

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

**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS BÖLGESİNDE
BİNA İÇİ RADON KONSANTRASYONUNUN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra ÇITLAK

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Filiz ERTUĞRAL YAMAÇ

Ağustos 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS BÖLGESİNDE
BİNA İÇİ RADON KONSANTRASYONUNUN
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

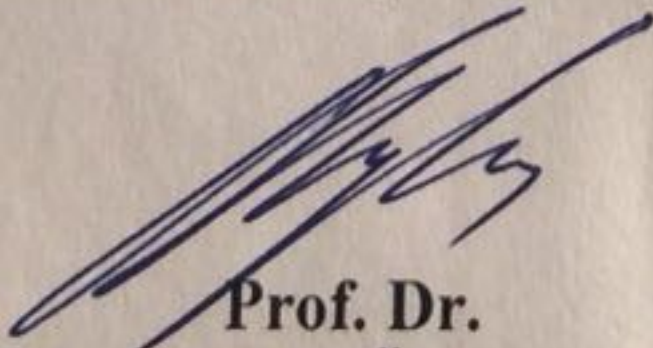
Kübra ÇITLAK

Enstitü Anabilim Dalı

:

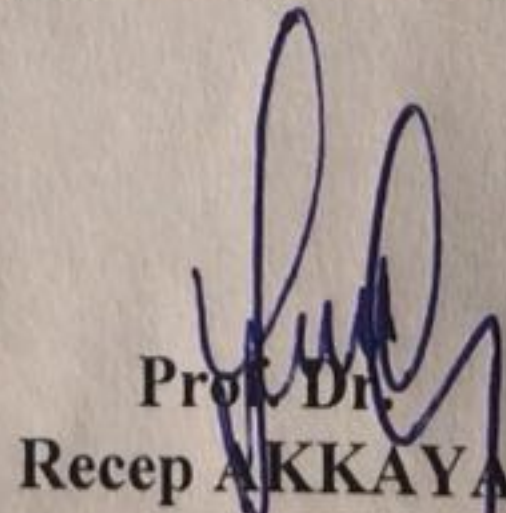
FİZİK

Bu tez 06.08.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



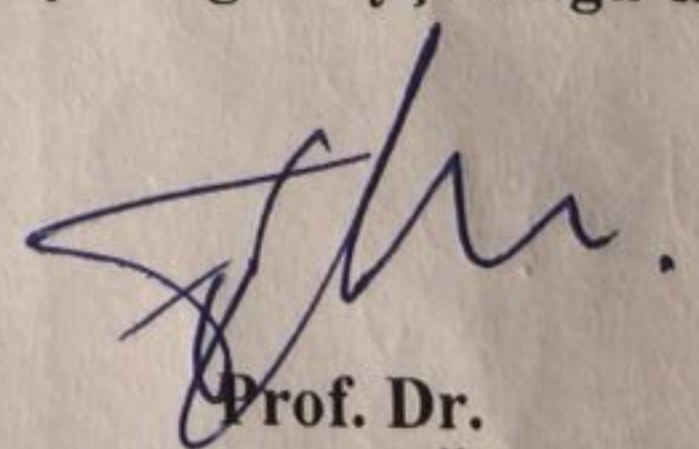
Prof. Dr.
Orhan GÜRLER

Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Recep AKKAYA

Üye



Prof. Dr.
Filiz ERTUĞRAL
YAMAÇ

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.

Kübra ÇITLAK

06.08.2018

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 Prof. Dr. Filiz ERTUĞRAL YAMAÇ'a, tez yazımında bana yardımcı olan Araş. Gör. Dr. Nilüfer DEMİRCİ SAYGI'ya Araş. Gör. Dr.Emre TABAR teşekkürlerimi sunarım.

Dedektörlerin yerleştirilmesi ve toplanmasında yardımlarını esirgemeyen eşim Salih ÇITLAK'a, her zaman yanımda olan Emine GÜNERMELİKOĞLU ve yakın zamanda vefat eden babam İdris GÜNERMELİKOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2013-02-02-011) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Literatür özeti	4
BÖLÜM 2.	
BİNA İÇİ RADON.....	12
2.1. Radon	13
2.2. Radon Gazının Binaya Giriş Yolları.....	14
2.3. Bina İçi Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi	17
2.4. Radon Gazının Sağlık Üzerine Etkileri	18
2.5. Radon Aktivite Konsantrasyonu Sınır Değerleri.....	20
BÖLÜM 3.	
ÇALIŞMA ALANI VE YÖNTEM	23
3.1. Çalışma Alanı	23
3.1.1. Serdivan ilçesinin jeolojik ve jeomorfolojik özelliği	24
3.2. Veri Toplama Araçları.....	26
3.2.1. Katı hal nükleer iz dedektörleri	27
3.3. Katıhal Nükleer İz Dedektörlerinde İz Oluşumu	28

3.3.1. Kimyasal iz kazıma	29
3.4. Radon Ölçüm İstasyonlarının Oluşturulması	31
3.5. LR-115 Dedektörlerin İşlenmesi	33
3.6. LR-115 Dedektörlerin Kalibrasyon Sabitinin Belirlenmesi ve Radon Aktivitesinin Hesaplanması.....	34
BÖLÜM 4.	
BİNA İÇİ ²²² Rn AKTİVİTE KONSANTRASYON SONUÇLARI	36
4.1. Bina İçi ²²² Rn Aktivitesinin Mevsimsel Değişim Sonuçları	36
4.2. Bina İçi Radon Aktivitesinin Katlara Göre Dağılımı	47
4.3. Bina İçi Yıllık Etkin Doz Sonuçları	49
4.4. Anket Sonuçlarının değerlendirilmesi.....	51
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR.....	58
EKLER.....	65
ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Bq	: Becquerel (radyoaktivite birimi)
Ci	: Curie (radyoaktivite birimi)
C_{Rn}	: Radon aktivite konsantrasyonu
HNO_3	: Nitrik Asit
ICRP	: Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
k_f	: Kalibrasyon faktörü
KOH	: Potasyum Hidroksit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NRPB	: İngiltere Milli Radyasyondan Korunma komitesi
ppm	: Milyonda bir
rem	: Doz eşdeğer birimi
SI	: Uluslar Arası Birim Sistemi
Sv	: Sievert (eşdeğer doz birimi)
TAEK	: Türkiye Atom Enerji Kurumu
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
V_B	: Polimer yüzeyi kazınma hızı
V_T	: Gizli iz kazınma hızı
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
ρ	: İz yoğunluğu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Radon gazının standart bir ev içerisinde konsantrasyon değişimi	12
Şekil 2.2. ^{222}Rn kısa ömürlü bozunum ürünleri	14
Şekil 2.3. Radon gazının bina içine giriş mekanizmaları.....	16
Şekil 2.4. Uranyum çekirdeğinin bozunarak radon gazına dönüşümü ve radon gazının solunduktan sonar akciğerlerde bozunmaya devam etmesi.....	19
Şekil 2.5. Türkiye Radon Konsantrasyon Dağılım Haritası.....	22
Şekil 3.1. Türkiye haritasında Sakarya ili gösterimi	25
Şekil 3.2. Sakarya il haritasında Serdivan ilçesinin gösterimi	26
Şekil 3.3. Radon konsantrasyon ölçümleri için hazırlanan LR-115 dedektörleri	28
Şekil 3.4. a) Ağır yüklü parçacıkların içinden geçtikleri polimerin molekül zincirlerini kırması b) Kimyasal işlemler yardımı ile iz oluşumu	29
Şekil 3.5. Sabit V_T ve V_B için iz aşınma geometrisi gösterimi	30
Şekil 3.6. Sakarya Üniversitesi Kampüs yerleşkesinde dedektör yerleştirilen fakülteler	32
Şekil 3.7. Banyo yaptırılan LR-115 filmleri	33
Şekil 3.8. LR-115 plastik dedektör üzerinde oluşan alfa izleri	34
Şekil 4.1. Fakültelerin radon aktivite konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....	38
Şekil 4.2. Sonbahar dönemi radon konsantrasyon değerleri dağılımı.....	39
Şekil 4.3. Kış dönemi radon konsantrasyon değerleri frekans dağılımı	40
Şekil 4.4. İlkbahar dönemi radon konsantrasyon değerleri frekans dağılımı	40
Şekil 4.5. Yaz dönemi radon konsantrasyon değerleri frekans dağılımı	41
Şekil 4.6. Sakarya Üniversitesi kampüs bölgesinde bina içi radon konsantrasyonunun mevsimsel dağılımı.....	41
Şekil 4.7. Sakarya Üniversitesi kampüs bölgesinde yıllık ortalama radon aktivitesi.	42
Şekil 4.8. Mevsimsel ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları	44

Şekil 4.9. Çalışma bölgesinde ^{222}Rn spesifik aktivite dağılımlarını gösteren kontur haritası	45
Şekil 4.10. ^{222}Rn aktivitesinin bina katlarına göre dağılım	48
Şekil 4.11. Fakülte binalarında ölçülen yıllık etkin dozlar	50
Şekil 4.12. Anket sonuçlarına göre odaların havalandırma saatleri ve sıklığı	52
Şekil 4.13. Anket sonuçlarına göre odaların havalandırma süreleri ve mevsimlere göre havalandırma sıklığı	52
Şekil 4.14. 8 Kişilik çalışma odasının mevsimsel ve yıllık etkin doz grafiği	53



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Radon Konsantrasyon Limitleri.....	20
Tablo 2.2.	Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri.....	21
Tablo 3.1.	Araştırmada Kullanılan Mevcut Makine – Teçhizat Listesi.....	27
Tablo 3.2.	Farklı dedektör tipleri için iz kazıma koşulları.....	29
Tablo 3.3.	Sakarya Üniversitesi Kampüs yerleşkesinde dedektör yerleştirilen fakültelerin kod numaraları.....	31
Tablo 4.1.	Mevsimlere göre binalarda ölçülen radon aktiviteleri	37
Tablo 4.2.	Bina içi 222Rn aktivite konsantrasyonlarının mod, medyan, aritmetik ortalama, standart sapma, ve frekans dağılımlarının Skewness ve Kurtosis katsayıları.....	42
Tablo 4.3.	Dünyada ve Türkiye’de yapılmış bina içi radon aktivitesi ve yıllık etkin doz çalışmalarına örnekler	46
Tablo 4.4.	Binaların katlarına ait ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri	47
Tablo 4.5.	Dedektör sayısı, ortalama radon konsantrasyonu, yıllık etkin doz ve maruz kalan öğrenci sayısı	51

ÖZET

Anahtar kelimeler: Radon, LR-115 nükleer iz dedektörü, bina içi radon konsantrasyonu

Bu tez çalışmasında Sakarya Üniversitesi Kampüs Yerleşkesinde kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonlarını ölçmek, yıllık maruz kalınacak radyolojik dozları hesaplamak ve kampüs bölgesinin radyolojik risk haritası oluşturmak için SAÜ kampüs içindeki farklı binalarda (fakülteler, yurtlar, lojmanlar, idari ve akademik birimler vb.) mevsimsel dönüşümlü radon konsantrasyonu ölçümü yapılarak, radon gazı birikimini etkileyen faktörler belirlenmiştir.

Yapılan ölçümlere göre bina içi radon yoğunluğu $0,2 \text{ Bqm}^{-3}$ - $149,53 \text{ Bqm}^{-3}$ aralığında değişmektedir. Yıllık ortalama radon aktivitesi $38,7 \text{ Bqm}^{-3}$, yıllık ortalama etkin doz ise $1,09 \text{ mSv/yıl}$ bulunmuştur. Bu sonuçlara ulaşmak için Sakarya Üniversitesi Kampüs Yerleşkesinde önceden belirlenen 32 binada bulunan memur ve öğretim görevlilerinin ofislerine ve öğrenci dersliklerine LR-115 tipi plastik dedektörler yerleştirilmiş ve her 3 ayda bir dedektörler yenileriyle değiştirilerek mevsimsel radon konsantrasyonunun değişimi ölçülmüştür. Bu periyotlarda alınan filmler laboratuarlara getirilerek üzerinde alfa sayımı yapabilmek için iz kazıma yöntemi kullanılmıştır. Alfa duyarlı dedektörlerin üzerindeki izlerin sayısı 10×10 büyütme optik mikroskop kullanılarak belirlenmiş ve radon konsantrasyonuna karşı gelen iz yoğunluğu sonuçları elde edilmiştir. Bu çalışmada aynı zaman da ölçüm yapılan fakültelerde çalışan bazı akademik ve idari personele bulundukları ofislerde havalandırma, havalandırmanın mevsimsel değişimi türünde sorulardan oluşan bir anket uygulanmış ve elde edilen sonuçlar ölçülen radon aktivite konsantrasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. en çok havalandırma ilkbahar ve yaz mevsiminde yapılmıştır. Çalışma sonucunda ortalama mevsimsel radon yoğunlukları en düşük ($21,1 \text{ Bq/m}^3$) yaz mevsiminde, en yüksek ($63,1 \text{ Bq/m}^3$) kış mevsiminde ölçülmüştür. Bulunan bu değerlerin yapılan anket sonucu ile uyduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca fakülte binalarının katları arasında ölçülen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırmaları yapılmış ve üst katlara çıktıkça radon konsantrasyonunun azaldığı gözlemlenmiştir. Ölçüm sonuçları Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonunun (ICRP) belirlediği radon konsantrasyon değeri (evler için $200-600 \text{ Bq/m}^3$) ile karşılaştırılmış ve sonuçların bu sınır değerin altında çıktığı görülmüştür.

DETERMINATION OF RADON CONCENTRATION IN BUILDING IN SAKARYA UNIVERSITY CAMPUS REGION

SUMMARY

Keywords: Radon, LR-115 nuclear track detector, indoor radon concentration

In this thesis study, seasonal alternating radon in different buildings (faculties, residences, lodgings, administrative and academic units, etc.) in the SAÜ campus to measure indoor concentration radon activity concentrations at Sakarya University Campus Settlement, calculate annual radiological doses and create a radiological risk map of the campus area. and the factors affecting radon gas accumulation were determined.

According to the measurements made, the indoor radon density varies between 0,2 Bqm⁻³–149,53 Bqm⁻³. Annual average radon activity was found to be 38,7 Bqm⁻³, with an average annual effective dose of 1.09 mSv/y. In order to reach these results, LR-115 type plastic detectors were placed in offices and student classrooms of 32 officers and instructors in the campus campus of Sakarya University Campus and the change of seasonal radon concentration was measured every 3 months by replacing the detectors with new ones. Films taken in these periods were brought to the laboratories and track scraping method was used to perform alpha counting. The number of traces on alpha-sensitive detectors was determined using a 10x10 magnification optical microscope and the trace density results corresponding to the radon concentration were obtained. In this study, a questionnaire consisting of questionnaires such as seasonal variation of ventilation and ventilation was applied in the offices where some academicians and administrative staff working in faculties were measured and the results obtained were compared with measured radon activity concentration results. most ventilation was done in spring and summer. The average seasonal radon intensities at the end of the study were lowest (21,1 Bq/m³) in the summer and the highest (63,1 Bq/m³) in the winter. These values were found to be in agreement with the results of the questionnaire. In addition, radon activity concentrations measured between the floors of faculty buildings were compared and it was observed that the radon concentration decreased as they moved upstairs. The measurement results were compared with the radon concentration value (200-600 Bq/m³ for houses) determined by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) and the results were below this limit.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyanın oluşumu ile birlikte insanın herhangi bir payı olmadan doğada var olan uzun yarı ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler, vücudumuzda bulunan doğal radyonüklidler ve dış uzaydan gelen kozmik ışınlar sonucunda yaşadığımız ortamda doğal bir radyasyon düzeyi oluşmaktadır. Doğal radyoaktivitenin en önemli kaynaklarından biri toprakta bulunan Ra-226'nın bozunması sonucu oluşan asal gaz Rn-222'dir.

Aynı zamanda yaşanan yerin tüm yüzey kaya, toprak yapılarında ve ikame edilen evlerin inşaatında kullanılan yapı malzemelerinin içinde bulunan uranyum, toryum gibi doğal radyoaktif maddelerin bozunması sonucunda ortama salınan radyoaktif radon ve toron gazları da radyasyon miktarının büyüklüğünü etkileyen en önemli faktörlerden biri olması sebebiyle çevresel radyoaktivite çalışmalarında önemli bir yere sahiptir.

Radon ve ^{214}Po ve ^{218}Po (kısa yarı ömürlü radon bozunum ürünleri) sebebiyle vücuda alınan yıllık doz miktarı tüm doğal radyoaktif kaynaklardan alınan yıllık efektif doz miktarının yarısını oluşturmaktadır. Havadan daha ağır olan radon gazı yerden 100 cm mesafede kalma eğiliminde olup, kapalı ortamdaki hava binada kalma eğilimindedir. Bunun sonucu olarak kapalı ortamlarda solunum yoluyla alınan radon ve ürünlerinden yayılan alfa parçacıkları akciğerlerde mutasyona ve kanserojen etkilerin hızlanmasına sebep olur (Botkin ve Keller, 1988; Çağatay ve Çobanoğlu, 1997).

Radyoaktif bir gaz olan radonun, radyumun bozunmuş izotoplarından oluştuğu keşfedildi. 1899 yılında Ernest Rutherford ve Robert B. Owens, araştırmalarında toryum elementinin radyoaktif bir gaz yaydığını, Pierre ve Marie Curie de radyumdan da radyoaktif gaz çıktığını gözlemledi. 1900 yılında Friedrich Ernst Dorn

tarafından radyum ampullerinde bir gazın biriktiği görüldü. Dorn, bu gazın radon olduğunu keşfetti. Radonu ilk izole eden kimyagerler olarak 1908 yılında William Ramsay ve Robert Whyllaw Gray, radonun en ağır gaz olduğunu yayınladıkları bir raporda açıkladı (Eskiler, 2017).

Madencilerin yüksek radon konsantrasyonuna maruz kalmaları sonucu kötü huylu kansere yakalandıkları yaygın olarak bilinmektedir. 1970'lerde, mağaralar gibi diğer yeraltı oluşumlarında daha yüksek radon konsantrasyonlarının bulunabileceği anlaşılmıştır. 1970'lerin ortalarında, dünyadaki birkaç mağaradaki radon konsantrasyonları izlenmeye başlamıştır. Araştırma iki açıdan ele alınmıştır. Turistlere açık mağaralarda çalışan insanların sağlığını ve mağarabilimci ve ziyaretçilerin sağlığı olarak incelenmiştir (Przylibski, 1999).

Bina içi solunan havanın niteliği zamanlarının yüzde 90'ını kapalı mekânlarda geçiren insanlar için önemlidir. Bu sebeple kapalı ortamlarda biriken radon, insanların maruz kaldığı en önemli çevresel kirleticilerden biri olarak tanınmaktadır (Nagda, 1994).

Radonu tarihsel olarak incelediğimizde, 16. ve 18. yüzyılda sırası ile Almanya ve Çekoslovakya' da çalışan maden işçilerinde solunum sistemi hastalıkları görülmüş, yeraltı uranyum madenlerinde çalışıp ölen işçilerin yarısının akciğer kanserinden kaynaklı öldüğü belirlenmiştir. Sonrasında Rn-222 ve onun kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri üzerine Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan madenlerde yapılan çalışmalar sonucu akciğer kanseri ile radon ve bozunum ürünleri arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu hastalıklardan sebep zamanının çoğunu ev ve iş yerlerinde geçiren insanlar için kapalı alan Rn-222 konsantrasyon dağılımının belirlenmesi ve önlemlerin alınması gereklidir (Qureshi ve diğ., 1999).

Radon için tavsiye edilen düzeyler Uluslararası Atom Enerji Ajansı, (IAEA-BSS) Temel Güvenlik Standartları'na göre, sırası ile evlerde ve işyerlerinde 200-600 Bq/m³, 500-1500 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Türkiye'de ise müsaade edilen radon

konsantrasyonu TAEK Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'ne göre, evlerde 400 Bq/m³, işyerlerinde 1000 Bq /m³ olarak belirlemiştir.

Kayaçlarda uranyum ve toryum konsantrasyonları İsveç'te (Commission Swedish Radon, 1983), tek katlı evler ve apartman dairelerinde farklı türdeki yapı malzemelerinin radon seviyelerini araştırmak için Almanya'da bina içi radon değerlerinin ortalamaları incelenmiştir. (Heller ve Poulheim , 1992; Durrani & Bull , 1987). Hindistan'daki bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi farklı zamanlarda yapılmış çalışmalarda (Ramachandran ve Subba Ramu , 1994; Durani ve Bull, 1987) incelenmiştir. Son zamanlarda dünyada ve ülkemizde kapalı alan radon ve ürünlerinin aktivitesini belirlemek amacıyla yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur ve bu türdeki çalışmalar halen güncelliğini koruyarak devam etmektedir.

Radon, Uranyum-238 ailesinin bir elemanıdır ve radyoaktif bir soygazdır. Radium-226 1600 yıl yarı ömürlü bir alfa yayınlayıcısıdır ve radyoaktif bozunumu sonucunda radon oluşmaktadır. İnsanların aldığı toplam radyasyon dozunun yaklaşık üçte biri, iç ortamdaki kısa ömürlü radon bozunma ürünlerinin solunmasından kaynaklanmaktadır. Kapalı alanda toron konsantrasyonunun katkısı genellikle kısa yarı ömür nedeniyle ihmal edilebilir. Bu ürünlerin akciğerlere ulaşması, havada bulunan su damlacıkları ve tozlara tutunması ile oluşan radyoaktif aerosollerin solunmasıyla yolu ile olur. Akciğer dokusunda bozunumun devam etmesi zaman içerisinde kansere sebep olmaktadır (Ramola ve ark., 2005).

İnsanların aldığı yıllık doğal radyasyon dozu toplamda ortalama 2,4 mSv/y'dır. Bu radyasyon dozu insanların yaşadıkları ortamın fiziksel özelliklerine, yaşam standartlarına, ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişir. Radon gazı sebebiyle maruz kalınan radyasyon dozu ise yıllık doğal radyasyon dozu toplamının yaklaşık yarısıdır (1,3 mSv/y) (UNSCEAR, 2000).

Kapalı mekanlarda insanların maruz kaldığı radyasyon dozunun belirlenmesi ve mevsimsel değişiminin gözlenmesi radyolojik risk açısından değerlendirilerek radon gazı birikimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi oldukça büyük bir öneme sahiptir.

İnsanların doğal kaynaklardan aldıkları radyasyon dozlarını belirlemeye yönelik çalışmalar ülkemizde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR), Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi (ICRP), Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu (EURATOM) gibi uluslararası ve milli kuruluşlar tarafından yapılmaktadır.

Son zamanlarda Dünyada ve ülkemizde kapalı alan Radon ve ürünlerinin aktivitesini belirlemek amacıyla yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur ve bu türdeki çalışmalar halen güncelliğini koruyarak devam etmektedir. Henüz Sakarya Üniversitesi Kampüs bölgesinde bu türde bir çalışma yapılmamıştır. Bu proje çalışması öğrenci ve personel sayısının neredeyse 65.000'lere ulaştığı üniversitemizi içine alan bir bölgeyi kapsamaktadır. Bu tez çalışmasında bina içi radon konsantrasyonunu belirlemek için uluslararası literatürde kullanılmakta olan materyaller ve metotlar kullanılmıştır. İnsanların zamanlarının büyük bir kısmını geçirdiği kapalı alanlardaki (sınıf, ofis, seminer salonu, kütüphane) ortalama radyasyon dozunun hesaplanması ve oluşabilecek sağlık risklerine dikkat çekilmesi ve alınabilecek basit önlemler belirtilmiştir.

Radon gazı ölçüm detektörleri ilk olarak 2013 ile 2014 yılları arasında yaz mevsiminde yerleştirilecek şekilde, toplamda dört mevsimden oluşmak üzere bir yılı kapsayacak bir çalışma yapılmıştır. Elde edilen verilerle Sakarya Üniversitesi Kampüs bölgesinde bulunan fakülteler için bina içi radon yoğunluğu hesaplanmıştır. Ayrıca mevsimlere göre fakültelerin kendi aralarında radon yoğunluğu karşılaştırılmaları yapılmıştır.

1.1. Literatür Özeti

Bina içi Radon ölçümleri üzerine tüm dünyada ölçüm teknikleri kullanılarak yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Literatürde, bölge veya ülke bazında fon radyasyonunun belirlenmesine yönelik birçok araştırmaya rastlanmaktadır.

Dünyada genelindeki bazı çalışmalar;

İsviçrede binaların oturma odalarında ortalama radon konsantrasyonu yaklaşık 60-70 Bq m⁻³'tür, bu yıllık doz yaklaşık 2.2 mSv'dir, ancak 1000 Bq m⁻³'ü aşan değerler de bulunmuştur (Medici ve ark., 1994).

Yamanashi Bölgesi Masutomi radium spa bölgesinde ve Metropolitan Tokyo'daki birkaç metro istasyonunda pasif radon ²²⁰Rn ayırıcı dozimetrelerini kullanan bir dizi radon ve ²²⁰Rn anketi gerçekleştirildi. Masutomi'de en yüksek dış radon konsantrasyonu 569.8 ± 59.5 (SE) Bqm⁻³ ve en düşük 7.4 ± 0.1 (SE) Bqm⁻³ iken, en yüksek açık hava Rn-220 konsantrasyonu 142.8 ± 52.7 Bqm⁻³ bulunmuştur (Doi ve ark., 1996).

İtalya' nın Parma eyaletindeki 26 ilçede bulunan 49 anaokulunda ve oyun okullarında, yüz ölçüm ve sekiz ölçüm yapıldı. Kullanılan yöntem, 1994'ün ortasından 1995 yılının ortasına kadar seçilen odalara asılan Katı Hal Nükleer İz Dedektörlerin (SSNTD'ler) dahil edilmesi idi. Kapalı radon seviyeleri genellikle 10-108 Bqm⁻³, ortalama aktivite konsantrasyonu 30±19 Bqm⁻³'tür. Ortalama yıllık radon etkili doz eşdeğeri 0,5 mSv olarak değerlendirildi (Malanca ve ark., 1998).

Hindistan'ın Himachal Pradesh kentinde (H.P.) Hamirpur ve Una bölgelerinde bulunan uranyum taşıyan alanlar çevresinde bir dizi köyde çalışma gerçekleştirildi. Seviyeler yapı malzemesinin doğasına, yılın farklı mevsimlerine ve toprak türüne göre analiz edildi. Radon konsantrasyonu için bir yıllık ortalama minimum 19,7'den maksimum 146,3 Bq/m³'e değişirken minimum ve maksimum toron konsantrasyonları sırasıyla 9,1 ve 70,7 Bq/m³ bulundu (Virk ve Sharma, 2000).

Mumbai'deki çok katlı bir binanın kapalı atmosferindeki radon (Rn-222) seviyeleri, dört mevsimi kapsayacak şekilde ölçülmüştür. İzleme, 2.5 × 2.5 cm ebatlı Kodak-115 tipi Katı Hal Nükleer İz Dedektörü (SSNTD) filmleri kullanılarak gerçekleştirildi. Ölçülen kapalı radon seviyeleri, zemin kat seviyesinde 41 Bqm⁻³ ile 19.kat

seviyesinde 15 Bqm^{-3} arasında değişen yoğunlukla azalan bir eğilim göstermiştir (Shaikh ve ark., 2003).

Pakistan'da Fatima Jinnah Women University'de (FJWU) radon ölçümleri yapıldı. Katı Hal Nükleer İz Dedektörleri (SSNTD'ler) etkili olduğundan, bu ölçümler polietilen torbalarda CR-39 detektör kullanılarak pasif, zamana bağlı bir yöntemle gerçekleştirilmiştir. Dedektörler, altı aydan fazla bir süre iç ve dış mekanlara bırakıldı. Detektörler NaOH kullanılarak kazılmıştır ve iz yoğunluğu radon konsantrasyonuna dönüştürülmüştür. Eski binalarda radon konsantrasyonu 31 ila 213 Bqm^{-3} arasında değişmiştir ve eski binalarda hafif yüksek değerler gösteren yeni binalarda 27 ila 143 Bqm^{-3} arasında değişmiştir (Khan ve ark., 2005).

Kosova'daki okullarda kapalı alan radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi gözlenmiştir. Bina içi radon (^{222}Rn) konsantrasyonları Mart, Mayıs, Ağustos ve Aralık aylarında beş ilkokulda 15 odada ve Kosova'daki bir lisenin altı odasında alfa sintilasyon hücreleri kullanılarak ölçülmüştür. Sadece bir odadaki değer 200 Bqm^{-3} değerini aşmıştır. Değerler Aralık'tan Ağustos'a ve bodrum kattan birinci kata kadar düşüş göstermiştir (Bahtijari ve ark., 2007).

Piedmont (İtalya) 'daki kapalı alan radon konsantrasyonları üç farklı tespit tekniği kullanılarak yıllık ve mevsimsel değişimleri incelemiş ve Castagnole Piemonte ve Nichelino sakinleri için ortaya çıkan efektif doz eşdeğerliği sırasıyla $0,7$ ve $0,5 \text{ mSv/y}$ dır (Gervino ve ark., 2007).

Napoliten bölgesinde bulunan okullarda radon konsantrasyonları. İtalya'nın Napoli kentindeki metropol bölgesinde bulunan 30 okulda bir radon araştırması gerçekleştirildi. Radon konsantrasyonu, LR-115 detektörleri ile SSNTD (Katı Hal Nükleer İz Dedektörleri) yöntemi kullanılarak ölçüldü. Zamana bağlı ölçümler okul binaları içinde farklı konumlarda (sınıflar, laboratuvarlar ve ofisler) birbirini izleyen 6 aylık dönemleri kapsamıştır. Aritmetik ortalama yıllık radon konsantrasyonu 144 Bqm^{-3} , geometrik ortalama 86 Bqm^{-3} tür. standart sapmalar sırasıyla 7 Bqm^{-3} ve 3 Bqm^{-3} tür. Radon konsantrasyonlarının 200 Bqm^{-3} , 400 Bqm^{-3} ve 500 Bqm^{-3}

referans değerlerini aştığı bölümlerin fraksiyonları sırasıyla % 21,3, % 7.6 ve % 4.5'dir (Venosove ark., 2009).

Kosova ve Metohija'daki 300'den fazla kırsal ve kentsel konutta kapalı radon ölçümlerinin sonuçları incelenmiştir. Tüm ölçümler, benzer protokollerle CR-39 katı hal nükleer izi detektörleri kullanılarak Kosova'nın önemli bir kısmını kapsayacak şekilde çalışma yapılmıştır. Kapalı radon konsantrasyonlarının en yüksek ortalama değerleri sırasıyla 512 ve 452 Bq/m³ Lipljan ve Vitina bölgelerindeki kırsal yerleşim yerlerinde bulunmuştur (Milić ve ark., 2010).

Galiçya'daki (İspanya) devlet liselerinde ²²²Rn konsantrasyonu ölçülmüştür. İber Yarımadası'ndaki en büyük radon eğilimli alan olan Galiçya'da (NW İspanya) 58 devlet lisesinde gerçekleştirilen ²²²Rn ölçümü yapıldı. Kaydedilen maksimum değer 2084 ± 63 Bqm⁻³ bulunmuştur (Llerenave ark., 2010).

Mısır'ın İskenderiye şehrinde bulunan 17 yerleşim bölgesine ait 68 konutta mevsimsel kapalı radon ölçüm çalışmaları yapılmıştır. LR-115 Tip 2 filmleri, 1 yılı kapsayan dört mevsim 3 ay boyunca radon gazına maruz kalmıştır. Kapalı mekan işgal katsayısı 0,8 ve iç ortamdaki radonun denge faktörü için 0,4 katsayısı olduğu düşünüldüğünde, incelenen evlerde tahmin edilen yıllık ortalama kapalı alan radon konsantrasyonunun 45±8 ila 90±13 Bqm⁻³ olduğu bulunmuştur. Genel ortalama değer 65±10 Bq m⁻³. Gözlemlenen yıllık ortalama değerler dünya ortalaması olan 40 Bqm⁻³'ten daha büyüktür. Kapalı radonun mevsimsel değişimleri, kış mevsiminde en yüksek radon konsantrasyonlarının gözlemlendiğini, yaz mevsiminde ise minimum seviyelerin gözlemlendiğini göstermektedir İncelenen alanın sakinleri tarafından alınan ortalama yıllık tahmini etkili dozun 1.10 mSv olduğu tahmin edilmiştir. Yıllık tahmini etkili doz önerilen eylem seviyesinden daha azdır (3–10 mSvy⁻¹) (El-Zaher, 2011).

Nijerya'nın Oke-Ogun bölgesinde ortaokullarda nükleer iz dedektörleri ile radon ölçümleri yapılmıştır. Radon ölçümleri, Güney-Batı, Nijerya'daki Oke-Ogun bölgesinde, katı hal nükleer iz dedektörleri (SSNTD'ler) ile ortaokullarda

gerçekleştirilmiştir. Oke-Ogun bölgesinde bulunan 35 liseye yetmiş adet CR-39 dedektörü dağıtıldı. CR-39 dedektörleri okullarda 3 ay süreyle bırakılmış ve daha sonra 3 saat 90 ° C'de NaOH 6 N solüsyonu içinde kazılmıştır. Parçalar mikroskopta manuel olarak sayılmış ve çalışma yapılan bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $45 \pm 27 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak bulunmuştur (Obed ve ark., 2011).

Fransa'da Bari (Apulia bölgesinde, Güney İtalya) 'daki üniversite hastanesinin 28 farklı binasında, radon konsantrasyonlarını altı aylık periyotlarla ölçmüştür. Radon konsantrasyonunu ortalama değer olarak 48.0 Bq/m^3 ($6.5\text{--}388.0 \text{ Bq/m}^3$ aralığında) olarak bulunmuştur (Vimercati ve ark., 2018).

İran'ın Khorramabad Şehrindeki Konutlarda Radon Ölçümü pasif alfa-track dedektörü (CR-39) kullanılarak yapılmış ve kapalı alan radon seviyesi incelemiştir. Konutlardaki radon konsantrasyonu ortalama değeri $43.43 \pm 40.37 \text{ Bq / m}^3$ olup 1.08 ile 196.78 Bq / m^3 arasında değişmiştir (Hassanvand ve ark., 2018).

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de kapalı mekanlarda insanların maruz kaldığı radyasyon dozunun belirlenmesi amacıyla Radon gazı düzeylerinin ölçülmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ülkemizde evlerde radon yoğunluklarını belirlemeye yönelik çalışmaları 1984 yılında TAEK başlatmıştır (Çelebi, 2008). Yapılan bazı çalışmalar;

Adana ilinde her biri farklı tipteki malzemelerden yapılmış evlere Ocak – Şubat ve Haziran – Temmuz aylarında dedektörler yerleştirilmiştir. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre kış dönemi radon yoğunluğu 15 ile 64 Bq/m^3 , yaz dönemi ise 5 ile 64 Bq/m^3 arasında değiştiği gözlenmiştir (Değerliler, 2007).

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karaelmas Yerleşkesi Merkez Kütüphanesinin 12 ayrı noktasına 2008 yılı yaz mevsiminde CR-39 pasif nükleer iz dedektörleri yerleştirilerek radon konsantrasyonları ölçülmüş ve ortalama radon konsantrasyonunun $67,1 \text{ Bq/m}^3$ olduğu bulunmuştur (Kürkçüoğlu ve ark., 2009).

Sakarya ilinin Adapazarı ilçesinde kış döneminde radon konsantrasyonunu belirlemek için Organize Sanayi Bölgesinde bulunan işyerlerine, okullara ve konutlara, Cr-39 pasif radon dedektörü yerleştirilmiştir. Sırasıyla fabrika, okul ve konutlarda ölçülen ortalama ^{222}Rn konsantrasyonu $51,00 \text{ Bq/m}^3$, $65,48 \text{ Bq/m}^3$ ve $59,14 \text{ Bq/m}^3$ bulunmuştur. Radondan bir yılda alınan etkin doz eşdeğeri fabrikalarda $0,36$, okullarda $0,47$, konutlarda $1,49 \text{ mSv}$ olarak tespit edilmiştir (Kapdan, 2009).

Kilis ilindeki evlerde bina içi radon aktivitesinin ölçümü için katıhal nükleer iz detektörleri kullanılmıştır. Evlerdeki ortalama radon konsantrasyonu 47 Bqm^{-3} olarak bulunmuş, radon efektif doz hızının $0,0756$ ile $4,3 \text{ mSvy}^{-1}$ arasında değiştiği gözlenmiştir (Can, 2011).

Trabzon ili konutlarında radon seviyesi ve iç ortam gamma dozları. Kapalı alanda radon aktivite konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri Trabzon ilinde 97 konutta belirlenmiştir. Yıllık ortalama kapalı radon aktivite konsantrasyonu $8-583 \text{ Bqm}^{-3}$ arasında değişmiştir (Kurnaz ve ark., 2011).

Kastamonu Merkezdeki Okul Binalarında Havadaki Radon Aktivitesinin Ölçülmüştür. İl merkezindeki ilk ve ortaöğretim binalarının içindeki radon aktivitesi, Genitron Instruments tarafından üretilen AlphaGUARD PQ 2000 PRO radon detektörü ile ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde elde edilen ortalama radon aktivitesi Vali Aydın Arslan İlköğretim Okulunda $15,95 \pm 6,68 \text{ Bqm}^{-3}$, Kız Meslek Lisesinde $23,46 \pm 8,76 \text{ Bqm}^{-3}$, Gazi Paşa İlköğretim Okulunda $58,98 \pm 19,77 \text{ Bqm}^{-3}$, Endüstri Meslek Lisesinde $33,78 \pm 11,86 \text{ Bqm}^{-3}$, Ali Fuat Darendel İlköğretim Okulunda $11,87 \pm 5,53 \text{ Bqm}^{-3}$, Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulunda $36,94 \pm 12,85 \text{ Bqm}^{-3}$, İsfendiyarbey İlköğretim Okulunda $18,03 \pm 7,24 \text{ Bqm}^{-3}$ olarak ölçülmüştür (Aras, 2011).

Süleyman Demirel Üniversitesi'nde 2010 yılında Mayıs ile Temmuz ayları arasında beş binada, bina içi radon konsantrasyonları CR-39 nükleer iz dedektörleri ile ölçülmüştür. Bina içi ortalama radon konsantrasyon sonuçları Ziraat Fakültesinde 259 Bqm^{-3} , Hukuk Fakültesinde 279 Bqm^{-3} , Atatürk Spor Salonunda 265 Bqm^{-3} ,

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesinde 324 Bqm^{-3} ve Bilgi İşlem Merkezinde 173 Bqm^{-3} ölçülmüştür. Yıllık etkin doz eşdeğerleri ise sırayla 2.7 mSv/y , 2.9 mSv/y , 2.8 mSv/y , 3.4 mSv/y ve 1.8 mSv/y bulunmuştur (Kürkçüoğlu ve Bayraktar, 2012).

Trabzon İlindeki Okullarda Radyolojik Düzeylerin Değerlendirilmesi için 16 lisede ilkbahar ve sonbahar aylarında LR-115 katı hal nükleer iz detektörleri kullanılarak kapalı hava radon (^{222}Rn) konsantrasyonları ölçülmüştür. Okullarda ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının ilkbahar mevsimi için $31\text{-}157 \text{ Bqm}^{-3}$ ve sonbahar mevsimi için $38\text{-}114 \text{ Bqm}^{-3}$ arasında değiştiği görülmüştür (Çevik ve ark., 2013).

Denizli ve çevresinde termal alanlarda bina içi radon düzeylerinin belirlenmesi için Denizli jeotermal alanlardaki bazı termal otel odalarında radon ölçümleri LR-115 katıhal nükleer iz dedektörleri kullanılarak ölçülmüş ve radon konsantrasyonlarının $57,71 \text{ Bqm}^{-3}$ ile $275,7 \text{ Bqm}^{-3}$ arasında değiştiği gözlenmiştir (Baran, 2013).

Eskişehir İlçelerinde Radon Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimini değerlendirmek için Eskişehir ili ilçelerinde (12 ilçe ve Kırka beldesi) 2012 ile 2013 yılları arasında, evlerde radon gazı yoğunluklarını ölçmek ve mevsimsel değişimini incelemek amacıyla yapılmıştır. Dört mevsim (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) için 3 aylık periyotlar şeklinde toplamda 122 evde LR-115 tipi detektörler kullanılarak radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Detektörler, bir adet yatak odası, bir adet oturma odası ve bunların yedekleriyle birlikte evlere yerleştirilmiştir. Ölçümlere ilk olarak kış mevsiminde başlanmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre radon yoğunluğu en fazla kış ve sonbahar mevsimlerinde, en düşük olarak yaz ve ilkbahar mevsimlerinde gözlemlenmiştir. Yapılan analizlere göre ev içi radon yoğunluğu 10 Bqm^{-3} ve 565 Bqm^{-3} aralığında değişmektedir (Akkurt, 2014).

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Edebiyat Fakültesi'nde, kapalı radon konsantrasyonlarının ölçümleri, LR-115 dedektörlü SSNTD (Katı Hal Nükleer Takip Dedektörleri) yöntemi kullanılarak, yaklaşık 1 aylık süren iki araştırma için gerçekleştirilmiştir. Fakülte aritmetik ortalama radon konsantrasyonu 161 Bqm^{-3} olup $40\text{-}335 \text{ Bqm}^{-3}$ aralığındadır. Ölçülen kapalı alan radon verisine dayanarak,

UNSCEAR metodolojisine göre Fakülte personeli tarafından alınan yıllık etkili dozların 0,79 ile 4,27 mSv arasında olduğu tahmin edilmektedir (Alkan ve Karadeniz, 2014).

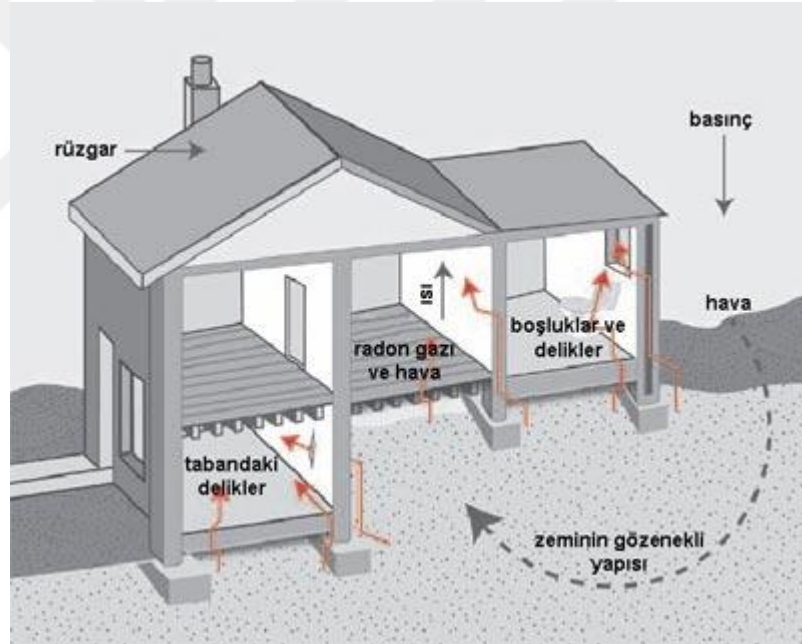
Kütahya ilinde bina içi radon konsantrasyonları, LR-115 tip II Katı Hal Nükleer Takip Dedektörleri kullanılarak, Kütahya ilinin 100 konutunda ölçülmüştür. Dedektörler, Mart - Mayıs 2010 döneminde üç kez oturma odalarına yerleştirildi. Yıllık kapalı alan radon konsantrasyonları ortalama $120.8 \pm 2.0 \text{ Bqm}^{-3}$ olan 74.1 ± 2.4 ila $272.3 \pm 4.2 \text{ Bqm}^{-3}$ arasında değişmektedir (Şahin ve ark., 2016).

Sakarya, Türkiye Örencik ve Doğançay köylerinde kapalı alan radon konsantrasyonu ölçümleri LR-115 tip-II Katı Hal Nükleer Yol Dedektörleri (SSNTD) kullanılarak yapıldı. Her bir çalışma bölgesinde on iki radon istasyonu belirlendi ve her bir konutta LR-115 filmleri odalara yerleştirildi. Radon aktiviteleri kış mevsiminde 137 ila 1319 Bqm^{-3} , ilkbahar döneminde ise 76 ila 447 Bqm^{-3} arasında ölçülmüştür (Ertuğral ve ark., 2016).

Osmaniye ilindeki 15 sağlık ocağının 39 odasında CR-39 katı hal nükleer iz detektörleri yerleştirilerek iç mekan radon ölçümü yapılmıştır. Kapalı radon konsantrasyonlarının 8-108 Bqm^{-3} arasında değiştiği görülmüştür (Damla ve ark., 2017).

BÖLÜM 2. BİNA İÇİ RADON

Radon gazı, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (Ra-226) bozunması sırasında salınan, doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biridir. Radonun yaklaşık 4 günlük bir radyoaktif bozunma süresi vardır ve radyoaktif bozunma sonucunda alfa ışınimleri ve kimyasal olarak daha aktif torun gazları yayar. Bu bozunma sırasında sadece radon toprak yüzeyine doğru yükselir oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içinde kalır.



Şekil 2.1. Radon gazının standart bir ev içerisinde konsantrasyon değişimi (Ertuğral, et al., 2013).

Radon gazı bina içerisine asma kat boşlukları, duvar arası boşluklar, zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, tesisat boşluklarından girer. Binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlar arasında toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı ve radyum miktarı, toprakla temasta olan yapının yüzey alanı, izolasyon çeşidi, binadaki havalandırma sıklığı, iklim şartları, hava sıcaklığı ve

basınç farkları (Şekil 2.1.) yer alır. Bina içi radon konsantrasyonunu arttıran etkenler arasında musluk sularında bulunan radon, bina yapımında kullanılan malzemeler, binada kullanılan doğal gaz da yer almaktadır. Toprak kaynaklı yapı malzemelerinin radon gazı konsantrasyonu atmosferdekinden yaklaşık 10^3 - 10^4 kat daha fazladır. Bina yapımında kullanılan malzemeleri ve topraktan, dış ortam havasından, sudan ve doğal gazdan kullanımından radonun binaya giriş hızı sırasıyla 60 kBq/gün, 10 kBq/gün, 4 kBq/gün ve 3 kBq/gün'dür (Yücel ve Arıkan, 2001).

Radon gazının havadan ağır olması nedeniyle kapalı alanlarda yerden genellikle 100 santimetre mesafede birikir. Günümüzde artan bina yalıtım işlemi bina iç ve dış basınç farkının daha da artmasına ve bina içinde biriken radon gazının dışarı çıkamamasına sebep olmaktadır. (Güler ve Çobanoğlu , 1997).

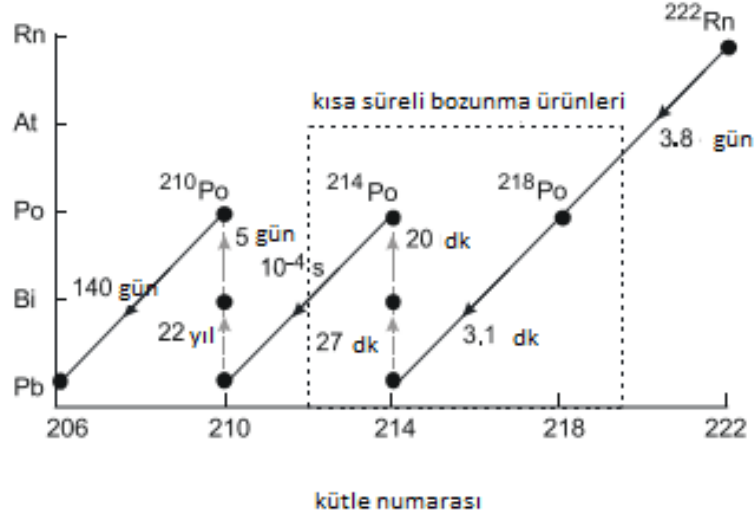
Toprak özelliklerine ve basınca bağlı olarak topraktaki ve havadaki radon gazı miktarı değişkenlik gösterir. Radon gazının birikmesi için en ideal ortamlar kapalı ortamlardır (Güenalp, 2012).

2.1. Radon

Radon 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında, Radyum-226'nın bozunması sonucu ortaya çıkan kokusuz, renksiz, tatsız gazdır. Periyodik tablonun 8A grubunda yer alır. Asal bir gaz olup, diğer asal gazlar ile karşılaştırıldığında erime noktası, kaynama noktası, kritik sıcaklığı, kritik basıncı en yüksek olan ve ayrıca kütlesi en ağır olan gazdır. -61,8 °C sıcaklıkta sıvılaşır -71 °C sıcaklıkta donması fiziksel özellikleri arasında yer alır. Radyoaktif ışıma yapar ve inert bir gazdır. Yarı ömrü 3,8 gündür (Cothorn ve Smith, 1987).

Radon soğuk suda çözünür ve suyun sıcaklığı arttıkça radonun çözünürlüğü azalır. Radonun bu özelliği, çamaşır ve bulaşık yıkamak, duş almak gibi evde su ile ilgili faaliyetler sırasında ortam havasına salınmasına neden olur (Cothorn ve Smith, 1987).

Doğal radyoaktif gaz olan radon, 22 yıllık bir yarı ömre sahip ^{210}Pb 'ye ulaşmadan önce bir dizi kısa ömürlü bozunma ürününü meydana getirir ve en son ve son olarak da kararlı ^{206}Pb 'ya bozunur. Radonun bozunma şemasının ayrıntıları Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. ^{222}Rn kısa ömürlü bozunum ürünleri (Kendall ve Smith, 2002)

Radon-222 solunduğunda solunum yolu içinde kısa yarı ömürlü radyoizotoplara dönüşür. Özellikle, radonun kısa yarı ömürlü (<30 dk) ve alfa parçacığı yayınlayan Polonyum-218 ve Polonyum-214 radyoizotopları (Şekil 2.2) akciğerlere yerleşerek doz alımına ve akciğer kanseri riskine neden olur (ICRP, 2010).

Polonyum-214'ü takiben tüm bozunma ürünleri nedeniyle akciğere verilen doz, Kurşun-210'un çok uzun bozulma süresi nedeniyle nispeten önemsizdir (Bochicchio ve ark., 1995).

2.2. Radon Gazının Binaya Giriş Yolları

Müstakil evlerde veya bodrumsuz apartmanların zemin katlarında, en önemli radon kaynağı toprakta bulunan radyumdur. Topraktaki radyum konsantrasyonu genellikle 10 Bq/kg ila 50 Bq/kg aralığındadır. Toprak gazındaki tipik radon konsantrasyonları 10000 Bq/m³ ile 50000 Bq/m³ aralığındadır. Zeminden binaya radon giriş

potansiyeli, topraktaki Radyum-226'nın aktivite seviyesine ve toprağın hava geçirgenliğine bağlıdır (Bochicchio ve ark., 1995).

Radonun kayalardan ve topraklardan salınması, büyük ölçüde uranyum ve radyumun bulunduğu toprağın mineral tipleri tarafından kontrol edilir. Radon gazı minerallerden salındıktan sonra, yüzeye doğru olan göçünü etkileyen faktörler aşağıdaki gibidir (Scheib ve ark., 2013).

- Ana kayaç ve toprak iletim özellikleri
- Toprak geçirgenliği, drenaj ve nem içeriği
- Karbondioksit gazı ve yeraltı suyu dahil olmak üzere taşıyıcı akışkanların doğası
- Barometrik basınç, rüzgar, bağıl nem ve yağış gibi meteorolojik faktörler

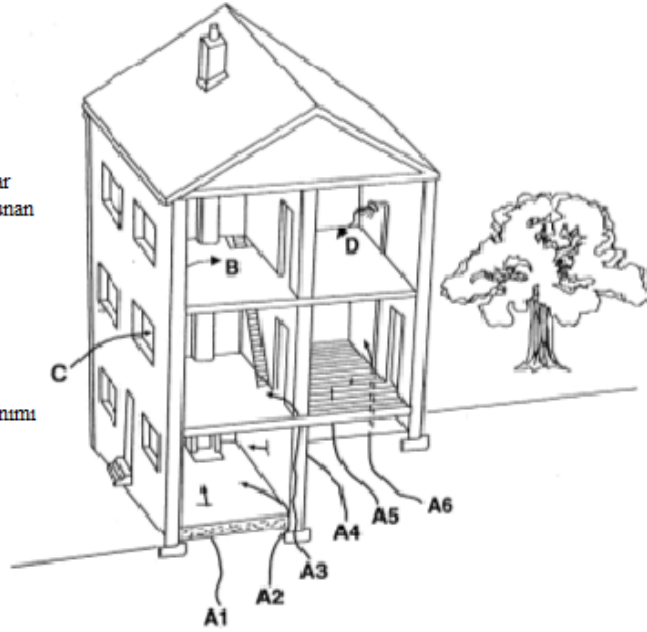
Radon gazı topraktaki çatlak bölgelerden yukarılara daha kolay ulaşır. Radon konsantrasyonunun deprem bölgelerindeki evlerde yüksek çıkmasının sebebi budur (Kulalı, 2009).

Radon, çamur gibi geçirgensiz topraklardan ziyade iri taneli kum ve çakıl gibi geçirgen topraklar boyunca daha kolay hareket eder. Killi toprakların, kumlu ve çakıllı topraklara nazaran radon geçirgenliği daha azdır. Geçirimli kayaçların (kireç taşı vb.) olduğu bölgelerde radon, daha çabuk göç eder (Atabey, 2013). Radyoaktif madde içeriğinin metamorfik ve volkanik kayaçlarda, tortul kayaçlardan fazla olduğu araştırmalar sonucunda belirlenmiştir (Tüfekcioğlu, 2015).

Radonun bina içine giriş yolları aşağıda Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.

- A Topraktan binaya radon girişi
 A1- Zemin çatlakları
 A2- Yapı bağlantıları
 A3- Duvardaki çatlaklar ve boşluklar
 A4- Zemin seviyesinin altında bulunan duvardaki çatlaklar
 A5- Asma katlardaki boşluklar
 A6- Tesisat boruları boşlukları

- B Yapı malzemelerinden radon salınımı
 C Bina dışından radon girişi
 D Sulardan radon salınımı



Şekil 2.3. Radon gazının bina içine giriş mekanizmaları (Bochicchio, et al., 1995)

Bina yapımında kullanılan malzemeler bina içinde radon konsantrasyonunun birikmesine sebep olan kaynaklardır. Kapalı bir ortamdaki radon konsantrasyonu düzeyi bina yapımında kullanılan malzemenin geçirgenliği ve duvarların yüzey hazırlığı binanın tasarımı, binanın havalandırması, zeminin gözenekliliği ve toprağın geçirgenliği gibi çeşitli faktörlere de bağlıdır. (Bayraktar, 2011).

Yapı malzemeleri U-238 içerir ve bazı malzemeler Ra-226 ve U-238'in daha yüksek yoğunluklarına sahiptirler. Doğal ve suni materyaller içinde aynı şey geçerlidir. Granitler ve materyal olarak kullanılan farklı türden ana kayalar Uranyum taşıyan doğal materyaller arasında bulunur. Killi toprakta yüksek oranda uranyum bulunur. Suni olarak elde edilen beton içinde de yüksek oranda uranyum bulunduran toprak çeşitleri olması muhtemeldir (Akkurt, 2014).

Kapalı alanların havalandırılması radon konsantrasyonunun azalmasını sağlamaktadır. Yaz aylarında havaların sıcak olması sebebiyle kapıların ve pencerelerin daha çok açılması bina içi radon konsantrasyonunun kış aylarında ölçülen radon konsantrasyon değerinden daha az çıkmasına sebep olur. Radon konsantrasyonunu arttıran diğer bir faktör ise ısı yalıtımını sağlamak amacı ile evlerde kullanılan çift kat camlar gösterilebilir (NCRP, 1998).

Duş, banyo, çamaşır yıkamak, bulaşık yıkamak, yemek yapmak ve tuvaletleri yıkamak için kullanılan şebeke suyundan bina içerisine radon salınımı oluşur. İçme suyundan gelen radon için en önemli maruz kalma yolu, yukarıdaki salınım mekanizmalarıdır (Cothem ve Rebers, 1990).

Sulardaki radon konsantrasyon değeri Bq/l ya da pCi/l birimleri ile verilir. Yer kabuğında bulunan radyoaktif katmanlarla temas halinde bulunan yer altı suları yüzey sularına göre daha radyoaktiftir. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi UNSCEAR, yüzey suları için tipik ^{222}Rn konsantrasyonunun 40 Bq/m^3 (1 pCi/l) değerinden daha düşük olduğunu ve yer altı suları için tipik ^{222}Rn konsantrasyonunun 4 ile 40 kBq/m^3 arasında değiştiğini bildirmektedir (UNSCEAR, 1982).

Genellikle binaların bodrum katlarında yüksek radon konsantrasyonları tespit edilmiştir. Zemin katlardan st katlara çıkıldıkça bina içi radon konsantrasyonu azalış göstermektedir (Shaikh ve ark., 2003).

2.3. Bina İçi Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi

Bina içinde, bina içi ve bina dışı sıcaklık farkları arttıkça havalandırma artmakta ve radon konsantrasyonu düşmektedir. Havalandırması olmayan ve suni olarak havalandırılan odalarda atmosferik basıncın etkisine dayanan deneylerden de hava basıncı düştüğünde radon konsantrasyonunun arttığı, hava basıncı yükseldiğinde konsantrasyonun düştüğü gözlemlenmektedir (UNSCEAR, 1982).

Mevsimsel olarak bakıldıkında radon konsantrasyonu oranını etkileyen faktörlerden biri kiş aylarında evler ısıtıldıkında evdeki basıncın az, dışarıdaki basıncın ise fazla olması ile bina içi radon konsantrasyonunun arttığı, yaz aylarında ise iyi havalandırılmış kapalı alanlarda dış ortam ile basınç farkı olmayacağı için ortamdaki radon konsantrasyonu seviyesinin azaldıkı gözlenmiştir (Borak ve ark., 1989).

2.4. Radon Gazının Sağlık Üzerine Etkileri

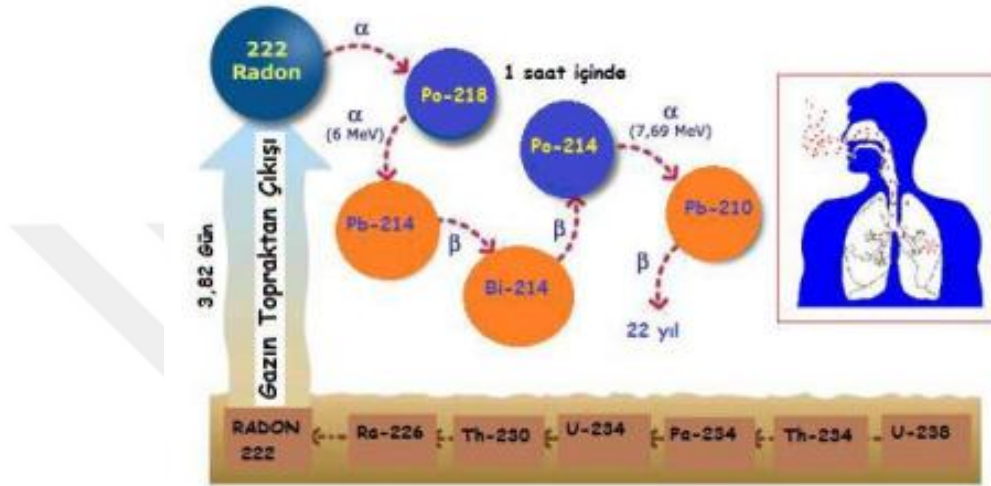
Bina içi solunan havanın kirliliğine neden olan zararlı gazlardan biri olan “Radon”, insan sağlığını ciddi olarak tehdit eden radyoaktif bir elementtir. 1960’li yılların ortalarından itibaren radonun her yerde bulunabileceği ve özellikle binalarda yoğunlaşması nedeniyle akciğer kanseri riski oluşturabileceği konusundaki bilgilerin yaygınlaşması, radyasyon maruziyeti konusuna yeni bir yaklaşım getirmiştir. Bu tarihten itibaren özellikle kapalı ortamlarda radon seviyelerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. İlk araştırmalar maden işçileri üzerinde yapılmıştır ve genel popülasyonda radon konsantrasyonları ve akciğer kanserleri arasındaki ilişki hakkında bazı kanıtlar bulunmuştur (Bayrak, 2012). Ülkemizde de 1984 yılında, TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) tarafından bu konuda çalışmalar başlatılmıştır.

Radonun teneffüs edilmesi ve temel olarak bozunma ürünlerinin ortaya çıkmasından kaynaklanan başlıca olumsuz sağlık etkisi akciğer kanseridir. Bu nedenle radon, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından kullanılan sınıflandırmaya göre Grup 1 (İnsanda kanser yaptığı kesin olarak kanıtlanmış maddeler) kanserojen madde olarak sınıflandırılmaktadır (Bochicchio ve ark., 1995).

Radon maruziyetleri genellikle bir bireyin geçtiğimiz on yıl boyunca evde maruz kaldığı havadaki ortalama radon gazı konsantrasyonu olarak ifade edilir ve birimi metreküp başına Becquerel’dir (Bq/m^3), saniyede bir ayrışmaya karşılık gelir. Bireysel bir evde bulunan kapalı radon konsantrasyonları genellikle sistematik olarak günlük ve mevsimsel değişime tabidir ve yıllık ortalama radon konsantrasyonu da genellikle çeşitli faktörlere bağlı olarak yıldan yıla önemli miktarda değişime maruz kalır (örn. meteoroloji ve havalandırma gibi) (WHO, 2009).

Radon gazı solunduğunda, radonun (^{218}Po ve ^{214}Po) birikmiş kısa ömürlü bozunma ürünleri tarafından yayılan yoğun iyonize alfa parçacıkları, DNA hasarına yol açar ve akciğerlerdeki biyolojik doku ile etkileşime girebilir (WHO, 2009).

Radon ve bozunum ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski olan akciğer kanserine sebep olur. Radonun radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünleri (Şekil 2.2.) Po, Bi ve Pb radyoizotoplarının akciğerlere ulaşması, havadaki su damlacıklarına ve tozlara tutunarak oluşan radyoaktif aerosollerin solunum yoluyla taşınmasıyla olur (Şekil 2.4.) (Günel, 2012).



Şekil 2.4. Uranyum çekirdeğinin bozunarak radon gazına dönüşümü ve radon gazının solunduktan sonra akciğerlerde bozunmaya devam etmesi (Pişkin, 2016)

Bir birey, radon ve bozunma ürünlerini içeren bir atmosferde zaman geçirdiğinde, vücudun en yüksek dozda iyonize radyasyona maruz kalan kısmı, bronş epitelidir, ancak ekstra olarak göğüs hava yolları ve deri de kayda değer dozlar alabilmektedir. Ek olarak, böbrek ve kemik iliği de dahil olmak üzere diğer organlar düşük dozlar alabilir. Bir kişi, radonun çözöldüğü suyu içerse, mide de radon açığa çıkacaktır (WHO, 2009).

Radon, sigaradan sonra akciğer kanserinin ikinci en önemli nedeni olarak kabul edilmektedir (WHO, 2009). Yaşam boyu sigara içenler, sigara içmeyenlere göre yaklaşık 25 kat daha yüksek bir akciğer kanseri riskine sahiptir (ICRP, 2010).

Radona maruz kalmanın iyi bilinen bir akciğer kanseri nedeni olduğu açıktır. Herhangi bir ülkede, her yıl meydana gelen ve radonun neden olduğu akciğer kanserlerinin oranı o ülkedeki kapalı radon konsantrasyonları tarafından belirlenir.

Radonun toplam akciğer kanserlerinin %10'unun sebebi olarak görüldüğü Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından belirtilmektedir. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'nün (OECD) 30 üye ülkesinin çoğunda konutlarda radon konsantrasyonlarının dağılımını belirlemek için anketler yapılmıştır. Dünya çapında ortalama kapalı alan radon konsantrasyonu $39 \text{ Bq} / \text{m}^3$ olarak tahmin edilmiştir (WHO, 2009).

2.5. Radon Aktivite Konsantrasyonu Sınır Değerleri

Devletler kendi belirlediği yada tavsiye edilen sınır değerleriyle zorunlu müdahale üst sınır değerlerini baz alarak kendi ülkesinde uygulayacağı radon sınır değerlerini belirler. Bu sınır değerler göz önüne alınarak zamanının çoğunu kapalı alanlarda geçiren insanlar için ortamda bulunan radon konsantrasyon değerini bilmek ve radon gazının bina içerisine giriş yollarını belirleyip ortamdaki konsantrasyonu azaltacak önlemleri almak gereklidir.

Kapalı alanlar için belirlenen ve kabul gören radon sınır değerleri; ICRP ve WHO tarafından da kabul edilen Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) tarafından belirlenen $200\text{-}600 \text{ Bq}/\text{m}^3$ değerleri ile Avrupa birliğinin kullandığı yeni binalarda $200 \text{ Bq}/\text{m}^3$, eski binalarda $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$ değerleridir. Ülkemizde ise TAEK tarafından evler ve iş yerleri için sınır değerler belirlenmiştir ve bu sınır değerler sırası ile $400 \text{ Bq}/\text{m}^3\text{-}1000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 'tür. Dünya sağlık örgütü (WHO) $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 'lük bir referans seviyesini tavsiye etmektedir (Tablo 2.1.).

Tablo 2.1. Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m^3) (TAEK, 2018)

A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB*	400
Danimark	400	Kanada	800	ICRP**	400
Fransa	400	Lüksembu	250	WHO***	100

*Avrupa Birliği

**Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi

***Dünya Sağlık Örgütü

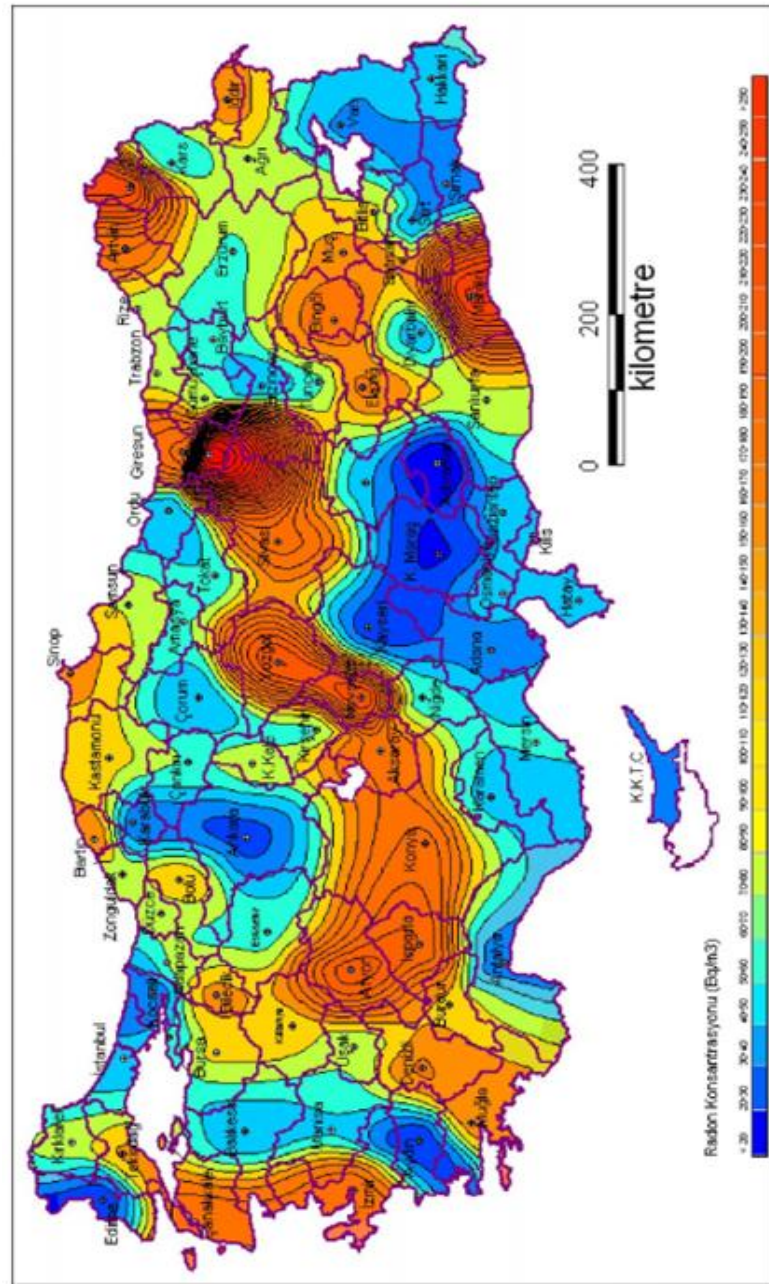
"Evlerde ve İş Yerlerinde $^{222}\text{Radon}$ 'a Karşı Korunma" konusunda radon maruziyeti için tavsiye edilen yıllık etkin doz değeri ve radon sınır değerleri Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi'nin yayınladığı 65 No'lu raporunda belirlenmiştir. Yıllık etkin doz eşdeğeri 3-10 mSv/y arasında sınırlandırılmıştır (Tablo 2.2.). Radon konsantrasyonu evler için 200-600 Bqm⁻³, iş yerlerinde (okullar, hastaneler, sinemalar, dükkanlar) ise 500-1500 Bqm⁻³ olarak belirlenmiştir (TAEK, 2014).

Tablo 2.2. Evlerde ve işyerlerinde radon için önerilen eylem seviyeleri (TAEK, 2014)

Faktör	Önerilen değer	
Eylem seviyesi (Etkin doz)	3 mSv yıl ⁻¹	10 mSv yıl ⁻¹
Evler için eylem seviyesi (Radon konsantrasyonu)	200 Bqm ⁻³	600 Bqm ⁻³
İş yerleri için eylem seviyesi (Radon konsantrasyonu)	500 Bqm ⁻³	1500 Bqm ⁻³

Zamanımızın çoğu kısmını geçirdiğimiz evlerimizde radon gazının bir risk oluşturacağı düşünülerek, Türkiye'de Evlerde Radon Ölçümü Projesi 1984 yılında başlatılmış ve sonucunda radonu yüksek bölgeleri tespit etmek, evlerde radondan dolayı alınan radyasyon dozunu hesaplamak ve amaçlanmıştır (Çelebi, 2008).

UNSCEAR 2000 raporunda evlerde ölçülen radon konsantrasyonu aritmetik ortalaması tüm dünya için 40 Bqm⁻³, geometrik ortalama 30 Bqm⁻³, geometrik standart sapma 2,3 olarak verilmektedir (TAEK, 2014). Türkiye için bu değer dünya ortalamasının çok üzerinde çıkmıştır.



Şekil 2.5. Türkiye Radon Konsantrasyon Dağılım Haritası (TAEK, 2014)

Türkiye’de 81 ilde 153 yerleşim biriminde toplam 7293 konutta radon konsantrasyon ölçümleri yapılmıştır. Türkiye radon konsantrasyonu aritmetik ortalaması 81 Bqm⁻³, geometrik ortalama 57 Bqm⁻³, geometrik standart sapma 2,3 olarak hesaplanmıştır (TAEK, 2014).

BÖLÜM 3. ÇALIŞMA ALANI VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Sakarya ili Marmara Bölgesi'nin kuzeydoğusunda yer alır. İl alanı batıdan Kocaeli'nin; Kandıra, Merkez ve Gölcük ilçeleri, kuzeyden ise Karadeniz, doğudan Düzce ili ve Bolu Dağı, Güneyden Bilecik'in; Gölpazarı ve Osmaneli ile çevrilidir (Şekil 3.1.) (SATSO, 2018).

Sakarya ilinin deniz seviyesinden yüksekliği 31 metredir. İklim özelliği Marmara Bölgesi'nin iklim özellikleri ile aynıdır (Satso, 2018), ılıman, yağışlı ve rutubetli bir havaya sahiptir. Yazlar sıcak, kışlar bol yağışlı ve ılık geçer. Sakarya ilinin yüksek nem oranına ve bol yağışlı bir havaya sahip olduğu meteorolojik olarak gözlemlenmiştir (Kapdan, 2009).

Sakarya ili % 44'ü platolardan ve % 22'si ovalardan % 34'ü dağlardan, oluşur. İl topraklarının büyük bir kısmını platolar oluşturur. En önemli plato Kocaeli Platosudur (Eliçalışkan, 2007).

Adapazarı (Akova) Ovası; Porsuk ve Ankara çayı vadileriyle birleşen Sakarya Vadisi Türkiye'nin önemli ve büyük vadileridir. Pamukova, Vadi Cambaz Boğazının genişlemesi ile meydana gelmiştir. Birçok vadiyle birleşen Sakarya Vadisi, Karasu yakınlarında Karadeniz'e açılır. Adapazarı Ovası, Aşağı Sakarya Vadisinde, Sapanca Gölü ile Adapazarı'nın doğusunda yer alır. Sakarya Nehrinin taşıdığı alüvyonlu ve killi toprak tabakasıyla kaplı olduğundan çok verimlidir (Eliçalışkan, 2007).

Adapazarı ovası alüvyonlarla dolmuş bulunan faylı ve çökmüş bir havza olarak kabul edilmektedir. Çöküntü alanında üst kretase kalkerlerinin üzerine Mezozoik Tersiyer yaşta teşekküller gelmiştir ki, bu seriyi kalker, çakıl ve çimentolaşmamış

konglomeralar temsil eder. Bunlar düz alanlar ve yakın çevrelerinin Mezozoik sonu ve Tersiyer başlarında tamamiyle denizlerle kaplı bir tortulanma alanı olduğunu gösterir. Bu denizin derin kesimlerinde kalkerler tortulanırken sığ kesimlerde çakıl ve konglomeralar teşekkül etmiştir (Emiroğlu, 1967).

Pamukova: Alüvyonların birikmesiyle meydana gelen Pamukova, Sakarya Vâdisinin Akova'dan sonra ikinci büyük ovasıdır. Yüksekliği Adapazarı'na göre daha fazladır ve iklimi daha serttir. Sakarya Nehrinin derinliği fazlalaşır ve daha hızlı akar.

Söğütlü Ovası; İlin en alçak kısmını teşkil eder ve 30 km uzunluk, 20 km genişliğe sahip olup ortalama yüksekliği 16 m'dir. Bataklık ve sazlıktır (Eliçalışkan, 2007).

Sakarya ili toprakları Kuzey Anadolu fay hattı üzerinde deprem sebebi ile büyük hasarların ve can kaybının yaşandığı 1. Derecede tehlikeli deprem bölgesinde yer alır. Kuzey Anadolu Fay Sisteminin ortaya çıkışı, aktif yer kabuğu hareketleri sonucunda Adapazarı Ovasının çökmeye uğramasıyla olmuştur. Şiddetli depremler geçiren ilin toprak yapısı alüvyon içinde yeraltı suyu çok yüksek seviyede, bazı kısımlarda ise bataklık durumunda olması nedeniyle depremlerin daha şiddetli olmasına sebebiyet vermektedir (Kuş, 2017).

Sakarya ili Serdivan, Erenler, Arifiye, Adapazarı ilçeleri ile dört ayrı bölgeye bölünmüştür.

3.1.1. Serdivan ilçesinin jeolojik ve jeomorfolojik özelliği

Bizim çalışma alanımız olan Sakarya Üniversitesi, Serdivan ilçesinde bulunmaktadır (Şekil 3.2.).

Doğu Marmara Bölgesinde Sakarya il merkezinin batısında yer alan Serdivan, Adapazarı ovasının uç noktalarında, bazılarında eğimin % 35-40 düzeyine ulaşan tepelere sahip bir alan üzerine kuruludur. Bol rüzgâr alan Serdivan'ın nem oranı diğer ilçelere göre nispeten düşüktür (Serdivan Belediyesi, 2018).

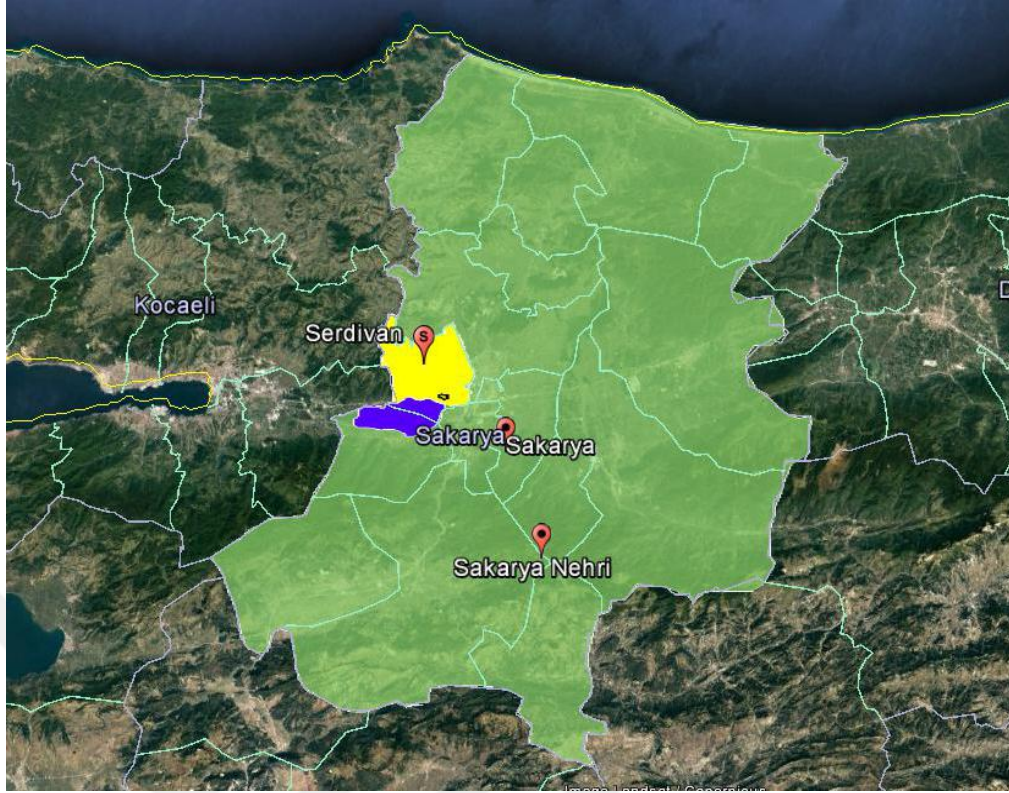
Serdivan Kocaeli Platosunun doğusundaki tepelik alanda kuruludur ve güneydoğusunda Sapanca Gölü, kuzeyinde Gökçeören Ovası, batısında Çarksuyu Deresi ile Adapazarı ovası ve yer almaktadır (Hayır, 2007).

Serdivan ilçesi kuzeyinde üst kretase kalkerleri üzerinde bazalt, aglomera ve tüflerden ibaret bir volkanik kompleks bulunan, karbonatların (kireçtaşı) egemen olduğu sert ve dayanımlı kaya zeminlerden oluşan akveren formasyon arazisi üzerinde kurulmuştur (Hayır, 2007).

Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsündeki çalışma alanı ve yakın çevresinde de Akveren Formasyonu gözlemlenmiştir. Serdivan ve Sakarya Üniversitesi kampüs alanı killi kireçtaşı, marn, kilitaşı, silttaşı, kumtaşı, çakilitaşı ve resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Toprak biçimi; sarı, beyaz, grimsi yeşil, yer yer kırmızı renkli ince, orta ve kalın tabakalardan oluşmaktadır. Sakarya Üniversitesi kampüs alanında altta sağlam kaya yukarılarda parçalı ve bloklu kaya olduğu tespit edilmiştir (Horasan ve ark., 2013).



Şekil 3.1. Türkiye haritasında Sakarya ili gösterimi (Laf Sözlük, 2009)



Şekil 3.2. Sakarya il haritasında Serdivan ilçesinin gösterimi

3.2. Veri Toplama Araçları

Radon ölçümüyle ilgili farklı teknikler vardır. Bu ölçüm teknikleri iki gruba ayrılır (Günel, 2012).

Aktif ölçüm yöntemi, elektronik sistemler, pompalar, güç kaynakları gibi cihazlar gerektirir. Bu yöntemde iyon odaları, sintilasyon hücreleri veya spektroskopik sayım cihazları da kullanılır.

Pasif ölçüm yöntemi, termoluminesans dedektörler ($\text{CaSO}_4: \text{Dy}$ veya LiF gibi), veya katı hal nükleer iz dedektörleri (selüloz nitrat (LR-115)) veya allydiglycolcarbonat (CR-39) gibi kullanılır.

Bu çalışma içerisinde pasif ölçüm yöntemi olan katıhal nükleer iz dedektörü (selüloz nitrat (LR-115)) kullanılmıştır (Tablo 3.1.).

Tablo 3.1. Araştırmada Kullanılan Mevcut Makine – Teçhizat Listesi

Adı/Modeli	Projede Kullanım Amacı
Kodak LR 115 Tip 2 Film	Radon ölçümlerinde kullanılmak üzere
IKA ETS-D5 Dijital Kontak termometre	LR-115 Filmlerin Banyo işlemi kullanılmak üzere
IKA Isıtıcı Manyetik Karıştırıcı	LR-115 Filmlerin Banyo işlemi kullanılmak üzere
Motic BA210 Trinocular Mikroskop	Alfa izlerinin okunmasında kullanılmak üzere
NaOH kimyasal Filmlerin	Banyo işleminde kullanılmak üzere

Veri toplamak amacıyla kullanılan bir diğer aracımız da Ek-A'da örneği verilen 12 sorudan oluşan ankettir. Bu anket çalışma odalarında kaç kişinin olduğu, sigara içilip içilmediği, ne kadar süre ile havalandırıldığı ve hangi mevsimlerde en fazla havalandırma yapıldığının karşılaştırmasını yapmak amacı ile oluşturulmuştur. Anket sonuçları ve yorumları 4. Bölümde detayları ile anlatılacaktır.

3.2.1. Katı hal nükleer iz dedektörleri

Alfa parçacıklarının geçişi sırasında oluşan izlerin sabit kaldığı ve uygun bir aşındırma prosedürü ile izlerin görülebildiği birçok plastik veya polimerik malzeme mevcuttur. Bu malzemeler genellikle Katı Hal Nükleer İz Dedektörleri (SSNTD'ler) olarak adlandırılır. Radon tespiti için kullanılanların en yaygın olanları selüloz nitrat filmi (LR-115), termoset polimer plastiği (CR-39) ve polikarbonat plastiğidir. LR-115 ve CR-39, Makrofolle göre daha yüksek duyarlılıktadır (Bochicchio ve ark., 1995).

Polimer detektörler, Rn-220, Rn-222 ve ürünlerinin ölçümleri için kullanılmaktadır. Genellikle basit, ucuz, dayanıklı, kolay kullanılabilir ve yüksek duyarlılığa sahip yapıdadır (Tabar, 2010).

Nükleer iz kazıma detektörleri temel olarak mineral, kristal, plastik içeren, elektriksel olarak yalıtılmış katı materyallerdir. Ağır yüklü parçacıkların nükleer iz kazıma detektörlerinden geçişi sırasında geçtikleri yollar boyunca hasarlara neden olurlar. Gizli iz adı verilen bu hasarları, optik mikroskop altında görülebilecek boyutlara ulaştırmak için detektörlere kimyasal veya elektrokimyasal iz kazıma yöntemleri uygulanır (Tabar, 2010).

Bu araştırmada yaygın olarak kullanılan polimer detektör olan selüloz nitrat (LR-115) dedektörleri kullanılmıştır. İz kazıma yöntemi ile LR-115 plastik detektörleri üzerinde oluşan alfa izleri görünür hale getirilmiştir.

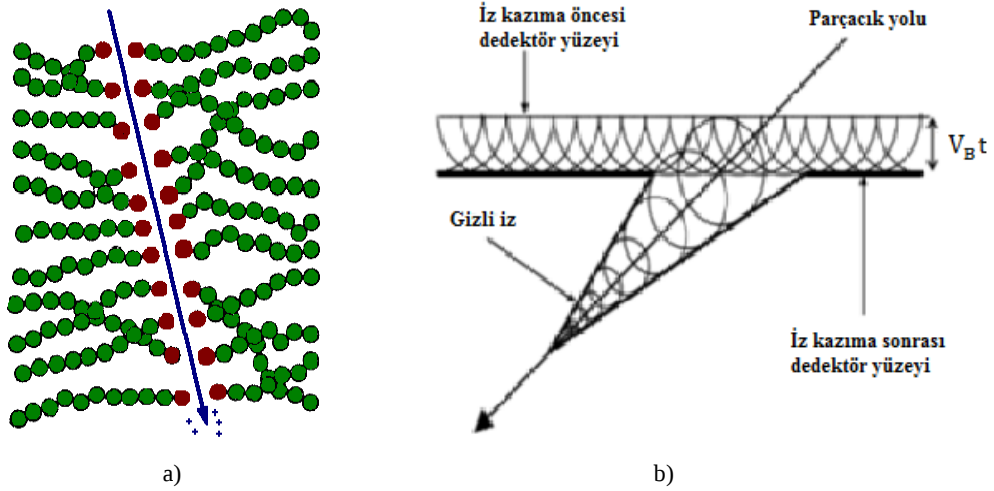
Çalışmada kullanılan radon dedektörleri, bir ucu 7,2 cm diğeri 5 cm çapında ve 7 cm uzunluğunda plastik kaplardan oluşmaktadır ve LR-115 dedektörleri 1,5x1,5 cm² boyutunda kesilip, plastik kapların dibine tutturulmuştur. Dersliklerin ve çalışma ofislerinin tavana yakın yerlerine asılmışlardır (şekil 3.3.).



şekil 3.3. Radon Ölçümleri İçin Hazırlanan LR-115 Dedektörleri

3.3. Katıhal Nükleer İz Dedektörlerinde İz Oluşumu

LR-115 alfa parçacıklarına karşı duyarlıdır (Jönsson, 1981). Radon atomlarının bozunması sonucu oluşan ürün çekirdekler film üzerine yapıştıktan sonra bozunursa kazınabilir iz oluşurmaz. LR-115 üzerinde, yüzeyden belirli uzaklıkta bozunarak oluşan alfa parçacıklarından iz oluşur. Bu tip detektörler atmosferik koşullardan bağımsız olarak ortamdaki radon yoğunluğuna ile doğru orantılı iz oluşturur. LR-115 açık olarak uygulandığından çevresel faktörlerden daha fazla etkilenir ve deformasyona uğrama olasılığı daha yüksektir. LR-115'in uzun süreli güneş ışığına direk maruz bırakılmaması gerekir. Güneş ışınları detektör yapısını bozmaktadır (Durrani ve Ilic, 1997).



Şekil 3.4. a) Ağır yüklü parçacıkların içinden geçtikleri polimerin molekül zincirlerini kırması (Tabar, 2016)
b) Kimyasal işlemler yardımı ile iz oluşumu (Durrani ve Bull, 1997)

Katı materyal boyunca ilerleyen, iyonizasyon ve eksitasyon ile enerjilerini ortama aktaran iyonize parçacığın materyal içinde enerji kaybı lineerdir ($\frac{dE}{dx}$). Bu enerji kaybı kullanılan materyale ve parçacık karakteristiklerine (kütle, yük ve enerji) bağlı bir fonksiyondur. Lokal şekil değişikliklerinin oluşumu parçacığın enerji kaybı kritik değerın üzerine çıktığında başlar. Şekil değiştirmeler neticesinde çapı 1–10 nm arasında değişen gizli izler oluşur. Elektron mikroskopları altında görülebilen gizli izler, dedektörler uygun sıcaklık ve konsantrasyondaki kazıyıcı çözelti ile (örneğin NaOH veya KOH) banyo edilirse gizli izlerin çapları birkaç μm 'ye kadar genişlemekte ve izler optik mikroskop altında görülebilmektedir (Tabar, 2010).

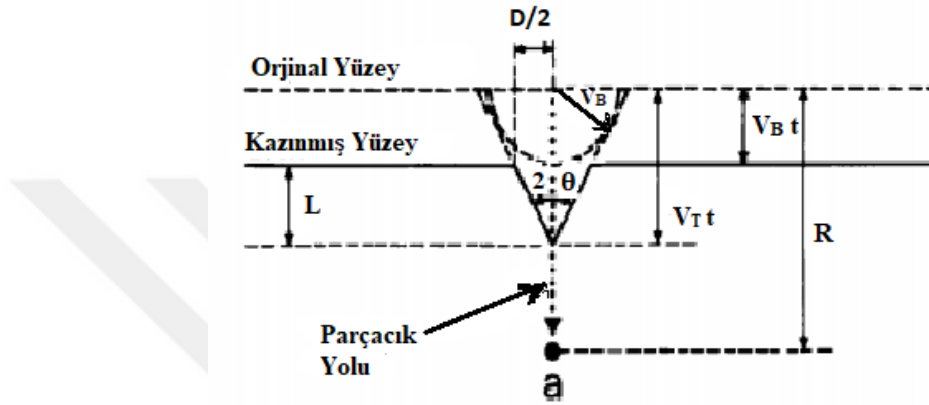
3.3.1. Kimyasal iz kazıma

Dedektör filmlerinin uygun sıcaklıktaki çözelti içerisinde belirli süreler boyunca banyo işlemine tabi tutulması işlemine kimyasal iz kazıma işlemi denir (Tabar, 2010). Farklı dedektör tipleri için iz kazıma koşulları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Farklı dedektör tipleri için iz kazıma koşulları (Tabar, 2010)

Dedektör Tipi	Dedektör Materyali	Kazıma Sıcaklığı	Kazıma Konsantrasyonu	Kazıma Süresi
LR-115 Tip- II	Selüloz Nitrat	60 °C	%10 2,5 N NaOH	2 saat
CR-39 (500 μm)	Polikarbonat	70 °C	%25 6,25 N NaOH	12 saat
CN-85	Selüloz Asetat	60 °C	%10 2,5 N NaOH	20-30 dakika

Bir polimer yüzeyi aşındırıcı bir çözeltiye tabi tutulduğunda polimer yüzeyi V_B hızı ile kazınır. Polimerden yüksek derecede iyonize edici bir parçacığın geçişi sonucunda polimer yüzeyinde reaktif bir hasar izi oluşur ve bu iz V_T hızı ile kazınır (Şekil 3.5.). Parçacığın aşındırma hızı V_T 'nin polimer yüzeyinin aşınma hızı olan V_B 'den büyük olması durumunda iz, kimyasal kazıma işlemi ile genişleyecektir (Kase ve ark., 1990).



Şekil 3.5. Sabit V_T ve V_B için iz aşınma geometrisi gösterimi (Kase ve ark., 1990).

İzotropik kristalize olmayan katılarda kısa aşındırma mesafelerinde olduğu gibi, V_T ve V_B 'nin sabit olduğu varsayılmaktadır. Aşındırma zamanı (t) boyunca kazınan materyal yüzeyi ve iz çapı sırası ile aşağıdaki denklemler ile verilir (Kase ve ark., 1990).

$$L = (V_T - V_B)t \quad (3.1)$$

$$D = 2V_B t \left(\frac{V_T - V_B}{V_T + V_B} \right)^{1/2} \quad (3.2)$$

θ iz ve yüzey arasındaki açı olmak üzere, V_T 'nin yüzeye dik olan bileşeni $V_T \sin \theta$, bir iz oluşturmak için V_B 'yi aşmalıdır. Yani $V_T \sin \theta > V_B$ olmalıdır. Bu nedenle, dip eğiminin hasar izinin görünür bir ize dönüşmesine izin vermek için çok küçük kritik bir θ_c açısı vardır. Bu kritik açı aşağıdaki gibi verilir (Kase ve ark., 1990).

$$\theta_c = \arcsin \left(\frac{V_B}{V_T} \right) \quad (3.3)$$

3.4. Radon Ölçüm İstasyonlarının Oluşturulması

Dedektör yerleştirme işlemine 2013 yılı yaz mevsiminde başlanmıştır. Sakarya Üniversite Kampüs bölgesinde bulunan Fen Edebiyat Fakültesi, Fen Edebiyat Fakültesi Ek Bina, Yeni Fen Edebiyat Fakültesi, Devlet Konservatuvarı, Güzel Sanatlar Fakültesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elektrik Mühendisliği, Bilgisayar / Endüstri Mühendisliği, Metalurji Malzeme ve Makine Mühendisliği, Teknik Eğitim Fakültesi E Blok, Rektörlük Binası, M2, Enstitü Binası, Mediko, Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği, Öğrenci İşleri, SAÜSEM, Kütüphane, Kampüs Otel, Vib Yazıhane binası ile birlikte toplamda 32 binanın odalarında ve sınıflarında radon gözlem istasyonu oluşturulmuştur (Şekil 3.6.).

Mevsimsel ortalama radon konsantrasyonu düzeyinin elde edilmesi ve ölçümlerde oluşabilecek istatistiksel hatalardan kaçınılması için binalara 3 aylık süreler ile LR-115 dedektörleri bırakılarak uzun süreli ölçüm tekniği kullanılmıştır. Dedektör yerleştirilen 32 binanın ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerleri Ek-B’de verilmiştir. Tablo 3.3.’de dedektör yerleştirilen binaların kod numaraları verilmiştir.

Tablo 3.3. Sakarya Üniversitesi Kampüs yerleşkesinde dedektör yerleştirilen binaların kod numaraları

Bina No	Bina Adı	Bina No	Bina Adı	Bina No	Bina Adı
S1	Fen Ed. Fak. A Blok	S12	Rektörlük Binası	S23	BESYO
S2	Fen Ed. Fak. C Blok	S13	M2	S24	M3
S3	Fen Ed. Fak. D Blok	S14	Enstitü Binası	S25	M4
S4	Devlet Konservatuvarı	S15	Mediko	S26	Kafeterya
S5	Güzel Sanatlar Fak.	S16	Bilg. ve Bilişim Müh.	S27	Fen Ed. Fak. B Blok
S6	Sağlık Yüksek Okulu	S17	Öğrenci İşleri	S28	İnşaat Müh.
S7	Elektrik-Elektronik Müh.	S18	SAÜSEM	S29	Yurtkur-KYK A Blok
S8	Elektrik müh.	S19	Kütüphane	S30	Yurtkur-KYK B Blok
S9	Bilgisayar / Endüstri Müh.	S20	Kampüs Otel	S31	Yurtkur-KYK C Blok
S10	Met. Malz. ve Makine Müh.	S21	Vib Yazıhane	S32	Yurtkur-KYK D Blok
S11	Teknik Eğitim Fak. E Blok	S22	Hukuk Fakültesi		



Şekil 3.6. Sakarya Üniversitesi Kampüs yerleşkesinde dedektör yerleştirilen fakültele

3.5. LR-115 Dedektörlerin İşlenmesi

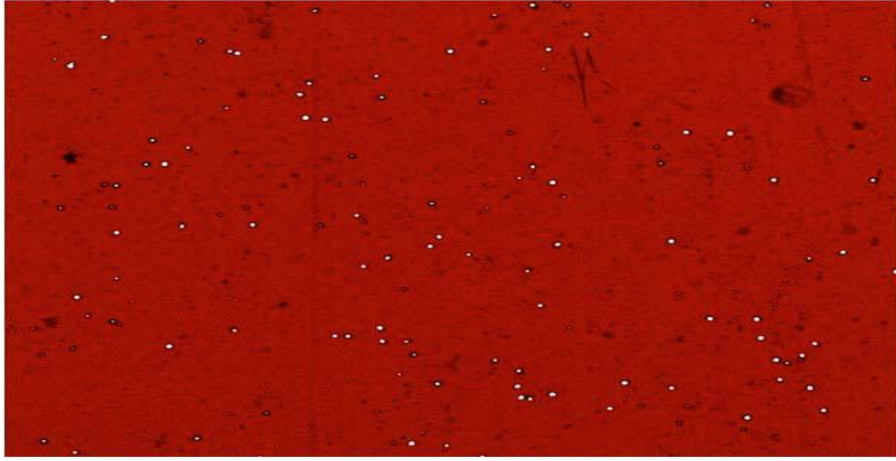
Kimyasal kazıma işleminde; 3 aylık periyotlar sonucunda laboratuvara getirilen filmler; sıcaklığı 60°C’de sabit tutulan, %10’luk NaOH çözeltisinde 120 dakika bekletilerek banyo edilir. Bu işlem sonunda filmler 15-20 dakika saf su içerisinde bekletilerek durulanıp kurumaya bırakılmıştır.

± 0.1 °C sıcaklık kontrollü termostat ve manyetik karıştırıcılı ısıtıcı yardımıyla çözelti sıcaklığının sabit tutulması sağlanmıştır (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Banyo yaptırılan LR-115 filmleri

Banyo ve durulama işlemi bittikten sonra filmler lamele yerleştirilir. Lamele yerleştirilen filmler dijital mikroskop kullanarak filmler üzerine birim alan başına bıraktığı izler sayılır. Birim alan başına iz sayısı (iz/cm²) daha sonra uygun kalibrasyon sabiti kullanarak bina içinde depolanan radon miktarı cinsinden hesaplanır.



Şekil 3.8. LR-115 plastik dedektörü üzerinde oluşan alfa izleri

LR-115 dedektörleri üzerinde oluşan izlerin sayımı 10x10 büyütmeli optik mikroskopta 1,5x1,5 cm²'lik dedektör alanı belirlenerek yapılmıştır. Milimetrekaredeki iz sayıları toplanıp, ortalaması alınarak, gün başına radon konsantrasyonuna karşı gelen iz yoğunluğu, bir cm² yi 100 mm² ye bölen özel ölçekle iz cm² gün⁻¹ olarak elde edilmiştir. Dedektör üzerinde alfaların bıraktığı iz kırmızı zeminde, beyaz noktalar şeklinde Şekil 3.8.'de görülmektedir.

3.6. LR-115 Dedektörlerin Kalibrasyon Sabitinin Belirlenmesi ve Radon Aktivitesinin Hesaplanması

Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümünde çevresel örneklerde radon konsantrasyonunun ve yayılım hızının araştırıldığı, kapalı ortam radon konsantrasyonunun sağlık riski açısından değerlendirildiği çalışmalarda aktif biçimde kullanılan LR-115 tip-II katı hal nükleer iz kazıma dedektörlerinin kalibrasyon işlemleri yapılmıştır.

Kullandığımız LR-115 Type-II katıhal nükleer iz dedektörleri (SSNTD) için kalibrasyon faktörü;

$k_f = 0,0514 \text{ izcm}^{-2}\text{gün}^{-1}\text{Bq}^{-1}\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir (Tabar, 2016).

Kalibrasyon faktörü (k_f) dedektör film üzerinde sayılan iz yoğunluğunun (ρ) aktivite birimleri cinsinden ifade edilmesini sağlayan bir katsayıdır. Herhangi bir ortamda

film üzerinde oluşan iz yoğunluğunun Rn-222 miktarı ile orantılı olduğu kabul edilirse, o ortamdaki radon aktivitesi kalibrasyon faktörü kullanılarak;

$$C_{Rn} = \frac{\rho}{k_f} \quad (3.4)$$

Formülü ile (UNSCEAR, 2000) kolaylıkla belirlenebilir. Burada C_{Rn} ($Bq\,m^{-3}$) radon aktivitesi, ρ ($iz\,cm^{-2}\,gün^{-1}$) film üzerindeki net iz yoğunluğu ve $k_f = 0,0514\,iz\,cm^{-2}\,gün^{-1}\,Bq^{-1}\,m^3$ kalibrasyon faktörüdür (Tabar, 2016).



BÖLÜM 4. BİNA İÇİ ²²²Rn AKTİVİTE KONSANTRASYON SONUÇLARI

Sakarya Üniversitesi kampüsünde sınıflar, ofisler dahil olmak üzere toplam 32 binaya 3'er ay aralıklarla değiştirilmek üzere LR-115 katı hal nükleer iz dedektörleri yerleştirilmiştir. Toplanan dedektörlerin üzerinde alfa parçacıklarının oluşturduğu izler sayılmış ve radon aktiviteleri hesaplanmıştır. Hesaplanan radon aktivite konsantrasyonlarından yola çıkarak kampüs bölgesinde mevsimsel radon konsantrasyon değişimini, binaların katları arasındaki konsantrasyon değişimlerini ve yıllık etkin doz eşdeğerleri yorumlanmıştır.

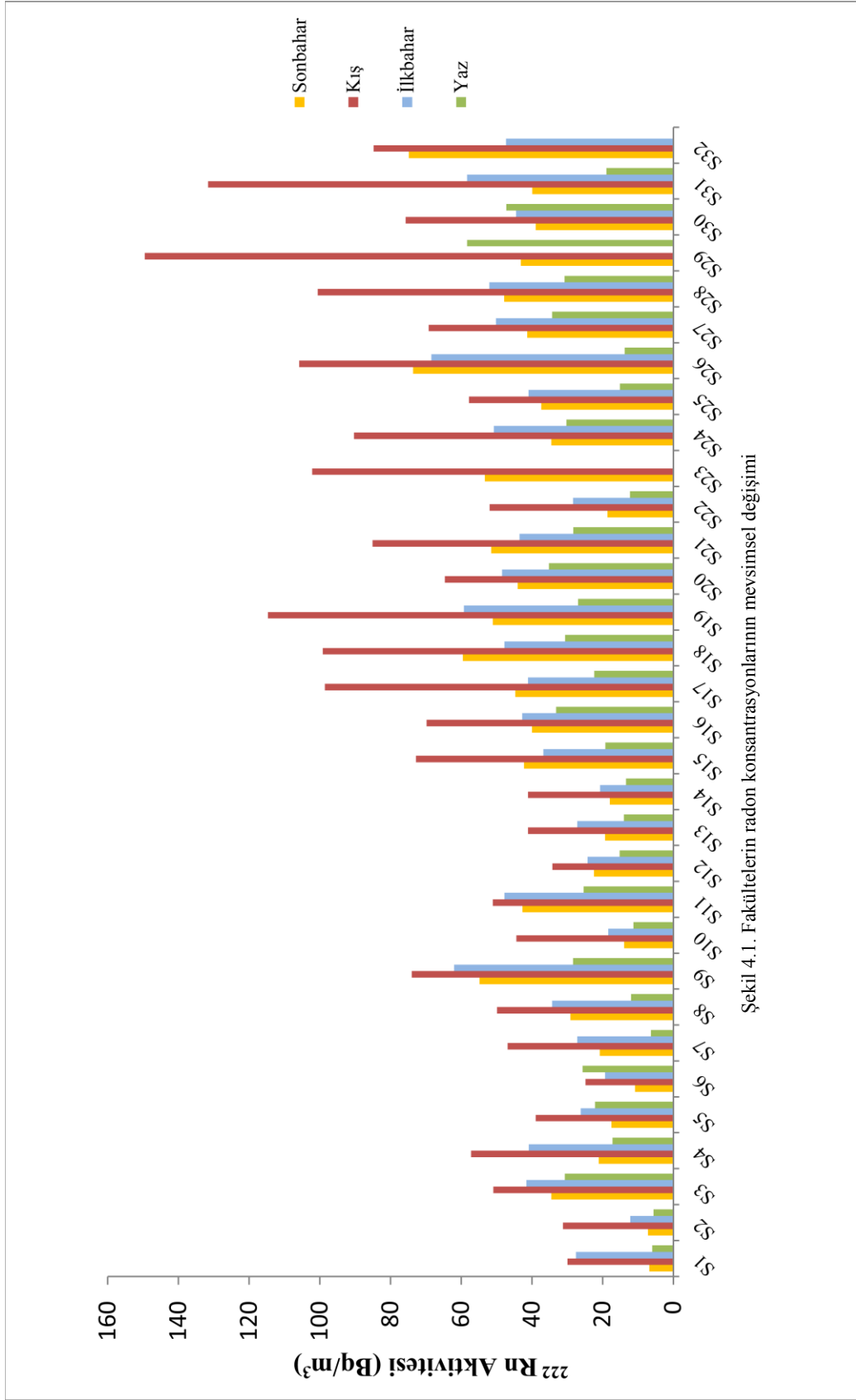
4.1. Bina İçi ²²²Rn Aktivitesinin Mevsimsel Değişim Sonuçları

Bu çalışmaya 2013 tarihinin yaz döneminde başlanmış ve toplamda dört mevsimlik bir çalışma dönemi ile tamamlanmıştır. LR-115 katı hal iz dedektörleri üzerindeki gözlenen iz yoğunlukları (iz/cm^2) ve dedektör kalibrasyon parametresi ($\text{Bq}^{-1}\text{m}^3\text{iz cm}^{-2} \text{gün}^{-1}$) kullanılarak radon aktivite konsantrasyonları (Bq/m^3) hesaplanmıştır. Tablo 4.1.'de binaların aritmetik ortalaması ile birlikte minimum ve maksimum ²²²Rn aktivitelerinin mevsimlere göre değişimini göstermektedir. Tablo 4.1.'den görülebileceği gibi, sonbahar döneminde radon aktivite değerleri sırası ile en düşük ve en yüksek $0,2 - 111,51 \text{ Bqm}^{-3}$ arasında, kış döneminde $6,68 - 149,53 \text{ Bqm}^{-3}$, ilkbahar döneminde $3,3 - 90,82 \text{ Bqm}^{-3}$ ve yaz döneminde $0,2 - 66,2 \text{ Bqm}^{-3}$ arasında değişmektedir.

Tablo 4.1. Mevsimlere göre binalarda ölçülen radon aktiviteleri (Bqm⁻³)

Fakülte	Sonbahar			Kış			İlkbahar			Yaz		
	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.
S1	1,7	16,9	6,8	16,3	55,7	29,95	10,04	38,6	27,55	2,1	15,7	6
S2	0,2	20,6	7,15	17,9	59,7	31,225	3,3	30,5	12,15	0,2	15,7	5,57
S3	11,3	76,8	34,5	13,9	95,4	50,9	15,6	78	41,6	10,2	66,2	30,7
S4	7,67	39,2	21,09	18,27	112,3	57,24	13,62	85,2	40,85	2	39	17,2
S5	10,74	25,23	17,5	16,33	72,49	38,9	14,86	33,64	26,21	14	30,05	22,125
S6	4,77	20,63	10,8	6,68	70,63	24,86	5,57	45,93	19,3	15,9	32,4	25,7
S7	8,73	39,99	20,8	21,63	82,08	46,85	11,76	47,77	27,177	2,35	12,75	6,4
S8	6,79	52,8	29,11	26,36	67,61	49,86	8,02	63,46	34,265	4,7	18,29	11,96
S9	30,7	70,8	54,8	42,9	86,7	74,02	37	77,2	62,02	19,3	45,5	28,34
S10	9	20,5	13,9	28,5	62,7	44,4	10,4	28,5	18,4	7	16,7	11,3
S11	20,3	68,8	42,7	21,4	78,1	51,1	24,8	61,5	47,8	11,7	36,7	25,4
S12	9,9	36,7	24,4	16,8	53,7	34,2	13,5	35,2	24,2	6,7	23,1	15,2
S13	10	29,5	19,3	14,5	63,3	41,1	11,5	45,5	27,2	10	24,4	14
S14	8,6	29,3	17,9	14,5	66,6	41,1	11,1	37,2	20,7	10	17,8	13,4
S15	38,8	47,4	42,2	59,6	84,6	72,9	26,4	48,3	36,8	10,9	28,6	19,2
S16	27,1	52,9	40	44,7	95	69,8	12,5	73	42,7	25,4	41	33,2
S17	43,7	45,7	44,7	49	148,1	98,6	18,7	63,5	41,1	8,7	36,1	19
S18	30,17	92,75	59,53	70,24	124,55	99,17	40,32	55,7	47,77	18	42,62	30,60
S19	28,13	70,70	51,05	77,63	140,04	114,69	28,30	90,82	59,25	16,71	35,97	26,98
S20	26,26	56,86	44,03	42,80	87,99	64,65	34,27	62,48	48,48	17,39	62,75	35,21
S21	–	–	51,49	–	–	85,08	–	–	43,48	–	–	28,30
S22	11,08	33,33	18,62	–	–	51,99	–	–	28,39	–	–	12,28
S23	29,07	68,75	53,34	85,08	111,68	102,19	–	–	–	–	–	–
S24	19,44	52,09	34,53	77,58	103,07	90,32	35,98	65,64	50,81	–	–	30,26
S25	26,60	45,87	37,40	39,10	79,45	57,82	31,88	55,24	40,98	12,96	17,90	15,12
S26	43,48	111,51	73,66	78,09	120,34	105,87	–	–	68,45	6,65	20,80	13,73
S27	26,26	57,03	41,32	55,32	84,14	69,22	35,98	67,53	50,17	18,40	45,67	34,27
S28	41,80	55,87	47,82	77,58	117,53	100,60	45,80	61,15	52,08	21,31	39,22	30,79
S29	–	–	43,14	–	–	149,53	–	–	–	–	–	58,31
S30	–	–	38,96	–	–	75,70	–	–	44,50	–	–	47,23
S31	–	–	39,90	–	–	131,63	–	–	58,31	–	–	18,93
S32	–	–	74,86	–	–	84,83	–	–	47,31	–	–	–

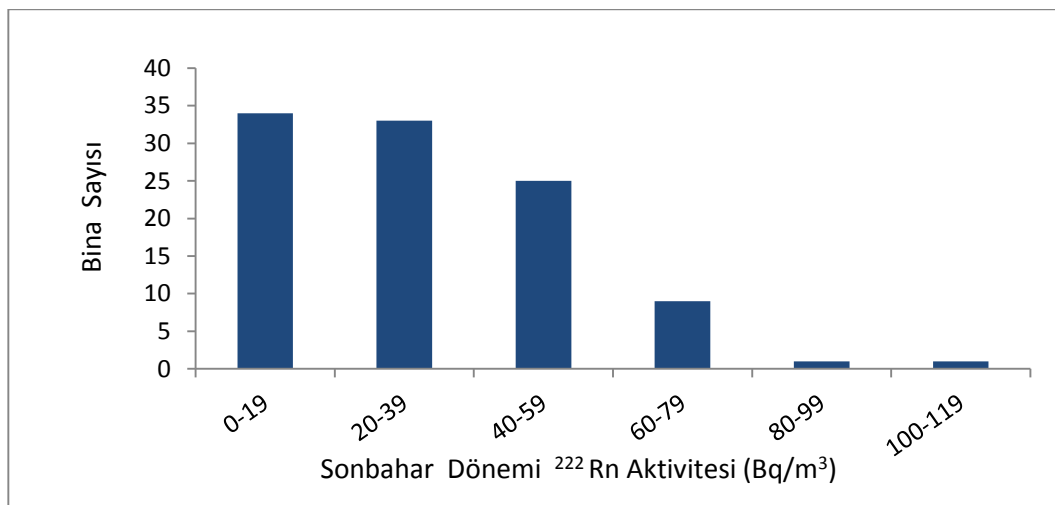
Aşağıda (Şekil 4.1.) dedektör yerleştirilen binaların radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmektedir. Ölçüm sonucu en yüksek ve en düşük mevsimsel radon konsantrasyon sonuçları değerlendirilecektir.



Şekil 4.1.'den görüldüğü gibi sonbahar mevsiminde en düşük ortalama radon konsantrasyonu ($6,8 \text{ Bqm}^{-3}$) Fen Edebiyat Fakültesi A Blok'da, en yüksek değer ($74,86 \text{ Bqm}^{-3}$) KYK D Blok, kış mevsiminde ise en düşük radon konsantrasyonu ($24,86 \text{ Bqm}^{-3}$) Sağlık Yüksek Okulu, en yüksek ($149,53 \text{ Bqm}^{-3}$) KYK A Blok'da bulunmuştur. İlkbahar mevsiminde en düşük radon konsantrasyonu ($12,15 \text{ Bqm}^{-3}$) değeri ile Fen Ed. Fak. C Blok, en yüksek ($68,45 \text{ Bqm}^{-3}$) Merkez Kafeterya'da bulunmuştur. Yaz mevsiminde ise en düşük ortalama radon konsantrasyonu ($5,58 \text{ Bqm}^{-3}$) Fen Ed. Fak. C Blok, en yüksek ($58,31 \text{ Bqm}^{-3}$) KYK A Blok'da bulunmuştur. En düşük radon konsantrasyonu yaz mevsiminde ve onu takiben sonbahar mevsiminde ölçülmüş, en yüksek radon konsantrasyonu ise kış mevsiminde ölçülmüş ve hemen ardındaki mevsim olan ilkbaharda ise havaların ısınmaya başlamasıyla bina içi havalandırmanın artması sonucu kış mevsimine oranla radon konsantrasyonunda azalma gözlenmiştir.

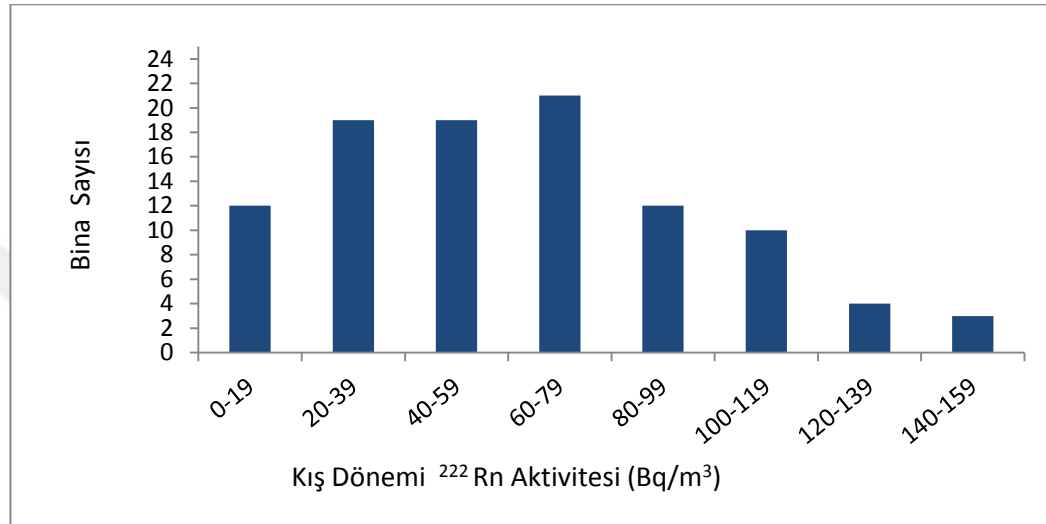
Bu çalışmada elde edilen verilere göre ölçüm yapılan bütün fakültelerde en yüksek aktivite değerlerinin kış mevsiminde ölçüldüğü gözlemlenmiştir.

Kış döneminde çoğu kapı ve pencereler kapalı olacağı için bina içi havalandırma zayıf olur, bu yüzden mevsimsel radon aktivitelerinde değişimler olması beklenir. Bina içi radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimler gösterdiği ve kış aylarında en yüksek konsantrasyona ulaştığı benzer çalışmalarda da tespit edilmiştir (Abd. El-Zaher, 2011).



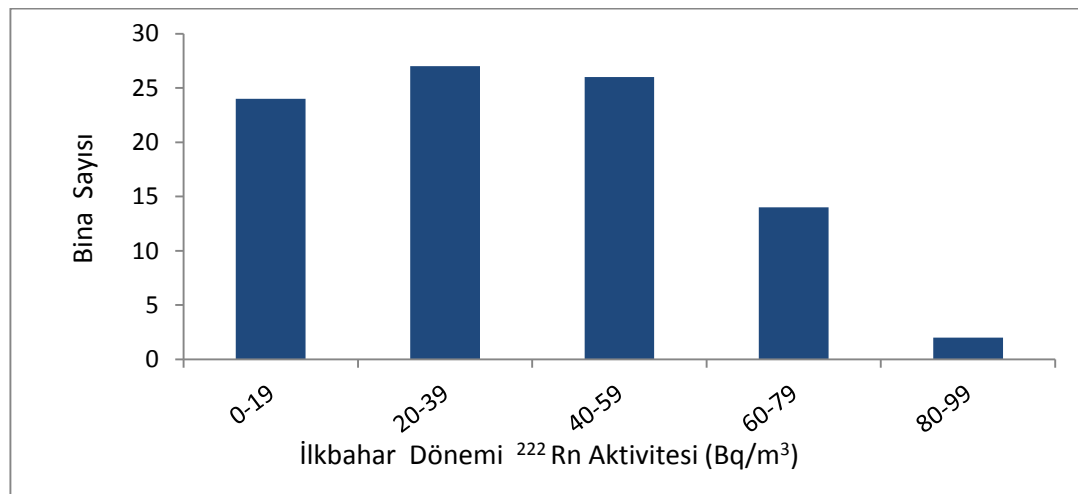
Şekil 4.2. Sonbahar dönemi binaların radon konsantrasyon değerleri dağılımı

Sonbahar döneminde binalardaki radon konsantrasyonunun minimum değeri 0,2 Bq/m³, maksimum değeri 111,51 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 32,89 Bq/m³ olarak belirlenmiş. Sonbahar dönemi radon konsantrasyonunun ortalama değişim aralığını belirlemek için radon konsantrasyon değerleri dağılımı grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.2.'de verilmiştir.



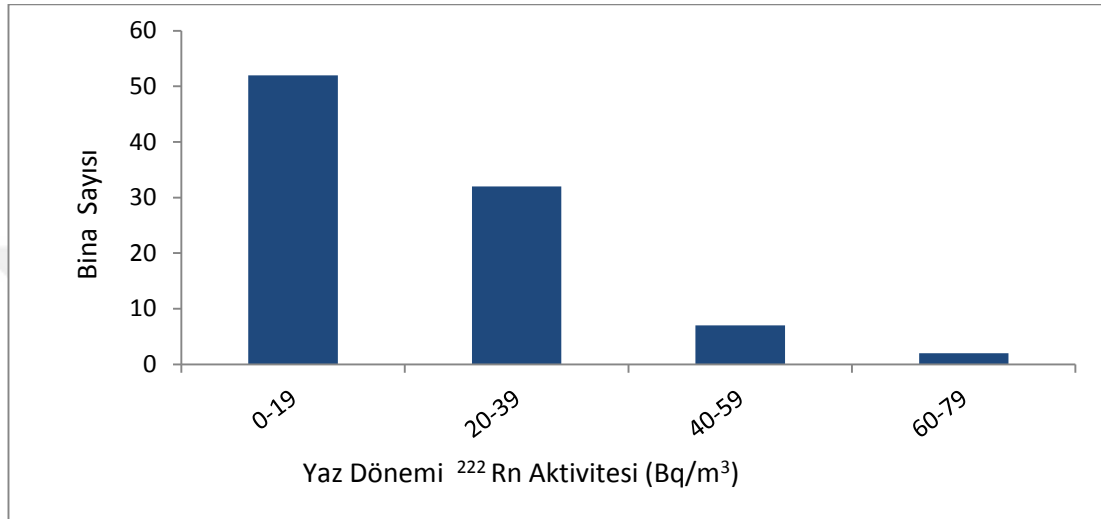
Şekil 4.3. Kış dönemi radon konsantrasyon değerleri dağılımı

Kış döneminde binalardaki radon konsantrasyonunun minimum değeri 6,68 Bq/m³, maksimum değeri 149,53 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 47,6 Bq/m³ olarak belirlenmiş. Kış dönemi radon konsantrasyonunun ortalama değişim aralığını belirlemek için radon konsantrasyon değerleri dağılımı grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.3.'de verilmiştir.



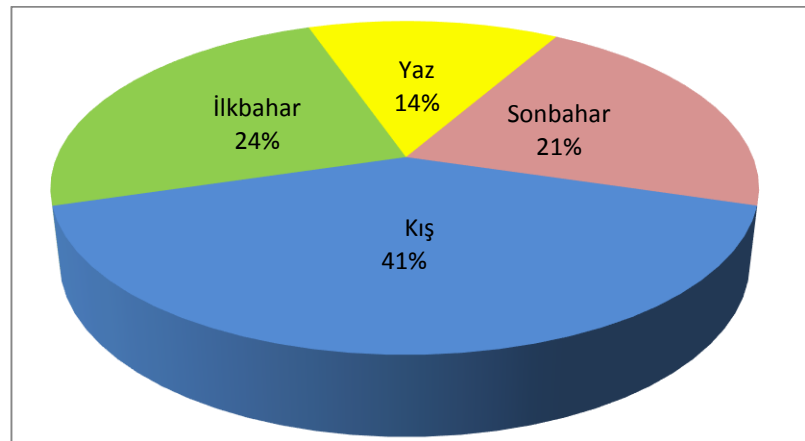
Şekil 4.4. İlkbahar dönemi radon konsantrasyon değerleri dağılımı

İlkbahar döneminde binalardaki radon konsantrasyonunun minimum değeri 3,3 Bq/m³, maksimum değeri 85,2 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 32,1 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. İlkbahar dönemi radon konsantrasyonunun ortalama değişim aralığını belirlemek için radon konsantrasyon değerleri dağılımı grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.4.'de verilmiştir.

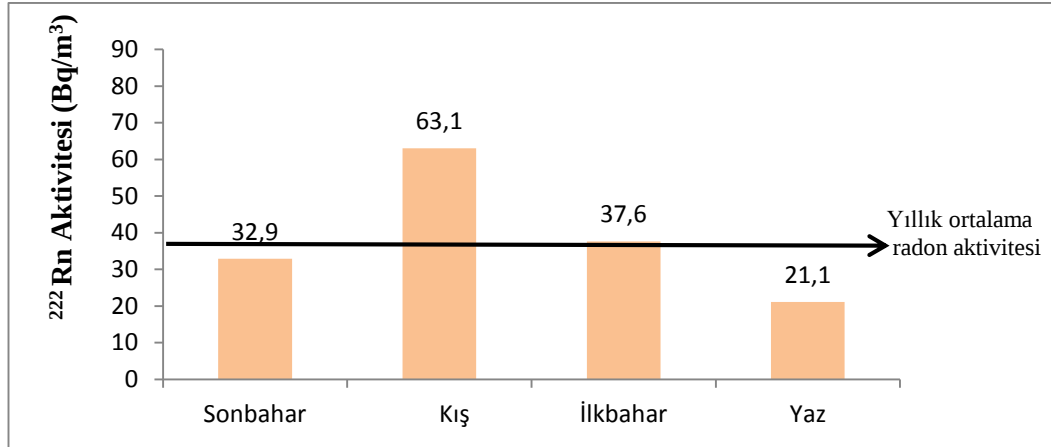


Şekil 4.5. Yaz dönemi radon konsantrasyon değerleri dağılımı

Yaz döneminde binalardaki radon konsantrasyonunun minimum değeri 0,2 Bq/m³, maksimum değeri 66,2 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 17,6 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Yaz dönemi radon konsantrasyonunun ortalama değişim aralığını belirlemek için radon konsantrasyon değerleri dağılım grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.5.'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Sakarya Üniversitesi kampüs bölgesinde bina içi radon konsantrasyonunun mevsimsel dağılımı



Şekil 4.7. Sakarya Üniversitesi kampüs bölgesinde yıllık ortalama radon aktivitesi

Yapılan ölçümlere göre mevsimsel ortalama radon yoğunluğu (Şekil 4.6) sonbahar mevsiminde 32,9 Bq/m³ (%21), kış mevsiminde 63,1 Bq/m³ (%41), ilkbahar mevsiminde 37,6 Bq/m³ (%24), yaz mevsiminde 21,1 Bq/m³ (%14) ölçülmüştür. Bu sonuçlar mevsimsel farklılıklara uymaktadır. En yüksek radon yoğunlukları ortalaması kış ve ilkbahar mevsiminde, en düşük radon yoğunlukları ortalaması ise yaz ve sonbahar mevsiminde ölçülmüştür. Kampüs bölgesi için yıllık ortalama radon konsantrasyonu 38,7 Bq/m³ bulunmuştur.

Mevsimsel bina içi ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının, mod, medyan, aritmetik ortalaması, standart sapması, Skewness ve Kurtosis kat sayıları IBM SPSS 20 istatistik programı kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 4.2.). Bina içlerinde ölçülen mevsimsel ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları elde edilmiştir (Şekil 4.9.). Elde edilen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımlarının normal ve log-normal dağılım fonksiyonları ile uygunluğu araştırılmıştır.

Tablo 4.2. Bina içi ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının mod, medyan, aritmetik ortalama, standart sapma, ve frekans dağılımlarının Skewness ve Kurtosis katsayıları

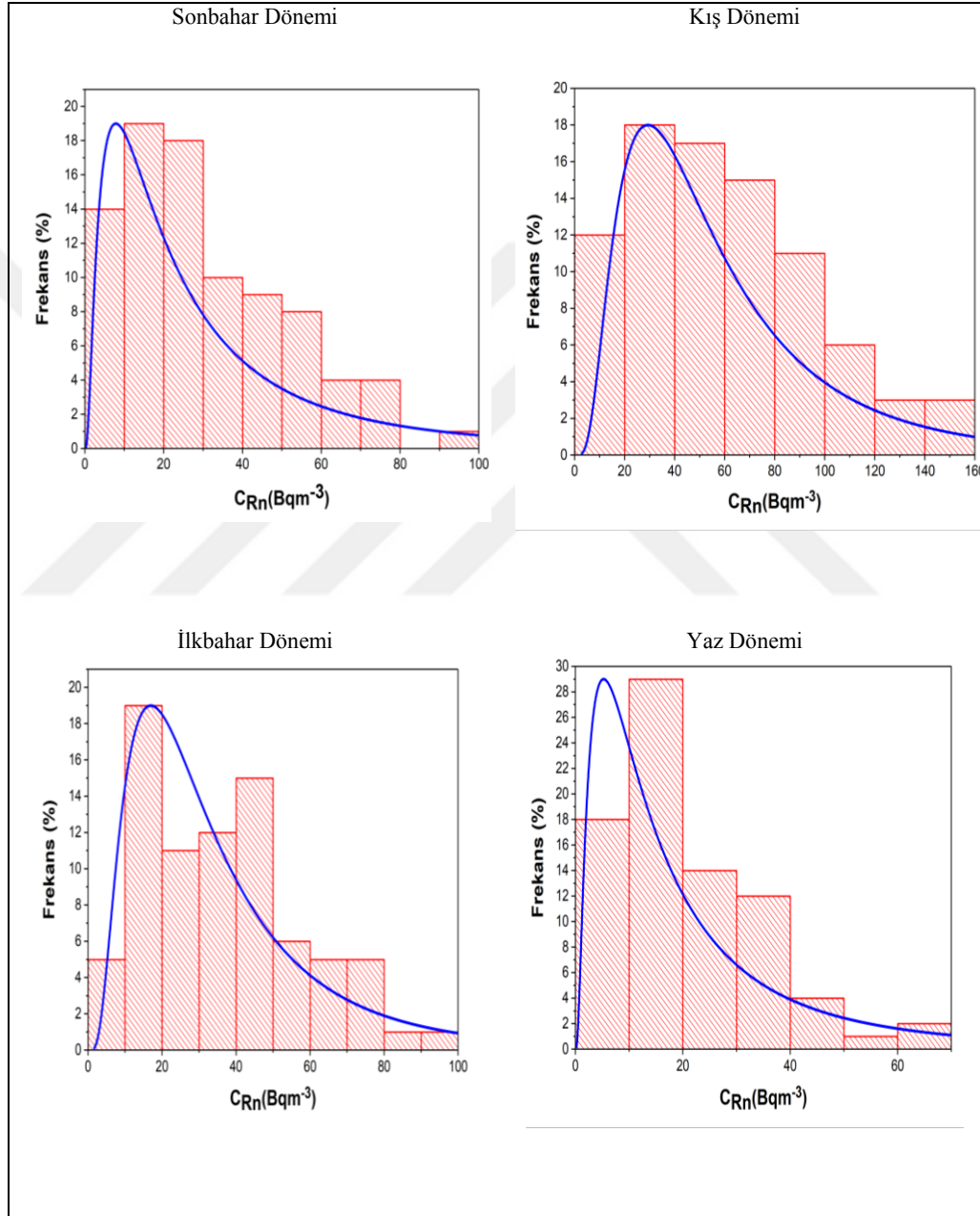
	S.bahar	Kış	İ.bahar	Yaz	Log ₁₀ (S.bahar)	Log ₁₀ (Kış)	Log ₁₀ (İ.bahar)	Log ₁₀ (Yaz)
Ölçüm sayısı	87	85	80	80	74	74	74	74
Mod	10,74	24,40	10,40	15,70	1,03	1,39	1,02	1,20
Medyan	25,23	53,56	33,13	17,60	1,40	1,73	1,52	1,25
Aritmetik ortalama	30,37	59,49	35,58	20,38	1,48	1,77	1,55	1,31
Standart Sapma	21,26	35,41	21,24	14,06	1,3	1,5	1,3	1,1
Skewness	,747	,630	,551	1,099	-0,1	-0,2	-0,3	0,0
Kurtosis	-,213	-,253	-,417	1,375	-	-	-	0,1

Dağılımı test etmek için kullanılan yollardan biri ölçülen medyanyı aritmetik ortalama veya geometrik ortalama ile karşılaştırmaktır. Dağılım normal ise, ortalama medyana eşit olmalıdır. Eğer dağılım log-normal ise, o zaman geometrik ortalama medyana eşit olmalıdır (Karadeniz ve ark., 2008). Mevsimsel ^{222}Rn aktivite konsantrasyon değerlerini normale daha yaklaştırmak için bu değerlere logaritmik dönüşüm uyguladık ve bu değerleri $\text{Log}_{10}(\text{s.bahar})$, $\text{Log}_{10}(\text{kış})$, $\text{Log}_{10}(\text{ilkbahar})$, $\text{Log}_{10}(\text{yaz})$ olarak adlandırdık (Tablo 4.2.). Hesaplanan logaritmik değerlerde ortalama ve medyan değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğunu yani verilerin logaritmik dönüşümle normale yaklaştığını görmüş olduk. Bu durumda bize ölçülen bina içi ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının dağılımının log-normal dağılıma uyduğunu kanıtlamış oldu.

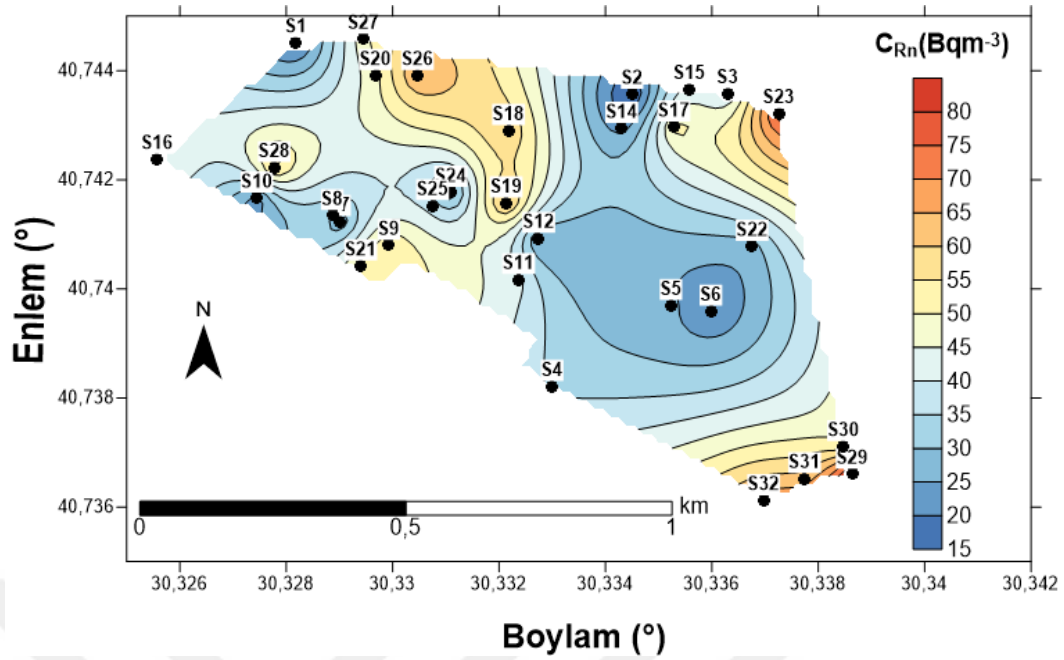
Yukarıda verilen Tablo 4.2. de temel tanımlayıcı istatistikler verilmiştir. Skewness verinin simetrik dağılıp, dağılmadığının bir göstergesidir. Serilerin simetriden ne kadar uzaklaştığını gösteren “Çarpıklık Katsayısı” olarak adlandırılır. Simetrik dağılan bir verinin Skewness değeri 0’dır. Simetrik olmayan sağ yaslı bir veri de yani büyük değerlerin ağırlıkta olduğu bir veride pozitif Skewness vardır. Simetrik olmayan sola yaslı bir veride, yani küçük değerlerin ağırlıkta olduğu bir veride negatif Skewness katsayısı vardır. Bulduğumuz mevsimsel verilere göre Skewness sonbahar, kış, ilkbahar mevsimleri için negatif değerdedir yani sola yaslı bir veridir. Kurtosis verinin bir Gauss dağılımına uyup, uymadığını belirler. Serinin yüksekliğinin normal serinin yüksekliğinden ne kadar uzaklaştığını gösteren “Basıklık Katsayısı” olarak adlandırılır. Gauss dağılımının Kurtosis değeri 0’dır. Daha düz bir dağılım negatif Kurtosis değerine sahiptir. Gauss dağılımından daha dik bir dağılım pozitif Kurtosis değerine sahiptir. Bizim örneğimizde Kurtosis değerleri yaz mevsimi için pozitif, sonbahar ve kış mevsimleri için negatif çıkmıştır. Yaz mevsimi kurtosis sayısı pozitif değerlerde olduğuna göre dağılımlar diğer mevsimlere göre daha dik oluşur (Şekil 4.8.).

Kampüs yerleşkesinde ölçülen mevsimsel ^{222}Rn aktivitesinin frekans dağılımları aşağıda bulunan Şekil 4.9.’da gösterilmiştir. Ölçülen mevsimsel radon aktivite konsantrasyon değerlerinin normal veya log-normal dağılımlar arasındaki benzerliğini test etmek için radon araştırmalarında sıkça kullanılan normal dağılım

testleri arasında olan Kolmogorov-Smirnov normalite testi (Aşıcı, 2013) kullanıldı ve %5 anlamlılık seviyesinde sig. (anlamlılık) değerleri her mevsim için 0,05'ten küçük değerlerde çıktığı için verilerin normal dağılıma uymadığı görülmüştür. Şekil 4.8.'da Sakarya Üniversitesi Kampüs Bölgesinde bulunan 32 binanın ölçülen radon aktivite konsantrasyonlarının mevsimsel frekans dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Mevsimsel ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları



Şekil 4.9. Çalışma bölgesinde ^{222}Rn spesifik aktivite dağılımlarını gösteren kontur haritası

Yıllık ortalama radon ölçüm sonuçlarının yorumlanması ve değerlendirilmesi için çizilen radyoaktivite dağılım haritası Şekil 4.9.'da verilmektedir. ^{222}Rn için en yüksek aktivite konsantrasyonları sırasıyla S29 (Yurtkur-KYK A Blok) $83,6 \text{ Bqm}^{-3}$, S23 (BESYO) $77,76 \text{ Bqm}^{-3}$, S32 (Yurtkur-KYK D Blok) 69 Bqm^{-3} , S26 (Merkez Kafeterya) $65,43 \text{ Bqm}^{-3}$ bulunmuştur. En düşük yıllık ortalama radon konsantrasyon değeri $14,03 \text{ Bqm}^{-3}$ ile ise S2 Fen Ed. Fak. C Blok'da bulunmuştur. Değerleri yüksek çıkan binalarda havalandırmanın az olduğu yorumu yapılabilir.

Kampüs Bölgesinde ölçülen bina içi radon konsantrasyon seviyeleri, Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) tarafından önerilen 200 Bq/m^3 'lük eylem seviyesinin ve radon konsantrasyonunu evlerde (TAEK) 400 Bq/m^3 olan değerlerin oldukça altındadır.

Bu çalışmada elde edilen veriler Tablo 4.3.'de bulunan literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4.3.'de görülebileceği gibi, farklı konumlarda kapalı alandaki radon aktivitesinin değerlerinde büyük bir farklılık vardır. Bu çalışmalardaki farklılıkların sebebi olarak çalışma alanlarının farklı jeolojik yapıda olması gösterilebilir.

Sakarya ilinde okullarda radon ölçümü yapılan başka bir çalışmanın (Kapdan, 2009) en düşük ve en yüksek radon konsantrasyon değerleri (Tablo 4.3.) sırasıyla 10-150,92 Bqm⁻³ olarak bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda bulunan en düşük radon konsantrasyonu 0,2 Bqm⁻³, en yüksek radon konsantrasyon değeri 149,53 Bqm⁻³ ile benzerlik göstermektedir. Sakarya merkez toprak yapısı alüvyonlu ve killi (Eliçalışkan, 2007), Kampüs bölgesinin bulunduğu toprak yapısı ise sert ve dayanımlı kaya zeminlerden oluşur, karbonatlar (kireçtaşı) egemendir (Hayır, 2007). Sakarya merkez toprak yapısına göre Kampüs bölgesi toprağının radon gazı geçirgenliği daha fazladır. Bu karşılaştırmaya göre Kampüs bölgesindeki ²²²Rn aktivite konsantrasyon sonuçlarının Sakarya merkezde ölçülen aktivite konsantrasyonları ile en benzer değerlerde çıktığı gözlenmiştir. Bu benzerliği Kampüs bölgesinin Sakarya merkeze göre daha fazla rüzgâr alması (Serdivan Belediyesi, 2018) ve Kampüs bölgesindeki binalarda havalandırmanın daha çok olması ile açıklayabiliriz.

Tablo 4.3. Dünyada ve Türkiye’de yapılmış bina içi radon aktivitesi ve yıllık etkin doz çalışmalarına örnekler

Çalışma alanı	²²² Rn aktivitesi (Bqm ⁻³)	Yıllık etkin doz (mSvy ⁻¹)	Kaynaklar	Ülke
Okul	31-157	0,06-1,40	(Çevik ve ark., 2013)	Trabzon, Türkiye
Okul	3,48-210,51	0,17-0,01	(Al Zabadi ve ark., 2015)	Filistin
Okul	22-228	0,55-0,71	(Rafique ve ark., 2010)	Pakistan
Okul	60-250	-	(Clouvas ve ark., 2011)	Yunanistan
Okul	10-89	0,1-0,2	(Papaefthymiou ve Georgiou, 2007)	Yunanistan
Okul	20-1440	-	(Vaopatič ve ark., 2001)	Slovenia
Okul	301-1582	-	(Llerena ve ark., 2010)	Spain
Okul	21-1608	-	(Trevisi ve ark., 2012)	İtalya
Okul	11,87-58,98	-	(Aras, 2011)	Kastamonu, Türkiye
Okul	10-150,92	0,47	(Kapdan, 2009)	Sakarya, Türkiye
Kampüs	20,5-41,3	1,49	(Hasan, 1996)	Filistin
Kampüs	157-495	0,99-3,12	(Obed ve ark., 2011)	Nijerya
Kampüs	24,2-462	1,3-23	(Maged , 2009)	Mısır
Kampüs	27-213	0,16-2,32	(Khan ve ark., 2005)	Pakistan
Kampüs	40-335	0,79-4,27	(Alkan ve Karadeniz, 2014)	İzmir, Türkiye
Kampüs	173-324	1,8-3,4	(Bayraktar, 2011)	Isparta, Türkiye
Kampüs	0,2-149,53	0,3-1,4	Bu çalışma	Sakarya / Türkiye

4.2. Bina İçi Radon Aktivitesinin Katlara Göre Dağılımı

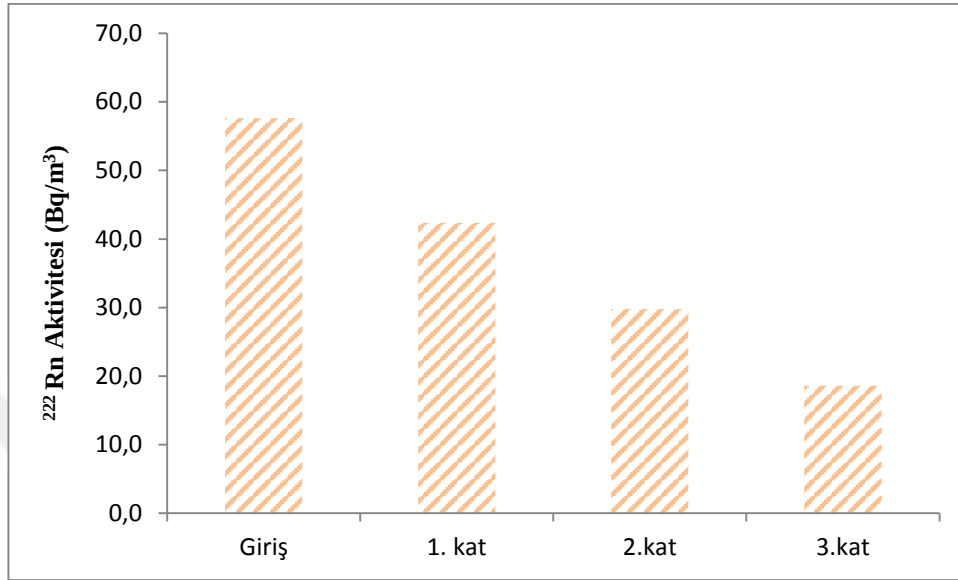
Radon gazının bina içine giriş yolları arasında bina yapımında kullanılan yapı malzemeleri, duvarlar arası boşluklar, birçok amaçla kullanılan doğal gaz, kullanılan şebeke suları ve bina içi radon gazının en çok birikimine sebep olan zemin çatlakları sebep olarak gösterilebilir. Bu nedenle bina içerisinde biriken radon gazının havadan yaklaşık 8 kat daha ağır olması sebebi ile üst katlara çıkıldıkça radon konsantrasyonunun azalması beklenir. Aşağıdaki Tablo 4.4.'de ölçüm yapılan binaların katlarına ait ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri verilmiştir.

Tablo 4.4.Binaların katlarına ait ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri

Bina No	Giriş Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat
S1	31,72	16,2	14,2	8,175
S2	31,62	11,7	7,38	5,4
S3	79,1	39,85	25,98	12,75
S4	68,92	39,73	17,35	10,39
S5	40,46	29,92	20,35	13,98
S6	42,39	17,89	12,14	8,23
S7	45,64	27,18	17,22	11,12
S8	50,52	38,77	24,44	11,47
S9	69,75	65	56,85	49,9
S10	32,1	24,7	17,4	13,7
S11	61,3	48,1	38	19,5
S12	37,1	23,2	11,7	-
S13	40,7	28,3	21,2	11,5
S14	37,7	29,06	23,44	15,19
S15	42,7	-	-	-
S16	41	25,4	-	-
S17	62,1	41,2	-	-
S18	78,91	59,23	39,68	-
S19	84,38	71,74	58,16	37,69
S20	67,52	50,54	44,12	30,18
S21	52,09	-	-	-
S22	68,57	-	24,55	22,89
S23	86,05	90,91	57,08	-
S24	62,76	48,54	19,44	-
S25	48,08	37,76	27,64	-
S26	84,21	84,54	42,74	-
S27	63,59	54,06	43,35	33,99
S28	66,59	55,76	51,01	-
S29	83,66	-	-	-
S30	51,59	-	-	-
S31	62,19	-	-	-
S32	68,99	-	-	-

Tablo 4.4.'de verilen sonuçlara göre bina içerisinde üst katlara çıkıldıkça radon aktivite konsantrasyonlarında beklenildiği gibi azalma olduğu görülmüştür.

Aşağıda (Şekil 4.10.) Sakarya Üniversitesi Kampüs bölgesindeki fakülte binalarında ölçülen radon konsantrasyonların katlara göre ortalama değerlerinin dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 4.10. ^{222}Rn aktivitesinin bina katlarına göre dağılımı

Bina içi ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının katlara göre değişim grafiği (Şekil 4.10.) incelendiğinde en yüksek aktivite konsantrasyonunun birinci katta olduğu, daha yüksek katlarda ortalama konsantrasyonunun kademeli olarak azaldığı açıkça görülmektedir. Aynı durum bizim vardığımız sonucu destekleyen çok katlı binalarda yapılan başka çalışmalarda da (Khan, 2000; Shaikh, ve ark., 2003) gözlemlenmiştir. ^{222}Rn aktivite konsantrasyonunun yükseklik arttıkça kademeli olarak azaldığı söylenebilir. (Khan, 2000).

Sakarya Üniversitesi Kampüs bölgesinde radon aktivitesini ölçtüğümüz 32 fakültenin katlarının aritmetik ortalaması Şekil 4.10.'de gösterildiği gibi giriş katlarında $57,6 \text{ Bqm}^{-3}$, 1. Katlarda $42,4 \text{ Bqm}^{-3}$, 2. Katlarda $29,8 \text{ Bqm}^{-3}$, 3. Katlarda ise $18,6 \text{ Bqm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Beklenildiği gibi havadan yaklaşık 8 kat ağır olan radon gazının bina içinde üst katlara çıkıldıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

4.3. Bina İçi Yıllık Etkin Doz Sonuçları

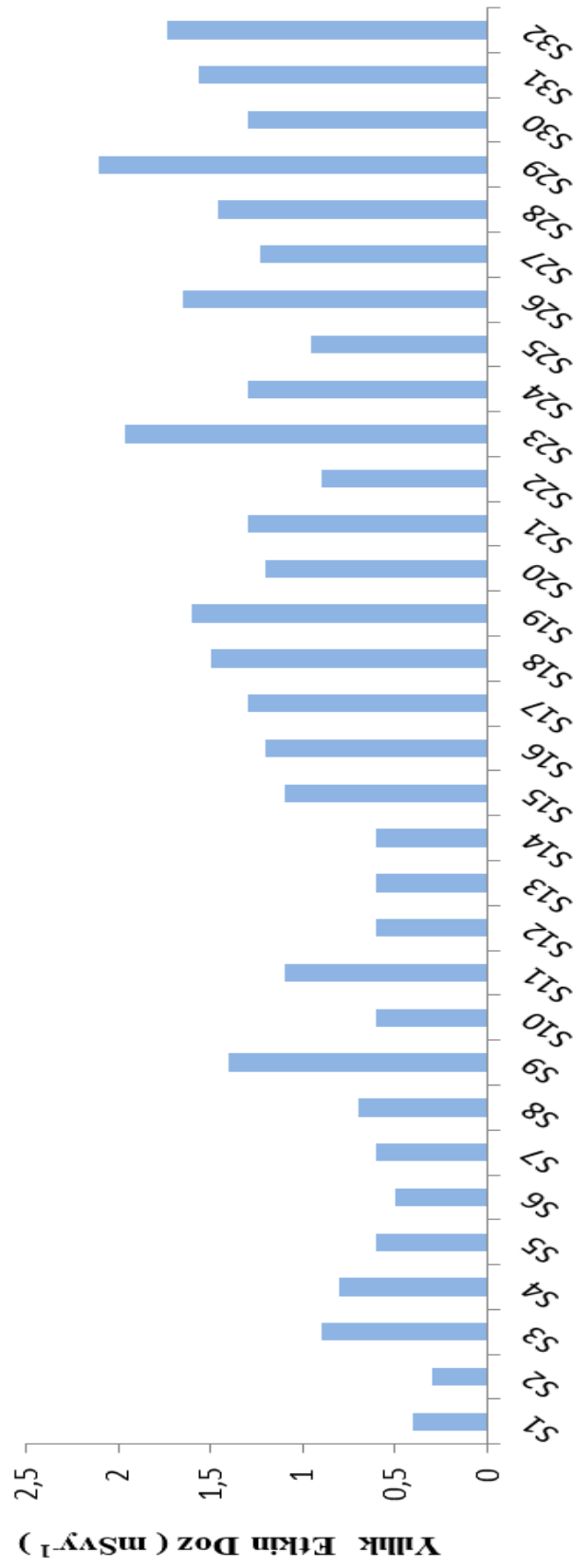
İnsanların bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu yıllık etkin doz eşdeğeri (Y.E.D.E), olarak tanımlanır. Bu dozun vücuda alımı, farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kalmak sureti ile, gerekse yediği ve içtiği gıdalar veya soluduğu havada bulunan değişik radyonüklitlerden yayınlanan ışınlarla içeriden maruz kalmak sureti ile gerçekleşir. Yıllık etkin doz birimi sievert'tir. Birim hacim veya birim ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörleri çarpılarak yıllık etkin doz eşdeğeri bulunur (Değerliler, 2007).

Radon ve ürünlerinden alınan dozun değerlendirilebilmesi için, denge eşdeğer radon konsantrasyon değerinin bilinmesi gerekir. Bu değer, F denge faktörü eşitliğinden yararlanılarak hesaplanabilir. F değeri ev içi ışınlamalar için 0.4, dış hava için 0.8 olarak verilmektedir (UNSCEAR, 1993).

Radon ve bozunum ürünlerinin yıllık etkin biyolojik doz eşdeğerini hesaplamak için aşağıda verilen formül 4.1'den yararlanılır.

$$Y.E.D.E.=C_{Rn}(Bqm^{-3})\times 0.4\times 7,000(h/yıl)\times 9nSv (Bqhm^{-3})^{-1} \quad (4.1)$$

Ortalama radon konsantrasyonunun $C_{Rn} (Bqm^{-3})$ radon, doz dönüştürme faktörü 9 (nSv) $(Bqhm^{-3})^{-1}$, yıl içinde binada geçirilen süre 7000 saat, kapalı alanlar için denge faktörü 0,4 ile çarpılmasıyla yıllık etkin doz değerine ulaşılır (UNSCEAR, 2000).



Şekil 4.11. Fakülte binalarında ölçülen yıllık etkin doz değerleri

Sakarya Üniversitesi Kampüs bölgesi için bulunan ortalama yıllık etkin doz değeri 1,01 mSv/y olarak bulunmuştur. ICRP yıllık etkin doz için müdahale sınırını 3-10 mSv/y olarak belirlemiştir (TAEK, 2014). Bu limit değerini de göz önünde bulundurduğumuzda, Şekil 4.11.'de fakülteler için hesaplanan yıllık etkin doz değerlerinin hepsinin 3 mSv/yıl değerinin altında olduğu sonucuna ulaşırız.

Tablo 4.5. Dedektör sayısı, ortalama radon konsantrasyonu, yıllık etkin doz ve maruz kalan öğrenci sayısı

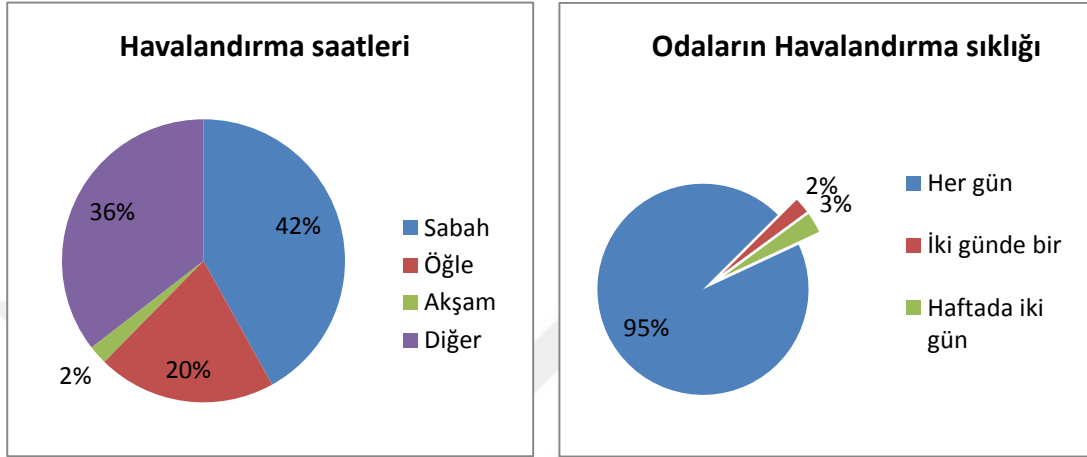
Bina no	Binalar	Dedektör sayısı	²²² Rn aktivitesi (Bqm ⁻³)	Yıllık etkin doz (mSv ⁻¹)	Bina içi öğrenci sayısı	4 yıl boyunca maruz kalınan toplam doz (mSv)
S1	Fen Ed. Fak. A Blok	10	17,6	0,4	Şekil 4.11. Fakülte binalarında ölçülen yıllık etkin doz değerleri	1,6
S2	Fen Ed Fak C Blok	13	14	0,3		1,2
S3	Fen Ed. Fak. D Blok	7	39,4	0,9		3,6
S4	Devlet Konservatuarı	10	34,1	0,8		3,2
S5	Güzel Sanatlar Fak.	11	26,2	0,6		2,4
S6	Sağlık Yüksek Okulu	9	20,2	0,5		2
S7	Elektrik-Elektronik Müh.	9	25,3	0,6		2,4
S8	Elektrik Müh.	12	31,3	0,7		2,8
S9	Bilgisayar/ Endüstri Müh.	8	54,8	1,4		5,6
S10	Met. Malz. ve Makine Müh.	22	22	0,6		2,4
S11	Teknik Eğitim Fak. E Blok	27	41,7	1,1		4,4
S12	Rektörlük Binası	18	24	0,6		2,4
S13	M2	10	25,4	0,6		2,4
S14	Enstitü Binası	13	23,3	0,6		2,4
S15	Mediko	3	42,7	1,1		4,4
S16	Bilg. ve Bilişim Müh.	7	46,4	1,2		4,8
S17	Öğrenci İşleri	5	51,7	1,3		5,2

Ortalama radon konsantrasyon değerleri kullanılarak kampüs bölgesindeki insanların bina içi radon ve radonun bozunum ürünlerinden aldıkları toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri ve öğrenim hayatları boyunca (4 yıl) bulundukları fakültelerde alacakları etkin doz eşdeğerleri yukarıda Tablo 4.5.' de verilmiştir.

4.4. Anket Sonuçlarının değerlendirilmesi

Sakarya Üniversitesi Bina İçi Radon Konsantrasyonun belirlenmesine katkı sağlaması amacıyla Ek-A' da örneği gösterilen anket çalışması 127 kişiye uygulanmış, çalışma odaları ve sınıflar için değerlendirmeler yapılmıştır. Anket soruları içerisinde odada geçirilen günlük ortalama süre, odanın ne şekilde

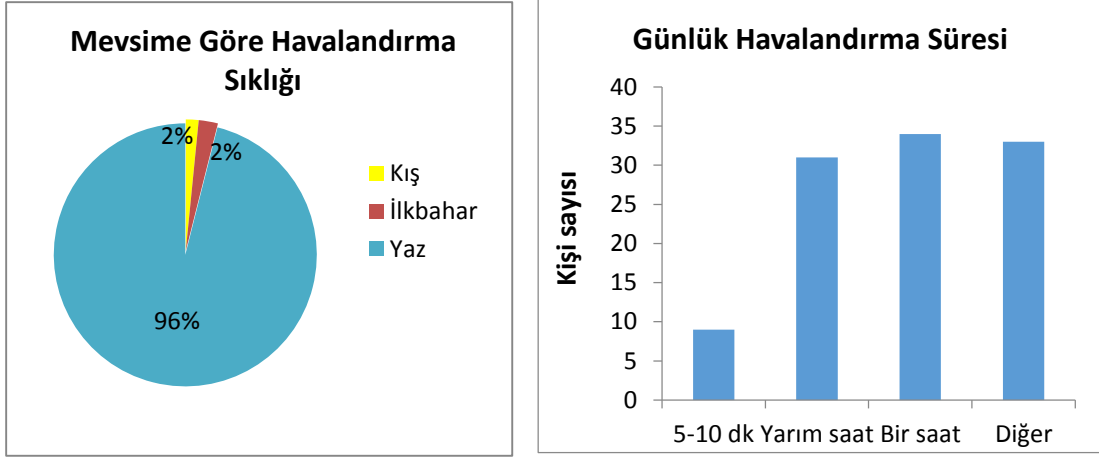
havalandırıldığı, ne sıklıkla havalandırıldığı, günün hangi saatlerinde ve en çok hangi mevsimde havalandırıldığı, odalarda sigara içilip içilmediği, sigara içilen odalarda havalandırmanın nasıl ve ne sürelerle yapıldığı ve günlük ortalama içilen sigara sayısı bulunmaktadır.



Şekil 4.12. Anket sonuçlarına göre odaların havalandırma saatleri ve sıklığı

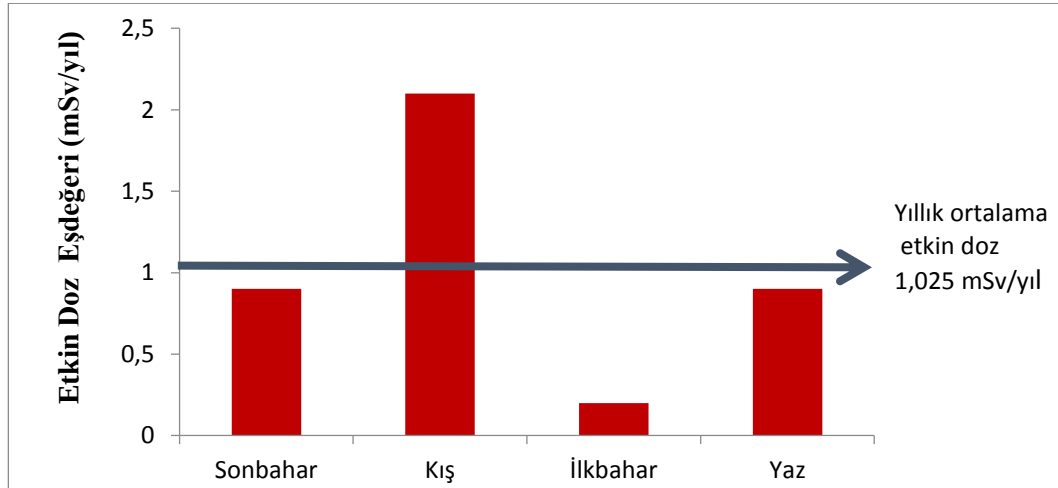
Anket sonuçlarına göre çalışma odalarında ve sınıflarda ortalama 8-10 saat arası vakit geçiren öğrenciler ve çalışanların odalarını havalandırma saatleri (Şekil 4.12.) en çok %42 oranla sabah saatlerinde ve ardından %36'lık oranla diğer seçeneği çıkmıştır. Verilen cevaplarda % 36'lık diğer şıkkının içinde ihtiyaç duyuldukça, duruma göre, günde birkaç defa vb. cevaplar vardır. Havalandırma sıklığı %95 her gün yapılmaktadır.

Aşağıda (Şekil 4.13.) mevsimlere göre havalandırma sıklığı ve günlük havalandırma sürelerini gösteren grafikler mevcuttur. Bu grafiklere bakarak radon aktivite yoğunluğu sonuçlarının mevsimsel havalandırma sıklığına bağlı olarak değiştiğini yorumlayabiliriz.



Şekil 4.13. Anket sonuçlarına göre odaların havalandırma süreleri ve mevsimlere göre havalandırma sıklığı

Havalandırma süresi en çok bir saat ve ardından diğer seçeneği gelmektedir. 12 kişi sürekli havalandırma yaptığını söylemiştir. Diğer seçeneğinin içerisinde verilen cevaplar arasında sürekli cam açık, hava durumuna göre, mevsime göre cevapları yer almaktadır. Anket sonuçlarından anlaşılabileceği gibi çalışanların büyük çoğunluğu (%95) hergün ve yaz aylarında en çok havalandırma yaptığı sonucuna ulaşabiliriz. Yukarıdaki grafikten anlaşılabileceği gibi en çok havalandırma yaz aylarında yapılmış ve ölçüm sonuçlarında en az radon konsantrasyonu yaz mevsiminde çıkmıştır. Bu sonuçlar bize radon konsantrasyonunun havalandırmaya bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.



Şekil 4.14. 8 Kişilik çalışma odasının mevsimsel ve yıllık etkin doz grafiği

Yapılan anket sonucuna göre bir oda içerisinde en fazla çalışan sayısı 8 kişi olan Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği giriş katında bulunan çalışma odasının mevsimsel ve yıllık etkin doz grafiği yukarıdaki şekilde (Şekil 4.14.) gösterilmiştir. En yüksek etkin doz kış döneminde 2,1 mSv/y, en düşük etkin doz değeri ise ilkbahar döneminde 0,2 mSv/y bulunmuştur. Yıllık ortalama etkin doz değeri 1,025 mSv/y olarak hesaplanmıştır.

Her dönem için hesaplanan etkin doz değerlerinin ICRP'nin belirlediği yıllık etkin doz için müdahale sınırı olan 3-10 mSv/y değerinin oldukça altında bulunduğu görülmektedir.

Bu oda için anket sorularına verilen cevaplara göre oda içerisinde her sabah en az 1 saat cam açılarak havalandırma yapılmaktadır. Odada sigara içilmemektedir. Havaaların ısınması ile birlikte oda içerisinde havalandırmanın daha çok yapıldığı söylenmiştir. Yukarıdaki grafik (Şekil 4.14.) sonuçlarına göre en az etkin doz değerinin ilkbahar mevsiminde çıkmasının sebebi olarak üniversitenin tatile çıkmadan önceki son çalışma dönemi olması ve havaaların ısınmaya başlaması ile daha çok havalandırma yapılmaya başlanması gösterilebilir. Anket sorularına verilen cevapların yukarıda verilen grafik (Şekil 4.14.) sonuçlarını doğruladığı görülmektedir.

Sakarya Üniversitesi Öğrenci ve Çalışanlarında Bina İçi Radon Konsantrasyonu Etkisinin Farkındalığının Belirlenmesi hakkında yapılan başka bir anket çalışması Sakarya Üniversitesi bünyesinde bulunan 88 akademik personel, 23 idari personel ve 1668 öğrenci ile birlikte toplam 1779 kişi ile gerçekleştirilmiştir. Anket soruları içerisinde bulunan 'Radon ile ilgili herhangi bilgiye sahip misiniz?' sorusuna akademik personelin %23'ü evet, %77'si ise hayır cevabını vermiştir. Öğrencilerden ise %14,7'si evet, % 85,3'ü ise hayır cevabını vermiştir. İdari personel % 22,7 evet, % 77,3 hayır cevabını vermiştir. Toplamda 1779 kişinin %15,2'si radon hakkında bilgiye sahip, % 84,8'inin hiçbir bilgiye sahip olmadığı sonucuna varılmıştır (Demirci Saygı, ve ark., 2017).

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Tez çalışmasının Sakarya Üniversitesi Kampüs yerleşkesinde bulunan fakültelerin radon aktivite konsantrasyonları belirlenerek radyolojik risk değerlendirilmiştir.

Renksiz, kokusuz, tatsız, gözle görülemeyen doğal radyoaktif asal bir gaz olan radon havadan yaklaşık 8 kat ağırdır, binaların zemininde bulunan çatlaklardan bina içinde birikerek radon yoğunluğunu oluşturur. Bina içi radon yoğunluğu oluşturmada birinci sırayı toprak, ikinci ve üçüncü sırayı önem sırasına göre bina yapı malzemeleri ve şebeke suyu oluşturur. Özellikle soğuk havalarda evlerin ısıtılması sonucu evdeki basınç az ve dışarıdaki basınç fazla olur. Evlerin soğuk havalarda yeterince havalandırılmamasından da dolayı ev içerisindeki radon oranı yükselir. Yaz aylarında evlerde havalandırma olacağı için ve herhangi bir ısıtma sistemine ihtiyaç duyulmayacağı için bina içinde dışarı ile basınç farkı olmaz. Bu durumda radon yoğunluğunun yaz aylarında düşük olması muhtemeldir.

Sakarya Üniversitesi Kampüs Yerleşkesinde bulunan binaların ortalama mevsimsel radon aktivite konsantrasyonları en düşük yaz döneminde $21,1 \text{ Bqm}^{-3}$, sonbahar döneminde $32,9 \text{ Bqm}^{-3}$, ilkbahar döneminde $37,6 \text{ Bqm}^{-3}$, en yüksek kış döneminde $63,1 \text{ Bqm}^{-3}$ hesaplanmıştır. Yıllık ortalama radon konsantrasyonu ise $38,7 \text{ Bqm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır.

Kış mevsiminde bina içi radon yoğunlukları $6,68-149,53 \text{ Bqm}^{-3}$, ilkbahar mevsiminde $3,3-90,82 \text{ Bqm}^{-3}$, yaz mevsiminde $0,2-66,2 \text{ Bqm}^{-3}$, sonbahar mevsiminde ise $0,2-111,51 \text{ Bqm}^{-3}$ aralığında değişmektedir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) evler için üst limit değerlerini 400 Bq/m^3 olarak belirlemiştir. Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonunun (ICRP) kabul ettiği alt sınır 200

Bq/m³'dür. Kampüs bölgesinde 1 yıl içinde hesaplanan bina içi radon yoğunluğu değerlerinin verilen bu sınır değerleri aşmadığı gözlemlenmiştir.

Kampüs bölgesinde yapılan ölçüm ve hesaplamalara göre bina içi yıllık ortalama aktivite konsantrasyonu 38,7 Bq/m³ bulunmuştur. Bu değer Türkiye'de 81 ilde 153 yerleşim biriminde toplam 7293 konutta yapılan radon konsantrasyon ölçümleri sonucu Türkiye radon konsantrasyonu aritmetik ortalaması 81 Bqm⁻³ olarak hesaplanmıştır (TAEK, 2014). UNSCEAR 2000 raporunda evlerde ölçülen radon konsantrasyonu aritmetik ortalaması tüm dünya için 40 Bqm⁻³ olarak verilmektedir. Sakarya Üniversitesi Kamüs Yerleşkesi için bulunan yıllık ortalama radon aktivite konsantrasyon değeri dünya ortalamasının ve Türkiye için hesaplanan radon konsantrasyonu aritmetik ortalama değeri olan 81 Bqm⁻³ oldukça altında çıkmıştır.

Radon yoğunluğunun, toprağa yakın olması sebebiyle zemin katlarda yüksek, üst katlara çıkıldıkça düşük olması beklenir. Bu çalışmada elde edilen hesaplamalara göre Kampüs bölgesindeki fakültelerin katlarında yapılan kat analizi sonuçları bunu doğrular niteliktedir.

Mevsimsel bina içi ²²²Rn aktivite konsantrasyonlarının, mod, medyan, aritmetik ortalaması, medyanı, geometrik ortalaması, standart sapması, minimum ve maksimum değerleri, Skewness ve Kurtosis kat sayıları IBM SPSS 20 istatistik programı kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 4.2). Ayrıca, bina içlerinde saptanan mevsimsel ²²²Rn aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları elde edilerek (Şekil 4.8.) bu dağılımların normal ve log-normal dağılım fonksiyonları ile uygunluğu tartışılmıştır. Ölçülen mevsimsel ²²²Rn aktivite konsantrasyon değerlerinin normal veya log-normal dağılımlar arasındaki benzerliğini test etmek için Kolmogorov-Smirnov normalite testi yapılmış ve ikinci bir seçenek olarak ²²²Rn aktivitelerinin medyan değeri, ortlaması ve geometrik ortalaması arasındaki benzerlik karşılaştırılmıştır. Kolmogorov-Smirnov normalite testi sonucunda %5 anlamlılık seviyesinde sig. (anlamlılık) değerleri her mevsim için 0,05'ten küçük değerlerde çıktığı için verilerin normal dağılıma uymadığı görülmüştür. Aktivitelerin medyan ve ortalama değerleri birbirine eşitse dağılımın normal, medyan ve geometrik ortalama

değerleri birbirine eşitse dağılımın log-normal olduğunu belirlemek için ^{222}Rn aktivite konsantrasyon değerlerinin medyan ve ortalama değerleri arasındaki benzerliğe baktığımızda (Tablo 4.2.) medyan ve ortlamanın birbirine eşit olmadığı görülmüş ve dağılımın normal dağılmadığını ispatlamak için mevsimsel ^{222}Rn aktivite konsantrasyon değerlerinin 10 tabanında logaritması alınarak ortaya çıkan yeni değerlerin medyan ve ortalama değerlerini karşılaştırdığımızda hemen hemen birbirlerine eşit sonuçların çıktığı görülmüş ve dağılımın logaritmik değerlerinin normal dağılıma uyduğu gözlenmiştir. Bu gözlemin sonucunda ölçülen mevsimsel ^{222}Rn aktivite konsantrasyon değerlerinin log-normal dağılıma uyduğunu ispatlamış olduk.

Sakarya Üniversitesi Kampüs içerisinde bulunan insanların bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu olan ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri (Y.E.D.E), her fakülte için hesaplanış ve en düşük Fen Ed.Fak. C Blok 0,3 mSv/y, en yüksek Yurtkur-KYK A Blok'da 2,1 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Kampüs bölgesi için ortalama yıllık etkin doz 1,01 mSv/y bulunmuştur. Bu değerler ICRP tarafından önerilen 3 mSv/y bina içi yıllık etkin doz değerinin oldukça altında çıkmıştır.

Radon gazının sağlık üzerine etkileri arasında akciğer kanseri bulunmaktadır. Halkın bu konuda hakkında daha fazla bilinçlenmesi ve radon ile ilgili önlemlerin alınması için çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abd. El-Zaher, M., 2011. Seasonal variation of indoor radon concentration in dwellings of Alexandria city, Egypt. *Radiation Protection Dosimetry*, 143(1), pp. 56-62.
- Akkurt, N., 2014. Eskişehir İlçelerinde Radon Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimi. Eskişehir, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Akyıldırım, H., 2005. Isparta İlinde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Al Zabadi, H., Mallah, K. & Saffarini, G., 2015. Indoor exposure assessment of radon in the elementary schools, Palestine, s.l.: International Journal of Radiation Research.
- Alkan, T. & Karadeniz, Ö., 2014. Indoor 222Rn Levels and Effective Dose Estimation of Academic Staff in Izmir-Turkey. 27(4).
- Anon., 2009. Laf Sözlük. <https://www.lafsozluk.com/2012/01/sakarya-adapazari-ilinin-turkiye-haritasi.html> [Erişim 15 04 2018].
- Aras, G., 2011. Kastamonu Merkezdeki Okul Binalarında Havadaki Radon Aktivitesinin Ölçülmesi. s.l.:Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Aşıcı, C., 2013. Radon Gazı Yoğunluğu Ölçümlerinin Detaylı İstatistiksel Analizleri, s.l.: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Atabey, E., 2013. Türkiye'de Doğal Radyasyon Kaynakları ve Tıbbi Jeolojik Etkileri, s.l.: MTA Yer Bilimleri ve Kültür Serisi-10.
- Bahtijari, M., Stegnar, P. & Shemsidini, Z., 2007. Seasonal variation of indoor air radon concentration in schools in Kosovo. 42(2).
- Baran, A., 2013. Denizli ve Çevresindeki Termal Alanalarda Bina İçi Radon Düzeylerinin Belirlenmesi, İzmir: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bayrak, A., 2012. Desing and Optimization of A Radon Field Monitor Based On Silicon Pin Photodiode, s.l.: İstanbul Technical University F GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE ,Department of Physics Engineering, M.Sc. THESIS.

- Bayraktar, G., 2011. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Nükleer İz Dedektörleri Kullanılarak Belirlenmesi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bohicchio, F., McLaughling, J. & Piermattei, S., 1995. Radon in indoor air. s.l.:s.n.
- Borak , T., Woodruff, B. & Toohey, R., 1989. A Survey Of Winter, Summer And Annual Average Rn-222 Concentrations İn Family Dwellings. 57(3).
- Botkin, D. & Keller, E., 1988. s.l.: Environmental Science. John Willey Sons.
- Can, B., 2011. Kilis İlindeki Evlerde Radon Gazı Ölçümü, Kilis: Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Clouvas, A. & Xanthos, S., 2011. A Comparison Study Between Radon Concentration In Schools And Other Workplaces, s.l.: Radiation Protection Dosimetry.
- Commission Swedish Radon, 1983. Radon in Dwellings. SOU:6, in Swedish, s.l.: s.n.
- Cothorn, C. R. & Rebers, P. A., 1990. Radon, Radium and Uranium in Drinking Water, s.l.: Lewis Publishers, INC..
- Cothorn, C. & Smith, J., 1987. Environmental Radon, New York: Environmental science research.
- Çağatay, G. & Çobanoğlu, Z., 1997. Radon Kirliliği, s.l.: Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No: 44 Ankara, Türkiye. .
- Çelebi, N., 2008. Türkiye’de radon ölçümleri, Ankara: Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Kitabı.
- Çevik, U. et al., 2013. Assessment of Radiological Levels at Schools in Trabzon, Turkey, s.l.: Indoor Built Environment.
- Damla, N., Kara, A., Tel, E. & Yeşilkanat, C., 2017. Mapping Of Indoor Radon Survey And Dose Estimations İn Health Centres İn Turkey. SAGE Journals, 26(3), pp. 327-336.
- Değerliler, M., 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Bulunması, Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Demirci Saygı, N. et al., 2017. Sakarya Üniversitesi Öğrenci ve Çalışanlarında Bina İçi Radon Konsantrasyonu Etkisinin Farkındalığının Belirlenmesi. s.l., Türk Fizik Derneği.
- Doi, M. & Kobayashi, S., 1996. Surveys of concentration of radon isotopes in indoor and outdoor air in Japan, s.l.: Environment International.
- Durrani, S. A. & Ilic, R., 1997. Radon measurements by etched track detectors: applications to radiation protection, s.l.: Earth Sciences and the Environment, World Scientific..

- Durrani, S. & Bull, R., 1987. Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Method and Applications. , s.l.: Pergamon Press, Oxford..
- Eliçalışkan, M., 2007. Coğrafya Dünyası <http://www.cografya.gen.tr/tr/sakarya/fiziki.html> [Erişim 23 Mayıs 2018].
- El-Zaher, M. A., 2011. Seasonal variation of indoor radon concentration in dwellings of Alexandria city, Egypt. 143(1).
- Emiroğlu, D. M., 1967. Sakarya'nın Ziraî Durumu, s.l.: Sosyoloji Konferansları Dergisi TÜBİTAK-ULAKBİM.
- Ertuğral, F. et al., 2013. Sakarya Üniversitesi ve Civarındaki Yerleşim Birimlerinde Bina İçi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi, s.l.: Sakarya Üniversitesi.
- Ertuğral, F. et al., 2016. Indoor Radon Concentration İnorencik and Dogancay villages of Sakarya, Turkey. Applied Science Reports, 14(1), pp. 167-169.
- Eskiler, U., 2017. Makaleler.com. [Online] Available at: <https://www.makaleler.com/radon-nedir-ozellikleri-zararlari>
- George, A. C. & BRESLIN, A. J., 1980. The Distribution of Ambient Radon and Radon Daughters in Residential Buildings in the New Jersey—New York Area. Volume 2.
- George, A., 1975. Indoor and outdoor measurements of natural radon and radon-daughter decay products in New York City air, s.l.: Natural radiation environment II.
- George, A. C., 2008. World History Of Radon Research And Measurement From The Early 1900's To Today. s.l., AIP Conference Proceedings.
- Gervino, G. et al., 2007. Annual average and seasonal variations of indoor radon concentrations in Piedmont (Italy) using three different detection techniques. 72(1).
- Güler, Ç. & Çobanoğlu, Z., 1997. Radon Kirliliği, s.l.: Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, Aydoğdu Ofset, Ankara, 47s..
- Günalp, G., 2012. Dokuz Eylül Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp Personelinin Bina İçi Radon Kaynaklı Doz Tahminleri, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Hasan, F. I., 1996. Indoor Radon Concentration Measurements At Hebron University Campus :A Case Study. 10(1).
- Hassanvand, H. et al., 2018. Indoor Radon Measurement in Dwellings of Khorramabad City, Iran. Iranian Journal of Medical Physics, 15(1), pp. 19-27.
- Hayır, M., 2007. 17 Ağustos 1999 Depremi Sonrasında Serdivan'ın Şehirsel Gelişimi, Sakarya: Akademik İncelemeler Dergisi.
- Heller, H. & Poulheim, K., 1992. Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, , Band 19, Stuttgart: s.n.

- Horasan, G. et al., 2013. Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü ve Yakın Çevresinde Mikrotremor Yöntemi ile Zemin Baskın Frekanslarının Belirlenmesi. s.l., The 20Th International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey.
- ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny, s.l.: ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40(1).
- Jönsson, . G., 1981. The Angular Sensitivity of Kodak LR-Film to Alpha Particle, s.l.: Nucl. Instr. Meth., 407-414..
- Kapdan, E., 2009. Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Karadeniz, Ö. & Yaprak, G., 2008. Geographical and vertical distribution of radiocesium levels in coniferous forest soils in Izmir, s.l.: Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.
- Kase, K. R., Bjärngard, B. E. & Attix, F. H., 1990. The Dosimetry of Ionizing Radiation Volume III. In: s.l.:Academic Press, Inc., pp. 334-335.
- Kendall, G. & Smith, T., 2002. Doses to organs and tissues from radon and its decay. 22(4).
- Khan, A., 2000. A study of indoor radon levels in Indian dwellings, influencing factors and lung cancer risks. Volume 32.
- Khan, S., Ali, S., Tufail, M. & Qureshi, A., 2005. Radon concentration levels in Fatima Jinnah women university Pakistan. 40(1).
- Köksal , E., 1997. A survey of Rn-222 concentrations in dwellings of Turkey , s.l.: Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 259 (2), 213-216..
- Kulalı, F., 2009. Topraktaki Radon Konsantrasyonu Ölçümü ve Deprem İlişkisinin Araştırılması. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Çevik, U. & Çelebi, N., 2011. Radon level and indoor gamma doses in dwellings of Trabzon, Turkey, Trabzon: Applied Radiation and Isotopes.
- Kuş, A., 2017. Sakarya İli Toprak Örneklerinde Doğal Radyasyon Düzeyinin Belirlenmesi ve Radon Yayılım Hızlarının Ölçülmesi, Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kürkçüoğlu, M. E. & Bayraktar, G., 2012. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Nükleer İz Dedektörleri Kullanılarak Belirlenmesi, Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.
- Kürkçüoğlu, M. E., Haner, B., Yılmaz, A. & Toroğlu, İ., 2009. Karaelmas Yerleşkesi Merkez Kütüphanesi Radon ölçümleri, s.l.: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi.
- Llerena, J., Cortina, . D., Durán, . I. & Sorribas, R., 2010. 222-Rn concentration in public secondary schools in Galicia (Spain), s.l.: Journal of Environmental Radioactivity.

- Maged , A., 2009. Estimating the radon concentration in water and indoor air, s.l.: Environmental Monitoring and Assessment.
- Malancaa, A., Favaa, R. & Gaidolfia, L., 1998. Indoor radon levels in kindergartens and play-schools from the province of Parma, s.l.: Journal of Environmental Radioactivity.
- Medici, F. & Rybach, L., 1994. Measurements of indoor radon concentrations and assessment of radiation exposure. 31(1-4).
- Milić, G., Jakupi, B. & Tokonami, S., 2010. The concentrations and exposure doses of radon and thoron in residences of the rural areas of Kosovo and Metohija. 45(1).
- Nagda, N. L., 1994. Radon: Prevalence, Measurements, Health Risks and Control. s.l.:ASTM Manual Series.
- NCRP, 1998. Measurements of Radon and Radon Daughters in Air, s.l.: s.n.
- Obed, R., Ademola, A., Vascotto, M. & Giannini, G., 2011. Radon measurements by nuclear track detectors in secondary schools in Oke-Ogun region, Nigeria. 102(11).
- Papaefthymiou, H. & Georgiou, C. D., 2007. Indoor radon levels in primary schools of Patras, Greece, s.l.: Radiation Protection Dosimetry.
- Pişkin, A., 2016. Ofis Çalışanlarının Radon Gazı Maruziyetinin Nükleer İz Dedektör Yöntemine Göre Belirlenmesi ve Sağlık Üzerine Etkileri, Ankara: T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Genel Müdürlüğü, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi.
- Przylibski, T. A., 1999. Radon concentration changes in the air of two caves in Poland. 45(1).
- Qureshi, . A. et al., 2000. Radon concentrations in coal mines of Baluchistan , Pakistan : Journal Of Enviromental Radioactivity, 48, 203-209..
- Rafique, M. et al., 2010. Assessment of indoor radon doses received by the students in the Azad Kashmir schools, Pakistan, s.l.: Radiation Protection Dosimetry.
- Ramachandran , T. & Subba Ramu , M., 1994. Variation of eguilbrium factor F between radon and its short-lived decay products in an indoor atmosphere, s.l.: Nucl.Geohys, 8, 499-503..
- Ramola, R., Negi, M. & Choubey, V., 2005. Radon and thoron monitoring in the environment of Kumaun Himalayas: survey and outcomes. 79(1).
- Satso, 2018. Sakarya Ticaret ve Sanayi Odası. <http://satso.org.tr/sakaryatanitim/81/sakarya-jeolojik-yapisi.aspx> [Erişim 2018].
- SATSO, 2018. Sakarya Ticaret ve Sanayi Odası. <http://satso.org.tr/sakaryatanitim/82/sakarya-cografik-yapisi.aspx>
- Scheib, C., Appleton , J. D., Miles , J. C. H. & Hodgkinson, E., 2013. Geological Controls On Radon Potential In England. 124(6).
- Serdivan Belediyesi, 2018. Sakarya Serdivan Belediyesi. [Online] Available at: <http://www.serdivan.bel.tr/tr/serdivanin-cografik-alani>

- Serdivan Belediyesi, 2018. Sakarya Serdivan Belediyesi. <http://www.serdivan.bel.tr/tr/serdivanin-cografi-alani>
- Shaikh, A., Ramachandran, T. & Kumar, A. V., 2003. Monitoring and modelling of indoor radon concentrations in a multi-storey building at Mumbai. 67(1).
- Steinhaeusler, F., 1975. Long-term measurements of Rn-222, Rn-220, Pb-214 and Pb-212 concentrations in the air of private and public buildings. 29(5).
- Swedjemark, G. A., 1980. Radon in dwellings in Sweden. Volume 2.
- Şahin, L., Çetinkaya, H. & Gelgün, S., 2016. Assessment Of Annual Effective Dose Due To The Indoor Radon Exposure In A Second-Degree Earthquake Zone Of Kutahya (Turkey), s.l.: Romanian Journal Of Physics.
- Tabar, E., 2010. Dikili ve Bergama Bölgelerindeki Tektonik Aktivitenin Jeotermal Sularda Radon Ölçümleri ile Değerlendirilmesi, İzmir: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Tabar, E., 2016. Radon ölçümünde kullanılan LR-115 tip-II dedektörlerinin kalibrasyonu, s.l.: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.
- TAEK, 2014. Konutlarda Radon Ölçümleri, s.l.: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
- TAEK, http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_02.html [Erişim 2018].
- Trevisi, R. et al., 2012. Indoor radon levels in schools of South-East Italy, s.l.: Journal of Environmental Radioactivity.
- Tüfekcioğlu, F., 2015. Radon Konsantrasyonlarının Ölçümü ve Süreksizliklerinin Araştırılması, Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.
- UNSCEAR, 1982. Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation.. s.l.:United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
- UNSCEAR, 1993. Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations, New York: Effects and Risks of Ionizing Radiations.
- UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Sources and Effects of Ionizing Radiation, s.l.: United Nations Publications.
- Vaupotic, J., Hunyadi, I. & Baradacs, E., 2001. Thorough investigation of radon in a school with elevated levels, s.l.: Radiation Measurements.
- Venoso, G. et al., 2009. Radon concentrations in schools of the Neapolitan area. 44(1).
- Vimercati, L. et al., 2018. Radon Levels in Indoor Environments of the University Hospital in Bari-Apulia Region Southern Italy. Int. J. Environ. Res. Public Health, 15(4), p. 694.
- Virk, H. & Sharma, N., 2000. Indoor radon/thoron survey report from Hamirpur and Una districts, Himachal Pradesh, India. 52(1).

WHO, 2009. Who Handbook On Indoor Radon : A Public Health Perspective.
Geneva: Publications of the World Health Organization.

Yücel, B. & Arıkan, H., 2001. Binalarda Radon ve Sağlık Etkileri , s.l.: TMMOB
Fizik Mühendisleri Odası Bülteni 16-19..



EKLER

EK A: Sakarya Üniversitesi Bina İçi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi Hakkında Anket

Odada Bulunan Filmin Kod Numarası.....	
Değerli Sakarya Üniversitesi Personeli	
Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nükleer Fizik Grubu tarafından “sakarya üniversitesi bina içi radon konsantrasyonunun belirlenmesi (sau birkob)” proje çalışması kapsamında yaklaşık bir yıldır odanızda bulunan radon dedektöründen elde ettiğimiz verilerin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesi için aşağıdaki sorulara içtenlikle cevap vermenizi rica ediyoruz.	
Çalışmamıza yaptığınız katkılardan dolayı teşekkür ederiz.	
1.	Odanız kaç kişi tarafından kullanılmaktadır? () 1 () 2 () 3 () 4 () Sınıf () Laboratuvar
2.	Odanızda günlük ortalama kaç saat vakit geçirilmektedir? () 0-2 saat () 2-4 saat () 4-6 saat () 8-10 saat () 10 saatten fazla
3.	Odanızı havalandırmak için ne yaparsınız? () Camları açarım () odanın kapısını açık tutarım () Havalandırmam () klima açarım () Diğer (lütfen belirtiniz).....
4.	Odanızı hangi sıklıkta havalandırırsınız? () Her gün () iki günde bir () Haftada iki gün () havalandırmam () Diğer.....
5.	Odanızı günün hangi saatlerinde havalandırırsınız? () Sabah () Öğle () Akşam () Diğer.....
6.	Odanızı havalandırma süreniz ne kadar? () 5-10 dk () yarım saat () bir saat () Diğer.....
7.	Odanızı havalandırma alışkanlığınızda mevsimsel farklılık olur mu? () Evet, (lütfen belirtiniz)..... () Hayır, (lütfen belirtiniz).....
8.	Odanızı havalandırma alışkanlığınızda mevsimsel farklılık oluyorsa, hangi mevsimde odanızı daha fazla havalandırırsınız? () Kış () Sonbahar () Yaz () İlkbahar
9.	Radon dedektörünün bulunduğu sürede odanızda sigara içildi mi? () Hayır () Evet
10.	Odanızda sigara içiliyorsa ne sıklıkla içildiğini belirtir misiniz? () Her gün () İki günde bir () Haftada bir () Diğer.....
11.	Odanızda sigara içiliyorsa, içilen günlük ortalama sigara sayısını belirtir misiniz? () 1-2 () 5-10 () 3-5 () 10'dan fazla
12.	Odanızda sigara içiliyorsa, sigara içilirken camların durumu nasıldır? () Her zaman açık () Çoğunlukla açık () Her zaman kapalı () Çoğunlukla kapalı

EK B: Binaların Radon Aktivite Konsantrasyon Sonuçları

Bina No	Kat No	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
S1	Giriş	16,9	55,7	38,6	15,7
	1. Kat	4,8	24,3	31,70	4
	2.Kat	1,7	23,5	29,5	2,1
	3.Kat	3,8	16,3	10,4	2,2
S2	Giriş	20,6	59,7	30,5	15,7
	1. Kat	6,9	24,4	9,4	6,1
	2.Kat	0,9	22,9	5,4	0,3
	Çatı Katı	0,2	17,9	3,3	0,2
S3	Zemin	76,8	95,4	78	66,2
	1.Kat	30,1	58,1	43,8	27,4
	2. Kat	19,8	36,3	28,8	19
	3. Kat	11,3	13,9	15,6	10,2
S4	Giriş	39,2	112,3	85,2	39
	1. Kat	26,6	63,6	48,5	20,2
	2.Kat	10,9	34,8	16,1	7,6
	3.Kat	7,67	18,27	13,62	2
S5	Giriş	25,23	72,49	33,64	30,5
	1. Kat	21,65	37,13	32,61	28,3
	2.Kat	12,27	29,7	23,74	15,7
	3.Kat	10,74	16,33	14,86	14
S6	3.Kat	4,77	6,68	5,57	15,89
	3.Kat	22,68	—	—	0,00
	2.Kat	7,16	—	—	27,45
	2.Kat	7,16	7,58	10,11	23,74
	1. Kat	5,97	—	—	—
	1.Kat	10,74	14,56	15,48	30,75
	Zemin	2,39	—	—	—
	Zemin	20,63	98,63	68,94	32,40
	3.Kat	4,77	6,68	5,57	15,89
	Giriş	40,0	82,08	47,77	12,75
S7	1. Kat	19,41	51,52	31,72	6,08
	2.Kat	14,94	32,18	17,46	4,31
	3.Kat	8,73	21,63	11,76	2,35
S8	Giriş	52,8	67,61	63,46	18,24
	1. Kat	38,05	57,2	44,91	14,9
	2.Kat	18,83	48,27	20,67	10
	3.Kat	6,79	26,36	8,02	4,7
S9	Giriş (Kantin)	70,8	86,7	76	45,5
	1. Kat	68,3	83,7	77,2	30,8
	2. Kat	56,3	81,8	63,6	25,7
	3. Kat	47,9	75	56,3	20,4
	4. Kat	30,7	42,9	37	19,3
S10	Giriş	20,5	62,7	28,5	16,7
	1. Kat	14,8	50,6	21,1	12,3
	2.Kat	11,3	35,8	13,5	9,2
	3.Kat	9,0	28,5	10,4	7,0
S11	4. Kat	23,03	31,58	16,17	
	4.Kat	26,08	38,77	24,85	11,67
	4.Kat	11,69	44,90	23,35	
	3. Kat	13,85	68,40	52,39	18,11
	3. Kat	35,98	59,72		26,49
	2. Kat	51,81	68,25	34,88	26,19
	2. Kat	56,66	94,60	64,66	
	2. Kat	62,06	82,77	58,08	35,32
S12	Zemin	36,7	48,0	40,1	23,4
	Zemin	42,9	64,6	28,8	20,2
	Giriş	30,6	48,1	36,7	25,7
	1.kat	23,6	39,0	27,9	20,0
	1.kat	17,8	25,5	20,1	11,7
	Çatı Katı	9,9	16,8	13,5	6,7

EK B: Binaların Radon Aktivite Konsantrasyon Sonuçları (Devamı)

Bina No	Kat No	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
S13	Giriş	25,1	63,5	38,3	17,8
	Giriş	33,4	69,6	36,1	—
	Giriş	—	—	—	—
	1. Kat	22,4	56,2	26,2	14,3
	1. Kat	26,3	50,4	29,9	15,1
	1. Kat	17,5	—	22,3	—
	2. Kat	—	—	—	—
	2. Kat	24,0	54,7	14,2	16,2
	2. Kat	14,3	38,8	21,4	10,9
	3. Kat	11,3	22,9	12,5	10,2
	3. Kat	10,6	28,6	10,0	7,5
	3. Kat	10,3	21,7	11,8	—
S14	Çatı	8,6	14,5	11,1	10,0
	Giriş	29,25	66,55	37,2	17,8
	1. Kat	22,06	53,4	26,1	14,7
	2.Kat	13,65	46,75	17,8	15,55
	3.Kat	16,1	24,4	11,4	8,85
S15	Çatı Katı	8,6	14,5	11,1	10
	Giriş	38,8	75,9	48,3	28,6
	Giriş	44,8	84,6	38,5	22,5
	Giriş	47,4	59,6	26,4	14,8
S16	Giriş	42,1	71,0	33,8	10,9
	Giriş	44,8	122,9	99,4	53,6
	Zemin	61,0	98,3	46,6	38,3
	Zemin	—	63,9	—	31,0
	Giriş	6,7	23,5	2,6	—
	Giriş	38,7	84,3	11,0	36,9
S17	Giriş	36,0	26,2	24,8	13,9
	Giriş	3,0	143,8	22,2	41,1
	Giriş	—	—	—	—
	1.Kat	88,3	152,4	15,1	31,1
	Üst Kat	51,1	87,7	63,5	16,2
	Üst Kat	36,3	10,3	—	11,2
S18	Üst Kat	—	—	—	—
	Zemin	92,75362	124,55	55,7	42,62
	Giriş	55,67	102,72	47,31	31,2
S19	Üst	30,17	70,24	40,32	18
	Giriş	29,5	63,3	45,5	24,4
	1. Kat	23,0	48,5	30,3	11,4
	2. Kat	14,9	38,2	21,5	10,1
S20	3. Kat	10,0	14,5	11,5	10,0
	Giriş	29,25	66,55	37,2	17,8
	1. Kat	22,06	53,4	26,1	14,7
	2.Kat	13,65	46,75	17,8	15,55
	3.Kat	16,1	24,4	11,4	8,85
S21	Çatı Katı	8,6	14,5	11,1	10
	Giriş	51,49	85,08	43,48	28,30
S22	Giriş	39,89	92,58	—	—
	Giriş	26,76	115,08	—	—
	3.Kat	13,98	43,31	—	—
	3.Kat	11,42	22,85	—	—
	Çatı	11,08	19,1	13,13	9,378
	2.Kat	—	—	—	—
	2.Kat	14,83	—	43,65	15,17
	2.Kat	3,92	—	—	—
	1.Kat	21,14	—	—	—

EK B: Binaların Radon Aktivite Konsantrasyon Sonuçları (Devamı)

Bina No	Kat No	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
S23	Zemin	58,31202	96,50469	—	—
	Zemin	43,64876	123,1032	—	—
	Zemin	78,77238	—	—	—
	Zemin	21,31287	—	—	—
	Zemin	93,26513	—	—	—
	Zemin	77,57886	—	—	—
	Zemin	62,5746	—	—	—
	Giriş	—	—	—	—
	Giriş	83,37596	—	—	—
	Giriş	109,8039	111,6795	—	—
	Giriş	42,11424	—	—	—
	Giriş	39,7272	—	—	—
	Üst	48,93436	128,7298	—	—
	Üst	21,31287	—	—	—
	Üst	32,05456	—	—	—
	Üst	35,63512	—	—	—
	Üst	17,90281	60,35806	—	—
	Üst	18,58483	66,15516	—	—
S24	Giriş	43,648764	117,30605	61,210571	26,427962
	Giriş	60,528559	88,832055	70,076726	34,100597
	1.kat	32,054561	77,578858	35,97613	—
	1.kat	25,404945	—	—	—
	2.kat	19,43734	—	—	—
	2.kat	—	—	—	—
S25	Giriş	39,727195	79,45439	55,242967	17,902813
	1.kat	45,865303	54,901961	35,805627	14,492754
	1.kat	33,589088	—	—	—
	1.kat	28,473998	58,823529	—	16,709292
	2.kat	19,096334	54,731458	—	—
	2.kat	34,2711	20,801364	—	—
	2.kat	26,427962	41,773231	31,884058	12,958227
S26	Giriş	62,404092	111,16795	—	—
	Giriş	72,463768	102,30179	—	—
	1. Kat	111,50895	—	—	20,801364
	2. Kat	65,984655	119,18159	—	—
	3. Kat	43,478261	78,090367	—	6,6496164
S27	3.Kat	20,460358	—	35,97613	—
	3.Kat	32,054561	—	—	—
	2.Kat	26,768968	60,528559	45,012788	—
	2.Kat	43,307758	—	—	—
	1.Kat	45,353794	76,896846	52,173913	—
	1.Kat	48,59335	—	—	—
	Giriş	59,164535	85,251492	68,371697	—
	Giriş	54,901961	83,034953	—	—
S28	1.Kat	62,915601	77,578858	—	—
	1.Kat	69,224211	—	—	39,215686
	Teras	—	—	—	—
	Giriş	83,205456	129,24126	—	—
	Giriş	45,353794	106,56436	49,275362	21,312873
	Zemin	51,150895	145,78005	54,901961	19,607843
	Zemin	55,924979	106,56436	68,030691	40,068201
	Zemin	60,528559	100,25575	60,528559	35,805627
	Zemin	—	—	—	—
S29	A Blok	58,823529	94,629156	55,924979	—
	A blok	43,137255	149,53112	—	58,31202
S30	B blok	19,778346	77,578858	39,727195	39,897698
	B blok	58,141517	73,827792	49,275362	54,560955
S31	C blok	—	—	—	—
	C blok	39,897698	131,6283	58,31202	18,925831
S32	D blok	79,624893	56,947997	39,727195	—
	D blok	79,624893	112,70247	54,901961	—

ÖZGEÇMİŞ

Kübra Çıtlak, 27.01.1988'de Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2005 yılında Hacı Zehra Akkoç Kız Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2014-2015 yılları arasında Yeni Yüzyıl Üniversitesinde İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümünde tezsiz yüksek lisans yaptı. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde yüksek lisans eğitime başladı. 2013 yılında Sakarya'da İş Güvenliği Uzmanı olarak çalışmaya başladı akabinde yüksek lisans eğitime Sakarya Fizik Bölümü'nde devam etti.