürünleri ölçümleri yapılmıştır. Musluk sularındaki radon seviyesi 0.5 – 19.1 pCi/l (0.0185 – 0.7067 Bq/l) değerleri arasında olarak elde edilmiştir (McGregor ve Gourgon, 1980).

Çin, Baoji, belediyeye ve özel mülke ait 69 su örneği, radon konsantrasyonunu belirlemek üzere toplanmıştır. En yüksek 18 kBq/m^3 (18 Bq/l) değere sahip musluk sularının ortalaması 12 kBq/m^3 (12 Bq/l) iken, en yüksek 127 kBq/m^3 (127 Bq/l) değere sahip kuyu sularının ortalaması ise 41 kBq/m^3 (41 Bq/l) olarak ölçülmüştür (Xinwei, 2006).

Avusturya'da şişe sularındaki radon seviyesini belirlemek için ölçümler yapılmıştır. Radyum konsantrasyonunun 0.23 Bq/l değerine kadar çıktığı gözlenmiş olup, ortalaması 0.041 Bq/l olarak hesaplanmıştır. Radon konsantrasyonunun ise $2 - 34 \text{ mBq/l}$ değer aralığında olduğu gözlenmiş olup, ortalaması 4.7 mBq/l olarak hesaplanmıştır. Yıllık etkin doz değerleri ise ^{226}Ra , ^{210}Pb ve ^{222}Rn için sırasıyla $0.001 - 0.22 \text{ mSv/y}$, $0.0003 - 0.05 \text{ mSv/y}$ ve $0.0001 - 0.011 \text{ mSv/y}$ aralığında değişmekte olduğu hesaplanmıştır (Kralik ve ark., 2003).

Irak merkezinde bulunan Babil'in Hilla şehrindeki (Bağdat'ın güneyi) nehrin 22 bölgesinden 88 örnek toplanmıştır. Bu örnekler RAD7 (Durrige Company) radon ölçüm detektörü kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarının en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla 0.181 ± 0.07 ve $0.036 \pm 0.05 \text{ Bq/l}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama aktivite seviyesi ise $0.103 \pm 0.057 \text{ Bq/l}$ olarak hesaplanmıştır. Yıllık etkin doz değeri ise 0.45 mSv/y olarak elde edilmiştir (Al-Attiyah ve Kaghim, 2013).

Vietnam, Ho Chi Minh Şehri'nde içilebilir sularda radon ve radyum aktivite ölçümlerini belirlemek amacıyla RAD7 cihazıyla analizler yapılmıştır. 14 içilebilir su kaynağından toplanan su örneklerin ortalama ^{222}Rn ve ^{226}Ra aktiviteleri sırasıyla 0.11 ± 0.01 ve $0.11 \pm 0.02 \text{ Bq/l}$ olarak bulunurken, 15 musluk suyu örneğindeki ortalama ^{222}Rn ve ^{226}Ra aktiviteleri sırasıyla 0.12 ± 0.01 ve $0.10 \pm 0.02 \text{ Bq/l}$ olarak elde edilmiştir. 20 yer altı suyu örneğinin ortalama ^{222}Rn aktivite seviyesi $1.40 \pm 0.03 \text{ Bq/l}$ olarak hesaplanmıştır (Le ve ark., 2015).

Kanada, Alberta, Fort McMurray civarındaki küçük göllerde sudaki ^{222}Rn aktivite seviyesini belirlemek amacıyla Mart – Haziran 2008 tarih aralığında ölçümler yapılmıştır. Bu göllerdeki radon konsantrasyonu $0.5 - 72 \text{ Bq/m}^3$ ($0.0005 - 0.072$

Bq/l) arasında değişmekte iken, yer altı suların değerleri ise $2000 - 8000 \text{ Bq/m}^3$ ($2 - 8 \text{ Bq/l}$) değerleri arasında değişmektedir (Schmidt ve ark., 2010).

Malezya, Kedah, Sungai Petani yerleşim yerinde çeşitli su kaynaklarından toplanan örnekler, sudaki radon konsantrasyonunu belirlemek amacıyla RAD7 (Model 2890) ve Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (Perkin – Elmer, Model Analyst 200, Shimadzu, Model AA – 700) kullanılarak analiz edilmiştir. Ölçüm sonuçlarında kuyu suları ve musluk suları için aktivite seviyeleri sırasıyla 14.7 ± 1.44 ve $5.37 \pm 0.58 \text{ Bq/l}$ olarak elde edilmiştir (Ahmad ve ark., 2015).

Türkiye’de yine RAD7, AlphaGUARD PQ2000PRO tekniği kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalara örnek olarak;

Amasya ilinden ve şehir boyunca uzanan Yeşilırmak Nehrinden, sudaki radon konsantrasyonu seviyesini belirlemek amacıyla su örnekleri toplanmıştır. Musluk sularından, kaynak sularından ve Yeşilırmak’tan elde edilen değerler $0.42 \pm 0.14 - 2.4 \pm 0.32 \text{ Bq/l}$, $0.39 \pm 0.19 - 1.17 \pm 0.21 \text{ Bq/l}$ ve $0.28 \pm 0.04 - 1.08 \pm 10.30 \text{ Bq/l}$ arasında ölçülmüştür. Bu verilerden elde edilen etkin doz değeri $5.87 \mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Öner ve ark., 2009).

Afyonkarahisar’da radyum ve radon konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla 10 farklı kuyudan 100m derinden su örnekleri toplanmıştır. Yapılan ölçümlerde radon ve radyum için değer aralıkları sırasıyla $0.42 - 28.82 \text{ Bq/l}$ ve $0.07 - 7.16 \text{ Bq/l}$ olarak ölçülmüştür. Etkin doz değerleri ise yine sırasıyla 73.8 ve $778.96 \mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Yalim ve ark.,2007).

Tokat ilinde içme sularında ve nehir sularında radon konsantrasyonunu belirlemek amacıyla ölçümler yapılmıştır. Bu amaçla musluk suları, kaynak suları ve şehir boyunca uzanan Yeşilırmak’tan su örnekleri toplanmıştır. Yapılan ölçümlerde radon konsantrasyonu musluk suyu, kaynak suyu ve nehir suyu için sırasıyla 0.48 ± 0.22 ile $1.30 \pm 0.27 \text{ Bq/l}$, 0.13 ± 0.17 ile $1.20 \pm 0.29 \text{ Bq/l}$ ve 0.09 ± 0.12 ile $0.83 \pm 0.17 \text{ Bq/l}$

arasında olduğu gözlenmiştir. Bu verilerden etkin doz değeri musluk suyu için 5.0 $\mu\text{Sv/y}$ ve kaynak suları için 3.0 $\mu\text{Sv/y}$ elde edilmiştir (Yiğitoğlu ve ark., 2010).

Kastamonu’da bahar ve yaz mevsiminde sudaki radon konsantrasyonunu belirlemek amacıyla AlphaGUARD tekniği kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarında bahar mevsiminde doğal kaynak suları için 0.39 ± 0.02 ile 12.73 ± 0.39 Bq/l arasında, musluk suları için 0.36 ± 0.04 ile 9.29 ± 0.45 Bq/l değerleri arasında sonuçlar elde edilmiştir. Yaz mevsiminde ise doğal kaynak ve musluk suları için elde edilen değerler sırasıyla 0.50 ± 0.09 ile 19.21 ± 1.00 Bq/l ve 0.31 ± 0.03 ile 13.14 ± 0.38 Bq/l arasında elde edilmiştir. Etkin doz değerleri ise bahar ve yaz için sırasıyla 0.80–49.09 $\mu\text{Sv/y}$ ve 0.93 – 32.54 $\mu\text{Sv/y}$ olarak elde edilmiştir (Yalcın ve ark., 2011).

İstanbul’da alfa ve beta aktivitelerini ölçmek amacıyla 8 kuyu ve 5 musluk suyu örneği incelenmiştir. ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerleri için ayrıca 4 göl, 4 deniz suyu, 1 kar ve 1 yağmur suyu incelenmiştir. Ölçümler sonucunda içme sularındaki konsantrasyon değerlerinin 0.007 ile 0.04 Bq/l değerleri aralığında olduğu görülürken, alfa ve beta aktivitelerinin de sırasıyla 0.02 ile 1 Bq/l arasında değiştiği gözlenmiştir. ^{226}Ra için etkin doz değeri 0.84 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Karahana ve ark., 2000).

Yalova ilinde RAD7 radon detektörü cihazı kullanılarak termal sularda ölçümler yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçlarında konsantrasyon değerinin 0.21 – 5.82 Bq/l aralığında olduğu görülmüş ve ortalama değeri 2.4 Bq/l olarak hesaplanmıştır. Yıllık etkin doz değeri suyun içinde 0.2 – 0.75 $\mu\text{Sv/y}$ aralığında ve dışarıya saldıgı değer ise 2.44 – 9 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Tabar ve Yakut, 2014).

Kütahya ilinde sudaki radon konsantrasyonunu belirlemek amacıyla ilin çeşitli bölgelerindeki halka açık kaynaklardan ve musluklardan su örnekleri toplanmıştır. Yapılan ölçümlerde konsantrasyon değerinin 0.1 ile 48.6 ± 1.7 Bq/l arasında olduğu gözlenmiştir. Radonun sindirime bağlı etkin doz değeri 0.3 ile 124.2 $\mu\text{Sv/y}$ ve radyumun ise 0 ile 143.3 $\mu\text{Sv/y}$ arasında olduğu ölçülmüştür. Kütahya halkının büyük

bir çoğunluğunun içme suyundan maruz kaldığı radyasyon ortalamasının $73.6 \mu\text{Sv/y}$ değerinden az olduğu ölçülmüştür (Şahin ve ark., 2013).

Sakarya ilinde sudaki radon konsantrasyonunu ölçmek amacıyla kuyulardan, kaynaklardan ve şişe sularında toplanan örnekler RAD7 ölçüm cihazıyla ölçülmüştür. Kuyu suları için, kaynak suları için ve şişe suları için elde edilen değerler sırasıyla 1.98 ile 20.80 Bq/l , $0.75 - 59.65 \text{ Bq/l}$ ve $0.75 - 22.8 \text{ Bq/l}$ arasında elde edilmiştir. Yine kuyu, kaynak ve şişe suları için ortalama radon konsantrasyon değerleri sırasıyla 9.05 , 13.78 ve 5.41 Bq/l olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin diğer bölgelerine göre yüksek değerler elde edilmiş olsa da Dünya Sağlık Örgütü (Who) tarafından belirlenen 100 Bq/l değerinden düşük sonuçlar elde edilmiştir. Etkin doz değeri ise $1 - 2$ yaş grubu, $8 - 12$ yaş grubu ve 17 yaş üstündekiler için sırasıyla $2.59 - 205.97$, $1.55 - 123.28$ ve $1.31 - 104.48 \mu\text{Sv/y}$ değer aralığında hesaplanmıştır (Yakut ve ark., 2013).

Bursa'da 27 kuyu ve 19 musluk suyu örneği radon konsantrasyonunu ölçmek için AlphaGUARD PQ2000PRO cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen radon konsantrasyonu değerleri kuyu suları için $1.46 - 53.64 \text{ Bq/l}$ arasında ve musluk suları için $0.91 - 12.58 \text{ Bq/l}$ arasında değişmektedir. Ölçülen 27 kuyu suyu örneğinden yalnızca 7 tanesi USEPA tarafından belirlenen 11.1 Bq/l değerinden yüksek çıkmış olup genel olarak Avrupa birliği tarafından belirlenmiş olan 100 Bq/l değerinden düşük çıkmışlardır. en düşük ve en yüksek yıllık etkin doz değerleri sırasıyla $0.02 \mu\text{Sv/y}$ ve $1.11 \mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Tarım ve ark., 2012).

Batman'da radon konsantrasyonunu belirlemek amacıyla musluk suyu örnekleri toplanmıştır. Toplanan su örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri sırasıyla 42 ± 15 , 35 ± 9 ve $524 \pm 190 \text{ Bq/l}$ olarak ölçülmüştür (Damla ve ark., 2010).

Konya'da 16 kuyu suyu örneği radon konsantrasyonunu ölçmek amacıyla bahar ve yaz dönemlerinde AlphaGUARD PQ2000PRO cihazıyla ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları bahar için ve yaz için sırasıyla $2.29 \pm 0.17 - 27.25 \pm 1.07$ ve $1.44 \pm 0.18 - 27.45 \pm 1.25 \text{ Bq/l}$ olarak elde edilmiştir. 16 su örneğinin 11'inin USEPA

tarafından belirlenen 11.11 Bq/l değerinin altında olduğu görülmüştür (Erdoğan ve ark., 2013).

Eskişehir’de yeraltından toplanan 11 su örneğinin ölçüm sonucunda alfa aktivite değeri ve beta aktivite değerleri sırasıyla 0.009 - 1.64 ve 0.006 – 0.89 Bq/l olarak ölçülmüştür. ^{222}Rn değeri 0.060 – 0.557 Bq/l aralığında ölçülmüştür ( rg n ve ark., 2005).

Bursa ilinin  ekirge bölgesinden radon konsantrasyonunu ölçmek amacıyla 36 termal su  rneği toplanmıştır. Örnekler AlphaGUARD PQ2000PRO cihazıyla ölçülmüştür. Değerler 2.513 ± 0.286 – 82.553 ± 1.919 Bq/l aralığında bulunmuşlardır (Gürler, Akar ve ark., 2010).

 anakkale ilinden radon seviyesini ölçmek amacıyla su örnekleri toplanmıştır. Bu su örneklerinin ölçüm sonuçlarına göre toplam (brüt) alfa aktivitesi 0.0599 Bq/l ve toplam (brüt) beta aktivitesi 0.08741 Bq/l olarak elde edilmiştir. Yıllık etkin doz değeri ise 12.25 μSv olarak hesaplanmıştır (Kam ve ark., 2010a).

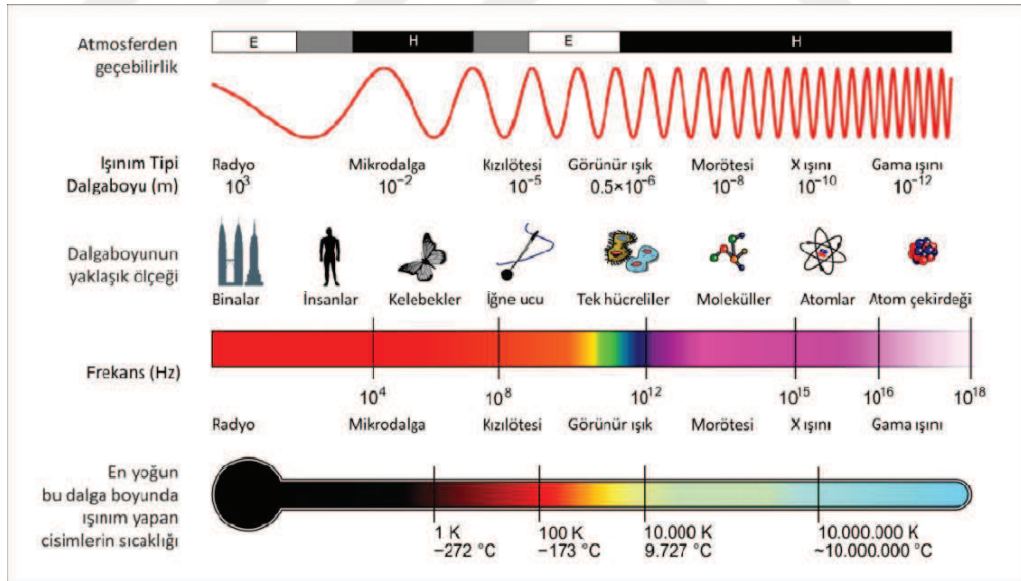
Giresun Üniversitesi Kampüsü’nden toplanan musluk suları radon seviyesini belirlemek amacıyla ölçülmüştür.  l  m sonuçlarından musluk sularının radon seviyelerinin 0.98 – 27.28 Bq/l olduğu gözlenmiştir. Yıllık etkin doz değerleri yutma ve salınım için sırasıyla 9.9 – 150.4 ve 0.97 – 14.84 $\mu\text{Sv/y}$ aralığında bulunmuşlardır (Büyükuslu ve ark., 2018).

BÖLÜM 2. TEMEL BİLGİLER

2.1. Radyasyon

Radyasyon, enerjik parçacıkların veya enerjik dalgaların, bir vakumun içerisinden veya madde içeren bir ortamdan geçerken enerjinin emisyonu veya aktarımı olayıdır.

Elektromanyetik radyasyonun dalga boyu aralığı yaklaşık olarak 10^7 m ve 10^{-13} m arasında, frekansları da dolayısıyla $10^1 - 10^{21}$ Hz arasındadır (Şekil 2.1.). Enerjisine göre farklı bölgelere sınıflandırılmış elektromanyetik radyasyon; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi, görünür, ultraviyole, X ve γ (gama) ışınları ve kozmik ışınlardır.



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum

Kısaca, hareket halindeki, ortamda yol alan enerji **radyasyon** olarak adlandırılır. Yapay veya doğal kararsız atomların fazla enerjisini elektromanyetik dalga veya hızlı parçacık olarak yaymasıyla oluşur (URL-1; Yaren, 2005).

Radyasyon, “parçacık” ve “dalga” olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Kütlesiz, belli bir enerjiye sahip dalga tipi radyasyon, titreşim yaparak ilerleyen elektromanyetik dalgalar gibidir. Parçacık tipi radyasyon ise, belli bir enerjili ve kütleli çok hızlı hareket eden parçacıkların oluşturduğu radyasyondur (NATO, 1996; URL-2; Yaren, 2005).

Dalga tipi ve parçacık tipi radyasyonlar da “iyonlaştırıcı” ve “iyonlaştırıcı olmayan” radyasyonlar olarak iki gruba ayrılabilir (Yaren, 2005; URL-2).

2.1.1. İyonlaştırıcı radyasyon

Çarptığı maddede iyonlar (yükli parçacıklar) oluşturan radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon denir. Radyasyonla etkilenmiş tüm maddelerde, tüm canlılarda iyonlaşma gerçekleşebilir. İki şekilde incelenebilir (URL-1; Yaren, 2005).

2.1.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

İyonlaştırıcı etkisi olmayan ışınlar madde ile etkileşimleri sonucunda iyonlaşmaya sebep olmazlar. Enerjisi düşük, dalga boyu uzun olan elektromanyetik dalgalarıdır. Görünür bölge ile kızılaltı bölgede yer alan radar dalgaları, mikrodalgalar, radyo dalgaları, TV dalgaları ve elektrik dalgaları iyonlaştırıcı karakter taşımadıkları için iyonlaştırıcı ışınların gösterdiği etkileri göstermezler (Kumaş, 2009).

2.1.3. Radyasyonun madde ile etkileşmesi

Herhangi bir radyasyon dedektörü temel olarak radyasyonun, dedektörün kendi malzemesi ile girdiği etkileşime bağlıdır. Dedektörün çalışması radyasyonun madde içinde kaybettiği enerjiye, madde ile etkileşme şekline, girdiği ortamın yoğunluğuna, atomun proton sayısına da bağlıdır (Knoll, 1989; Yalçın, 2000). Bu yüzden radyasyonun madde ile etkileşimini yüklü ve yüksüz parçacıklar için ayrı olarak ele almak gerekir (Yalçın, 2000). Tablo 2.1.’de bu ayrım görülmektedir.

Tablo 2.1. Coulomb etkisinden dolayı elektrikle yüklenmiş yüklü parçacık radyasyonu (sol sütun) ve yüksüz parçacıklar (sağ sütun) (Knoll,, 1989).

Yüklü parçacık radyasyonu	Yüksüz parçacıklar
Ağır yüklü parçacıklar (karakteristik mesafe $\approx 10^{-5}$ m)	Nötronlar (karakteristik mesafe $\approx 10^{-1}$ m)
Hızlı elektronlar (karakteristik mesafe $\approx 10^{-3}$ m)	X- ışınları ve gamma ışınları (karakteristik mesafe $\approx 10^{-1}$ m)

2.1.4. Radyasyon dozu

Bir maddenin dâhil olduğu ölçüm sistemi cinsinden belli bir zaman da kullanılma veya tüketilme miktarına doz denir.

Radyasyon dozu, hedef kütle tarafından, belli bir sürede soğurulan veya alınan radyasyon enerjisi miktarıdır.

2.1.5. Radyasyon birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonların tüm etkileri radyasyonun geçtiği ortamda meydana getirdiği iyonlaşmaya bağlıdır ve bu miktarın ölçülebilmesi için radyasyonun soğurulmasını ölçebilecek birimlerin belirlenmesi gerekir (ICRU, 1925). Uluslararası radyasyon komitesi (ICRU) ışınlama dozu için röntgen, aktivite için curie, soğrulma dozu için rad ve doz eşdeğeri için ise rem birimlerini tanımlamıştır (ICRU, 1925). Tablo 2.2.'de Radyasyon ve ölçü birimleri görülmektedir.

Tablo2.2. Radyasyon ve ölçü birimleri

Birimler	Özel birim	SI birimi	Dönüşüm
Işınlama	Röntgen (R)	Coulomb/kilogram (C/kg)	1 C/kg = 3876 R 1 R = $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg
Aktivite	Curie (Ci)	Bequerel (Bq)	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq 1Ci = 37 GBq
Soğurulmuş Doz	Radyasyon absorblama dozu (RAD)	Gray (Gy)	1 Gy = 100 rad 1 Rad = 0,01 Gy
Eşdeğer doz	İnsan eşdeğer dozu (Rem)	Sievert (Sv)	1 Sv = 100 Rem 1 Rem = 0,1 Sv

Işınlama birimi ; Işınlama X ve gama ışınlarının havayı ışınlama kabiliyetinin (Foton akısının) bir ölçüsüdür.

Röntgen (R); Normal hava şartlarında havanın 1 kg' da 2.58×10^{-4} C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır (TAEK, 2013).

C/kg; Normal hava şartlarında havanın 1 kg'da 1 Coulomb'luk pozitif veya negatif elektrik yükü taşıyan iyonlar meydana getiren X veya gama radyasyon miktarıdır.

Aktivite Birimi; Verilen bir zaman aralığında belirli bir enerji düzeyindeki radyoaktif maddenin bozunma miktarıdır.

Curie; 1 gram ^{226}Ra 'nın aktivitesidir ve saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma hızına sahip olan radyoaktif madde miktarıdır.

Becquerel (Bq); Aktivitenin SI birimi olup saniyede bir parçalanma yapan radyoaktif madde miktarıdır.

Soğurulmuş Doz Birimi; İyonlaştırıcı radyasyon madde ile karşılaştığında enerjisini çeşitli etkileşimlerle (iyonizasyon vb.) maddeye aktarır. Maddeye aktarılan veya ortama depolanan bu enerji miktarına soğurulan doz denir.

Soğurulan radyasyon dozu (Radiation Absorbed Dose) (RAD); Bir gram madde içinde 100 erg'lik enerji soğurulması oluşturan herhangi bir radyasyon dozudur.

Gray; Birim kütle başına depolanan enerji miktarıdır.

Eşdeğer doz birimi; Dokularda soğurulan dozun biyolojik etkisi gelen radyasyonun tipine ve enerjisine bağlı olarak değişir. Yani biyolojik etki sadece soğurulan doza bağlı değildir. Radyasyona maruz kalan bir insanın vücudunda oluşabilecek zararı belirleyebileceğimiz bir birime ihtiyaç vardır. Vücudun kilogram başına soğurduğu

radasyon enerjisi, radyasyonun türüne göre farklılıklar gösterebilir. Örneğin daha ağır ve yüksek enerjili olan alfa parçacıkları insan vücudunda ilerledikleri yol başına, beta parçacıklarına göre daha fazla zarar verir. Ayrıca bazı organların radyasyona karşı hassasiyeti daha fazladır. Bütün bunları içine alan radyasyon birimi olarak ise “eşdeğer doz” tanımlanmıştır.

İnsanda röntgen eşdeğeri (Röntgen Equivalent Man) (REM); 1 röntgen’lik X ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır.

Sievert; 100 röntgenlik X ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır.

Radyasyonun biyolojik etkilerini belirlemek için kalite faktörü (KF) kullanılır ve radyasyon türüne göre değişiklik değerlere sahiptir (Kapdan, 2009). Tablo 2.3’te radyasyon türüne göre kalite faktörleri görülmektedir.

Tablo 2.3. Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri

Radyasyon türü	Kalite faktörü
X ve gama ışınları	1
Elektronlar ve beta parçacıkları	1
Nötronlar (E< 10 KeV)	3
Nötronlar (E> 10 KeV)	10
Alfa parçacıkları	20

İnsanın bir yıl süresince, farklı radyasyon kaynaklarından gelen ışınlarla dışarıdan ya da yediği, içtiği gıdalar veya soluduğu havada bulunan radyasyona maruz kalacağı radyasyon dozu, yıllık etkin biyolojik doz eşdeğeri olarak adlandırılır.

Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından belirlenen maksimum radyasyona maruz kalma dozu, insanda ömrü boyunca hiçbir önemli rahatsızlık ya da genetik etki bırakmaması gereken iyonlaştırıcı radyasyon dozu olarak tarif edilmiştir. Doğal radyasyonlar ve tıbbi uygulamalardan gelen radyasyon haricinde, radyasyon çalışanları için birbirini takip eden beş yılın ortalaması

20mSv'i, yıllık ise 50 mSv'i, diğer insanlar için ise 1 mSv'i aşmayacak şekilde belirlenmiştir (Kapdan, 2009).

2.1.6.Radyasyon kaynakları

Yerküreyi oluşturan maddelerden özellikle granit gibi volkanik ve fosfat kayalarda, tortularda, toprak ve madenlerde uranyum ve toryum izotopları bulunmaktadır. Bu izotoplar ve bunların bozunma serilerindeki diğer radyoaktif maddeler, topraktaki radyasyonun en büyük nedenlerindendir (Engizek, 1999; URL-3).

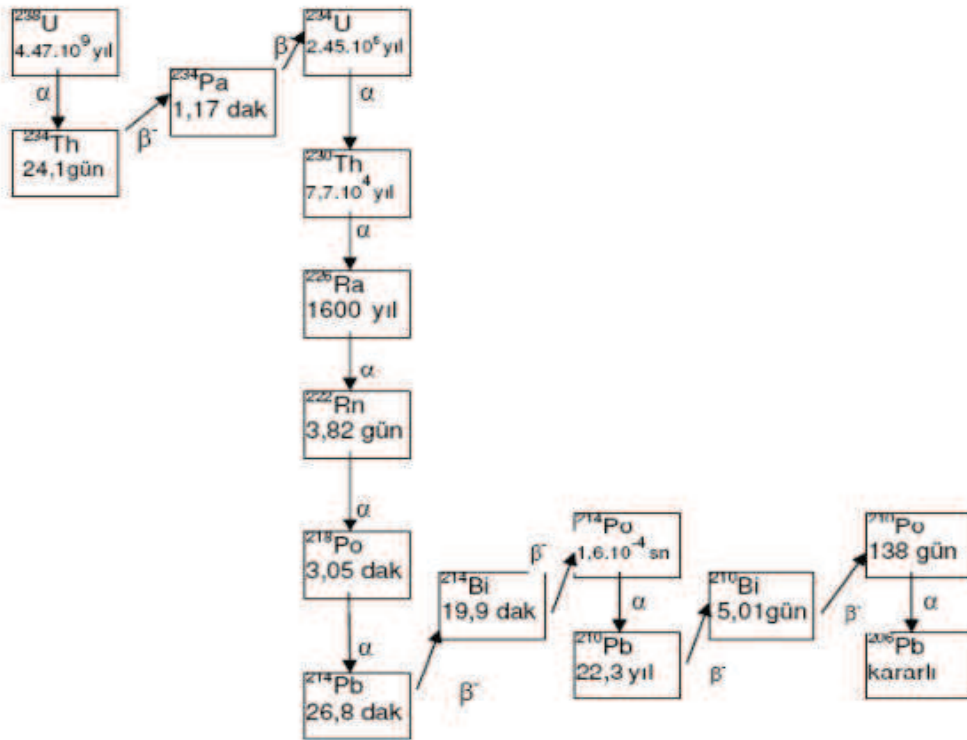
Radyoaktif seriler kütle sayılarına göre dört gruba ayrılır (Engizek, 1999);

Toryum serisi (Pb – 208'de sona erer)

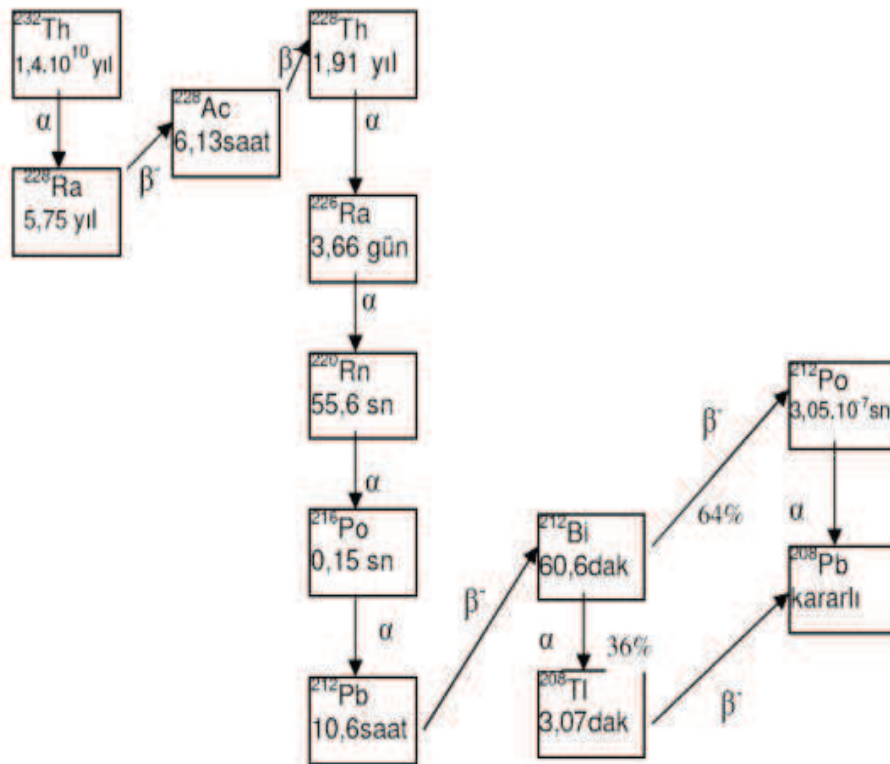
Aktinyum serisi (Pb – 207'de sona erer)

Uranyum serisi (Pb – 206'de sona erer)

Neptünyum serisi (Bi–209'de sona erer) Bu serinin başında yer alan üç izotopun (plütonyum-241, amerikyum-241, neptünyum-237) yarılanma süresi çok daha kısadır ve bu nedenle yeryüzünde ya tümüyle tükenmiştir ya da son derece az miktarda bulunur (Serway, 2005).



Şekil 2.2. Uranyum serisinin bozunma şeması



Şekil 2.3. Toryum serisinin bozunma şeması

Uranyum kaya ve toprağın içinde düşük yoğunluklarda dağılmıştır. U-238 birçok bozunum serisinin başlangıcıdır. Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi kararlı oluncaya kadar bozunma sürecinde oluşan ilk ürünler arasındaki Rn-222 da bozunmaya devam ederken, topraktan atmosfere dağılır. Yeryüzüne benzer şekilde dağılmış olan Th-232 de başka bir serinin başlangıcıdır. Tablo 2.4.'te toprakta bulunan radyonüklitler görülmektedirler.

Tablo 2.4. Toprakta bulunan doğal radyonüklitler

Toprakta bulunan doğal radyonüklitler (UNSCEAR – 2000)				
Radyonüklit konsantrasyonu (Bq /kg)				
	K-40	U-238	Ra-226	Th-232
Değişim aralığı	140-850	16-110	17-60	11-64
Ortalama	400	35	35	45

İç ışınlanma, yeryüzü kaynaklı radyasyonun sindirim ve solunum yoluyla vücuda alınması sonucu gerçekleşir. Havadaki U-238 ve Th-232 bozunum ürünleri solunum yoluyla vücuda alınırken, Yiyecek ve içeceklerdeki K-40, U-238 ve Th-232 serileri ise sindirim yoluyla alınır (URL-5).

BÖLÜM 3. RADON

Radon doğada var olan radyoaktif bir gazdır. Coğrafik bölgenin özelliğine bağlı olarak çevreye yayılım gösterir. Yapı malzemelerinden dolayı binalarda birikebilir, toprağın içindeki su borularındaki çatlaklara sızıp, musluk suyuna bile bulaşabilir. Bina birleşim yerlerinden sızabilir. Ortamda bulunan radon soluduğumuz hava ile birlikte vücudumuza girebilir ve sağlık açısından ciddi sorunlar teşkil eder. Vücudumuza girdikten sonra kolon kanseri dâhil birçok çeşitli zararları olabilir. Ama yine de soluduğumuz havayla birlikte girmesinden dolayı en yaygın akciğer kanseridir. Avrupa'nın birçok bölgesinde sigaradan sonra ikinci önemli akciğer kanseri sebebidir.

Periyodik çizelgenin soy gazlar grubunda bulunur. Renksiz kokusuz, tatsız bir gazdır. Havadan 7,5 hidrojen den ise 100 kez ağır olup, $-61,8^{\circ}\text{C}$ derecede sıvılaşır ve -71°C derecede donar. Radonun 27 izotopu vardır. Yarı ömrü 1600 yıl olan Radyum 226 bozunarak 3,8 gün yarı ömürlü Radon 222 (Uranyum) oluşur. Uzun yarı ömründen dolayı Radyum, radon konusunda bir üreteç halindedir. Radon da alfa ışıması yaparak yarı ömrü 3 dakika olan Polonyum 218'i oluşturur. Diğer doğal iki izotopu Toron ve Aktinondur. Toron (Rn-220)'un yarı ömrü 51,5 saniye ve Aktinon (Rn-219)'un yarı ömrü ise 3,92 saniyedir. Radon 222 izotopik özelliklerinden dolayı yoğunluk ölçümlerinde daha çok dikkate alınır. Bundan dolayı radon dendiğinde Radon 222 akla gelir(Kapdan, 2009; URL-3;Güler, 1997).

3.1. Radonun Bozunum Ürünleri

Tablo 3.1.'de görüldüğü gibi radon'un bozunması sonucu alfa ve beta yayınlayan, ^{218}Po (RaA), ^{214}Pb (RaB), ^{214}Bi (RaC) ve ^{214}Po (RaC) olarak ifade edilen kısa yarı ömürlü radon ürünleri oluşur (Turner, 1995).

Tablo 3.1. Radon ve bozunum ürünlerinin özellikleri (Turner, 1995)

İzotop	Yarı ömür	Bozunma sabiti (sn^{-1})	Temel radyasyon enerjileri (MeV)		
			α	B	γ
^{222}Rn	3,85 gün	$2,1 \cdot 10^{-6}$	5,49		
$^{218}\text{Po(RaA)}$	3,05 dk	$3,79 \cdot 10^{-6}$	6,00		
$^{214}\text{Pb(RaB)}$	26,8 dk	$4,31 \cdot 10^{-4}$		0,65	0,24
$^{214}\text{Bi(RaC)}$	19,7 dk	$5,86 \cdot 10^{-4}$		3,27	0,61
$^{214}\text{Po(RaC')}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$ sn	$4,62 \cdot 10^3$	7,69		
^{210}Pb	22,3 yıl	-	-	-	-

Genelde soluduğumuz radonu yine aynı şekilde dışarı atarız. Çünkü aslında radon nefes alıp verme süresine oranla daha uzun yarı ömre sahiptir ve kimyasal etkileşimi de yoktur. Bir miktar radon gazı vücut sıvılarında çözünüp kana karışsa, radon ve radon ürünleri organların ısıtılmasına sebep olsa da bu ihmal edilebilir bir düzeydedir.

Oluşabilecek sağlık tehdidi radonun gaz olmayan bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Bir kısmı serbest kalırken bir kısmı havadaki parçacıklara tutunup aerosoller oluştururlar. Bu ürünleri taşıyan hava solunduğunda, serbest olma eğilimdekiler üst solunum yollarına, yapışma özelliğinde olanlar ise akciğerlere tutunmaktadırlar. Ve yarı ömürleri teneffüs süresinden az olduğundan kararlı hale gelinceye kadar ki geçen sürede bozunarak dokularda hasara hatta kansere yol açarlar (Fişne, 2002).

3.1.1.Radon bozunum ürünleri için özel büyüklükler ve birimler

Radonun bozunum ürünleriyle ilgili ölçümlerde kullanılan bazı kavram ve büyüklüklere sırasıyla değinilecektir.

3.1.1.1. Potansiyel alfa parçacık enerji konsantrasyonu (PAEC)

Radonun bozunum ürünlerinden yayınlanan alfa parçacıklarından kaynaklanan sağlık sorununun potansiyel alfa parçacık enerji konsantrasyonu (Potential Alpha Particle Energy Concentration, PAEC) ile yakından ilgilidir. PAEC havanın birim hacminde radonun tüm bozunum ürünlerinden kaynaklanan alfa enerjilerinin toplamı olarak ifade edilir. J/m^3 veya MeV/m^3 birimleriyle gösterilir (Kapdan, 2009; Fişne, 2002).

3.1.1.2. Çalışma düzeyi (Working Level, WL)

Çalışma düzeyi, birim miktar havanın içindeki radonun kısa ömürlü bozunum ürünlerinde potansiyel olarak bulunan toplam radyasyon enerjisinin bir ölçüsü olarak tanımlanır.

RaA ilk olarak 6.00 MeV enerjili alfa yayınlayarak RaB'ye dönüşmekte, RaB ise beta yayınlayarak RaC ve RaC' 'ye dönüşmektedir. RaC' de 7.68 MeV enerjili alfa parçacığı yayınlayarak son olarak RaD (Pb-210) atomu olur. Yani RaA atomu toplamda 13.68 MeV enerjili alfa parçacığı yayınlayarak RaD atomuna dönüşmüş olur. Aynı şekilde RaB, RaC ve RaC' atomlarının da RaD atomuna dönüşürken yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri bulunabilir (Kapdan, 2009).

Tablo 3.2. Çalışma düzeyinin hesaplanması (Turner, 1995).

İzotop	Alfa enerjisi (MeV)	Yarı ömrü	3700 Bq'deki atom sayısı	Atom başına alfa enerjisi (MeV)	Toplam alfa enerjisi (MeV / 3700 Bq)
RaA	6,00	3,05 dk	977	6,00 + 7,68	$0,134 \cdot 10^5$
RaB	0,00	26,8 dk	8580	7,58	$0,660 \cdot 10^5$
RaC	0,00	19,7 dk	6310	7,68	$0,485 \cdot 10^5$
RaC'	7,68	10^{-6} dk	0,0009	7,68	$0,000 \cdot 10^5$
				Toplam	$1,3 \cdot 10^5$

Bu durumda Çalışma Düzeyi (WL), 1 litre havadaki 1.3×10^5 MeV'luk enerji yayınlayan radon ürünlerinin konsantrasyon birimi olarak tanımlanır (Tablo 3.2.).

$$WL = EEC (Bq/m^3) / 3700 \quad (3.1)$$

Denge Eşdeğer Konsantrasyonu (EEC), havada bulunan kısa yarı ömürlü radon ürünlerinin dengede olmayan karışımı olarak ifade edilir. Birimi Bq/m^3 ya da pCi/l olarak gösterilir (Kapdan, 2009; Turner, 1995; Fişne, 2002). Denklem 3.1.'de Çalışma Düzeyi'nin (WL), Denge Eşdeğer Konsantrasyonu (EEC)'na bağlı olarak nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

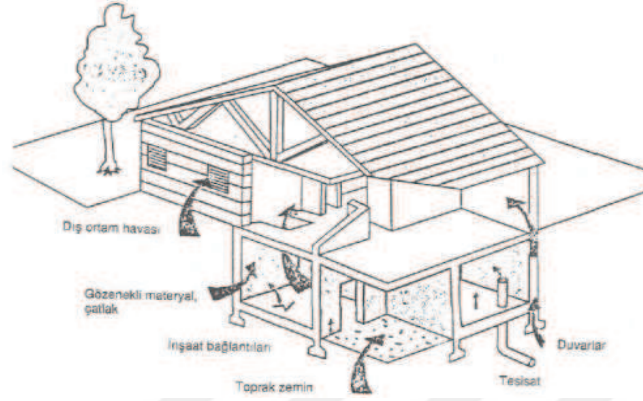
Denge faktörü (F); Denge Eşdeğer Konsantrasyonunun (EEC) havadaki radon konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanır. Eğer radon ve radonun bütün kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri radyoaktif dengede ise bu faktör 1'e eşittir. İç mekanlarda 0,2 – 0,6 aralığında olmasına rağmen nadiren de olsa 1 değerini alabilmektedir (Kapdan, 2009; Turner, 1995; Fişne, 2002).

3.1.2. Bina içi radon konsantrasyonu

İnsanlar genellikle yaşamlarının yaklaşık %90'ını kapalı mekanlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Evlerde radon ölçümü ilk olarak İsveç'te 1956 yılında yapılmıştır. Bazı evlerde karşılaşılan yüksek yoğunluklu radon miktarının bölgeye özel bir durum olduğu düşünülmüştür. Ancak 20 yıl sonra dünyanın tümünde değişik ülkelerde geniş ölçekli çalışmalar başlatılmıştır (Güler, 1997; Kapdan, 2009; Can, 2011).

Radon binalara toprak, zemindeki çatlaklar, duvar çatlakları, bina yapı malzemeleri, mutfakta veya ısınma amaçlı kullanılan doğalgaz, asma kat boşlukları, yapı bağlantı noktaları, su kaynakları, asma kat boşlukları, duvar arası boşluklar, tesisat boşlukları gibi kaynaklardan girmektedir (Şekil 3.1.). Ancak büyük kısmı zemindeki toprak ve kayalardan kaynaklanmaktadır. Toprak boyunca yükselerek binanın altında sıkışır ve basınç oluşturur. Bu basınç binanın içindeki hava basıncından daha yüksek olduğundan sıkıştırma sonucu, duvardaki çatlaklardan bina içine girerler. Bu basınca bağlı olarak üst katlardaki radon yoğunluğu zemin katlardakinden daha azdır. Bunun yanı sıra binalardaki radon yoğunluğu bölgenin coğrafi özelliklerine, yerden yüksekliğine ve mevsimsel özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Toprak yapısına

bağlı olarak birbirine çok yakın evlerde bile radon konsantrasyonları farklı çıkabilmektedir (Çelebi, 1995; Güler, 1997; Kapdan, 2009; Can, 2011).



Şekil 3.1. Radonun binaya giriş yolları (Güler, 1997)

Norveç'te yapılan araştırmaya göre, ağaçların radon gazı salmamasına rağmen ağaç evlerin diğer binalardan daha fazla radon gazı içerdiği gözlenmiştir. Bunun sebebi ağaç evlerin daha alçak ve odaların toprağa daha yakın olması olarak açıklanmıştır. Chicago'da yapılan başka bir ölçüm de toprak zemin üzerine kurulmuş evlerde radon konsantrasyonunun dışarıdan kaynaklanan radyasyon oranından yaklaşık olarak 100 kat daha fazla olduğu görülmüştür (UNSCEAR, 1982; Kapdan, 2009).

Radonun binaya giriş hızı toprak ve yapı malzemelerinden 60kBq/gün, dış ortam havasından 10kBq/gün, sudan 4 kBq/gün ve gazdan ise 3kBq/gün'dür (Yücel, 2006). Farklı ülkeler için ev içi radon konsantrasyonları tablo 3.3.'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Farklı ülkelerde ev içi radon konsantrasyonları (Bq/m³) (Taşkın, 2006)

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

3.1.2.1. Toprak gazından gelen radon

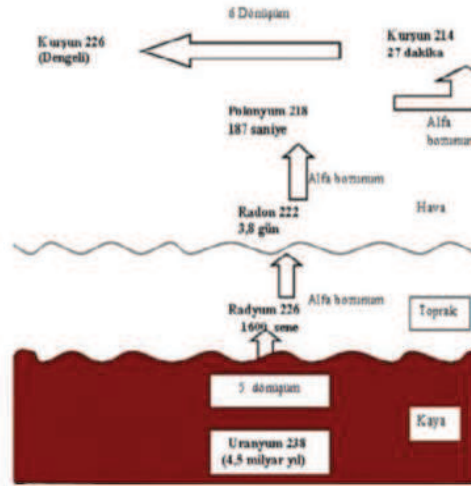
Yeryüzündeki toprak ve kayalar farklı oranlarda uranyum ve radyum içermektedirler. Böylelikle radon ve ürünleri, gaz olmaları sebebiyle ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere dağılır. Binanın üzerine kurulduğu arazideki toprak ve kaya yapısı, binaya giren radon gazının asıl kaynağıdır (Kapdan, 2009; Kürkçüoğlu vd., 2009). Ancak bu kayaların radon kaynağı sayılabilmesi için uranyum yoğunluğunun 50 ppm değerinden yüksek olması gerekir (Durrani, 1997a). Radon salınımı aynı zamanda toprağın miktarı da belirler. Yani kutup gibi toprak miktarının az olduğu yerlerde radon yoğunluğu değerleri de düşüktür (Kapdan, 2009).

Toprakta radon salınımı üç şekilde gerçekleşir:

Yayılma (Emanasyon): Radon'un katıdan geçişidir.

Difüzyon: Katı dışında, sıvı veya gaza radon geçişidir.

Konveksiyon: Basınç farklılıklarına bağlı olarak gerçekleşen geçiş şeklidir.



Şekil 3.2. Radonun difüzyonunun şematik gösterimi (Özbey, 2013)

Toprakta ilerleyen radon'un hızı ve doğrultusu, toprağın, gözeneklerin yapısına bağlıdır (Şekil 3.2.). Radon çakıl, kum gibi kuru toprakta daha hızlı ilerler çünkü çamur gibi nemli toprakta gözenekler suyla doludur ve radon suyun içinde, suyla beraber hareket eder. Suyun hareketi de, gazdan daha yavaş olduğu için, su

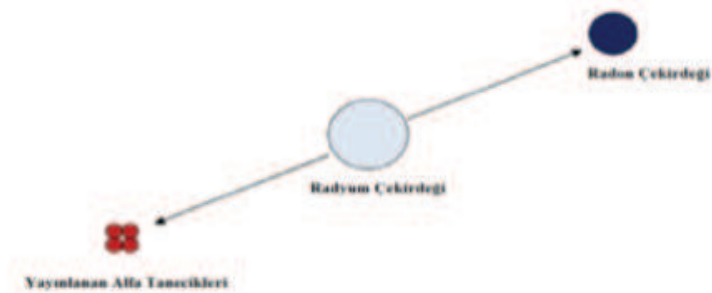
gözenekler içinde ilerlerken radon suyun içinde çoktan bozunmuş olur. Ayrıca kırık ve çatlaklar da aynı sebepten dolayı radon göçünü hızlandırır. Dağ, yamaçları, kanyon ağzı ve mağaralar da bunlara örnektir. Kristal ise çok sıkı bir yapı olduğu için radon göçü sabitleri oldukça azdır. Herhangi bir yol ilerleyemeden bozunacaktır (Kaynar, 2011). Radon'un hızı aynı zamanda sıcaklığa da bağlıdır. Artan sıcaklıkla, gaz haline gelen radon toprak tarafından daha az emilmeye başlaması, salınım artırır (Ekin, 2013).

Topraktan radon salınımı:

- Toprağın bulundurduğu radon yoğunluğuna,
- Yayılma hızına,
- Toprak nemine ve gözeneklerinin geçirgenliğine,
- Meteorolojik şartlara,
- Bölgenin rakımına

bağlıdır (Kapdan, 2009).

Radon gazının yerkabuğundaki hareketi toprak içindeki gözeneklerle yer değiştirmesiyle olur. Bu durumun hızı ise hem toprağın yapısına hem de radyum'dan salınırken ne kadar yüksek bir enerjiyle salınmış olmasına bağlıdır. Radon'un Radium'dan salınması, bir silahtan mermiye benzer. Şöyle ki, Radium, alfa parçacığı yayınlarak radona bozunur ve bu esnada bir enerji açığa çıkar. Bu enerjinin büyük bir kısmını alfa parçacığına aktarır, kalanını ise radona aktarır (Ekin, 2013).



Şekil 3.3. Geri tepme olayı (Abu – Jarad F., 1980).

3.1.2.2. İnşaat malzemelerinden gelen radon

İnşaat malzemelerinin asıl kaynağı toprak ve kaya olduğu için tümü U-238 içerir, buna bağlı olarak hepsi doğal birer radon kaynağıdır. Dolayısıyla duvarlardan sürekli olarak kapalı ortama radon çıkışı olmaktadır (Kapdan, 2009; Çelebi, 1995; Kürkçöglü vd., 2009). Bina yapı malzemesinde kullanılan çimento miktarına göre radon miktarı da değişmektedir (Güler, 1997).

İnşaat malzemelerine göre radon çıkış hızı Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Yaygın olarak kullanılan inşaat malzemelerinden betonun Ra-226 konsantrasyonu, tuğlaya göre daha az ancak radon çıkış oranının ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çelebi, 1995). Bina yapı malzemelerinin bina içi radon konsantrasyonuna etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Konut sahipleriyle birlikte doldurulan form da bu maddeye de yer verilmiştir.

Tablo 3.4. İnşaat malzemeleri içindeki ^{226}Ra ve ^{222}Rn değerleri (Çelebi, 1995)

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
Fosfattan elde edilen alçı taşı	580-740	0,13-0,20
Çimento	50	1,0
Kum	10	3,0

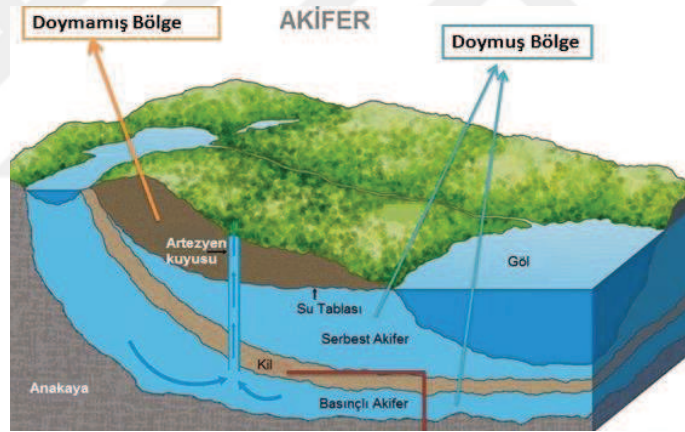
3.1.2.3. Doğal gazdan gelen radon

Doğadaki var olan gazın endüstriyel işlemleri, saflaştırma ve hidrokarbondan ayrıştırma işlemleri içerir. Bu hidrokarbonların bazıları sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) olarak basınçla şişelenerek satılırken, bazıları da yakıt olarak kullanılır. Bu gazların üretimi ve depolanması sırasında bozunumu ile ortama radon gazı verilir. Bu radon seviyesi ölçülemeyecek kadar düşük seviyelerden 50 kBq/m^3 seviyesine kadar değişir (Wilkins, 1980).

Evlerimizde ısınma, yemek pişirmede kullandığımız doğal gaz önemli bir radon kaynağıdır. Bu çeşitli durumlarda evlerdeki artan radon konsantrasyonu havalandırma ile dışarı atılarak yoğunluk azaltılabilir (Çelebi, 1995).

3.1.2.4. Sulardan gelen radon

Özellikle yeraltı suyu olmak üzere radon suda da çözünebilmektedir. Musluktan akan su içindeki radonun 10000’de biri havaya yayılır (Çelebi, 1995). Sudaki radon eve sular kullanıldığı zaman girer. Sudaki radon sadece suyun içindeki radyumdan değil aynı zamanda su yolunun bulunduğu toprak yapısından da etkilenmektedir (UNSCEAR, 1982). Akiferin (Yeraltı sularını hızlı taşıyabilen ve depolayan birim) yapısı ve geçirgenliği gibi faktörler de yeraltı sularındaki radon konsantrasyonunu etkilemektedir (URL.19 ; Özmen, 1995). Şekil 3.4’te Akifer örneği görülmektedir.



Şekil 3.4. Akifer(URL-18)

Evde su kullanımına bağlı olarak ortama yayılan radon seviyesi değişmektedir. Duş, çamaşır ve bulaşık makinesi gibi suyun çalkalanması ya da püskürtülmesi durumlarında radon yayılımı artış göstermektedir. Bazı bölgelerin su kaynakları kuyulardır. Yeraltı sularının radon yoğunluğu yüzey sularından daha fazladır. İnşaat malzemelerine yüzeysel suların katkısı % 0.2, yeraltı sularından gelen ise % 20’dir (Kapdan, 2009; UNSCEAR, 1982). Sıcaklık artışı radonun çözünürlüğünü azaltır. Bu nedenle ılık ve soğuk suların radyoaktiflik seviyesi daha yüksektir (Özmen, 1995). Yarı ömrü sınırlı olan radon kaynağından yayıldıktan sonra %90’lık kısmını normal

nem miktarında ve ince taneli toprakta 2cm, suyun içinde 5cm ve havada 5cm yol aldıktan sonra bozunmadan dolayı kaybedecektir (URL.17).

Sularla ilgili yapılan çalışmalarda en yüksek konsantrasyonlar Kanada’da 14 MBq/m³, Finlandiya’da 77 MBq/m³, ABD’de 20MBq/m³ olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmalara göre radon yoğunluğu 370 Bq/L olan suyun, ev içindeki yoğunluğuna katkısı 37 MBq/L olarak belirlenmiştir (Kapdan, 2009; UNSCEAR, 1988). ABD’de bu alanda yapılan farklı çalışmalar radonun büyük kamu su kaynaklarıyla kıyaslandığında, özel kuyu küçük su kaynaklarında daha yüksek değerlerde olduğunu göstermiştir. Bunun sebebi, bu özel kuyu ve küçük su kaynaklarının akiferlerinin uranyum içeren granit kayalar olma eğiliminde olması olarak gösterilmiştir (Eisenburg ve ark., 1997).

3.1.3.Radon gazının sağlık üzerine etkileri

Radonun sağlık etkileri dikkate alındığında, özellikle de insanların yaşamlarının büyük bir çoğunluğunu evlerde geçirdiği göz önüne alınırsa, radon yoğunluğunun belirlenmesi oldukça önemlidir. Diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de evlerde radon yoğunluğunu belirlemek için 1984 yılında “Türkiye’de Konutlarda Radon Ölçümü Projesi” başlatılmıştır (Çelebi, 1995).

Radon topraktan moleküler difüzyon veya konveksiyonla sızarak havaya doğru hareket etmekte ve atmosfere karışmaktadır. Ancak bir kısmı da atmosfere çıkmaz, toprakta kalıp yeraltı sularına karışmaktadır. Radon bozunma ürünleri radondan farklı olarak katı parçacıklardır ve bu katı parçacıklar havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak aerosoller oluştururlar ve solunum yoluyla akciğerlere kadar taşınabilmektedirler (Ahmed, 1994).

Radondan dolayı dünya genelinde maruz kalınan doz ortalama olarak 1.3 mSv/yıl olarak belirlenmiştir (Sahpiro, 1990).

Epidomolojik çalışmalar, radon ve ürünlerine yüksek oranlarda maruz kalmış kişilerde akciğer kanserine yakalanma oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), yıllık toplam 41,000 akciğer kanserinden 2,500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanserine yakalanma durumlarının, sigara içmeyenlerden 5,000, sigara içenlerin ise 15,000'ini, Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanseri vakalarının %10'unun radona bağlılığını belirtmişlerdir. Ancak bu sonuçlar yüksek dozda radona maruz kalan herkesin kanser olacağı anlamına gelmemekle birlikte, maruz kalınma ile hastalığın arasında yıllarca zaman geçebilmektedir. Ancak hem radon gazına maruz kalınıp hem de sigara içmek, kansere yakalanma oranını artırmaktadır (Yücel, 2006).

Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi radona maruz kalma konusunu incelemek amacıyla “Evde ve İşte Radon-222'ye karşı korunma” konusuyla ilgili 65 nolu bir rapor yayınlamıştır. Buna göre maruz kalma değeri sınırlandırılmış, limit değerler tavsiye edilmiş ve yıllık doz için eylem seviyesi 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir (Tablo 3.5.). Bu değerlere karşılık evlerde 200-600 Bq/m³ (evde geçirilen süre 7000 saat ve denge faktörü 0.4 alınacak), iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ olarak belirlenmiştir (Çelebi, 1995).

Tablo 3.5. Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri (Çelebi, 1995).

Eylem seviyesi	3 mSv/yıl	10 mSv/yıl
(Etkin doz)		
Evler için Eylem seviyesi	200 Bq/m ³	600 Bq/m ³
(Radon konsantrasyonu)		
İş Yerleri için Eylem Seviyesi	500 Bq/m ³	1500 Bq/m ³
(Radon Konsantrasyonu)		

Radonun asıl kaynağı uranyum olması sebebiyle radon yoğunluğu yeryüzü üzerinde bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. Buna bağlı ülkelere göre de değişiklik göstermektedir. İngiltere’de bu değer 200 Bq/m³ , Avrupa ülkelerinde 400 Bq/m³ , yeni binalarda 200 Bq/m³ , Kanada’da da ise 800 Bq/m³ olarak belirlenmiştir

(Ayotte, 1998). Ülkelere göre evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri tablo 3.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Ülkelere göre evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri (Çelebi, 1995).

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

3.1.4. Radon uranyum rezerv ilişkisi

Radon'un Uranyum'un bozunum ürünü olduğunu daha önceden belirtmiştik. Bölgede radon gazının varlığı Uranyum'un varlığının işaretidir. Yüksek miktarlarda radon yoğunluğuna rastlanan yerlerde uranyum rezervlerinin de bulunduğu görülmüştür (Kapdan, 2009).

3.1.5. Radon – deprem ilişkisi

Depremler önceden belirlenebilseydi can ve mal kaybı çok daha az olabilirdi. Depremleri önceden belirlemek için iki temel yöntem belirlenmiştir. Biri depremlerin istatistiksel analizleri ve diğeri ise jeofiziksel öncülerdir. Japonya ve Çin'de yapılan çalışmalar sonucunda radon gazı ile sismik aktiviteler arasında doğrudan ilişki olduğu gözlenmiştir (Kapdan, 2009; Asada, 1982).

Uranyum'un bulunduğu bütün kayalardan, topraktan radon gelmekte ve gaz yapısı sebebiyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere dağılır. Radon sızıntısının çoğunlukla aktif faylar üzerinde, atmosferik şartlara ve sismik faaliyetlere bağlı değişiklik gösterdiği bilinmektedir. Yer kabuğunun gerilmesi sonucu oluşabilecek genleşmelerin sonucunda, toprak ve kayalarda yeraltı sularına radon

sızıntısı gerçekleşir. Bunun sonucunda sismik faaliyetler başlamadan önce yeraltı sularındaki radon konsantrasyonu artış gösterir. Bu durumda yeraltı sularındaki radon seviyesi tespitleri, depremi önceden belirlemeye yardımcı olurlar. 1976 Çin ve 1966 Taşkent depremlerinde yapılan yer altı su kaynaklarındaki radon değişim gözlemleri sonucunda Japonya’da sürekli izleme sistemi geliştirilmiştir (Kapdan, 2009; Igarash vd., 1995).

Yeraltı sularında ölçülen radon yoğunluğunun, bu su sistemi içindeki kayaların kimyasal özelliklerinin yanı sıra yapısal özelliklerini de belirtmesi beklenir. Yeraltı suyunun radon yoğunluğu su içindeki komşu kayalardaki uranyum konsantrasyonu ile bağlantılıdır. Radonun geri saçılma mesafesi (3×10^{-3} m) çok kısa olduğundan dolayı kayanın içindeki değil, sadece kayanın yüzeyindeki radon atomları suya karışır (Kapdan, 2009; Çelebi, 1995).

3.1.6.Radon ölçüm yöntemleri

Günümüzde kullanılan radon ölçüm kullanım teknikleri

- Aktif ölçüm yöntemi
- Pasif ölçüm yöntemi

olarak iki şekilde incelenir.

Aktif ölçüm yönteminde elektronik sistemler, pompalar, güç kaynakları gibi cihazlara gereksinim duyulmaktadır. İyon odaları, sintilasyon odaları veya spektroskopik sayım cihazları kullanılmaktadır. Pasif ölçüm yönteminde ise termoluminesans dedektörler veya katıhal nükleer iz dedektörleri; selüloz nitrat (Lr-115) veya allil diglikol karbonat (Cr-39) kullanılmaktadır. Pasif ölçüm yöntemi

- Dedektör önündeki filtreye radon ürünlerinin toplandığı gaz akışlı aktif cihazlar
- Gaz akışı olmayan ağız kapaklı olan odacıklar

- Açık bir dedektör üzerinde, havadaki radon ve ürünlerinden dağılan alfa parçacıklarının kaydedildiği pasif cihazlar

olarak üç farklı şekilde gerçekleştirilebilir (Kapdan, 2009; Çelebi, 1995).

Radon ölçüm sonuçlarının alınma süresine bağlı olarak ise

- Kısa dönem ölçüm teknikleri
- Uzun dönem ölçüm teknikleri

olarak iki şekilde incelenmektedirler (Kapdan, 2009).

3.1.6.1. Kısa dönem ölçüm teknikleri

Sonuçların bir an önce alınmasını sağlayan ölçüm tekniğidir. Aktif kömür, alfa iz dedektörleri, sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif kömür, elektret iyon odaları, radon tuzağı örnekleri ve sürekli monitörler olarak sıralanabilirler (Kapdan, 2009).

Aktif karbon tekniği; kömür gibi absorblayıcı bir ortamda radon gazının absorbe edilmesi ve bu malzemenin analiz edilmesiyle radonun ürünleri olan Pb-214 ve Bi-214'ün yayınladığı gama ışınlarının aktivitelerinin ölçülmesine dayanan bir ölçüm tekniğidir bu ölçümde metal bir kap içerisine bir kaç gram aktif kömür yerleştirilir, ölçüm yerine gidene kadar uygun bir kapakla ağzı kapatılır. Ölçüm yapılacak yere yerleştirilir ve radon yüklü havanın kömüre temas etmesi için metal kabın kapağı açılır. Ölçüm süresi sonucunda kapak tekrar kapatılır ve analiz yapılacak laboratuvara getirilmesiyle gerçekleştirilen ölçüm tekniğidir (Durrani, 1997a).

Sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif karbon; aktif karbon tekniği ile benzer bir tekniktir. Burada dedektör içerisinde 1-3 gram kömür bulunan 20 ml'lik sıvı sintilasyon şişeden oluşmaktadır. Aynı şekilde sıvı dolu şişe ölçü yapılacak yere götürülür ve havadaki radonun temas etmesi için şişenin kapağı açılır. Ölçüm bitiminde şişenin ağzı kapatılır ve analiz için laboratuvara götürülür. Analize hazırlamak için kullanılan radon yayını tekniği ile kömür üzerine absorbe olmuş

radonun çoğunluğunun sintilasyon şişesindeki özel sıvıya transferi sağlanır. Daha sonra bu sıvı şişesi sintilasyon sayıcısına yerleştirilir ve sayım gerçekleştirilir (Kapdan, 2009; Çile, 2004).

Alfa iz dedektörleri; bu teknikle ilgili açıklama katı hal nükleer iz dedektörleri başlığı altında açıklanmaktadır.

Elektret iyon odaları; elektret kalıcı elektriksel yük gösterebilen dielektrik bir malzemedir. Çelik bir kap içinde elektret madde (Teflon gibi) yerleştirilir. Bu güçlü bir elektrostatik alan oluşmasına neden olur. Kabin tabanındaki küçük bir girişten içeri radonun sızması sağlanır. Bu radon ve bozunum ürünleri bozunduğu zaman alfa, beta ve gama yayınlar. Bu yüksek enerjili parçacıklar havada ilerlerken oksijen, azot gibi atomlarla çarpışıp, iyonizan parçacıklar üretirler. Bu iyonlar da elektretin oluşturduğu elektrik alan tarafından çekilirler ve elektretin toplam yükü değişir, bu değişim dolayısıyla radon yoğunluğu bulunur (Kapdan, 2009; Durrani, 1997a).

Sürekli monitörler; radon ölçümleri için kullanılan üç çeşit sürekli radon monitörleri alfa sintilasyon, iyonizasyon odası ve katı hal dedeksiyonu şeklindedir.

Bu monitörlerin avantajları;

- Taşınması kolaydır
- Sahada sonuç almak çok daha kolaydır
- Radon yoğunluğunun gerçek zamanlı değişimi görülebilmektedir
- Ölçüm aralıklarında esneklik sağlamaktadırlar

Dezavantajları ise;

- Pahalıdırlar
- Bazı modelleri çok ağır ve büyük olmaktadır
- Düzenli kalibrasyona ihtiyaç vardır
- Yetişmiş elemana ihtiyaç vardır

İyonizasyon odası sürekli monitörü bazı durumlarda neme karşı hassas olabilmektedir (Kapdan, 2009; Çile, 2004).

Alfa sintilasyon sürekli radon monitörleri; bir alfa sintilasyon odası ile foto çoğaltıcı tüp sayı sistemine bağlı zamanlama devresi ve kontrol sisteminden oluşmaktadır. Pasif veya aktif difüzyon yoluyla hava numuneleri toplanır. Belirli zaman aralıkları için alınan sayımlar kaydedilir ve bir sonraki zaman aralığı için yeni sayım alınmaya başlanması gibi bir döngüyle ölçüm gerçekleştirilir. Kısa dönem alınan bu sonuçlar zamanla radon yoğunlunun değişimi göstermektedir (Kapdan, 2009).

İyonizasyon odaları sürekli radon monitörleri; bir elektrometre ve veri kaydedicisine bağlı iyonizasyon odasından oluşan bir sistemdir. Aktif veya pasif difüzyon sonucunda alınan hava örneği dedektöre gönderilir. Radon ürünleri elektrostatik olarak yok edilerek, dedektöre girmesi engellenir. Radon, iyonizasyon odası içinde çözünür, oluşan iyonlar elektrik sinyallerine dönüştürülür. Bu sinyaller de sayılır, yüklenir ve elektrometre, datametre tarafından görüntülenir (Kapdan, 2009).

Katı hal sürekli radon monitörleri; temeli, difüzyon örneklemeye dayanır. Alfa bozunumuna hassas olan bir katı hal silikon dedektörü kullanılmaktadır. Sürekli alınan verilerin yazıcıyla çıkışı alınmasıyla radon yoğunluğu görüntülenir. Diğer monitörlere göre duyarlılığı daha azdır, ancak kullanımı kolay ve ucuz olmaları sebebiyle daha çok tercih edilmektedirler (Kapdan, 2009).

Radon tuzağı (Grab Sampler) tekniği; sintilasyon odasının duvarları ZnS(Ag) fosfor ile kaplı olup, bir veya iki vanalı olabilir. Bu vanalar hava örnekleri toplamak için açılır, daha sonra vanalar kapatılarak hava içerde hapsedilmektedir. Radonun bozunum ürünleriyle dengeye gelmesini sağlamak amacıyla bu şekilde yaklaşık dört saat beklenir, bu süre sonunda sayım için bu sintilasyon odası foto tüpün ağzına yerleştirilir. Bu bozunum ürünlerinin ZnS ile etkileşimi sonucu çıkan sinyaller (pulsar) sayılır ve hesaplamalar sonucu radon yoğunluğu belirlenmiş olur (Kapdan, 2009; Garcia, 1988).

3.1.6.2. Uzun dönem ölçüm teknikleri

Radon yoğunluğu günden güne, mevsimden hatta yıldan yıla değişiklik gösterirken ortalama radon seviyesini ölçebilmek için uzun dönem ölçüm tekniklerinden yararlanılır. En sık olarak kullanılan uzun dönem ölçüm teknikleri alfa iz dedektörleri ve elektrot iyon dedektörleridir (Kapdan, 2009).

Katıhal nükleer iz dedektörleri (Alfa iz dedektörleri); daha önce de belirtildiği gibi radon ve radon bozunum ürünleri çoğunlukla alfa aktiftirler, bu alfaların sayılmasıyla radon yoğunluğu belirlenebilir. Alfa parçacıkları ile radon yoğunluğu doğru orantılıdır (Kapdan, 2009; Garcia, 1988).

Bu sayımı yapabilmek amacıyla özellikle radonun ve ürünlerinin yayınladığı enerji aralığındaki özellikle alfa hassasiyeti olan plastik filmler kullanılmaktadır. Alfa parçacıkları bu film dedektörlerin üzerine iz bırakırlar. Radonun ürünleri alfanın yanı sıra beta ve gama da yayınlamaktadırlar, ancak bu filmler beta ve gamaya karşı hassas olmadıkları için yayınlanan beta ve gama filmler üzerine iz bırakmazlar (Durrani, 1997a). Alfa parçacıklarının bu ince filmler üzerine bıraktıkları izler, iz kazıma yöntemiyle açığa çıkartılıp, mikroskopta sayılırlar. Gerekli hesaplamalardan sonra radon yoğunluğu belirlenebilir.

Kullanılan filmler selüloz asetat, selüloz nitrat, allil diglikol karbonat ve polikarbonat gibi plastik maddelerden yapılmakta olup, kimyasal iz kazıma yöntemi içinde alkali (NaOH veya KOH) veya asit çözeltileri (HF ya da HNO₃) kullanılmaktadır (Kapdan, 2009; Durrani, 1997a).

Nükleer iz dedektörlerinin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Küçüktürler (1cm x 1cm olup yaklaşık 100-500 mikrometre kalınlığında)
- Kullanılması kolay
- Elektronik herhangi bir cihaza gerek yoktur
- Taşınması açısından kolaydır

- İşlenmesi ve okunması kolaydır
- Ucuzdurlar
- Uzun süreli ölçümlere elverişlidirler
- Nemden, makul seviyedeki ışıktan ve ısıdan etkilenmezler.

Dezavantajları ise;

- Radon konsantrasyonu eğer yüksek değilse anlık ölçüm almaya uygun değildirler
- Düşük yoğunluklarda yüksek hata verebilirler (Kapdan, 2009; Durrani, 1997a).

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Daha önce de belirttiğimiz gibi, evlerde geçirilen vakit süresince, hatta musluk sularından ve topraktan bile sürekli olarak doğal radyasyona maruz kalınmaktadır. Evlerde geçirilen süre boyunca solunan hava (özellikle sigara içiliyorsa bu oran artmaktadır), yiyecek temizliği, içmek ve hatta temizlik için kullanılan su, yine aynı şekilde ürün yetiştirdiğimiz toprak bu doğal radyasyonun karasal kaynağını oluşturmaktadır. Bu çalışmayla Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından başlatılan “Türkiye’de Evlerde Radon Ölçümü Projesi” kapsamında Sakarya il sınırları dâhilindeki üç farklı bölgede evlerde, sularda ve topraktaki radon konsantrasyonlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla toprak bakımından granit veya granit alaşımlı bölgeler belirlenmiş, ölçümler bu bölgelerdeki çoğunlukla konutlar olmak üzere içinde okulların da bulunduğu binalara yerleştirilmiştir. Mevsimsel değişikliklerin de gözlenmesi amacıyla özellikle bina içi radon konsantrasyonu için yazlık ve kışlık olarak ayrı ayrı ölçümler alınmıştır.

Topraktaki ve evlerdeki radon konsantrasyonlarının iz kazıma yöntemiyle incelenirken sulardaki radonun RAD7 aktif radon ölçüm cihazıyla incelendiği bu çalışmanın dedektör temini ve okuma işlemleri Sakarya Üniversitesi Fen – Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.

4.1. Çalışma Alanı

Sakarya ili sınırları içindeki bu üç farklı bölge Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği’nden temin edilen ve Şekil 4.1.’de görülen “Maden Tetkik Araştırma Enstitüsü” haritasına göre belirlenmiştir.

4.1.1. Geyve

Geyve, Marmara bölgesinin doğusunda Sakarya ilinin güneyinde bulunmaktadır. Doğusunda Taraklı ve Karapürçek, batısında Pamukova, güneyinde Bilecik iline bağlı Gölpazarı ve Osmaneli, kuzeyinde ise Sapanca ve Merkez ilçe Adapazarı bulunmaktadır. Yüzölçümü 780 km² ve deniz seviyesinden yüksekliği 124 m olup en yüksek yeri 1040 m yüksekliğinde olan Çine taşı tepesidir. Şekil 4.3.'te Geyve haritası görülmektedir.

İlçenin en önemli akarsuyu ilçe merkezinin hemen kenarından geçen Sakarya nehri ve ilçenin ortasından akarak nehre dökülen Karaçay deresidir. Sakarya nehrinin ovadaki tarım üzerindeki önemi büyüktür. Arazinin Sakarya nehri boyundaki Bayat, Eşme ve Doğantepe arasındaki %20'lik kısmı ova, kalan kısmı ise ormanlık ve dağlıktır. Ova kısmı ise sulı tarım için oldukça uygundur. Genellikle ılıman ve yağışlı olan iklim Akdeniz, Karadeniz ve İç Anadolu Karasal iklimlerinin karışımı olup, geçit bölgesi özelliği gösterir (URL-5; URL-6).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'in 2013 verilerine göre Geyve ilçesinin toplam nüfusu 48.171 olup, 24.124'ünü erkek ve 24.047'sini ise bayanlar oluşturmaktadır. Toplam nüfusun yaklaşık %44.7'si ilçe merkezinde, diğer kısmı ise belde ve köylerde yaşamaktadır. (URL-6; URL-7).



Şekil 4.3. Geyve ilçesi (URL-8)

4.1.2. Doğançay

Doğançay, Sakarya iline 17 km, Geyve ilçesine ise 17 km uzaklıkta bulunmaktadır. Sakarya nehrinin kıyısına kurulmuş, çok sık ağaçlarla kaplı bir köydür. Batısında Samanlı dağları, güneydoğusunda Koroğlu dağlarıyla çevrilmiştir. Dağ doruklarından çıkan kaynaklarla beslenen çay batıda Sakarya nehrine karışır. Sakarya ilinin başta gelen şelaleleri bu köyde bulunmaktadır. Köyde bir adet su fabrikası ve bir adet de mermer işleme tesisi bulunmaktadır.

Köyün iklimi Karadeniz iklimi etkisi altındadır. Köyde bir içme suyu bir de kanalizasyon şebekesi vardır. Nüfuz yaklaşık olarak 500 – 600 civarındadır (URL-9; URL-10). Şekil 4.4.'te Doğançay uydu görünümü görülmektedir.



Şekil 4.4. Doğançay (URL-11)

4.1.3.Örencik

Örencik köyü Sakarya ilinin Geyve ilçesine bağlıdır. Maden haritasına göre granit açısından oldukça zengin olduğu görülmektedir. Geyve iline uzaklığı 12 km, Sakarya iline olan uzaklığı ise 26 km'dir. Köyün iklimi de aynı şekilde Karadeniz iklimi etkisi altındadır. Nüfus yoğunluğu 200 – 300 arasındadır. Köyde içme suyu şebekesi yoktur (URL-12). Köyde su ihtiyacı kuyu sularından ve sondaj sistemi olmak üzere iki şekilde sağlanmaktadır. Şekil 4.5.'te Doğançay uydu görünümü görülmektedir.



Şekil 4.5. Örencik(URL-13)

4.2. Dedektörlerin Hazırlanması ve Yerleştirilmesi

4.2.1. Dedektörlerin hazırlanması

Kapalı ortam radon ölçümü için hazırlanan dedektörler plastik bir bardağın tabanına yerleştirilen Lr-115 ince filmlerden oluşmaktadır. Lr – 115 ince filmler 1.2 cm^2 'lik ölçülerinde kesildi ve 1 cm^2 'lik pencere açılan küçük karton ceplere yerleştirildiler. Bu cepler plastik bardağın tabanına pencere açılmamış yüzünden yapıştırıldı. Plastik bardağın tabanına yakın karşılıklı iki nokta açıldı ve bu noktalardan ip geçirilerek daha kolay asılması sağlandı.

4.2.2. Dedektörlerin yerleştirilmesi

Kapalı ortam radon konsantrasyonu ölçümü için hazırlanan dedektörler, belirlenen bölgelerde öncelikle yetkililerle görüşülerek, evlere ve okullara yerleştirildi. Ev halkı dedektörlerin hassasiyeti konusunda uyarıldı. Dedektörler hava akımının çok olmadığı, güneş ışığından ve elektronik cihazlardan etkilenmeyecek şekilde evlerin oturma odalarının, salonlarının veya yatak odalarının köşelerine, yerden yaklaşık 1 m yükseklikte asıldı. Dedektörlerin yerlerinin araştırma süresince hiç bir şekilde değiştirilmemesi konusunda ev sakinleri bilgilendirilerek, dedektörler teslim edildi. Dedektörlerin teslimi esnasında her dedektör için dedektörün teslim tarihinin, teslim adresinin ve konut bilgilerinin bulunduğu form birlikte dolduruldu. Dedektörler iki ayda bir yenileriyle değiştirilerek yaz ve kış için ayrı ölçümler alındı.

Şekil 4.6., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de dedektörlerin yerleştirildiği konumlar görülmektedir.



Şekil 4.6. Geyve dedektör konumları (URL-14)



Şekil 4.7. Örencik dedektör konumları (URL.15)



Şekil 4.8. Doğançay dedektör konumlar (URL.16)

Su ölçümleri için, 500ml'lik ölçüm şişelerine musluktan su örnekleri alındı. Su örnekleri için şişeler musluğun tam altına konulup suyun yüksekten düşüp havalanması engellendi, yine aynı şekilde musluğu çok açmayıp, suyun şiddetli akması engellendi ve ağızları sıkıca kapatılıp, numaralandırıldı. Böylece su hareketlendirmeden, durgunluğu minimum düzeyde engellenerek ve havayla temasına da izin vermeden alınmış oldu. Alınan su örneklerinin alınma tarihi, saati ve bölgenin koordinatları not edildi. Örnek kapları sarsılmadan analizini yapmak üzere Sakarya Üniversitesi Nükleer Araştırma Laboratuvarı'na götürüldü.

Toprak örnekleri yine belirlenen bölgelerden alındı. Yüzeydeki havalanmış ve dış etkilerden etkilenmiş toprağı almamak bölgenin kendi yapısına ait toprağı almak için, yaklaşık 0,5 – 1 m kazılarak altındaki topraktan 1 kg kadar toprak örnekleri alındı ve yine havayla temasından kaçınmak için poşetlendi. Alınan örneklerin tarihleri ve bölgelerin koordinatları belirlendi. Örnekler ölçüm için laboratuvara götürüldü.

Bölgelerden toplanan örnekler önce böcekler, yapraklar ve çöplerden arındırılmak için elendi. Elenen topraklar ölçüm kaplarına konuldu. Ölçüm kaplarındaki topraklar 90°'lik fırında 24 saat boyunca neminden kurtulması için kurutuldu. Fırınlanma işlemi sonucunda kurutulmuş toprak iyice dövülerek toz haline getirildi. Toz haline gelen toprak yine elekten geçirilerek 100 gr'lık ölçülerle ölçüm kaplarına alındı. Ölçüm kabının kapağının iç tarafına 1 cm²'lik ölçülerde kesilmiş Lr – 115 ince film dedektörü asılmış raptiyeler silikonla yapıştırıldı. Ölçüm kabının kapağı sıkıca kapatıldı ve hava almasını engellemek için silikon yardımıyla kapağın ölçüm kabına sabitlenmesi sağlandı. Toprak örnekleri bu şekilde kapalı bir ortamda 3 ay beklemeye bırakıldı. Bu sürenin sonunda kapaklar açıldı. Ölçüm kaplarındaki filmler aynı kapalı ortam radon dedektörlerinde olduğu gibi banyo edilerek iz kazıma işlemine tabi tutuldu. İz kazıma işleminden sonra yine aynı şekilde ölçümler gerçekleştirildi. Ölçüm sonuçları tablolar halinde not edildi.



Şekil 4.9. Kurutulmuş toprağın dövülerek toz haline getirilmesi

4.3. Dedektörlerin okunması

Her dedektörün radon konsantrasyonunun analizleri Sakarya Üniversitesi Nükleer Fizik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

4.3.1.Çalışmada kullanılan radon ölçüm sistemleri

Ölçümlerde bina içi radon konsantrasyonu ve toprak analizlerinde katıhal iz kazıma yöntemi, sulardaki radon konsantrasyonu ölçümü için RAD7 aktif radon ölçüm cihazı kullanılmıştır.

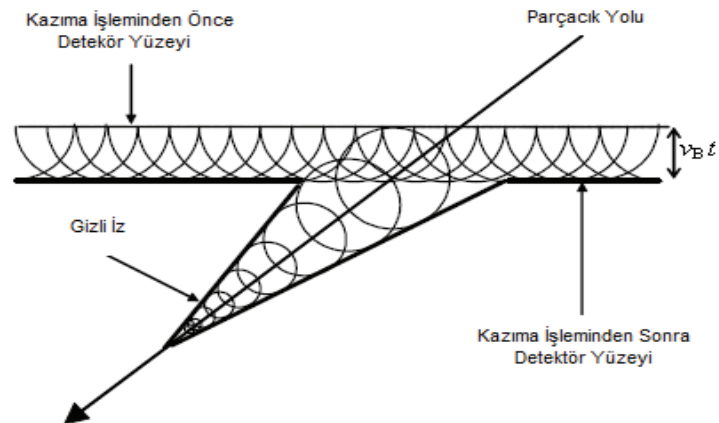
4.3.1.1. Lr – 115 dedektörleri ve iz kazıma yöntemi

Bina içi radon konsantrasyonu ve toprak ölçümleri için hazırlanan Lr – 115 ince film dedektörleri iz kazıma yöntemiyle ölçüme hazırlanır. İz kazıma yöntemi dedektörlerin %10'luk NaOH çözeltisi içinde 60° C'de 2 saat boyunca bekletilmesiyle gerçekleşen bir işlemdir. Film başına 25ml suya 2,5 gr NaOH çözeltisi hazırlanmıştır. Filmler köşelerine toplu iğneyle açılan deliklerden asılarak bu çözeltinin içine daldırılmıştır. İçi su dolu daha büyük başka bir kap ise 60° C'ye getirilmiş ısıtıcının üzerine konulmuştur ve bir taraftan da içine sıcaklığını suyun sıcaklığını belirlemek amacıyla cihaza bağlı olan bir metal çubuk batırılmıştır. Bu çubuğun göstergesi de ekran üzerinde görülmektedir. Suyun sıcaklığı da ısıtıcı gibi 60° C'ye geldiğinde çözelti kapları bu içi su dolu kabın içine alınmıştır. Çözelti kaplarındaki su seviyesiyle bu kabın su seviyesinin eşit olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra 60° C'ye getirilen suyun içindeki bu çözelti kapları bu şekilde 2 saat kazınma işlemine tabi tutulmuştur. Kazıma işlemi Lr – 115 ince filmlerinin yaklaşık 12 µ'luk kaplamasını 6 µ'lara kadar düşürebilmektedir. Bu işlemle film üzerindeki gizli izlerin açığa çıkması sağlanmıştır. Şekil 4.10.'da iz kazıma işlemi ve Şekil 4.11.'de gizli izlerin nasıl ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.10. Filmlerin banyo edilmesi

Banyo edilen filmler, daha sonra saf su içinde yaklaşık 20 – 25 dakika durulanmaya bırakılmışlardır. Durulanma işlemi bittikten sonra da kurumaya bırakılmışlardır. Kuruduktan sonra mikroskopta ölçülmeye hazır hale gelmişlerdir.

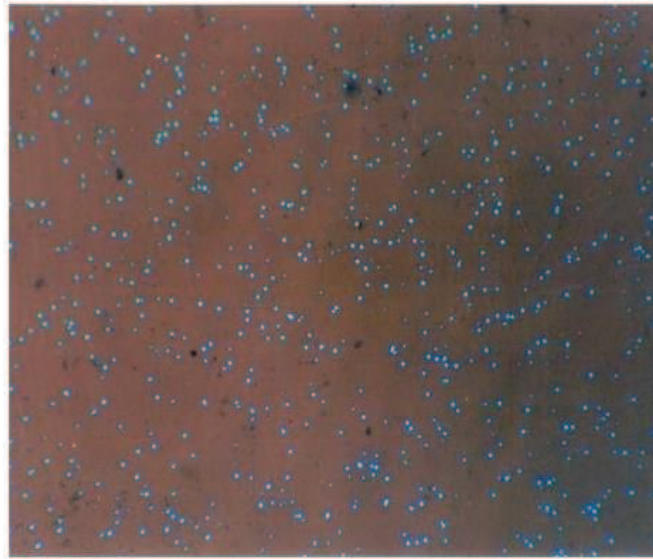


Şekil 4.11. Gizli izler

Kuruma işleminden sonra filmler mikroskopta tek tek incelenmiştir (Şekil 4.12.). Şekil 4.13.'te görülen film yüzeyinde alfa parçacıklarının bıraktıkları beyaz izler 1cm^2 'lik yüzeyde sayılarak not edilmiştir. Daha sonra dönüşüm formülleriyle aktivite değerleri hesaplanmış ve yıllık izin verilen aktivite değerleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.12. İzlerin okunması

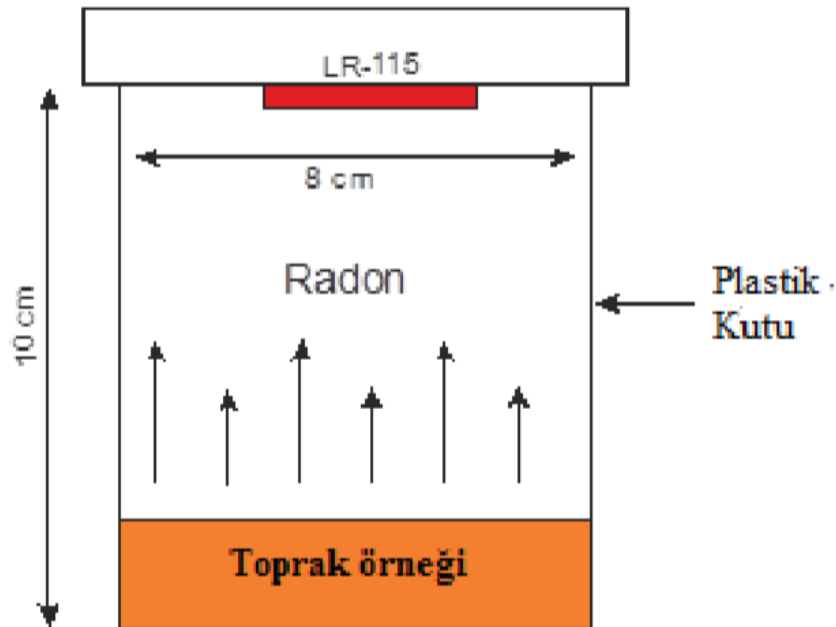


Şekil 4.13. İzlerin mikroskopta görünümü

4.3.1.2. Kapalı kutu tekniği (Sealed can Technique)

Sealed Can Technique, kapalı kutu tekniği; belirli bir hacme sahip, boyutlara sahip bir kaba katı hal plastik nükleer iz dedektörü yerleştirilmesi ile oluşturulur. Bu kaba ölçümü yapılacak materyal yerleştirilir, ağzı sıkıca kapatılır ve ölçüm için belirli bir süre bekletilir. Daha sonra bu kutu içindeki iz dedektörleri çıkartılıp, iz kazıma işlemine tabi tutulup, gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra malzemeye ait radon ve radyum konsantrasyonları, kütle ve yüzey yayılım hızları bulunur. Oldukça pratik ve ucuz olmasından dolayı, kullanımının basit olması ve ölçümler için her hangi bir elektronik cihaza ihtiyaç duyulmaması sebebiyle sıklıkla tercih edilen bir ölçüm tekniğidir (Adem,2017).

Deney düzeneği Şekil 4.14.'te gösterildiği gibidir. Ölçülen radon yayılım hızı, kutunun ölçüsüne, geometrisine ve örnek miktarına bağlıdır.



Şekil 4.14. Toprak örneklerinin radon konsantrasyon, radon yayılım hızı ve radyum içeriği ölçümleri için kullanılan deney düzeneği (Khan ve ark.,2011)

Toprak örneklerindeki radon aktivitesinin zamana göre (T) değişimi (Denklem 4.1.),

$$C_{Rn} = C_{Ra}(1 - e^{-\lambda_{Rn}T}) \quad (4.1)$$

Ve radyum konsantrasyonu ise denklem 4.2.'ye göre hesaplanmaktadır (Khan ve ark.,2011; Sharma ve ark., 2003).

$$C_{Ra} = \frac{\rho.h.A}{k.T_e.M} \quad (4.2)$$

Burada A; kutunun yüzey alanı, h; dedektörle örnek arasındaki mesafe, ρ ; iz yoğunluğu, M; örneğin kütlesi, k; kalibrasyon faktörü ve T_e ise etkin ışınlama süresini göstermektedir. Etkin ışınlama süresi, başlangıç aktivitesinden denge aktivitesine kadar geçen süredir. Denklem 4.3. kullanılarak hesaplanır.

$$T_e = (T - \tau(1 - e^{-\lambda_{Rn}T})) \quad (4.3)$$

Burada T gerçek ışınlama süresi, λ_{Rn} , ^{222}Rn 'nun bozunma sabiti olup, $(\tau = \frac{1}{\lambda_{Rn}})$ ise ortalama ömürdür (El Zaher M., 2013).

V kutunun hacmi olmak üzere, denklem 4.4. ve denklem 4.5. kullanılarak kütle (E_M) ve yüzey (E_A) yayılım hızları bulunmaktadır. Yayılım hızı, toprak örneklerinden yayılan radon gazının kütlesine veya yüzey alanına bağlı olarak yayılımını temsil etmektedir (Singh ve ark., 2008; Rafique M. ve ark., 2011; Kumar R. ve ark., 2008; Abo-Elmagd M. ve ark., 2014; Saad A.F. ve ark.,2013).

$$E_M = \frac{C_{Rn}.T.\lambda_{Rn}.V}{M.T_e} \quad (4.4)$$

$$E_A = \frac{C_{Rn} \cdot T \cdot \lambda_{Rn} \cdot V}{A \cdot T_e} \quad (4.5)$$

Topraktaki radon yayılım hızını belirlemede oldukça düşük maliyetli ve pratik olan bu yöntemin dezavantajı, uzun süre kapalı kutuda kalan yayınlanmış radon gazının geri difüzyonunu gerçekleşmesidir.

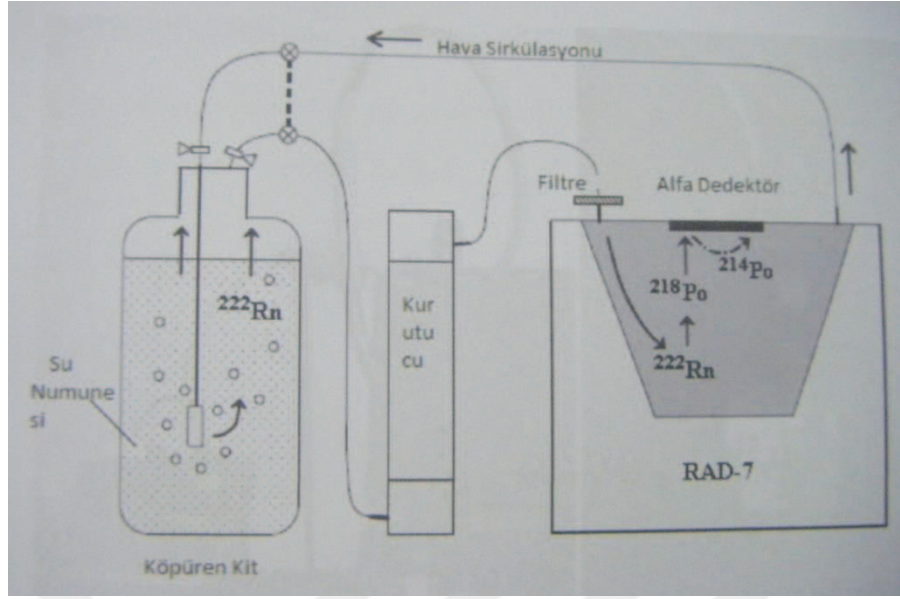
Toprak gazının kapalı ortam radon konsantrasyonuna etkisi denklem 4.6. ile bulunabilir.

$$C_{Rn}^{ind} = \frac{E_A \cdot S_r}{V_r \cdot \varphi} \quad (4.6)$$

S_r ve V_r kapalı ortamın alanı ve hacmini ifade edip oranları $\frac{S_r}{V_r} = 2,0 \text{ m}^{-1}$ şeklinde verilmekte olup, $\varphi = 0,5 \text{ h}^{-1}$ havanın akış oranı olarak kabul edilmektedir (Saad A.F. ve ark,2013).

4.3.1.3. RAD7 ölçüm cihazı

Toplanan su örneklerinin ölçümü RAD7 aktif ölçüm cihazıyla gerçekleştirilmiştir. RAD7 cihazının çalışma mekanizması Şekil 4.15.'te görülmektedir.



Şekil 4.15. RAD7 aktif ölçüm cihazı

RAD7 ölçüm cihazı bize eski radon ve yeni radon sonuçlarını verir. Su örnekleri 250 ml'lik ölçüm kaplarına konulur. Cihaz bu su örneklerinin içine Şekil 4.16.'da olduğu gibi 5 dakika boyunca hava üfler bu sayede sudaki erimiş radon hareketlenir ve şişe içinde havaya çıkar. Buradan kurutucu tüpe geçer. Kurutucu tüp, radonlu havanın sahip olduğu nemi emer. Nemi alınmış radonlu hava RAD7 cihazının içine geçer. ^{222}Rn bir alfa yayınlamaya ^{218}Po 'a dönüşür ve bir alfa daha yayınlamaya ^{214}Po 'a dönüşür ve kararlı hale gelir. Bu yayınlanan alfaların dedektörde bıraktığı izler ölçüm sonucu olarak cihaz tarafından yazdırılır. İlk çarpan alfa eski radonu son olarak çarpan alfa ise yeni radonu gösterir. Sistem bu şekilde 5'er dakikalık 4 aşama daha gerçekleştirir. Her bir ölçümün radon yoğunlukları ve hepsinin ortalaması olan değer Şekil 4.17'de olduğu gibi cihaz tarafından yazdırılır. Bir numunenin ölçümü bu şekilde 25 dakika sürer. Bir ölçüm bittikten sonra bu sefer kurutucunun uçları ters bağlanıp, bu sefer de RAD7 içindeki havanın boşaltılması işlemi gerçekleştirilir. Yaklaşık 10 – 15 dakika süren bu işlem sonucunda cihaz diğer numuneyi ölçmeye hazır hale gelir.



Şekil 4. 16. RAD7 aktif ölçüm cihazı, ölçümden önce hava üflenmesi aşaması



Şekil 4. 17. RAD7 aktif ölçüm cihazı sonuç yazdırması

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI

05.12.2012 ve 14.09.2013 tarih aralığında gerçekleşen örnekleme işlemlerinin sonuçları aşağıda tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

5.1. Radon Yoğunluğu Değerleri

Daha önce ayrıntılı olarak örneklerin radon yoğunluklarının belirlenmesi, dedektörlerin nasıl okunduğu bir önceki bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Sonuçlar tablo, grafik olarak verilmiştir.

5.1.1. Kapalı ortam radon gazı konsantrasyonu değerleri

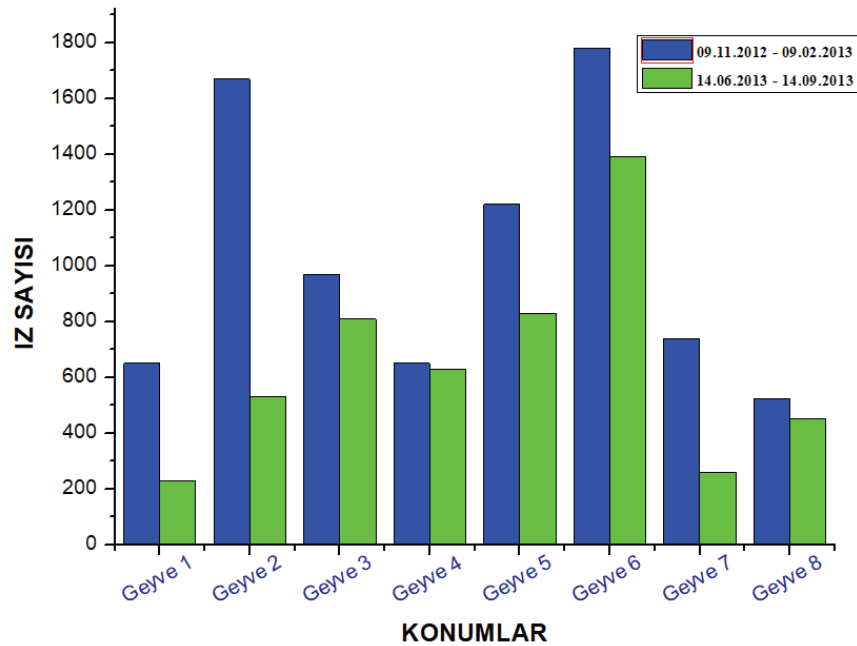
Tablo 5.1. Geyve kapalı ortam radon konsantrasyonu iz sayısı

No	Konum	Koordinat		İz sayısı		Aktivite	
				09.11.2012	14.06.2013	09.11.2012	14.06.2013
				09.02.2013	14.09.2013	09.02.2013	14.09.2013
1	Geyve 1	40° 30' 37.1"	N	650	230	140	50
		30° 17' 24.1"	E				
2	Geyve 2	40° 30' 39.9"	N	1670	530	361	114
		30° 17' 20.3"	E				
3	Geyve 3	40° 30' 38.8"	N	970	810	210	175
		30° 17' 22.8"	E				
4	Geyve 4	40° 28' 24.29"	N	650	630	140	136
		30° 15' 30.90"	E				
5	Geyve 5	40° 31' 00.1"	N	1220	830	264	179
		30° 18' 10.4"	E				

Tablo 5.1. (Devamı)

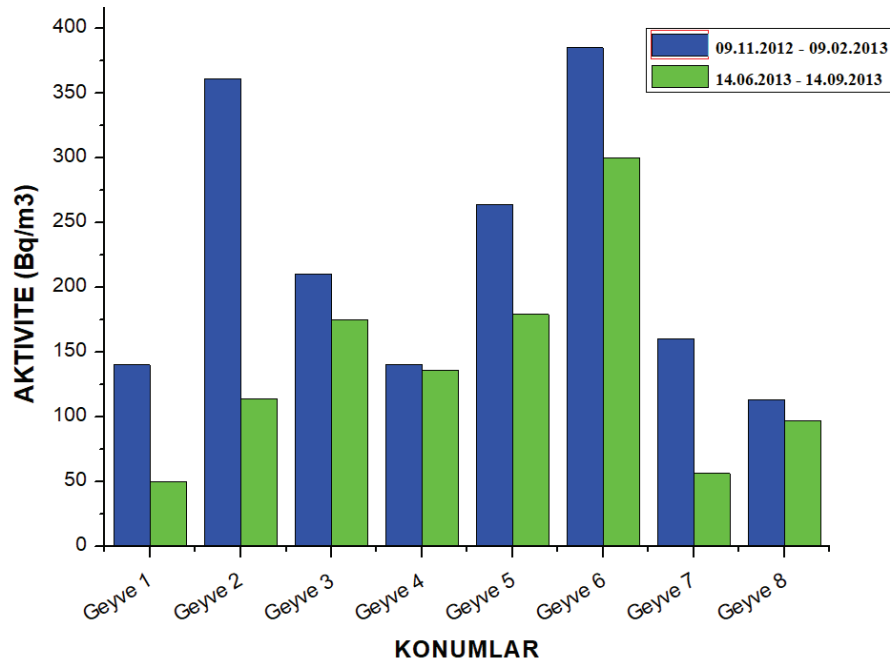
6	Geyve 6	40° 31' 13.0"	N	1780	1390	385	300
		30° 17' 44.1"	E				
7	Geyve 7	40° 30' 11.4"	N	740	260	160	56
		30° 17' 48.1"	E				
8	Geyve 8	40° 30' 26.8"	N	524	450	113	97
		30° 17' 11.4"	E				

Geyve kapalı ortamda okunan filmler üzerindeki izlerin yazlık ve kışlık ölçüm sonuçları Tablo 5.1.'de gösterilmiştir. Her bir iz sayısı değeri için tek tek aktivite değeri gösterilmiştir. Bu sonuçların grafikleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir.



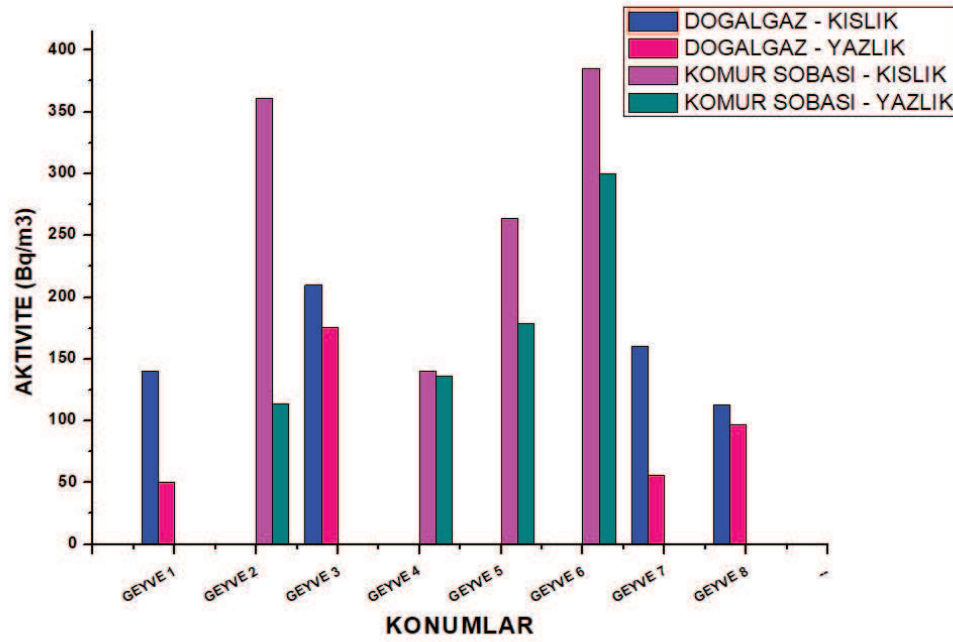
Şekil 5.1. Geyve kapalı ortam iz sayısı

Şekil 5.1.'deki grafikte iz sayısının yazlık konumda en düşük ve en yüksek değerlerinin sırasıyla 230 – 1390 olduğu ve kışlık konumda en düşük ve en yüksek değerlerin sırasıyla 524 – 1780 olduğu görülmektedir.



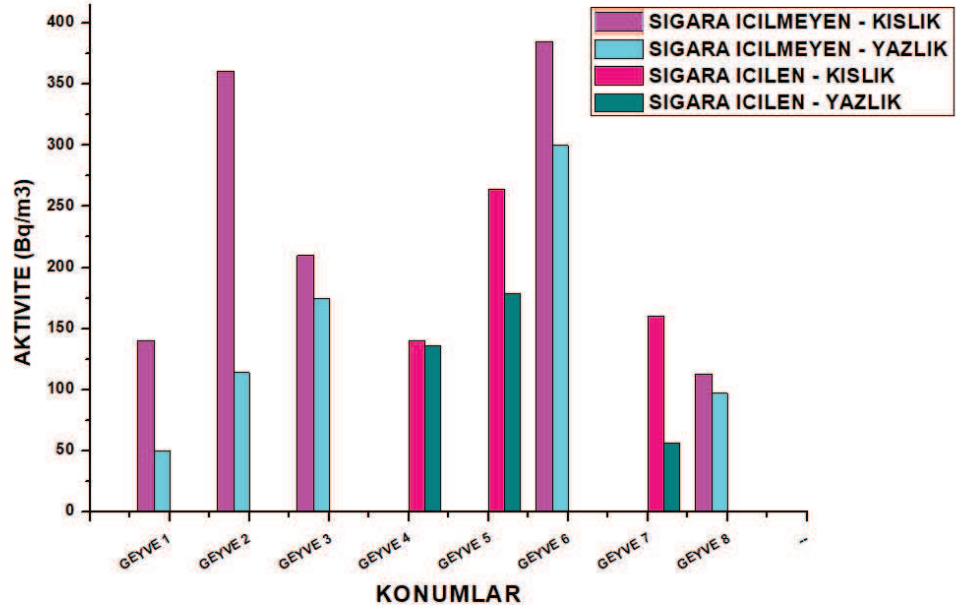
Şekil 5.2. Geyve kapalı ortam aktivite değerleri

Şekil.5.2.'deki grafikte aktivite değerlerinin yazlık ölçümde $54 - 300 \text{ Bq/m}^3$ aralığında, kışlık ölçümlerin de $113 - 385 \text{ Bq/m}^3$ olduğu görülmektedir. Bu sonuçların nedenlerinin daha iyi yorumlanabilmesi açısından bina yapı malzemelerine ve sigara içilme alışkanlığına göre sıralandığı grafikler Şekil 5.3., Şekil 5.4., Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'da verilmiştir.



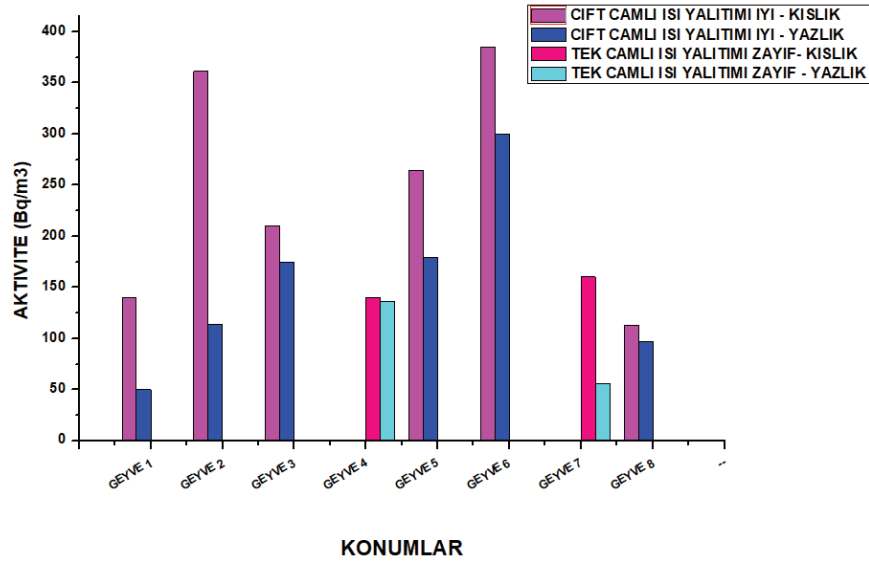
Şekil 5.3. Geyve ısıtma sistemine göre aktivite değerleri

Şekil 5.3.'te kömür sobası ve doğalgaz ısıtma farklılıklarına göre grafik değerleri gösterilmektedir. Kömür sobası kullanılan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 114 – 300 Bq/m³ aralığında, Kömür sobası kullanılan konumlarda kışlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 140 – 385 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Doğalgaz kullanılan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 50 – 175 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 113 – 210 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.



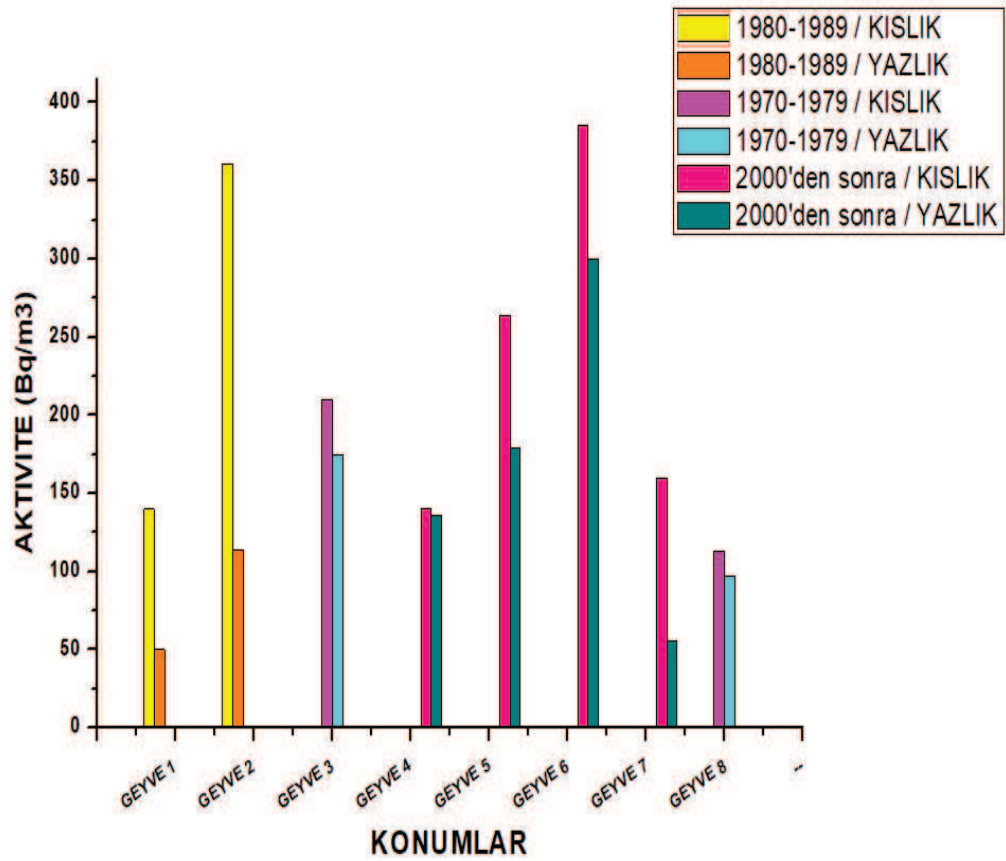
Şekil 5.4. Geyve, kapalı ortam sigara içilme durumuna göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.4.'te sigara içilme ve içilmeme durumuna göre grafik değerleri gösterilmektedir. Sigara içilen konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 56 – 179 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 140– 264 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Sigara içilmeyen konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 97 - 300 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 113– 385 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.5. Geyve, pencerelerin ısı yalıtımı durumlarına göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.5.'te pencerelerin ısı yalıtımı durumuna göre grafik değerleri gösterilmektedir. Isı yalıtımı çift camla sağlanan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 50 - 300 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 113 - 385 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Isı yalıtımı tek camla sağlanan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 56 - 136 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 140 - 160 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.



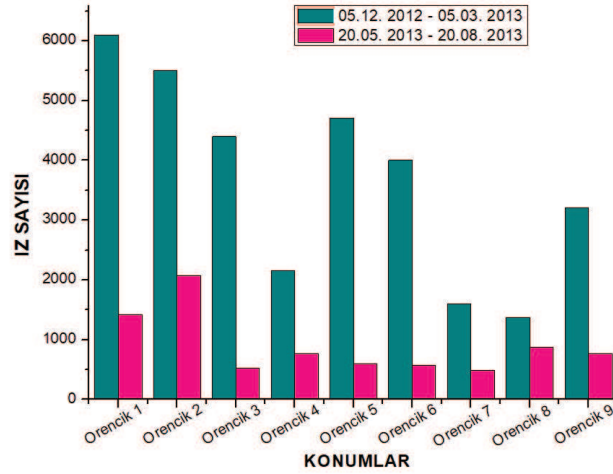
Şekil 5.6. Geyve, bina yaşına göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.6.'da binaların yaşına göre aktivite grafik değerleri gösterilmektedir. Bina yapım yılı 1980 öncesi olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 97 - 175 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 113 - 210 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Bina yapım yılı 1980- 1990 yılları arasında olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 50 - 114 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 140 - 361 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Bina yapım yılı 2000 yılından sonra olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 56 - 300 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 140- 385 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.2. Örencik köyü kapalı ortam radon konsantrasyonu iz sayısı

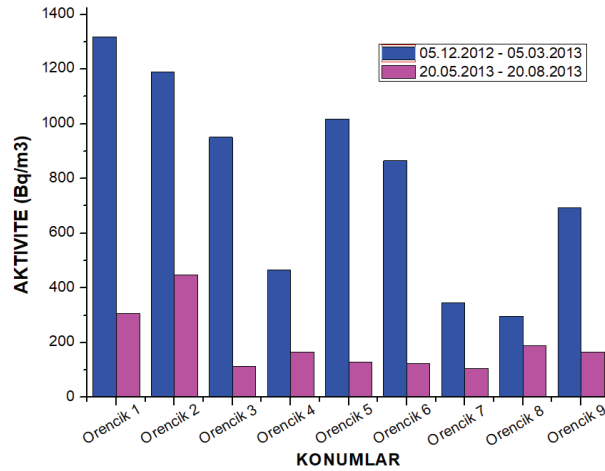
No	Konum	Koordinat		İz sayısı		Aktivite	
				05.12.2012	20.05.2013	05.12.2012	20.05.2013
				05.03.2013	20.08.2013	05.03.2013	20.08.2013
1	Örencik 1	40° 34' 54, 26''	N	6100	1420	1319	307
		30° 20' 12, 54''	E				
2	Örencik 2	40° 34' 55, 16''	N	5505	2070	1190	447
		30° 20' 11, 60''	E				
3	Örencik 3	40° 34' 53, 21''	N	4400	530	951	114
		30° 20' 12, 61''	E				
4	Örencik 4	40° 34' 52, 77''	N	2150	770	465	166
		30° 20' 10, 04''	E				
5	Örencik 5	40° 34' 53, 24''	N	4710	600	1018	130
		30° 20' 11, 43''	E				
6	Örencik 6	40° 34' 51, 59''	N	4000	570	865	123
		30° 20' 11, 34''	E				
7	Örencik 7	40° 34' 49, 79''	N	1600	490	346	105
		30° 20' 13, 59''	E				
8	Örencik 8	40° 34' 49, 60''	N	1375	870	297	188
		30° 20' 13, 59''	E				
9	Örencik 9	40° 34' 49, 33''	N	3200	770	692	166
		30° 20' 16, 21''	E				

Örencik kapalı ortamda okunan filmler üzerindeki izlerin yazlık ve kışlık ölçüm sonuçları Tablo 5.2.'de gösterilmiştir. Her bir iz sayısı değeri için tek tek aktivite değeri gösterilmiştir. Bu sonuçların grafikleri Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'de verilmiştir.



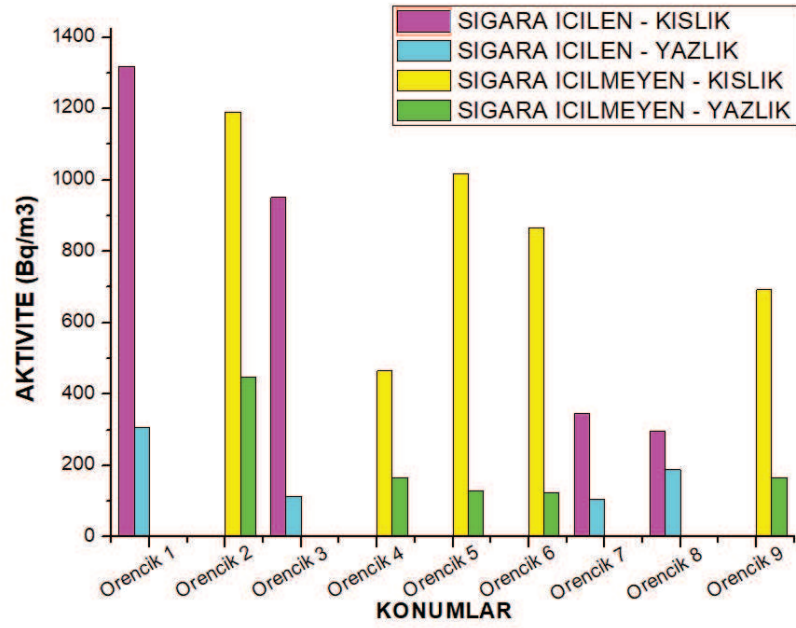
Şekil 5.7. Örencik kapalı ortam iz sayısı

Şekil 5.7.'deki grafikte iz sayısının yazlık konumda en düşük ve en yüksek değerlerinin sırasıyla 490 - 2070 olduğu ve kışlık konumda en düşük ve en yüksek değerlerin sırasıyla 1375 - 6100 olduğu görülmektedir.



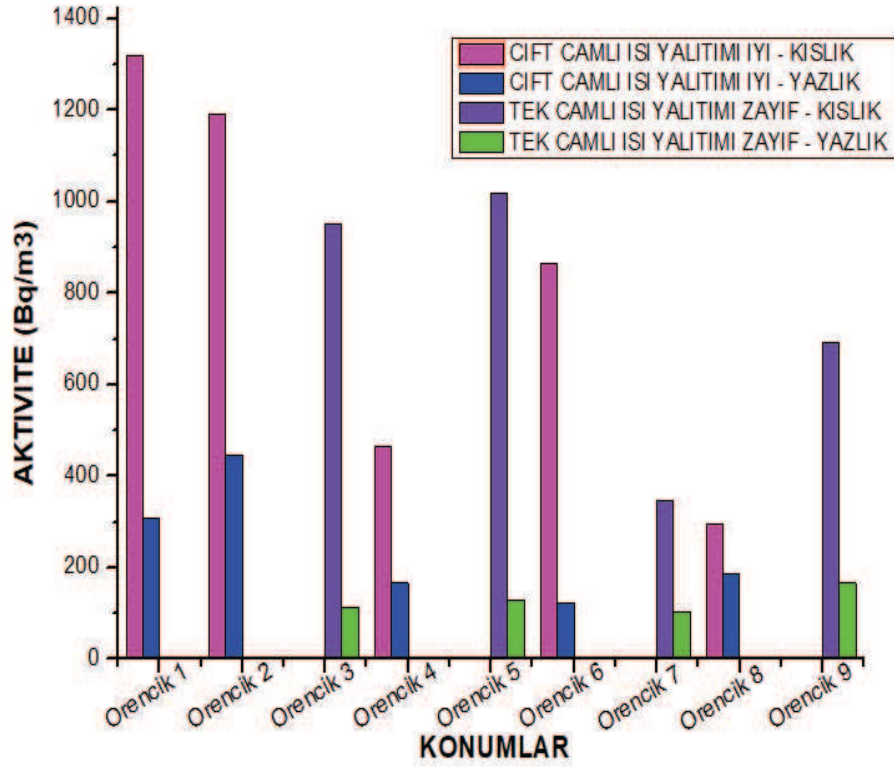
Şekil 5.8. Örencik kapalı ortam aktivite yoğunluğu

Şekil 5.8.'deki grafikte aktivite değerlerinin yazlık ölçümde 105 - 447 Bq/m³ aralığında, kışlık ölçümlerin de 297 - 1319 Bq/m³ olduğu görülmektedir. Bu sonuçların nedenlerinin daha iyi yorumlanabilmesi açısından bina yapı malzemelerine, bina yaşına, bölgenin coğrafik konumuna ve sigara içilme alışkanlığına göre sıralandığı grafikler Şekil 5.9., Şekli 5.10., Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.'de verilmiştir.



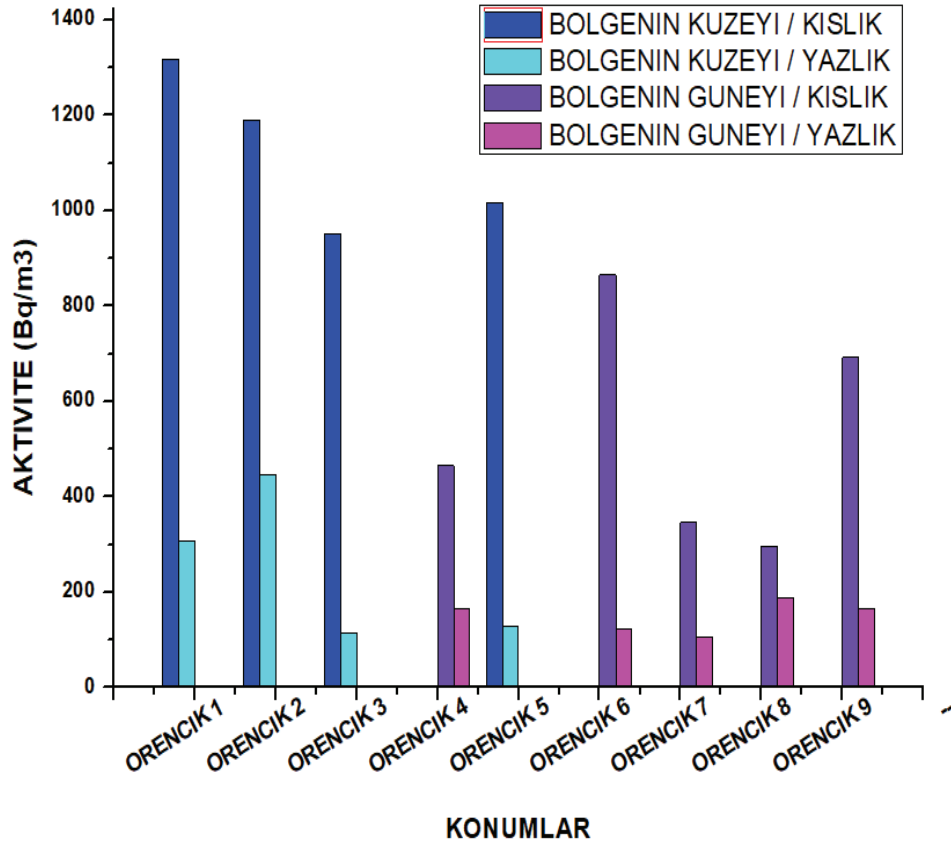
Şekil 5.9. Örencik, kapalı ortam sigara içilme durumuna göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.9.'da sigara içilme ve içilmeme durumuna göre grafik değerleri gösterilmektedir. Sigara içilen konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 123 - 447 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 166 - 447 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Sigara içilmeyen konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 105 - 307 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 297 - 1319 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.



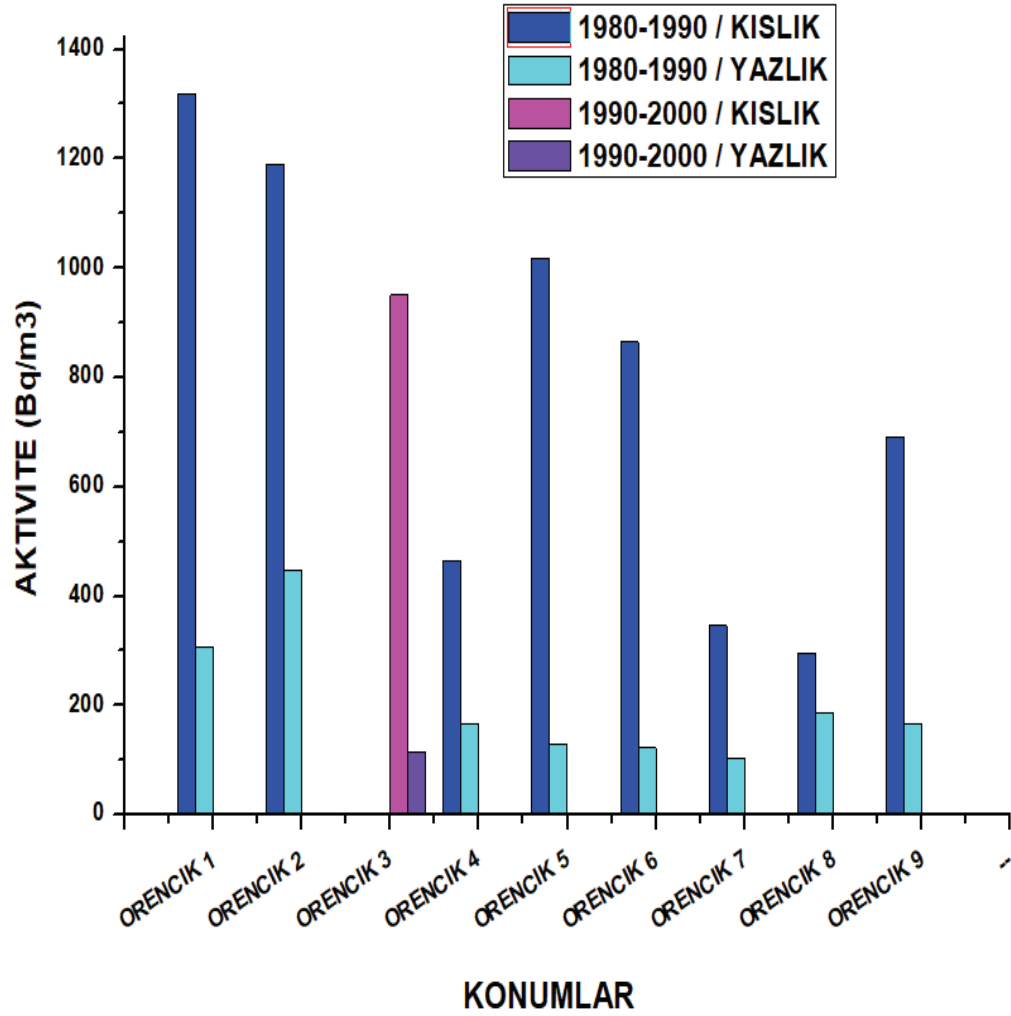
Şekil 5.10. Örencik, pencerelerin ısı yalıtımı durumuna göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.10.'da pencerelerin ısı yalıtımı durumuna göre grafik değerleri gösterilmektedir. Isı yalıtımı çift camla sağlanan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 123 - 447 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 297 - 1319 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Isı yalıtımı tek camla sağlanan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 105 - 130 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 346 - 1018 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11. Örencik, konumların bölge içindeki coğrafi konumlarına göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.11.'de konumların bölge içinde coğrafi durumlarına göre grafik değerleri gösterilmektedir. Bölgenin kuzeyindeki konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 114 - 447 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 951 - 1319 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Bölgenin güneyindeki konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 105 - 188 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 297 - 865 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.



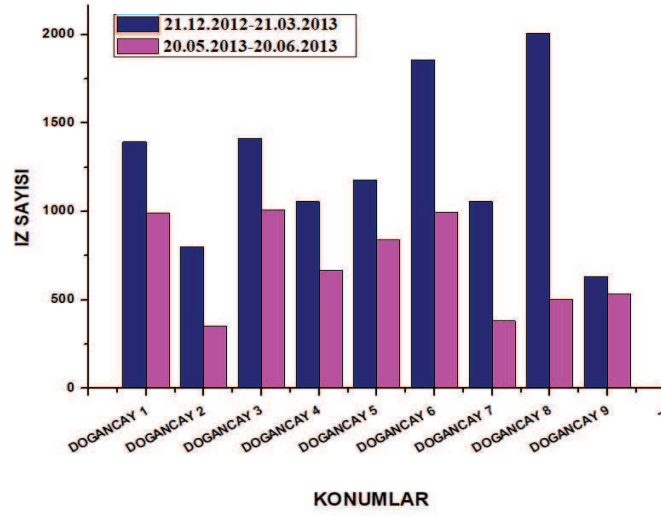
Şekil 5.12. Örencik, bina yapım yılına göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.12.'de binaların yaşına göre aktivite grafik değerleri gösterilmektedir. Bina yapım yılı 1980- 1990 yılları arasında olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 105 - 447 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 297 - 1319 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Bina yapım yılı 1990 - 2000 yılları arasında olan konumda yazlık aktivite yoğunluğunun 114 Bq/m³, kışlık aktivite yoğunluğunun 951 Bq/m³ olduğu görülmektedir.

Tablo 5.3. Doğançay kapalı ortam radon konsantrasyonu iz sayısı

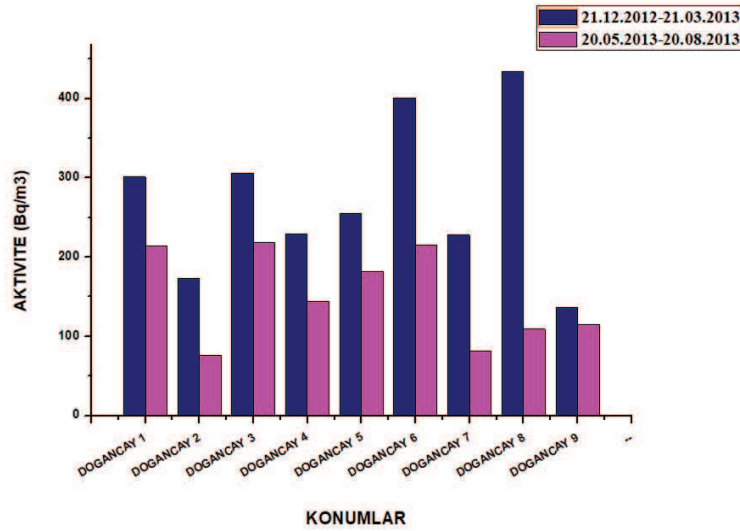
No	Konum	Koordinat	İz sayısı		Aktivite	
			21.12.2012	20.05.2013	21.12.2012	20.05.2013
			21.03.2013	20.08.2013	21.03.2013	20.08.2013
1	Doğançay 1	40° 37' 34.8" N 30° 20' 03.9" E	1394	992	301	214
2	Doğançay 2	40° 37' 28.5" N 30° 19' 54.0" E	801	353	173	76
3	Doğançay 3	40° 37' 42.0" N 30° 20' 09.4" E	1414	1008	306	218
4	Doğançay 4	40° 37' 41.8" N 30° 20' 09.7" E	1057	668	229	144
5	Doğançay 5	40° 37' 38.1" N 30° 20' 00.8" E	1179	841	255	182
6	Doğançay 6	40° 37' 41.9" N 30° 20' 04.8" E	1855	993	401	215
7	Doğançay 7	40° 37' 35.0" N 30° 20' 11.0" E	1055	381	228	82
8	Doğançay 8	40° 37' 30.8" N 30° 19' 48.6" E	2008	504	434	109
9	Doğançay 9	40° 37' 33.6" N 30° 20' 18.0" E	632	533	137	115

Doğançay kapalı ortamda okunan filmler üzerindeki izlerin yazlık ve kışlık ölçüm sonuçları Tablo 5.3.'te gösterilmiştir. Her bir iz sayısı değeri için tek tek aktivite değeri gösterilmiştir. Bu sonuçların grafikleri Şekil 5.13. ve Şekil 5.14.'te verilmiştir.



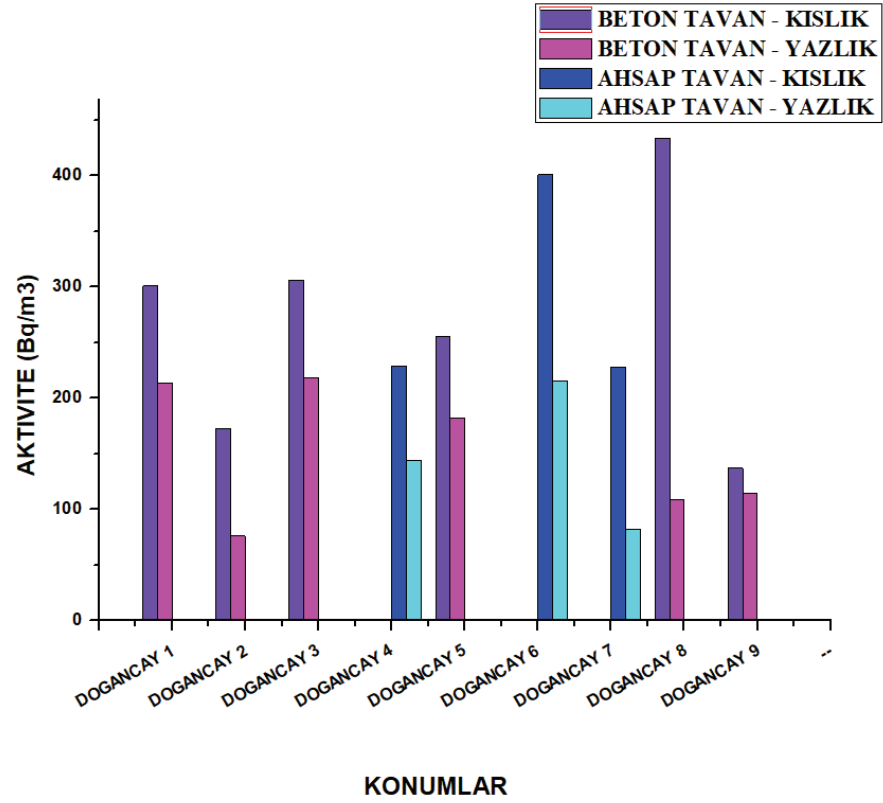
Şekil 5.13. Doğançay, kapalı ortam iz sayısı

Şekil 5.13.'teki grafikte iz sayısının yazlık konumda en düşük ve en yüksek değerlerinin sırasıyla 353 - 1008 olduğu ve kışlık konumda en düşük ve en yüksek değerlerin sırasıyla 632 - 2008 olduğu görülmektedir.



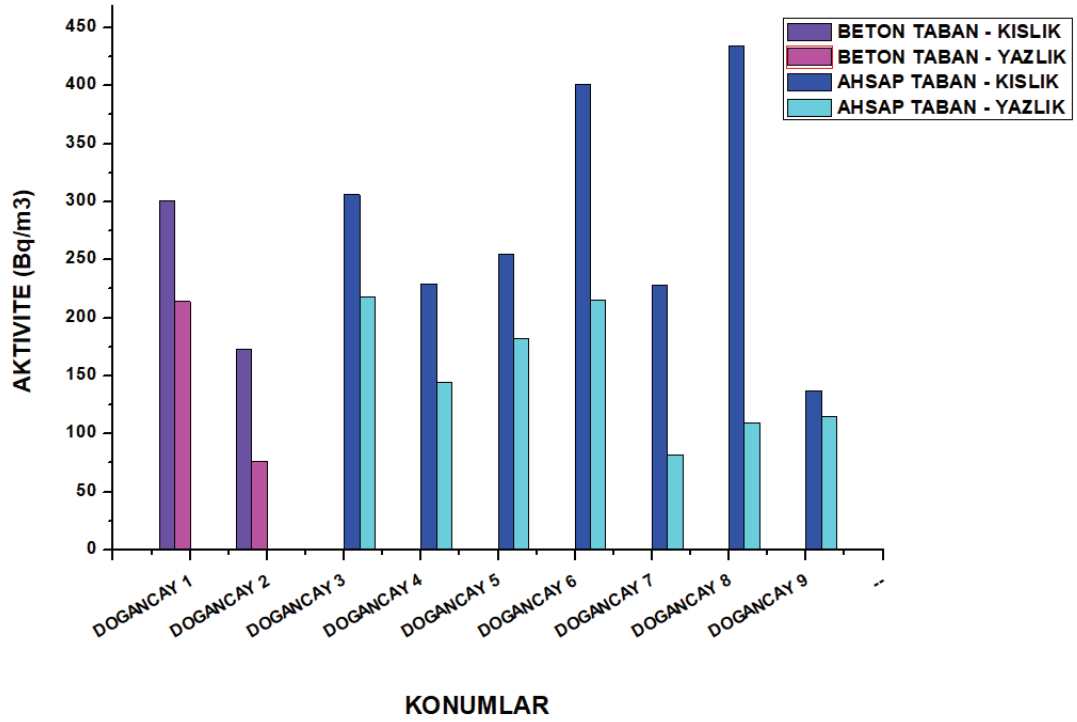
Şekil 5.14. Doğançay, kapalı ortam aktivite yoğunluğu

Şekil.5.14.'teki grafikte aktivite değerlerinin yazlık ölçümde $76 - 218 \text{ Bq/m}^3$ aralığında, kışlık ölçümlerin de $137-434 \text{ Bq/m}^3$ olduğu görülmektedir. Bu sonuçların nedenlerinin daha iyi yorumlanabilmesi açısından bina yapı malzemelerine, bina yaşına, ısı yalıtımına ve sigara içilme alışkanlığına göre sıralandığı grafikler Şekil 5.15., Şekil 5.16., Şekil 5.17., Şekil 5.18., Şekil 5.19. ve Şekil 5.20.'de verilmiştir.



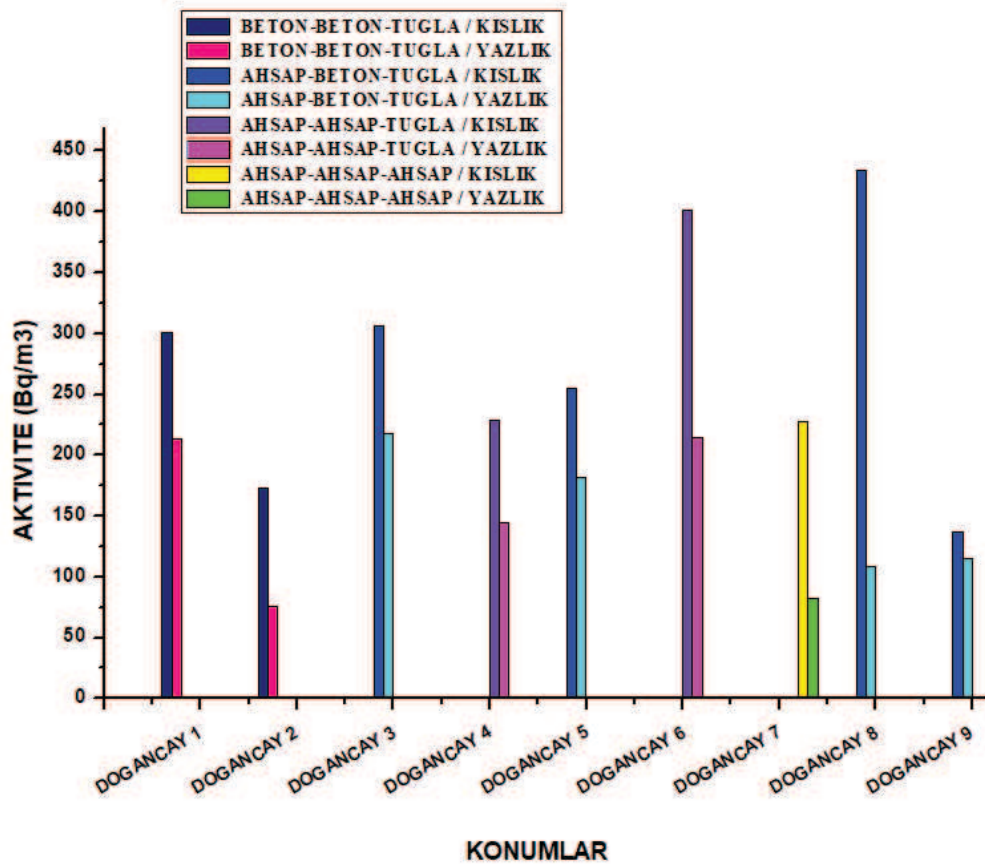
Şekil 5.15. Doğançay, tavan yapı malzemesine göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.15.'te binaların tavan yapı malzemelerine göre grafik değerleri gösterilmektedir. Tavan yapı malzemesi beton olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla $76 - 218 \text{ Bq/m}^3$ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla $137 - 434 \text{ Bq/m}^3$ aralığında olduğu görülmektedir. Tavan yapı malzemesi ahşap olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla $82 - 215 \text{ Bq/m}^3$ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla $228 - 401 \text{ Bq/m}^3$ aralığında olduğu görülmektedir.



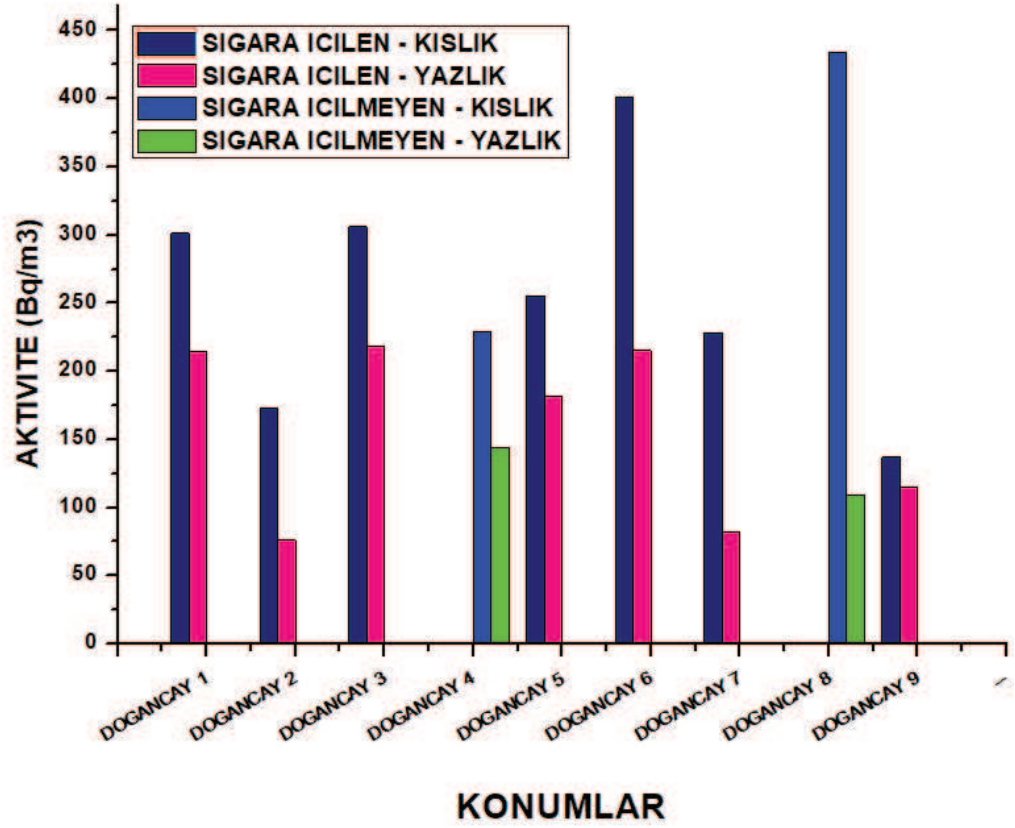
Şekil 5.16. Doğançay, taban yapı malzemesine göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.16.'da binaların taban yapı malzemelerine göre grafik değerleri gösterilmektedir. Taban yapı malzemesi beton olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 76 – 214 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 173 - 301 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Taban yapı malzemesi ahşap olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 82 - 115 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 137 – 434 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.



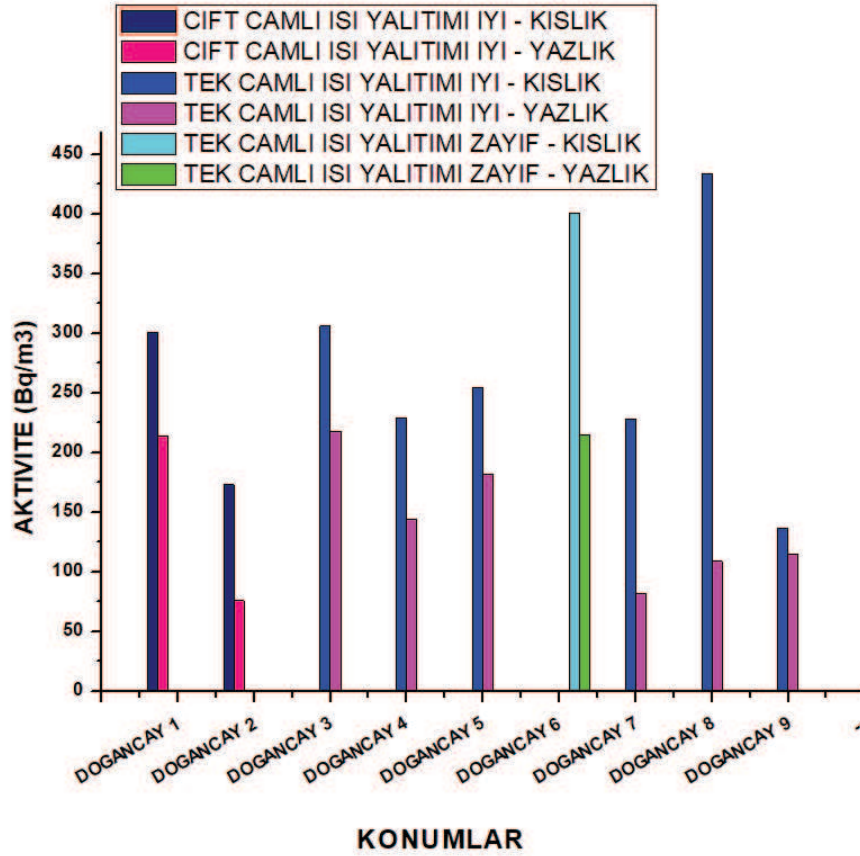
Şekil 5.17. Doğançay, taban-tavan-duvarlar yapı malzemesine göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.17.'de binaların taban – tavan - duvar yapı malzemelerine göre grafik değerleri gösterilmektedir. Taban – tavan - duvar yapı malzemesi beton – beton - tuğla olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 76 – 214 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 173 - 301 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Taban – tavan - duvar yapı malzemesi ahşap – beton - tuğla olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 109 - 218 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 137 - 434 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Taban – tavan - duvar yapı malzemesi ahşap – ahşap - tuğla olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 144 - 215 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 229 - 401 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Taban – tavan - duvar yapı malzemesi ahşap – ahşap - ahşap olan konumda yazlık aktivite değeri 82 Bq/m³ aralığında, kışlık değeri ise 228 Bq/m³ olduğu görülmektedir.



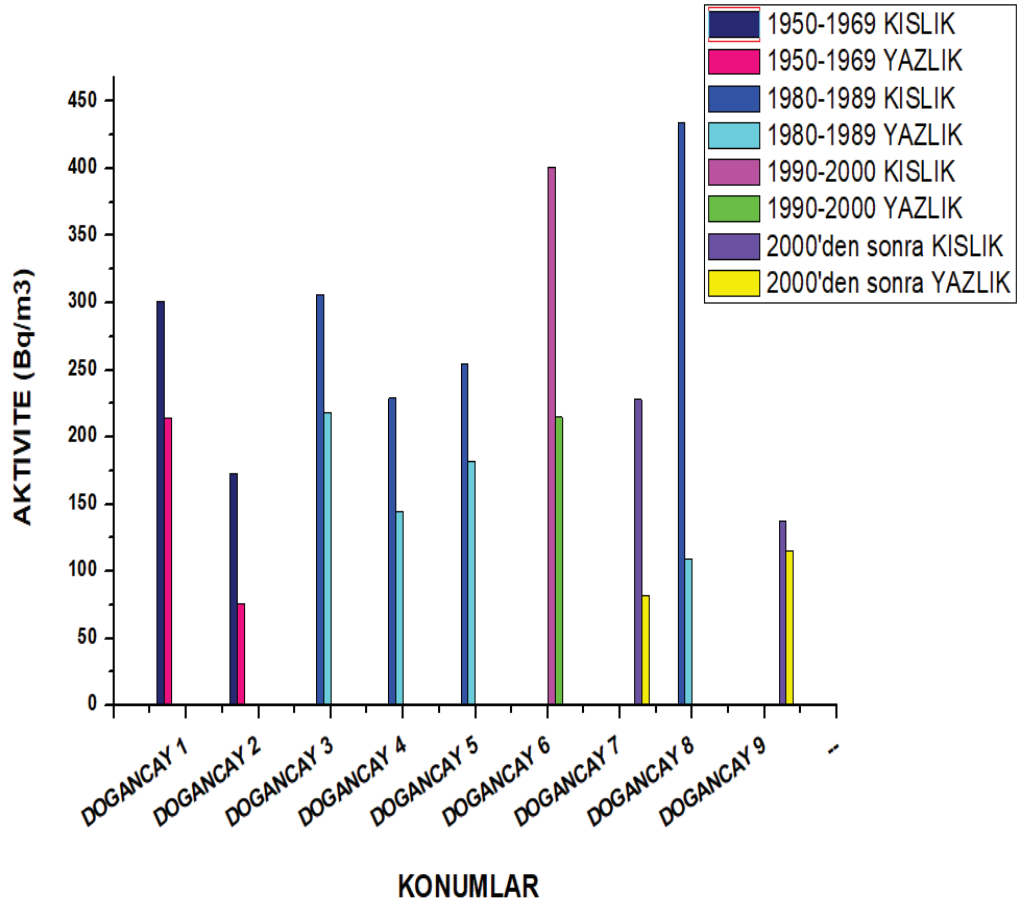
Şekil 5.18. Doğançay, kapalı ortam sigara içilmesine göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.18.'de sigara içilme ve içilmeme durumuna göre grafik değerleri gösterilmektedir. Sigara içilen konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 76 - 218 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 137 - 401 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Sigara içilmeyen konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 109 - 144 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 229 - 434 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.19. Doğançay, pencerelerin ısı yalıtımına göre aktivite yoğunluğu

Şekil 5.19.'da pencerelerin ısı yalıtımı durumuna göre grafik değerleri gösterilmektedir. Isı yalıtımı çift camla sağlanan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 82 - 218 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 137 - 434 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Isı yalıtımı tek camla olup yalıtımı iyi olan konumda yazlık aktivite değeri 215 Bq/m³, kışlık aktivite değeri 401 Bq/m³ olarak gözükmemektedir. Isı yalıtımı tek camla sağlanan ve yalıtımı zayıf olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 76 - 214 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 173 - 301 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.20. Doğançay, bina yapım yılına göre aktivite yoğunluğu

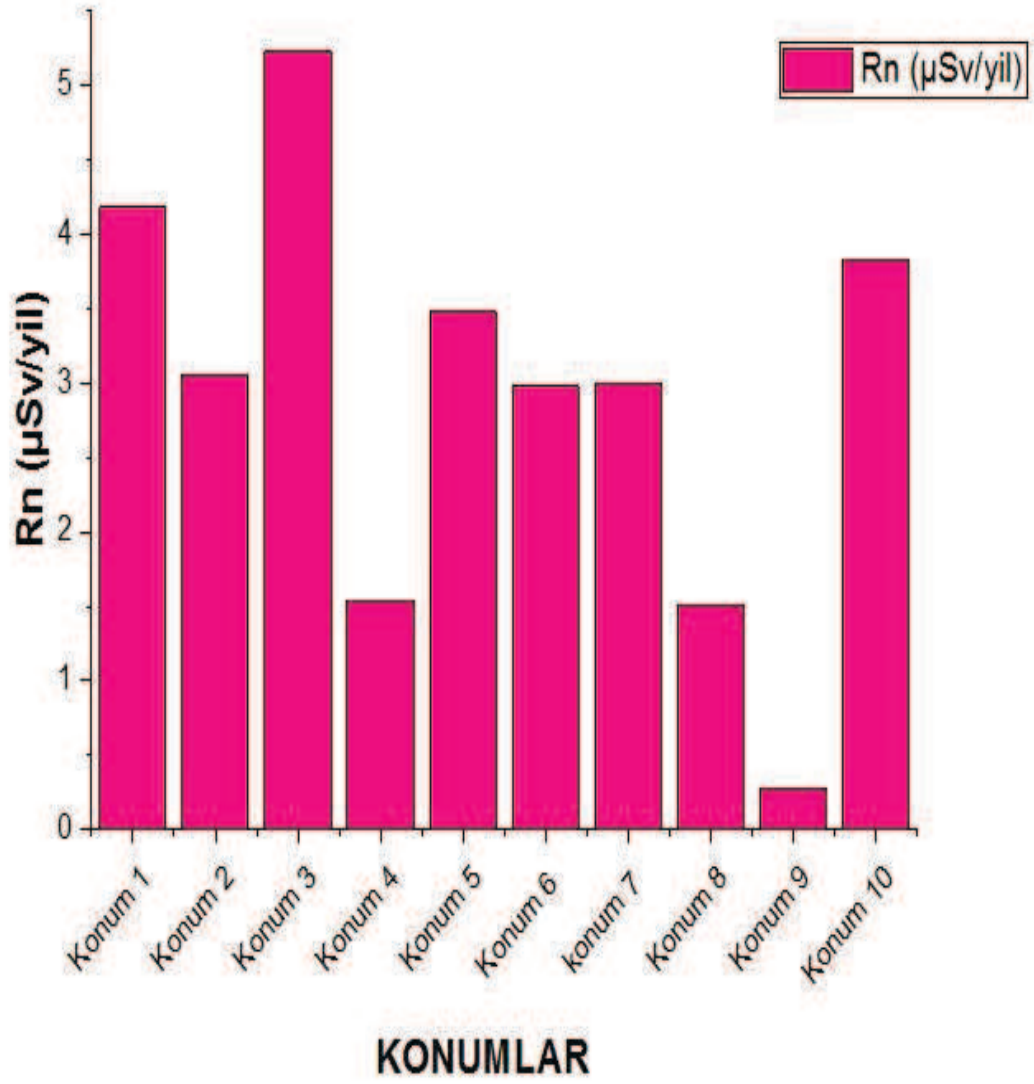
Şekil 5.20.'de binaların yaşına göre aktivite grafik değerleri gösterilmektedir. Bina yapım yılı 1950- 1980 yılları arasında olan konumda yazlık aktivite değeri 215 Bq/m³, kışlık değeri 401 Bq/m³ olduğu görülmektedir. 1980- 1990 yılları arasında olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 76 - 214 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 173 - 301 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. 1990- 2000 yılları arasında olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 82 - 115 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 137 - 228 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir. Bina yapım yılı 2000'den sonra olan konumlarda yazlık en düşük ve en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 109 - 218 Bq/m³ aralığında, kışlık en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 229 - 434 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir.

5.1.2. Sudaki radon gazı konsantrasyonu değerleri

Tablo 5.4. Geyve sudaki radon konsantrasyonu

Kaynak	Alınan tarih 19.08.2013 Saat	Ölçülen tarih	Saat	Geçen süre (saat)	DCF	Rn Bq/L	Rn μ Sv/yıl	SD Bq/L
Konum 1	12.25	20.08.2013	11.23	22.97	1.189	2.389	4.18	0.573
Konum 2	12.48		13.51	25.05	1.208	1.752	3.06	0.841
Konum 3	13.26		16.51	27.42	1.230	2.989	5.23	0.430
Konum 4	13.33		18.05	28.53	1.241	0.878	1.54	0.309
Konum 5	13.55		12.15	22.33	1.184	1.989	3.48	0.448
Konum 6	14.00	21.08.2013	13.27	47.45	1.431	1.702	2.98	0.388
Konum 7	14.02		14.31	48.48	1.442	1.716	3.00	0.724
Konum 8	14.24		15.36	49.20	1.450	0.861	1.51	0.209
Konum 9	14.30		16.40	50.17	1.461	0.163	0.28	0.0743
Konum 10	14.41		17.35	50.90	1.469	2.189	3.83	0.589

Doğançay sudaki radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları Tablo 5.4.'te gösterilmiştir. Her bir değer için tek tek aktivite değeri gösterilmiştir. Bu sonuçların grafikleri Şekil 5.21.'de verilmiştir.



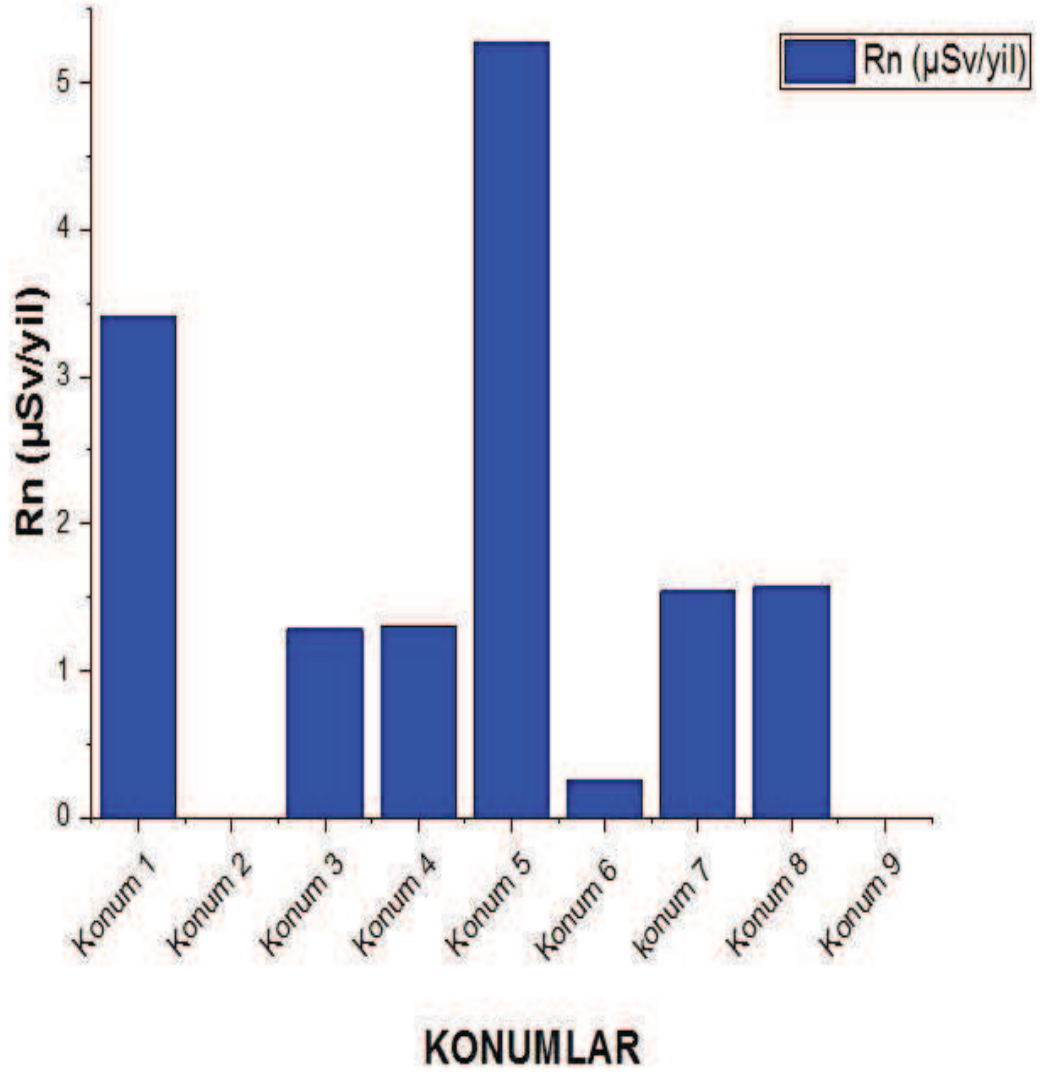
Şekil 5.21. Geyve, sudaki Rn konsantrasyonu

Şekil 5.21.'de Geyve sudaki radon konsantrasyonu en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 0.28 - 5.23 $\mu\text{Sv/yıl}$ aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.5. Örencik sudaki radon konsantrasyonu

Kaynak	Alınan tarih	Ölçülen tarih	Saat	Geçen süre (saat)	DCF	Rn Bq/L	Rn μ Sv/yıl	SD Bq/L
	05.12.2013							
	Saat							
Konum 1	13.50	11.12.2013	19.54	150.06	3.106	1.944	3.402	0.800
Konum 2	13.52	12.12.2013	11.07	165.25	3.483	0.00	0.00	0.00
Konum 3	13.58		12.45	166.78	3.524	0.732	1.281	0.415
Konum 4	14.02		14.52	168.83	3.579	0.748	1.309	0.418
Konum 5	14.07		16.13	170.1	3.613	3.013	5.272	0.682
Konum 6	14.13		17.49	171.6	3.654	0.149	0.260	0.481
Konum 7	14.20	13.12.2013	12.55	190.58	4.218	0.881	1.541	0.418
Konum 8	14.23		15.35	193.2	4.302	0.899	1.573	0.418
Konum 9	14.32		16.15	193.71	4.319	0.00	0.00	0.00

Örencik sudaki radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları Tablo 5.5.'te gösterilmiştir. Her bir değer için tek tek aktivite değeri gösterilmiştir. Bu sonuçların grafikleri Şekil 5.22.'de verilmiştir.



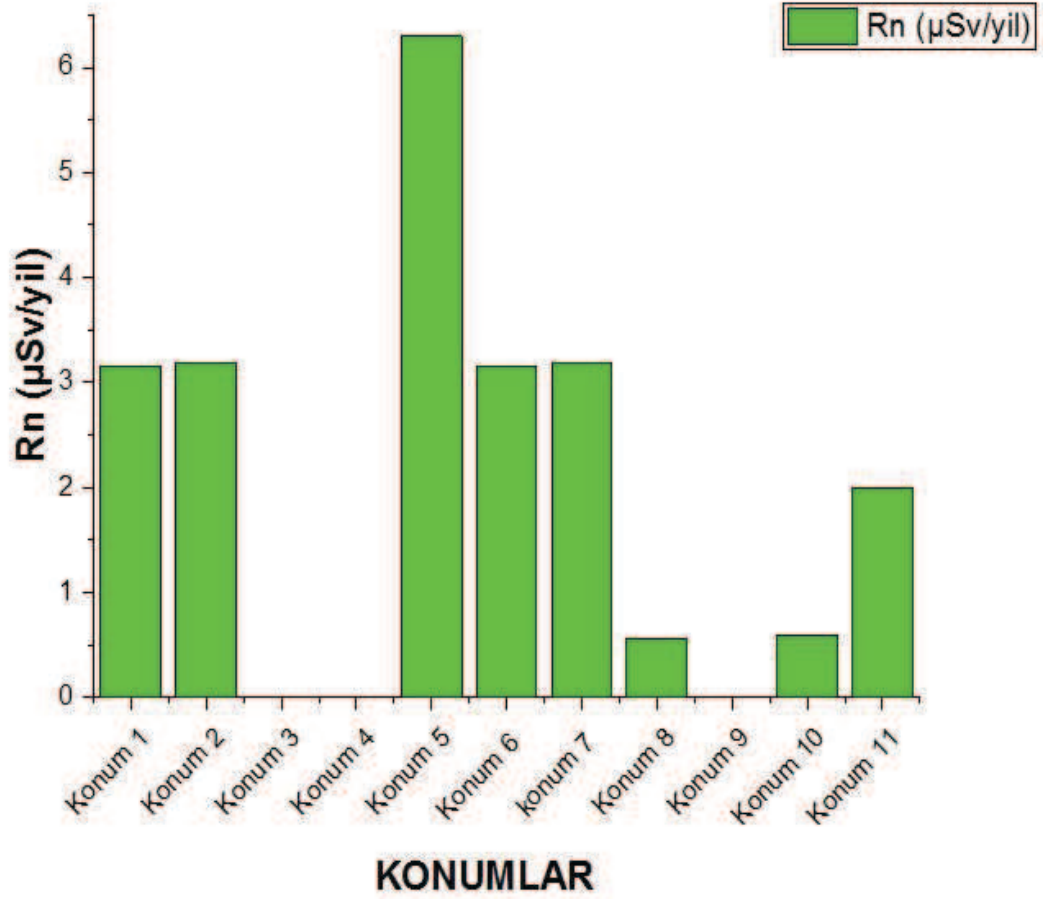
Şekil 5.22. Örencik, sudaki Rn konsantrasyonu

Şekil 5.22.'de Geyve sudaki radon konsantrasyonu en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 0.00 - 5.272 $\mu\text{Sv/yıl}$ aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.6. Doğançay sudaki radon konsantrasyonu

Kaynak	Alınan tarih	Ölçülen tarih	Saat	Geçen süre (saat)	DCF	Rn Bq/L	Rn μ Sv/yıl	SD Bq/L
	05.12.2013							
	Saat							
Konum 1	15.05	13.12.2013	17.12	194.11	4.332	1.806	3.160	0.481
Konum 2	15.08		18.16	195.13	4.365	1.824	3.192	0.482
Konum 3	15.12	16.12.2013	14.27	263.25	7.303	0.00	0.00	0.00
Konum 4	15.20		15.48	264.46	7.370	0.00	0.00	0.00
Konum 5	15.25	17.12.2013	12.43	285.3	8.626	3.597	6.294	0.481
Konum 6	15.32		13.13	285.68	8.651	1.799	3.148	0.415
Konum 7	15.41		14.26	286.75	8.721	1.822	3.188	0.418
Konum 8	15.55		15.05	287.16	8.748	0.323	0.565	0.073
Konum 9	16.00		18.43	290.71	8.986	0.00	0.00	0.00
Konum 10	16.03		20.39	292.6	9.115	0.339	0.593	0.074
Konum 11	16.22	18.12.2013	11.28	307.1	10.170	1.139	1.993	0.142

Doğançay sudaki radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları Tablo 5.6.'da gösterilmiştir. Her bir değer için tek tek aktivite değeri gösterilmiştir. Bu sonuçların grafikleri Şekil 5.23.'te verilmiştir.



Şekil 5.23. Doğançay, sudaki Rn konsantrasyonu

Şekil 5.23.'te Doğançay sudaki radon konsantrasyonu en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 0.00 - 6.294 µSv/yıl aralığında olduğu görülmektedir.

5.1.3. Topraktaki radon gazı konsantrasyonu değerleri

Araştırma bölgelerinin koordinatları rakımları belirlendi. Toplanan örneklerin saati, ölçüm için geçen sürenin hesaplanabilmesi için not edildi.

Tablo 5.7. Geyve toprak örneklerinin toplandığı konumlar

Numara	Konum	Koordinat		Saat	Rakım
1	Geyve 1	40° 30' 52.19"	N	11:01:10	108
		30° 18' 29.52"	E		
2	Geyve 2	40° 30' 51.89"	N	11:06:20	96
		30° 17' 29.33"	E		
3	Geyve 3	40° 30' 51.08"	N	15:15:00	96
		30° 18' 4.18"	E		
4	Geyve 4	40° 30' 30.10"	N	13:55:00	92
		30° 17' 25.51"	E		
5	Geyve 5	40° 30' 34.59"	N	11:21:30	103
		30° 17' 16.10"	E		
6	Geyve 6	40° 30' 37.78"	N	11:17:20	99
		30° 17' 15.80"	E		
7	Geyve 7	40° 28' 24.29"	N	12:35:00	211
		30° 15' 30.00"	E		
8	Geyve 8	40° 28' 9.65"	N	12:30:00	250
		30° 15' 30.90"	E		
9	Geyve 9	40° 29' 43.89"	N	11:59:20	108
		30° 16' 50.07"	E		
10	Geyve 10	40° 29' 53.62"	N	12:48:58	83
		30° 16' 57.56"	E		

Geyve toprak örneklerinin toplandığı konumların koordinatları, toplanma saati ve rakımı Tablo 5.7.'de gösterilmiştir.

Rakımlar arasında çok büyük farklılıklar olmadığı için, alınan örneklerde rakımdan çok, bölgedeki radon yoğunluğu dikkate alındı. Bölge içindeki konumların karşılaştırmalarında bu durum göz önünde bulunduruldu.

Tablo 5.8. Örencik toprak örneklerinin toplandığı konumlar

Numara	Konum	Koordinat		Saat	Rakım
1	Örencik 1	40° 34' 54.26"	N	15:42:10	91
		30° 20' 12.54"	E		
2	Örencik 2	40° 34' 55.16"	N	15:37:00	86
		30° 20' 11.60"	E		
3	Örencik 3	40° 34' 53.21"	N	15:45:00	89
		30° 20' 12.61"	E		
4	Örencik 4	40° 34' 52.77"	N	15:57:00	87
		30° 20' 10.04"	E		
5	Örencik 5	40° 34' 53.24"	N	15:51:00	89
		30° 20' 11.43"	E		
6	Örencik 6	40° 34' 51.59"	N	16:00:00	89
		30° 20' 11.34"	E		
7	Örencik 7	40° 34' 49.79"	N	16:02:00	90
		30° 20' 13.59"	E		
8	Örencik 8	40° 34' 49.60"	N	16:08:00	81
		30° 20' 13.59"	E		
9	Örencik 9	40° 34' 49.33"	N	16:12:00	75
		30° 20' 16.21"	E		

Örencik köyü toprak örneklerinin toplandığı konumların koordinatları, toplanma saati ve rakımı Tablo 5.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.9. Doğançay toprak örneklerinin toplandığı konumlar

Numara	Konum	Koordinat		Saat	Rakım
1	Doğançay 1	40° 37' 30.8"	N	16:19:35	62
		30° 19' 48.6"	E		
2	Doğançay 2	40° 37' 28.5"	N	16:20:35	57
		30° 19' 54.0"	E		
3	Doğançay 3	40° 37' 33.12"	N	16:21:25	62
		30° 20' 02.54"	E		

Tablo 5.9. (Devamı)

4	Doğançay 4	40° 37' 42.0"	N	16:23:00	87
		30° 20' 09.4"	E		
5	Doğançay 5	40° 37' 34.48"	N	16:26:05	68
		30° 20' 11.77"	E		
6	Doğançay 6	40° 37' 33.6"	N	16:32:10	88
		30° 20' 18.0"	E		
7	Doğançay 7	40° 37' 38.48"	N	17:22:15	71
		30° 20' 06.81"	E		
8	Doğançay 8	40° 37' 31.30"	N	16:41:23	63
		30° 20' 16.33"	E		
9	Doğançay 9	40° 37' 39.83"	N	16:55:03	76
		30° 20' 39.83"	E		
10	Doğançay 10	40° 37' 37.64"	N	17:00:00	58
		30° 20' 01.29"	E		
11	Doğançay 11	40° 37' 36.57"	N	17:03:07	56
		30° 20' 05.75"	E		

Doğançay toprak örneklerinin toplandığı konumların koordinatları, toplanma saati ve rakımı Tablo 5.9.'da gösterilmiştir.

Kapalı kutu tekniğiyle 90 gün süreyle bekletilen toprak örneklerindeki Lr-115 dedektörleri, ölçümü alınmak üzere yine iz kazıma işlemine tabi tutulmuşlardır. Dedektörlerin yüzeyi tıpkı, bina içi radon konsantrasyonunda olduğu gibi sayıldı. Geyve, Örencik ve Doğançay bölgelerine ait iz sayısı ölçüm sonuçları tablolar ve grafikler halinde aşağıda verilmiştir.

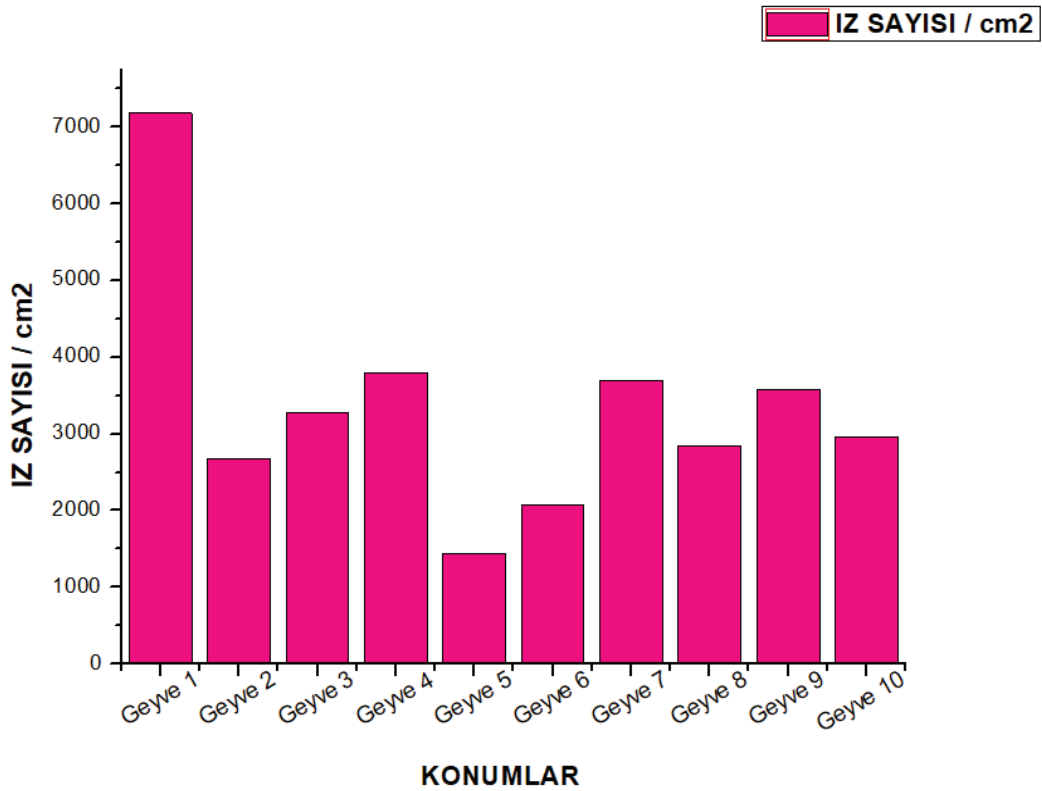
Tablo 5.10. Geyve 17.12.2013 – 17.03.2013 iz sayısı

Numara	Konum	İz sayısı / cm ²
1	Geyve 1	7180
2	Geyve 2	2680
3	Geyve 3	3270
4	Geyve 4	3800

Tablo 5.10. (Devamı)

5	Geyve 5	1440
6	Geyve 6	2070
7	Geyve 7	3700
8	Geyve 8	2850
9	Geyve 9	3580
10	Geyve 10	2960

Geyve toprak örnekleri ölçümü için okunan filmler üzerindeki izlerin ölçüm sonuçları Tablo 5.10.'da gösterilmiştir. Bu sonuçların grafiği Şekil 5.24.'te verilmiştir.



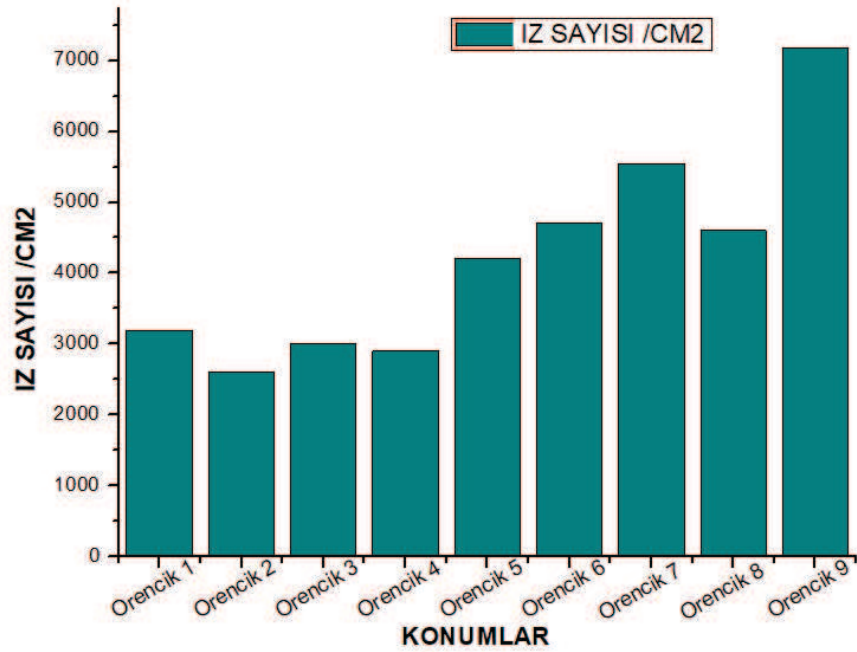
Şekil 5.24. Geyve 17.12.2013 – 17.03.2013 toprak ölçümleri iz sayısı

Şekil 5.24.'te Geyve topraktaki radon gazı konsantrasyonu için ölçülen film üzerine düşen cm^2 'deki iz sayısı en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 1440 - 7180 aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.11. Örencik 17.12.2013 – 17.03.2013 iz sayısı

Numara	Konum	İz sayısı / cm ²
1	Örencik 1	3190
2	Örencik 2	2600
3	Örencik 3	3000
4	Örencik 4	2900
5	Örencik 5	4200
6	Örencik 6	4700
7	Örencik 7	5540
8	Örencik 8	4600
9	Örencik 9	7170

Örencik toprak örnekleri ölçümü için okunan filmler üzerindeki izlerin ölçüm sonuçları Tablo 5.11.'de gösterilmiştir. Bu sonuçların grafiği Şekil 5.25.'te verilmiştir.



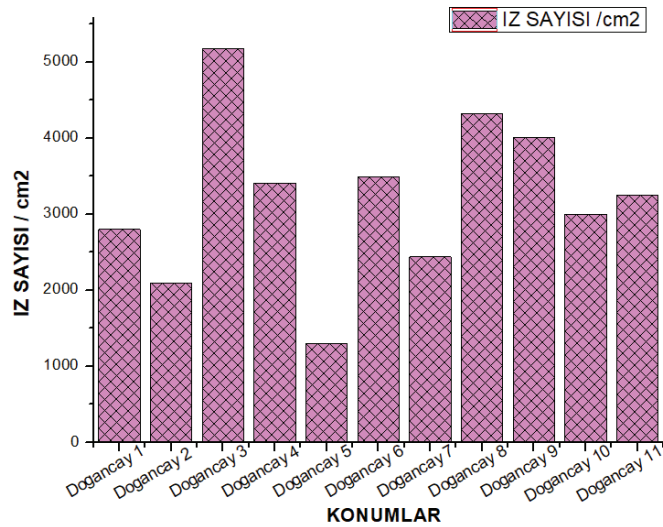
Şekil 5.25. Örencik 17.12.2013 – 17.03.2013 toprak ölçümleri iz sayısı

Şekil 5.25.'te Örencik topraktaki radon gazı konsantrasyonu için ölçülen film üzerine düşen cm^2 'deki iz sayısı en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 2600 – 7170 aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.12. Doğançay 17.12.2013 – 17.03.2013 iz sayısı

Numara	Konum	İz sayısı / cm^2
1	Doğançay 1	2800
2	Doğançay 2	2100
3	Doğançay 3	5170
4	Doğançay 4	3410
5	Doğançay 5	1300
6	Doğançay 6	3490
7	Doğançay 7	2440
8	Doğançay 8	4320
9	Doğançay 9	4010
10	Doğançay 10	3000
11	Doğançay 11	3250

Doğançay toprak örnekleri ölçümü için okunan filmler üzerindeki izlerin ölçüm sonuçları Tablo 5.12.'de gösterilmiştir. Bu sonuçların grafiği Şekil 5.26.'da verilmiştir.



Şekil 5.26. Doğançay 17.12.2013 – 17.03.2013 toprak ölçümleri iz sayısı

Şekil 5.26.'da Doğançay topraktaki radon gazı konsantrasyonu için ölçülen film üzerine düşen cm^2 'deki iz sayısı en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 1300 – 5170 aralığında olduğu görülmektedir.

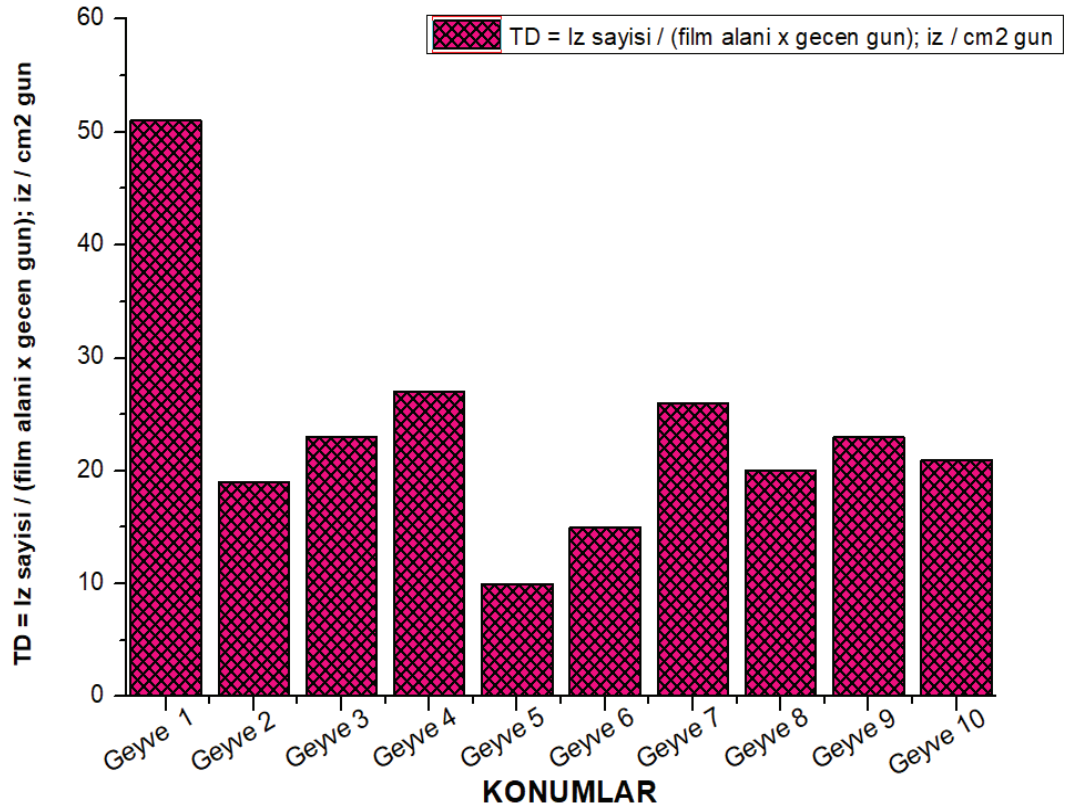
Yukarıdaki verilere göre radonun tesir kesiti aşağıda verildiği şekilde hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \text{TD} &= \text{İz sayısı} / (\text{film alanı} \times \text{geçen gün}) \\ \text{TD} &= \text{İz yoğunluğu} (\text{iz} / \text{cm}^2\text{gün}) \\ \text{Film alanı} &= 1.5625 \text{ cm}^2 \\ \text{Geçen gün} &= 90 \end{aligned}$$

Tablo 5.13. Geyve TD değerleri

Numara	Konum	TD= İz sayısı / (film alanı x geçen gün) ; iz / $\text{cm}^2\text{gün}$
1	Geyve 1	51
2	Geyve 2	19
3	Geyve 3	23
4	Geyve 4	27
5	Geyve 5	10
6	Geyve 6	15
7	Geyve 7	26
8	Geyve 8	20
9	Geyve 9	23
10	Geyve 10	21

Geyve toprak örnekleri ölçümü için okunan filmler üzerindeki izlerin tek tek hesaplanan tesir kesiti değeri (TD) ölçüm sonuçları Tablo 5.13.'te gösterilmiştir. Bu sonuçların grafiği Şekil 5.27.'de verilmiştir.



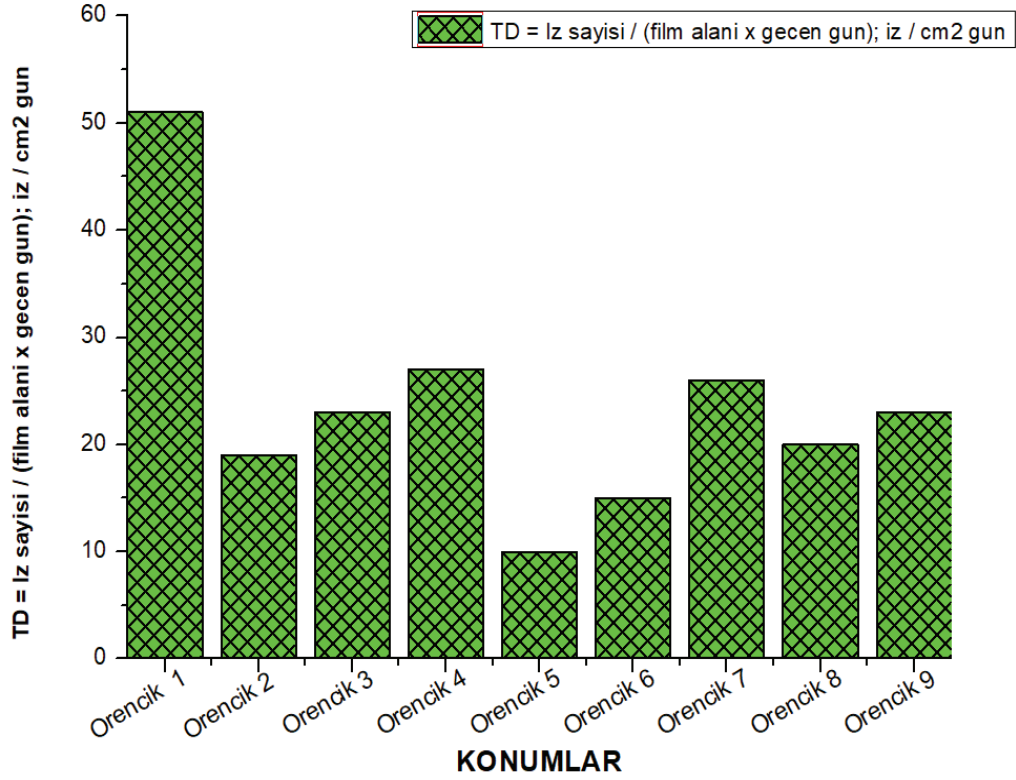
Şekil 5.27. Geyve toprak ölçümleri TD değerleri

Şekil 5.27.'de Geyve topraktaki radon gazı TD değeri en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 10 – 51 aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.14. Örencik TD değerleri

Numara	Konum	TD= İz sayısı / (film alanı x geçen gün) ; İz / cm ² gün
1	Örencik 1	23
2	Örencik 2	18
3	Örencik 3	21
4	Örencik 4	21
5	Örencik 5	30
6	Örencik 6	33
7	Örencik 7	39
8	Örencik 8	33
9	Örencik 9	51

Örencik toprak örnekleri ölçümü için okunan filmler üzerindeki izlerin tek tek hesaplanan tesir kesiti değeri (TD) ölçüm sonuçları Tablo 5.14.'te gösterilmiştir. Bu sonuçların grafiği Şekil 5.28.'de verilmiştir.



Şekil 5.28. Örencik toprak ölçümleri TD değerleri

Şekil 5.28.'de Geyve topraktaki radon gazı TD değeri en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 18 – 51 aralığında olduğu görülmektedir.

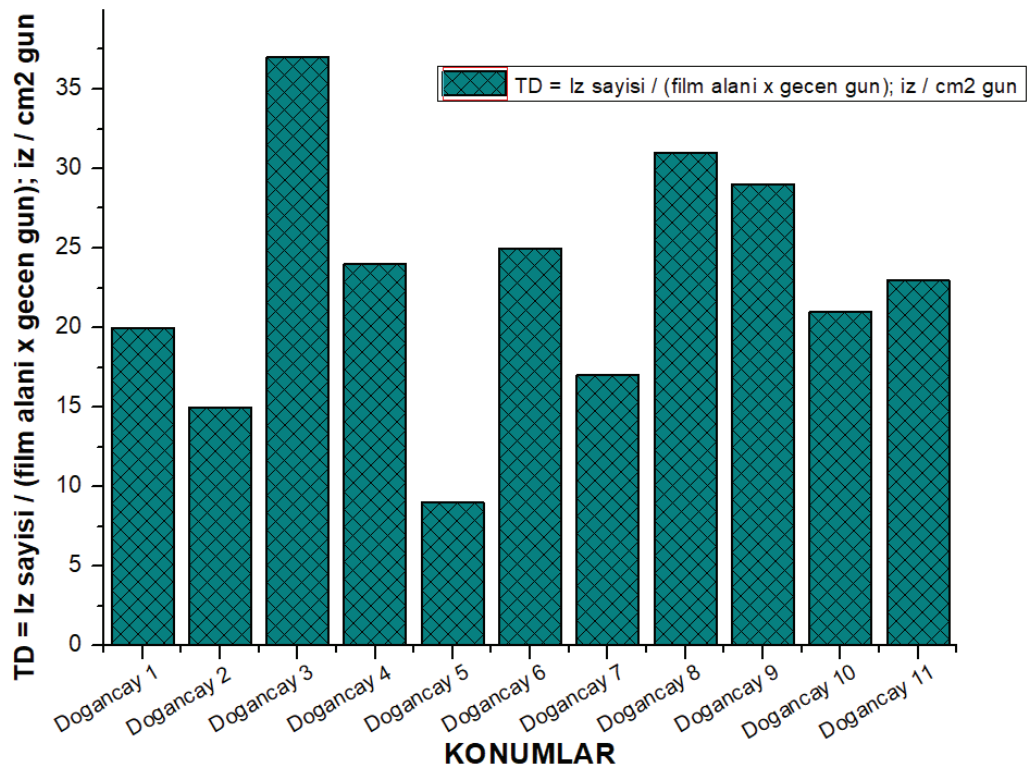
Tablo 5.15. Doğançay TD değerleri

Numara	Konum	TD= İz sayısı / (film alanı x geçen gün) ; iz / cm ² gün
1	Doğançay 1	20
2	Doğançay 2	15
3	Doğançay 3	37
4	Doğançay 4	24

Tablo 5.15. (Devamı)

5	Doğançay 5	9
6	Doğançay 6	25
7	Doğançay 7	17
8	Doğançay 8	31
9	Doğançay 9	29
10	Doğançay 10	21
11	Doğançay 11	23

Doğançay toprak örnekleri ölçümü için okunan filmler üzerindeki izlerin tek tek hesaplanan tesir kesiti değeri (TD) ölçüm sonuçları Tablo 5.15.'te gösterilmiştir. Bu sonuçların grafiği Şekil 5.29.'da verilmiştir.



Şekil 5.29. Doğançay toprak ölçümleri TD değerleri

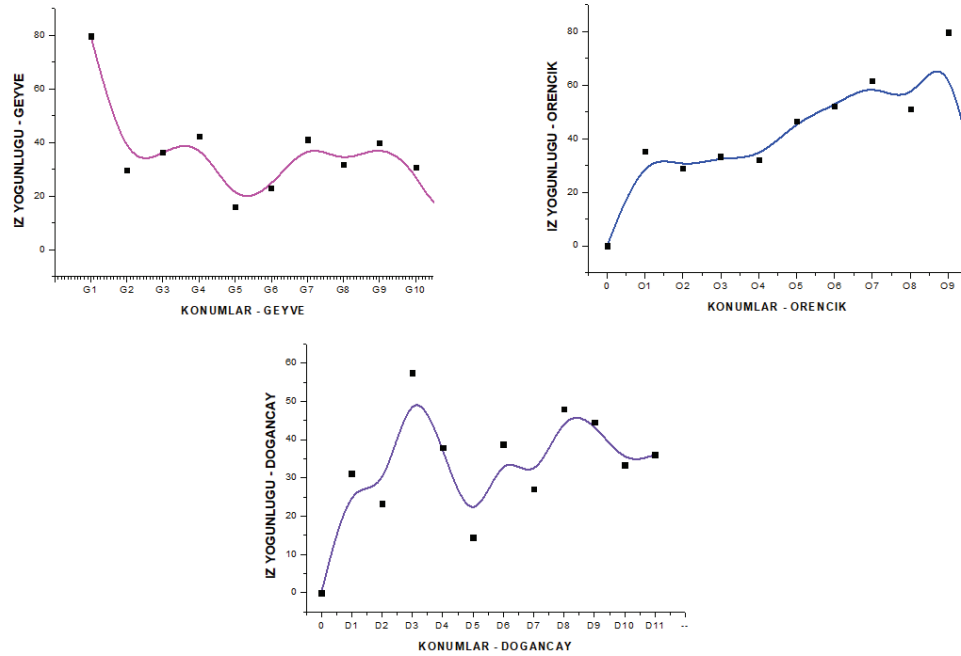
Şekil 5.29.'da Doğançay topraktaki radon gazı TD değeri en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 9 – 37 aralığında olduğu görülmektedir.

Belirlenen iz sayıları; etkin radyum içerikleri, kütle ve yüzey yayılım hızlarını belirlemek amacıyla (4.2.), (4.4.) ve (4.5.) denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler tablo 5.16.'da görülmektedir.

Tablo 5.16. Geyve, Örencik, Doğançay Rn ve Ra aktivite, Etkin Ra içeriğinin, kütle (Bq/kg.gün) ve yüzey (Bq/m²gün)Rn yayılım hızlarının ölçülen değerleri

No	İz sayısı	İz yoğunluğu (iz/cm ² gün)	Rn Aktivite (Bq/m ³)	Ra Aktivite (Bq/m ³)	Etkin Ra (Bq/m ³)	Etkin Ra (can met) (Bq/kg)	E _M radon kütle yayılımı	E _A radon yüzey yayılımı	Alfa indeksi
G 1	7180	79,78	2393,33	2393,33	2549,48	9,97	0,10	2,08	0,05
G 2	2680	29,78	893,33	893,33	951,62	3,72	0,04	0,78	0,02
G 3	3270	36,33	1090,00	1090,00	1161,12	4,54	0,05	0,95	0,02
G 4	3800	42,22	1266,67	1266,67	1349,31	5,28	0,05	1,10	0,03
G 5	1440	16,00	480	480	511,32	2,00	0,02	0,42	0,01
G 6	2070	23,00	690,00	690,00	735,02	2,88	0,03	0,60	0,01
G 7	3700	41,11	1233,33	1233,33	1313,80	5,14	0,05	1,07	0,03
G 8	2850	31,67	950,00	950,00	1011,98	3,96	0,04	0,82	0,02
G 9	3580	39,78	1193,33	1193,33	1271,19	4,97	0,05	1,04	0,02
G10	2960	30,67	920,00	920,00	980,02	3,83	0,04	0,80	0,02
O 1	3190	35,44	1063,33	1063,33	1132,71	4,43	0,05	0,92	0,02
O 2	2600	28,89	866,67	866,67	923,21	3,61	0,04	0,75	0,02
O 3	3000	33,33	1000,00	1000,00	1065,24	4,17	0,04	0,87	0,02
O 4	2900	32,22	966,67	966,67	1029,74	4,03	0,04	0,84	0,02
O 5	4200	46,67	1400,00	1400,00	1491,34	5,83	0,06	1,22	0,03
O 6	4700	52,22	1566,67	1566,67	1668,88	6,53	0,07	1,36	0,03
O 7	5540	61,56	1846,67	1846,67	1967,15	7,69	0,08	1,60	0,04
O 8	4600	51,11	1533,33	1533,33	1633,37	6,39	0,07	1,33	0,03
O 9	7170	79,67	2390,00	2390,00	2545,93	9,96	0,10	2,07	0,05
D 1	2800	31,11	933,33	933,33	994,23	3,89	0,04	0,81	0,02
D 2	2100	23,33	700,00	700,00	745,67	2,92	0,03	0,61	0,01
D 3	5170	57,44	1723,33	1723,33	1835,77	7,18	0,07	1,50	0,04
D 4	3410	37,89	1136,67	1136,67	1210,83	4,74	0,05	0,99	0,02
D 5	1300	14,44	433,33	433,33	461,61	1,81	0,02	0,38	0,01
D 6	3490	38,78	1163,33	1163,33	1239,33	4,85	0,05	1,01	0,02
D 7	2440	27,11	813,33	813,33	866,40	3,39	0,03	0,71	0,02
D 8	4320	48,00	1440,00	1440,00	1533,95	6,00	0,06	1,25	0,03
D 9	4010	44,56	1336,67	1336,67	1423,88	5,57	0,06	1,16	0,03
D10	3000	33,33	1000,00	1000,00	1065,24	4,17	0,04	0,87	0,02
D11	3250	36,11	1083,33	1083,33	1154,01	4,51	0,05	0,94	0,02

Şekil 5.24., şekil 5.25. ve şekil 5.26.'da iz sayısına göre grafikleri verilmişti. 90 gün bekletilen toprak örneklerinin iz yoğunluklarının grafiği ise şekil 5.30.'da verilmiştir.



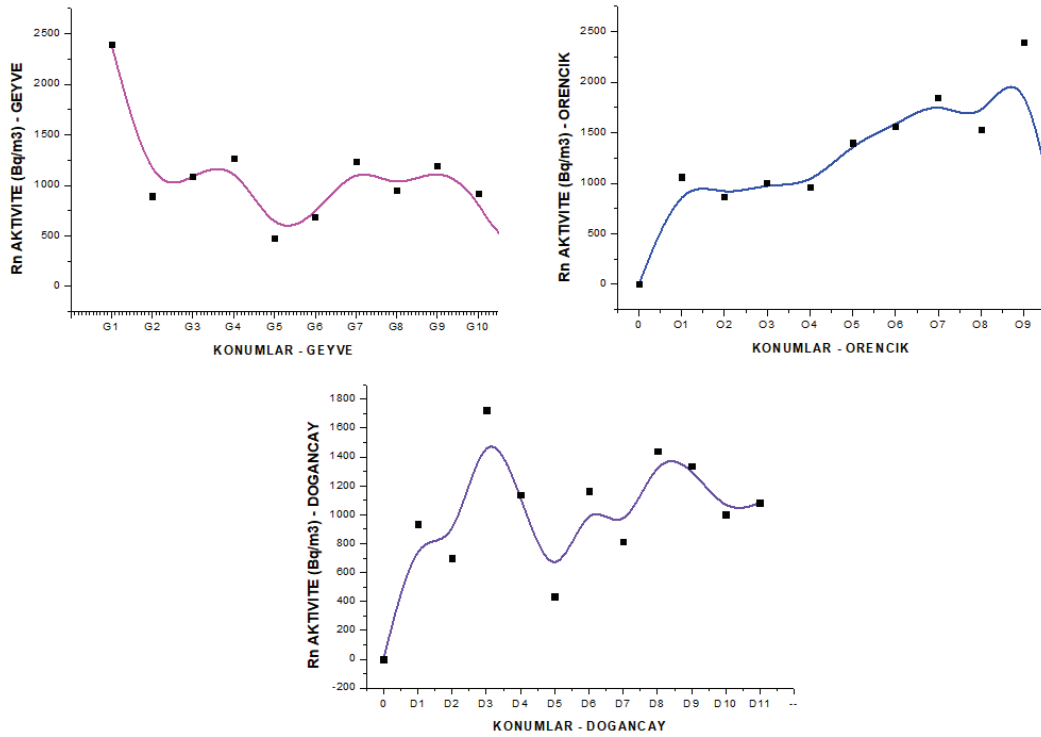
Şekil 5.30. Geyve, Örencik ve Doğançay toprak ölçümleri iz yoğunluğu değerleri

Şekil 5.30.'da Geyve, Örencik ve Doğançay topraktaki radon gazı iz sayısının ölçüm zamanına oranı olan iz yoğunluğu değerleri en görülmektedir.

Geyve iz yoğunluğu max-min değer aralığı $79,78 - 16,00$ iz/cm²gun olarak değişirken ortalama değeri $37,25$ iz/cm²gun olarak hesaplanmıştır.

Örencik iz yoğunluğu max-min değer aralığı $79,67 - 28,89$ iz/cm²gun olarak değişirken ortalama değeri $46,79$ iz/cm²gun olarak hesaplanmıştır.

Doğançay iz yoğunluğu max-min değer aralığı $57,44 - 14,44$ iz/cm²gun olarak değişirken ortalama değeri $35,65$ iz/cm²gun olarak hesaplanmıştır.



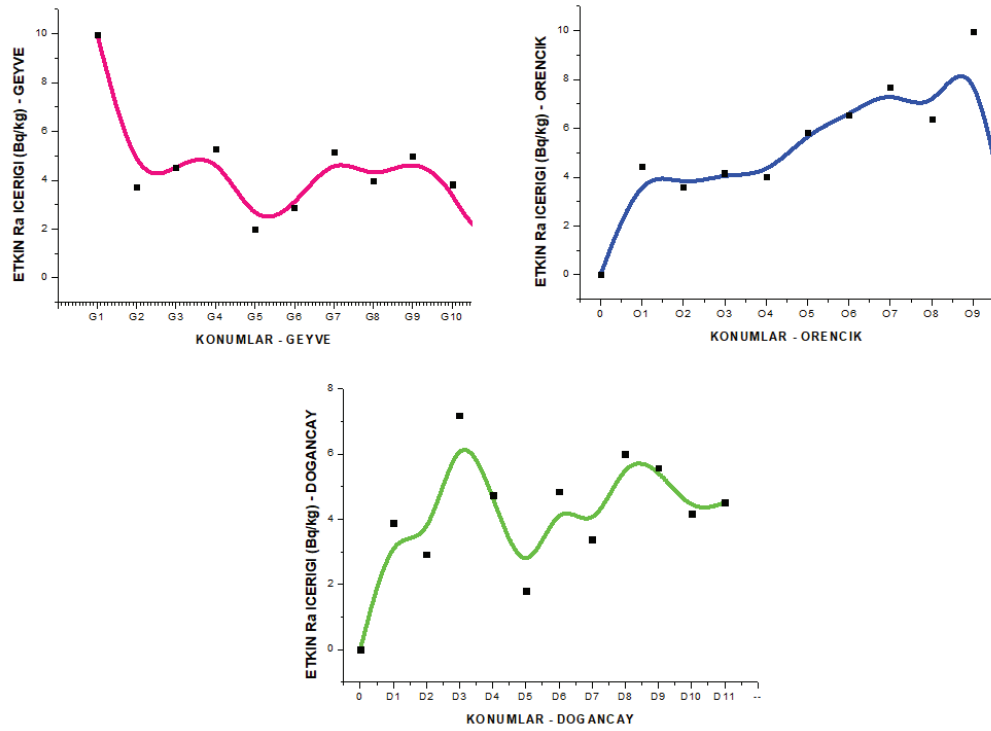
Şekil 5.31. Geyve, Örencik ve Doğançay toprak ölçümleri Rn aktivitesi değerleri

Bu sonuçların grafiği Şekil 5.31.'de verilmiştir. Şekil 5.31.'de Örencik topraktaki radon gazı aktivite değeri en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla $363 - 1000 \text{ Bq/m}^3$ aralığında olduğu görülmektedir.

Geyve Rn aktivitesi max-min değer aralığı $2393,33 - 480,00 \text{ Bq/m}^3$ olarak değişirken ortalama değeri $1117,67 \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Örencik Rn aktivitesi max-min değer aralığı $2390,00 - 866,67 \text{ Bq/m}^3$ olarak değişirken ortalama değeri $1403,70 \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Doğançay Rn aktivitesi max-min değer aralığı $1723,33 - 433,33 \text{ Bq/m}^3$ olarak değişirken ortalama değeri $1069,39 \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

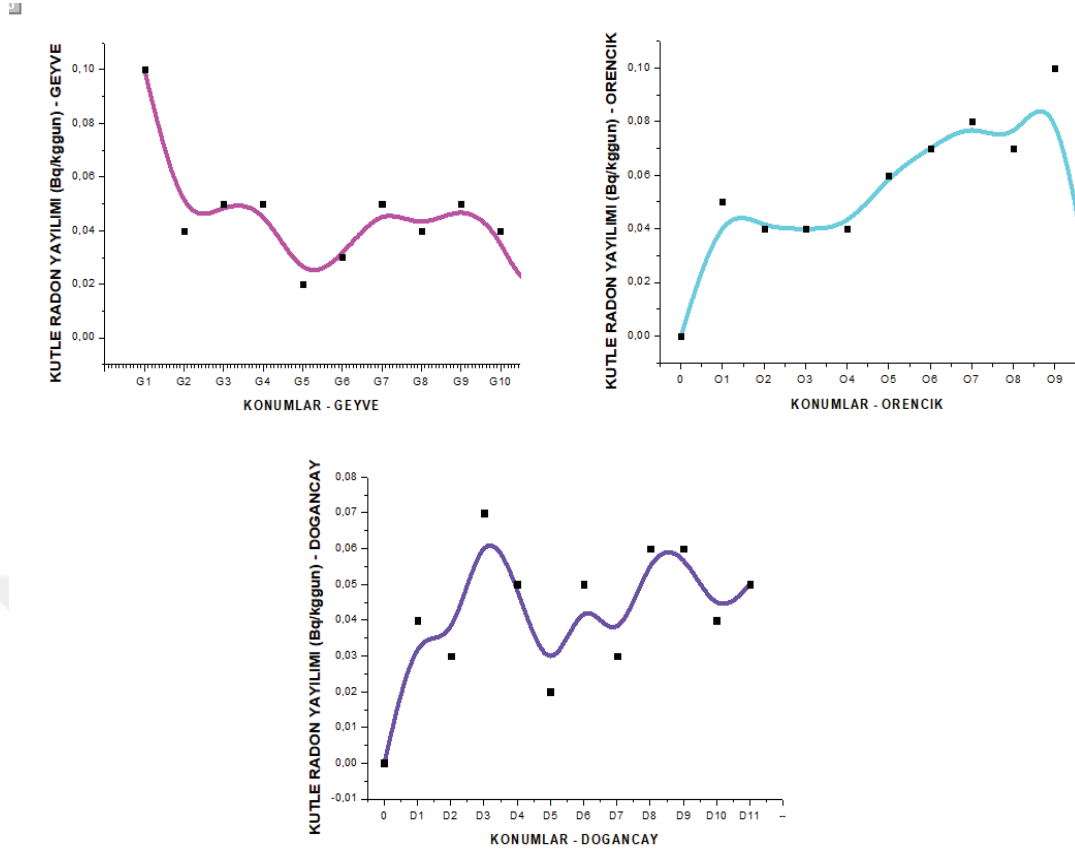


Şekil 5.32. Geyve, Örencik ve Doğançay toprak ölçümleri etkin Ra içeriği değerleri

Şekil 5.32.'de Geyve etkin Ra içeriği max-min değer aralığı 9,97 – 2,00 Bq/kg olarak değişirken ortalama değeri 1117,67 Bq/ kg olarak hesaplanmıştır.

Örencik etkin Ra içeriği max-min değer aralığı 9,96 – 3,61 Bq/ kg olarak değişirken ortalama değeri 5,85 Bq/ kg olarak hesaplanmıştır.

Doğançay etkin Ra içeriği max-min değer aralığı 7,18 – 1,81 Bq/ kg olarak değişirken ortalama değeri 4,46 Bq/ kg olarak hesaplanmıştır.

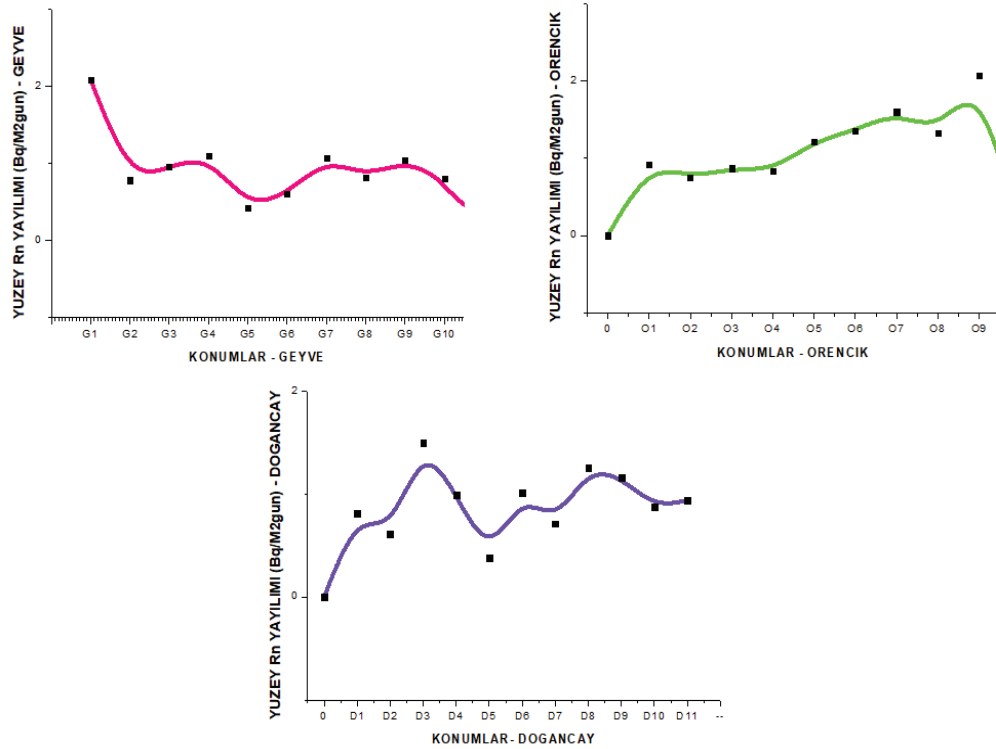


Şekil 5.33. Geyve, Örencik ve Doğançay toprak ölçümleri kütle Rn yayılımı (Bq/kg.gün) değerleri

Şekil 5.33.'te Geyve kütle Rn yayılımı max-min değer aralığı 0,10 – 0,02 Bq/kg.gün olarak değişirken ortalama değeri 0,05 Bq/ kg.gün olarak hesaplanmıştır.

Örencik kütle Rn yayılımı max-min değer aralığı 0,10 – 0,04 Bq/kg.gün olarak değişirken ortalama değeri 0,06 Bq/ kg.gün olarak hesaplanmıştır.

Doğançay kütle Rn yayılımı max-min değer aralığı 0,07 – 0,02 Bq/kg.gün olarak değişirken ortalama değeri 0,05 Bq/ kg.gün olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.34. Geyve, Örencik ve Doğançay toprak ölçümleri yüzey Rn yayılımı ($\text{Bq/m}^2.\text{gün}$) değerleri

Şekil 5.34.'te Geyve yüzey Rn yayılımı max-min değer aralığı $2,08 - 0,42 \text{ Bq/m}^2.\text{gün}$ olarak değişirken ortalama değeri $0,97 \text{ Bq/m}^2.\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır.

Örencik yüzey Rn yayılımı max-min değer aralığı $2,07 - 0,75 \text{ Bq/m}^2.\text{gün}$ olarak değişirken ortalama değeri $1,22 \text{ Bq/m}^2.\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır.

Doğançay yüzey Rn yayılımı max-min değer aralığı $1,50 - 0,38 \text{ Bq/m}^2.\text{gün}$ olarak değişirken ortalama değeri $0,93 \text{ Bq/m}^2.\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır.

5.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

5.2.1. Evler için yıllık etkin doz eşdeğeri

Bu araştırmada yaz için ve kış için ayrı ayrı ölçümler alınmıştır. Bu ölçümlerden yararlanılarak yıllık etkin biyolojik doz yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bunun için

denge eşdeğer konsantrasyonunun (Equilibrium Equivalent Concentration, EEC) bilinmesi gereklidir. Bu değer (Denklem 5.1.) F, denge faktörü değerinden bulunabilir

$$F = (EEC)/(Ortalama Radon Konsantrasyonu) \quad (5.1.)$$

Denge faktörü ev içi ışınlamalar için 0,4 olarak verilmektedir. Etkin doza çevirme katsayısı ise 1 Bqsaat/m³ (EEC) denge eşdeğer radon yoğunluğunun solunması ile alınan etkin doz 9 nSv olarak belirlenmiştir. Evde zaman geçirme faktörü ise evde geçirilen zamanın %80 olduğu düşünülerek 0,8 olarak alınmaktadır. Buna göre evde geçirilen süre yılda 7000 saat olmaktadır (Kapdan, 2009; Durrani, 1997a).

Ortalama radon yoğunluklarından yıllık etkin doz eşdeğeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$Y.E.D.E. = (EEC) \times (Etkin Doza Çevirme Katsayısı) \times (Binada geçirilen Süre) \quad (5.2.)$$

Aşağıdaki tablolarda sırasıyla Geyve, Örencik ve Doğançay bölgelerindeki hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmektedir.

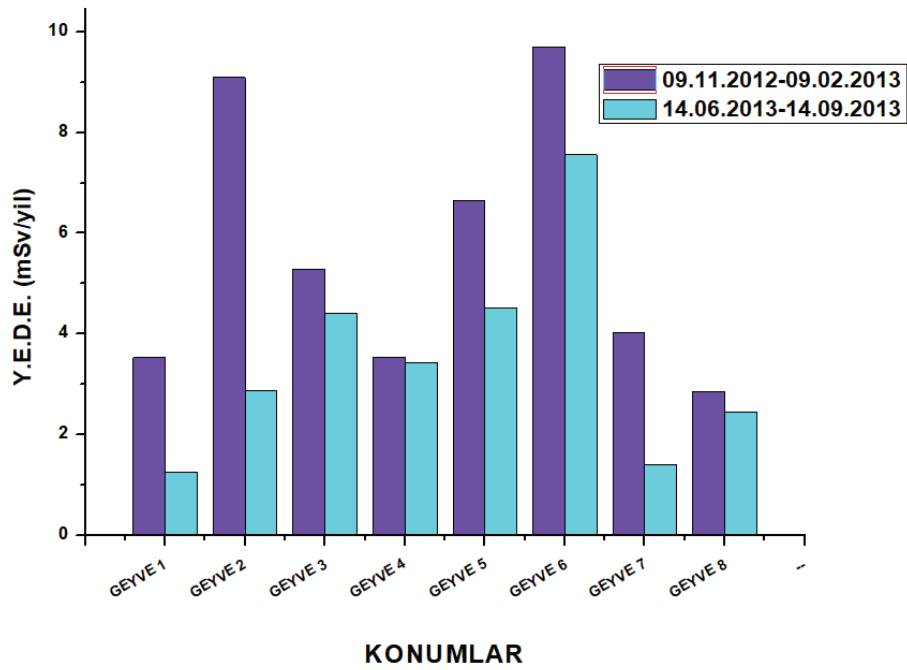
Tablo 5.17. Geyve kapalı ortam radon konsantrasyonu için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Konum	Koordinat	Aktivite		Y.E.D.E. (mSv/yıl)	
			09.11.2012	14.06.2013	09.11.2012	14.06.2013
			09.02.2013	14.09.2013	09.02.2013	14.09.2013
1	Geyve 1	40° 30' 37.1"	140	50	3,53	1,26
		30° 17' 24.1"				
2	Geyve 2	40° 30' 39.9"	361	114	9,09	2,87
		30° 17' 20.3"				
3	Geyve 3	40° 30' 38.8"	210	175	5,29	4,41
		30° 17' 22.8"				
4	Geyve 4	40° 28' 24.29"	140	136	3,53	3,43
		30° 15' 30.90"				

Tablo 5.17. (Devamı)

5	Geyve 5	40° 31' 00.1"	N	264	179	6,65	4,51
		30° 18' 10.4"	E				
6	Geyve 6	40° 31' 13.0"	N	385	300	9,70	7,56
		30° 17' 44.1"	E				
7	Geyve 7	40° 30' 11.4"	N	160	56	4,03	1,41
		30° 17' 48.1"	E				
8	Geyve 8	40° 30' 26.8"	N	113	97	2,85	2,44
		30° 17' 11.4"	E				

Geyve kapalı ortam radon konsantrasyonu ölçümü için tek tek hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri Tablo 5.17.'de gösterilmiştir. Bu sonuçların grafiği Şekil 5.35.'te verilmiştir.



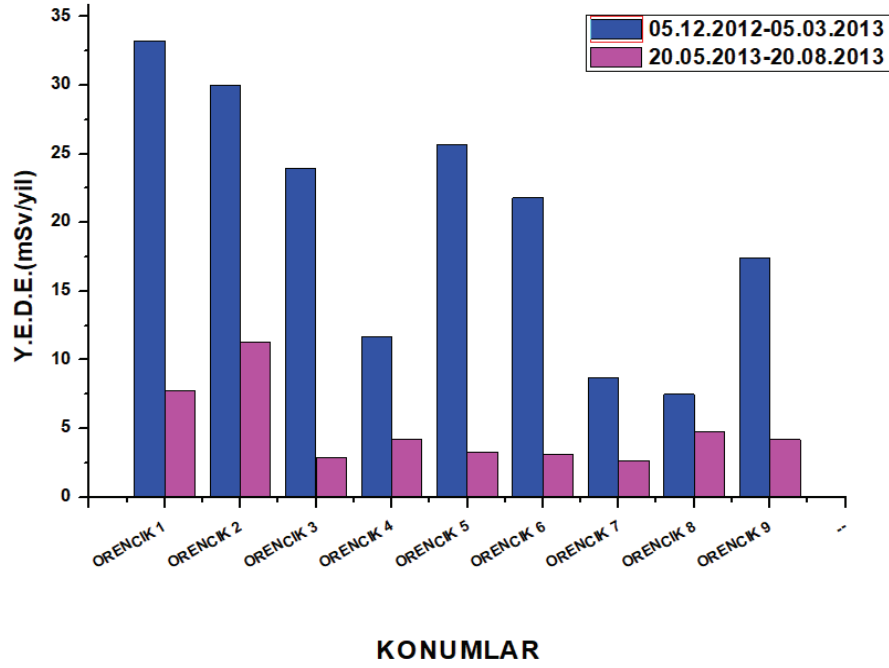
Şekil 5.35. Geyve kapalı ortam Y.E.D.E. değerleri

Şekil 5.35.'te Geyve kapalı ortam yıllık etkin doz eşdeğeri en düşük ve en yüksek değerler yazlık ölçümleri sırasıyla 1.26 – 7.56 mSv/yıl, kışlık ölçümleri sırasıyla 2.85 – 9.70 mSv/yıl aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.18. Örencik köyü kapalı ortam radon konsantrasyonu için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Konum	Koordinat		Aktivite		Y.E.D.E. (mSv/yıl)	
				05.12.2012	20.05.2013	05.12.2012	20.05.2013
				05.03.2013	20.08.2013	05.03.2013	20.08.2013
1	Örencik 1	40° 34' 54, 26''	N	1319	307	33,23	7,74
		30° 20' 12, 54''	E				
2	Örencik 2	40° 34' 55, 16''	N	1190	447	29,98	11,26
		30° 20' 11, 60''	E				
3	Örencik 3	40° 34' 53, 21''	N	951	114	23,96	2,87
		30° 20' 12, 61''	E				
4	Örencik 4	40° 34' 52, 77''	N	465	166	11,72	4,18
		30° 20' 10, 04''	E				
5	Örencik 5	40° 34' 53, 24''	N	1018	130	25,65	3,27
		30° 20' 11, 43''	E				
6	Örencik 6	40° 34' 51, 59''	N	865	123	21,79	3,10
		30° 20' 11, 34''	E				
7	Örencik 7	40° 34' 49, 79''	N	346	105	8,72	2,65
		30° 20' 13, 59''	E				
8	Örencik 8	40° 34' 49, 60''	N	297	188	7,48	4,74
		30° 20' 13, 59''	E				
9	Örencik 9	40° 34' 49, 33''	N	692	166	17,44	4,18
		30° 20' 16, 21''	E				

Örencik kapalı ortam radon konsantrasyonu ölçümü için tek tek hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri Tablo 5.18.'de gösterilmiştir. Bu sonuçların grafiği Şekil 5.36.'da verilmiştir.



Şekil 5.36. Örencik kapalı ortam Y.E.D.E. değerleri

Şekil 5.36.'da Örencik kapalı ortam yıllık etkin doz eşdeğeri en düşük ve en yüksek değerler yazlık ölçümleri sırasıyla 2.65 – 11.26 mSv/yıl, kışlık ölçümleri sırasıyla 7.48 – 33.23mSv/yıl aralığında olduğu görülmektedir.

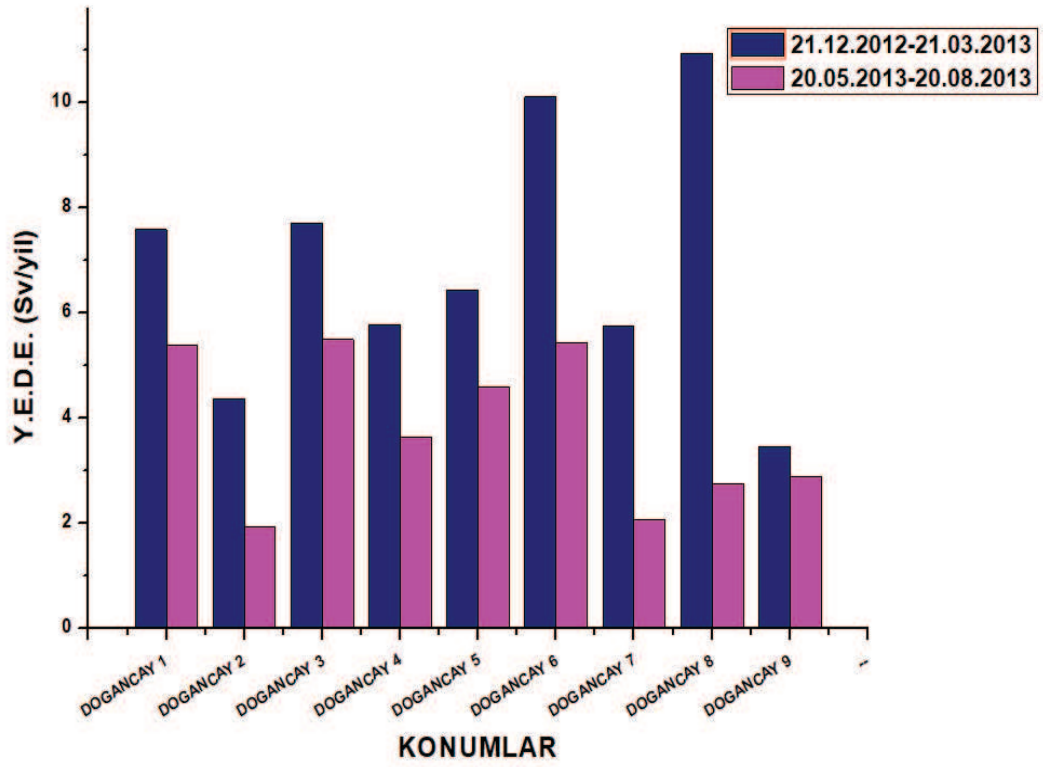
Tablo 5.19. Doğançay kapalı ortam radon konsantrasyonu için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Konum	Koordinat	Aktivite		Y.E.D.E. (mSv/yıl)	
			21.12.2012	20.05.2013	21.12.2012	20.05.2013
			21.03.2013	20.08.2013	21.03.2013	20.08.2013
1	Doğançay 1	40° 37' 34.8" N 30° 20' 03.9" E	301	214	7,58	5,39
2	Doğançay 2	40° 37' 28.5" N 30° 19' 54.0" E	173	76	4,36	1,92
3	Doğançay 3	40° 37' 42.0" N 30° 20' 09.4" E	306	218	7,71	5,49
4	Doğançay 4	40° 37' 41.8" N 30° 20' 09.7" E	229	144	5,77	3,63

Tablo 5.19. (Devamı)

5	Doğançay 5	40° 37' 38.1"	N	255	182	6,43	4,59
		30° 20' 00.8"	E				
6	Doğançay 6	40° 37' 41.9"	N	401	215	10,10	5,42
		30° 20' 04.8"	E				
7	Doğançay 7	40° 37' 35.0"	N	228	82	5,75	2,06
		30° 20' 11.0"	E				
8	Doğançay 8	40° 37' 30.8"	N	434	109	10,93	2,75
		30° 19' 48.6"	E				
9	Doğançay 9	40° 37' 33.6"	N	137	115	3,45	2,89
		30° 20' 18.0"	E				

Doğançay kapalı ortam radon konsantrasyonu ölçümü için tek tek hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri Tablo 5.19.'da gösterilmiştir. Bu sonuçların grafiği Şekil 5.37.'de verilmiştir.



Şekil 5.37. Doğançay kapalı ortam Y.E.D.E. değerleri

Şekil 5.37.'de Örencik kapalı ortam yıllık etkin doz eşdeğeri en düşük ve en yüksek değerler yazlık ölçümleri sırasıyla 1.92 – 5.49 mSv/yıl, kışlık ölçümleri sırasıyla 3.45 – 10.93 mSv/yıl aralığında olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE TARTIŞMA

İnsanlar yaşamlarının büyük bir kısmını kapalı ortamlarda geçirir. Konutlar, bu mekanların içinde en çok vakit geçirilen kapalı mekanlar olması sebebiyle insan sağlığı açısından önemli bir yere sahiptir. Yetersiz konut koşullarının sağlık üzerindeki olumsuz etkileri 150 yıldan fazla bir süredir bilinmektedir. Ortam koşullarını havalandırma koşulları, bina yalıtım özellikleri, bina yapı malzemeleri gibi birçok çeşitli etken belirlemektedir. İnsanların maruz kaldığı doğal radyasyonun en büyük değeri radon gazından kaynaklanmaktadır. Toprak yapısındaki granit alışımdan dolayı, radon konsantrasyonu bölgeden bölgeye farklılıklar göstermektedir.

Evler için radon konsantrasyon değerleri olarak , ICRP ve Avrupa Birliği tarafından 400 Bq/m³, dünya sağlık Örgütü (WHO) tarafından 100 Bq/m³ değeri üst sınır olarak belirlenmiştir. Türkiye’de bu değer Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’ne göre evlerde 400 Bq/m³ iş yerlerinde 1000 Bq/m³ olarak belirlenmiştir (TAEK, 2000).

6.1. Evlerde Ölçülen Radon Konsantrasyonunun Değerlendirilmesi

6.1.1. Geyve

Tablo 5.1.’e bakıldığında yazlık ve kışlık aktivite yoğunlukları farkları açıkça görülmektedir. Tabloya göre en yüksek aktivite yoğunluğunun kış döneminde konum Geyve 6’da 385 Bq/m³ olarak gözlenmiştir ve bu fark kapalı ortamlar için belirlenen sınır değer altında olduğundan bir sorun teşkil etmemektedir.

Bölgeyi kendi içinde değerlendirdiğimizde yazlık ve kışlık farkların açıkça görüldüğü tabloyu göz önünde bulundurduğumuzda en yüksek değer konum Geyve

6'da 385 Bq/m^3 ve en düşük aktivite yoğunluğunun konum Geyve 8'de 113 Bq/m^3 olduğu görülürken yaz döneminde en yüksek değerin yine konum Geyve 6'da 300 Bq/m^3 ve en düşük değerin ise konum Geyve 1'de 50 Bq/m^3 olduğu görülmektedir. Ancak bu yazlık ve kışlık ölçüm sonuçları aynı konuta ait olmadığı görülmektedir. Örneğin kışlık ölçümde en yüksek ölçümün gözlemlendiği konum Geyve 6'da yazlık ölçümde de en yüksek ölçüm elde edilmiştir. Ancak kışlık ölçümde en düşük ölçümün gözlemlendiği konum Geyve 8'de yazlık ölçümde en düşük ölçüm elde edilmemiştir. Konum Geyve 8'de yazlık ölçümde 97 Bq/m^3 olduğu gözlenirken, en düşük değerin görüldüğü konum Geyve 1'de kışlık ölçümde 140 Bq/m^3 olduğu gözlenmiştir. Bu farklılığın nedeni ilk olarak konumlardaki havalandırma farklarından kaynaklanabileceğini düşündürse de başka ihtimalleri göz önünde bulundurmak amacıyla konum sahipleri tarafından elde edilen konum bilgilerine göre de bir kıyaslama yapıp daha genel bir karara varılmak istenmiştir. Bu nedenle konumlar arasındaki farklar incelenmiştir. Bina yapı malzemelerine bakıldığında bir fark gözlenmemiştir. Tüm konumlar beton taban, beton tavan ve tuğla duvar yapısına sahiptirler. Bu durumda fark teşkil eden ısıtma sistemi, sigara içme durumu, pencerelerin ısı yalıtımı ve bina yaşı durumları incelenmiştir.

Isıtma sistemine göre incelendiğinde Şekil 5.3.'te görüldüğü gibi doğalgaz ısıtma sistemine sahip olan konutlar kömür sistemine göre daha düşük aktivite yoğunluğuna sahiptir. Kömür sobası ile ısınan konumlardan kışlık ölçümde en yüksek aktivite değeri konum Geyve 6'da 385 Bq/m^3 olarak ölçülürken, doğalgaz sisteminde en yüksek aktivite değeri konum Geyve 3'te 210 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Sigara içilmesi durumuna göre incelendiğinde Şekil 5.4.'te de görüldüğü gibi aktivite arttırma durumu gözlenmemiştir. Pencerelerin ısı yalıtımı dikkate alındığında Şekil 5.5.'te görüldüğü gibi yine aktivite arttırma durumu gözlenmemiştir. Bina yaşı dikkate alındığında şekil 5.6.'da ki gibi bir sonuç elde edilmiştir.

Geyve kapalı ortam radon konsantrasyonu ölçümlerini genel olarak değerlendirirsek, tablo verileri ve şekiller göz önüne alındığında yazlık kışlık ölçümlerin farklarının daha çok konutların havalandırılmalarına bağlı olduğu söylenebilir. Konutların havalandırılması durumu şekil 5.4.'te sigara içilmesi durumuna göre aktivite

değerlerinin yüksek çıkması beklenen konumların aktivitelerinin, aksine düşük çıkması durumunu açıklar. Aynı durum bina yaşına göre elde edilmiş Şekil 5.6.'yı da açıklamaktadır. Örneğin en yüksek Geyve kapalı ortam aktivite konsantrasyonuna sahip konum Geyve 8, 2000 yılı sonrası yapılmış bir bina olmasına rağmen daha eski binalardan daha fazla radon konsantrasyonuna sahiptir. Bunun nedeni olarak havalandırma sistemi ve kullanılan kömür sobasının etkisini düşünülmektedir. Şekiller göz önüne alındığında kapalı ortam aktivite yoğunluğunun değişmesindeki en büyük etken olarak konutun havalandırması olduğu ve kömür sobasının yoğunluk artışına etkisi olabileceği görülmüştür.

Bölgenin ortalama değerleri alındığında kış için değerler 221.63 Bq/m^3 olduğu görülürken yazlık ölçümlerin ortalaması 138.375 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin, sınır değerlerin altında olduğundan bir sorun teşkil etmediği gözlenmiştir.

6.1.2. Örencik

Kapalı ortam radon konsantrasyonun gösteren Tablo 5.2. incelendiğinde Örencik köyünün yazlık ve kışlık aktivite değerleri açıkça görülmektedir. Tabloya göre kışlık ölçümde en yüksek değer konum Örencik 1'de 1319 Bq/m^3 , en düşük değer konum Örencik 8'de 297 Bq/m^3 olarak ölçülürken, yazlık ölçümde en yüksek değer konum Örencik 2'de 447 Bq/m^3 ve en düşük değer konum Örencik 7'de 105 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Yine aynı şekilde kışlık en yüksek değerle yazlık en yüksek değer aynı konuma ait değildir. Bu durumun detaylarını incelemek üzere farklı durumlar için şekiller hazırlanmıştır. Bu bölümde onları inceleyeceğiz. Özellikle kışlık ölçüm sonuçlarının TAEK tarafından belirlenen değerlerin çok üzerinde olması bölgede detaylı incelenme yapılmasını gerektirmiştir.

Bölgedeki yüksek aktivite değerlerini bölge içindeki diğer konumlarla farklarını göz önünde bulundurarak incelediğimizde sadece sigara içilme durumu, pencerelerin ısı yalıtımı, bölge içindeki coğrafi konum ve bina yaşı gibi değişkenler incelenmiştir. Bina yapı malzemeleri ve ısıtma şekli kömür sobası olarak her konut için aynı durumdadır. Sigara içilme durumuna göre elde edilen Şekil 5.9. incelendiğinde sigara

içilmeyen konutların aktivite ortalaması, içilen konutların ortalamasına göre daha düşüktür. Bu beklenen bir sonuçtur. Ancak pencerelerin ısı yalıtımına göre elde edilen Şekil 5.10.'a göre, ısı yalıtımı zayıf olan konumların ortalamalarının ısı yalıtımı yüksek olanlara göre daha düşük konsantrasyona sahip olmaları beklenen bir sonuç değildir. Bunun üzerine konutların bölge içindeki konumları incelenmiştir. Buna göre elde edilen Şekil 5.11.'e göre bölge içindeki coğrafi konumun konsantrasyon üzerinde etkisi açıkça görülmektedir. Bölge Maden Tetkik Araştırma Enstitüsü'nün haritasına göre tamamen granit içermektedir ancak Şekil 5.11., bölgenin kendi içinde bile değişik konsantrasyonlara sahip olduğunu göstermektedir. Buna göre bölgenin kuzeyi güneyine göre çok daha fazla radon konsantrasyonuna sahiptir. Hatta coğrafi konumun binaların yapım yılından bile daha etkili olduğu Şekil 5.12.'deki verilere göre net olarak görülmektedir. Şekil 5.12.'ye göre konum Örencik 3 en yeni bina olmasına rağmen daha eski binalardan yüksek konsantrasyona sahiptir. Yine konum Örencik 3 Şekil 5.11.'e göre bölgenin kuzeyinde yer almaktadır. Bu da göstermektedir ki bölge tamamen granit alaşımlı topraktan oluşmasına rağmen, aynı bölge içinde bile konum farklılığı radon konsantrasyonunu etkilemektedir.

Bölgenin ortalama değerleri alındığında kış için değerler 793.67 Bq/m^3 olduğu görülürken yazlık ölçümlerin ortalaması 194.00 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin kışlık sonuçlarının, sınır değerlerin üstünde olduğu, yazlık ölçümlerin ortalamasının ise sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür. Kışlık ölçümlerin sınır değerinin neredeyse iki katı olduğu gözlenmiştir. Ancak yazlık ölçümlerin sonuçlarının sınır değerinin altında olması havalandırma etkisini düşündürmektedir. Ancak yine de yüksek çıkan kışlık ölçümler detaylı araştırma yapılması gerekliliğine itmektedir.

Bölgede yapılan çalışmalar sonucunda düşündürücü veriler elde edilmiştir. Kapalı ortamlar için belirlenen sınır değerlerinden çok yüksek değerler elde edilmiş olması, çalışma başlangıcında alınan bilgilere göre bu bölgede kanser vakasının görülmüş olması ve çalışma boyunca da üç konutta gözlenen kanser vakası bölgedeki radon konsantrasyonunun ciddiyetini göstermektedir. Bu çalışmanın daha sonra onkoloji

derneğiyle ortak bir çalışma yürütülerek, tamamen sağlık üzerine etkilerinin araştırılmasına karar verilmiştir.

6.1.3. Doğançay

Kapalı ortam radon konsantrasyonunu gösteren Tablo 5.3.'teki verilere göre en yüksek aktivite yoğunluğunun kışlık ölçümde Konum Doğançay 8'de 434 Bq/m^3 ve yazlık ölçümde en yüksek değer Konum Doğançay 3'te 218 Bq/m^3 olarak ölçülürken kışlık ölçümde en düşük değer Konum Doğançay 9'da 137 Bq/m^3 ve yazlık ölçümde en düşük değer Konum Doğançay 2'de 76 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. En yüksek değer sınır değerinin biraz üstüne çıkmış olsa da bölgenin geneline bakıldığında ortalama olarak sınır değerinin altında olduğu ve yüksek değere sahip olan bölge Konum Doğançay 8'in yazlık ölçüm sonucunun 109 Bq/m^3 olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda bir sorun teşkil etmediği, konumların sağlık geçmişinde kanser durumuyla karşılaşılmamış olmaması da bunu desteklemektedir. Ancak alınan izlerde bölgede büyük izlere rastlanmıştır.

Bölgedeki konutların farklılıkları incelendiğinde bina yapı malzemesi, sigara içilme durumu, pencerelerin ısı yalıtımı ve bina yaşı gibi faktörlere bağlı olarak değişiklikler gözlenmiştir. Bu farkları ele almak için önce bina yapı malzemesi farklılığı incelendi. Şekil 5.15., sadece tavan yapı malzemesinin farklılığını göstermektedir. Şekil 5.16. ise sadece taban yapı malzemesine göre farklılıkları göstermektedir. Şekil 5.17. ise taban-tavan-duvar yapı malzemelerine göre farklılıkları göstermektedir. Bu üç şekil birlikte alındığında tavan yapı malzemesinden çok taban yapı malzemesinin ahşap olması radyasyon konsantrasyonunun yüksek olmasına neden olarak gösterilebilmektedir. Taban yapı malzemesinin beton yerine ahşap olmasının, duvarların ahşap veya tuğla olmasından daha etkili olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde sigara içilme durumunu gösteren Şekil 5.18., pencerelerin ısı yalıtımını gösteren Şekil 5.19. ve bina yapım yılını gösteren Şekil 5.20. birlikte ele alındığında, sigara içilmediği halde, pencere ısı yalıtımı iyi olmasına rağmen ve 2000 yılı sonrası yapılan konut olmasına rağmen Konum Doğançay 8 kışlık en yüksek değere sahiptir. Bu sonuçlar ışığında bölgenin

granit alaşımlı toprak yapısından kaynaklanan radon gazı konsantrasyonu düşünüldüğünde kışlık sahip olduğu bu yüksek değere konutun tabanının ahşap olması gösterilebilmektedir. Ahşap tabana sahip giriş kat konut olmasından dolayı ve kış mevsiminde evin havalandırılmadığı da göz önünde bulundurulursa ölçülen bu konsantrasyon beklenen bir değerdir. Konsantrasyonun azalmasında havalandırmanın etkisini yine görülmektedir. Kışlık ölçümde bölgenin 434 Bq/m^3 olarak ölçülen en yüksek değeri Konum Doğançay 8'in, yazlık ölçümde 109 Bq/m^3 olarak ölçülmesi bunu açıkça göstermektedir.

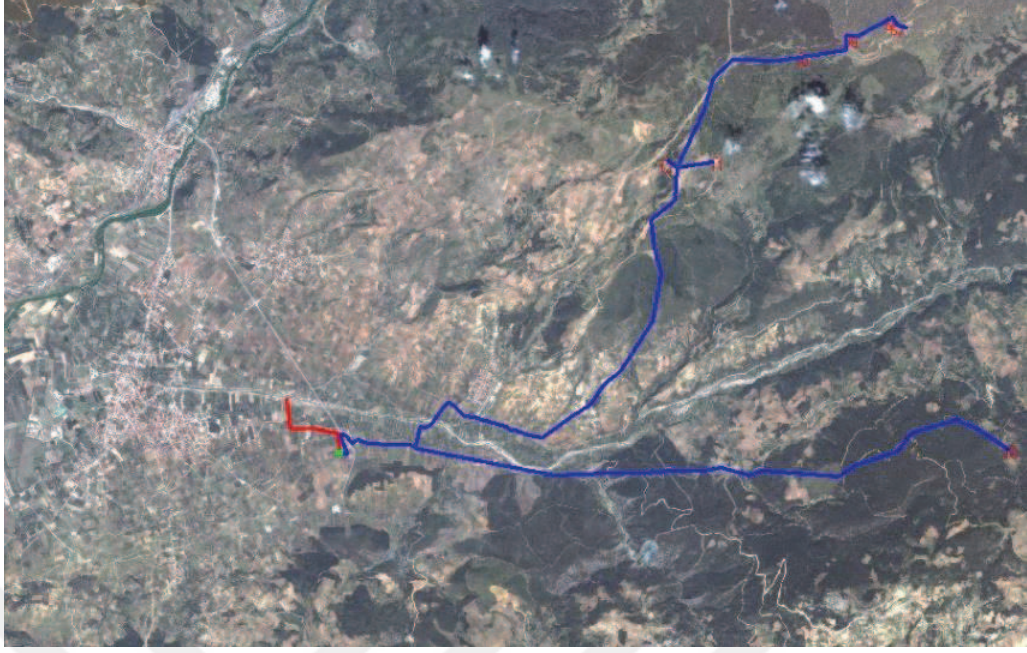
Bölgenin ortalama değerleri alındığında kış için değerler 273.78 Bq/m^3 olduğu görülürken yazlık ölçümlerin ortalaması 150.56 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin, sınır değerlerin altında olduğundan bir sorun teşkil etmediği gözlenmiştir

6.2. İçme Sularındaki Radon Gazı Konsantrasyonunun Değerlendirilmesi

6.2.1. Geyve

Farklı konumlardan alınan içme suyu örnekleri incelendiğinde en yüksek değer Tablo 5.4.'te de görüldüğü gibi 0.841 Bq/L değeriyle Konum Geyve 2 iken en düşük değer Konum Geyve 9'da 0.0743 Bq/L olarak ölçülmüştür. Bölgenin ortalama değeri 1.66 Bq/L olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin USEPA tarafından içme suları Çin belirlenen 11.11 Bq/L değerinden çok düşük olduğu görülmektedir (USEPA, 1991).

Geyve Fen İşleri Daire Başkanlığı'ndan alınan haritaya göre (Şekil 6.1.) kaynaklardan gelen suların depolarda birikmesi ve ilçeye dağıtılması daha sonra gerçekleşmektedir. Kaynakların depoda bekleme süresi dikkate alındığında ölçüm sonuçlarında ki bu düşük sonuçlar beklenmektedir.



Şekil 6.1. Geyve, içme suyunun kaynaklarından ilçeye dağılım yolu

6.2.2. Örencik

Kapalı ortam radon konsantrasyonu çok yüksek olan bu köyden toplanan içme sularının en yüksek değeri Tablo 5.5.'ten de görüldüğü üzere Konum Örencik 1'de 0.800 Bq/L iken en düşük değeri Konum Örencik 2 ve Konum Örencik 9'da 0.00 Bq/L olarak ölçülmüştür. Bölgenin ortalama değeri 0.93 Bq/L olarak belirlenmiştir. Bölgede içme suyu, sondajlama sistemi ve kuyu suyu ile sağlanmasına rağmen değerlerin bu kadar düşük olmasının nedeninin kullanılan filtrelerden kaynaklanabileceği belirlenmiştir.

6.2.3. Doğançay

Kapalı ortam radon konsantrasyonu ölçümlerinde büyük parçacık izlerine rastlanan bölgenin su ölçümlerinde en yüksek değer Tablo 5.6.'da görüldüğü üzere Konum Doğançay 2'de 0.482 Bq/L ve en düşük değer Konum Doğançay 3, Konum Doğançay 4 ve Konum Doğançay 9'da 0.00 Bq/L olarak ölçülmüştür. Bölgenin ortalama değeri 1.15 Bq/L olarak belirlenmiştir. Bu sonuçların düşük çıkmasının nedeninin de kullanılan filtreler olduğu düşünülmektedir.

6.3. Topraktaki Radon Gazı Konsantrasyonunun Değerlendirilmesi

Türkiye’de yapılan çalışmalarda ^{226}Ra yoğunluğunun ortalama değeri 27,6Bq/kg olarak belirlenmiştir (Otansev ve ark).

6.3.1. Geyve

Geyve’den toplanan toprak örneklerinin aktivite değerleri Tablo 5.16.’da gösterilmiştir. Tabloya göre etkin Ra içeriği max-min değer aralığı 9,97- 2,00 Bq/kg olarak değişirken ortalama değeri 1117,67 Bq/ kg olarak hesaplanmıştır. Geyve kütle R_n yayılımı max-min değer aralığı 0,10-0,02 Bq/kg.gün olarak değişirken ortalama değeri 0,05 Bq/ kg.gün olarak hesaplanmıştır. Geyve yüzey R_n yayılımı max-min değer aralığı 2,08-0,42 Bq/m².gün olarak değişirken ortalama değeri 0,97 Bq/ m².gün olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara dayanarak Geyve toprak ölçümlerinin belirlenen üst sınır değerinin altında olduğu gözlenmiştir.

6.3.2. Örencik

Örencik köyünden toplanan toprak örneklerinin aktivite değerleri Tablo 5.16.’da verilmiştir. Tabloya göre etkin Ra içeriği max-min değer aralığı 9,96-3,61 Bq/ kg olarak değişirken ortalama değeri 5,85 Bq/ kg olarak hesaplanmıştır. Örencik kütle R_n yayılımı max-min değer aralığı 0,10-0,04 Bq/kg.gün olarak değişirken ortalama değeri 0,06 Bq/ kg.gün olarak hesaplanmıştır. Örencik yüzey R_n yayılımı max-min değer aralığı 2,07-0,75 Bq/m².gün olarak değişirken ortalama değeri 1,22 Bq/m².gün olarak hesaplanmıştır. Kapalı ortam radon konsantrasyonu oldukça yüksek çıkarken toprak örneklerinin sınır değerler altında kalması nedeni incelendiğinde, köy muhtarıyla yapılan görüşme bilgilerine göre topraktan verim sağlanması amacıyla sonradan arazinin üzerine toprak atılması olarak belirlenmiştir. Örnek olarak alınan toprakların sonradan atılan toprak olması ihtimali yüksektir, yine de altta kalan granit alışımlı topraktan etkilenmiş olabileceği konusu gerçekliğini korumaktadır. Bölgede gerçekleşen kanser vakalarının içinde kolon kanseri olması da bu görüşü güçlendirmektedir. Toprak ürünlerini tükettiklerinden bu kanser türü olasıdır.

6.3.3. Doğançay

Doğançay bölgesinden toplanan toprak örneklerinin aktivite değerleri Tablo 5.16.'da verilmiştir. Tabloya göre etkin Ra içeriği max-min değer aralığı 7,18 – 1,81 Bq/ kg olarak değişirken ortalama değeri 4,46 Bq/ kg olarak hesaplanmıştır. Doğançay kütle Rn yayılımı max-min değer aralığı 0,07 – 0,02 Bq/kg.gün olarak değişirken ortalama değeri 0,05 Bq/ kg.gün olarak hesaplanmıştır. Doğançay yüzey Rn yayılımı max-min değer aralığı 1,50- 0,38 Bq/m².gün olarak değişirken ortalama değeri 0,93 Bq/m².gün olarak hesaplanmıştır. Kapalı ortam radon konsantrasyonları ölçümleri yapılan ağır parçacıklara rastlanan bu bölgede düşük sonuçlar çıkmasının nedeni, Örencik köyünde olduğu gibi sonradan toprak atılması olarak gösterilebilir. Aynı şekilde toplanan topraklar yeterince derinden alınamamış olabilir. Ancak her iki bölgede özellikle gösteriyor ki, toprak ölçümleri için yeteri kadar derine inilememiş olabilir ama bizim ulaşamadığımız topraktaki radon gazı evlerin içine sızabilmekte, kapalı ortam radon konsantrasyonunun yüksek değeri bunu göstermektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında Sakarya ili içerisindeki granit alışımlı yerleşim yerlerindeki radon konsantrasyonu seviyeleri belirlenmiştir. Kapalı ortam radon konsantrasyonlarının özellikle Örencik bölgesi sınır değerlerinin çok üzerinde olduğu,Doğançay bölgesinde çok üst değerlere çıkmasa da ölçümlerde ağır parçacıkların izlerine rastlandığı ve Geyve bölgesinde sadece bir kaç konutun yüksek değerlere sahip olduğu ama yine de sınır değeri aşmadıkları gözlenmiştir. Ölçüm sonuçlarında yazlık ve kışlık ölçüm sonuçlarının farklarının en başlıca nedeninin kapalı mekanların yazın oldukça havalandırılması olduğu açıkça görülmüştür. Bununla beraber yapılan toprak ve su ölçümlerinin düşük çıkması ise sonradan atılan topraktan ve sular için kullanılan filtrelerden kaynaklandığını göstermiştir. Çalışma boyunca özellikle Örencik bölgesinde rastlanan kanser vakaları, ölçüm sonuçlarının da yüksek çıkması sağlık üzerinde ciddi tehlikelere sebep olduğunu düşündürmektedir. Bu çalışmada belirlenen kanser vakalarının daha sonra ki çalışmada Onkoloji Dernekleri ile çalışılarak tamamen sağlık üzerine araştırılması düşünülmüştür.

KAYNAKLAR

- Aakerblom Gustav, German Olga, Soederman Ann – Louise, Stamat Ivan, Venkov Vladimir, 2009: Radon in Dwellings in The Republic of Kalmykia Results From The National Radon Survey 2006 – 2007. Environmental Sciences. Vol. 40, Issue 11.
- Abd-Elzaher, Mohammed, 2013: Measurement of Indoor Radon Concentration and Assessment of Doses in Different Districts of Alexandria City, Egypt. Environmental Geochemistry and Health. Vol. 35, Issue 3. Pages 299 – 309. June 2013.
- Abdallah M. Samer, Habib R. Rima, Nuwaydid Y. Rida, Chatila Malek, Katul Gabriel, 2007: Radon Measurements in Well and Spring Water in Lebanon. Radiation Measurements 42. Pages 298 – 303
- Abo-Elmagd M., Radon exhalation rates corrected for leakage and back diffusion evaluation of radon chambers and radon sources with application to ceramic tile. J. Radiat. Res. Appl. Sci., 7: 390–398, 2014.
- Abu-Jarad F., Fremlin J.H., Bull R., A study of radon emitted from construction materials using plastic α -track detectors. Phys. Med. Biol., 25: 483-694, 1980.
- Ahad, M. A., Rehman, S., Mirza, M. L., 2003: Indoor Radon Levels and Lung Cancer Risk Estimates in Seven Cities of the Bahawalpur Division, Pakistan. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 107, Issue 4, 1 December 2003, Pages 269 – 275. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006400>.
- Ahmad Nisar, Jaafar Mohammad Suhaimi, Alsaffar Mohammad Saad, 2015: Study of Radon Concentration and Toxic Elements in Drinking and Irrigated Water and Its Implications in Sungai Petani, Kedah, Malaysia. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. Vol. 8, Issue 3. Pages 294 – 299.
- Ahmed J.U., Radon in the human environment: assessing the Picture, IAEA Bulletin, 2, s.32-35, 1994. Akkaya Gizem, Kahraman Ayşegül, Koray Abdullah, Kaynak Gökay, 2016: Variation in the Radon Concentrations and Outdoor Gamma Radiation Levels in Relations to Different Geological Formations in the Thermal Regions of Bursa, Turkey. Journal of Radiological Protection. Vol. 36, N 3. 27 June 2016
- Al-Attiyah H.H. Khalid, Kadhim H. Inaam, 2013: Measurement and Study of Radioactive Radon Gas Concentrations in the Selected Samples of River Hilla/Iraq. Journal of Natural Sciences Research. Vol. 3, No.14.

- Al-Awadi, L., Khan, A.R., 2018: Indoor Radon Levels in Schools and Residential Dwellings in Kuwait. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Pages 1-10. 07 June 2018.
- Al-Bataina, B.A., Ismail, A.M., Kullab, M.K., Abumurad, K.M., Mustafa, H., 1997: Radon Measurements in different Types of Natural Waters in Jordan. *Radiation Measurements*. Vol. 28. No. 1-6. Pages 591 – 594.
- Al-Shereideh, S.A., Batania, B.A., Ershaidat, N.M., 2006: Seasonal Variations and Depth Dependence of Soil Radon Concentration Levels in Different Geological Formations in Deir Abu-Said District, Irbid – Jordan. *Radiation Measurements*. Vol. 41, Issue 6. Pages 703 – 707. July 2006.
- Alberigi S., Pecequilo B.R.S., Lobo H.A.S., Campos M.P., 2011: Assessment of Effective Doses From Radon Levels for Tour Guides at Several Galleries of Santana Cave, Southern Brazil, With CR – 39 Detectors: Preliminary Results. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 145, Issue 2-3, 1 May 2011, Pages 252 – 255. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncr054>.
- Alkan Türkan, Karadeniz Özlem, 2014: Indoor ^{222}Rn Levels and Effective Dose Estimation of Academic Staff in İzmir, Turkey. *Biomedical and Environmental Sciences*. Vol. 27, Issue 4, April 2014. Pages 259 – 267. <https://doi.org/10.3967/bes2014.049>.
- Amponsah Paulina, Banoeng – Yakubo Bruce, Andam Aba, Asiedu Daniel, 2008: Soil Radon Concentration Along Fault Systems in Parts of South Eastern Ghana. *Journal of African Earth Sciences*. Vol. 51, Issue 1. Pages 39 – 48. April 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2007.11.004>.
- Amrani, D., 2002: Natural Radioactivity in Algerian Bottled Mineral Waters. *Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry*. Vol 252. No.3 Pages 597 – 600
- Asada T., *Earthquake Prediction Techniques; Their Application in Japan*. Japan University of Tokyo Press, 1982.
- Atakan Y., 2014. *Radyasyon ve Sağlığımız*.
- Atik Seyma, Yetiş Hakan, Denizli Haluk, Evrendilek Fatih, 2016: Monitoring Spatiotemporal Dynamics of Indoor Radon Concentrations in The Built Environment of a University Campus. *Fresenius Environmental Bulletin*. Vol. 25. No 3. Pages 823 – 829.
- Attix, F.H., *Introduction to Radiological Physics and radiation dosimetry*. First edition. Wiley-VCH, Weinheim, 640 p., 1986.
- Ayotte P., Indoor Exposure to ^{222}Rn : A Public Health Perspective, *Health Physics*, 75, 297-302, 1998.
- Baeza A., Navarro E., Roldan C., Ferrero J. L., Juannes D., Corbacho J.A., Guillen F. J., 2003. Indoor Radon Levels in Buildings in the Autonomous Community of Extremadura. Spain. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 103, Issue 3, 1 February 2003, Pages 263 – 268. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006142>

- Barnet Ivan, Pacheroova Petra, 2013: Increased Soil Gas Radon and Indoor Radon Concentrations in Neoproterozoic Olistostromes of the Teplá-Barrandian Unit (Czech Republic). *Environmental Earth Sciences*. Vol. 69, Issue 5. Pages 1601 – 1607. July 2013.
- Battawy, Ammar A., Jaafar, Mohammed Suhaimi, Tawfiq, Nada F., Mustafa, Iskandar Shahrim, Ali, Ammir Hassan, Hussesin, Zakariya Adel, 2013: Indoor Radon Concentration Measurement in Selected Factories in Northern and Central Iraq. *Journal of Environmental and Earth Science*. Vol. 3, No 3. 2013.
- Baykara Oktay, Doğru Mahmut, 2006: Measurements of Radon and Uranium Concentration in Water and Soil Samples From East Anatolian Active Fault Systems (Turkey). *Radiation Measurements*. Vol. 41, Issue 3. Pages 362 – 367. March 2006. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2005.06.016>
- Bingoldag, Nesli, Otansev, Pelin, 2017: Determination of Natural Radiation Levels and Lifetime Cancer Risk in Kırıkkale, Turkey. *International Journal For Chemical Aspects of Nuclear Science and Technology*. Vol. 106, Issue 5. <https://doi.org/10.1515/ract-2017-2781>
- Bohicchio Francesco, Venuti Gloria Campus, Nuccetelli Cristina, Piermattei Silvana, Risica Serena, Tommasino Luigi, Torri Giancarlo, 1996: Results of the representative Italian National Survey on Radon Indoors. *Health Physic*. Vol. 71, November5, 1996.
- Bozkurt, A., Kam, E., 2007: Indoor Radon Measurement in The City of Edirne, Turkey. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 899, Issue 1. <https://doi.org/10.1063/1.2733203>
- Büyüksulu Halim, Ozdemir Banu, Ozdemir Oge Tuba, Gokce Halil, September 2018: Indoor and Tap Water Radon (^{222}Rn) concentration Measurements at Giresun University Campus Areas. *Applied Radiation and Isotopes*. Vol 139. Pages 285 – 291. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2018.05.027>
- Can, Bayram, Kilis ilindeki evlerde radon gazı ölçümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- Canbazoğlu Cumhuri, Doğru Mahmut, Çelebi Nilgün, Kopuz Güner, 2012: Assessment of Natural Radioactivity in Elazığ Region, Eastern Turkey. *Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry*. Vol. 292, Issue 1. Pages 375 – 380. April 2012.
- Castren, O., Voutilainen, A., Winqvist, K., Makelainen, I., 1985: Studies of High Indoor Radon Areas in Finland. *Science of The Total Environment*. Vol. 45. Pages 311 – 318. October 1985.
- Cengiz Bilgici Gülçin, 2017: Natural Radioactivity analysis in Soil Samples of Ardahan Province, Turkey for the Assessment of the Average Effective Dose. *Sakarya University Journal of Science*. Vol 21, Issue 6, Pages 1583 – 1590
- Celik, N., Cevik, U., Celik, A., Kucukomeroglu, B., 2008: *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 99, Issue 8. Pages 1349 – 1354. August 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.04.010>

- Celik, N., Damla, N., Cevik, U., 2010: Gamma Ray Concentrations in Soil and Building Materials in Ordu, Turkey. *Radiation Effects and Defects in Solids*. Vol. 165, Issue 1. Pages 1-10. <https://doi.org/10.1080/10420150903173270>
- Cho, J.S., Ahn, J.K., -Ch Kim, H., Lee, D.W., 2004: Radon concentrations in Groundwater in Busan Measured with a Liquid Scintillation Counter Method. *Journal of Environmental Radioactivity* 75. Pages 105 – 112.
- Choubey, V.M., Ramola, R.C., 1997: Correlation Between Geology and Radon Levels in Groundwater, Soil and Indoor Air in Bhilangana Valley, Garhwal Himalaya, India. *Environmetal Geology*. Vol. 32, Issue 4, Pages 258 – 262. November 1997.
- Chung, W.H., Tokonami, S., 1998: Preliminary Survey on Radon And Thoron Concentrations in Korea. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 80, Issue 4. Pages 432 – 426. December 1998. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a032563>
- Clouvas A., Xanthos S., Antonopoulos – Domis M., 2006. Pilot Study of Indoor in Greek Workplaces. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 124, Issue 2, 1 April 2007, pages 668 – 74. Greece. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncl548>
- Cortina, D., Duran, I., Llerena, J.J., 2008: Measurements of Indoor Radon Concentrations in the Santiago de Compostela Area. *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 99, Issue 10. Pages 1593 – 1588. October 2008.
- Cosma, C., Moldovan, M., Dicu, T., Kovacs, T., 2008: Radon in Water from Transylvania (Romania), *Radiation Measurements*. 43. 1423 – 1428.
- Cosma Constantin, Szacsvai Kinga, Dinu Alexandra, Ciorba Daniela, Dicu Tiberius, Suciu Liviu, 2009: Preliminary Integrated Indoor Radon Measurements in Transylvania, Romania. *Isotopes in Environmental and Health Studies*. Vol. 45, Issue 3, 10 Aug 2009. <https://doi.org/10.1080/10256010902871895>
- Cosma Constantin, Cucos-Dinu Alexandra, Papp Botond, Begy Robert, Sainz Carlos, 2013: Soil and Building Material as Main Sources of Indoor Radon in Băița-Ștei Radon Prone Area (Romania). *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 116, Pages 174 – 179. February 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.09.006>
- Çelebi N., Çevresel örneklerde uranyum, radyum ve radon ölçüm tekniklerinin geliştirilmesi, doktora tezi, 1995.
- Çelebi, N., Ataksor, B., Taşkın, H., Albayrak Bingoldag, N., 2015: Indoor Radon Measurements in Turkey Dwellings. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 167, Issue 4. Pages 626 – 632. 1 December 2015.
- Çevik Uğur, Kara Ayhan, Çelik Necati, Karabidak Mustafa, Çelik Ahmet, 2011: Radon Survey and Exposure Assessment in Karaca and Çal Caves, Turkey. Vol. 214, Issue 1-4. Pages 461 – 469. January 2011.
- Çıyrak Nazan, 2010: Bergama Kozak Granit Alanının Doğal Radyasyon Seviyesinin Belirlenmesi ve Karasal Doz Hızının Tayin Edilmesi. *Dspace Repository. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezleri*. <https://dspace.deu.edu.tr/xmlui/handle/12345/8168>

- Çile S., Soma ve Tavşanlı yer altı linyit maden ocaklarında radon gazı konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- Çömlek, Ülker, 2010: Tınaztepe Mağarası'nın Radon Seviyesinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi Dijital Arşiv Sistemi. <http://hdl.handle.net/123456789/4883>
- D'alessandro Walter, Vita Fabio, 2003: Groundwater Radon Measurements in the Mt. Etna Area. *Journal of Environmental Radioactivity* 65. Pages 187 – 201.
- Damla Nevzat, Cevik Ugur, Kobya Ihsan Ali, Ataksor Berna, Isık Umit, January 2010: Assessment of Environmental Radioactivity for Batman, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 160:401.
- Değerlier, M., Çelebi,, N., 2008: Indoor Radon Concentrations in Adana, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 131. Issue 2. Pages 259 – 264. 1 August 2008.
- Deka, P.C., Sarkar, Subir, Bhattacharjee, B., Goswami, T.D., Sarma, B.K., Ramachandran, T.V., 2003: Measurement of Radon and Thoron Concentration by Using LR – 115 Type II Plastic Track Detectors in the Environ of Brahmaputra Valley, Assam, India. *Radiation Measurements*. Vol. 36, Issues 1-6, Pages 431-434. June 2003.
- Deyuan Tian, 1992: Indoor and Outdoor Radon Concentration in China by SSNTD. 16. International Conference on Nuclear Tracks in Solids.P. 95.
- Durrani & Ilic 1997a. radon measurements by etched track detectors: applications in radiation, earth sciences and environment, editors Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, World scientific, Singapore, p.163, 1997.
- Eisenbud, M. & Gesell, T. 1997. *Environmental Radioactivity. From Natural, Industrial, and Military Sources*, 4th edition (Academic Press).
- Ekin K., İzmir-Urla ve çevresindeki sismik aktivitenin sürekli radon ölçümlerine olan etkisinin incelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- El-Zaher M.A., A comparative study of the indoor radon level with the radon exhalation rate from soil in Alexandria City. *Radiat. Prot. Dosim.*, 154(4): 490-496, 2013.
- El May, Michèle V., Chahed, Neila, Mtimet, Sadok, 2004: Radon Concentrations in Some Dwellings of Tunisia. *Health Physics*. Vol. 86, Issue 2. Pages 150 – 154. February 2004.
- Engizek T., sağlık Fiziği, İ.Ü. Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul, 1999.
- Erdogan, M., Eren, N., Demirel, S., Zedef, V., October 2013: Determination of Radon Concentration Levels in Well Water in Konya, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 156, Issue 4. Pages 489 – 494. <https://doi.org/10.1093/rpd/nct099>
- Faheem Munazza, Matiullah, 2008: Radon Exhalation and Its Dependence on Moisture Content from Samples of Soil and Building Materials. *Radiation Measurements*. Vol. 43, Issue 8. Pages 1458 – 1462. September 2008.

- Fişne, A., Yeraltı madenlerinde radon gazı konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi ve işçi sağlığı üzerine etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
- Fatima, I., Zaidi, J.H., Arif, M., Daud, M., Ahmad, S.A., Tahir, S.N.A., 2008: Measurement of Natural Radioactivity and Dose Rate Assessment of Terrestrial Gamma Radiation in the soil of Sothern Punjab, Pakistan. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 128, Issue 2. Pages 206 – 212. 1 January 2008.
- Franco-Marina, F., Segovia, N., Ruiz, W., Godinez, L., Tavera, L., Lopez, A., Chavez, A., Pena, P., Ponciano, G., 2001: Short and Long Term Indoor Radon Survey in Mexico City. *Radiation Measurements*. Vol. 34, Issue 1-6. Pages 454-548. June 2001.
- Garcia – Leon, M. Ve Madurga, G. (Editor), *Low-Level Measurements and Their Application to Environmental Radioactivity: Proceedings*, World Scientific Pub.Co. 1988.
- Garcia, Pena P., 1992: Concentration Levels of Radon in Air, Indoors and Outdoors in Houses of Mexico City. *Environmental Sciences*. Vol. 24, Issue 8.
- Gunay, O., Sac, M.M., Ichedef, M., Taskopru, C., 2018: Natural Radioactivity Analysis of Soil Samples from Ganos Fault. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Pages 1 – 4.
- Gurler, O., Akar, U., Kahraman, A., Yalcin, S., Kaynak, G., Gundogdu, O., 2010: Measurements of Radon Levels in Thermal Waters of Bursa, Turkey. *Freseinus Environmental Bulletin*. Vol 19, No.12a pp.3013-3017 ref 20.
- Güler, Prf. Dr. Çağatay, Çobanoğlu Z., *Radon Kirliliği, Çevre sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:44*, Ankara, 1997.
- Hess Ct., Weiffenbach Cv., Norton SA., 1983: Environmental Radon and Cancer Correlations in Maine. *Health Physics*. 45 (2): 339 – 348.
- Huaiqin Zhang, Ling Chen, 1992: Radon – 222 Indoor Concentration in The Ciae Region of Beijing.16. *International Conference on Nuclear Tracks in Solids*.P. 96.
- Iakovleva, V.S., Ryzhakova, N.K., 2003: Spatial and Temporal Variations of Radon Concentration in Soil Air. *Radiation Measurements*. Vol. 36, Issue 1 – 6. Pages 385 – 388. June 2003.
- Icru, 1925. *Radiation and Radon*.
- Idriss Hajo, Salih Isam, Alaamer S. Abdulaziz, Abdelgahıl, M.Y., Salih Ali Salih, Hasan M. Amna, Eltahır A. Mohammed, Ahamed M. O. Mustafa, 2014: Study of Radon in Soil Gas, Trace Elements and Climatic Parameters Around South Kordofan State, Sudan. *Environmental Earth Sciences*. Vol. 72, Issue 2, Pages 335 – 339. July 2014.
- Igarash I., Saek N., Takahata K., *Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan*. Science, 269, 1995

- Inceoz Murat, Baykara Oktay, Aksoy Ercan, Dogru Mahmut, 2006: Measurements of Soil Gas Radon in Active Fault Systems: A Case study Along the North and East Anatolian Fault Systems in Turkey. *Radiation Measurement*. Vol. 41, Issue 3. Pages 349 – 353. March 2006. <https://doi.org/10.1080/10420150903173270>
- Islam, G. S., Islam, M. A., Haque, A. K. M. F., Mistry, G. C., 1992: Indoor Radon Measurement in The Northern Region of Bangladesh. 16. International Conference on Nuclear Tracks in Solids.P. 128.
- Kam, Erol, Bozkurt, Ahmet, 2007: Environmental Radioactivity Measurements in Kastamonu Region of Northern Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*. Vol. 65, Issue 4. Pages 440 – 444. April 2007.
- Kam Erol, Bozkurt Ahmet, Ilgar Rustu, Semtember 2010a: A Study of Background Radioactivity Level for Çanakkale, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol 168, Issue 1 – 4. Pp 685 – 690.
- Kam Erol, Yazar Yasemin, Bozkurt Ahmet, 1 January 2010b, A Study of Background Radioactivity Level for Tekirdağ, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol 138, Issue 1. Pages 40 – 44. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncp178>
- Kapdan Enis, Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs, 2009.
- Kapdan, E., Varinlioglu, A., Karahan, G., 2011: Radioactivity Levels and Health Risks due to Radionuclides in the Soil of Yalova, Northwestern Turkey. *International Journal of Environmental Research*. Vol. 5, Issue 4. Page 837 – 846. Summer 2011.
- Kapdan Enis, Taşkın Halim, Kam Erol, Osmanlıoğlu Erdal A., Karahan Gursel, Bozkurt Ahmet, 2012: A Study of Environmental Radioactivity Measurements For Çankırı, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 150, Issue 3. Pages 398 – 404. 1 July 2012. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncr416>
- Karadeniz Özlem, Yaprak Günseli, Akal Cüneyt, Emen İpek, 2012: Indoor Radon Measurements in the Granodiorite Area of Bergama(Pergamon) – Kozak, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 149, Issue 2, Pages 147 – 154. 1 April 2012. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncr222>
- Karahan, 1997. Natural Radioactivity in Various Surface in İstanbul, Turkey. *Water Research*. Vol 34, Issue 18. Pages 4367 – 4370.
- Karahan Gürsel, Oztürk Neşet, Bayülken Ahmet, 15 December 2000: Natural Radioactivity in Various Surface in İstanbul, Turkey. *Water Research*. Vol 34, Issue 18. Pages 4367 – 4370. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00219-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00219-0)
- Karataslı, M., Turhan, Ş., Varinlioglu, A., Yegingil, Z., March 2016: Natural and Fallout Radioactivity Levels and Radiation Hazard Evaluation in Soil Samples. *Environmental Earth Sciences*.
- Khan M.S., Naqvi A.H., Azam A., Srivastava D.S., Radium and radon exhalation studies of soil. *Iran. J. Radiat. Res.*, 8(4): 207-210, 2011.

- Khan Shakir M., Srivastava , D.S., Azam Ameer, 2012: Study of Radium Content and Radon Exhalation Rates in soil Samples of Northern India. *Environmental Earth Sciences*. Vol. 67 Issue 5. Pages 1363 – 1371. November 2012.
- Khan, M.Shakir, Azam, Ameer, 2014: Measurements of Indoor Radon, Thoron, and Their Progeny Using Twin Cup Dosimeters in Rural Areas of Northern, India. *Environmental Earth sciences*. Vol. 71, Issue 3. Pages 1319 – 1325.
- Khattak, N.U., Khan, M.A., Shah, M.T., 2011: Radon Concentration in Drinking Water Sources of the Main Campus of the University of Peshawar and Surrounding Areas, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *J. Radioanal Nuclear Chemistry*. 290: 493-505.
- Kıldır Mehmet, Gökmen İnci, Gökmen Ali, 2016: Indoor Radon Concentrations and Radon Doses at Three Districts of Ankara, Turkey and Raising Public Awareness on The Issue. *Journal of Radioactivity and Nuclear Chemistry*. Vol. 307, Issue 1. Pages 777 – 786. January 2016.
- Knoll, G.F., *Radiation Detection and Measurement*, Canada, 1989.
- Koray Abdullah, Akkaya Gizem, Kahraman Ayşegül, Kaynak Gökay, December 2014: Measurement of Radon Concentrations in Waters and Soil Gas of Zonguldak, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol 162, Issue 3. Pages 375 – 381.
- Köksal, E. M., Çelebi, N., Ataksor, B., Ulug, A., Taşdelen, M., Kopuz, G., Akar, B., Karabulut, M. T., 2004: A survey of ^{222}Rn Concentrations in Dwellings of Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. . Vol. 259, Issue 2. Pages 213 – 216. February 2004.
- Kralík C., Friedrich M., Vojtíš F., 2003: Natural Radionuclides in Bottled Water in Austria. *Journal of Environmental Radioactivity*. Volo. 65, Issue 2. Pages 233 – 241.
- Kucukomeroglu, B., Maksutoglu, F., Damla, N., Cevik, U., Celebi, N., 2012: A Study of Environmental Radioactivity measurements in The Samsun Province, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol.152, Issue 4. Pages 369-375. 1 December 2012. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncs071>
- Kucukomeroglu, B., Ozturk, E., Damla, N., Celik, N., Duran Uzun S., Cevik, U., Taskin, H., Albayrak, N., June 1, 2015: Indoor Radon and Gamma Spectrometric Measurements for The Erzincan Basin on North Anatolian Fault Zone, Turkey. Indoor and Build Environment. <https://doi.org/10.1177/1420326X15588329>
- Kumar R., Mahur A.K., Rao N.S., Sengupta D., Prasad R., Radon exhalation rate from sand samples from the newly discovered high background radiation area at Erasama beach placer deposit of Orissa, India. *Radiat. Meas.*, 43: S508-S511, 2008
- Kumar Sanjeev, Singh Surinder, Bajwa S. Bikramjit, Sabharwal D. Arvind, 2011: In situ Measurements of Radon Levels in Water and Soil and Exhalation Rate in Areas of Malwa belt of Punjab (India). *Isotopes in Environmental and Health Studies*. Vol. 47, No 4, pages 446 – 455.

- Kumaş, A., Radyasyon Fiziği ve Tıbbi Uygulamaları, Ankara, Ekim, 2009.
- Kunovska Bistra, Ivananova Kremena, Stojanovska Zdenka, Vuchkov Daniel, Zaneva Nadia, 2013: Measurements of Radon Concentration in Soil Gas of Urban Areas, Bulgaria. Romanian Journal of Physics. 58 (S). S172-S179. ISSN 1221-146X. <http://www.nipne.ro/rjp/index.php>
- Kuş Adem, Sakarya İli Toprak Örneklerinde Doğal Radyasyon Düzeyinin Belirlenmesi ve Radon Yayılım Hızlarının Ölçülmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat 2017.
- Kurnaz ,A., Küçükömeroğlu, B., Çevik, U., Çelebi, N., 2011. Radon Level and Indoor Gamma Doses in Dwellings of Trabzon, Turkey. Applied Radiation and Isotopes. Vol. 69, Issue 10. Pages 1554-1559. October 2011.
- Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yilmaz, A., Toroğlu, İ., Karaelmas yerleşkesi merkez kütüphanesi radon ölçümleri, SDU Fen Dergisi (e-Dergi), 4(2), 177-188, 2009.
- Le Cong Hao, Huynh, Nguyen Phong Thu, Nguyen Van Thang, Le Quoc Bao, 2015: Radon and Radium Concentrations in Drinkable Water Supplies of the Thu Duc Region in Ho Chi Minh City, Vietnam. Applied Radiation and Isotopes. Vol. 105. Pages 219 – 224.
- Lopez M. Galan, Sanchez A. Martin, Escobar V. Gomez, 2004: Estimates of the Dose Due to ^{222}Rn Concentrations in Water. Radiation Protection Dosimetry. Vol 111. No.1 pp 3-7.
- Maged A.F., Ashraf F.A., 2005. Radon Exhalation Rate of Some Building Materials Used in Egypt. Environmental Geochemistry and Health, Vol.27, Issue 5-6, pp 485 – 489. December 2005. Egypt. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-005-5332-5>
- Manousakas, M., Fouskas, A., Papaefthymiou, H., Koukoulou, V., Siavalas, G., Kritidis, P., 2010: Indoor Radon Measurements in a Greek City Located in the Vicinity of Lignite-Fired Power Plants. Radiation Measurements. Vol. 45, Issue 9, October 2010. Pages 1060 – 1067. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2010.07.024>
- Marques Adilson Lima, SANTOS Wladimir Dos, GERALDO Luiz Paula, 2004: Direct Measurements of Radon activity in Water from Various Natural Sources Using Nuclear Track Detectors. Applied Radiation and Isotopes 60. Pages 801 – 804.
- Matiullah, Ahad, A., Ur Rehman Shakeel, Ur Rehman Shafi, Faheem, M., 2004: Measurement of Radioactivity in the Soil of Bahawalpur Division, Pakistan. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 112, Issue 3. Pages 443 – 447. 6 December 2004. <https://doi.org/10.1093/rpd/nch409>
- Mazur, D., Janik, M., Loskiewicz, J., Olko, P., Swakon, J., 1999: Measurements of Radon concentration in soil Gas by CR_39 Detectors. Radiation Measurements. Vol. 31, Issues 1- 6. Pages 295 – 300. June 1999. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(99\)00135-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(99)00135-3)

- Mehra Rohit, Singh Surinder, Singh Kulwant, 2006: A Study Of Uranium, Radium, Radon Exhalation Rate And Indoor Radon In The Environs Of Some Areas Of The Malwa Region, Punjab. Indoor And Build Environment. October 1, 2006. <https://doi.org/10.1177/1420326X06069053>
- Mehra, R., Badhan, K., Sonkawade, R.G., 2010: Radon Activity Measurements in Drinking Water and Indoors of Dwellings, Using RAD7. Tenth Radiation Physics & Protection Conference. Nasr City – Cairo, Egypt.
- Mittal Sudhir, Rani Asha, Mehra Rohit, 2016: Estimation of Radon Concentration in Soil and Groundwater Samples of Northern Rajasthan, India. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. Vol. 9, Issue 2. Pages 125 – 130. April 2016.
- Moreno, V., Bach, J., Baixeras, C., FoNT, L.I., 2014: Radon Levels in Groundwaters and Natural Radioactivity in Soils of The Volcanic Region of La Garrotxa, Spain. Journal of Environmental Radioactivity. Vol. 128. Pages 1 – 8. February 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.10.021>
- Muhammad, B.G., Jaafar, M.S., Azhar, A.R., Akpa, T.C., 2012: Measurements of ^{222}Rn Activity Concentration in Domestic Water Sources in Penang, Northern Peninsular Malaysia. Radiation Protection Dosimetry. Vol 149. No 3. Pp 340 – 346.
- Nato, Handbook On the Medical Aspects Of NBC Defensive Operations AMedp -6 (B) Part I Nuclear, February 1996.
- Ngachin, M., Garavaglia, M., Giovani, C., Njock Kwato M.G., Nourreddine, A., 2008: Radioactivity Level and Soil Radon Measurement of a Volcanic Area in Cameroon. Journal of Environmental Radioactivity. Vol. 99, Issue 7. Pages 1056 – 1060. July 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.12.022>
- Oner, F., Yalim, H.A., Orbay, M., 1 February 2009: The Measurements of Radon Concentrations in Drinking Water and the Yeşilırmak River Water in the Area of Amasya in Turkey. Radiation Protection Dosimetry. Vol 133, Issue 4. Pages 223 – 226. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncp049>
- Orgun, Y., Altınsoy, N., Gultekin, A.H., Karahan, G., Celebi, N., August 2005: Natural Radioactivity Levels in Granitic Plutons and Groundwaters in Southeast Part of Eskişehir, Turkey. Applied Radiation and Isotopes. Vol 63, Issue 2. Pages 267 – 275. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2005.03.008>
- Otansev P., Karahan G., Kam E., Barut I., Taskın H., Assessment of natural radioactivity concentrations and gamma dose rate levels in Kayseri, Turkey. Radiat. Prot. Dosim., 148(2): 227-236, 2012.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S.Y., Ataksor, B., Çelebi, N., 2008: A Study of Indoor Levels in Rural Dwellings of Ezine (Çanakkale, Turkey) Using Solid – State Nuclear Track Detectors. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 131, Issue 3. Pages 379 – 384. 1 September 2008. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncn190>
- Özmen, B., 1995, Depremlerin Önceden Tahmin Edilmesinde Kullanılan Yöntemler, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.

- Papaefthymiou, H., Mavroudis, A., Kritidis, P., 2003: Indoor Radon Levels and Influencing Factors in Houses of Patras, Greece. *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 66, Issue 3. Pages 247 – 260. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(02\)00110-8](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(02)00110-8)
- Pereira, A.J.S.C., Godinho, M.M., Neves, L.J.P.F., 2010: On The Influence on Small – Scale Soil – Gas Radon Variability: a Case Study in The Iberian Uranium Province. *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 101, Issue 10. Pages 875 – 882. October 2010.
- Pisapak Pattama, Todorovic Natasa, Bhongsuwan Tripob; 2017: Correlation Between Radon and Radium Concentrations in Soil and Estimation of Natural Radiation Hazards in Namom District, Songkhla Province (Southern Thailand). *Environmental Earth Sciences*. 8 February 2017.
- Prasad Ganesh, Prasad Yogesh, Gusam G.S., Ramola R.C., 2008: Measurement of Radon and Thoron Levels in Soil, Water and Indoor Atmosphere of Budhakedar in Garhwal Himalaya, India. *Radiation Measurements*. Vol. 43. Pages 375 – 379. August 2008.
- Rafique Muhammad, Ur Rahman Saeed, Mahmood Tahir, Rahman Said, Matiullah, Ur Rehman Shafi, 2011: Radon Exhalation Rate From Soil, Sand, Bricks And Sedimentary Samples Collected From Azad Kashmir, Pakistan. *Russian Geology and Geophysics*. Vol. 52, Issue 4. Pages 450 – 457. April 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.03.007>
- Rajashekara, K.M., Narayana, Y., Siddappa, K., 2007: ^{222}Rn Concentration in Groundwater and River Water of Coastal Karnataka. *Radiation Measurement*. 42. Pages 472 – 478.
- Rannou, A., The Bare Detector and Results of Indoor Radon Survey in France. Radon monitoring in radioprotection, environmental radioactivity and earth sciences. Vol. 23, Issue 15.
- Saad A.F., Abdallah R.M., Hussein N.A., Radon exhalation from Libyan soil samples measured with the SSNTD technique. *Appl. Radiat. Isot.*, 72: 163-168, 2013
- Sahoo Sushanta Ku, Katlamudi Madhusudhanaro, Shaji Jerin P., KrishnA Murali, Lakshmi Udaya, 2018: Influence of Meteorological Parameters on The Soil Radon (Rn^{222}) emanation in Kutch, Gujarat, India. *Environmental Monitoring and Assessment*. March 2018.
- Schmidt A., Gibson, J.J., Santos, I.R., Schubert, M., Tattre, K., Weiss, H., 2010: The Contribution of Groundwater Discharge to the Overall Water Budget of Two Typical Boreal Lakes in Alberta / Canada Estimated from a Radon Amss Balance. *Hydrology and Earth System Sciences*. 14. 79 – 89
- Serway, Beichner, Palme Yayıncılık, Ankara, 2005.
- Shapiro, J., Radiation protection: a guide for scientists and physicians, Cambridge, Mass, Harward University, 1990.

- Sharma, D.K., Kumar Ajay, Kumar Mukesh, Singh Surinder, 2003: Study of Uranium, Radium and Radon Exhalation Rate in Soil Samples From some Areas of Kangra District, Himachal Pradesh, India Using solid – state Nuclear track Detectors. *Radiation Measurements*. Vol. 36, Issue 1-6. Pages 363 – 366. June 2003.
- Singh H., Singh J., Singh S., Bajwa B.S., Radon exhalation rate and uranium estimation study of some soil and rock samples from Tusham ring complex, India using SSNTD technique. *Radiat. Meas.*, 43: S459-S462, 2008
- Singh, Surinder, Kumar, Mukesh, Mahajan, Rakesh Kumar, 2005: The Study of Indoor Radon in Dwellings of Bathinda District, Punjab, India and Its Correlation With Uranium and Radon Exhalation Rate in Soil. *Radiation Measurements*. Vol. 39, Issue 5. October 2005. Pages 535 – 542. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2004.10.008>
- Sogukpınar, H., Algin, E., Asıcı, C., Altınsoz, M., Cetinkaya, H., 2014: Seasonal Indoor Radon concentration in Eskisehir, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 162, Issue 3. Pages 410 – 415. 1 December 2014. <https://doi.org/10.1093/rpd/nct344>
- Somashekar, R.K., Ravikumar, P., 2010: Radon Concentration in Grondwater of Varahi and Markandeya River Basin, Karnataka State, India. *J. Radioanal. Nuclear Chemistry*. 285: 343 – 351.
- Somlai Janos, Gorjanacz Zoran, Varhegyi Andras, Kovacs Tibor, 2006: Radon Concentration in Houses over a Closed Hungarian Uranium Mine. *Science of The Total Environment*. Vol. 367, Issue 2 – 3. Pages 653 – 665. August 2006. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.043>
- Srivastava, Alok, 2004: An Overview of an Indoor Radon Study Carried Out in Dwellings in India and Bangladesh During the Last Decade Using Solid State Nuclear Track Detectors. *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 78, Issue 1, September 2004. Pages 113 – 121. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2004.04.002>
- Sroor,A., El-Bahri, S.M., Ahmed,F., Abdel-Haleem, A.S., 2001: Natural Radioactivityand Radon Exhalation Rate of Soil in Southern Egypt. *Applied Radiation and Isotopes*. Vol. 55, Issue 6. Pages 873 – 879. November 2001.
- Şahin Latife, Çetinkaya Hakan, Saç Müslim Murat, Ichedef Mutlu, 1 August 2013: Determination of Radon and Radium Concentrations in Drinking Water Samples Around the City of Kütahya. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol 155, Issue 4. Pages 474 – 482. <https://doi.org/10.1093/rpd/nct019>
- Şen, G.Y., İÇHEDEF, M., SAÇ, M.M., YENER, G., 2013: Effect Of Natural Gas Usage on Indoor Radon Levels. *Journal o Radioanalytical Nuclear Chemistry*. Vol. 295, Issue 1. Page 277 – 282. January 2013.
- Tabar, E., Kumru, M.N, İchedef, M., Saç, M.M., 2013: Radioactivity Level and the Measurement of Soil Gas Radon Concentration in Dikili Geothermal Area, Turkey. *International Journal of Radiation Research*. Vol 11, N 4.

- Tabar Emre, Yakut Hakan, January 2014: Radon Measurements in Water Samples from the Thermal Springs of Yalova Basin, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. Vol. 299, Issue 1. Pages 311 – 319.
- TAEK, 2000. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 24.03.2000, Sayı:23999, Madde.37
- TAEK, 2011. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 24.03.2000, Sayı:23999, Madde.37
- TAEK, 2013. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 24.03.2000, Sayı:23999, Madde.37
- Tarım U. Akar, Gurler, O., Akkaya, G., Kılıc, N., Yalcın, S., Kaynak, G., Gundogdu, O., 1 June 2012: Evaluation of Radon Concentration in Well and Tap Waters in Bursa, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol 150, Issue 2. Pages 207 – 212. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncr394>
- Taşkin, H., Yüksek Lisans Tezi, İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun belirlenmesi ve Haritalandırılması, 2006.
- Tsiailli, A., Kiliari, T., Pashalidis, I., 2011: Seasonal Variation of the Alpha – Radioactivity concentration in Natural Water systems in Cyprus. *Radiation Measurements*. 46. Pages 145 – 148.
- Tufail, A., Khan, M.A., Ahmad, N., Khan, H.A., Zafar, M.S., 1992: Measurements of Radon Concentration in some Cities of Pakistan. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 40, Issue 1, 1 January 1992. Pages 39 – 44. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a081188>
- Turhan, Ş., Aykemiş, A.Ş., Kılıç, A.M., 2009: Natural Radionuclide content and Radiological Hazard Associated With Usage of Quartzite Sand Samples From Ovacık – Silifke – Mersin Open Pit as Building Material in Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 136, Issue 2. Pages 101 – 107. September 2009. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncp145>
- Turhan Şeref, Gören Elif, Uğur Fatma Aysun, Karataşlı Muhammet, Yeğingil Zehra; 2017: A Study of the Radioactivity in Environmental Soil Samples From Eastern Anatolia Region of Turkey. *International Journal for Chemical Aspects of Nuclear Science and Technology*. Vol 106, Issue 2. <https://doi.org/10.1515/ract-2017-2845>
- Turner, J.E., *Atoms, Radiation and radiation protection*, New York: J. Wiley, 1995.
- Unlu, G., Yegingil, Z., 1992: Use of CR-39 as Radon and Radon Daughters Detectors for Indoor Measurements in a Mill, in Adana. 16. International Conference on Nuclear Tracks in Solids.
- Unsear, United nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, 1982.
- Unsear, United Nations Scientific committee on the effects of Atomic Radiations; Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation United Nations sales publication No: E.88.IX.7. New York, 1988.
- Unsear, United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation; Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E. 94.IX.2. New York, 1993.

- Unsear, 2000. Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. United Nations, New York, NY, USA.
- Url.1.<http://www.tsnm.org/2012/userfiles/files/Teknisyen-El-Kitabi.pdf#page=7>, Erişim Tarihi: 15.11.2014.
- Url.2. www.taek.gov.tr, Erisim tarihi :10.03. 2005.
- Url.3.<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html>, Erişim Tarihi : 05.03.2014.
- Url.4. http://www.haritalar.web.tr/turkiye_haritasi.html, Erişim Tarihi : 20.04.2015.
- Url.5. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Geyve>, Erişim Tarihi : 20.04.2015.
- Url.6. http://www.geyve.gov.tr/default_b0.aspx?content=197, Erişim Tarihi : 20.04.2015.
- Url.7. http://www.geyve.com/index.php?option=com_content&task=view&id=1520&Itemid=56, Erişim Tarihi : 20.04.2015.
- Url.8. http://www.sakaryarehberim.com/others/sehir_yasam_rehberi_detay.php?id=1015, Erişim Tarihi : 20.04.2015.
- Url.9. http://tr.wikipedia.org/wiki/Do%C4%9Fan%C3%A7ay,_Geyve#Co.C4.9Frafya, Erişim Tarihi : 20.04.2015.
- Url.10. <http://www.daogancay.net/>,Erişim Tarihi : 20.04.2015.
- Url.11. http://www.turkcebilgi.com/harita/geyve,_do%C4%9Fan%C3%A7ay, Erişim Tarihi : 20.04.2015.
- Url.12. http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96rencik,_Geyve, Erişim Tarihi : 20.04.2015.
- Url.13. <http://www.haritamap.com/yer/orencik-koyu-cami-geyve>, Erişim Tarihi : 20.04.2015.
- Url.14.<https://earth.google.com/web/@40.49354164,30.27704972,78.18858465a,6443.88957519d,35y,332.5211083h,0t,0r>.
- Url.15.<https://earth.google.com/web/@40.58087239,30.33540537,65.25284842a,471.46922336d,35y,336.31120182h,0t,0r>.
- Url.16.<https://earth.google.com/web/@40.62599323,30.33311857,60.08484561a,818.79060248d,35y,356.54793644h,0t,0r>
- Url.17. <http://www.nj.gov/dep/rpp/radon/download/jgainv4>
- Url.18. <http://www.yenibiyoloji.com/akifer-nedir-4748/>
- URL.19. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Akifer>
- Usepa, U.S. Environmental Protection Agency, 1991. National Primary drinking Water Regulations for Radionuclides. EPA/570/9-91/700.

- Wilkins, B.T., The Assasement of Radon and its daughters in North Sea Gas used in the United Kingdom. Radiation Protection, 1980.
- Xinwei L., 2006: Analysis of Radon Concentration in Drinking Water in Baoji (China) and the Associated Health Effect. Radiation Protection Dosimetry. Vol 121, Issue 4. Pages 452 – 455.
- Yakut Hakan, Tabar Emre, Zenginerler Zemine, Demirci Nilufer, Ertugral Filiz, 1 December 2013: Measurements of ^{222}Rn concentration in Drinking Water in Sakarya, Turkey. Radiation Protection Dosimetry. Vol 157, Issue 3. Pages 397 – 406. <https://doi.org/10.1093/rpd/nct157>
- Yalcın Sezai, Gurler Orhan, Akar Urkiye Tarim, Incirci Fulya, Kaynak Gokay, Gundogdu Ozcan, 20 May 2011: Measurements of Radon Cocntration in Drinking Water Samples From Kastamonu (Turkey). Isotopes in Environmental and Health Studies. Vool 47, Issue 4. Pages 438 – 445. <https://doi.org/10.1080/10256016.2011.618270>
- Yalim, H.A., Akkurt, I., Ozdemir, F.B., Unal, R., Sandıkcıoğlu, A., Akkurt A., 1 February 2007: The Measurement of Radon and Radium Concentrations in Well Water in the Afyonkarahisar Area of Turkey. Indoor and Built Environment. Vol 16, Issue 1. Pages 77 – 81. <https://doi.org/10.1177/1420326X06074731>
- Yaren, H., Karayılanoğlu, T., Radyasyon Ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri, Tsk Koruyucu Hekimlik bülteni, 4(4),GATA NBC BD Etlik, Ankara, 2005.
- Yiğitoğlu, I., Oner, F., Yalim, H.A., Akkurt, A., Okur, A., Ozkan, A., December 2010: Radon Concentrations in Water in the Region of tokat City in Turkey. Radiation Protection Dosimetry. Vol 142, Issue 2 – 4. Pages 358 – 362. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncq191>
- Yücel, B., Arikan, İ.H., Binalarda Radon ve Sağlık Etkileri, Standart, TSE, Sayı 531, s.108-110, Mart, 2006.
- Zabadi Al Hamzeh, Musmar Samar, Issa Shaza, Dwaikat Nidal, Saffarını Ghassan, 2012: Exposure Assessment of Radon in the Drinking Water Supplis: A Descriptive Study in Palestine. Al Zabadi et. Al. BMC Research Notes. 5:29.
- Zarroca, M., Linares, R., Bach, J., Roque, C., Moreno,V., Font, L., Baixeras,C., 2012: Integrated Geophysics and Soil Gas Profiles as a Tool to Characterize Active Faults: The Amer Fault Example (Pyrenees, NE Spain). Environmental Earth Sciences. Vol. 67, Issue 3. Pages 889 – 910. October 2012.
- Zikovsky Lubomir, 2006: Alpha Radioactivity in Drinking Water in Quebec, Canada. Journal of Environmental Radioactivity 88. Pages 306 – 309.
- Zorer Özlem Selçuk, Ceylan Hasan, Doğru Mahmut, January 2009: Gross Alpha and Beta Radioactivity Concentration in Water, Soil and Sediment of the Bendimahi River and Van Lake (Turkey). Environmental Monitoring and Assessment. Vol 148, Issue 1 – 4. Pages 39 – 46.
- Zunic, Z.S., Mc Laughlin, J.P., Walsh, C., Benderac, R., 1999: The Use of SSNTDS in The Retrospective Assessment of Radon Exposure in High Radon Rural Communities in Yugoslavia. Radiation Measurements. Vol. 31, Issues 1-6. Pages 343-346. June 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Yasemin Sağlam, 27.03.1986 da İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında Bahçelievler Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Fizik bölümüne başladı. 2008-2009 yıllarında Almanya'da Materialwissenschaften bölümünde okumaya devam etti. Bu süreç sonunda Türkiye'ye geri dönüp 2008 yılında başladığı Fizik bölümünden 2010'da mezun oldu. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi'nde Nükleer Fizik alanında yüksek lisans'a başladı.