T.C.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ RADYASYON ONKOLOJİSİ VE NÜKLEER TIP PERSONELİNİN BİNA İÇİ RADON KAYNAKLI DOZ TAHMİNLERİ

GÜN GÜNALP

MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İZMİR-2012

DEU.HSI. MSc-2009970113

T.C.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ RADYASYON ONKOLOJİSİ VE NÜKLEER TIP PERSONELİNİN BİNA İÇİ RADON KAYNAKLI DOZ TAHMİNLERİ

GÜN GÜNALP

DANIŞMANLAR

Doç. Dr. Özlem Karadeniz

Prof. Dr. Ayşe Nur Demiral

DEU.HSI. MSc-2009970113

Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Medikal Fizik Anabilim Dalı, Sağlık Fiziği Yüksek Lisans programı öğrencisi Gün Günalp **'DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ RADYASYON ONKOLOJİSİ VE NÜKLEER TIP PERSONELİNİN BİNA İÇİ RADON KAYNAKLI DOZ TAHMİNLERİ'** konulu Yüksek Lisans tezini 26.11.2012 tarihinde başarılı olarak tamamlamıştır.

BAŞKAN
Doç. Dr. Özlem Karadeniz

ÜYE
Prof. Dr. Ayşe Nur DEMİRAL

ÜYE
Prof. Dr. Hatice DURAK

ÜYE
Prof. Dr. Emel ADA

ÜYE
Yrd. Doç. Dr. Ayşegül YURT

1.YEDEK ÜYE
Yrd. Doç. Dr. Kadir AKGÜNGÖR

2.YEDEK ÜYE
Yrd. Doç. Dr. Hakan EPİK

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER DİZİNİ i
TABLOLAR DİZİNİ iv
ŞEKİLLER DİZİNİ v
KISALTMALAR vii
TEŞEKKÜR viii
ÖZET 1
SUMMARY 2

1. GİRİŞ VE AMAÇ 3

2. GENEL BİLGİLER 4

2.1. Radyasyon Kaynakları 4

2.1.1. Kozmik Radyasyon 4

2.1.2. Karasal Orijinli Doğal Radyasyon 6

2.1.3. Karasal Gama Radyasyonuna İçsel Maruz Kalma ve Radon 6

2.2. Radon ve Spesifik Nicelikleri 8

2.2.1. Radon 8

2.2.2. Radon, Toron ve Ürünleri İçin Spesifik Nicelikleri 10

2.2.3. Bina İçi Radon 11

2.2.4. Bina İçi Radon Araştırmaları 12

2.3. Radon Ölçüm Teknikleri 14

2.3.1. Katı Hal Nükleer İz Kazıma Dedektörleri (SSNTDs) 14

2.3.2. Nükleer İzlerin Fizik ve Kimyası 15

2.4. İz Hesaplama Yöntemleri 21

2.5. Temel Ölçüm Prosedürleri 23

3. GEREÇ VE YÖNTEM 26

3.1. Nükleer İz Dedektörleri İle Radon Ölçümlerinin Temel İlkeleri 26

3.1.1. LR-115 Dedektörlerin Hazırlanması 27

3.1.2. Radon Ölçüm İstasyonlarının Oluşturulması 28

3.1.3. LR-115 Dedektörlerin İşlenmesi ve İz Yoğunluğunun Ölçümü 28

3.1.4. LR-115 Dedektörlerin Kalibrasyon Sabitinin Belirlenmesi 30

3.1.5. Minimum Dedekte Edilebilen Konsantrasyon 30

3.2. Araştırmanın tipi 31

3.3. Araştırmanın yeri ve zamanı 31

3.4. Araştırmanın evreni ve örneklemi 31

3.5. Çalışma materyali 31

3.6. Araştırmanın değişkenleri 31

3.7. Veri toplama araçları 31

3.8. Araştırma planı 34

3.9. Verilerin değerlendirilmesi 34

3.10. Araştırmanın sınırlılıkları 34

3.11. Etik Kurul Onayı 35

4. BULGULAR 36

4.1. Bina İçi Radon Aktivite Konsantrasyonları ve Dağılımları 36

4.2. Bina İçi Radon Konsantrasyonunu Etkileyen Faktörler 39

4.3. Bina İçi Radona Maruz Kalma Sonucunda Alınan Etkin Dozlar 41

5. TARTIŞMA 44

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 50

7. KAYNAKLAR 52

8. EKLER 58

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Doğal Radyasyona Maruz Kalma Etkin Doz Eşdeğerleri 5

Tablo 2. Radonun Bozunum Ürünleri ve Özellikleri 9

Tablo 3. Radon (^{222}Rn) Ürünleri 10

Tablo 4. Toron (^{220}Rn) Ürünleri 10

Tablo 5. Bazı Ülkelerin Hastanelerinde Saptanan Radon Konsantrasyonları 13

Tablo 6. Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Alfa Duyarlı İz Dedektörleri 15

Tablo 7. Bazı Materyallerin Kazıma Çözeltileri 17

Tablo 8. Bazı Dozimetrelerin Radon Duyarlılıkları 24

Tablo 9. Araştırmada Kullanılan Mevcut Makine – Teçhizat Listesi 32

Tablo 10. Polikliniklerde Saptanan Radon Aktivite Konsantrasyonları 36

Tablo 11. Personel Evlerinde Saptanan Radon Aktivite Konsantrasyonları 37

Tablo 12. Bina İçi Radon Aktivite Konsantrasyonlarının Medyan, Aritmetik Ortalama, Aritmetik Ortalamanın Standart Hatası, Standart Sapma, Menzil ve Frekans Dağılımlarının Skewness ve Kurtosis Katsayıları 38

Tablo 13. Personelin Çalışma Alanlarında ve Evlerinde Maruz Kaldıkları Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri ve Bunların Toplam Doza Katkıları 43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Toryum, Uranyum ve Aktinyum Bozunum Şemaları 8

Şekil 2. Radonun Eve Giriş Noktaları 12

Şekil 3. Farklı Dielektrik Katılarda Primer İyonizasyonun, β Hızı ve Nükleon Başına Enerji ile Değişimi 16

Şekil 4. Kazınma Sürecinde a) İnce Dedektörlerde İz Kazımanın Şematik Gösterimi b) Kalın Dedektörlerde İz Kazımanın Şematik Gösterimi c)Kritik Açı Kavramının Gösterimi 18

Şekil 5. α Yayınlayıcıları Dedeksiyonunda En Sık Kullanılan 3 Plastik Detektörün V(R) Fonksiyonu Grafiği 19

Şekil 6. Elektrokimyasal Kazıma Noktalarının Oluşumu 1.Adım: Kazınma Süreci Nedeniyle İzlerin Oluşmaya Başlaması 2.Adım: Dielektrik Maddenin Eşik Elektrik Alan Değerine Ulaşıldığında İzlerin Dallanmaları Oluşturması 20

Şekil 7. ^{222}Rn ve Bozunum Ürünlerinin Yayınladığı Alfaların İzleri a) CR-39'da Kimyasal Kazınmış b) Makrofol-E'de Elektro Kimyasal Kazınmış 20

Şekil 8. a) Elektrotlar ve Dedektör İçin Devrenin Ayrıntıları b)Kıvılcım Sayıcı İçin Devrenin Ayrıntıları 22

Şekil 9. İz Analizi İçin Kullanılan Otomatik Sistem Tracos 23

Şekil 10. Radon Ölçümleri İçin Hazırlanan LR-115 Dedektörler 27

Şekil 11. Radon Dedektörlerinin Oda İçlerinde Asıldığı Yerler 28

Şekil 12. Banyo Sistemi ve Optik Mikroskop 29

Şekil 13. LR-115 Katı Hal İz Dedektörleri Üzerindeki İz Yoğunluğu 29

Şekil 14. Çalışma Kapsamında Ev ve Ofislerde saptanan ^{222}Rn Aktivite Konsantrasyonlarının Frekans Dağılımları 39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil 15. Personel Evlerindeki Ortalama ^{222}Rn Aktivite Konsantrasyonlarının Katlara Göre Değişimi 40

Şekil 16. Ofislerdeki ^{222}Rn Aktivite Konsantrasyonlarının Havalandırma Sürelerine Göre Değişimi 41

KISALTMALAR

UNSCEAR: The United Nation Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation

ICRP: International Committee on Radiological Protection

Bq/m^3: Becquerel/metreküp

mSv/y: miliSievert/yıl

WHO: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

TAEK: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

LET: Lineer Enerji Transferi

SSNTD: Solid State Nuclear Track Detector (Katı Hal Nükleer İz Dedektörü)

MeV: Milyon Elektron Volt

PAEC: Potansiyel Alfa Enerji Konsantrasyonları

NRPB: National Radiological Protection Board

MDC: Minimum Dedekte Edilebilir Konsantrasyon

L_D: Dedeksiyon Limiti

C_R: Radon Aktivite Konsantrasyonu

ND: Dedeksiyon Limitinin Altında

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

OSH: Aritmetik Ortalamanın Standart Hatası

SS: Standart Sapma

TEŞEKKÜR

Medikal Fizik Yüksek Lisans eğitimimde emeği geçen bütün hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince, kıymetli bilgi ve önerileri ile katkıda bulunan, çalışmalarımı yönlendiren ve tezimin her aşamasında büyük desteklerini gördüğüm tez danışmanlarım Sayın Doç. Dr. Özlem KARADENİZ'e ve Sayın Prof. Dr. Ayşe Nur DEMİRAL'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Katı Hal Nükleer İz Dedektörleri ile Radon Ölçümü konusunda bilgi ve deneyimlerini bizimle paylaşan Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Günseli YAPRAK'a teşekkür ederim.

Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp Poliklinikleri'nde yürüttüğüm bu projede çalışma iznini veren Nükleer Tıp Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hatice DURAK ile Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Rıza ÇETİNGÖZ'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam kapsamında radon ölçümleri için bana evini ve çalışma alanlarını açan D.E.Ü. Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp personeline anlayışları ve bilimsel çalışmama yaptıkları katkılardan ötürü çok teşekkür ederim.

Araştırmaya ait verilerin, istatistiksel analizleri ve değerlendirmeleri konusunda bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Özgül VUPA ÇİLENGİROĞLU'na teşekkür ederim.

Radon dedektörlerinin kalibrasyon işlemlerinde katkılarından dolayı Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziği Bölümü elemanı Sayın Berna ATAKSOR'a teşekkür ederim.

Radon dedektörlerinin hazırlanmasında, belirlenen odalara asılmasında, toplanmasında, kimyasal proses ve iz yoğunluğu ölçümlerinde, ayrıca tez yazımı aşamasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Türkan ALKAN, Emir BÜYÜKOK ve Nilsu ÇİNİ'ye teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında her zaman olduğu gibi benden desteklerini esirgemeyen aileme ve özellikle ağabeyim Alp GÜNALP'e tüm minnet ve sevgimle teşekkür ederim.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ RADYASYON ONKOLOJİSİ VE NÜKLEER TIP PERSONELİNİN BİNA İÇİ RADON KAYNAKLI DOZ TAHMİNLERİ

GÜN GÜNALP, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI, gun.gunalp@gmail.com

ÖZET

Amaç: Sunulan çalışmada, Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp personelinin çalışma ve yaşam alanlarında kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonlarının ölçülmesi ve sonuçların radyasyon riski açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: LR-115 tipi Katı Hal Nükleer İz Dedektörleri personelin hastanedeki çalışma odalarına ve evlerindeki yatak odalarına asılmış, 2 ay süre ile bekletilmiştir. İz dedektörleri 60 santigrat derece sıcaklıkta yüzde 10'luk (2,5 M) NaOH çözeltisinde 90 dakika boyunca banyo edilmiş ve gözlemlenen mikroskobik iz yoğunluklarından radon aktivite konsantrasyonları saptanmıştır.

Bulgular: Çalışılan alanlarda ölçülen bina içi radon konsantrasyonu 18 ile 624 Becquerel/metreküp aralığında olup geometrik ortalaması 95 Becquerel/metreküp; personel evlerinde ölçülen bina içi radon konsantrasyonu ise 22 ile 560 Becquerel/metreküp aralığında olup geometrik ortalaması 129 Becquerel/metreküp olarak saptanmıştır. Araştırmaya katılan hastane personelinin maruz kaldığı yıllık etkin doz eşdeğerleri 0,76 ile 8,79 miliSievert/yıl aralığında tahmin edilmiştir. Hastane binasının yıllık etkin doza ortalama katkısı yüzde 41 olarak bulunmuştur.

Sonuç: Çalışmada saptanan radon konsantrasyonların ve tahmin edilen yıllık etkin dozların, ICRP ve TAEK limitleri ile karşılaştırıldığında güvenli sınırlar içinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Bina içi radon, aktivite konsantrasyonu, katı hal nükleer iz dedektörleri (SSNTD), yıllık etkin doz, hastane binası.

DOSE ESTIMATION FROM INDOOR RADON FOR THE STAFF OF RADIATON ONCOLOGY AND NUCLEAR MEDICINE AT THE DOKUZ EYLUL UNIVERSITY

GÜN GÜNALP, DOKUZ EYLUL UNIVERSITY HEALTH SCIENCES INSTITUTE, DEPARTMENT OF MEDICAL PHYSICS, gun.gunalp@gmail.com

SUMMARY

Aim: It was aimed to measure the indoor radon activity concentration in the houses and offices of Radiation Oncology and Nuclear Medicine staff at Dokuz Eylül University and to assess the results from radiological perspective.

Materials and Method: LR-115 type solid state nuclear track detectors were installed in the bedrooms of their houses and offices and were exposed for 2 months. LR-115 detectors were etched for 90 minutes in 10 percent (2,5 M) NaOH solution at 60 centigrade degree and radon activity concentration was determined from observed microscopic track densities.

Results: It was observed that measured indoor radon concentration ranged between 18 and 624 Becquerel/cubic meter with a geometric mean of 95 Becquerel/cubic meter in offices and ranged between 22 and 560 Becquerel/cubic meter with a geometric mean of 129 Becquerel/cubic meter in houses. The annual effective equivalent dose received by staff who participated in the study was estimated to range between 0,76 miliSievert/year and 8,79 miliSievert/year. On average, the hospital building contributed 41 percent to the annual effective equivalent dose.

Conclusion: Reported values for radon concentrations and corresponding estimated annual effective equivalent doses are within the ICRP and TAEK recommended limits for workplaces and houses.

Keywords: Indoor radon, activity concentration, solid state nuclear track detectors (SSNTD), annual effective dose, hospital.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Radon; doğal olarak oluşan kokusuz, renksiz, tatsız radyoaktif bir asal gazdır ve karasal orjinli doğal bir radyonüklit olan ^{238}U'in bozunum zincirindeki ^{226}Ra'nın alfa bozunumu yapmasıyla oluşmaktadır. Topraklarda ve kayalarda ^{238}U değişen konsantrasyonlarda[1] bulunduğu için, radon da doğal olarak hayatımızın bir parçasıdır. Doğal radon izotopları (^{219}Rn, ^{220}Rn ve ^{222}Rn) arasında; aktinon ^{219}Rn ($t_{1/2}$=3,92 saniye) ve toron ^{220}Rn ($t_{1/2}$=55,6 saniye) yarı ömürlerinin çok daha kısa olması nedeniyle, radona ^{222}Rn ($t_{1/2}$=3,82 gün) önem verilmektedir.

Radonun kısa yarı ömürlü ürünleri (^{218}Po ve ^{214}Po), 6–7,78 MeV enerjili alfa parçacıkları yayımlamakta ve havadaki aerosollere tutunmaktadırlar. Bu aerosoller solunduğunda, bozunum süreci akciğerlerde meydana gelmekte ve bozunum enerjisi akciğer dokularında depo edilmektedir. Solunum sisteminde ortaya çıkan bu bozunma sonucunda, bronş epitelindeki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam etmekte ve bu sürecin her aşamasında radyasyona maruz kalınmaktadır. Bu durum kanser olma riskini arttırdığı gibi başlamış olan karsinogenez sürecinin de daha hızlı ilerlemesine neden olur. Radon kapalı ortamlarda çevreye yayıldığında giderek miktarı arttığından düşük dozlarda bile olsa zararlı bir etkiye sahiptir. Evlerde ve işyerlerinde radonun veya kısa yarı ömürlü radon ürünlerinin solunmasının kişilerde akciğer tümörlerine yol açtığı kesin olarak kanıtlanmış[2] ve akciğer kanserinin sigaradan sonraki en önemli ikinci nedeninin radon ve bozunum ürünleri olduğu bildirilmiştir[3].

Türkiye'de, gerek bina içi radon aktiviteleri gerekse radyasyon çalışanlarının medikal uygulamalar nedeniyle maruz kaldıkları doz tahminlerine yönelik yapılmış birçok çalışma bulunmasına rağmen[4-12] hastane binalarında bina içi radon kaynaklı doz tahminlerine dayanan çalışmalar azdır[13].

Bu bağlamda, yapılan çalışmada Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp personelinin yaşadıkları ve çalıştıkları alanlarda bina içi radon aktivite konsantrasyonlarının saptanması; personelin maruz kaldığı bina içi radon kaynaklı yıllık etkin dozların tahmin edilmesi; bu dozlara hastane binasının ve evlerin katkılarının incelenmesi ve sonuçların radyo-korunum standartları çerçevesinde değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Radyasyon Kaynakları

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı ya da aktarımıdır. Radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır:

Yapay Radyasyon Kaynakları: Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer silah denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır.

Doğal Radyasyon Kaynakları: Uzaydan gelen kozmik ışınlar, yerkürede bulunan radyoizotopların yaydığı gama ışınları, vücudumuzdaki radyoaktif elementler ve radondur. Tablo 1' de doğal radyasyona içsel ve dışsal maruz kalma ile kişi başına tahmin edilen yıllık ortalama etkin doz eşdeğerleri verilmiştir [14].

2.1.1. Kozmik Radyasyon

Uzaydan dünya atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlara ait parçacıklar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyondur. Güneşin aktif durumuna (Güneş patlamalarına), yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekliğe bağlı olarak kozmik ışınların yoğunluğu değişir. Protonlar elektrik yüklü parçacıklar olduklarından atmosfere ulaştıklarında dünyanın manyetik alanının etkisine girerler. Bu nedenle kozmik ışın yoğunluğu ekvatordan kutuplara gidildikçe artar. Böylece, insanların aldığı radyasyon enlem arttıkça artar. Bu ışınların büyük bir bölümü dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Yani atmosferimiz kısmi olarak radyasyonu zırhlar. Bu nedenle, deniz seviyesine yaklaştıkça kozmik ışınların yoğunluğu dolayısıyla doz miktarı da azalır. UNSCEAR tarafından yapılan hesaplamalara göre, kozmik ışınlardan kaynaklanan yer seviyesindeki yıllık etkin doz enlem ve yükseklikle değişse de 0,4 mSv civarındadır[15].

Tablo 1: *Doğal radyasyona maruz kalma etkin doz eşdeğerleri* [14]

Doğal Radyasyon Kaynakları	**Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv)**		
	Ortalama*	**Tipik Aralık**	***Toplam***
Kozmik ışınlar			
İyonizasyon bileşeni	0,28 (0,30)		
Nötron bileşeni	0,10 (0,08)		
Kozmojenik radyonüklitler	0,01 (0,01)	0,3-1,0	
			0,39
Karasal Radyasyona Dışsal Maruz Kalma			
Bina dışı	0,07 (0,07)		
Bina içi	0,41 (0,39)	0,3-0,6	
			0,48
Karasal Radyasyona İçsel Maruz Kalma (Soluma)			
^{238}U ve ^{232}Th serileri	0,006 (0,01)		
^{222}Rn (radon)	1,15 (1,2)		
^{220}Rn (toron)	0,10 (0,07)	0,2-10	
			1,26
Karasal Radyasyona İçsel Maruz Kalma (Diyet)			
^{40}K	0,17 (0,17)		
^{238}U ve ^{232}Th serileri	0,12 (0,06)	0,2-0,8	
			0,29
Toplam	**2,4**	1-10	

* Parantez içindeki değerler önceki UNSCEAR tahminleridir.

2.1.2. Karasal Orijinli Doğal Radyasyon

Karasal orijinli doğal radyasyon, yer kabuğundaki doğal radyonüklitlerden kaynaklanmaktadır. Başlıca karasal radyasyon kaynakları ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K ve bunların bozunum ürünleridir. U-235 ve bozunum ürünlerinin ise doğal fona katkıları ihmal edilebilecek düzeyde olduğu için dikkate alınmamıştır. Ancak ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K elementleri uzun yarı ömürlü oldukları için doğal fona katkıları oldukça fazladır. Bu radyonüklitler özellikle volkanik ve değişim geçiren kayalarda, toprakta ve deniz diplerinde birikmiş sedimentlerde yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır[16].

2.1.3. Karasal Gama Radyasyonuna İçsel Maruz Kalma ve Radon

İçsel maruz kalma, yeryüzü kaynaklı doğal radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır. Havada bulunan ^{238}U ve ^{232}Th bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Yiyecek ve içeceklerde bulunan ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K serileri, sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluşturmaktadır[17].

Tablo 1'de görüldüğü üzere doğal kaynaklardan alınan yıllık ortalama etkin dozun (2,4 mSv) en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Bu yolla maruz kalınan ortalama yıllık radyasyon dozu 1,3 mSv'dir. Bir başka deyişle radon gazının solunması ile içsel maruz kalma sonucu alınan doz, yıllık ortalama etkin dozun yaklaşık yarısıdır[18]. Radon gazının solunması ile maruz kalınan içsel doz eşdeğeri 1,15 mSv/y olarak, Toron ve ürünlerinin solunması ile akciğerlerin maruz kaldığı radyasyon etkin doz eşdeğeri 0,1 mSv/y olarak tahmin edilmektedir[19].

Günümüzde radon ve kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri, akciğer dozuna önemli katkıları nedeni ile radyasyon güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Radon; sigaradan sonra akciğer kanserinin en önemli ikinci nedenidir[3]. ICRP 65 (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi) Raporu'nda radyokorunum standartları çerçevesinde, radon için tavsiye edilen konsantrasyon düzeyleri evlerde; 200–600 Bq/m^3 ve çalışma ortamlarında; 500–1500 Bq/m^3' dür[2]. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) tarafından 400 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir[15]. Radyasyona maruz kalma sonucu oluşabilecek radyasyon riski, radyasyonun tipi ve enerjisi, radyasyon kaynağına içsel veya dışsal maruz kalma, radyasyonun insan vücudu içinde dağılımı ve radyasyona maruz kalma süresi değerlendirilerek tahmin edilmektedir. Bu

doğrultuda, radyasyon riski tahmini için yaygın şekilde kullanılan doz birimlerinin kısa tanımları aşağıda verilmiştir[20].

Aktivite Birimi: Aktivite; radyoaktif maddenin belirli bir zaman aralığındaki bozunma miktarıdır. Aktivite birimi Becquerel (Bq) 'dir. Eski birimi Curie'dir[21].
Becquerel (Bq) = bir saniyedeki bozunma sayısı (s^{-1})
1 Ci =3.7 x 10^{10} Bq
1 Bq = 2.703 × 10^{-11} Ci

Işınlama Birimi: Işınlama birimi, χ ve γ ışınlarının havayı iyonlaştırma kapasitesinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Işınlama birimi Röntgen (R) olup normal şartlarda (0ºC ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1 kg'ında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk pozitif veya negatif elektrik yüklü iyonlar meydana getiren radyasyon miktarı olarak tanımlanmaktadır[22].

Absorbe Edilen Doz: Radyasyonla ışınlanan materyalin birim kütlesine aktarılan enerji olarak tanımlanır ve SI sistemindeki birimi Gray (1 joule/kg = 1Gy)' dir.

Doz Eşdeğeri: Belirli bir radyasyonun biyolojik sistem üzerindeki etkisi, absorbe edilen doz (Gy) ve kalite faktörüne (Q) bağlı olarak SI sisteminde Sievert (Sv) ile verilir. ICRP tarafından verilen kalite faktörü Q, her bir radyasyonun iyonizasyon oluşturma kapasitesidir ve lineer enerji transferi (LET) ile yani radyasyonun birim mesafede ortama aktardığı enerji miktarı ile ilişkilidir. X , γ ve β ışınları için Q=1, α ışınları için Q= 20 olarak verilmektedir[18].

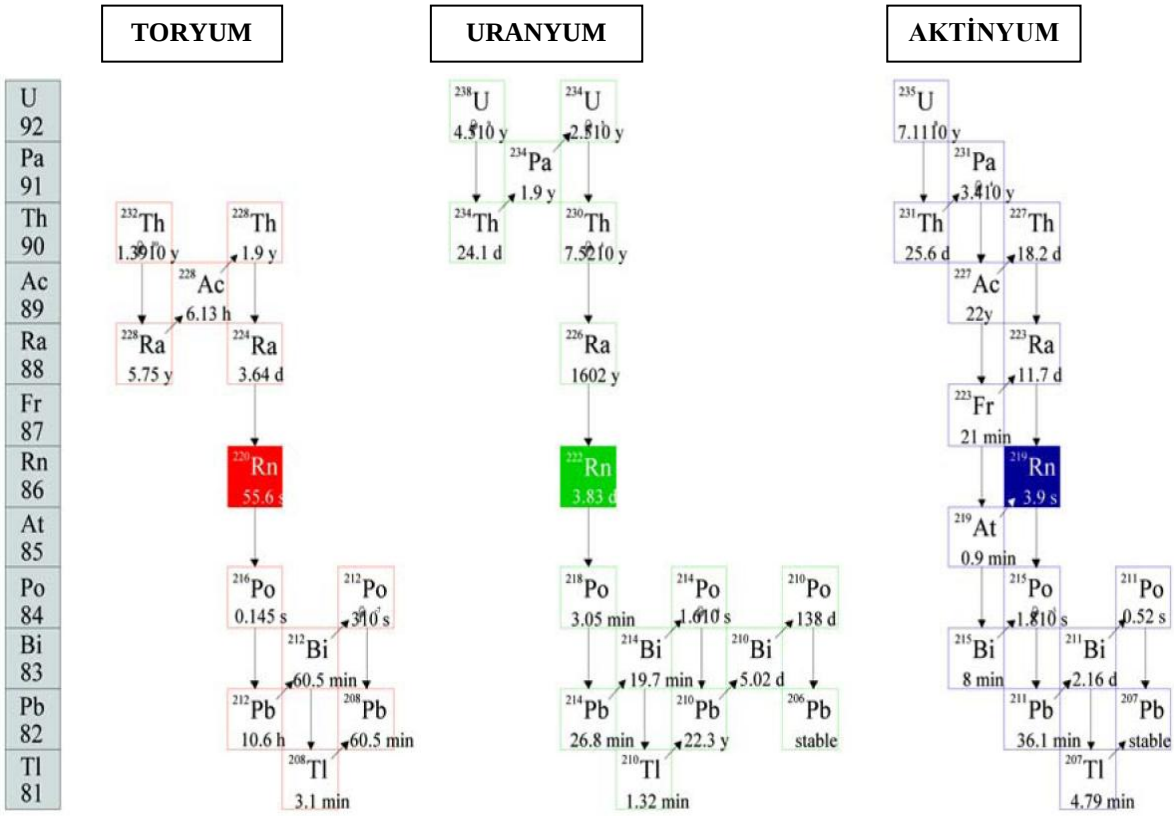
Etkin Doz: Radyasyona duyarlı organ ve dokular için ICRP tarafından belirlenen risk tahminlerine dayanarak (vücudun bütünü için) organ ağırlık faktörlerini de içeren etkin doz eşdeğeri birimi, SI birim sisteminde Sv olarak verilir. Etkin doz kavramı; radyasyon tipi, enerjisi ve biyolojik hasar arasındaki ilişkiyi tanımlayan dozimetrik niceliktir.

2.2. Radon ve Spesifik Nicelikleri

2.2.1. Radon

1899 yılında Ernest Rutherford ve 1900 yılında Fredrich Ernest Dorn tarafından keşfedilen radon gazı ilk olarak *radyum emanasyonu* şeklinde isimlendirilmiştir. 1901'de ise Rutherford ve Brooks radonun radyoaktif bir gaz olduğunu göstermişlerdir. Radon renksiz, kokusuz, kimyasal reaksiyona girmeyen ve doğal yollarla oluşan radyoaktif bir gazdır. 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 ve -71°C sıcaklıkta donar. Radon; durgun suda çözünebilir ve sıcaklık arttıkça çözünürlüğü azalır. Radonun bu özelliği nedeniyle; çamaşır ve bulaşık yıkandığında, genel temizlikte ve duş sırasında su kullanımıyla ev ortamında gazın yayılımı gerçekleşmektedir[23].

Radon, ^{226}Ra'nın bozunumu sonucunda oluşur. Akciğer kanserine neden olma gibi bir riski olmasının yanı sıra uranyum madenlerinin keşfi ve deprem tahmini gibi farklı araştırmalar için yararlı bir kaynaktır[24].



Şekil 1: *Toryum, Uranyum ve Aktinyumun Bozunum Şemaları* [25]

Radonun ^{235}U serisi → ^{219}Rn (aktinon), ^{232}Th serisi →^{220}Rn (toron) ve ^{238}U serisi → ^{222}Rn (radon) olmak üzere üç doğal izotopu bulunmaktadır (Şekil 1). Bu üç radyoizotoptan ^{238}U'den bozunan ^{222}Rn'ye genellikle radon denir. Diğer iki izotopa göre daha uzun bir yarı ömre ve büyük doğal bolluğa sahip olduğundan en önemli izotoptur. Th-232'den bozunan ^{220}Rn'ye toron denir ve kısa yarı ömürlüdür (55,35 saniye). Rn-219 yani aktinon ise çok küçük doğal bolluğa ve çok kısa yarı ömre (3,9 saniye) sahip olduğundan önemsizdir.

Radon bir seri bozunma ile yine radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünleri üretir (Tablo 2). Bu radyoaktif maddeler Po, Bi ve Pb elementlerinin radyoizotoplarıdır. Bu ürünlerin radondan farkı gaz halinde olmamalarıdır. Bu izotoplar havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturmakta ve solunum yoluyla akciğerlere alınmaktadırlar. Bu şekilde radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır.

Tablo 2: *Radonun Bozunum Ürünleri ve Özellikleri*[27]

İzotop	Atom No	Yarı Ömür	Yaptığı Işımalar	α Parçacık Enerjisi (MeV)
^{226}Ra	88	1600 yıl	α	4,78
^{222}Rn	86	3,825 gün	α	5,49
^{218}Po	84	3,05 dakika	α	6,00
^{214}Pb	82	26,8 dakika	β, γ	-
^{214}Bi	83	19,9 dakika	β, γ	-
^{214}Po	84	164 μs	A	7,69
^{210}Po	82	22,3 gün	β, γ	-
^{210}Bi	83	5,01 gün	B	-
		3×10^{6} yıl	A	4,95
^{210}Po	84	138,4 gün	A	5,30
^{206}Pb	82	Kararlı	-	-

Solunum sisteminde ortaya çıkan bozunma sonucunda, bronş epitelindeki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam etmekte ve bu sürecin her aşamasında radyasyona maruz kalınmaktadır. Bu ise, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere yol açabilmektedir. Solunum sistemindeki radyasyon dozu; solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünleri yoğunluğuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır. Radonun sağlık açısından

tehlikeli oluşu ve sürekli olarak maruz kalınması nedeniyle değerlerinin denetim altında bulunması gerekmektedir[26].

2.2.2. Radon, Toron ve Ürünleri İçin Spesifik Nicelikler

Radon (^{222}Rn) ve toron (^{220}Rn), U ve Th un bozunum zincirindeki doğal olarak oluşan gaz radyonüklitlerdir. Bunların bozunum ürünleri de radyonüklittir ancak metaliktir. Radonun kısa ömürlü ürünleri olan ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi ve ^{214}Po (Tablo 3) radyasyondan korunma açısından oldukça önemlidir. Önemli toron ürünleri ise ^{216}Po, ^{212}Pb, ^{212}Bi ve ^{212}Po'dir (Tablo 4).

Havada genellikle radon/toron ve kısa ömürlü radon/toron ürünlerinin karışımı bulunur. Bu ürünler çoğunlukla aerosollere yapışırken, küçük bir bölümü yapışmamaktadır. Ürünler akciğerlerde depolanırlar. Bu ürünlerin alfa parçacık emisyonu ile bozunmaları akciğer kanserlerinin en önemli nedenleridir. Spesifik nicelikler bu durumlar dikkate alınarak hesaplanmıştır[28,36].

Tablo 3: *Radon (^{222}Rn) Ürünleri [28]*

	Radyonüklit	Yarı ömür	Atom sayısı Bq/atom	Potansiyel alfa enerjisi ε /atom		ε/ λ Bq		K
	İ	$T_{½}$	A/λ	[MeV]	[10^{-12} J]	[MeV]	[10^{-12}J]	
^{218}Po	1	3,10 dk	268	13,69	2,19	3 670	589	0,106
^{214}Pb	2	26,8 dk	2 320	7,69	1,23	17800	2 860	0,513
^{214}Bi	3	19,9 dk	1 723	7,69	1,23	13100	2 100	0,381
^{214}Po	4	164 µs	1)	7,69	1,23	$2x10^{-3}$	$2,9x10^{-4}$	$6x10^{-8}$

Tablo 4: *Toron (^{220}Rn) Ürünleri [28]*

	Radyonüklit	Yarı ömür	Atom sayısı Bq/atom	Potansiyel alfa enerjisi ε /atom		ε/ λ Bq		K
	İ	$T_{½}$	A/λ	[MeV]	[10^{-12} J]	[MeV]	[10^{-12} J]	
^{216}Po	1	0,15 s	1)	14,6	2,34	3,32	0,51	$6x10^{-6}$
^{212}Pb	2	10,6 saat	55 056	7,8	1,25	429 000	68 710	0,913
^{212}Bi	3	60,6 dk	5 246	7,8[2)]	1,25	40 900	6 554	0,087
^{212}Po	4	304 ns	1)	8,8	1,25	$3,8x10^{-6}$	$6x10^{-7}$	$8x10^{-12}$

1) Tüm atomlar 1 saniyeden daha kısa zamanda bozunacağından ve hesaplanan sayı 1'den çok daha küçük olacağından sayı verilmemiştir

2) ^{212}Bi ve ^{212}Po nin alfa parçacık emisyonu ile bozunumundan gelen ortalama değer

Radon ve toronun bozunum zincirindeki bir i atomunun potansiyel alfa enerjisi ε_i, bu atomun sırasıyla uzun ömürlü ^{210}Pb veya kararlı ^{208}Pb'a bozunumu sırasında yayınlanan alfa parçacıklarının toplam enerjisidir. i tipi N atomlarının potansiyel alfa enerjisi $N.\varepsilon_i$ ' dir. Aktivite (Bq) başına atomların sayısı N, A/λ' ya eşittir. Burada A, bu radyonüklitin aktivitesi ve λ da onun bozunum sabitidir. Aktivite (Bq) başına potansiyel alfa enerjisi böylece ε/λ olarak verilir. K faktörü ise $k_i = (\varepsilon_i/\lambda_i)/\sum(\varepsilon_i/\lambda_i)$ eşitliği kullanılarak bulunmuştur[28,36].

2.2.3. Bina İçi Radon

Uranyum ve toryum yer kabuğunu meydana getiren kayaçlarda ve toprakta çok yaygın olarak bulunduğundan dolayı bu zincirden oluşan radon da toprak, su, hava, bina yapı malzemeleri gibi çevresel örneklerde farklı konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Kayaçlarda bulunan uranyumun bozunması sonucunda radyum difüzyona uğrayarak daha üst katmanlardaki toprağa karışır. Uzun ömürlü olan radyum da toprak içinde sürekli bozunup ^{222}Rn atomlarının toprak parçacıkları ve mineralleri arasında serbest kalmasını sağlar. Topraktaki ve havadaki radon gazı miktarı toprak özelliklerine ve basınca bağlıdır. Bunun yanı sıra radon gaz halde olduğundan kapalı ortamlar radon için uygun ortamlardır. Binalar insanların en uzun zaman geçirdikleri ortamlar olarak önemlidir. Binaların yapıldığı arazide bulunan doğal uranyumun miktarı ve uranyumdan oluşan radyumun ev tabanındaki toprakta ne kadar biriktiği, radonun bina altlarında birikmesi ve bina içine sızmasıyla yakından ilişkilidir[26].

Radon gazı havanın akışıyla yer değiştirir. Toprak ve kayaçlardaki uranyumun bozunması sonucunda açığa çıkan radon gazı atmosfer yüzeyine yakın yerlerde daha hızlı bir şekilde yayılır. Çünkü bu bölgede hava akımları topraktakine göre daha etkindir. Sıcaklık farklılıkları, basınç farklılıkları, nem azlığı gibi faktörler hava akımlarını güçlendireceğinden radon kaçışını hızlandırmaktadır. Örneğin binalar dış ortama oranla daha sıcak olduklarından radon akışı dışarıdan içeriye doğru olur.

Binalara radon; zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat boşlukları, duvar arası boşluklarından girmektedir. Yapı malzemeleri, mutfakta veya ısınma amaçlı kullanılan doğal gaz ve içme sularında bulunan radon da bina içi yoğunluğunu arttırmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: *Radonun Eve Giriş Noktaları*[69]

Radon gazı, toprak boyunca yükselerek, binanın altında hapsolmakta ve basınç oluşturmaktadır. Özellikle kış aylarında binaların ısıtılması sonucu binadaki basınç dışarıya göre daha az olduğundan içerdeki radon oranı yükselir. Aynı durum rüzgârlı havalar için de geçerli olduğundan radon yoğunluğu rüzgârlı havalarda iç mekânlarda artmaktadır. Yaz aylarında ise iyi havalandırılmış işyeri ve evlerde dışarısı ile basınç farkı olmayacağı için ortamdaki radon düzeyi azalır. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, özellikle çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar.

Binalardaki radonun diğer bir kaynağı inşaat ve yapı malzemeleridir. Radyum yoğunlukları incelenen çimento türlerinin kimisinin diğerlerinden fazla yoğunluklarda radyum içerdikleri belirlenmiştir. Bu malzemelerin kullanılması binalarda radon yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır[26].

2.2.4. Bina İçi Radon Araştırmaları

Radon ölçüm çalışmalarına ilk olarak madenlerde başlanmıştır. Alman bir fizikçi ve jeolog Georgius Agricola madencilerde ölümcül akciğer hastalıklarının yüksek sıklıkta görüldüğünü belirlemiştir. İsviçreli bir hekim olan Paracelsus Doğu Avrupa'daki Karpat Dağı yakınlarında çalışan birçok madencinin yeraltında bulunan toz ve gazların neden olduğu akciğer hastalığından öldüklerini saptamıştır. 1921 yılında Margaret Uhlig, bu radyum emanasyonunun akciğer kanserine neden olabileceğini savunan ilk kişi olmuştur. Evlerde

radon ölçümü ise ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapılmıştır. Hultqvist ölçüm yapılan evlerdeki doğal radyoaktiviteyi gözlemlemiştir[24].

Radonun zamanımızın önemli bir bölümünü geçirdiğimiz evlerimizde bir risk oluşturacağı düşünülerek, evlerde radondan dolayı alınan radyasyon dozunu tahmin etmek ve radonu yüksek bölgeleri saptamak amacıyla ilk kez 1984 yılında "Türkiye'de Evlerde Radon Ölçümü Projesi" başlatılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında önce pasif radon ölçüm tekniği için bir laboratuvar kurulmuş ve kalibrasyon sistemi geliştirilmiştir[29].

Son 20 ila 30 yıldır yüksek radon düzeyi içeren ortamların insan sağlığı üzerinde yarattığı etkinin saptanması amacıyla konut ve işyerlerindeki radon düzeyinin evrensel olarak ölçülmesi için büyük bir çaba gösterilmektedir. Evlerdeki kabul edilebilir radon konsantrasyon değerleri birçok ülkede yetkili kurumlar tarafından resmi olarak ilan edilmiştir. Evlerde sıcaklık ve basınç değişimi nedeniyle hava koşulları dalgalanması yüzünden radon dozimetrisi yapılırken dedektörün 2-3 ay ortamda bırakılması yaygın bir uygulamadır. Radon düzeyi havalandırmaya, yüksekliğe, bina materyaline ve yapı karakteristiğine bağlı olarak değişir. Bazı ulusal otoriteler ve endüstriyel firmalar binalarda radon ölçümü yapılabilmesi için basit pasif dozimetreler üretmişlerdir.

Evlerdeki radon düzeyleri ülkeden ülkeye, hatta ülke içinde bölgeden bölgeye bile büyük farklılıklar gösterebilir ama evrensel olarak ortalama değeri 50 Bq/m^3 civarındadır. Birçok ülkedeki düzenleyici kurumlar evlerdeki radon düzeyiyle ilgili düzenleyici önlemleri almanın ötesine geçip, kendi kabul edilebilir düzeylerini belirlemişlerdir[30].

Dünya literatüründe evlerde yapılan araştırmalara[7,31] ek olarak, hastanelerde yapılan radon gözlem araştırmaları da dikkat çekmektedir. Tablo 5'te hastanelerde yapılan radon ölçüm çalışmalarına bazı örnekler verilmiştir. Bu çalışmalar incelendiğinde, bina özelliklerine bağlı olarak radon aktivite konsantrasyonlarının 8,1 ile 700 Bq/m^3 aralığında değiştiği görülmektedir[32-35].

Tablo 5: *Bazı Ülkelerin Hastanelerinde Saptanan Radon Konsantrasyonları (C_R)*

Ülke	C_R (Bq/m^3)	Çalışma Yılı	Referans
Polonya	8,1-211	1963-2000	Mnich ve ark., 2004 [32]
İngiltere	470-700	1995-1996	Marley ve ark., 1998 [33]
Slovenya	400	2002	Vaupotic ve ark, 2006 [34]
İngiltere	200	1998	Denman ve ark., 2000 [35]

2.3. Radon Ölçüm Teknikleri

Havada radon ve bozunum ürünlerinin ölçümüyle ilgili birçok farklı teknik vardır. Havanın aktif veya pasif olarak alınışına göre iki gruba ayrılabilir. Aktif ve pasif olmak üzere iki temel ölçüm yöntemi vardır[36].

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 yönteminde termolüminesans dedektörler (CaSO4:Dy veya LiF gibi), veya katı hal nükleer iz dedektörleri (selüloz nitrat (LR-115) veya allydiglycolcarbonat (CR-39) gibi) kullanılır.

2.3.1. Katı Hal Nükleer İz Kazıma Dedektörleri (SSNTDs)

1958'de keşfedildiğinden beri radyoaktivitenin veya nükleer etkileşimlerin farklı yönlerini açıklayan çok sayıda niceliğin ölçülmesini sağlayan katı hal nükleer iz kazıma dedektörleri olarak bilinen teknik, son yıllarda daha iyi anlaşılmış ve daha yaygın kullanılır hale gelmiştir. Bunun nedenleri; metodolojisinin temel basitliği, malzemelerinin ucuzluğu ve uygulamalarının çok yönlülüğüdür. Küçük bir geometriye sahip olan dedektörün önemli bir diğer özelliği de iz kayıtlarını neredeyse sonsuz zaman aralığında saklayabilme yeteneğidir. Dedektörler ölçüm yapabilmek için herhangi bir elektronik ve elektriksel materyal gerektirmezler; uzun süreli entegre radon ölçümlerine izin vererek meteorolojik olarak indüklenen hızlı dalgalanmaları ortadan kaldırırlar ve çevresel faktörlerden etkilenmezler.

Aslında bu tekniğin temeli, ağır yüklü parçacıkların bir dielektik alanda hareket ederlerken ortamda bir kimyasal kazıma işlemi sonucunda mikroskop altında görülebilir hale gelen izler bırakmasına dayanır. SSNTD ler kullanım alanlarına göre iki grupta sınıflandırılırlar:

Plastik ve Polimer gibi Organik Olan SSNTD ler: Kullanım alanı çok geniş olup sağlık fiziği, radyasyondan korunma, radyasyon gözlem ve ölçümleri, çevresel araştırma ve uygulamalar gibi radon düzeyini saptamaya yönelik araştırmaların yanı sıra nükleer fizik alanında da kullanıma uygundur. Işık geçirebilen maddeden yapılan selüloz nitrat, selüloz asetat, selüloz triasetat organik dedektörleri gibi örnekleri mevcuttur.

Cam ve Mineral gibi İnorganik Olan SSNTD ler: Özellikle jeoloji, astronomi, petrol araştırmaları gibi büyük çaplı uygulamalarda kullanılır. Ayrıca mika gibi bazı minerallerden

de nükleer reaktörlerde yüksek sıcaklıkta gama ışını maruziyetini saptamak amacıyla ağır iyon veya indüklenmiş fisyon bombardımanı ile SSNTD yapılabilir.

Herhangi bir ön işlem veya hazırlık gerektirmeyen, cam ve kristalden daha duyarlı olan plastik SSNTD ler daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde dozimetrik ve jeofiziksel amaçlı kantitatif radon tayininde de pratik bir radyometre olan alfa duyarlı LR-115 selüloz-nitrat plastik iz dedektörleri kullanılmaktadır.

Tablo 6: *Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Alfa Duyarlı İz Dedektörleri*[27]

Materyal	Bileşimi	Ticari İsmi	Yoğunluğu g/cm^3	Kırılma İndeksi
Selüloz Nitrat	$C_6H_8O_9N_2$	CN 85	1,52	-
		CA 8015	1,52	1,51
		LR 115		
		Daicel	1,42-1,45	1,505
		DNC	1,4	1,5
Bisphenol A Polycarbonate	$C_{16}H_{14}O_3$	Makrofol	1,29	
		Lexan		
Allydiglycolcarbonate	$C_{12}H_{18}O_7$	CR 39	1,32	1,45
		MA-ND		
		TASTRAK		

2.3.2. Nükleer İzlerin Fizik ve Kimyası

Gizli İzlerin Oluşumu

Polimerlerde gizli iz oluşumunu açıklayan iki temel süreç vardır: 1) İz Yaratma 2) İz Genişletme

1) İz Yaratma

i) Ortamın atomları ve ortama geçen hareketli parçacıklar arasındaki birincil etkileşim çok kısa bir zaman aralığında (1MeV'lik alfalar için ~10^{-17} saniye) gerçekleşir.

ii) Bu elektronik çarpışma yığını parçacık yörüngesinden saçılarak ardında artı yüklü bir plazma bölgesi bırakır ve bu bölge dışında kimyasal olarak aktive edilmiş moleküller oluşturur. Bu süreç 10^{-14} saniye sürer.

iii) Sıradaki süreç yüklü plazmanın Coulomb etkileşiminden medyana gelen atomik çarpışma yığınının oluşmasıdır (~10^{-12} saniye).

2) İz Genişletilmesi

i) Polimerize olmuş bölgede yani iz çekirdeğindeki atomik kusurların bir araya gelmesiyle genişlemiş bir kusur oluşur (10^{-10} sn).

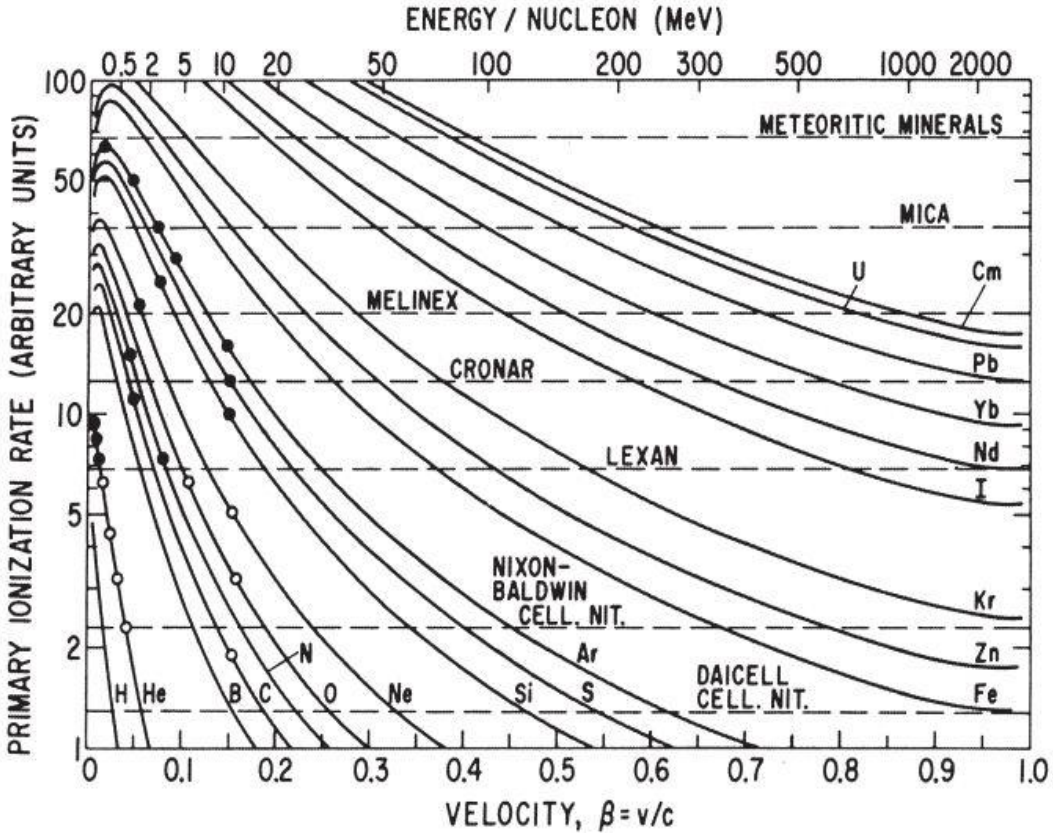
ii) Kısmen polarize olmuş bölgedeki kimyasal olarak aktif moleküllerin ikincil etkileşimleri ile bu kusurlar genişletilmiş olur (~1 saniye).

Kalıcı İzlerin Oluşmasını Etkileyen Faktörler

1) Sadece ağır yüklü parçacıklar sabit yani kalıcı gizli iz oluşturma yeteneğine sahiptirler.

2) Uygun iz oluşumu için parçacığın LET değeri veya birincil iyonizasyon enerji düzeyi belirli bir kritik değerde olmalıdır. Çok hızlı parçacıkların LET değerleri düşük olacağından karşılaştıkları ortamda yeterli miktarda yavaşlayıp LET değerleri kritik değere ulaşıncaya kadar uygun iz bırakamazlar. Ama çok fazla yavaşladıkları zaman da Bragg Eğrisi'nin düşük enerjili bölümünde kalırlar ve yine anlamlı iz oluşturamazlar.

3) Farklı dielektrik maddelerin ağır iyonlarını kaydetmek için nükleon başına verilen enerjilerinin farklı eşik değerleri vardır (Şekil 3). Bu nedenle çoğu mineral kristal hafif yüklü iyonları dedekte edemezken, bazı polimerler kendiliğinden oluşan alfaları ve özellikle CR-39 gibi plastikler yüksek enerjili protonları (enerjileri ~70MeV'e kadar olanları) bile dedekte edebilirler.



Şekil 3: *Farklı Dielektrik Katılarda Primer İyonizasyonun, β Hızı ve Nükleon Başına Enerji ile Değişimi*[27]

İz yoğunluğu, yükün veya atom numarasının artması nedeniyle artar. Bu, genellikle parçacığın yavaşlamasıyla olur. Yatay çizgiler, materyaldeki iz oluşumu için belirlenmiş eşik değerlerini temsil etmektedir. Bu yatay çizgiler duyarlı plastiklerden meteorların tipik bileşenlerine uzanan dielektrikler için değişen değer aralıklarını da göstermektedir.

4) Dielektriğe kazımadan önce belli miktarda sıcaklık uygulanırsa maddedeki kazınabilir hasarlı kısımların sıcaklık etkisiyle kapanması sonucu gizli izler kısmen veya tamamen kaybedilebilir.

Kimyasal ve Elektrokimyasal Kazıma İle İzlerin Belirginleştirilmesi

Kimyasal Kazıma: Plastik dedektörlerin kimyasal kazınması, mineral kristallerinkiyle çok benzerdir. Kazıma genellikle termostatik kontrollü banyolarda yapılır ve sıcaklık ±0,1 derece sapmayla sabit tutulur. Sıcaklıklar genellikle 40-70°C arasında çeşitlilik gösterir. Bazı durumlarda kazınma hızını veya duyarlılığı arttırmak için çözeltiye etil alkol eklenebilir. Kazıma çözeltisini içeren büyük bir cam veya plastik beher, termostatlı banyo içerisine yerleştirilir. Beherin üzerinin bir kapakla kapatılması buharlaşmayı azaltıp çözelti konsantrasyonunu arttıracağından tercih edilmez. Tablo 7'de nükleer iz dedektörleri için bazı kullanışlı kazıma çözeltileri özetlenmiştir. Plastikler için en sık kullanılan çözelti, molaritesi 1-12 M arasında değişen en çok 6 M olanı tercih edilen NaOH veya KOH'dir.

Tablo 7: *Bazı Materyallerin Kazıma Çözeltileri* [27]

Materyal	**Kazıma Çözeltisi**
Polikarbonat Plastikler	NaOH, 1–12M, 40–70°C 15 g KOH+45 g H_2O+40 g C_2H_5OH, 70°C
Selüloz Nitrat Plastikler	NaOH, 1–12M, 40–70°C
CR-39 Plastik (allyldiglycolcarbonate)	NaOH, KOH, 1–12 M, 40–70°C
Orthopyroxenes and clinopyroxenes	6 g NaOH+4g H2O
Mika	48% HF, 20–25°C**
Cam	1–48% HF, 20–25°C
Feldspar	1 g NaOH+2g H2O
Apatit	0.1–5% HNO_3, 20–25°C
Zirkon	11.5 g KOH+8 g NaOH, 200–220°C
Sphene	1HF:2HNO_3 : 3HCl : 6H_2O, 20°C

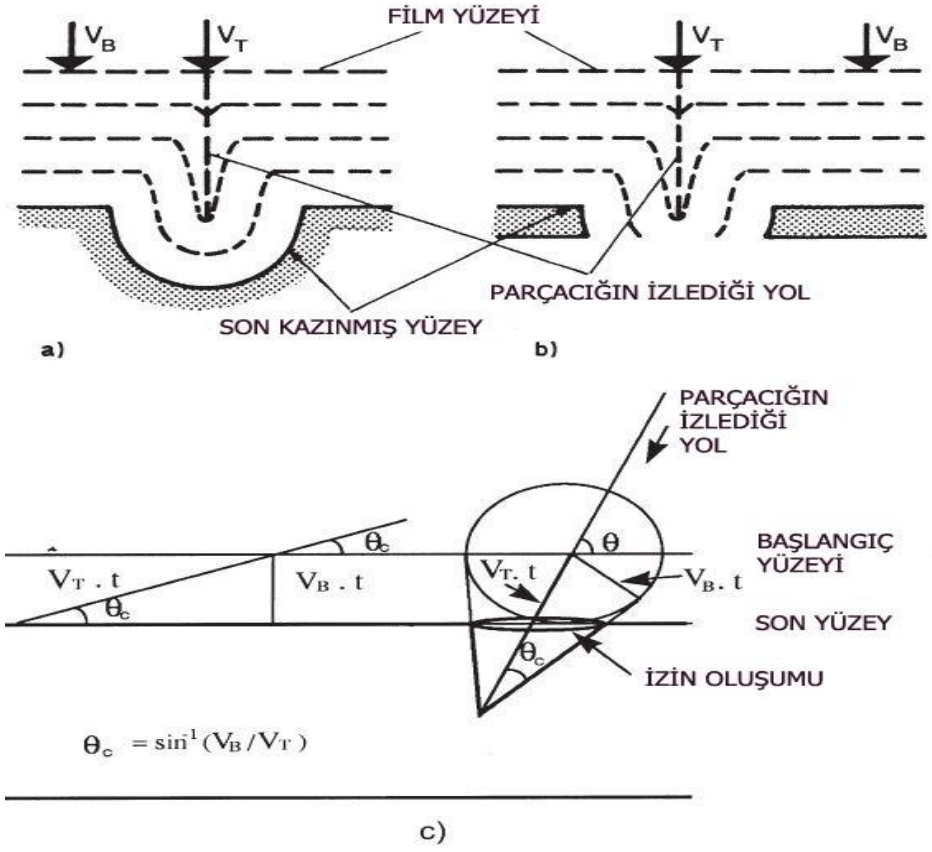
Gizli izlerin görünür hale gelmesi iki kazıma sürecinin eş zamanlı gerçekleşmesiyle olur: yaklaşık lineer V_T hızıyla parçacık izi boyunca kimyasal dağılım ve düşük V_B hızıyla materyalin ayrışması. Kazınmış izlerin temel farklılıklarına göre dedektörler iki farklı kategoride sınıflandırılabilir:

1) İzlerin çoğunluğunun kazınmış boşluklar boyunca olduğu ince dedektörler

2) Kalan ince yüzey kalınlığı iz derinliğinden büyük olan kalın dedektörler

Işınlanmış bir dedektör uygun bir çözeltide kazındığında, V_T iz kazıma hızı V_B materyal kazıma hızından büyüktür. Şekil 4c' de V_T/V_B oranının 3 olduğu durum gösterilmektedir. Çözelti dikey olarak V_Bt mesafesine ulaştığı anda katı açı Θ_c boyunca ilerleyen parçacığın menzilinin sonuna ulaşır yani $V_Bt/V_Tt = \sin \Theta_c$ olur. Sadece $\Theta > \Theta_c$ olan izler dedektör yüzeyi ile katı açı yapar ve gözlemlenebilecek izler bırakırlar.

Tüm izlerin oluşturduğu yarım koninin açısı da $\Theta_c = \sin^{-1} (V_B/V_T)$ dir.



Şekil 4: *Kazınma Sürecinde a) İnce Dedektörlerde İz Kazımanın Şematik Gösterimi b) Kalın Dedektörlerde İz Kazımanın Şematik Gösterimi c)Kritik Açı Kavramının Gösterimi*[27]

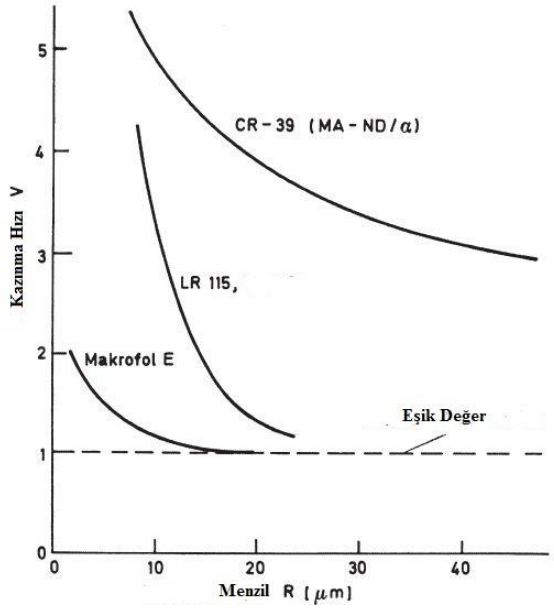
Somogyi'nin[37,38] kapsamlı bir çalışmasının temelinde kazınma hızları oranı $V=V_T/V_B$'nin R menzilinin bir fonksiyonu olarak bulunması vardır. Polimerdeki parçacıkların R'si aşağıdaki eşitliklerle tanımlanır.

$V=1+e^{-aR+b}$ (polikarbonat ve selüloz nitrat için)

$V=aR^{-b}$ (allyldiglycolcarbonate için)

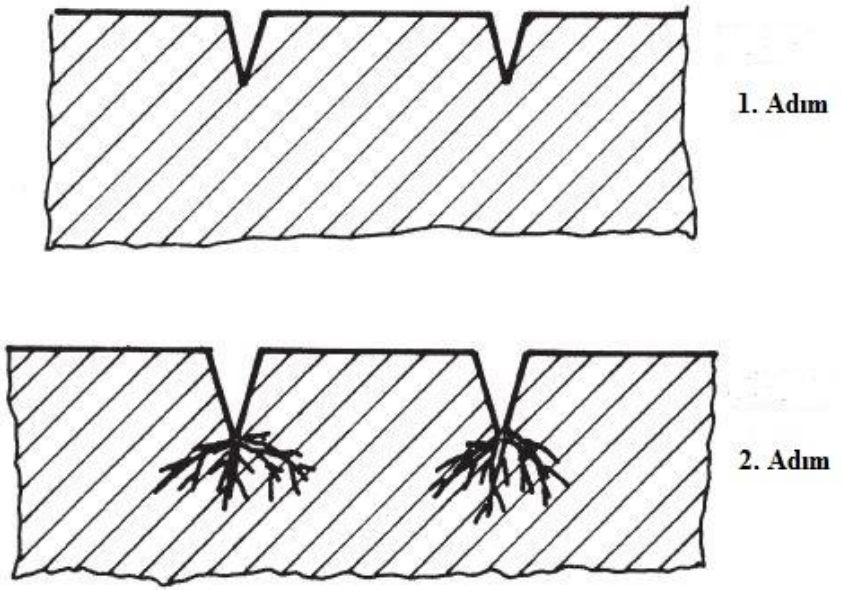
Burada a ve b uyum parametreleridir. Şekil 5' te α yayınlayıcıları dedeksiyonunda en sık kullanılan 3 dedektörün V(R) fonksiyonu grafiği verilmiştir. Burada CR-39 için kazınma hızı $V= V_T/V_B= 11,6\times R^{-0,464}$ dur. Grafikte kazınma hızı eşik değeri V=1 alınmıştır. Fakat uygulamada genellikle V=1,2 alınır. Bir tabakayı kazımak için maksimum kalınlığın dedektördeki parçacıkların menziline eşit olması önerilir.

Elektrokimyasal Kazıma: İz yoğunluğunun yaklaşık 10^{-3} iz/cm^2'nin altında olduğu durumlarda iz sayımını daha kolay yapabilmek için izleri genişletmede elektrokimyasal kazımadan yararlanılır. İlk kez 1970'te Tommasino[39] tarafından önerilen elektrokimyasal kazıma ile yarıçapları yaklaşık 1 μm olan kimyasal kazıma izleri 100 katına kadar genişletilebilir. Elektrokimyasal kazımanın temel prensibi kazınmış bir hücrenin karşılıklı iki bölümüne yüksek frekanslı (birkaç kHz) büyük bir elektrik alan (~30–50 kV cm^{-1}) uygulanmasıdır. Bu iki bölümün arası NaOH gibi bir kazıma çözeltisi ile doldurulmuş olup yüzeyinde kazınabilir iz içeren bir plastik dedektör yardımıyla ayrılmıştır.

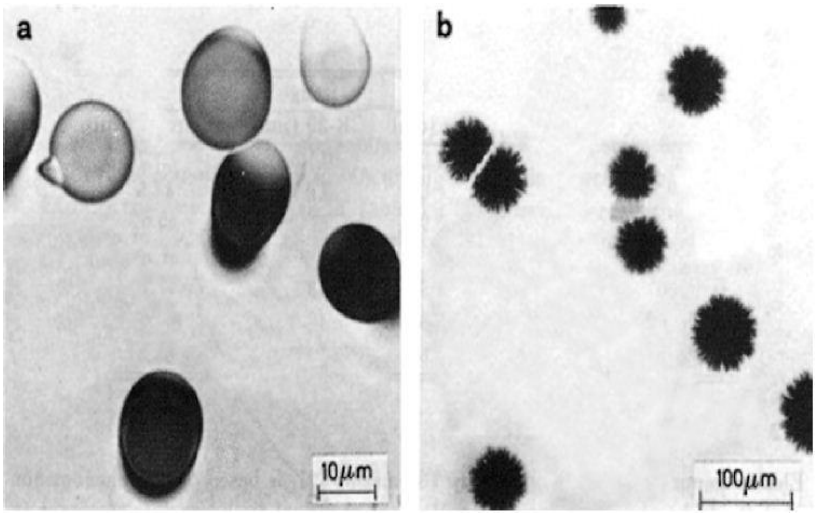


Şekil 5: *α Yayınlayıcıları Dedeksiyonunda En Sık Kullanılan 3 Plastik Dedektörün V(R) Fonksiyonu Grafiği*[27]

Kimyasal ön kazımadan bir süre sonra Şekil 6'daki gibi keskin uçlu izler oluşur. Dielektrik materyalin dayanabileceği maksimum elektrik alan değerine kadar elektrik alan arttırıldığında izler daha da belirginleşerek dallanmaları oluşturur. Şekil 7'de kimyasal kazıma ve elektrokimyasal kazıma uygulanmış radon konsantrasyonu ölçen plastik dedektör görülmektedir. Burada elektrokimyasal kazıma izlerinin, kimyasal kazıma izlerinden daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 6: *Elektrokimyasal Kazıma Noktalarının Oluşumu 1.Adım: Kazınma Süreci Nedeniyle İzlerin Oluşmaya Başlaması 2.Adım: Dielektrik Maddenin Eşik Elektrik Alan Değerine Ulaşıldığında İzlerin Dallanmaları Oluşturması*[27]



Şekil 7: *^{222}Rn ve Bozunum Ürünlerinin Yayınladığı Alfaların İzleri a)CR-39'da Kimyasal b) Makrofol-E'de Elektro Kimyasal Kazınmış* [27]

Çevresel Etkiler

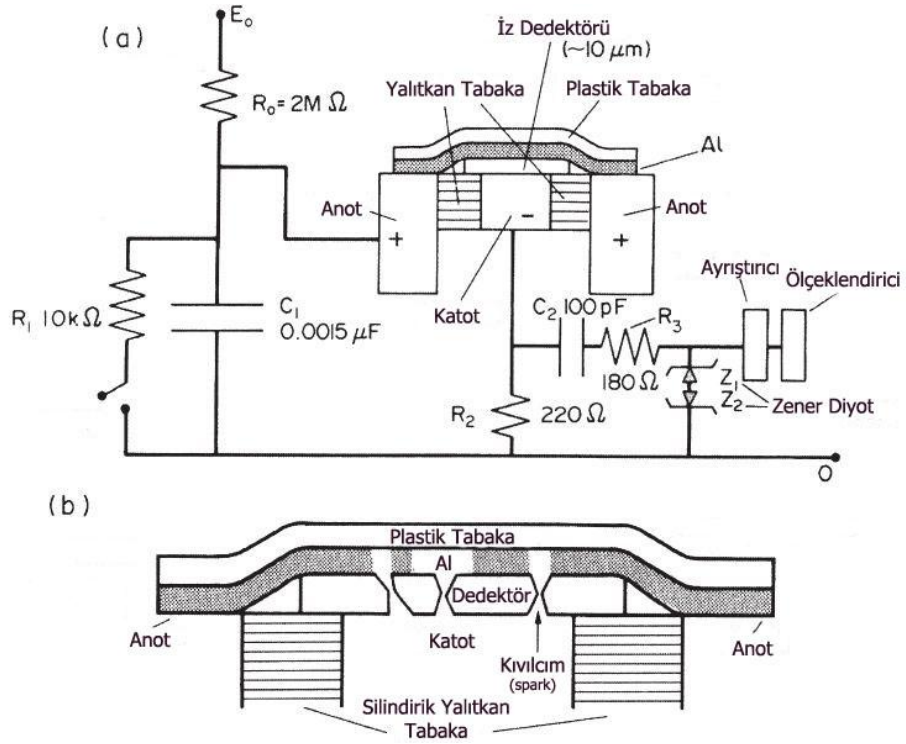
Plastik dedektörlerin duyarlılığı ve cevaplarının kararlılığı çevresel koşullara bağlıdır. Cevabın UV radyasyonuna, insan etkisine, oksijene, sıcaklığa, saklama koşullarına ve imalat süreçlerine bağlı değişimi birçok araştırmaya konu olmuştur[40-44]. Alfa dedektörlerinin verimliliklerindeki büyük farklılıklara da bazı dedektörlerin güneş ışığına maruz kalması neden olmuştur. Ultraviyole ışınlarına ya da bir başka deyişle güneş ışınlarına maruz kalma da polimer iz dedektörlerinin özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir[42]. Eğer UV çok belirgin ise V_B önemli ölçüde artabilir. Böylece dedektör duyarlılığı azalır. Kalıcı izlerin solma etkileri yüksek sıcaklıklarda arttığından dedektörün duyarlılığı doğal çevrede farklı coğrafik bölgelerde farklılık gösterir.

2.4. İz Hesaplama Yöntemleri

A) Manuel/Gözle Sayım: Bu sayım genellikle optik mikroskop kullanılarak kazınan izlerin sayılması anlamına gelir. Objektif seçimi iz yoğunluğuna, kazınma çapı büyüklüğüne ve çözünürlüğe göre yapılır. İz saymak için 20 veya 25 büyütmeli ile 40 veya 45 büyütmeli olan, çap büyüklüğünü belirlemek için ise 63, 95 veya 100 büyütmeli olan objektif seçilmelidir. Daha iyi çözünürlük için objektif yağlanabilir ama kuru iken kullanımı daha kolaydır. Sayım yapmak için rastgele bir görüş alanı seçilir. Mikroskobun hareketli bölümü belirlenen X ve ona dik olan Y eksenlerinde hareket ettirilerek sayım yapılır. Belli bir kazınma çapı kabul edilebilir limit olarak gözlemci tarafından saptanır.

B) Spark (Kıvılcım) Sayım: Spark (kıvılcım) sayıcı 10^2 ve 10^3 cm^{-2} gibi düşük iz yoğunluklarının ölçülmesinde ara sıra kullanılan yarı otomatik bir cihazdır[45](Şekil 8). Dedektörün anot ve katodu bir yalıtkan ile ayrılmış iki eş merkezli silindirik iletkenden oluşur. Kazınmış ışınlanmış plastik dedektör, katot üzerine yerleştirilir ve ince iletken bir kısım oluşturmak için alt yüzü alüminize başka bir plastik ile kaplanır. Anahtar açıldığında, C_1 kondansatörü uygulanan E_0 voltajı ile yüklenir ve elektrotlar arasında ve dolayısıyla kazınmış dedektör üzerinde bir gerilim gözlenir. Sonunda, kazınmış bir iz boyunca anot ve katot arasında bir deşarj olur. Kıvılcım, rastgele bir şekilde dedektör yüzeyindeki deliklerden atlar. Deliği çevreleyen alüminyum kaplamayı yakıp yalıtkan arka plastiğine temas ettiğinden aynı boşluk tekrar sayılmaz. Kıvılcımlar, ölçekli bir ayrıştırıcı aracılığıyla sayılır. Sayım sonunda alüminyum yüzeyde oluşan görülebilir desen dedektördeki orijinal iz desenine

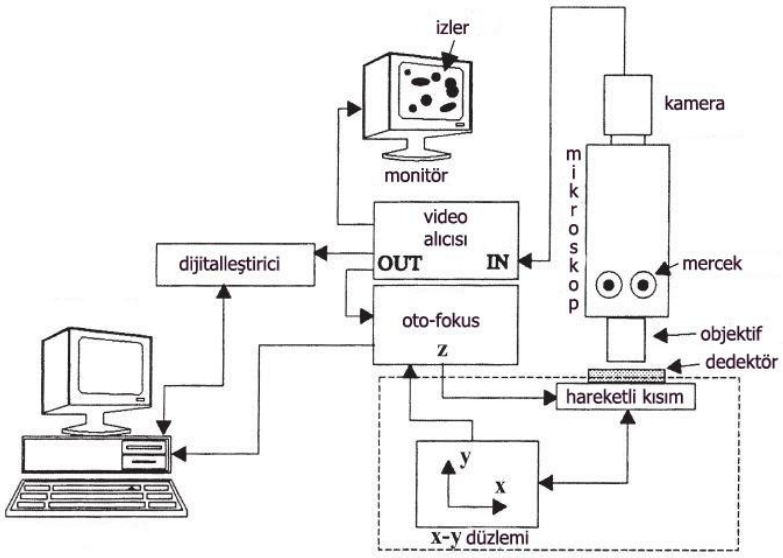
karşılık gelir. Her bir kıvılcımdan sonra bir sonraki kıvılcım için yeterli potansiyel sağlanması amacıyla C_1 kondansatörünün E_0 gerilimi ile şarj edilmesi gerekmektedir.



Şekil 8: *a) Elektrotlar ve Dedektör İçin Devrenin Ayrıntıları b)Kıvılcım Sayıcı İçin Devrenin Ayrıntıları*[27]

C) İleri Sistemler İçin Otomatik İz Hesaplama: Günümüzde ticari olarak mevcut olan tam otomatik iz sayıcılar dışındaki otomatik iz sayıcı sistemler çeşitli araştırma laboratuvarları tarafından klasik optik mikroskoba uygun yazılım ve donanım uygulanarak geliştirilmiştir. Bu tip bir sistemle iz parametreleri, izlerin koyuluk ve parlaklık dereceleri dahil birçok eş zamanlı ölçüm yapılabilir. Böyle bir sistemin ana bileşenleri otomatik odaklı ve XY düzlemlerinde hareket özellikli kısma sahip optik mikroskop, video kamera, dijitalleştirici ve bir bilgisayardır (Şekil 9). Mikroskop ve kamera ile dedektör yüzeyinin görüntü bilgisi bilgisayara aktarılır. Saklanan görüntü piksel sayısını ve onlardan gelen gri düzey sayısını kapsar. XY hareketli bölümü geniş alanlar üzerinde hareket etme özelliğine sahiptir. Bu sayede dedektör yüzeyi saniyede dört görüntü hızında taranabilir. Geliştirilmekte olan uygun yazılımlar yardımıyla bu sistemler kazınmış izlerin uzaysal yoğunluğunun ölçülmesi, grilik düzeyinin saptanması veya istatistiksel dağılımın bulunması gibi birçok görevi yapabilirler.

Bu nedenle otomatik sistemler hızlı olduklarından rutin çalışmalar için popüler olmakla kalmayıp ileri araştırmalar için de güncelliklerini korumaktadırlar.



Şekil 9: *İz Analizi İçin Kullanılan Otomatik Sistem Tracos*[27]

2.5. Temel Ölçüm Prosedürleri

Verim Tayini: Bir dedektör çözeltiye daldırıldığında kazıma işlemi V_B hızı ile materyalin en dışından başlar ve katman katman derinlemesine devam eder. Yüklü bir parçacığın oluşturduğu hasar izi de V_T yüksek hızıyla iz doğrultusunda kazınır. Bu artan V_T hızının değeri yüklü parçacığın doğasına ve enerjisine bağlıdır. Şekil 4c'de görüldüğü üzere kritik açısı, dedektörün yüzeyi ile izin oluşturduğu açıdan daha küçük olamaz ($\Theta_c = \sin^{-1}(V_B/V_T)$). Eğer karşılaşılan bütün izler dedektörün yapısındaki noktalardan çıkıyorsa bu tip izler için verimlilik $\cos^2\Theta_c$'dır. Fakat dışsal iz oluşturan parçacık kaynaklarınca oluşturulan izler de dedektörle temas ediyorsa verim 1- $\sin\Theta_c$'dir. Bu verimler gözlemlenen izlerin dedektörün orijinal yüzeyinin birim alanından geçen gizli hasar izlerine oranını gösterir. CR-39'larda alfalar için kritik açı yaklaşık 20^0 olduğundan verimin sonsuzdan farklı olacağı düşünülebilir. Yüklü bir parçacık bir ortamdan geçerken sürekli enerji ve dolayısıyla iyonizasyon oranı kaybettiğinden, bu süreç boyunca V_T ve buna bağlı olarak Θ_c değişir. Aynı ortam içinde dedekte olsalar bile V_T, Θ_c ve verimlilik parçacıktan parçacığa değişir.

Duyarlılık: Açığa çıkan izlerin sayısının, izleri oluşturan parçacıkların sayısına oranıdır. Bir başka deyişle iz oluşturan parçacık başına iz sayısı veya bu parçacıkların birim alan başına iz yoğunluğu olarak ta tanımlanabilir. Nükleon başına bağlanma enerjisi ortalama düzeyde olan ağır yüklü parçacıklar için duyarlılık birçok dedektörde yaklaşık 1' dir. Ancak hızlı nötronlar için CR-39'da duyarlılık yaklaşık 10^{-3} veya 10^{-4} iz/nötrondur. Bu nötronlara elektrokimyasal kazıma uygulanmasıyla oluşan duyarlılık, nötronların akıcılık ve enerjilerine göre 10^{-5} gibi daha düşük değerler alır. Şekil 3'te belirtildiği üzere birçok dielektrikte LET değeri dedeksiyon materyalinin kritik değerinden az olan veya dedektörün eşik değerinden az yükü olan parçacıklar yeterince yavaşlayıncaya dek görülebilir iz bırakamazlar (Şekil 3). Örneğin CR-39, proton izlerini dedekte edebilen hemen hemen tek polimer dedektör türüdür.

Günümüzde radon ölçümü için en yaygın kullanılan yöntem katı hal nükleer iz kazıma dedektörleridir. Bazı yaygın olarak kullanılan dozimetrelerin ölçülen duyarlılıkları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: *Bazı Dozimetrelerin Radon Duyarlılıkları* [27]

Radyometre Tipi	Dedektör	Duyarlılık (iz cm^{-2}/kBqm^{-3}h)
Teorik Üst Limit	CR 39	14
	LR 115	3
Difüzyon	CR 39	2,5
Membran	CR 39	1,2-6,2
	LR 115	1,7
	Makrofol E	0,67-1,64
Bag permeation	LR 115	0,49
Charcoal collection	CR 39	545
Electret collection	CR 39	2486
Electrostatik collection	CR 39	5000

İstatistiksel Hatalar: Diğer radyoaktif ölçümlerde olduğu gibi nükleer izleri saymak için de Poisson İstatistiği kullanılır. Buradaki sistematik hatalar; kazıma şartları, eskime, materyal üzerindeki çevresel etkiler ve izleri tanımlamada gözlemci tarafından belirlenen ölçütler olarak düşünülebilir.

Doğruluğu yüksek istatistikler elde etmek için 400-1000 iz sayılması gereklidir (sırasıyla yaklaşık %5-%3 hata payıyla). Ancak düşük iz yoğunluğu durumunda istatistiksel olarak güvenilir sonuç için çok sayıda alandan sayım alınması gerektiği bilinmelidir.

Arka Fon (Background) Ölçümleri: Birçok dedektörde kazıma sonucunda ortaya çıkan doğal arka fon izler vardır. Çok büyük bir fark yaratmadıkça, yani eğer arka fon, ışınlamanın oluşturduğu izlerle karşılaştırıldığında göz ardı edilebilecek kadar küçükse yok sayılabilir. Buna rağmen arka fon önemliyse iki durum söz konusudur. İlk yaklaşımda uygun bir yöntemle arka fon elenir. Örneğin ^{238}U nedeniyle kristalin sahip olduğu yüksek arka fondaki doğal fisyon izleri uygun olan yüksek sıcaklığa maruz bırakılır. İkinci yaklaşımda çevresel radona maruz kalan plastik dedektörde oluşan alfanın izleri, atmosferik radondan uygun şekilde yalıtılmış dedektörlerin saklanıp korunmasıyla minimize edilir.

Kalibrasyon: Katı hal nükleer iz kazıma dedektörlerindeki büyük sakıncalardan biri üretici firma tarafından sağlanan bu dedektörlerin kutu ve yaprakları arasında güçlü bir duyarlılık değişkenliği göstermesidir. Kalibrasyon; bilinen iyonların ışınları, nötron akı, spektrumları ve radon konsantrasyonlarıyla yapılır. Eğer mümkünse enerjisi ve atom numarası tümüyle benzeyen parçacıklarla çalışılmalıdır. Pratikte, verilen iyon için belli bir çözelti ve dedektör kullanılıp V_T ile R cevap eğrisi oluşturulur. Kazınma hızının V_T olduğu yerde R, dedektörde kalan iyonun menzilidir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Nükleer İz Dedektörleri İle Radon Ölçümlerinin Temel İlkeleri

Katı hal nükleer iz dedektörleri ^{222}Rn ve ürünlerinin ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Küçük ve ucuz olan bu dedektörler bina içi radon kaynaklı alfa aktivitesinin uzun süreli ölçümü için uygun olmanın yanı sıra, geniş ölçekli araştırmalarda birçok ölçümün eş zamanlı olarak yapılabilmesini sağlamaktadırlar. Ölçüm süresi birkaç ay ile bir yıl arasında değişebilmekte olup, ölçüm sonuçları ^{222}Rn konsantrasyonunun kısa süreli değişimlerinden etkilenmemektedir. Bu çalışmada, ^{222}Rn aktivite konsantrasyonunu ölçmek için alfa parçacıklarına duyarlı Kodak-Pathe LR-115 (Tip II) dedektörler (Dosirad, France), kullanılmıştır.

Radon ölçümü için farklı laboratuarlarda çok sayıda pasif ölçüm aletleri geliştirilmiştir[46,47]. Ölçüm cihazlarının tasarımı; dedektör özellikleri, dozimetre geometrisi, dedektör boyutu ve şekli gibi birçok faktör irdelenerek yapılmıştır. Dozimetre cevabının kararlılığı çevresel faktörlere bağlı olarak da değişmektedir. Radon ölçüm cihazının doğru seçimi; radon ve ürünlerine maruz kalma, cihaz içerisinde radon ürünlerinin dağılım karakteristiği ile radon ve alfa yayınlayan bozunum ürünlerinin (^{218}Po, ^{214}Po) arasındaki denge faktörü bilgilerini aynı anda edinmemizi sağlar[48]. Çalışmada kullanılan radon ölçüm cihazları, bir ucu 7,2 cm diğer ucu 5 cm çapında ve 7 cm uzunluğunda plastik kaplardan oluşmaktadır ve LR-115 dedektörler 1,2x1,2 cm^2 boyutunda kesilip kapların dibine tutturulmuştur. Kap tipi ölçüm cihazlarının içerisine yerleştirilen iz dedektörlerinin cevabı; kap geometrisi ve dedektörün konumu ve kaydetme duyarlılığı ile saptanmaktadır [46]. Bu özel geometrideki ölçüm aletleri için radon ölçümlerinin kuramsal temelleri Fleischer ve Mogro-Campero[49] ile Somogyi ve ark. [46] tarafından geliştirilmiştir. LR-115 dedektörlerinin 1,7 - 4,1 MeV enerjili alfa parçacıklarına duyarlı oldukları ve normal kimyasal kazıma koşulları altında kritik açılarının 40^0 olduğu kabul edilmektedir[30]. Enerji aralıkları ve kritik açı, ölçüm cihazlarının duyarlı hacimlerini belirlemede kullanılmaktadır. Burada kullanılan geometri koşulları altında, kap içerisindeki havada radon gazının homojen olarak dağılırken, kısa ömürlü radon ürünlerinin kabın iç duvarlarında tamamen durdurulduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, kaydedilen alfa izlerinin çoğunun bina içindeki radon gazının bıraktığı izler ile orantılı olduğu söylenebilir. Ancak, insanların solunum sistemlerinin radyasyon nedeniyle hasarı çoğunlukla kısa yarı-ömürlü radon ürünlerinden kaynaklanmakta olup, bu hasar

potansiyel alfa enerji konsantrasyonları (PAECs) ile nitelendirilmektedir. Diğer taraftan, maruz kalma derecesi belirlenirken ^{222}Rn gazı konsantrasyonunun ölçümü, bozunum ürünleri konsantrasyonlarının doğrudan ölçümü yerine kullanılabilmektedir[19]. Böylece potansiyel alfa enerji konsantrasyonlarına maruz kalma, uygun denge faktörleri ve ölçülen radon konsantrasyonları kullanılarak tahmin edilmektedir[30].

İz yoğunluğunun maruz kalınan ^{222}Rn ile orantılı olduğunu kabul edersek, bina içi ortamdaki radon konsantrasyonu [C_0 (Bq/m^3)] LR 115-II nükleer iz dedektörü kullanılarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır[50]:

$$C_0 = \frac{D_0}{k}$$

Burada D_0 (iz cm^{-2} $gün^{-1}$), radon kaynaklı alfa parçacıklarının dedektör üzerindeki net iz yoğunluğu ve k (Bq^{-1} m^3 iz cm^2 $gün^{-1}$) ise kalibre edilen dedektör duyarlılık katsayısıdır (kalibrasyon sabiti). Net iz yoğunluğu, gözlenen iz yoğunluğu (birim alan başına izlerin sayılması ile belirlenir) ile ışınlanmamış dedektörün arka fon (background) iz yoğunluğu arasındaki farktır.

3.1.1. LR-115 Dedektörlerin Hazırlanması

Bina içi radon aktivite konsantrasyonlarının ölçülmesi amacıyla, plastik dedektörler, 1,2 x 1,2 cm boyutunda kesilip numaralandırıldıktan sonra 9 cm boyunda, 7 cm çapında plastik kapların dibine tutturulmuştur. (Şekil 10)



Şekil 10: *Radon Ölçümleri İçin Hazırlanan LR-115 Dedektörler*

3.1.2. Radon Ölçüm İstasyonlarının Oluşturulması

Tez kapsamında, dedektör yerleştirme işlemi 22-24 Kasım 2011 tarihlerinde yapılmıştır. Dokuz Eylül Üniversite Hastanesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp Bölümleri'nin odalarında ve araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul eden personellerinin evlerinde toplam 95 adet radon gözlem istasyonu oluşturulmuştur.



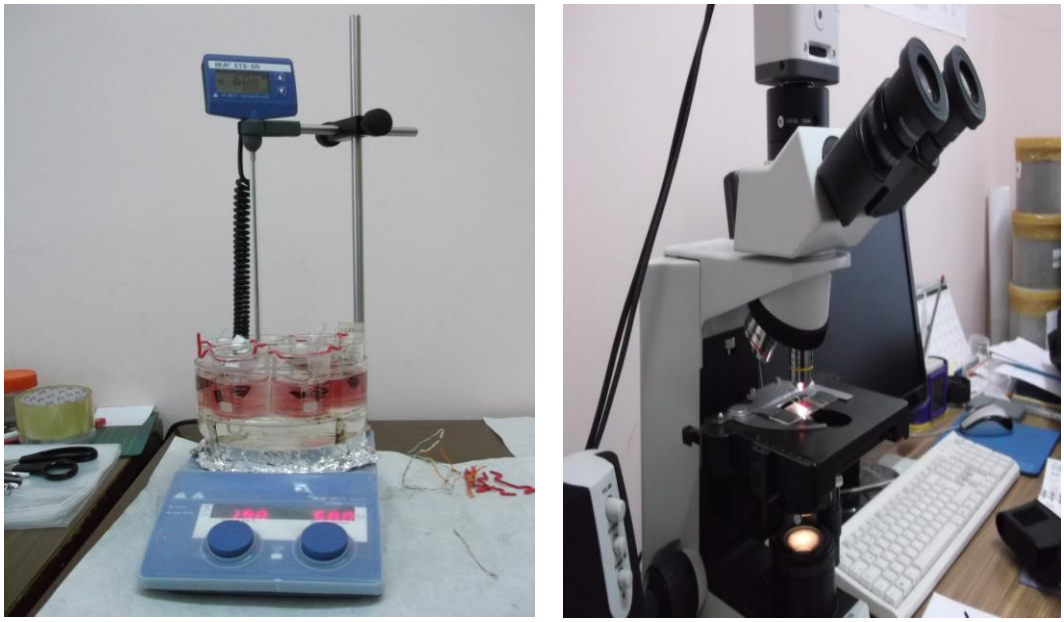
Şekil 11: *Radon Dedektörlerinin Oda İçlerinde Asıldığı Yerler*

Radon ölçümleri için hazırlanan kaplar zeminden yukarı katlara doğru, personel odaları ve evlerinde yatak odalarında uygun bulunan yerlere (pencereden, kapıdan ve elektrikli aletlerden uzak olacak şekilde), yerden 150- 200 cm yukarıya asılmıştır (Şekil 11). Bu yüksekliği tercih etmemizin nedeni çalışma ve yaşam alanlarındaki yaklaşık solunum mesafemizdir. Alfa duyarlı LR-115 dedektörleri, radon ve ürünlerini toplaması için 2 ay süre ile bırakılmıştır. Uzun süreli entegre ölçüm tekniği, ölçümlerde oluşabilecek istatistiksel hatalardan kaçınılmasını ve aylık/mevsimlik ortalama radon konsantrasyonu düzeyinin elde edilmesini sağlamaktadır.

3.1.3. LR-115 Dedektörlerin İşlenmesi ve İz Yoğunluğunun Ölçümü

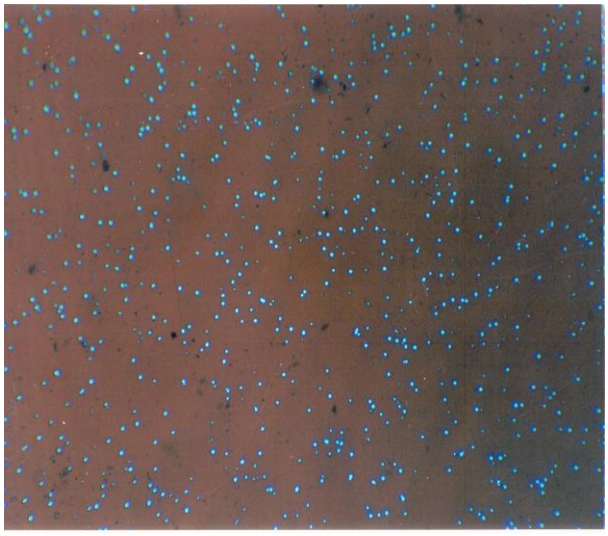
Kimyasal kazıma işleminde; iz dedektörleri, 60 °C sıcaklıkta %10 (2,5 N) NaOH çözeltisinde 90 dakika boyunca banyo edilmiştir. Tanımsız izler elde etmemek için her bir dedektör için taze hazırlanmış 25 ml (2,5 N) NaOH çözeltisi kullanılmıştır. Çözelti

sıcaklığının sabit tutulabilmesi için ± 0.1 °C sıcaklık kontrollü termostat ve manyetik karıştırıcılı ısıtıcı ile termometreden oluşan bir düzenek kullanılmıştır (Şekil 12).



Şekil 12: *Banyo Sistemi ve Optik Mikroskop*

İz kazıma süresi boyunca buharlaşma ile kayıpları önlemek için çözelti eklemesi yapılmış ve iz kazıma süresi sonunda oda sıcaklığında saf su ile 20 dakika durulanan dedektörler el değmeden temiz bir ortamda kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 13: *LR-115 Katı Hal İz Dedektörleri Üzerindeki İz Yoğunluğu* [68]

Selüloz-nitrat kaplı bu plastik dedektörler üzerinde alfaların bıraktığı iz kırmızı zeminde, beyaz benekler şeklinde olmaktadır (Şekil 13). Alfa duyarlı dedektörler üzerindeki izlerin sayımı 10 x 10 büyütmeli optik mikroskopla yapılmıştır. Dedektör üzerindeki zayıf sayım istatistiğinden kaçınmak için rutin olarak 1 cm^2 lik dedektör alanı sayılmıştır. Bir cm^2 yi 100 mm^2 ye bölen özel ölçekle mm^2 'deki iz sayıları toplanıp, ortalaması alınarak, gün başına radon konsantrasyonuna karşı gelen iz yoğunluğu, iz cm^{-2} $gün^{-1}$ olarak elde edilmiştir. Birim alanda ölçülen iz yoğunluğundaki (N) hata, Poisson istatistiğine uyar ve toplam sayımın karekökü ($\sigma = \sqrt{\bar{N}}$) ile verilir.

3.1.4. LR-115 Dedektörlerin Kalibrasyon Sabitinin Belirlenmesi

LR-115 Dedektörlerin kalibrasyon sabiti, bir NRPB (National Radiological Protection Board) ortağı olan Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziği Bölümü'nde tayin edilmiştir[51]. Bu amaçla, 8 adet ışınlanmamış dedektör 1-4 gün süre ile radon konsantrasyonu 3,2 kBq/m^3 olan radon tankında bekletilmiş, dedektör üzerindeki iz yoğunlukları ve radon tankının aktivite konsantrasyonu kullanılarak kalibrasyon sabiti 0,0386 $Bq^{-1}m^3$ iz cm^{-2} $gün^{-1}$ olarak tayin edilmiştir.

3.1.5. Minimum Dedekte Edilebilen Konsantrasyon

Poisson istatistiklerinin geçerliliğini varsayarak, dedeksiyon limiti L_D arka fon iz yoğunluğunun iyi bilindiği durumda Currie kriterleri[52] esas alınarak $L_D = 2{,}71+3{,}29\sigma_B$ olarak tanımlanmıştır. Burada σ_B arka fon standart sapması (dedektörün gözlenen yüzey alanındaki toplam alfa izlerinin karekökü) olarak bilinir. Radon için minimum dedekte edilebilir konsantrasyon (MDC) kalibrasyon faktörü kullanılarak aktivite konsantrasyonu birimlerinde ifade edilen L_D değerlerine karşılık gelir. Radon için MDC değerleri 2 aylık ölçüm dönemi için 12 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır. Ölçüm duyarlılığı 1 cm^2' yi 100 mm^2' ye bölen özel ölçekle mm^2'deki iz sayıları sayılarak (nispeten daha geniş dedektör alanında gözlenerek) arttırılmıştır.

3.2. Araştırmanın tipi

Deneysel çalışma tasarımı içersinde yer olan bu araştırma, bina içi radon maruziyetinin kabul edilebilir sınırlarda olup olmadığını inceleyen bir çalışmadır.

3.3. Araştırmanın yeri ve zamanı

Araştırma Kasım 2011- Ocak 2012 tarihlerinde Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp Bölümleri'nde çalışan personelin çalışma alanlarında ve ikamet ettikleri evlerde yapılmıştır.

3.4. Araştırmanın evreni ve örneklemi

Araştırma kapsamında ele alınacak olan örneklem büyüklüğünün 95 olmasına karar verilmiştir. İki bölüm için de ayrı ayrı araştırma grubu belirlenirken aşağıda belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurulmuştur.

▪ Katılımcıların hepsi DEÜ Hastanesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp Bölümleri'nin personeli olmalıdır.

▪ Katılımcıların hepsi İzmir'de ikamet ediyor olmalıdır.

▪ Katılımcılar seçilirken cinsiyet ayrımı yapılmamalıdır.

▪ Tüm katılımcılara konut bilgilerinin sorulduğu anket uygulanmalıdır.

3.5. Çalışma materyali

Araştırma katılımcıları Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp Bölümleri'nde çalışan personelden anketi yapıp çalışmaya katılmaya gönüllü olanlar arasından 20 Kasım 2011 tarihinde seçilmiştir.

3.6. Araştırmanın değişkenleri

Araştırma değişkenleri bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak iki değişkenden oluşmuştur. Bağımlı değişken bina içi radon ölçüm değeridir. Bağımsız değişkenler ise bu araştırma kapsamında yapılan anket sonucundan elde edilen bilgilerdir.

3.7. Veri toplama araçları

Araştırmada kullanılan veriler aşağıda örneği verilen anket ile toplanmıştır. Bina içi radon konsantrasyonları ise LR-115 film tipi dedektörler ile ölçüm yapılarak elde edilmiştir.

Tablo 9: *Araştırmada Kullanılan Mevcut Makine – Teçhizat Listesi*

Adı/Modeli	Projede Kullanım Amacı
Kodak LR 115 Tip 2 Film	Radon ölçümlerinde kullanılmak üzere
IKA Dijital Kontak termometre	LR 115 Filmlerin Banyo işlemi kullanılmak üzere
IKA Isıtılıcı Manyetik Karıştırıcı	LR 115 Filmlerin Banyo işlemi kullanılmak üzere
Olympus Trinoküler Mikroskop + Sony Kamera	Alfa izlerinin okunmasında kullanılmak üzere
NaOH kimyasal	Filmlerin Banyo işleminde kullanılmak üzere

Anket Örneği

Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Medikal Fizik Anabilim Dalı

^{222}Rn Aktivite Konsantrasyonu İle Yerleşim ve Konut Kullanım Bilgileri Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi Anketi

Bu araştırma Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Medikal Fizik ABD tarafından yürütülen bir çalışmadır. Araştırmayla, kişisel ve konut bilgileri göz önünde bulundurularak bu durumlar ile radon kaynaklı yıllık etkin doz tahmini yapılması ve bina içi radon aktivite konsantrasyonunu etkileyen faktörlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca uygun olarak hazırlanan anketle yüz yüze görüşülerek sizden bilgi vermeniz istenmektedir. Bu araştırmada sizinle ilgili tutulan kayıtlar kesinlikle gizli kalacaktır. Elde edilecek bilgiler bilimsel amaçlar dışında kullanılmayacaktır.

Görüşmenin yapıldığı tarih:
Görüşülen kişinin adı ve soyadı:
Çalıştığı Poliklinik ve Görevi:
Ev Adresi:
Telefonu:
E-maili:

YERLEŞİM VE KONUT KULLANIM BİLGİLERİ

OFİS

- Havalandırma veya klima var mı? Evet( ) Hayır ( )
- Klima varsa ne kadar süreyle ve günde kaç kez kullanılıyor?
- Sigara içiliyor mu? Evet ( ) Hayır ( )
- Oda günde kaç saat kullanılıyor?
- Pencereniz günde ne kadar süreyle açık?

EV

- Evinizin bodrumu var mı? Evet( ) Hayır ( )
- Eviniz kaçıncı kat:
- Ev tipi: müstakil ( ) yarı müstakil ( ) apartman ( ) sıralı ev ( ) kamu binası( ) diğer( )
- Evinizin malzeme tipi: beton( ) taş( ) ahşap( ) prefabrik( )
- Evinizin nem koruması var mı? Evet( ) Hayır ()
- Havalandırma veya klima var mı? Evet( ) Hayır ()
- Klima varsa ne kadar süreyle ve günde kaç kez kullanılıyor?
- Pencereniz günde ne kadar süreyle açık?
- Sigara içiliyor mu? Evet( ) Hayır ( )
- Oda günde kaç saat kullanılıyor?
- Odada ebeveyn banyosu var mı: Evet( ) Hayır ( )
- Son bir yılda evinizde tadilat yapıldı mı?

3.8. Araştırma planı

İŞLEM	BAŞLANGIÇ	BİTİŞ
Literatür Taraması	01.08.2010	31.12.2010
Dedektör kaplarının hazırlanması, yerleştirilmesi, toplanması, işlenmesi ve iz yoğunluklarının ölçülmesi	07.12.2011	07.02.2012
Radon aktivite konsantrasyonları hesaplamaları ve etkin doz eşdeğeri tahminleri	08.02.2012	17.02.2012
İstatistiksel Analiz ve Veri Değerlendirme	20.02.2012	24.02.2012
Yazım	24.02.2012	23.03.2012

3.9. Verilerin değerlendirilmesi

Belirlenecek olan bina içi ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının, aritmetik ortalaması, medyanı, geometrik ortalaması, minimum ve maksimum değerleri ve standart sapmaları SPSS 8.0 istatistik programı kullanılarak derlenmiştir. Ayrıca, bina içlerinde saptanan ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları elde edilip, bu dağılımların normal ve log-normal dağılım fonksiyonları ile uygunluğu Kolmogorov-Smirnov normalite testi ile tartışılmıştır.

Radyasyon Onkolojisi Polikliniği ile Nükleer Tıp Polikliniği'nde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı, SPSS programı Independent Sample T- Test ile araştırılmıştır.

Personel evlerinde ve ofislerinde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı, SPSS programı Independent Sample T-Test ile incelenmiştir.

İncelenen ev ve ofislerde, kat yüksekliği, havalandırma süresi, sigara kullanımı, ebeveyn banyosu ve klimaya bağlı olarak, radon konsantrasyonlarındaki farklılık Two Independent Samples Testi ile analiz edilmiştir.

Ayrıca ölçülen bina içi radon konsantrasyonlarına karşılık gelen ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri, 9 nSv (Bq saat m^{-3})$^{-1}$ doz dönüşüm katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır.

3.10. Araştırmanın sınırlılıkları

Çalışmada kullanılan film dedektörlerin zarar görmesi veya kaybolması ile araştırmaya katılmaya gönüllü olan personelin oluşturduğu örneklemin küçük olması araştırmanın sınırlılıklarını oluşturmaktadır. Ayrıca personelin dedektörleri evlerde astıkları yerlerin denetlenememesi de araştırmanın sınırlılıklarındandır.

3.11. Etik Kurul Onayı

Araştırma DEÜ Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 05.01.2012 tarih 414-GOA protokol numarası ve 2012/01-16 karar numarası ile görüşülmüş ve onaylanmıştır. Ayrıca araştırmanın yapılacağı bölümlerin anabilim dalı başkanlarının resmi izin yazıları mevcuttur.

4. BULGULAR

4.1. Bina İçi ^{222}Rn Aktivite Konsantrasyonları ve Dağılımları

Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp Bölümleri'nde çalışan personelin çalışma ve yaşam alanlarında yapılan bu çalışmada, polikliniklerde 52, evlerde 43 adet olmak üzere toplam 95 noktada radon aktivite konsantrasyonu ölçülmüştür. LR-115 katı hal iz dedektörleri üzerindeki gözlenen iz yoğunlukları (iz/cm^2) ve dedektör kalibrasyon parametresi (Bq^{-1}m^3 iz cm^{-2} gün^{-1}) kullanılarak radon aktivite konsantrasyonları (Bq/m^3) saptanmış, polikliniklere ilişkin aktivite konsantrasyonları Tablo 10'da, evlere ilişkin aktivite konsantrasyonları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10: *Polikliniklerde saptanan radon aktivite konsantrasyonları (C_R)*

Radyasyon Onkolojisi	C_R (Bq/m^3)	Nükleer Tıp	C_R (Bq/m^3)
Ofis 1	49±10	Bekleme Odası	44±10
Arşiv	86±7	Hemşire Odası 1	168±5
Braki doz Odası	76±8	Ofis 1	624±3
Brakiterapi Odası	92±7	İyot Hasta Odası	25±13
Bilgisayarlı Tomografi	165±5	Dinlenme Odası	18±16
Bilgisayarlı Tomografi	102±7	Pet Rapor Odası	110±6
Kobalt	132±6	Ofis 2	136±6
Kobalt	84±7	Poliklinik 3	84±7
Destek Odası	219 ±5	Rapor Odası	48±9
Dinlenme Odası	83±7	Gama Kamera Bölümü	67±8
Ofis 2	77±8	Teknisyen Odası	109±6
Fizik Planlama Odası1	40±10	Poliklinik 1	79±7
Hemşire Odası	105±6	Çocuk Bekleme Odası	125±6
Ofis 3	31±12	Poliklinik 2	102±7
Kalıp Odası	58±9	Hasta Hazırlık Odası	264±4
Ofis 4	84±7	Gama Kamera1	86±7
Ofis 5	105±6	Ofis 3	92±7
Poliklinik 1	57±9	Hot Laboratuar	91±7
Poliklinik 2	146±5	Gama Kamera 3	139±6
Poliklinik 3	164±5	Hasta Bekleme Bölümü	28±12
Primus1	93±7	Ofis 4	186±5
Primus1	44±10	Ofis 5	132±6
Primus2	142±6	Gama Kamera 2	160±5
Primus 2	244±4	Hot Laboratuvarı Pet	110±6
Ofis 6	73±8		
Sekreterlik	283±4		
Teknik Ofis	90±7		
Ofis 7	108±6		

Tablo 11: *Personel evlerinde saptanan radon aktivite konsantrasyonları (C_R)*

Ev No	Semt	C_R (Bq/m^3)
1	Balçova	69±8
2	Balçova	80±7
3	Balçova	97±7
4	Balçova	89±7
5	Balçova	59±9
6	Balçova	76±8
7	Balçova	177±5
8	Balçova	80±7
9	Balçova	123±6
10	Balçova	273±4
11	Balçova	325±4
12	Balçova	182±5
13	Bornova	226±4
14	Buca	170±5
15	Buca	106±6
16	Karşıyaka	102±7
17	Karşıyaka	193±5
18	Karşıyaka	148±5
19	Konak	43±10
20	Konak	165±5
21	Konak	399±3
22	Konak	ND (dedeksiyon limitinin altında)
23	Konak	99±7
24	Narlıdere	103±7
25	Narlıdere	120±6
26	Narlıdere	223±4
27	Narlıdere	88±7
28	Narlıdere	237±4
29	Narlıdere	22±14
30	Narlıdere	271±4
31	Narlıdere	48±10
32	Narlıdere	26±13
33	Narlıdere	499±3
34	Narlıdere	29±12
35	Narlıdere	126±6
36	Narlıdere	190±5
37	Urla	226±4
38	Urla	113±6
39	Urla	560±3
40	Üçkuyular	185±5
41	Üçkuyular	206±5
42	Üçkuyular	191±5
43	Kadifekale	123±6

Çalışma kapsamında ev ve poliklinik alanlarında oluşturulan ölçüm istasyonu sayısının eşit olmamasının nedenleri; aynı çalışma ortamının birden fazla kişi tarafından paylaşılması ve her personelin mesai saatinin tümünü tek bir çalışma ortamında geçirmemesidir. Evlerde radon ölçümlerinin yatak odalarında yapılmasının nedeni ise; yıllık etkin doz eşdeğeri tahminlerinde kapalı ortamlarda geçirilen sürelerin dikkate alınması ve evlerde uyku ihtiyacı nedeniyle en uzun süre kullanılan ortamın yatak odaları olmasıdır.

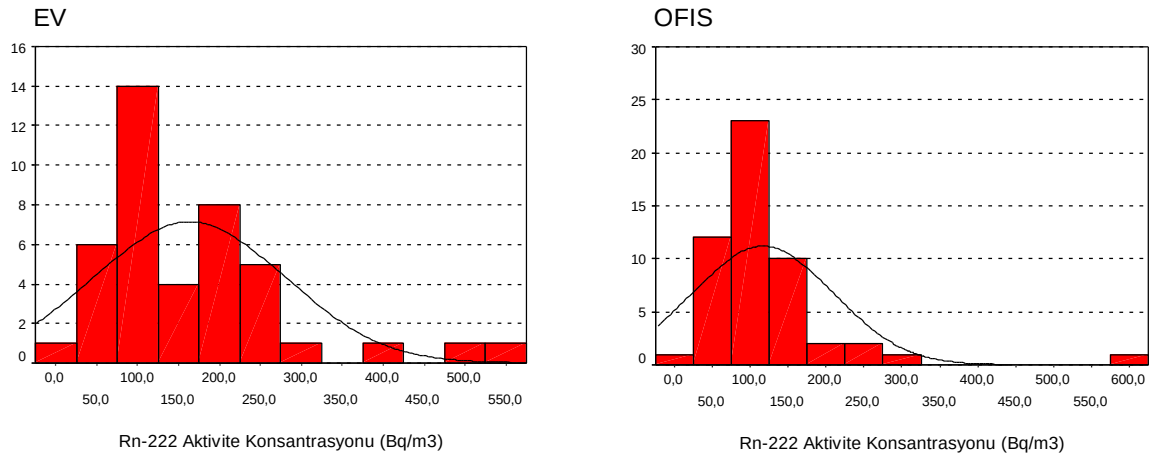
Buna göre, Radyasyon Onkolojisi Bölümü'nde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu geometrik ortalaması 94 Bq/m^3 olmak üzere 31±12 ile 283±4 Bq/m^3 aralığında; Nükleer Tıp Bölümü'nde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu ise geometrik ortalaması 95 Bq/m^3 olmak üzere 18±16 ile 624±3 Bq/m^3 aralığında saptanmıştır. Personel evlerinde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu ise geometrik ortalaması 129 Bq/m^3 olmak üzere 22±14 ile 560±3 Bq/m^3 aralığında değişmektedir. Araştırma yapılan evler ve bölgeler arasında, en yüksek radon konsantrasyonu (560±3 Bq/m^3) ve ortalama radon konsantrasyonu (300 Bq/m^3) Urla bölgesinde bulunmuştur.

Saptanan bina içi ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının, istatistiksel analizleri SPSS 8.0 istatistik programı kullanılarak derlenmiş (Tablo 12), frekans dağılımları incelenmiştir (Şekil 14).

***Tablo 12**: Bina içi ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının (Bq/m^3) medyan, aritmetik ortalama, aritmetik ortalamanın standart hatası (OSH), standart sapma (SS), menzil ve frekans dağılımlarının skewness ve kurtosis katsayıları*

	Ev	**Ofis**
Medyan	124	92
Aritmetik Ortalama ± OSH	163 ± 18	117 ± 13
S.S.	117	92
Geometrik Ortalama	129	95
Menzil	22- 560	18- 624
Skewness	1,653	3,531
Kurtosis	3,287	17,532
Frekans dağılımı	Log-Normal	Log-Normal

Frekans dağılımlarının normal ve log-normal dağılım fonksiyonları ile karşılaştırılmasında Kolmogorov-Smirnov normalite testi yanında kullanılan daha basit bir yöntem; dağılımların aritmetik ortalama, medyan ve geometrik ortalamalarının karşılaştırılmasıdır[20,53]. Normal dağılımlarda aritmetik ortalama ile medyan benzer iken, log-normal dağılımlarda geometrik ortalama ile medyan birbirine benzer olmaktadır[54,55]. Bu doğrultuda, normal dağılımın aritmetik ortalama ile, log-normal dağılımların ise medyan ya da geometrik ortalama ile ifade edilmesi önerilmektedir. Elde edilen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu dağılımına uygulanan Kolmogorov-Smirnov normalite testi (α = 0,05 anlam düzeyinde) (p_{ev}= 0,912 p_{ofis}= 0,474) ve gözlenen medyan, aritmetik ortalama, geometrik ortalama değerleri, evlerde ve ofislerde radon aktivitesinin log-normal dağılıma uyduğunu göstermiştir (Şekil 14). Bu sonuç, bina içi radon araştırmalarına dayanan diğer çalışmalar ile uyum içindedir [8, 56].



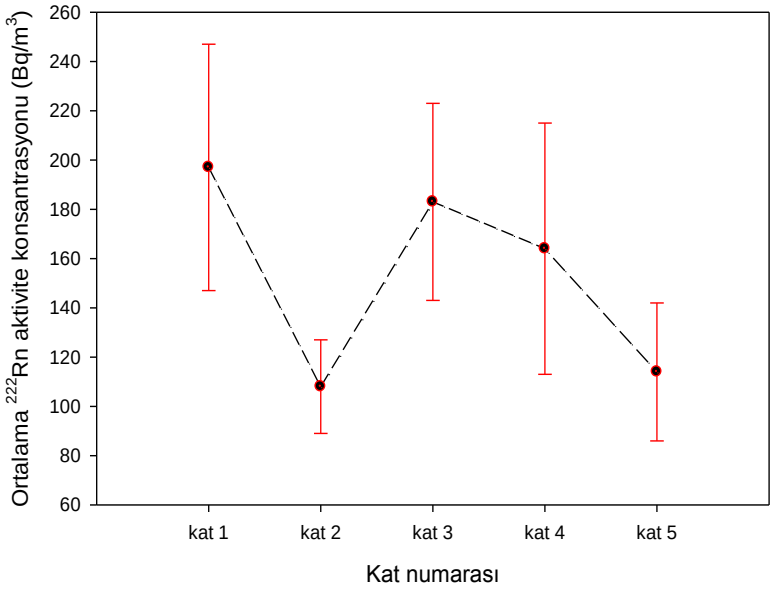
Şekil 14: *Çalışma Kapsamında Ev ve Ofislerde Saptanan ^{222}Rn Aktivite Konsantrasyonlarının (Bq/m^3) Frekans Dağılımları*

4.2 Bina İçi Radon Konsantrasyonunu Etkileyen Faktörler

Çalışma kapsamında bina içi radon konsantrasyonunu etkileyen faktörler incelenirken, personel ev ve ofislerinde saptanan radon konsantrasyonları ve anketlerden elde edilen bilgiler (kat yüksekliği, havalandırma süresi, sigara kullanımı, ebeveyn banyosu varlığı, klima varlığı) kullanılmıştır.

Evlerdeki bina içi ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının katlara göre değişimi incelendiğinde, veri sayısının az olması nedeniyle istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon

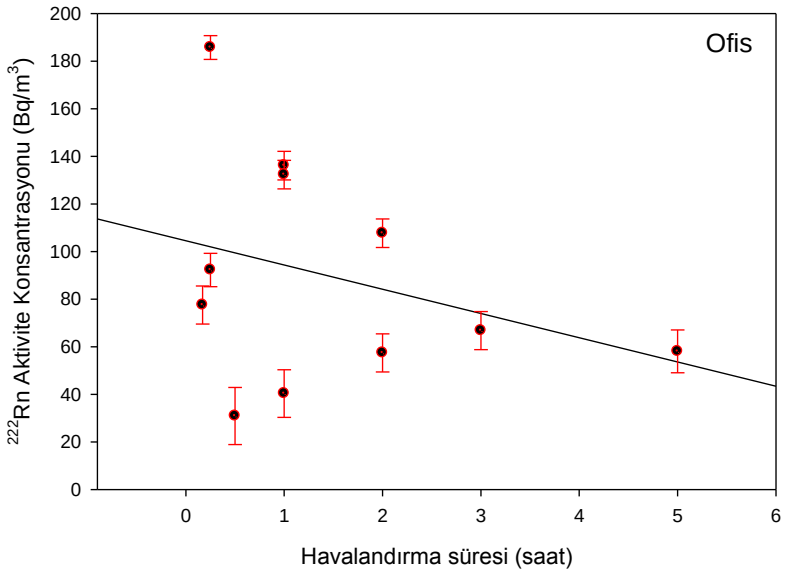
bulunamamıştır. Ancak, en yüksek aktivite konsantrasyonun birinci katta olduğu (ortalama 197 Bq/m^3) ve aktivitenin zemin kattan üst katlara doğru azaldığı görülmektedir (2., 3., 4., 5. katlar için ortalama radon aktivite konsantrasyonları sırasıyla 108, 183, 165, 114 Bq/m^3) (Şekil 15).



Şekil 15: *Personel Evlerindeki Ortalama ^{222}Rn Aktivite Konsantrasyonlarının Katlara Göre Değişimi*

Ofislerdeki bina içi radon aktivite konsantrasyonlarının oda havalandırma sürelerine göre değişimi incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunamamakla birlikte, odanın havalandırma süresi artarken radon aktivite konsantrasyonlarının azaldığı gözlenmiştir (Şekil 16).

İncelenen ev ve ofislerde, sigara kullanımı, ebeveyn banyosu ve klimaya bağlı olarak, radon konsantrasyonlarındaki farklılık Two Independent Samples Testi ile analiz edilmiş, ancak istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p>0.05$).



Şekil 16: *Ofislerdeki ^{222}Rn Aktivite Konsantrasyonlarının Havalandırma Sürelerine Göre Değişimi*

Radyasyon Onkolojisi Polikliniği ile Nükleer Tıp Polikliniği'nde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark izlenmemiştir ($p>0,05$).

Personel evlerinde ve ofislerinde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p>0,05$).

4.3 Bina İçi Radona Maruz Kalma Sonucunda Alınan Etkin Dozlar

Ölçülen bina içi radon konsantrasyonlarına karşılık gelen ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri, 9 nSv (Bq saat m^{-3})$^{-1}$ doz dönüşüm katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama için, UNSCEAR (2000) tarafından verilen model kullanılmıştır:

$$H = C \times F \times O \times T \times D$$

Burada C bina içi radon konsantrasyonu (Bq m^{-3}), F eşdeğer denge konsantrasyon faktörü (0,4), O bina içi kullanım oranı (%80), T zaman (8760 saat $yıl^{-1}$) ve D doz dönüşüm katsayısıdır.

Bu çalışmada doz hesaplamaları, 'O' bina içi kullanım oranı; personelin yatak odalarında, ofislerinde ve çalışma alanlarında geçirdikleri saat bazında zamanlar göz önüne alınarak revize edilmiştir.

Kapalı ortamda radon aktivitesinden kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerleri, Tablo 13'te görüldüğü üzere çalışma alanlarında 0,34-7,88 mSv/y; evlerde 0,23-7,07 mSv/y

aralığında tahmin edilmiştir. Ev ve ofis ortamları için toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri belirlenirken aşağıdaki ifadeden faydalanılmıştır.

$$H_{toplam} = H_{ev} + H_{hastane}$$

Bu hesaplamaya göre toplam yıllık etkin doz eşdeğeri 0,76-8,79 mSv/y aralığında değişmektedir. İncelenen alanlarda bina içi ^{222}Rn nedeniyle personelin maruz kaldığı doza ev ve ofislerin ortalama katkıları incelendiğinde; evlerden gelen katkının %59, çalışma alanlarından gelen katkının %41 olduğu görülmektedir (Tablo 13).

Tablo 13: *Personelin çalışma alanlarında ve evlerinde maruz kaldıkları yıllık etkin doz eşdeğerleri ve bunların toplam doza katkıları*

No	H_{toplam} (mSv/yıl)	H_{ev} (mSv/yıl)	$H_{hastane}$ (mSv/yıl)	Ev Katkısı (%)	Hastane Katkısı (%)
1	1,31	0,76	0,55	58	42
2	3,74	2,54	1,20	68	32
3	3,55	2,85	0,70	80	20
4	1,83	1,08	0,75	59	41
5	2,23	1,77	0,46	79	21
6	2,85	1,01	1,84	36	64
7	2,85	1,34	1,51	47	53
8	3,26	1,10	2,16	34	66
9	2,96	2,32	0,65	78	22
10	6,52	4,48	2,04	69	31
11	2,25	1,23	1,02	55	45
12	3,51	0,75	2,76	21	79
13	1,33	0,99	0,34	74	26
14	1,80	1,22	0,58	68	32
15	3,32	2,82	0,51	85	15
16	2,34	1,25	1,09	53	47
17	2,86	1,03	1,84	36	64
18	3,28	2,14	1,14	65	35
19	2,58	1,33	1,25	52	48
20	3,02	2,23	0,79	74	26
21	6,16	2,59	3,57	42	58
22	1,81	1,01	0,79	56	44
23	3,58	2,44	1,14	68	32
24	2,64	1,55	1,09	59	41
25	3,26	2,57	0,69	79	21
26	2,18	1,11	1,06	51	49
27	4,06	2,99	1,06	74	26
28	5,66	3,68	1,98	65	35
29	1,24	0,23	1,01	18	82
30	7,61	5,04	2,57	66	34
31	3,02	2,29	0,72	76	24
32	5,40	4,20	1,19	78	22
33	1,38	0,60	0,77	44	56
34	8,20	0,32	7,88	4	96
35	8,79	7,07	1,72	80	20
36	4,01	2,85	1,16	71	29
37	7,46	6,30	1,16	84	16
38	3,68	2,30	1,39	62	38
39	0,76	0,37	0,39	49	51
40	3,93	1,59	2,34	40	60
41	2,49	1,34	1,15	54	46
42	4,06	2,39	1,67	59	41

5. TARTIŞMA

İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından aldıkları toplam yıllık etkin dozun yaklaşık yarısını, radon ve alfa yayımlayıcı bozunum ürünlerinin solunması oluşturmaktadır[19]. Evlerde ve işyerlerinde radonun veya kısa yarı ömürlü radon ürünlerinin solunmasının akciğer tümörlerine yol açtığı kesin olarak kanıtlanmış[2] ve radonun sigaradan sonra akciğer kanserinin en önemli ikinci nedeni olduğu belirtilmiştir[3]. Bu bağlamda bina içi radon radyasyon güvenliği açısından büyük öneme sahiptir.

Evlerde radon ölçümü ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapılmış, 20 yıl kadar sonra tüm dünyada değişik ülkelerde geniş ölçekli sistematik çalışmalar başlatılmıştır[56]. Dünya literatüründe evlerde yapılan araştırmalara[7,31] ek olarak, hastanelerde yapılan radon gözlem araştırmaları da dikkat çekmektedir. Tablo 5'te hastanelerde yapılan radon ölçüm çalışmalarına bazı örnekler verilmiştir. Bu çalışmalar incelendiğinde, bina özelliklerine bağlı olarak radon aktivite konsantrasyonlarının 8,1 ile 700 Bq/m³ aralığında değiştiği görülmektedir.

Vaupotic ve Kobal; bir çalışmada Slovenya'daki 26 büyük hastanenin 201 adet odasında bina içi radon konsantrasyonlarını incelemiş ve bu odalarda çalışan 1025 personele ait yıllık etkin dozları ICRP 65 Raporu'ndaki metodolojiyi kullanarak tahmin etmişlerdir. Alfa sintilasyon hücreleri ile anlık radon konsantrasyonlarını, iz kazıma dedektörleri ve elektret dedektörler ile uzun süreli ortalama radon konsantrasyonlarını, taşınabilir cihazlar aracılığıyla da radonu, ürünlerini ve denge faktörüni sürekli olarak kaydetmişlerdir. Sadece 7 odada iz kazıma dedektörü ile 1 aylık sürede ölçülen radon konsantrasyonu ulusal limit olan 400 Bq/m^3'ü geçmiştir. Aynı araştırmada, 966 kişinin maruz kaldığı yıllık etkin dozlar 1 mSv'in altında, 10 kişinin maruz kaldığı etkin dozlar 2,1 ve 7,3 mSv/y aralığında tahmin edilmiştir. Sonuçları genellikle radon düzeyi düşük bir ortamda olunduğunu gösterse de, yüksek konsantrasyona sahip sıcak noktalar bulunabileceğini ve bu nedenle de radon ölçümlerinin dikkatli bir şekilde bu noktaları kaçırmayacak şekilde yapılmasını tavsiye etmişlerdir[34].

Bir diğer çalışmada, Mnich ve arkadaşları; 1963 ile 2000 yılları arasında inşa edilmiş olan komşu hastane binalarının radon konsantrasyonlarını karşılaştırmışlardır. 40 yıl önce yapılmış olan hastane binasının bodrumundaki radon konsantrasyonunun aritmetik ortalamasını 38 Bq/m^3 ve daha yüksek katlarda 17 Bq/m^3; 16 yıl önce yapılmış olan hastane

binasının bodrumundaki radon konsantrasyonunun aritmetik ortalamasını 46 Bq/m^3 ve daha yüksek katlarda 20 Bq/m^3; en son yapılan hastanenin bodrumundaki radon konsantrasyonunun aritmetik ortalamasını 32 Bq/m^3 ve daha yüksek katlarda 20 Bq/m^3 olarak gözlemlemişlerdir. İncelenen hastanelerin bodrumlarına ve diğer katlarına ait radon konsantrasyonlarını karşılaştırdıklarında, istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulamamışlardır[32].

ICRP, 1983 yılında yayınladığı "Toplum için Doğal Radyasyon Kaynaklarına Maruziyetin Sınırlandırılma İlkeleri"nde; doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan tüm dozların bir dereceye kadar denetlenebilir olduğunu bildirmiştir. Buna göre, denetlenebilirlik bir sistemin doz sınırlamasında önemli bir faktördür. Doz sınırlamalarında, mevcut maruziyet durumları ve gelecekteki maruziyet durumları arasında belirgin bir farklılık vardır. Şöyle ki, mevcut maruziyet durumlarında iyileştirici önlemler alınırken, gelecekteki maruziyet durumlarında karar ve planlama aşamalarında sınırlama ve kontrol yapılabilmektedir[57].

ICRP 65 Raporu'nda evlerde müdahale sınırları ile ilgili olarak; 10 mSv'lik yıllık etkin dozu aşan durumlarda radona karşı bazı iyileştirici önlemlerin alınması gerektiği açıkça belirtilmiş ve yıllık etkin doz için müdahale aralığı 3-10 mSv olarak sınırlandırılmıştır. ICRP, müdahale sınırlarının yetkili kurumlar tarafından bu aralığa göre ayarlanmasını tavsiye etmektedir. Buna karşılık gelen radon aktivite konsantrasyonu, ortamın yıllık kullanım süresi 7000 saat ve denge faktörü 0,4 alındığında yaklaşık 200-600 Bq/$m^{3'}$tür. Bir başka deyişle, 200 ve 600 Bq/$m^{3'}$lük ortalama radon aktivite konsantrasyonu için içsel maruz kalma sırasıyla yıllık 3 ve 10 mSv'tır. Ancak aynı raporda gelecekteki binalarda radon konsantrasyonunun 100 Bq/m^3 sınırının altında olması önerilmektedir[2].

İşyerleri ile ilgili olarak ICRP, radyasyon çalışanları dışındaki personel için doz sınırlamalarında halk için kabul edilen müdahale düzeylerinin geçerli olduğunu bildirmiştir. Bu mantıktan hareketle, işyerlerindeki müdahale etme düzeylerinin evler için verilen yıllık etkin doz ile aynı düzeyde olması gerekir. Böylece, işyerleri için yıllık kullanım süresi ve denge faktörü düzenlemeleri yapıldığında müdahale sınırları yaklaşık 500-1500 Bq/m^3 olarak bulunur. Bazı işyerleri aynı zamanda halk tarafından da kullanılmaktadır. Eğer ofisler, kütüphaneler ve tiyatrolardaki gibi halk kullanımı kısa süreli ise, bu işyerleri için özel bir düzenleme yapılmasına gerek yoktur. Hastane, yatılı kurumlar ve okullar gibi halk kullanım süreleri uzun olan yerler, iyileştirici önlemler için müdahale sınırları belirlenirken evlerde olduğu gibi değerlendirilirler [57].

Türkiye'de, gerek bina içi radon aktiviteleri gerekse radyasyon çalışanlarının medikal uygulamalar nedeniyle maruz kaldıkları doz tahminlerine yönelik yapılmış birçok çalışma bulunmasına rağmen[4-12] hastane binalarında bina içi radon kaynaklı doz tahminlerine dayanan çalışmalar azdır[13].

Bu araştırma ile, Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp personelinin çalışma ve yaşam alanlarında radon aktivite konsantrasyonlarının ölçülmesi; personelin maruz kaldığı yıllık etkin dozların tahmin edilmesi; bu dozlara hastane binasının katkısının hesaplanması; ve sonuçların radyokorunum standartları çerçevesinde değerlendirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla; radon aktivite konsantrasyonları, dozimetrik amaçlı kantitatif radon tayininde yaygın şekilde kullanılan LR-115 katı-hal nükleer iz dedektörleri (SSNTDs) ile ölçülmüştür. Bu pasif dedektörlerin çalışmada tercih edilmesinin nedenleri; basit ve ucuz olmaları, elektronik ekipmana gereksinim duymamaları, uzun süreli entegre radon ölçümlerine izin vererek meteorolojik olarak indüklenen hızlı dalgalanmaları ortadan kaldırmaları ve çevresel faktörlerden etkilenmemeleridir. Ölçülen bina içi radon konsantrasyonlarına karşılık gelen ortalama yıllık etkin doz eşdeğerleri, UNSCEAR (2000) tarafından verilen model kullanılarak tahmin edilmiştir.

Sunulan çalışmada, Radyasyon Onkolojisi Bölümü'nde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonunun geometrik ortalaması 94 Bq/m^3 olup 31±12 ile 283±4 Bq/m^3 aralığında; Nükleer Tıp Bölümü'nde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonunun ise geometrik ortalaması 95 Bq/m^3 olup 18±16 ile 624±3 Bq/m^3 aralığında değişmektedir. Personel evlerinde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu ise geometrik ortalaması 129 Bq/m^3 olmak üzere 22±14 ile 560±3 Bq/m^3 aralığında değişmektedir. Gerek evlerde gerekse hastane binasında saptanan radon konsantrasyonları, literatürde yapılan benzer çalışmalar ile uyum içindedir [8,13].

ICRP 65 Raporu'nda işyerleri için tavsiye edilen konsantrasyonların 500-1500 Bq/m^3 ve TAEK tarafından önerilen müdahale sınırının 400 Bq/m^3 olduğu göz önüne alındığında, hastane binasında saptanan radon konsantrasyonlarının güvenilir aralıkta olduğu görülmektedir. Buna ek olarak yukarıda belirtildiği üzere hastaneler ve okullar gibi halk tarafından kullanım süreleri çok olan ortamlar değerlendirilirken, evler için müdahale sınırı olan 200-600 Bq/m^3 göz önünde bulundurulur. Buna göre araştırılan tüm çalışma ve yaşam alanlarının radon konsantrasyonlarının, biri hariç (Nükleer Tıp Ofis1 için c_R= 624 Bq/m^3) ICRP tarafından önerilen müdahale sınırları içinde olduğu, ve 2 evin (Ev33 ve ev39 için c_R sırasıyla 499 ve 560 Bq/m^3) TAEK tarafından önerilen konsantrasyonu aştığı belirtilmelidir.

Radyasyon Onkolojisi Bölümü ile Nükleer Tıp Bölümü'nde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. İki bölüm arasında kat farkı olmasına rağmen, ortalama konsantrasyonlarda fark olmamasının kullanım alışkanlıklarına bağlı olabileceği düşünülmüştür.

Personel evlerinde ve ofislerinde ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Yine de, ortalama radon konsantrasyonlarının evlerde ofislere göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum personelin mesai saatleri boyunca evlerin genellikle kapalı olması ve diğer kullanım özelliklerine bağlanabilir. Aynı kattaki ofisler arasında radon konsantrasyonu farklılıkları da ofislerin kullanım alışkanlıklarına (havalandırma süresine, klima kullanımına) dayandırılabilir.

Araştırma kapsamında saptanan ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu dağılımına uygulanan Kolmogorov-Smirnov normalite testi ve gözlenen medyan, aritmetik ortalama, geometrik ortalama değerleri, evlerde ve ofislerde radon aktivitesinin log-normal dağılıma uyduğunu göstermiştir. Bina içi radon konsantrasyonuna etki eden faktörlerin çok olması nedeniyle bu durum beklenen bir sonuç olup, literatür ile uyumludur[8,56].

Bina içi ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının katlara göre değişimi incelendiğinde, veri sayısının az olması nedeniyle istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır. Bununla birlikte, katlara göre personel evlerindeki ortalama ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının değişim grafiği (Şekil 14) incelendiğinde; en yüksek aktivite konsantrasyonun birinci katta olduğu, daha yüksek katlarda ortalama konsantrasyonunun azaldığı açıkça görülmektedir. Benzer eğilim önceki çalışmalarda da gözlenmiş[58,59] ve birinci katlara toprak gazının yüksek konvektif akışı ile açıklanmıştır. Araştırmaya katılan personelin anket sonuçlarına bakıldığında, genelde evlerde bodrum katlarının olmadığı, bu nedenle bir bodrum ile korunmayan evin birinci katında radon aktivite konsatrasyonunun yüksek olması ve üst katlara doğru radon gazının seyrelmesi beklenen bir sonuçtur. Ayrıca incelenen evlerin aynı binada olmamasına (yani evlere ilişkin jeoloji, bina malzemesi, bina yaşı, meteorolojik farklılıklar, havalandırma, ısıtma sistemi, yaşam alışkanlıkları gibi farklılıklara) rağmen bu eğilim, bina içi radon konsantrasyonunda topraktan yüksekliğin etkisinin büyük olduğunu göstermektedir.

Bina içi radon aktivite konsantrasyonlarının oda havalandırma sürelerine göre değişimi incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunamamakla birlikte, odanın

havalandırma süresi artarken radon aktivite konsantrasyonlarının azaldığı gözlenmiştir (Şekil 15). Buna göre, kapalı ortamlardaki radon aktivite konsantrasyonlarının havalandırma ile seyreldiği, dolayısıyla havalandırmanın yüksek radon konsantrasyonları için iyileştirici bir önlem olabileceği açıktır.

İncelenen ev ve ofislerde, sigara kullanımı, ebeveyn banyosu ve klimaya bağlı olarak, radon konsantrasyonlarında istatistiksel anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bina içi radon araştırmalarından, radon konsantrasyonlarının birincil olarak jeolojik ve jeofiziksel koşullara bağlı olduğu, ayrıca binanın yaşı, yerden yükseklik, havalandırma yöntemi, binanın mimari stili, ısıtma sistemleri, meteorolojik şartlar (sıcaklık, basınç, rüzgar hızı, yağmur, vb) ve hatta ev sakinlerinin yaşam alışkanlıklarının radon konsantrasyonları üzerinde büyük değişimler oluşturabildiği iyi bilinmektedir[60-64]. Bu bilgilerin ışığında, incelenen faktörlerde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ilişki ya da farklılıkların bulunmamasının, sonuçların diğer faktörler tarafından maskelenmiş olmasından kaynaklanabileceği hatırlanmalıdır.

Araştırma yapılan evler ve bölgeler arasında, en yüksek radon konsantrasyonu (560±3 Bq/m^3) ve ortalama radon konsantrasyonu (300 Bq/m^3) Urla bölgesinde bulunmuştur. En yüksek konsantrasyonun Urla'da olması, buradaki aktif Urla fayının varlığına dayandırılabilir. Zira, Urla ve Karaburun fayları, son yıllarda 2003 Seferihisar ve 2005 Sığacık Körfezi depremleri de dahil olmak üzere, bölgenin depremselliğinden büyük ölçüde sorumlu fay sistemleri olarak değerlendirilmişlerdir[65]. Yerkabuğundan atmosfere yayınlanan radon miktarı genellikle küçüktür, ancak fay hatlarında, jeotermal kaynaklarda, uranyum yataklarında, volkanik hareketler sırasında ve depremlerin oluşumundan önce ölçülen radon miktarlarında anomaliler gözlenmektedir[66]. Yeryüzüne doğru gaz mobilitesi, fayların ve belli bir sistematiği olan kırıkların dağılımına, geometrisine, geçirgenliğine ve çalışılan alanın sismik-tektonik aktivitesine bağlı olarak artmaktadır. Bir sismik olay öncesinde kabukta biriken strese oldukça duyarlı olan fay zonlarında kaya basıncının ve fay yüzeyi boyunca geçirgenliğin değişmesi, kabuksal gazların daimi ve uzun süreli akışına izin veren tercihli kanallar oluşturarak doğal gazların yüzey altı toprak atmosferinde zenginleşmesine neden olur [66,67].

Çalışma kapsamında, hastane personelinin maruz kaldığı yıllık etkin dozlar ortalama 3,54 mSv/y olmak üzere 0,76-8,79 mSv/y aralığında tahmin edilmiştir. Bu sonuç, dünya ortalaması olan 1,15 mSv/y'lık yıllık etkin doz değerinden (UNSCEAR 2000) yüksek olsa da, ICRP tarafından belirlenen müdahale sınırlarının içindedir. Araştırılan alanlarda bina içi ^{222}Rn nedeniyle personelin maruz kaldığı yıllık etkin dozlara ev ve ofislerin ortalama katkıları

incelendiğinde; evlerden gelen katkının %59, çalışma alanlarından gelen katkının %41 olduğu görülmektedir.

Bina içi radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimler gösterdiği ve kış aylarında en yüksek konsantrasyona ulaştığı iyi bilinmektedir[8,56]. Çoğu kapı ve pencerenin kapalı olduğu kış aylarında havalandırma zayıf olacağı için, mevsimsel bu farklılık, şaşırtıcı değildir. Bu çalışmada, kış aylarında 2 aylık dönem ile tek bir ölçüm yapılarak yıllık etkin dozun tahmin edilmesi, fazladan doz tahmininde bulunulduğunu akla getirebilir. Ayrıca, araştırmada tahmin edilen yıllık etkin dozlar, pasif ve uzun süreli ölçüm yöntemi kullanıldığı için yine olduğundan fazla tahmin edilmiş olabilmektedir. Daha açık ifade etmek gerekirse poliklinikler geceleri ve hafta sonları kapalı olmalarına rağmen dozimetreler tüm bu süreler boyunca da ortalama konsantrasyona maruz kalırlar. Bununla birlikte olası dozun fazla tahmin edilmesi, radyokorunum çerçevesinden bakıldığında güvenli olmaktadır.

Ayrıca çalışmada yetersizliğe neden olan etmenler; radon ölçümlerinin yapıldığı dozimetrelerin kaybolması, personel evlerinde dedektörlerin asıldığı yerlerin denetlenememesi ve sadece gönüllü personelin oluşturduğu örneklemin küçük olması olarak belirtilebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de, gerek bina içi radon aktiviteleri gerekse radyasyon çalışanlarının medikal uygulamalar nedeniyle maruz kaldıkları doz tahminlerine yönelik yapılmış birçok çalışma bulunmasına rağmen[4-12] hastane binalarında bina içi radon kaynaklı doz tahminlerine dayanan çalışmalar azdır[13]. Bu araştırma ile, Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp personelinin çalışma ve yaşam alanlarında radon aktivite konsantrasyonları ölçülmüş; personelin maruz kaldığı yıllık etkin dozlar tahmin edilmiş; bu dozlara hastane binasının katkısı hesaplanmış; ve sonuçlar radyokorunum standartları çerçevesinde değerlendirilmiştir. Araştırmada hastane personelinin hem çalışma hem de yaşam alanlarında radon aktivite konsantrasyonun ölçülüp, bu alanları kullanım bilgileri göz önünde bulundurularak yıllık etkin doz tahminlerinin yapılması açısından bakıldığında bu çalışma bir ilk olmuştur.

Araştırma kapsamında, bina içi radon konsantrasyonlarının çalışma alanlarında geometrik ortalaması 95 Bq/m^3 olup 18±16 ile 624±3 Bq/m^3 aralığında; evlerde ise geometrik ortalaması 129 Bq/m^3 olup 22±14 ile 560±3 Bq/m^3 aralığında olduğu saptanmıştır. Gerek evlerde gerekse hastane binasında saptanan radon konsantrasyonları, literatürde yapılan benzer çalışmalar ile uyum içindedir[8,13]. Ölçülen bina içi radon konsantrasyonlarına karşılık gelen ortalama yıllık etkin dozlar UNSCEAR (2000) tarafından önerilen model kullanılarak ortalama 3,54 mSv/y olmak üzere 0,76 ile 8,79 mSv/y aralığında tahmin edilmiştir. Yıllık etkin dozlara; çalışma ortamının katkısı %41, evlerin katkısı %59 olarak görülmüştür. ICRP ve TAEK limitleri göz önüne alındığında çalışmada saptanan bina içi ortalama radon konsantrasyonlarının ve tahmin edilen yıllık etkin dozların genel olarak müsaade edilen sınırlar içinde olduğu bulunmuştur.

Bu çalışmada pasif ve uzun süreli ölçüm yöntemi kullanıldığı için, poliklinikler geceleri ve hafta sonları kapalı olmalarına rağmen dozimetreler tüm bu süreler boyunca da ortalama konsantrasyona maruz kalırlar. Ayrıca, kış aylarında 2 aylık dönem ile tek bir ölçüm yapılması yıllık etkin dozun olduğundan fazla tahmin edilmesine neden olabilmektedir. Hastane binasında ölçülen radon konsantrasyonu, yıllık ortalama radon konsantrasyonundan yüksek olabileceğinden; mesai dönemlerindeki çalışma ortamının gerçek ortalama konsantrasyonu (ve dolayısıyla maruz kalmayı) belirlemek için uzun süreli ölçümlere düzeltme yapılması gerekir[56]. Çalışmamızda hastane personelinin maruz kaldığı radon

konsantrasyonu yüksek tahmin edilmiş ve ölçüm sayıları oldukça sınırlı olsa da; hastane ortamlarında yapılmış daha ayrıntılı çalışmalar ile bizim bulgularımızı karşılaştırmak açısından aydınlatıcı olmuştur. Ancak, bu araştırmadan elde edilen veriler başlangıç niteliğinde olup, daha geniş ölçekli ve kapsamlı çalışmaların yapılması gereklidir. Nitekim literatürde hastane ortamlarında gözlenen yüksek radon konsantrasyonları da dikkate alındığında, hem halk sağlığının korunması hem de iyileştirici önlemlerin alınması açısından bu tip çalışmaların gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Hatta, evlerde ve işyerlerinde radon ölçümlerin sürekli, zorunlu ve denetimli hale getirilmesi halk sağlığı açısından faydalı olacaktır.

Bina içi radon konsantrasyonunun azaltılmasına yönelik öneriler TAEK ve WHO tarafından ortaya konulmuştur[3,15]. Bu kaynaklara göre alınabilecek iyileştirici önlemlerden bazıları şöyledir;

- Binaların topraktan sızıntıya olanak vermeyecek şekilde izole edilmesi gerekir.
- Binaların temel boşlukları ve kapalı alanlarının iyi havalanması sağlanmalıdır. Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi arttırılmalıdır.
- Radondan korunmak için evler sık sık havalandırılmalı; özellikle bodrum katlardaki taban ve duvar çatlakları kapatılmalı ve yeni yapılan binaların radona dirençli olmasına dikkat edilmelidir.
- Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- Ulusal veya bölgesel kartografik çalışmalar aracılığıyla veri eksikliği veya yetersizliği olan bölgeler sürekli izlenmelidir.

7. KAYNAKLAR

1. Karadeniz Ö, Çıyrak N, Yaprak G, Akal C. Terrestrial gamma exposure in the granodiorite area of Bergama (Pergamon) – Kozak, Turkey. J Radioanal Nucl Chem, 2011;288: 919–926.
2. International Commission On Radiological Protection (ICRP). Annals Of ICRP: ICRP 65 Protection Against ^{222}Rn at Home and at Work. Canada 1993; 1-45.
3. World Health Organization (WHO). Handbook On Indoor Radon: A Public Health Perspective. Printed in France 2009; 3-7.
4. Gülay M. Girişimsel Nöroradyoloji İncelemelerinde Hasta ve Personelin Aldığı Radyasyon Dozunun Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2004.
5. Hacıosmanoğlu T. Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) Uygulamalarında Personelin Maruz Kaldığı Radyasyon Dozlarının Belirlenmesi, Gülhane Askeri Tıp Akademisi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Nükleer Tıp Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2005.
6. Berkmen G. Bazı Floroskopik İncelemelerde Hasta ve Çalışanların Aldıkları Radyasyon Dozlarının Saptanması, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2006.
7. İspir EB. The Measurement of the Radon Concentrations in Industry and Homes in Gaziantep, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2007.
8. Karadeniz Ö, Yaprak G, Akal C, Emen İ. Indoor radon measurements in the granodiorite area of Bergama (Pergamon) – Kozak, Turkey. Radiation Protection Dosimetry, 2012;149: 147-154.
9. Karadeniz Ö, Emen İ, Çıyrak N, Yaprak G, Akal C. Kozak/Bergama Granit Alanında Doğal Radyasyon Seviyesinin Belirlenmesi (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K ve ^{222}Rn) ve Radyolojik Risk Tayini. Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 2009.KB.FEN.039.
10. Günalp G and Karadeniz Ö. Bina İçi Radona Bağlı Akciğer Kanseri Riski Üzerine Bir Olgu Kontrol Çalışması. Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 2011.KB.SAG.062.
11. Yaprak G. Indoor ^{222}Rn concentrations in the vicinity of a Turkish coal-fired power plant. J Environ Radioactiv, 1999;46: 131-135.

12. Yarar Y, Günaydı T, Celebi N. Determination of radon concentrations of the Dikili geothermal area in western Turkey. Radiat Prot Dosim, 2006;118: 78-81.
13. Yakut S. İzmir'deki Hastane Binalarında Radon Konsantrasyonları Tayinleri ve Doz Hesaplamaları, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1995.
14. http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/nukleer-enerji-ve-reaktorler/193-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/809-bolum-06-radyasyondan-korunma.html 1.1.2011.
15. http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/radyasyon-insan-ve-cevre/81-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/181-dogal-radyasyon-kaynaklari.html 1.1.2011.
16. Karahan G. İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 1997.
17. Kulalı F. Topraktaki Radon Konsantrasyonu Ölçümü ve Deprem İlişkisinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2009.
18. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation(UNSCEAR). UNSCEAR 1988 Report Volume 1: Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York 1988; 83-196.
19. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). UNSCEAR 2000 Report Volume 1:Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York 2000; 1-9.
20. Camgöz YI, Yaprak G. Küçük menderes havzası tarım topraklarında doğal radyonüklit seviyesinin belirlenmesi. Ekoloji, 2009;70: 74-80.
21. http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/radyasyon-insan-ve-cevre/65-radyasyon-ve-radyoaktivite/85-radyasyon-birimleri.html 1.1.2011
22. Özger AG. Ceyhan, yumurtalık ve pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2005.
23. Cothern C and Smith J. Environmental Radon. Environmental science research, Volume 35. New York, Plenum Press, 1987; 1-4.
24. George A. World History of Radon Research and Measurement From the Early 1900's to Today. The natural radiation environment: 8th International Symposium (NRE VIII) AIP Conference Proceedings, Volume 1034, 20-33, 7-12 October 2008, Brazil.

25. Vaupotic J, Celikovic I, Smrekar N, Zunic Z and et al. Concentrations of ^{222}Rn and ^{220}Rn in Indoor Air, Acta Chim Slov, 2008, 55; 160–165.
26. Akkurt A. Afyon jeotermal sularında radon (^{222}Rn) aktivitesi tayini, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilimdalı Yüksek Lisans Tezi,2006.
27. Ilıc R. and Durrani S. Solid State Nuclear Track Detectors, In: L'Annunziata M, editor. Handbook of Radioactivity Analysis. Second Edition. California: Academic Press; 2003. 179-229.
28. Dietze G. Radiological quantities and units, In: Kaul A and Becker D, editors. Radiological Protection. First Edition, Germany, Springer, 2005. 81-107.
29. Çelebi N. Türkiye'de radon ölçümleri. Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyum Kitabı:69-72, 6-9 Şubat 2008, Ankara.
30. Durrani SA and Ilic R (Eds). Radon measurements by etched track detectors: applications to radiation protection, Earth Sciences and the Environment. World Scientific, Singapore 1997.
31. Harley NH and Harley JH. Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exporsure.Cancer Journal for Clinician 1990;40: 265- 275.
32. Mnich Z, Karpinska M, Kapala J, Kozak K ve ark. Radon concentration in hospital buildings erected during the last 40 years in Bialystok, Poland. Journal of Environmental Radioactivity 2004;75: 225-232.
33. Marley F, Denman AR, Phillips PS. Studies of radon and radon progeny in air conditioned rooms in hospitals. Radiation Protection Dosimetry, 1998;76: 273-276.
34. Vaupotic J and Kobal I. Radon survey and exposure assessment in hospitals. Radiation Protection Dosimetry, 2006;121: 158-167.
35. Denman AR, Phillips PS, Tornberg R. The cost effectiveness of radon remediation programmes in hospitals, schools and homes in radon affected areas in the UK. The Science of Total Environment, 2001;272: 23-24.
36. Emen I. Bergama kozak granit alanında kapalı ortamlarda radon aktivite konsantrasyonunun alfa iz dedektörleri ile saptanması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Yüksek Lisans Tezi, 2009.
37. Somogyi G. Development of etched nuclear tracks. Nucl Instrum Meth, 1980;173:1-14.

38. Somogyi G. Methods for measuring radium isotopes: track detection, In: The Environmental Behaviour of Radium. IAEA Technical Report Series 310. 1990: 229-256.
39. Tommasino L. Electrochemical etching of damage tracks detectors by H.V. pulse and sinusoidal waveform. Intern. Rept. Lab. Dosimetria e Standardizzazione, CNEN Casaccia, Rome, 1970.
40. Homer J and Miles J. The effects of heat and humidity before, during and after exposure on the response of PADC (CR-39) to alpha particles. Nucl Tracks, 1986; 12(1–6): 133–136.
41. Tidjani A. Property modifications in UV irradiated polymeric track detectors. Nucl Instrum Meth,1991; B58: 43–48.
42. Khayrat AH and Durrani SA. The effect of UV exposure on the track and bulk etching rates in different CR-39 plastics. Radiat Meas, 1995;25: 163–164.
43. Tsuruta T. Effects of heat-treatment and gamma-ray irradiation on the etch-pit formation in allyl-diglycol carbonate resin. J Nucl Sci Techn, 1997;34: 1015–1021.
44. Miles JCH. Calibration and standardization of etched track detectors. In: Durrani SA, Ilic R, editors. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications to Radiation Protection, Earth Sciences and the Environment. Singapore: World Scientific; 1997: 143-154
45. Cross WG and Tommasino L. A rapid reading technique for nuclear particle damage tracks in thin foils. Radiat Effects, 1970;5: 85–89.
46. Somogyi G, Varga Z and Paripas B. Measurement of radon, radon daughters and thoron concentrations by multi-detector devices. The Nucleus,1983;20: 51-55.
47. Nikolaev VA and Ilic R. Etched track radiometers in radon measurements: a review. Radiat Meas, 1999;30: 1-13.
48. Khan HA, Qureshi IE and Tufail M. Passive dosimetry of radon and its dauhters using solid state nuclear track detectors (SSNTDs). Radiat Prot Dosim, 1993;46: 149-170.
49. Fleischer RL and Mogro-Campero A. Mapping of integrated radon emanation for detection of long-distance migration of gases within the earth: Techniques and principles. J Geophys Res,1978;83: 3539-3549.

50. Planinic J. 222Rn detection efficiency and sensitivity coefficient of the LR 115-II nuclear track detector. Health Phys, 1992;62: 356-358.
51. Köksal EM, Çelebi N, Ataksor B, Uluğ A, Taşdelen M, Kopuz G, Akar B and Karabulut MT. A survey of ^{222}Rn concentrations in dwellings of Turkey. J Radioanal Nucl Chem, 2004; 259(2): 213-216.
52. Currie LA. Limits for qualitative detection and quantitative determination. Anal Chem, 1968;40: 586-593.
53. Karadeniz Ö ve Yaprak G. Geographical and vertical distribution of radiocesium levels in coniferous forest soils in Izmir. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2008; 277: 567-577.
54. Blagoeva R and Zikovssky L. Geographic and vertical distribution of Cs-137 in soils in Canada. Journal of Environmental Radioactivity, 1995;27: 269-274.
55. Al Hamarneh I, Wreikat A, Toukan K. Radioactivity concentrations of ^{40}K, ^{134}Cs,^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, ^{238}Pu and $^{239+240}$Pu radionuclides in Jordanian soil samples. Journal of Environmental Radioactivity, 2003;67: 53-67.
56. Alkan T. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Bina İçi ^{222}Rn Aktivite Konsantrasyonunun Alfa İz Dedektörleri İle Saptanması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Lisans Bitirme Tezi, 2011.
57. Åkerblom G. Radon Legislation and National Guidelines.Swedish Radiation Protection Institute, 1999: 4-6.
58. Papaefthymiou H and Georgiou CD. Indoor radon levels in primary schools of Patras, Greece. Radiat Prot Dosim, 2007;124 (2): 172–176.
59. Clouvas A, Xanthos S, Antonopoulos-Domis M. Pilot study of indoor radon in Greek workplaces. Radiat Prot Dosim, 2007; 124 (2): 68–74.
60. Mishra R, Tripathy SP, Pachuau L, Laldawngliana C et al. Concentration of Radon and Thoron in Some Dwellings of the North-Eastern Region in India. Indoor Built Environ, 1999; 8: 322-326.
61. Prasad G, Prasad Y, Gusain GS and Ramola RC. Measurement of radon and thoron levels in soil,water and indoor atmosphere of Budhakedar in Garhwal Himalaya, India Radiat Meas, 2008;43: 375–379.
62. Misdaq MA, Amrane M and Ouguidi J. Concentrations of ^{222}Rn, ^{220}Rn and their decay products measured in outdoor air in various rural zones (Morocco) by using solid-state

nuclear track detectors and resulting radiation dose to the rural populations. Radiat Prot Dosim, 2010;138 (3): 223-236**.**

63. Bochicchio F, Ampollini M, Antignani S, Bruni B et al. Results of the first 5 years of a study on year-to-year variations of radon concentration in Italian dwellings. Radiat Meas, 2009;44: 1064–1068.
64. Manousakas M, Fouskas A, Papaefthymiou H, Koukouliou V et al. Indoor radon measurements in a Greek city located in the vicinity of lignite-fired power plants. Radiat Meas, 2010;45: 1060-1067.
65. Ocakoğlu N, Demirbağ E ve Kuşçu İ. , İzmir Körfezi ve Çevresinin Sualtı Aktif Fayları ve Depremselliği. Hacettepe ÜniversitesiYerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, 2005;27(1): 23-40.
66. Rahman C. Batı Anadolu graben sisteminde yer alan Simav grabeninde tektonik aktiviteye dayalı radon anomalilerinin incelenmesi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Bilimler Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2010.
67. Yaprak G, Kaya O, Candan O, Batmaz İ ve ark. Aktif Gediz grabeninde yer alan Alaşehir/ Manisa yöresinde tektonik aktiviteye dayalı radon anomalilerinin incelenmesi. Tübitak Projesi, 2003; 100Y059.
68. Yaprak G. Çevresel Radyoaktivite I ve II Ders Notları(yayınlanmamış), Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 1999.
69. www.hepaonline.com/radon.php 1.1.2011

8. EKLER

ÖZGEÇMİŞ
GÜN GÜNALP

TC Kimlik No / Pasaport No:	47881366610
Doğum Yılı:	1986
Yazışma Adresi :	Cumhuriyet Sitesi 663 Sokak No 43 Daire 8 35410 Gaziemir İzmir 35410 İzmir/Türkiye
Telefon :	232-2743978
e-posta :	gungunalp@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Ülke	Üniversite	Fakülte/Enstitü	Öğrenim Alanı	Derece	Mezuniyet Yılı
Türkiye	Anadolu Üniversitesi	İŞLETME FAKÜLTESİ	İŞLETME	Lisans	2010
Türkiye	Dokuz Eylül Üniversitesi	FEN-EDEBİYAT FAKÜLTESİ	FİZİK	Lisans	2009
Türkiye	Dokuz Eylül Üniversitesi	SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ	MEDİKAL FİZİK	Y.Lisans	Halen devam etmekte

UZMANLIK ALANLARI

Uzmanlık Alanları
Parçacık ve Nükleer Fiziğin Deneysel Yöntemleri , Atomik Spektrum ve Foton Etkileşmeleri

KATILDIĞI MESLEKİ KURS, EĞİTİM VE KONGRE BENZERİ FAALİYETLER

1)Fourth International Student Conference of The Balkan Physical Union 29 August -1 September 2006

2)The Workshop of Phase Transition and Renormalization Group Theory Tubitak Feza Gursey Institute Bogazici University 8-19 July 2007

3)The 1st Advanced Training Course on Illicit Trafficking and Consequence Management with NUCLEONICA in Karlsruhe Germany 22-24 April 2009

4)12.Ulusal Medikal Fizik Kongresi 22-24 Ekim 2009 Ankara

KATILDIĞI MESLEKİ KURS, EĞİTİM VE KONGRE BENZERİ FAALİYETLER

(DEVAMI)

5)6.Uluslararası Katılımlı Parçacık Hızlandırıcıları ve Dedektörleri Yaz Okulu 2-7 Eylül 2010

6)Türk Fizik Derneği 28. Uluslararası Fizik Kongresi 6-9 Eylül 2011

7)13. Ulusal Medikal Fizik Kongresi 17-19 Kasım 2011 İzmir

KARAR BİLGİLERİ	**Karar No:2012/01-16**	**Tarih: 05.01.2012**
	Yrd.Doç.Dr.Özlem KARADENİZ'in sorumlusu Yük.Lis.Öğr.Gün GÜNALP'ın yürütücüsü olduğu **"Dokuz Eylül Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi ve Nükleer Tıp Personelinin Bina İçi Radon Kaynaklı Doz Tahminleri (DEU.HSI.MSc-2009970113)"** isimli klinik araştırmaya ait başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş, etik açıdan çalışmanın gerçekleştirilmesinin uygun olduğuna oy birliği ile karar verilmiştir.	

ETİK KURUL BİLGİLERİ

ÇALIŞMA ESASI	Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu İşleyiş Yönergesi İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu

ETİK KURUL ÜYELERİ

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile İlişkili mi?		İmza
Prof.Dr.Banu ÖNVURAL (Başkan)	Tıbbi Biyokimya	DEU Tıp Fakültesi Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı	Kadın	E ☐	H ☒	
Prof.Dr..Besti ÜSTÜN (Başkan Yardımcısı)	Ph.D.Yüksek Hemşire	DEU Hemşirelik Fakültesi	Kadın	E ☐	H ☒	
Prof.Dr.Osman AÇIKGÖZ	Fizyoloji	DEU Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı	Erkek	E ☐	H ☒	
Prof.Dr.Mehtap MALKOÇ	Ph.D.Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	DEU Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksekokulu	Kadın	E ☐	H ☒	
Prof.Dr..Zuhal BAHAR	Ph.D. Yüksek Hemşire, Halk Sağlığında doktora	DEU Hemşirelik Fakültesi	Kadın	E ☐	H ☒	katılmadı
Prof.Dr.Nejat SARIOSMANOĞLU	Kalp Damar Cerrahisi	DEU Tıp Fakültesi Kalp Damar Cerrahisi Anabilim Dalı	Erkek	E ☐	H ☒	
Prof.Dr.Adnan MENDERES	Plastik Cerrahi	DEU Tıp Fakültesi Plastik Cerrahi Anabilim Dalı	Erkek	E ☐	H ☒	izinde
Prof.Dr.Ece BÖBER	Pediatrik Endokrinoloji	DEU Tıp Fakültesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı	Kadın	E ☐	H ☒	
Prof.Dr.Hüseyin BASKIN	Mikrobiyoloji	DEU Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı	Erkek	E ☐	H ☒	
Prof.Dr.Servet AKAR	İç Hastalıkları (Romatoloji)	DEU Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalı	Kadın	E ☐	H ☒	
Doç.Dr.Mukaddes GÜNELİ	Tıbbi Farmakoloji	DEU Tıp Fakültesi Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı	Kadın	E ☐	H ☒	katılmadı
Doç.Dr.Ayşe Aydan ÖZKÜTÜK	Mikrobiyoloji	DEU Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı	Kadın	E ☐	H ☒	
Doç.Dr.Işıl TEKMEN	Histoloji ve Embriyoloji	DEU Tıp Fakültesi Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı	Kadın	E ☐	H ☒	katılmadı
Prof.Dr.Meltem Kutlu GÜRSEL	Hukuk	D.E.Ü Hukuk Fakültesi İdare Hukuku Anabilim Dalı	Kadın	E ☐	H ☒	katılmadı
İhsan ÇELİKDEMİR	Sağlık mensubu olmayan üye	75. Yıl Özel İlköğretim Okulu Müdür Yrd.	Erkek	E ☐	H ☒	