



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BATMAN'DA BULUNAN İLKOKUL BİNALARINDA
RADON DÜZEYİNİN ÖLÇÜLMESİ

Kamuran ALDEMİR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fizik Anabilim Dalı

Ocak 2018
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Kamuran ALDEMİR tarafından hazırlanan “Batman’da Bulunan İlkokul Binalarında Radon Düzeyinin Ölçülmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından 11.01.2018 tarihinde aşağıda isimleri yazılı jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri :

İmza


Başkan

Prof. Dr. Uğur ÇEVİK

.....

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ

.....

Üye

Prof. Dr. Ali YILMAZ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım

.....

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Kamuran ALDEMİR

11/01/2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATMAN'DA BULUNAN İLKOKUL BİNALARINDA RADON DÜZEYİNİN ÖLÇÜLMESİ

Kamuran ALDEMİR

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ

2018, 72 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Prof. Dr. Uğur ÇEVİK

Prof. Dr. Ali YILMAZ

Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki Batman ilindeki ilkokullarda kapalı radon ve gamma dozlarının miktarları belirlenmiştir. Radon ölçümleri radon bazlı CR-39 katı hal nükleer iz detektör dozimetreleri kullanılarak gerçekleştirildi. Batman'da coğrafi olarak homojen bir dağılıma sahip olan 41 ilkokulda CR-39 dedektörleri, veri toplamak için üç ay boyunca okulların farklı katlarına yerleştirildi. Seçilmiş alanlardaki ortalama yıllık ^{222}Rn aktivitesinin 41 Bq/m^3 (yıllık etkin doz olan 0.25 mSv 'ye eşdeğer) olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte maksimum radon değeri il merkezinde 109 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Yıllık etkili dozlar, önerilen eylem seviyesinden ($3-10 \text{ mSv}$) daha düşüktür. Ölçüm sonuçları, okullardaki kat sayısı arttıkça radon düzeyinin azaldığını gösterdi. Yapay ve doğal radyoizotop seviyeleri, toplanan toprak numuneleri için gama ışını spektrometresi kullanılarak araştırıldı. Toprak örneklerindeki ortalama gama aktivite miktarı sırasıyla ^{137}Cs , ^{232}Th ^{226}Ra and ^{40}K için 12, 25, 31 ve 329 Bq/kg idi. Havadaki emilen doz oranı ve yıllık etkin doz eşdeğeri gibi radyolojik parametreler hesaplanmış ve uluslararası önerilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Beşiri ilçesi dışında, araştırılan okullara karşı herhangi bir önlem alınmasına gerek olmadığı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Batman; ilkokul; doğal radyoaktivite

ABSTRACT

MSc THESIS

MEASUREMENT OF RADON LEVELS IN THE PRIMARY SCHOOLS IN BATMAN

Kamuran ALDEMİR

Batman University Institute of Natural and Applied Sciences

Physics Department

Advisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

2018, 72 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Prof. Dr. Uğur ÇEVİK

Prof. Dr. Ali YILMAZ

In this thesis, quantities of gamma and indoor radon doses in the primary schools in Batman city, Turkey's Southeastern Anatolia Region, were determined. Radon measurement experiments were performed by using CR-39 solid-state nuclear track detector-based radon dosimeters. In 41 primary schools that have a geographically homogeneous distribution in Batman, CR-39 detectors were placed on different floors of schools for three months to obtain data. The average annual ^{222}Rn activity on selected area was found to be 41 Bq/m^3 (equivalent to an annual effective dose of 0.25 mSv). However, the maximum radon value was measured as 109 Bq/m^3 at the city center. Estimated annual doses are lower than the suggested amount of action level (3-10 mSv). The measurement results showed that the amount of radon decreased as the floor number in the schools increased. The levels of artificial and natural radioisotopes were investigated using a gamma ray spectrometer for collected soil samples. The average gamma activity quantities in the soil samples were 12, 25, 31, and 329 Bq/kg for ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K , respectively. The radiologic parameters such as the absorbed dose ratio in air and the annual effective dose equivalent were calculated and compared with the internationally suggested values. Consequently, it can be said that there is no need to take any precautions against the schools considered.

Keywords: Batman; primary schools; natural radioactivity

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında Batman ili ve ilçelerinde bulunan ilkokullarda bina içi radon düzeyinin ölçümü amaçlandı. Tez çalışması, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda “ Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen, bilgi ve birikiminden yararlandığım danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa OKUMUŞ'a desteğinden dolayı saygı ve şükranlarımı sunarım.

Desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli aileme ve kardeşim Abdurrahim ALDEMİR'e sonsuz teşekkür ederim.

Kamuran ALDEMİR

BATMAN - 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. RADYOAKTİVİTE	4
2.1. Radyoaktivite.....	4
2.1.1. Radyoaktivite nedir?.....	4
2.1.2. Radyasyon tanımı ve türleri.....	5
2.1.3. İyonlaştırıcı radyasyon	6
2.1.4. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon.....	6
2.1.5. Radyoaktif bozunma şekilleri.....	7
2.1.6. Alfa bozunması.....	7
2.1.7. Beta bozunması.....	9
2.1.8. β^- Bozunumu.....	9
2.1.9. β^+ Bozunumu	10
2.1.10. Elektron yakalama	11
2.1.11. Gama bozunması	11
2.1.12. Radyoaktif bozunma kanunu	13
2.1.13. Radyoaktif numunenin yarı ömrü ve ortalama ömrü.....	14
2.1.14. Peş peşe bozunma kanunu	17
2.2. Radyoaktif Denge	19
2.2.1. Geçici denge	19
2.2.2. Sürekli denge	20
2.3. Radyasyon Birimleri	20
2.3.1. Aktivite birimi	20
2.3.2. Işınlama birimi.....	21
2.3.3. Soğurulmuş doz birimi	21
2.3.4. Eşdeğer doz birimi.....	22
2.3.5. Yıllık etkin doz eşdeğeri.....	22

2.4. Radyasyon Kaynakları	22
2.4.1. Doğal radyoaktivite ve doğal radyasyon kaynakları	23
2.4.2. Yapay radyasyon kaynakları	25
2.5. Radon	25
2.5.1. Radonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	25
2.5.2. Radon kaynakları	26
2.5.3. Radon gazının sağlığa etkileri	30
2.5.4. Radon konsantrasyon limitleri.....	30
2.5.5. Radon risklerinin azaltılması için alınabilecek tedbirler	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1. Çalışma Alanının Tespiti	32
3.2. CR-39 Dedektörleri:	35
3.2.1. Radon dozimetrelerinin analizi.....	36
3.2.2. Deneysel sistem ve ölçüm işlemleri	38
3.3. Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizleri.....	38
3.3.1. Örneklerin alınması	38
3.3.2. Toprak örneklerin analize hazırlanması	39
3.3.3. Deneysel sistem	39
3.4. Deneysel Yöntem	40
3.4.1. Enerji kalibrasyonu	40
3.4.2. Verim kalibrasyonu	41
3.5. Spektrum Analizi	42
3.5.1. Aktivite hesabı	42
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
5.1. Sonuçlar	50
5.1. Öneriler	56
KAYNAKÇA	58
ÖZGEÇMİŞ.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

TEAK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
ICRP	: Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi
NRPB	: İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi
ICRU	: Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu
MKS	: (Metre Kilogram Saniye) Uluslararası Ölçü Birimleri
IAEA-BSS	: Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
PADC	: Polyallyl Diglycol Karbonat
DDK	: Doz Dönüşüm Katsayısı
AED	: Yıllık Etkin Doz Değeri
AEDE	: Yıllık Eşdeğer Etkin Doz Değeri
ARDA	: Havada Ortalama Absorbe Doz Hızı
SGD	: Soğurulan Gama Dozu
ÇGDDF	: Çevresel Gama Dozu Dönüşüm Faktörü
MF	: Meşguliyet Faktörü
SSNTD	: Katı Hal Nükleer İz Dedektörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Enerji spektrumu.....	6
Şekil 2.2. Radyasyon geçirgenliği.....	7
Şekil 2.3. Fotonların enerjilerine bağlı olarak farklı maddeler ile etkileşimi.....	13
Şekil 2.4. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi.....	14
Şekil 2.5. Peş peşe bozunma grafiği.....	19
Şekil 2.6. İnsanların genel olarak doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri.....	23
Şekil 2.7. Yerküre genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri.....	24
Şekil 2.8. Radonun bozunma şeması.....	27
Şekil 3.1. Batman il haritası.....	32
Şekil 3.2. Dedektörlerin yerleştirildiği okulların dağılımının uydu görüntüsü .	34
Şekil 3.3. CR-39 Pasif nükleer iz dedektörünü içeren difüzyon kabı.....	36
Şekil 3.4. CR-39 Radon dozimetresi.....	37
Şekil 3.5. Dedektör çipi ve kazıma diski.....	37
Şekil 3.6. Radosys ölçüm sistemi ve alfa izlerinin görüntüsü.....	38
Şekil 3.7. Dedektörün genel görünüşü.....	39
Şekil 3.8. Enerji kalibrasyon eğrisi.....	41
Şekil 3.9. Verim-enerji eğrisi.....	41
Şekil 5.1. Katlara göre ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerleri	51

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1. Alfa parçacığı yayımlayan bazı radyoizotoplar ve özellikleri.....	8
Çizelge 2.2. Bazı radyoaktif izotopların yarı ömürleri.....	15
Çizelge 2.3. Doğada bilinen dört radyoaktif seri.....	25
Çizelge 3.1. Okul isimleri ve katlara göre dedektör dağılımı.....	33
Çizelge 3.2. Kullanılan CR-39 dedektörlerinin yerleştirildikleri okulların dağılımı ve öğrenci sayıları.....	35
Çizelge 3.3. Standart kaynağın özellikleri.....	40
Çizelge 4.1. İl merkezinde bulunan okulların ölçüm sonuçları.....	43
Çizelge 4.2. Sason ilçesinde bulunan okullara yerleştirilen dedektörlerin okul dağılımı..	45
Çizelge 4.3. Kozluk ilçesinde bulunan okullara yerleştirilen dedektörlerin okul dağılımı.....	46
Çizelge 4.4. Gercüş ilçesinde bulunan okullara yerleştirilen dedektörlerin okul dağılımı	47
Çizelge 4.5. Hasankeyf ilçesinde bulunan okullara yerleştirilen dedektörlerin okul dağılımı.....	48
Çizelge 4.6. Beşiri ilçesinde bulunan okullara yerleştirilen dedektörlerin okul dağılımı .	49
Çizelge 5.1. Ölçümlerin ortalama sonuçları.....	50
Çizelge 5.2. İlçelere ve okullara göre yıllık etkin doz ölçümleri	52
Çizelge 5.3. Radyonüklitlerin aktivite konsantrasyon değerleri.....	54
Çizelge 5.4. Bazı ülkelerde bulunan ilkokullarda yapılan ölçüm sonuçları.....	55

1. GİRİŞ

Yeryüzünde yaşayan bütün canlılar yerin üst katmanında bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerden ve kozmik ışıklardan dolayı sürekli radyasyona maruz kalmaktadır. Doğal radyasyon olarak isimlendirilen bu radyasyon türüne teknolojinin gelişmesiyle beraber bir de yapay radyasyon eklenmiştir. İnsanların etkisinde kaldığı doğal radyasyon, gelişen teknolojik araçlardan kaynaklanan yapay radyasyonların tümünden daha fazladır. Doğal radyasyona maruz kalma düzeyini belirleyen iki ana etmen vardır. Bunlardan birincisi Dünya atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışıklar, ikincisi ise Dünya kabuğunda oluşan radyoaktif elementlerdir. İnsanların iç ve dış radyasyona maruz kalması bu kaynaklardan ileri gelmektedir (UNSCEAR, 2000). Kozmik ışıklar ile yer kabuğunda, yapı malzemelerinde ve havada doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyonlar dış ışınlamalara sebep olurken havada ve gıda maddelerinde bulunan doğal radyoaktif atomlar solunum ve sindirim yoluyla vücuda girerek iç ışınlamaya sebep olmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Dünyadaki doğal radyasyon düzeyi birçok nedene bağlı olarak değişmektedir. En önemli etkenlerin başında yer kabuğunun farklı bölgelerinde değişik radyoaktif elementlerin olması gelmektedir. Doğal radyasyonların temel düzeyleri, bölgelerin jeolojik, coğrafik, toprak ve kayaların mineral yapısı ile zemin yapısına göre değişmekte ve bölgenin temel radyasyon seviyesini etkilemektedir (Bozkurt ve ark., 2007).

Canlıların doğal kaynaklardan maruz kaldıkları radyasyon dozlarını tespit etmeye yönelik çalışmalar; Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi (ICRP), Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) gibi uluslararası ve milli kuruluşlar tarafından yapılmaktadır (UNSCEAR, 2000).

İnsanoğlu; yaşam kalitesi, yaşadığı yerlerin fiziki özellikleri ve coğrafi özelliklere bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte doğal kaynaklar nedeniyle yaklaşık 2,4 mSv yıllık doza maruz kalmaktadır. Bu dozun büyük bir kısmını (yaklaşık yıllık doz miktarı 1,3 mSv) radon gazı ile onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000). Radon, uranyum içeren toprak, kum, kaya ve bunlardan yapılan yapı malzemelerinden gelmektedir. Radon, gaz olmasından dolayı bulunduğu ortamın boşluklarından sızarak atmosfere karışmaktadır. Radon solunum ile akciğerlere girmekte ve bozunma sonucu akciğer kanseri oluşma riskini artırmaktadır

(IARC, 1988). Yapılan araştırmalar yüksek miktarda radon ve bozunma ürünlerine yani radyasyona maruz kalmış fertlerde akciğer kanserine yakalananların sayısının yüksek olduğunu ortaya koymuştur. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki senelik toplam 41.000 akciğer kanseri hastasından yaklaşık 2500'ünün, ABD Toplum Sağlığı Merkezi ise sigara kullanmayan akciğer kanseri hastalarından 5.000'inin, sigara kullananlarının ise 15.000'inin, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP, 1994) ise toplam akciğer kanseri hastalarının %10'unun hastalığının radondan kaynaklandığını iddia etmektedir. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış tüm kişilerin akciğer kanseri olacağı anlamına gelmemektedir. Radondan etkilenme ile hastalığın ortaya çıkması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir (Pershagen ve ark., 1994). Yapılan alışmalar, alınan radyasyon dozu ile kanser olma riskinin doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Bu nedenden dolayı insanların kanser olma riskinin azaltılması için maruz kaldıkları radyasyonun azaltılması ve doz miktarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla topraktaki ve havadaki doğal radyonüklitlerin dış ışınlamalara hangi oranda katkıda bulunduğunu tespit etmek için gama dozu ölçümleri dünyanın birçok yerinde olduğu gibi ülkemizde de yapılmaktadır (Pershagen ve ark., 1994).

Son yüzyılda teknolojinin çok hızlı gelişmesi, özellikle tıp alanı ve nükleer alandaki gelişmeler insanoğlunun yapay radyasyona maruz kalmasına neden olmuştur. Ancak maruz kalınan doz değeri doğal radyasyon ile karşılaştırıldığında daha az olup senelik etkin doz değeri 0,6 mSv'dir (ICRP, 1994).

İnsanların yüksek düzeyde doğal radyasyona maruz kalmalarının nedeni genel olarak zamanlarının çoğunu (ortalama %80) kapalı ortamlarda geçirmeleridir. Binaların yapıldığı topraklarda bulunan doğal uranyum miktarı ile uranyumun bozunması sonucu oluşan radonun bina içine sızması ve bina yapı malzemelerinden kaynaklanan radonun da havaya karışması, ortamdaki radon miktarını etkilemektedir. Yapılardaki radon kaynağının büyük bir kısmı yapının temelinde bulunan toprak ve kayalardır. Kapalı ortamlardaki radon konsantrasyonu belirlenmek için literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bazıları evlerde, bazıları hastane binalarında ve bazıları da bu çalışmada olduğu gibi okul binalarında yapılmıştır.

Çevik ve ark. (2013) Trabzon ilindeki okul (lise) binalarında radon konsantrasyonunu tespit etmek için yaptıkları çalışmada ortalama radon konsantrasyonunun bahar döneminde 31 ile 157 Bq/m³ arasında, göz döneminde ise 38

ile 114 Bq/m^3 arasında değiştiğini ve radon konsantrasyonunun alt katlardan üst katlara doğru azaldığını gözlemlemişlerdir.

Yalçın ve ark. (2015) Kastamonu ilindeki bazı ilk ve ortaokul binalarında radon konsantrasyonunu belirlemek için AlphaGUARD PQ2000 PRO radon dedektörünü kullanarak yaptıkları çalışmada radon konsantrasyonunun 12 ± 6 ile $59 \pm 20 \text{ Bq/m}^3$ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Poffin ve ark. (2011) Belçika'daki okullarda radon konsantrasyonunu CR-39 dedektörlerini kullanarak yaptıkları araştırmada yıllık ortalama radon konsantrasyon değerini 120 Bq/m^3 olarak bulmuşlardır.

İtalya'nın kuzey doğusunda Friuli-Venezia Giulia bölgesinde bulunan okullarda Giovanni ve ark. (2014)'nin yayınlanan çalışmasında radon yıllık ortalama konsantrasyonun 100 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir.

Tahani Mohammad Ahmad Al-Mosa (2007) Suudi Arabistan'ın Zulfy şehrindeki 5 farklı bölgedeki okul binalarında radon konsantrasyonunu belirlemek için toplam 392 CR-39 dedektörü dağıtarak yaptığı tez çalışmasında ortalama radon konsantrasyonunu $75 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$ olarak tespit etmiştir.

Zdenka Stojanovska ve ark. (2014)'nin Makedonya'nın 5 farklı şehrindeki 43 okul binasında radon konsantrasyonunu tespit etmek için yaptıkları çalışmada radon konsantrasyonunun 27 ile 242 Bq/m^3 arasında değiştiği ve ortalama değerinin ise 88 Bq/m^3 olduğu belirlenmiştir.

Vaupotic J. ve ark. (2001)'nin Slovenya'daki okul binalarında radon konsantrasyonunu belirlemek için yaptıkları çalışmada ortalama radon konsantrasyonu 170 Bq/m^3 olarak bulunmuştur.

Clouvas A, ve Ark. (2011) Yunanistan'daki 512 okul binasındaki radon ve gama doz oranlarını tespit etmek için yaptıkları çalışmada radon konsantrasyonunun 60 ile 250 Bq/m^3 arasında değiştiğini, aritmetik ortalamanın 149 Bq/m^3 ve geometrik ortalamanın 126 Bq/m^3 olduğunu belirlemişlerdir.

Magged F. (2006) Kuveyt'teki ilkokul binalarında radon konsantrasyonunu belirlemek için yaptığı çalışmada okul binalarında radondan dolayı maruz kalınacak dozun yıllık 0.40 ile 0.48 mSv arasında değiştiğini hesaplamıştır.

Curguz Z. ve ark. (2015) Sırp Cumhuriyetinin fiili başkenti Banja Luka'daki 25 ilkokuldaki binalarda radon konsantrasyonunu tespit etmek için yaptıkları çalışmada radon konsantrasyonunun aritmetik ve geometrik ortalamalarının sırayla 128 Bq/m^3 ve 99 Bq/m^3 olduğunu bulmuşlardır.

Obed R.I. ve ark. (2011) Nijerya'nın Güney batı bölgesindeki Oke-Ogun yöresindeki 2. kademe okul binalarında radon konsantrasyonunu belirlemek için 70 tane CR-39 dedektörü kullanarak yaptıkları çalışmada ortalama radon konsantrasyonunu 45 Bq/m³ olarak bulmuşlardır ve bu binalarda radon konsantrasyonunu etkileyen faktörleri tartışmışlardır.

Nafezi, G. ve ark. (2014)'nın Kosova'da bulunan 30 ilkokul ve ortaokulda yaptıkları çalışmada okul binalarında radon konsantrasyon değeri en düşük 35 Bq/m³ en yüksek 814 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. Tüm okulların aritmetik ortalaması ise 198 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır.

Radon ile radonun bozunma ürünlerinin solunum yoluyla alınması ile akciğer kanseri arasındaki neden-sonuç ilişkisi ile ilgili yapılan çalışmalar; konut, işyeri, maden, mağara ve tünel benzeri kapalı mekânlarda radon dozunun belirlenmesinin gerekli olduğunu göstermektedir. Bu sebeple, okullardaki radon düzeyinin ve riskin belirlenebilmesi açısından okulların bina içi radon seviyelerinin ölçülmesi önemlidir. Bu tezin amacı Batman ili merkez ve ilçelerinde bulunan ilkokullarda radon konsantrasyonunu belirlemek, bu okullarda eğitim gören öğrencilerin ve öğretmenlerin maruz kalacakları yıllık etkin dozları hesaplamaktır. Bu araştırma Türkiye'de oldukça yeni olan, okullarda radon ile ilgili yapılabilecek benzer çalışmalar için yol gösterici olma ve tüm Türkiye'de okullarda yapılacak çalışmalar için karşılaştırma bakımından referans olma niteliğine sahiptir (TAEK, 2002).

2. RADYOAKTİVİTE

2.1. Radyoaktivite Nedir?

Kararsız atom çekirdeklerinin dışarıdan enerji almadan kendiliğinden bölünerek; elektromanyetik radyasyonlar, alfa ve beta parçacıkları yayınlamak suretiyle başka atom çekirdeklerine dönüşmesine radyoaktivite denir. Radyoizotopların bölünme şekilleri; alfa bozunmaları, beta bozunmaları ve gama yayınımları şeklinde olur (Damla ve ark., 2011).

En basit çekirdek olan hidrojen haricindeki diğer tüm çekirdekler nükleon denilen, doğadaki temel yük birimi olan pozitif elektron yüküne sahip proton (p) ve yüksüz nötronlardan (n) oluşurlar. Nükleonlar çekirdek içerisinde Coulomb ve çekirdek kuvvetleri ile birarada bulunurlar. Coulomb kuvvetleri, hesaba katılmadığı takdirde bir

çekirdek içinde optimum kararlılığa proton ve nötron sayıları yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu zaman erişecektir. Coulomb itme kuvvetlerinin kısa menzilli nükleer kuvvetlere göre önemsiz olduğu hafif çekirdeklerde durum böyledir. Coulomb kuvvetleri atom numarasının 20'den fazla olması halinde gittikçe önem kazanır. Çekirdek içindeki bu itme kuvvetlerindeki önemli artışlar çekirdek içi kararlılık durumunu bozacak ve atom numarasının artması ile çekirdeğin kararlı kalabilmesi için bir nötron fazlalığına ihtiyaç duyulacaktır. Herhangi bir maddenin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı protonlarınkinden fazla ise, bu çeşit bir madde kararsızlık göstermektedir. Kararsız çekirdekler radyonüklit olarak adlandırılırlar ve bu fazla enerjiye sahip çekirdekler ışınlar salarak parçalanırlar (Damla, 2006).

Periyodik tabloda nötron sayılarının (N) proton sayılarına (Z) oranları (N/Z oranı) yaklaşık 1'e eşit olan elementler kararlı olacaktır. Atom numarası 20'nin üstüne yükseldikçe kararlılık için gerekli olan N/Z oranı da yavaş yavaş artar ve atom numarası 83 olduğunda 1,5 değerini alır. Bu atom numarasının üstünde periyodik tabloda kararlı çekirdek yoktur. Yani $N/Z > 1,5$ olan tüm çekirdekler kararsızdır. Kararsız bir element foton salarak veya ışınla yaparak bozunur, bu olay çekirdek kararlı hale gelene kadar devam edecektir. Her çekirdek kararsız olmadığından radyoaktivite ayırt edici bir fiziksel özelliktir (Karaer, 2011).

Atom numarası arttıkça elementlerin kararlılık bölgesinden uzaklaştığı görülmektedir ve kararlı en ağır çekirdek için bu oranın yaklaşık 1,5 olduğu düşünülürse $N/Z > 1,5$ olan tüm çekirdeklerin kararsız olmaları anlaşılacaktır (Kam ve Bozkurt, 2007).

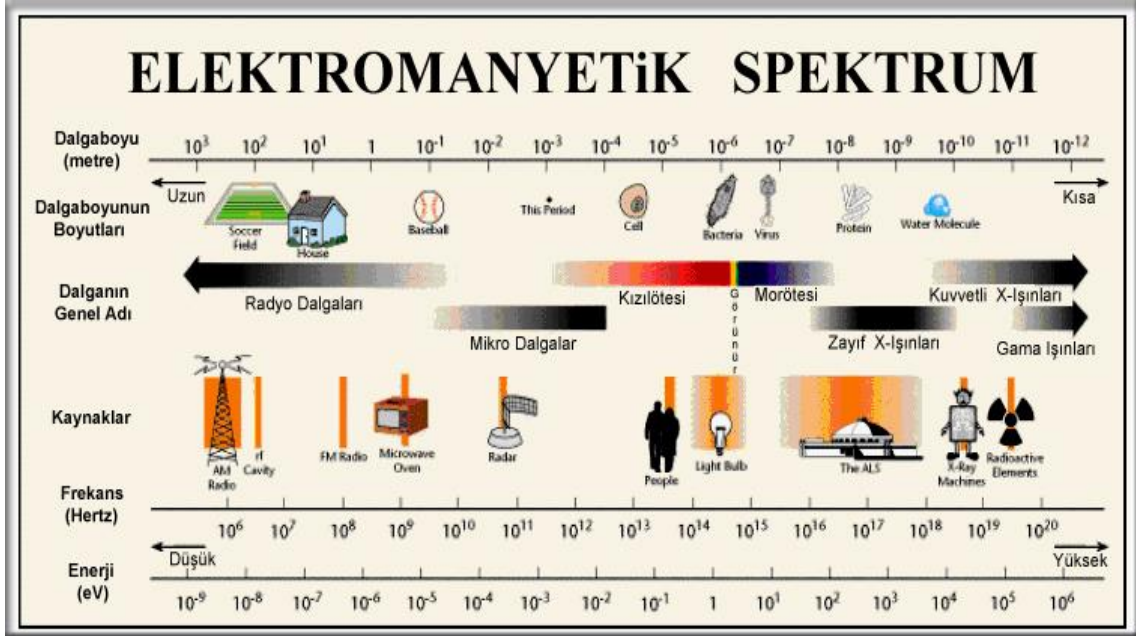
2.1.2. Radyasyon Tanımı ve Türleri

Kararsız çekirdeklerin kararlı hale geçebilmek için dışarı yaydıkları hızlı parçacıklar ile elektromanyetik dalga biçiminde taşınan fazla enerjileri radyasyon olarak isimlendirilir. Radyasyonu tanımlamada üç ana kriter kullanılır;

- Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

İnsanlar her gün elektromanyetik dalgalara maruz kalmaktadır. Buna örnek olarak; görünür ışık, radyo, televizyon dalgaları ile ultraviyole (UV) dalgaları ve mikrodalga benzeri çok geniş bir spektrumu verebiliriz. Şekil 2.1'de kozmik ışınlardan

radio ve televizyon dalgalarına kadar elektromanyetik enerji tayfı görülmektedir. Radyasyon, yaptığı etkiye göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır.



Şekil 2.1. Enerji spektrumu (TAEK, 2014)

2.1.3. İyonlaştırıcı radyasyon

Atom ile etkileşebilecek kadar yüksek enerji seviyesine sahip olan, alfa ve beta parçacığı gibi hareket eden yüklü parçacıkların meydana getirdikleri etki, iyonlaştırma olarak adlandırılmaktadır. Yüksek enerjiye sahip parçacıkların atomun yakınından geçerken oluşturdukları elektron yörüngesindeki değişimler veya elektronun yörüngesinden çıkması, iyonlaştırıcı radyasyonun etkisidir. Elektromanyetik tayfı oluşturan tüm radyasyonlarda enerji, yüksüz ve kütsüz olan fotonlarla taşınmaktadır. Eğer iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon, atomun çekirdeğinden yayımlanıyorsa gama, yörüngeden yayımlanıyorsa X-ışını olarak isimlendirilir (Daşdağ, 2010).

2.1.4. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

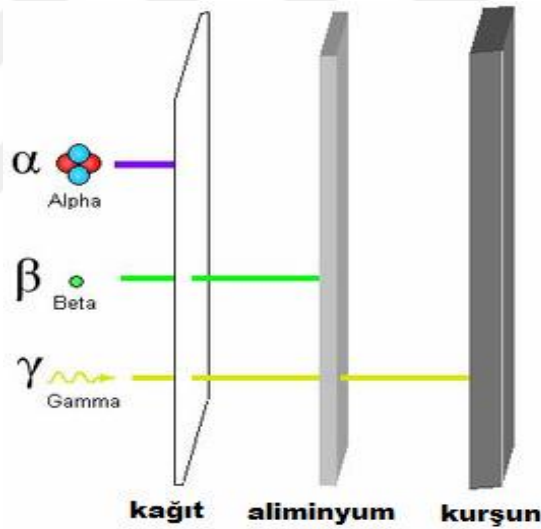
Atom ile etkileşime girebilecek kadar yüksek olmayan enerji seviyelerindeki elektromanyetik dalgaların atomların yörüngesinde neden olduğu değişim, canlı

organizmada büyük bir hasara neden olmaz. Bu tür radyasyonlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak isimlendirilir (Daşdağ, 2010). Bu çeşit radyasyona mikrodalga, görünür ışık, radyo ve televizyon dalgaları ile ultraviyole dalgalar örnek olarak gösterilebilir.

2.1.5. Radyoaktif bozunma şekilleri

Radyoaktif bozunma, kararsız bir atom çekirdeğinin daha kararlı bir duruma geçebilmek için radyasyon yayması olayıdır. Çekirdekler, alfa parçacıkları (helyum çekirdekleri), beta parçacıkları ve gamma ışınları yayınlayarak daha kararlı hale dönmeye çalışırlar. Gama ışınları genellikle beta parçacıkları ile bazen de alfa parçacıkları ile beraber yayınlanırlar (Demirel, 2013).

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi alfa (α), beta (β) ve gama (γ) radyasyonlarının bazı maddelerden geçirgenliği görülmektedir.



Şekil 2.2. Radyasyon geçirgenliği (TAEK, 2014)

2.1.6. Alfa Bozunması

Bir çekirdek alfa parçacığı (${}^4_2\text{He}_2$) yayınlarsa, iki proton ve iki nötron kaybeder alfa parçacıkları, iki proton ile iki nötrondan oluşmuş bir helyum çekirdeğidir. α -parçacığının kendiliğinden yayınlanması aşağıdaki reaksiyon denklemiyle ifade edilebilir:



Burada A çekirdeğin kütle numarasını, Z atom numarasını göstermektedir. X ana çekirdeği ve Y ise ürün çekirdeği temsil etmektedir. Q bozunma sonucu ortaya çıkan enerjiyi temsil eder α bozunmasına bir örnek,



dır.

Alfa parçacıkları, bir madde içinden geçerken sahip oldukları elektrik yükleri dolayısıyla madde içinde iyonlaşmaya sebep olurlar ve bundan dolayı enerjilerini çabuk kaybederler. Yine alfa parçacıklarının, radyoaktif bir çekirdekten $1,6 \times 10^7$ m/s gibi büyük bir hızla dışarı fırlatıldıkları için enerjileri fazla olmasına rağmen kütleleri diğer parçacıklara oranla büyük olduğundan erişim mesafeleri düşüktür. Ayrıca doğada bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjilerinin 9 MeV'in altında ve dalga boylarının küçük olması sebebiyle bunları çok küçük kalınlıktaki bir madde ile durdurmak mümkündür. Bu sebeple bir dış radyasyon tehlikesi yaratmamaktadırlar. Ancak bu parçacıkların sindirim, solunum vs. yollarıyla vücuda girmeleri halinde oluşturacakları iyonizasyon, önemli bir iç radyasyon tehlikesi yaratabilmektedir (Beir, 1999). Çizelge 1'de alfa parçacığı yayımlayan bazı radyoizotopların MeV cinsinden enerjileri ve yarı ömürleri verilmektedir.

Çizelge 2.1. Alfa parçacığı yayımlayan bazı radyoizotoplar ve özellikleri

Radyoizotop	Alfa Enerjisi (MeV) (Oluşma yüzdesi)	Yarı Ömrü
${}^{232}\text{Th}$	4,012 (%77) 3,953 (%23)	$1,4 \times 10^{10}$ yıl
${}^{238}\text{U}$	4,196 (%77) 4,149 (%23)	$4,5 \times 10^9$ yıl
${}^{226}\text{Ra}$	4,871 (%100)	1602 yıl
${}^{241}\text{Am}$	5,48 (%85,2) 5,44 (%12,8)	433 yıl
${}^{242}\text{Cm}$	6,11 (%74) 6,06 (%26)	163 gün
${}^{222}\text{Rn}$	5,49 (%100)	3,8 gün

2.1.7. Beta bozunması

Çekirdek, içinde bulunan fazla proton veya nötrondan bir nötronu protona veya bir protonu nötrona dönüştürerek kurtulabilir. Bu işlem 3 farklı şekilde meydana gelebilir. Her üç şekilde de elektrik yükünün korunabilmesi için başka bir yüklü parçacığın bulunması gerekir (Başlangıçta β parçacığı olarak isimlendirilen yüklü parçacığın bilinen elektronla aynı olduğu daha sonra gösterilmiştir). Beta parçacıkları belirli bir yük ile kütleye sahip olduklarından madde ile etkileşimleri esnasında iyonizasyona sebep olurlar. Fakat beta parçacıkları alfa parçacıklarına oranla daha hafif ve giricilikleri fazla olduğundan, oluşturdukları iyonizasyon alfa parçacıklarının oluşturduğundan daha düşüktür. Bu parçacıklar alfa parçacıklarına oranla küçük olan kütleleri ve sahip oldukları yükleri sebebiyle, durdurulmaları alfa parçacıkları kadar olmasa bile, çok yüksek enerjilere sahip değillerse madde içine çok fazla nüfuz edemezler. Giricilikleri, enerjilerine ve etkileşime girdikleri maddenin özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Madde içindeki erişim mesafeleri çok fazla olmasa bile havada oldukça uzak mesafelere kadar yayılabilirler. Beta (β) parçacıkları yayınlayan radyoizotoplar dış radyasyon tehlikesi oluşturabileceği gibi vücut içine alınması halinde ciddi iç radyasyon tehlikesi de oluşturmaktadırlar.

2.1.8. β^- Bozunumu

β^- ışınması kararsız bir çekirdekten elektron fırlatılması olayıdır. Bu işlem negatif beta bozunumu olarak bilinir ve bir elektronun yaratılıp yayınlanmasını kapsar. Atom çekirdeğinde elektron olmamasına rağmen, β^- yayınlanması işleminde elektrik yükünün korunumu kararsız çekirdekteki fazla olan bir nötronun bir protona ve elektrona dönüşmesini, yani atom numarasının bir artmasını gerektirir. β^- bozunmasında proton çekirdekte kalırken elektron dışarı bırakılır. Bu bozunmada atom numarası bir artarken, kütle numarası değişmez. β^- ışınları elektronlardan meydana gelir. Bu nedenle β^- ışınları negatif yüklü tanecikler olduğundan elektrik ve magnetik alanda sapma gösterirler. Bozunma denklemi,

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} + Q \quad (2.3)$$

$${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e(\beta^-) + \bar{\nu} + Q \quad (2.4)$$

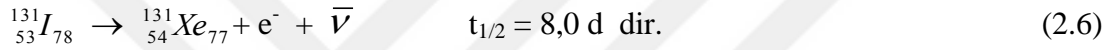
şeklinde. Bu denklem nötronun bozunarak 1 proton, 1 elektron ve 1 anti nötrino parçacığını oluşturduğunu göstermektedir. Nötrinonun elektrik yükü olmadığından varlığı mevcut diğer son parçacıkların kimliğini etkilemez (Krane, 1988).

Bozunma enerjisi,

$$Q_{\beta^-} = [M(A,Z) - M(A,Z+1)] c^2 \quad (2.5)$$

şeklinde yazılır.

β^- Bozunumuna bir örnek,



2.1.9. β^+ Bozunumu

Bu işlem pozitif beta bozunumu veya pozitron bozunumu olarak adlandırılır ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır. β^+ bozunması bir protonun bir nötrona dönüşmesi olayıdır. Çekirdekdeki proton sayısı fazla ise protonlardan biri, bir nötrona, pozitif yüklü bir elektrona ve bir nötrinoya dönüşür. Pozitron çekirdekten dışarı atılırken nötron çekirdekte kalır. Böylece çekirdeğin atom numarası bir azalır ve bozunma denklemi,

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu \quad (2.7)$$

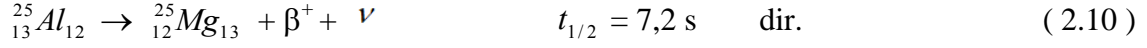
$${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z-1}^A Y + {}_1^0 e(\beta^+) + \nu + Q \quad (2.8)$$

şekline dönüşür. Bozunma enerjisi,

$$Q_{\beta^+} = [M(A,Z) - M(A,Z-1)] c^2 = 2 m_e c^2 \quad (2.9)$$

dir.

Bu bozunmanın olabilmesi için $Q > 0$ olması gerekir. Bu şart ancak ana çekirdek ile ürün çekirdeğin durgun kütle farklarının iki elektronun durgun kütesinden büyük olduğu durumlarda sağlanır. β^+ bozunumuna bir örnek;



2.1.10. Elektron Yakalama

Protonu nötronundan çok olan çekirdeklere [$n/p < 1$] çekirdeğe en yakın olan orbitalinden (1s) bir elektron çekirdek tarafından yakalanır ve bir proton bir nötrona dönüşür. Pozitron yayınlamanın alternatifi olarak da adlandırılır. Atom numarası 1 azalırken kütle numarası değişmez. Bu olayda elementin izobarı oluşur.

Bozunma denklemi,



şeklindedir. Bu durumda bozunma enerjisi,

$$Q = [M(A,Z) - M(A,Z-1)] c^2 \quad (2.13)$$

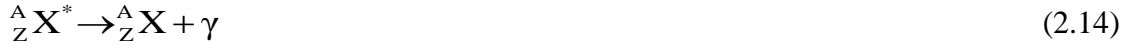
şeklindedir.

Burada $M(A, Z-1)$, oluşan çekirdeğin kütesidir. Elektron yakalama olayında da $Q > 0$ olması gerekir.

2.1.11. Gama Bozunması

Radyoaktif gama yayınlaması optik veya x-ışını geçişleri gibi atomik radyasyon yayınlamasına benzer. Bir çekirdekte α veya β parçacığı gibi bir parçacık yayınlaması genellikle çekirdeği uyarılmış durumda bırakır. Uyarılmış durum daha düşük bir uyarılmış duruma veya taban duruma nükleer durumlar arasındaki farka eşit bir enerji ile bir gama ışını yayınlayarak geçer (yayınlanan çekirdeğin geri tepme

enerjisi kadar eksik) (Krane,2001). Gama ışını yayınlanmasından sonra atom, başka bir atoma dönüşmez. Bozunmanın denklemi,



şeklindedir.

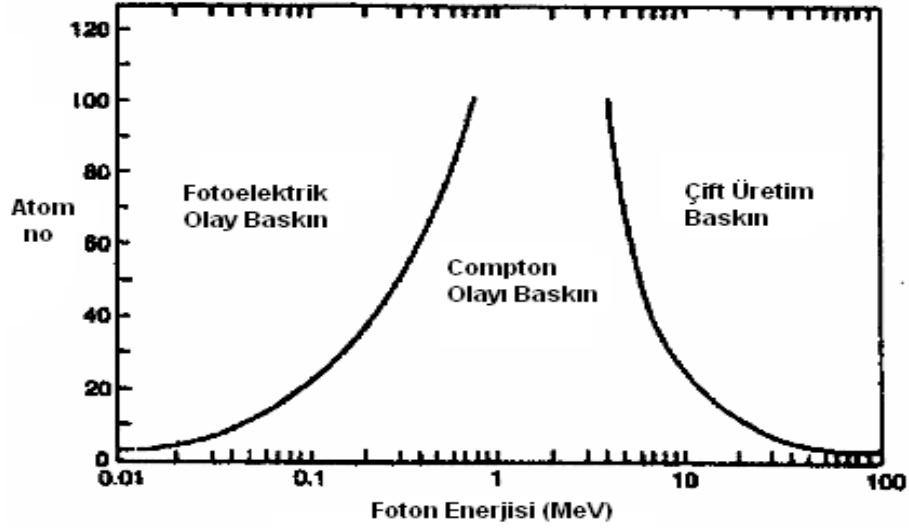
Kısa dalga boylu elektromanyetik radyasyon olarak bilinen gama ışınları, elektriksel yükleri olmadığından yüklü parçacıklarda olduğu gibi Coulomb kuvvetinden etkilenmezler. Bu durum madde içerisindeki atomları iyonlaştırmadığı anlamına gelmemektedir. Gama ışınları doğrudan doğruya iyonlaştırıcı değildirler fakat elektromanyetik kuvvet taşımaktadırlar ve maddeyle iyonlaşma ve ortama enerji depolamayla etkileşim yaparlar. Kısacası gama ışınlarının madde içerisindeki davranışları, yüklü parçacıklarınkinden oldukça farklılık gösterir. Özellikle atomun elektronları ile etkileştiklerinde enerjilerinin büyük bir kısmını hatta tamamını kaybedebilirler. Gama ışınlarının yüklü parçacıklarınki gibi menzilleri yoktur. Alfa ve beta ışınlarından daha fazla giricidirler. Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapmazlar.

Gama ışınları maddeden geçerken genellikle aşağıdaki etkileşimleri yaparlar;

- Fotoelektrik olayı
- Compton saçılması
- Çift oluşum

Bu etkileşimler gama ışınlarının iki önemli özelliklerini açıklamaktadır. Birincisi gama ışınları madde içinde yüklü parçacıklarla karşılaştırıldığında daha uzun mesafelere etki edebilirler; ikincisi ise gama ışınları belirli bir kalınlıktaki malzemeyi geçince enerjilerinde bir azalma meydana gelmez, yalnızca şiddetlerinde bir azalma olur. Özetle, fotoelektrik olay, compton saçılması ve çift oluşumu gama ışınlarının madde ile etkileşmesine katkıda bulunurlar.

γ -yayınlanmasının yarı-ömrü çok kısadır, genellikle 10^{-9} s'den daha küçüktür. Ancak saat ve hatta gün mertebesinde yarı ömürlü γ -yayınlanması da vardır. Bu geçişler izomerik geçişler olarak bilinir.



Şekil 2.3. Fotonların enerjilerine bağlı olarak çeşitli maddelerle etkileşimi (Krane, 2001).

Şekil 2.3'te fotonların enerjilerine bağlı olarak çeşitli maddelerle etkileşimi gösterilmektedir. Fotonun enerjisi 0,01-0,1 MeV arasında ise etkileşim fotoelektrik olayı oluşumu baskın olur. Fotonun enerjisi 0,1-10 MeV arasında ise Compton olayı oluşumu baskın olur. Fotonun enerjisi 10 MeV'ten büyük ise çift oluşumu baskın olur.

2.1.12. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Bir atomun çekirdeğinin bir alfa parçacığı, bir beta parçacığı, bir gama ışını veya başka herhangi bir parçacık yayınlanması ya da çekirdek kabuğundan bir elektron yakalaması işlemine radyoaktif bozunma adı verilir.

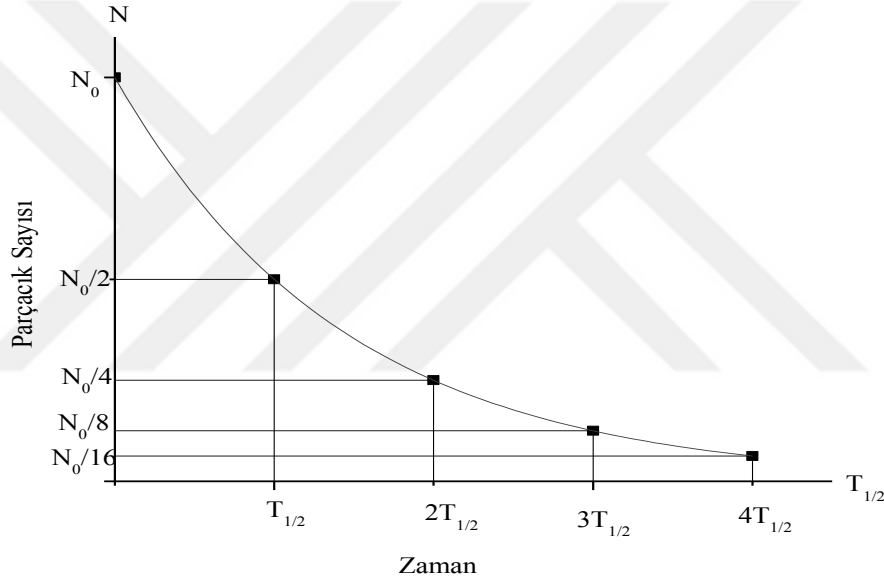
Fiziksel açıdan bir radyoaktif numune içindeki bir çekirdeğin ne zaman bozunacağını bilmesi mümkün değildir. Radyoaktif bozunma, zamana göre geliş güzel gerçekleşir; ancak istatistik ve olasılık kuramları kapsamında bazı özellikleri bulunabilir. Önemli bir yaklaşım çekirdekler ile tek tek ilgilenmek değil, zamana göre daima sabit kalan bir nicelik olan bir kavramı, radyoaktif bir çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığını incelemektir. Bu olasılık radyoaktif bozunma sabiti olarak isimlendirilmekte ve genellikle λ ile gösterilmektedir. Radyoaktif bozunma yasasına göre bir radyoaktif çekirdeğin yaşı ne olursa olsun bozunma olasılığı λ sabittir. Bir radyoaktif çekirdekte birim zaman da oluşan bozunma sayısı çekirdeğin bozunma hızı veya aktivitesi olarak tanımlanır. Eğer bir t (zaman) anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni çekirdekler eklenmiyorsa dt süresince bozulan dN çekirdek sayısı N ile orantılıdır.

$$\lambda = - \frac{(dN / dt)}{N} \quad (2.15)$$

Denklem (2.15)'in sağ tarafı bir çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığıdır. Yani bu olasılık, çekirdeğin yaşı ne olursa olsun sabit olup radyoaktif bozunmanın istatistiksel teorisinin temel olasılığıdır. Denklem (2.15)'in integrali alınırsa,

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad \int \frac{dN(t)}{N(t)} = -\int \lambda dt \quad (2.16)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.17)$$



Şekil 2.4. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi

üstel radyoaktif bozunma kanunu elde edilir. Burada, N_0 , $t = 0$ 'da henüz bozunmamış, $N(t)$ ise t süresi içinde bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısıdır (Krane, 2001). Şekil 2. 4'te radyoaktif bir numunenin miktarının zamanla değişimi gösterilmektedir.

2.1.13. Radyoaktif Parçacığın Yarı Ömrü ve Ortalama Ömrü

Radyoaktif bozunma kanununu ifade eden denklem (2.17) herhangi bir t zamanında bozunmadan kalabilen çekirdek adedini vermektedir. Radyoaktif izotopların yarı ömürleri çok farklıdır. Çizelge 2.2'de bazı radyoaktif çekirdeklerin yarı ömürleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı radyoaktif izotopların yarı ömürleri

İzotop	Yarı Ömür
Uranyum-238	4,51 milyar yıl
Radyum-226	1622 yıl
Aktinyum-227	21,6 yıl
Berkelyum-249	314 gün
Polonyum-210	138 gün
Radon-222	3,8 gün
Fermiyum-251	7 saat

Radyoaktivitenin istatistiksel karakterinden dolayı radyoaktif bir çekirdeğin ömrü, sıfır ile sonsuz arasında herhangi rastgele bir değer olabilir. Buna göre bir çekirdeğin ne kadar var olacağı bilinmez ama ortalama ömründen söz edilebilir.

Teorik açıdan incelendiğinde numunedeki tüm çekirdeklerin bozunması için sonsuz bir vaktin geçmesi gerekir. Yani $t \rightarrow \infty$ için $N(t) = 0$ olur. Bu durumda radyoaktif numunenin ayırt edici bir karakteri olan yarı ömür kavramı ortaya çıkar. Yarı ömür, radyoaktif bir çekirdeğin başlangıçtaki miktarının yarıya inmesi için geçen zaman olarak tanımlanmaktadır. $t_{1/2}$ ile gösterilen yarı ömrü bulmak için denklem (2.17)'de $N = N_0/2$ olarak alınır;

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \longrightarrow e^{-\lambda t} = \frac{1}{2} \quad t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.18)$$

elde edilir.

τ ortalama ömürde bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır. t süresince bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısı $N(t)$ 'dir ve t ile $t + dt$ aralığında bozunanların miktarı $|dN/dt|dt$ 'dir. Bu durumda ortalama ömür,

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t |dN/dt| dt}{\int_0^{\infty} |dN/dt| dt} \quad (2.19)$$

dir. Paydadaki denklem toplam bozunma sayısıdır. İntegral alınırsa,

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.20)$$

bulunur. Ortalama ömür basit olarak bozunma sabitinin tersidir. Denklem (2.20) ile ancak t süre sonra bozunmamış belirli bir türdeki çekirdeklerin sayısı kestirilebilir. Bir numunedeki bozunmaya uğramamış çekirdeklerin miktarını ölçmek yerine t_1 ve t_2 arasındaki bozunumların sayısını ölçmek (yayınlanan radyasyonları gözleyerek) daha kolaydır. Eğer t ve t + Δt arasındaki çekirdeklerin miktarındaki değişiklik ΔN ile gösterilirse,

$$|\Delta N| = N(t) - N(t + \Delta t) = N_0 e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (2.21)$$

dir. Sayım işleminin yapıldığı Δt Aralığı $t_{1/2}$ 'den çok daha küçük ise (yani $\Delta t \ll t_{1/2}$) ikinci üstel ifadenin açılımındaki yüksek dereceli terimleri ihmal edebiliriz ve

$$|\Delta N| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t \quad (2.22)$$

sonsuz küçük limitinde,

$$\left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.23)$$

elde ederiz. Aktiflik A, numunede birim zamanda bozunma sayısı, bozunma hızı olarak tanımlanır.

$$A(t) \equiv \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.24)$$

t = 0 anındaki başlangıç aktifliği $A_0 = \lambda N_0$ 'dır (Krane, 1988).

Radyoaktif bir numunenin aktifliği numunede birim zamandaki bozunma sayısıdır ve birimi bozunma/saniyedir. Aktiflik yalnızca saniyedeki parçalanma sayısını

vermekte, yayınlanan radyasyonun cinsi ve enerjileriyle ilgili herhangi bir bilgi vermemektedir.

Denklem (2.24) aktifliğin zamanla üstel olarak azaldığını göstermektedir. Böylece Δt kısa zaman aralıkları içindeki bozunmaları art arda sayarak aktifliği zamanın fonksiyonu olarak ölçebiliriz. Bu verileri yarı logaritmik olarak çizersek (yani t 'ye göre $\ln A$) eğimi $-\lambda$ olan düz bir doğru elde ederiz. Bu şekilde yararlanarak bir radyoaktif bozunmanın yarı ömrünü tespit edebiliriz.

Bu ölçme yöntemi, çok kısa ve çok uzun yarı ömürler için yararlı değildir. Yarı-ömür, numunenin bozunması fark edilebilecek kadar kısa olmalıdır. İnsan ömründen büyük yarı ömürler için aktiflikte kayda değer herhangi bir azalma gözlenmez. Böyle durumlar için dN/dt 'nin ölçülmesi (bu bozunmanın aktifliğidir) ve atom sayısının tespit edilmesiyle (kimyasal yapısı kesin olarak bilinen numunenin tartılmasıyla) denklem (2.17) doğrudan doğruya kullanılabilir.

2.1.14. Peş Peşe Bozunma Kanunu

Hem doğada bulunan radyoaktif çekirdeklerde hem de yapay olarak elde edilen radyoaktif çekirdeklerde bozunma peşpeşe parçalanmalar şeklinde oluşabilir. Temel radyoaktif çekirdek başka bir ürüne bozunur ve eğer bu ürün de radyoaktif ise o da başka çekirdeğe bozunur. Birçok durumlarda bu peş peşe bozunma, temel çekirdeğin ürüne ve ürünün de kararlı bir radyoaktif çekirdeğe bozunmasıyla sınırlıdır. Verilen herhangi bir zamanda bozunma ürününün sayısı şu şekilde hesaplanabilir.

Herhangi bir t anında, λ_1 katsayısı ile ürüne bozunacak olan ana çekirdeğin sayısı N_1 olsun. Ürün çekirdeğin sayısını N_2 ile gösterelim. Bunlarda λ_2 bozunma katsayısı ile bir çekirdeğe bozunacaklardır. Bu kararlı çekirdeklerin sayısı ise N_3 olsun. Bunlara ek olarak $t = 0$ iken $N_1 = N_{10}$, $N_2 = N_{20}$ ile $N_3 = N_{30}$ olduğunu varsayalım. Aktifliğin saniyedeki bozunma sayısı şeklindeki tarifinden şu eşitlikleri yazabiliriz.

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (2.25)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (2.26)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (2.27)$$

Denklem (2.25), N_1 'in bozunma hızını verir. Denklem (2.26), N_2 tipindeki çekirdeklerin $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildikleri ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla ortadan kaybolduklarını göstermektedir. (2.27) bağıntısıyla N_3 çekirdeklerinin oluşum hızı elde edilir. (2.25) denkleminin $t = 0$ 'da $N_1 = N_{10}$ şartıyla integrali alınacak olursa,

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.28)$$

elde edilir. Bu değer (2.26) bağıntısında yerine konursa,

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (2.29)$$

veya

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.30)$$

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

$$\frac{d}{dt} (N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (2.31)$$

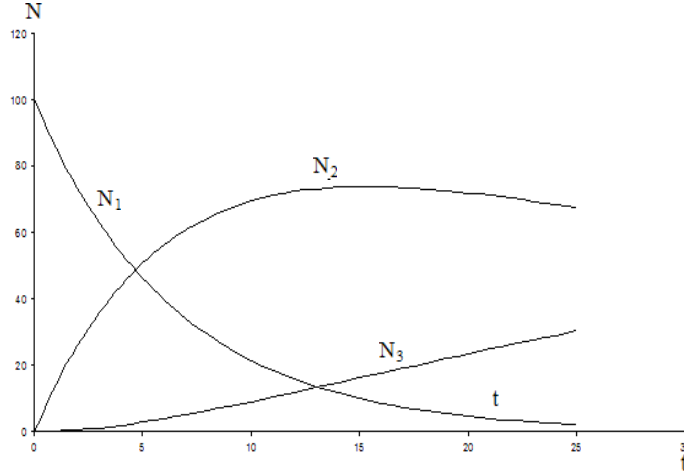
bulunur. Gerekli işlemler yapılırsa,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.32)$$

bulunur. Benzer şekilde (2.27) bağıntısı da çözümlerse,

$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (2.33)$$

elde edilir. (2.28), (2.32), (2.33) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan çekirdeklerin sayısı bulunabilir. $t=0$ iken $N_{10} = 100$ ve $N_{20} = N_{30} = 0$ şartları altında oluşan bir bozunmada oluşan N_1, N_2 ve N_3 'ün t'ye göre değişimi Şekil 2.5'te verilmektedir (Arya, 1999).



Şekil 2.5. Peş peşe bozunum grafiği

2.2. Radyoaktif Denge

2.2.1. Geçici Denge

Bir temel çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle ilk ürüne bozunduğunu ve bunun da λ_2 bozunma sabitiyle bozunduğunu kabul edelim.

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.34)$$

ifadesinde $\lambda_2 < \lambda_1$ olduğunda yeterli derecede uzun bir zaman sonunda $e^{-\lambda_1 t}$ terimi $e^{-\lambda_2 t}$ 'ye göre ihmal edilebilir olacağından,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \quad (2.35)$$

denklemini elde edilir. Bu durum belli bir zamandan sonra ilk ürün çekirdeğin kendisi için belirlenmiş olan λ_2 bozunma sabitiyle bozunacağı manasına gelir.

2.2.2. Sürekli Denge

Eşitlik (2.35)'de $\lambda_1 \ll \lambda_2$ durumunu ele alalım. $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ yazabiliriz. Böylece bu ifade,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.36)$$

şeklinde elde edilir. Elde edilen çekirdeğin miktarı, zamanın artmasıyla $e^{-\lambda_2 t}$ terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşacak ve denge durumunda,

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (2.37)$$

elde edilecektir. λ_1 çok küçük olduğundan $\lambda_1 N_{10} \approx 0$ olacaktır. Buradan temel çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu anlaşılmış olur.

2.3. Radyasyon Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonun tüm etkileri radyasyonun geçtiği ortamlarda meydana getirdikleri iyonlaşmaya bağlıdır. İyonlaştırıcı radyasyon miktarının hesaplanması için her şeyden önce radyasyonun soğrulmalarını ölçebilecek birimlerin bulunması gerekmektedir. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu'nun (ICRU) 1925 senesinden bu yana yaptığı çalışmalar neticesinde soğrulan doz için birim olarak "Rad", ışınlama birimi için "Röntgen", aktivite birimi için "Curie" ve doz eşdeğeri birimi için "Rem"i özel radyasyon birimleri olarak kabul etmiştir. MKS (metre, kilogram, saniye) sistemini esas alan uluslararası birimler sisteminin kabul edilmesi ile beraber (ICRU) 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır.

2.3.1. Aktivite Birimi

Aktivite birimi radyasyon etkinliğini (aktivitesini) belirten birimdir. Radyoaktif maddenin bir saniyede gerçekleştirdiği bozunma sayısına aktivite denir. Yapay olarak

elde edilen radyoizotopların elde edilemediği yıllarda çok uzun yarı ömürlü bir radyoaktif madde olan radyum standart alınıp radyoaktif madde miktarı birimi olarak “Curie” tanımlanmıştır. Bu tanımlama ile önce 1 gram radyumun parçalanma hızı, daha sonra 1 gram radyumla dengede olan radon miktarı ve 1930’larda da 1 gr radyumla dengede olan radon gazı miktarlarında bir saniyedeki bozunma sayısı olarak değiştirilmiştir. Ancak o vakte kadar radyumun atom kütesinin ve bozunma sabitinin çok hassas tayinleri yapılamamış olduğundan daha sonra bu tanımlamanın radyumdan bağımsız yapılması düşüncesi oluşmuştur. Bu sebeple Uluslararası Standartlar ve Radyoaktivite Birimleri komisyonu, tarifi genişleterek bütün radyonüklidler için Curie’yi bir saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarının aktivitesi olarak tanımlamıştır.

SI birim sisteminde aktivite birimi Becquerel (Bq) olup, 1 Bq, saniyede bir parçalanma gösteren bir maddenin aktivitesi olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla Ci ve Bq arasında dönüşüm

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

$$1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci} \text{ şeklinde kabul edilmiştir.}$$

2.3.2. Işınlama Birimi

Işınlama X ve gama ışınlarının havayı iyonlaştırma kabiliyetinin bir ölçütüdür. Röntgen (R), normal hava koşullarında havanın 1 kilogramında $2,58 \times 10^{-4}$ C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır.

Uluslararası birim sisteminde ışınlama birimi olarak röntgen eşdeğeri karşılığının coulomb/kilogram normal hava şartlarında (0 °C ve 760 mmHg basıncı) havanın 1 kg’ında 1 coulombluk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar oluşturan X ve γ (gama) radyasyon miktarıdır. Bu durum,

$$1 \text{ C / kg} = 3,876 \times 10^3 \text{ R}$$

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Coulomb/kilogram biçiminde ifade edilir.}$$

2.3.3. Soğurulmuş Doz Birimi

Soğurulmuş doz birim, kütle başına depolanan enerjinin ölçüsüdür. Soğurulan doz her ortam ve her çeşit iyonlaştırıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Radyoaktif bir

madde tarafından salınan radyasyon, etkileştiği maddelere enerjisini bırakmaktadır. 1 kilogramlık maddeye 1 joule'lük enerji bırakan radyasyona 1 Gray adı verilmiştir.

2.3.4. Eşdeğer Doz Birimi

Vücutta toplanan enerjinin ifadesidir. Düşük doz düzeylerinde radyasyonun tipine ve enerjisine göre biyolojik hasarlarını da içeren bir kavramdır. Işınım sonucu fırlatılan enerji paketleri ve parçacıklar canlı hücrelere çarptığında, enerjisini bu hücrelere bırakmaktadır. Fakat farklı ışınım parçacıkları aynı miktarda enerji bıraksalar dahi canlı hücrelere olan biyolojik etkileri farklı olmaktadır. Ağır parçacıklar hücrelere daha fazla zarar verirken hafif parçacıklar daha az zarar vermektedir. Dolayısıyla doz eşdeğerini göstermek için kullanılan sievert (Sv) ışınım türünü de hesaba katarak ışınımın biyolojik etkisini belirtmektedir. Sievert (Sv) doğada günlük hayatta karşılaştığımız radyasyon seviyeleri karşısında çok büyük kalmaktadır. Doğada günlük hayatta maruz kaldığımız radyasyon miktarı sievertin binde biri mertebelerinde bulunmaktadır. Bu nedenle milisievert (mSv) kullanımı daha yaygındır.

2.3.5. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

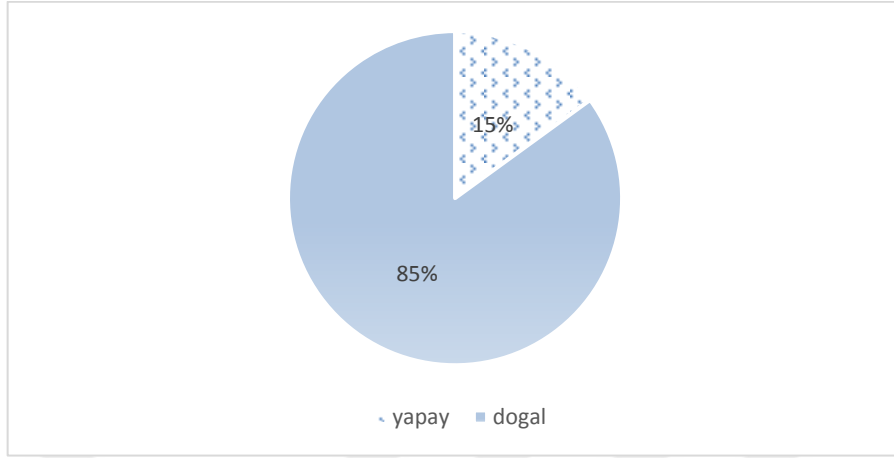
Bu değer, insanın değişik radyasyon kaynaklarından yayılan ışınlara dışarıdan maruz kaldığı veya yediği gıdalar ile soluduğu havada bulunan farklı radyonüklitlerden yayınlanan ışınlara içeriden maruz kalmak suretiyle bir sene içerisinde alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır ve birimi Sievert'tir.

Her radyonüklidin yaydığı radyasyon tipi ve enerjisi kullanılarak her radyonüklit için birim aktivite başına yayınladığı radyasyonun doz dönüşüm faktörleri belirlenir ve birim hacim veya ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörleri çarpılarak senelik etkin doz eşdeğeri bulunur.

2.4. Radyasyon Kaynakları

Çevresel doğal ortam insanın maruz kaldığı en büyük radyasyon kaynaklarını içermektedir. Dünyadaki tüm canlılar ile cansızlar havada, suda, toprakta, hatta kendi bedenlerindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlarla birlikte insanlar tarafından

üretilen yapay radyasyon kaynaklarının sürekli ışınımına maruz kalmaktadırlar. Şekil 2.6'da dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranlarını göstermektedir.



Şekil 2.6. İnsanların genel olarak doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (UNSCEAR, 2000).

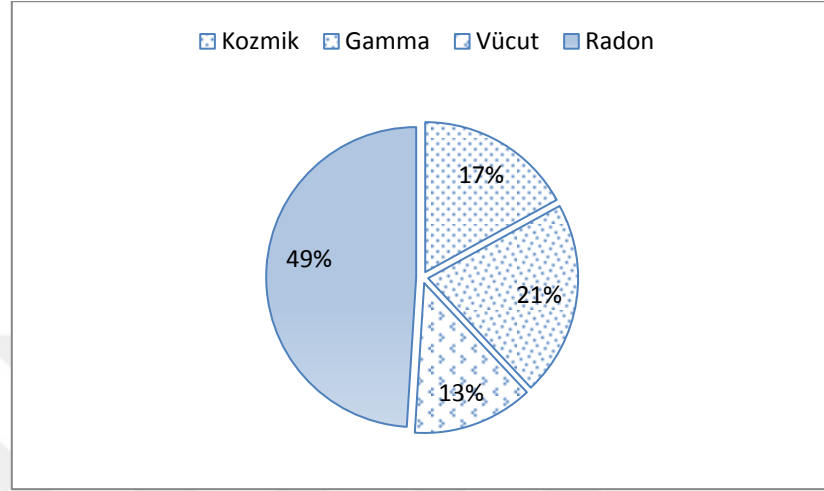
2.4.1. Doğal Radyoaktivite ve Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyoaktivite çevremizde, toprakta, havada, suda ve bitkilerde yaygın miktarda bulunmaktadır. İnsanlar ile öbür canlılar, milyonlarca yıldan bu yana evrenden gelen kozmik ışınlar ve dünyada bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyona maruz kalmaktadır.

Doğal radyoaktiviteden, atomun çekirdek yapısının açıklanması, yerküre yaşının tahmini ve okyanusların altında bulunan sediment oluşum oranlarının ölçülmesi gibi farklı alanlarda faydalanılır. Çevresel örneklerde doğal radyoaktivite düzeylerini tespit etme çalışmaları, nükleer enerjinin insanlığın hizmetine girmesi ve nükleer santrallerde elde edilen radyoaktif maddelerin doğaya verdikleri zararların araştırılmaya başlanması ile hız kazanmıştır. Doğal radyoaktivite düzeylerinin tespit edilmesi, nükleer santrallerin kurulduğu yerlerin yakınında ikamet eden insanların çevresel doğal radyasyonun yanı sıra nükleer santrallerin sebep olduğu radyasyona da hangi oranlarda maruz kaldıklarının tespiti açısından önem arz etmektedir.

Havada, suda, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler insan vücuduna solunum ve sindirim yollarıyla alınmakta ve bu maddeler zamanla farklı organlarda birikmektedir. Kozmik ışınlardan ve dünyada bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz düşünülürse, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon yayınlamasına doğal olarak maruz kalmaktadır.

Şekil 2.7’de doğal radyasyon düzeyini belirleyen etkenler görülmektedir. ^{238}U elementinin bozunma ürünü olan radon (^{222}Rn) gazı olup %49’luk bir oranla en büyük etkiye sahiptir. Kozmik ışınlar %17 ve gama ışınları ise %21’lik oranla önemli yer tutmaktadır.



Şekil 2.7. Yerküre genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (UNSCEAR, 2000).

Uzun ömürlü doğal radyoaktif elementlerin çoğu çok ağır elementlerden oluşmuştur ve hiç kararlı izotopları yoktur. Bu tip radyoaktif çekirdekler α , β ve gama ışınları yayınlarken sonuçta kararlı bir çekirdeğe ulaşırlar. Bozunma süreci, çekirdeğin zincirin en uzun ömürlü üyesine götürme eğilimindedir ve eğer bu çekirdeğin ömrü en azından Yerkürenin yaşı mertebesindeyse bu aktiflik bugün de gözlenebilmektedir. Genellikle ağır çekirdekleri olan doğal radyoizotoplar şu radyoaktif serilere üyedir: toryum, uranyum, aktinyum ve neptünyum. Tarihsel bir sıralama söz konusu olduğunda en son bulunan seri neptünyum serisidir. Bu serinin diğer serilere nazaran yarılanma ömrü ($2 \cdot 10^6$ yıl) daha kısa olup üyeleri tabiatta doğal olarak bulunamazlar ve nükleer reaksiyonlar neticesinde yapay olarak üretilebilirler (Krane, 2001). n bir tamsayı olmak üzere bu doğal radyoaktif seriler sırayla $4n$, $4n+2$, $4n+3$ ve $4n+1$ ile temsil edilirler. Bozunma zinciri sonucunda yukarıdaki kararsız çekirdeklerden uranyum, toryum ve aktinyum sırasıyla kurşunun kararlı olan $^{206}_{82}\text{Pb}$, $^{208}_{82}\text{Pb}$, ve $^{207}_{82}\text{Pb}$ çekirdeklerine ulaşırken neptünyum kararlı en ağır çekirdek olan $^{209}_{83}\text{Bi}$ dönüşür. Sırasıyla uranyum (^{238}U), aktinyum (^{235}U), toryum (^{232}Th) ve neptünyum (^{237}Np) serisine ait yarı ömürler,

bozunma çeşitleri ve maksimum bozunma enerjileri, Çizelge 2.3'te dört seriye ait bazı temel özellikler verilmektedir.

Çizelge 2.3. Doğada bilinen dört radyoaktif seri gösterilmiştir.

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek	Ana Çekirdek	Yarı Ömür (yıl)
Toryum	4n	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,41 \times 10^{10}$
Neptünyum	4n+1	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	4n+2	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	4n+3	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,04 \times 10^8$

2.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Gelişmesini tamamlamış endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının devam ettirilebilmesi için doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynaklarının suni yollarla üretilmesi ve kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Bu kaynaklar, birçok işin yapılma zamanını kısaltmış, maliyetini de azaltmıştır. Suni radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi canlıların bu radyasyon kaynaklarından belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalmasına sebep olurlar. Ancak bu doz miktarı ihtiyaca binaen artsa da doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha azdır. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tümüyle kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı bakımından önemli bir özelliktir (Akkurt, 2006).

2.5. Radon

Doğal radyasyonun en önemli kaynağı, radon elementi ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon, diğer kimyasal maddelerle kolayca birleşemeyen gaz halindeki bir elementtir. Radonun bilinen 28 izotopu mevcuttur ancak bunlardan üçü doğal olarak bulunur, diğer 25'i nükleer reaktörlerle yapay olarak elde edilir.

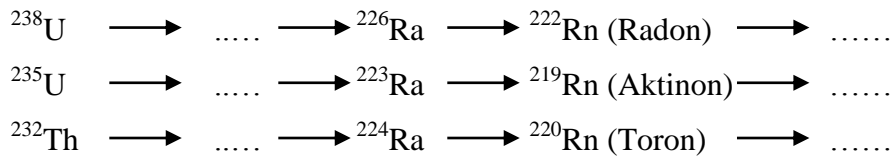
2.5.1. Radonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Radon, doğal bir radyoaktif gazdır ve kimyasal olarak durağan bir gaz olduğu düşünülmektedir. Uranyum-238 serisinin doğal bozulmasıyla oluşur ve atom numarası

86, kütle numarası 222'dir. Radon, Alman fizikçi Friedrich Ernst Dorn tarafından 1900 yılında keşfedilmiştir ve kendisi radonu niton olarak adlandırmıştır. 1923'ten beri radon olarak adlandırılmaktadır. Radon gazı kokusuz, tatsız ve renksiz radyoaktif bir maddedir. Argon, neon, helyum gibi soygazlar grubuna dâhil olup bu grubun en ağır elementidir. Radon, litrede 9,72 gramlık yoğunluğa sahiptir. Radon kaynama noktasında berrak, renksiz bir sıvıya dönüşür ve donduğunda ise önce sarı sonra turuncu ve kırmızı olarak katılaştır. Ayrıca suda kolayca çözülebilir ve böylece radon ihtiva eden kaya ve kumdan akan su tarafından absorbe edilebilir. Onun çözülebilirliği suyun sıcaklığına bağlıdır. Suyun derecesi ne kadar düşüğe radonun çözülebilirliği o kadar fazla olur.

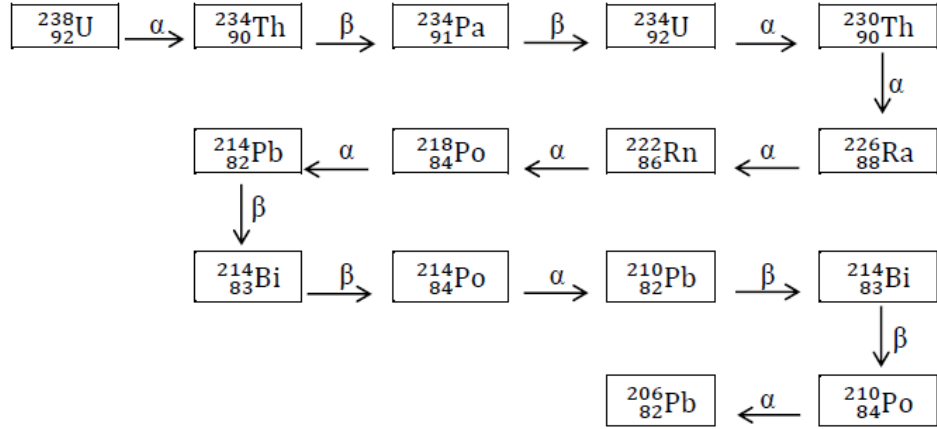
2.5.2. Radon Kaynakları

Toryum ve uranyum radon kaynaklarıdır ve onlar kayada ve toprakta düşük yoğunlukta bulunan yaygın ve doğal oluşumlu elementlerdir. Radon, kendisi de uranyum ya da toryumun bozulmuş bir ürünü olan radyum elementinin radyoaktif bozulmasından meydana gelir. Doğada üç temel radyoaktif bozunma serisi bulunmaktadır. Bu seriler tek gaz ürünüdür. Üç izotopu (^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn) uranyum-238, toryum-232 ve uranyum-235 bozunma serilerine ait radyoaktif gazlardır. Bu izotoplarının yarı ömürleri sırasıyla 3,82 gün, 55,6 s ve 3,96 s'dir (UNSCEAR, 2000). ^{220}Rn ve ^{219}Rn 'un yarı ömürleri çok kısa olduğundan ortamın havasına karışarak oluşturabilecekleri konsantrasyonlar düşük düzeyde kalmaktadır. Doğada diğer radyoaktif elementlere göre çok daha yüksek konsantrasyonlarda bulunan uranyum-238 elementinden dolayı sadece ^{222}Rn , atmosferde kayda değer yoğunluklar oluşturabilir. Radonun bu izotopik özellikleri sebebiyle konsantrasyon ölçümlerinde ^{222}Rn ön planda tutulur. Radon gazı bozunduğu vakit kısa yarı ömürlü radon ürünleri olarak bilinen dört radyoaktif izotop (Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214) oluşmaktadır. Bunların yarı ömürleri $1,5 \cdot 10^4$ s ile 27 dak arasında değişmektedir (Durrani ve ark., 2000).



Bu bozunma serileri sonucunda oluşan radonun yarılanma ömrü 3,82 gün, toronun yarılanma ömrü 55,6 saniye ve aktinonun yarılanma ömrü ise 3,96 saniyedir.

Toron ve aktinonun yarı ömürlerinin saniyeler mertebesinde olması ve doğada bulunma oranlarının çok düşük olması sebebiyle radon gazı ölçümlerinde genellikle Rn^{222} izotopu kastedilir (Akkurt, 2014). Aktinonun yarılanma ömrünün çok kısa ve doğal uranyumdaki $^{235}U/^{238}U$ oranının 0,00725 gibi çok düşük düzeylerde olmasından dolayı havada oluşturacağı konsantrasyon seviyesi düşük olacaktır (Yeşilbağ, 2008). Şekil 2.8’de radonun bozunma şeması görülmektedir.



Şekil 2.8. Radonun bozunma şeması (Akkurt, 2014).

Radon tabiiatta doğal olarak oluşabilen radyoaktif bir gazdır. Coğrafik olarak bölgenin jeolojik yapısıyla çok yakından ilişkili olarak çevreye yayılmaktadır. Dünya kabuğundaki kayalarda bulunan radon gazı ya direkt olarak yeryüzüne çıkar ya da yeraltı sularında çözünerek yüzeye çıkar (Özmen, 1995).

Yeraltında radyoaktivite iki farklı şekilde gözlenir. Bunlar kalıcı ve geçici radyoaktivitedir. Yeraltı sıcak sularda gözlenen radyoaktivite genelde geçici radyoaktivitedir. Bu tür radyoaktivite suyun radyoaktif madde ortamından geçerken almış olduğu radyoaktivitedir. Daimi radyoaktivite ise radyoaktif elementlerin ışımından oluşan radyoaktivitedir. Suyun radyoaktifliği, su içerisinde çözülmüş durumda bir veya daha fazla radyoaktif elementin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Radon gazının daha uzaklara göçü, suyun bulunduğu ortamlarda mümkün olmaktadır. Yerküre kabuğu içindeki radyoaktif elementlerin difüzyona uğraması sonucu kayaçlarda ve bunlar içindeki sularda radyoaktivite oluşmaktadır. Dünya'nın kabuğundaki radyoaktif elementlerin difüzyona maruz kalması sonucu kayaçlarda ve bunlar içindeki sularda radyoaktivite oluşmaktadır. Suların içindeki radon, derin kökenli değildir; çünkü bu gazın suda erimesi sıcaklık artınca birdenbire azalmaktadır. Geldiği yerlerin $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

nin altında olması gerekir. Bu sebepten dolayı ılık ve soğuk sular daha çok radyoaktiftir (Özmen, 1995).

Havaya topraktan geçen radon, önemli bir kapalı ortam kirletici etken olarak bilinmektedir. Radon gazı normal atmosferde hava olayları nedeniyle düşük konsantrasyonlara ulaşır. Ancak açık olmayan ortamlarda ve radyoaktif su kaynaklarından oluşan kapalı havuz sistemlerinde yüksek miktarlara ulaşabilir. Havalandırması yetersiz binalarda birikmekte ve zaman zaman yüksek miktarlara ulaşabilmektedir (Kulalı, 2009).

Genellikle insanlar vakitlerinin %80'ini kapalı mekânlarda geçirmektedirler. Bu sebepten ötürü radon gazına maruz kalmaları önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılardaki radon kaynağının büyük bir kısmı yapının temelindeki toprak ve kayalardır. Yapılara giren radonun büyük bir kısmı yapının temelindeki toprak ve kayalardan gelmektedir. Radon ve diğer gazlar toprak boyunca yükselir ve yapının temeline sıkışır. Sıkışan bu gazlar basınç oluşturur. Yapılardaki hava basıncı genel olarak topraktaki basınçtan daha düşüktür. Yapı altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar zeminden ve duvarlardan ziyade çatlaklardan ve boşluklardan binanın içlerine geçerler.

Radon, kapalı mekânlarda çevreye yayıldığında giderek miktarı arttığından düşük dozda bile olsa etkisi bakımından tehlikeli olabilmektedir. Binalarda radon nedeniyle oluşan radyasyon genellikle pikocurie birimiyle ölçülür. Binalarda sık sık radon birikimi ölçülmelidir. Eğer ölçümler sonucunda bulunan değer dört pikocurieden fazla ise binadaki çatlaklar onarılmalı ve bina elden geçirilmelidir. Radon çevrede ve toprak tabanda bol miktarda bulunmaktadır. Ülkemizde başta toprak tabanlı yapılar olmak üzere bütün yapılarda radon ölçümlerin yapılmasının yararlı olacağı açıktır. 1980 yılında gelişmiş ülkelerde başlatılan çalışmalar bazı yapılarda, madenler için izin verilen miktarın üzerinde radon yayılımının söz konusu olduğunu göstermiştir. Radon konsantrasyonunun ölçülmesine ilişkin birçok araç ve metot vardır. Bunların büyük çoğunluğu alfa parçacıklarının ölçümüne dayanmaktadır. Bu aletlerle, farklı bozunma safhalarında ortaya çıkan alfa parçacıkları miktarı ölçülür. Belirli bir alan veya ev için genel bir değerlendirme yapılır. Bu yolla yapıya radon giriş bölgeleri belirlenir. Riskin genel değerlendirmesini sağlayan yöntemler düşük bir maliyete sahiptir. Oldukça etkili olan bu araçlar özellikle oturma ve yatak odaları olmak üzere insanların uzun zaman geçirdikleri yerlere konur. Değerlendirme önceliği olan diğer yapı kısımları ise atölyeler ve bürolardır. Buralar nadiren havalandırılan ve kullanılan yerlerdir. Ölçüm araçlarının

bodrum katlarına konulmaması gerekir. Çünkü burada yapılan ölçümler gerçek birey etkilenme sonuçlarını yansıtmayacaktır. Havada radon ve bozunum ürünlerinin ölçümüyle ilgili birçok farklı yöntem vardır. Havanın aktif veya pasif olarak alınışına bağlı olarak iki gruba ayrılabilir. Herhangi bir pompa kullanmadan ya da elektriksel güç kaynağı kullanılarak örnek alınabilir. Tek ölçümlü teknikte dakika ile ölçülebilir sürelerde ölçüm yapıldıktan sonra sonuç mümkün olan en kısa sürede değerlendirilir. Sürekli ölçüm tekniği ile ise analiz eş zamanlı olarak veya kısa bir zaman geçtikten sonra yapılır. Entegre ölçümler ise günler, aylar veya bir yıl ölçümden sonra yapılmaktadır. Süreninin uzunluğu oranında zamana bağlı değişimlerin genel etkisi daha kolay tespit edilir. Kapalı ortam ölçümlerinde kullanılan aktive kömür kutularında su buharı etkisine bağlı olarak emilimin azalabileceği görüşleri doğrulanmamıştır. Radon ölçümüyle ilgili daha karmaşık metotlar da vardır. Bunlardan biride difüzyon katsayısının hesaplanmasıdır (Damla ve ark., 2011).

Konutların insan sağlığı açısından havalandırılması şarttır. Okul binalarında ise her sınıfta aynı anda en az otuz (30) kişi bulunduğu kabul edilirse bu şartlarda havalandırmanın sürekli yapılması gerekmektedir. Okul binalarında zemin katlara pasif havalandırıcılar da takılabilir. Bacalar ve aktif havalandırıcılar da tabandan radon alımını engelleyici etki yapmaktadır. Girişi zeminden yeterince yüksek ve yeterli hava akım hızına sahip yerlerden yapılmalıdır. Soğuk havanın zeminden alındığı sistemler engellenmelidir. İlk adım, değişik yerleşim yerlerinde ve kullanılan yapı teknolojilerine göre radon kirlilik düzeyinin ölçülmesidir. Radon kirliliğinin yüksek olduğu yapılarda nedene yönelik değerlendirmeler, alınması gereken koruyucu önlemleri de birlikte getirecektir. Bu önlemler arasında tabanlar ve tavanlarla duvarların birleşim noktaları, su sistemleri ve boruların giriş çıkış yerlerinin iyice kapanması söylenebilir. Tabanın toprak olması durumunda üzerine polietilenden bir naylon örtüldükten sonra çimento dökülmesi en uygun yöntemdir. Küçük yerleşim birimlerde bu yöntem yararlı olabilir. Zeminden yapının içerisine radonun girmesini önleyecek en önemli uygulamalardan birisi yapının üst bölümlerinden aşağıya doğru basınçlı havanın üflenmesidir. Ancak bu sistemin teknik tüm ayrıntılarının dikkatle değerlendirildikten sonra etkili olabileceği unutulmamalıdır. Bu önlemlerin yetmemesi durumunda özel havalandırma sistemleri gerekmektedir (Demirel, 2013). Özel havalandırma menfezleri kullanılarak binanın ısıtılması için kullanılan enerjinin kaybolmasına izin verilmeden bina içindeki havanın tahliye edilmesi sağlanabilir.

2.5.3. Radon Gazının Sağlığa Etkileri

1980'li yılların sonundan itibaren bilim insanları radon gazının tedavi edici özelliğinden çok insan sağlığına olan etkileri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Radonun reaktivitesi zayıftır. Bu sebeple solunum yoluyla vücuda alındığında dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Yine dokulardaki çözünürlüğü düşüktür. Ancak radonun bozunma ürünleri, toz ve benzeri parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Bu sebepten dolayı taşınarak solunum yoluyla insan vücuduna alınabilirler. Bozunma ürünleri kararlı duruma gelinceye kadar bozunma devam eder, bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur. Solunum borusunda olan bozunma sonucunda bronşal epiteldeki radyasyon dozu artar. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır (TAEK, 2002).

Radon, yeraltından gaz ya da suda erimiş olarak yeryüzüne çıkmaktadır. 3,8 günlük yarılanma süreli radon (^{222}Rn) bozunarak kısa yarılanma süreli (radyoaktif bozunmayla yarıya inene kadar geçen süre) polonyum-218, kurşun-214, bizmut-214 ve polonyum-214 gibi ağır metalleri oluşturur. Radyoaktif bir asal gaz olan radon, canlı hücrelerdeki maddelerle kimyasal olarak etkileşmemesine karşılık, 2 proton ve 2 nötrondan oluşan alfa ışınları yoluyla ve oluşturduğu ağır metallerle vücudu etkilemektedir. Bu nedenle radondan oluşan ağır metallerin vücuttaki etkileri radonunkinden daha fazla olmaktadır.

2.5.4. Radon Konsantrasyon Limitleri

Kapalı alanlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir. Söz konusu limit değerlerin aşılması durumunda radon konsantrasyonunu azaltıcı önlemlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için önerilen düzeyler $200-600 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Türkiye'de kabul edilebilir radon konsantrasyonu ise 400 Bq/m^3 'tür. Uluslararası Radyasyondan Korunması Komitesi, radona maruz kalma konusunu inceleyerek "Evde, Okullarda ve İşyerinde Radon-222'ye Karşı Korunma" konusunda bir rapor hazırlamıştır ve bu rapora göre radona maruz kalma sınırları belirlenerek bazı sınır değerler önerilmiştir. Bu değerler senelik doz için 3-10 mSv arasında kabul

edilmiştir. Bu dozlara karşılık gelen radon konsantrasyonu evlerde 200-600 Bq/m³, iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasındadır (ICRP, 1994). İçme suları için izin verilen maksimum sınır değer 11 Bq/L dir (EPA, 1986).

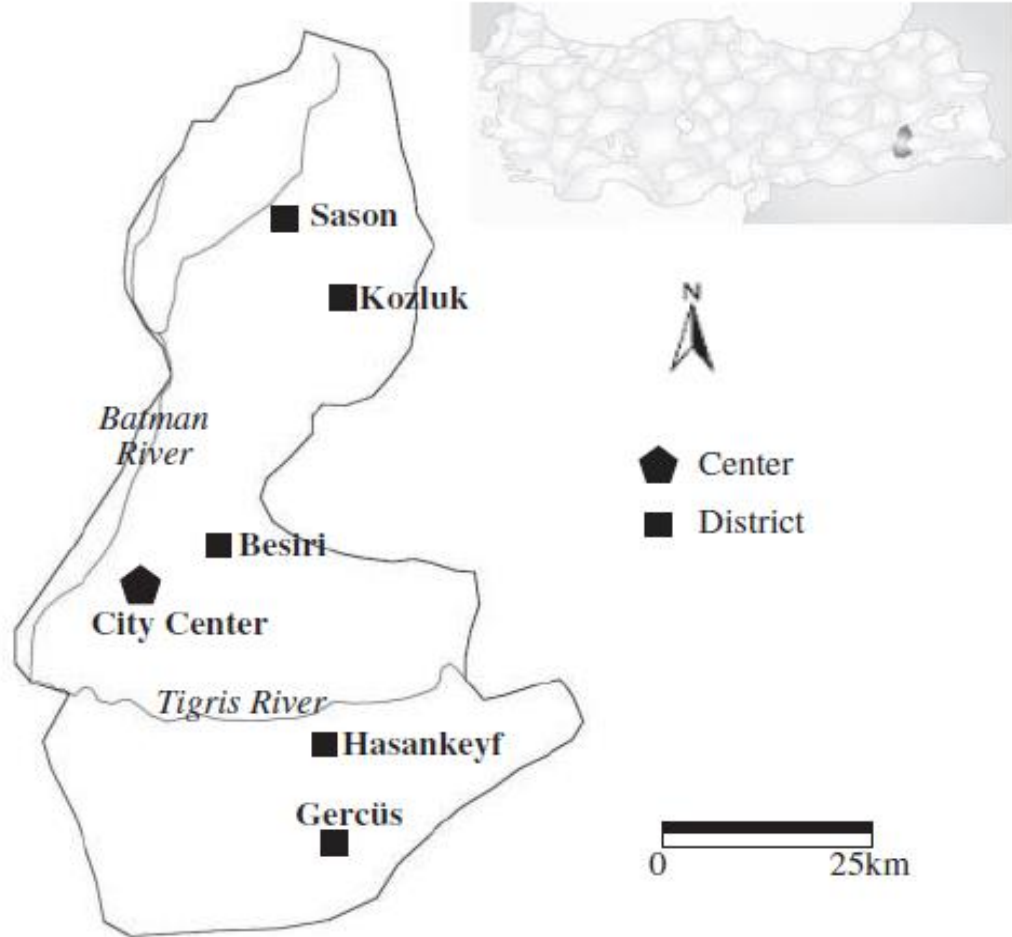
2.5.5. Radon Risklerinin Azaltılması İçin Alınabilecek Tedbirler

İnsanların radyasyondan tamamen arındırılmış bir ortamda yaşaması mümkün değildir. Radyasyondan tamamen korunmamız da mümkün değildir. Ancak bazı tedbirler alarak maruz kalabileceğimiz radyasyon miktarını indirmeye çalışabiliriz. İnsanların en çok yaşadığı yer olan yapıları yapılırken inşaat yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler kullanılmamalıdır. Konutların özellikle bodrum katlarının toprakla izolasyonu iyi yapılmalıdır. Bodrum ve zemin katların tabanına şap, beton vb. dökülmelidir. Toprak ile temas eden yüzeyler sızıntıya imkân vermeyecek şekilde izole edilmelidir. Radon seviyesi yüksek olabileceğinden 20 yıldan eski olan konutlarda çatlakların kapatılması, izolasyon ile bakım ve onarımı sürekli yapılmalıdır. Zeminden ve duvarlardan yapı içine geçen radon gazı, yapının dışına çıkamazsa yapı içindeki konsantrasyon artacaktır. Bu sebeple kapalı ortamların havalandırılmasına önem verilmelidir. Evlerde kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi arttırılmalıdır. Radon, kanser riskini arttırdığından kapalı ortamlarda sigara içilmemelidir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanının Tespiti

Batman ili, Güneydoğu Anadolu bölgesinde Dicle nehri ve onun yan kolları olan Garzan ve Batman çayları arasındaki ovada kurulmuştur. Yüz ölçümü 4694 km²'dir ve Türkiye'de petrol havzası olarak bilinir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Dicle Bölümü'nde Siirt, Muş, Bitlis, Mardin ve Diyarbakır illeri arasında yer alır. Batman ili merkez olarak tarihi bir yer olmamasına karşın il sınırları içerisinde bulunan Hasankeyf ve Malabadi, tarihi öneme sahiptir. Aşağıda, Şekil 3.1'de, Batman iline ait harita gösterilmiştir.



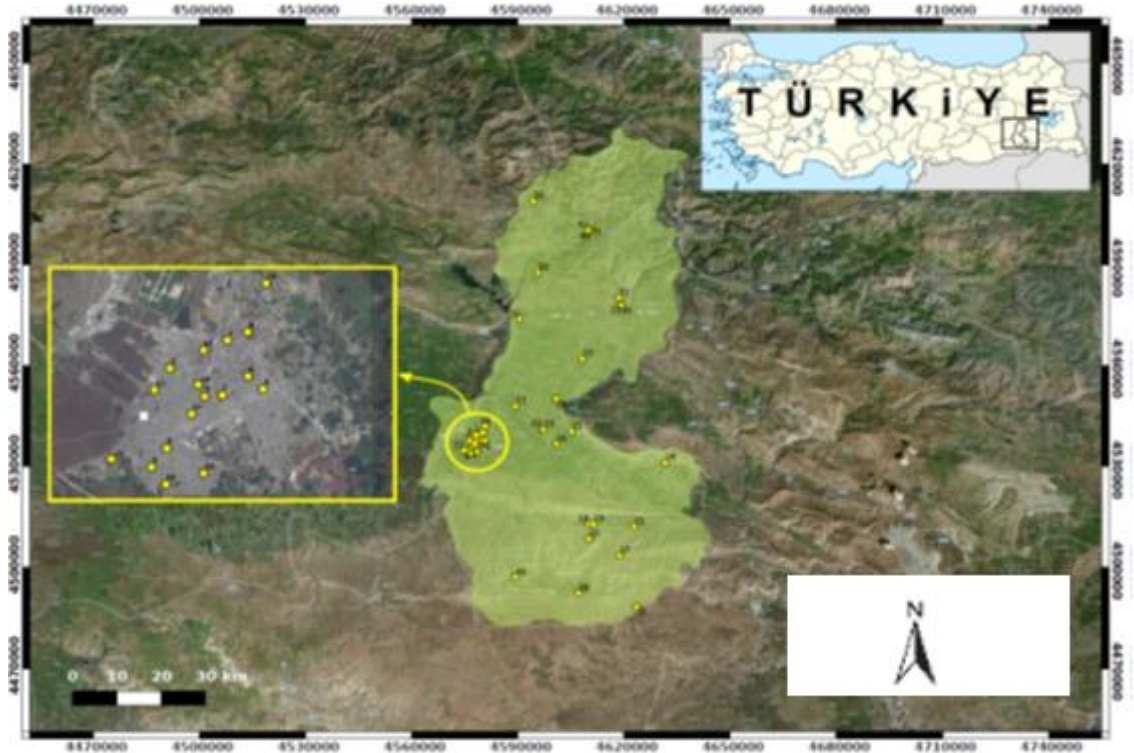
Şekil 3.1. Batman Haritası

Çizelge 3.1. Okul isimleri ve katlara göre dedektör dağılımını göstermektedir.

	Okul Adı	Zemin kat (Adet)	1. Kat (Adet)	2. Kat (Adet)
MERKEZ	Mehmet Emin Şimşek İlkokulu	1	1	1
	Pazaryeri İlkokulu	1	1	1
	50. Yıl Ortaokulu	1	1	1
	Fatih İlkokulu	1	1	1
	Hürriyet İlkokulu	1	1	1
	TÜPRAŞ İlkokulu	1	1	1
	Petrol İlkokulu	1	1	1
	İMKB Belde İlkokulu	1	1	1
	Karatay İlkokulu	1	1	1
	Sabri Ülker İlkokulu	1	1	1
	Necat Nasıroğlu İlkokulu	1	1	1
	Bağlar İlkokulu	1	1	1
	Zübeyde Hanım İlkokulu	1	1	1
	Kültür İlkokulu	1	1	1
	Sakarya İlkokulu	1	1	1
	TOKİ Kazım Karabekir İlkokulu	1	1	1
Yeni Mahalle İlkokulu	1	1	1	
HASANKEYF	Atatürk İlkokulu	3	-	-
	60. Yıl İlkokulu	1	1	1
	Karaköy İlkokulu	2	1	-
	Saklı İlkokulu	3	-	-
BEŞİRİ	Doğankavak İlkokulu	2	1	-
	Beş Pınar İlkokulu	2	1	-
	Asma Dere İlkokulu	2	1	-
	Yontuk Yazı İlkokulu	2	1	-
	Kapaklı İlkokulu	2	1	-
	Durucak İlkokulu	2	1	-
	Cumhuriyet İlkokulu	1	1	1
KOZLUK	Çevrecik İlkokulu	2	1	-
	Ahmet Bozyiğit İlkokulu	2	1	-
	Yeni Çağlar İlkokulu	2	1	-
	Çayhan İlkokulu	3	-	-
	Atatürk İlkokulu	2	1	-
GERCÜŞ	Yemişli İlkokulu	3	-	-
	Hisar İlkokulu	2	1	-
	Gönüllü İlkokulu	2	1	-
	Cumhuriyet İlkokulu	2	1	-
SASON	Atatürk İlkokulu	1	1	1
	Aşağı Karamişe	2	1	-
	Yunus Emre İlkolu	1	2	-
	Sason YİBO	1	2	-

TÜİK tarafından açıklanan 2016 nüfus verilerine göre 2016 yılı Batman toplam nüfusu 576.899 kişidir. Bu nüfusun 290.479 kişisi erkek, 286.420 kişisi ise kadındır. İl ve ilçe merkezlerinde yaşayan toplam nüfus ise 576.899 kişidir. Belde ve köylerde yaşayan toplam nüfus 126.748 kişidir. Batman ilindeki ilkököl, ortaokul ve liselerde toplam 172.608 öğrenci öğrenim görmektedir. Bu sayı Türkiye'deki birçok ilin nüfusundan daha fazladır. Bu çalışma Batman il merkezi ve ilçelerde bulunan ilkokullarda yapılmıştır. Çalışma alanında kullanılan CR-39 dedektörlerinin yerleştirildikleri okulların isimleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Çizelge 3.2'de de ilçelere göre dedektör sayıları ve öğrenci sayıları verilmiştir.

Çalışma alanı seçimi yapılırken ilçelerin nüfus dağılımı, yerleşim yerinin demografik yapısı ve okul sayısı dikkate alınarak yapılmıştır. İlçelerdeki okullar seçilirken rastgele bir seçim yapılmıştır. Nüfusu fazla olan ilçelerden daha çok okul seçilmiştir. İl merkezinden 17 (on yedi), Beşiri ilçesinden 7 (yedi), Kozluk ilçesinden 5 (beş), Gercüş ilçesinden 4 (dört), Sason ilçesinden 4 (dört) ve Hasankeyf ilçesinden 4 (dört) ilkököl seçilmiştir.



Şekil 3.2. Dedektörlerin yerleştirildiği okulların dağılımının uydu görüntüsü

Uydu görüntüsünde görüldüğü gibi okulların seçiminde coğrafik olarak homojen bir dağılım sağlanmıştır. İl merkezinde nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgeler seçilmiştir.

Çizelge 3.2. Kullanılan CR-39 dedektörlerinin yerleştirildikleri okulların dağılımı ve öğrenci sayıları.

Bölge	Okul Sayısı	Dedektör Sayısı	Öğrenci Sayısı
Şehir Merkezi	17	51	30195
Kozluk	5	15	3298
Gercüş	4	12	870
Sason	4	12	1575
Beşiri	7	21	2633
Hasankeyf	4	12	1199
Toplam	41	123	39770

Dedektörlerin yerleştirildiği okul dağılımı; ilçelerin nüfus oranları, okul sayıları ve okullardaki öğrenci sayıları dikkate alınarak yapılmıştır. Bu çalışmada uygulama okullarındaki öğrenci sayısı Batman'daki öğrenci sayısının %23,4'üne karşılık gelmektedir. Şehir merkezinde farklı mahallelerde on yedi okul seçilmiş, daha sonra bu okulların zemin, birinci kat ve ikinci katlarına CR-39 dedektörleri yerleştirilmiştir. Okullara yerleştirilen dedektörler 90 gün boyunca bekletildikten sonra toplanmış ve ölçüm sonuçları alınmıştır.

3.2. CR-39 Dedektörleri

Binalarda ve kapalı ortamlarda radon ölçümü için genellikle CR-39 kullanılmaktadır. Bu çalışmada radon ölçümü için CR-39 dedektörleri kullanılmıştır. Radon gazı pasif ölçüm tekniğinde kullanılan CR-39 dedektörleri; selüloz asetat, polikarbonat veya allil diglikol karbonat benzeri plastik malzemelerden mamül film tabakalarından oluşturulmuştur. CR-39 dedektörleri ile ölçme, plastik plakalara çarpan alfa parçacıklarının bıraktığı gözle görülemeyen izlerin kimyasal iz kazıma (etching) işlemi ile netleştirilmesi ve mikroskop ile iz yoğunluklarının belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Kapalı ortamlardaki radon seviyesinin ölçülmesi için pasif ölçüm tekniği, bir ortalama değerin elde edilmesi açısından oldukça doğru bir yöntemdir (UNSCEAR, 2000). Bu metotta kullanılan CR-39 plakaları, elektrostatik korumaya sahip bir radon difüzyon kabının içine yerleştirilmiştir. Bu kap, radon ürünlerini

filtreleyerek sadece radon gazını geçirecek bir yapıya sahiptir. Kap içerisine giren radon gazı, dışarı çıkamadığından yarı ömrü sonunda gerçekleşen radyoaktif bozunma sonucu alfa parçacıkları yayımlamaktadır. Bu alfa parçacıkları dedektör ile etkileşerek plakalarda iz bırakmaktadır. Oluşan bu izlerin miktarı kap içindeki radon konsantrasyonu ölçüm yapılan ortamın havasındaki radon konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. CR-39 olarak bilinen radon dedektörünün yapısı “Allil Diglikol Karbonat” kimyasal adı polyallyl diglycol karbonat (PADC) ve kimyasal sembolü ise $C_{12}H_{18}O_7$ dir. Radon gazının CR-39 plastik dedektörleri üzerinde oluşturduğu alfa izlerinin görülebilir hale getirilmesi için kimyasal iz kazıma metodu kullanılmaktadır. Bu metod dedektörlerin sıcak NaOH çözeltisi içinde belli bir süre tutulması esasına dayanmaktadır.



Şekil 3.3. CR-39 Pasif nükleer iz dedektörünü içeren difüzyon kabı

3.2.1. Radon Dozimetrelerinin Analizi

Bu çalışmada kullanılan radon dozimetreleri Radosys Şirketi tarafından üretilmektedir ve CR-39 radon dozimetresi Şekil 3.3'te gösterilmektedir. Dozimetre, silindirik şekilde olup dedektör çipi plastik kutunun iç üst tarafında, yüzey alanı 10x10 mm ve kalınlığı 1 mm'dir. Dozimetrenin yüzeyi polypropylene madde ile kaplanmıştır. Polypropylene madde alfa parçacıklarına duyarlı olup ^{220}Rn (Toron) ve toz parçacıklarının dozimetreye girmesini engellemektedir. Radon gazı dozimetre içerisine

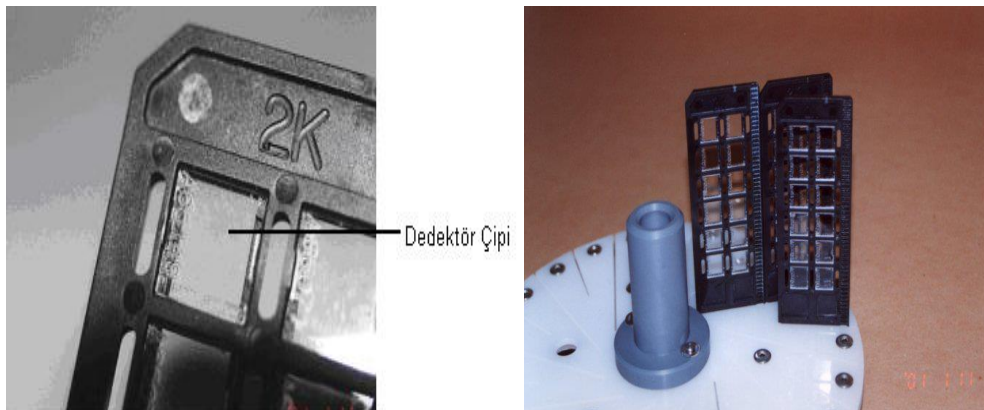
difüzyon yoluyla girmektedir. Radonun bozunması sonucu oluşan alfa parçacıkları dedektör çipin üzerine izler bırakmaktadır.



Şekil 3.4. CR-39 Radon dozimetresi

Dozimetrelerin analizleri TAEK’te Radosys otomatik iz sayım sistemi kullanılarak yapılmıştır. Bu sistem, bilgisayara bağlı gelişmiş bir optik mikroskop, banyo ünitesi ve radon dedektörlerinden oluşmaktadır.

Dedektör çipleri plastik kutuların içinden dikkatlice çıkarılıp her biri Şekil 3.4’teki gibi slaytlara yerleştirilmiştir. Her bir slayt 12 tane dedektör çipi almaktadır. Daha sonra banyo (ecthing) işlemi yapılmıştır.

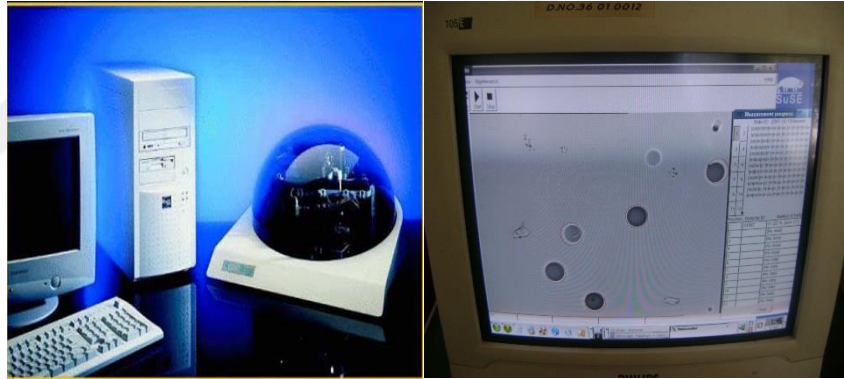


Şekil 3.5. Dedektör çipi ve kazıma diski

Radon gazına maruz kalan CR-39 dozimetreleri üzerinde oluşan alfa izlerinin görünür hale getirilmesi için kimyasal iz kazıma yöntemi kullanılmıştır. Kazıma diskine 36 tane slayt takılabilmekte ve bu, aynı anda 432 tane dedektör çipinin etching yapılmasını sağlamaktadır.

3.2.2. Deneysel Sistem ve Ölçüm İşlemleri

Bilgisayarda yazılım olarak Linux işletim sistemi kullanılmaktadır. Her bir slayt, sayım ünitesine yerleştirilerek okutma işlemi yapılmıştır. CR-39 dozimetresinde, cm^2 başına düşen alfa izlerinin yoğunluğu, (200x) optik mikroskop kullanılarak sayılmıştır. Şekil 3.6'da ölçüm sistemi ve alfa izlerinin dedektör çipi üzerine bıraktığı izler görülmektedir. Daha sonra her bir dozimetrenin bırakıldığı yerlere yapılış ve toplanış tarihleri bilgisayara girilerek kayıtlı olan sistem sayesinde aktiviteler Bq/m^3 cinsinden bulunmuştur.



Şekil 3.6. Radosys ölçüm sistemi ve alfa izlerinin görüntüsü

3.3. Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizleri

3.3.1. Örneklerin Alınması

Okulların bulunduğu bölgelerden 1-2 kg ağırlığında toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örnekleri yer yüzeyinden 15-20 cm derinliğe inilerek alınmıştır. Numuneler alınırken rastlanan bitki ve kök artıkları, çürümüş ağaç, yaprak ve dalları gibi biyolojik kalıntılar örnekten ayrılmıştır. Yalnız toprak almaya dikkat edilerek çakıl ve taşlar da

numune dışına bırakılmıştır. Numuneler; önceden etiketlenmiş temiz, ağızları kapanabilen naylon torbalara konulup laboratuvara getirilmiştir.

3.3.2. Toprak Örneklerinin Analize Hazırlanması

Toprak numuneleri, her okulun radon ölçümlerinin yapıldığı yakın çevresinden toplanmıştır. Örnekleme alanları neredeyse zemin seviyesinden, ağaçlardan ve binalardan uzak tarım dışı arazilerden seçildi. Taşlar, çakıllar, bitki örtüsü ve köklerin zemin yüzeyi temizledikten sonra, ilk 10 cm'lik toprağı 1,5 kg'lık malzeme etiketlenmiş polietilen torbalara yerleştirildi. Numuneler öğütülmüş, homojen hale getirilmiş ve bir ezme makinesi ile el değmeden elekten geçirilmiştir. Numuneler daha sonra nemin tamamen çıkarılmasını sağlamak için 110 °C'de 24 saat kurutuldu. Her numuneden yaklaşık 160 g toprak; gaz geçirmez, radon geçirmez, plastik silindirik polietilen kaplara konuldu. Daha sonra 1 ay süreyle bekletildi. Böylece, ^{238}U ve ^{232}Th ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması sağlanmış ve numuneler sayıma hazır hale getirilmiştir. Daha sonra sırayla gama spektrometresi cihazında 50.000 s süreyle sayıldı.

3.3.3. Deneysel Sistem

Ölçümler Karadeniz Teknik Üniversitesi Fizik bölümü araştırma laboratuvarında bulunan Canberra, GC 1519 model yüksek saflıkta coaxial Ge dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.7'de dedektörün genel görünüşü verilmektedir.



Şekil 3.7. Dedektörün genel görünüşü

3.4. Deneysel Yöntem

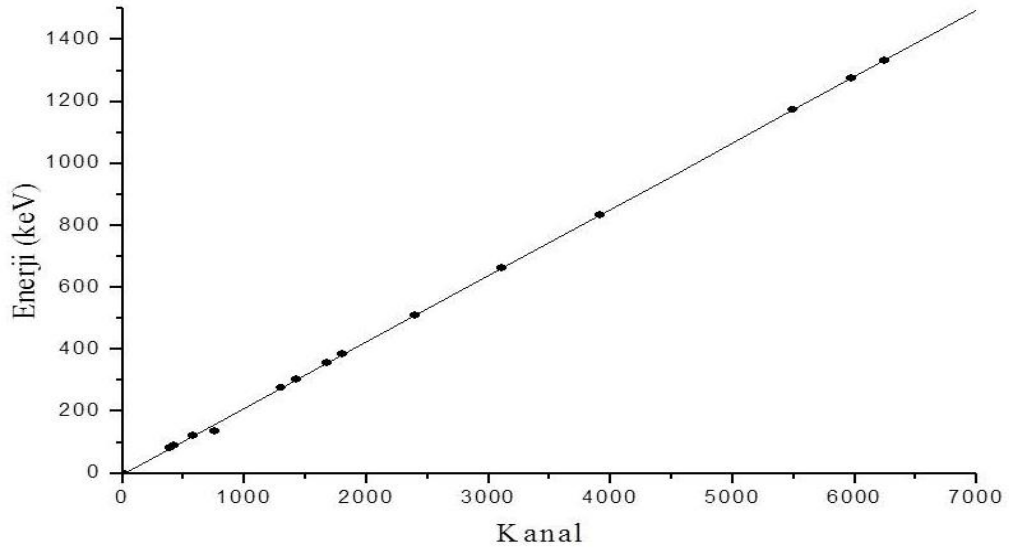
3.4.1. Enerji kalibrasyonu

Enerji kalibrasyonu için daha önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart kaynaklara ihtiyaç vardır. Enerji ve verim kalibrasyonu için enerjileri 80–1400 keV arasında değişen ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ve ^{60}Co 'ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanıldı. Çizelge 3.3'te kalibrasyon için kullanılan standart kaynağa ait bilgiler verilmektedir.

Çizelge 3.3. Standart Kaynağın Özellikleri

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

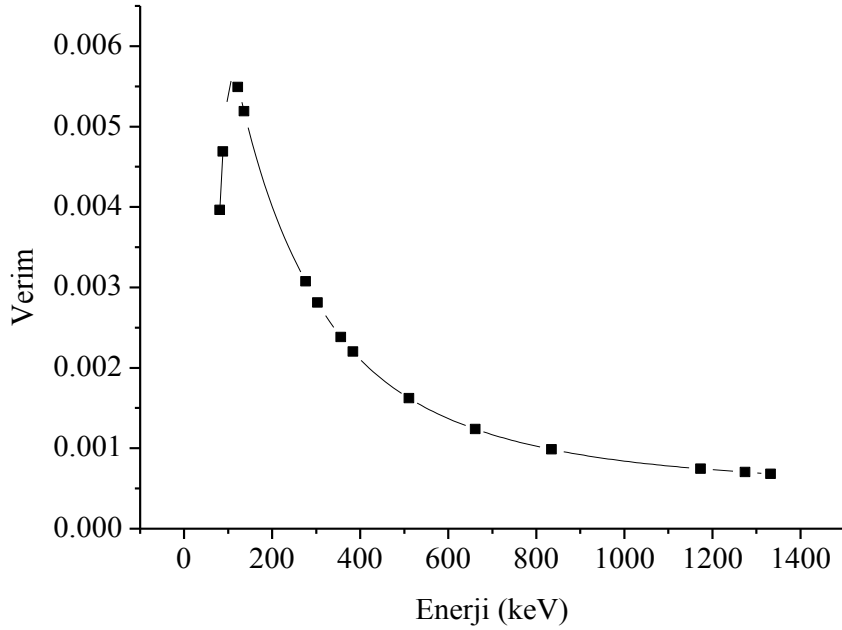
Enerji kalibrasyonu için dedektöre belli bir mesafede konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara geldiği tespit edildi. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Enerji kalibrasyon eğrisi

3.4.2. Verim Kalibrasyonu

Verim tayini için genelde standart kaynaklar kullanılır. Kaynağın şekli farklı olduğunda kaynak homojen olarak foton yayımlayamayacağından bu durum dedektör verimini etkiler. Bunun için kaynağın en çok fotonları yaydığı bölgesi dedektörün ortasına gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir. Ölçümlerde kullanılan enerji-verim eğrisi Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Verim - Enerji Eğrisi

3.5. Spektrum Analizi

^{238}U (^{226}Ra) serisi için ^{214}Pb (352,0 keV) ve ^{214}Bi (609,4 keV) enerjilerindeki, ^{232}Th serisi için ^{208}Tl (583,1 keV) ve ^{228}Ac (911,1 keV) enerjilerindeki piklerinin alanları ^{40}K ve ^{137}Cs için ise sırayla 1460,8 ve 661,6 keV enerjilerdeki piklerin alanı alınmıştır.

3.5.1. Aktivite hesabı

Ölçümlerden elde edilen radyonüklitlerin aktiviteleri çok iyi bilinen aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$\text{Aktivite} = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayım Süresi} \times \text{Numune Miktarı} \times \text{Bolluk} \times \text{Verim}} \quad (3.1)$$

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çizelge 4.1. İl merkezinde bulunan okulların ölçüm sonuçları görülmektedir.

Okul adı	Kat	İz Sayısı	İz Yoğunluğu (iz sayısı/cm ²)	Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Hürriyet İlkokulu	Zemin	110	23.504	52
	1.	91	19.444	43
	2.	76	16.239	36
Mehmet Emin Şimşek İlkokulu	Zemin	109	23.291	51
	1.	97	20.620	46
	2.	84	17.949	40
50. yıl İlkokulu	Zemin	113	24.145	53
	1.	113	24.145	53
	2.	113	24.145	53
Bağlar İlkokulu	Zemin	103	22.009	49
	1.	88	18.803	42
	1.	74	15.812	35
Fatih İlkokulu	Zemin	231	49.359	109
	Zemin	217	46.368	102
	1.	201	42.949	95
İMKB Belde İlkokulu	Zemin	72	15.385	34
	1.	59	12.607	28
	2.	59	12.607	28
Karatay İlkokulu	Zemin	81	17.308	38
	1.	74	15.812	35
	2.	67	14.316	32
Kültür İlkokulu	Zemin.	100	21.368	47
	1.	87	18.590	41
	2.	79	16.880	37

Okul adı	Kat	İz Sayısı	İz Yoğunluğu (iz sayısı/cm ²)	Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Necat Nasıroğlu İlkokulu	Zemin	88	18.803	42
	1.	54	11.538	25
	2.	51	10.897	24
Pazaryeri İlkokulu	Zemin	137	29.274	65
	1.	114	24.252	54
	2.	90	19.231	42
Petrol İlkokulu	Zemin	125	26.709	59
	1.	102	21.795	48
	1.	114	24.252	54
Sabri Ülker İlkokulu	Zemin	79	16.880	37
	1.	68	14.530	32
	2.	62	13.248	29
TOKİ Kazım Karabekir İlkokulu	Zemin	125	26.709	59
	1.	114	24.359	54
	2.	108	23.077	51
TÜPRAŞ İlkokulu	Zemin	111	23.718	52
	Zemin	91	19.444	43
	1.	90	19.231	42
Yeni Mahalle İlkokulu	Zemin	82	17.521	39
	1.	79	16.880	37
	2.	73	15.598	34
Zübeyde Hanım İlkokulu	Zemin	68	14.530	32
	1.	64	13.675	30
	2.	64	13.675	30
Sakarya İlkokulu	Zemin	57	12.179	27
	1.	43	0.9188	20
	2.	37	0.7906	17

Batman il merkezi ve beş ilçedeki ²²²Rn konsantrasyonunu belirlemek için il merkezinde 17, Beşiri ilçesinde 7, Kozluk ilçesinde 5, Gercüş ilçesinde 4, Hasankeyf ilçesinde 4 ve Sason ilçesinde 4 olmak üzere toplam 41 okulda zemin kat, 1. kat ve 2. katlara toplam 123 tane CR-39 dedektörü yerleştirilmiştir. CR-39 dedektörlerinden 64

tanisi zemin katlara, 42 tanesi birinci katlara ve 17 tanesi de ikinci katlara yerleştirilmiştir. 90 günlük ölçüm sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.1-4.5'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre zemin katlarda radon aktivite konsantrasyonu ortalaması 45,5 Bq/m³, birinci katların ortalaması 36,02 Bq/m³ ve ikinci katların ortalaması 32,70 Bq/m³ olarak ölçülmüştür.

Batman il merkezindeki okullarda ²²²Rn konsantrasyonu tespiti için yapılan çalışmalarda elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. ²²²Rn konsantrasyonunun minimum değeri 17 Bq/m³ olarak Sakarya İlkokulunda 1. katta elde edilmiştir. Maksimum değeri 109 Bq/m³ olarak Fatih İlkokulunda zemin katında ölçülmüştür. İl merkezinde bulunan okullardan elde edilen verilere baktığımızda radon konsantrasyon değerleri uluslararası atom enerjisi ajansının temel güvenlik standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde binalarda radon için önerilen düzeyler olan 200- 600 Bq/m³ değerlerinin çok altındadır (ICRP, 1994).

Çizelge 4.2. Sason ilçesinde bulunan okullara yerleştirilen dedektörlerin okul dağılımı

Okul adı	Kat	İz Sayısı	İz Yoğunluğu (iz sayısı/cm ²)	Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Karşıyaka Kız YİBO	Zemin	72	15.385	34
	1.	40	0.8547	19
	1.	56	81.199	27
Mehmet Akif Ersoy İlkokulu	Zemin	75	16,026	35
	1.	64	13,675	30
	Zemin	70	14,8505	33
Yücebağ İlkokulu	Zemin	49	10.470	23
	1.	43	0.9188	20
	2.	40	0.8547	19
Yunus Emre İlkokulu	Zemin	38	0.8120	18
	Zemin	38	0.8121	18
	1.	38	0.8122	18

Sason ilçesindeki okullarda ²²²Rn konsantrasyonu tespiti için yapılan çalışmalarda ölçülen sonuçlar Çizelge 4.2'de verilmiştir. ²²²Rn konsantrasyonunun değerlerinin 18 ile 35 Bq/m³ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ölçülen radon aktivite konsantrasyonu

ortalama değerleri zemin katlarda 26,83 Bq/m³, birinci katlarda 22,80 Bq/m³ ve ikinci katlarda 19 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. ²²²Rn konsantrasyonunun en yüksek değeri Mehmet Akif İlkokulunda, en düşük ise Yunus Emre İlkokulunda gözlenmiştir. Bu değerler Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun ülkemizdeki konutlar için belirlemiş olduğu kabul edilebilir radon konsantrasyon değeri olan 400 Bq/m³ ün çok altında değerlerdir.

Çizelge 4.3. Kozluk ilçesinde yerleştirilen dedektörlerin okul bazlı dağılımı

Okul adı	Kat	İz Sayısı	İz Yoğunluğu (iz sayısı/cm ²)	Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Fevzi Çakmak İlkokulu	Zemin	53	11.325	25
	Zemin	39	0.8333	22
	1.	46	6.079	18
Ahmet Bozyiğit İlkokulu	Zemin	51	10,897	24
	Zemin	46	5,87585	22
	1.	40	0.8547	19
Atatürk İlkokulu	Zemin	39	0,8333	18
	1.	37	0,7799	17
	2.	34	0.7265	16
Çevrecik İlkokulu	Zemin	45	0.9615	21
	Zemin	60	12.821	28
	1.	38	0.8120	18
Yeniçağlar İlkokulu	Zemin	54	11.538	25
	1.	37	0.7906	17
	1.	46	61.643	21

Kozluk ilçesindeki okullarda ²²²Rn konsantrasyonu tespiti için yapılan çalışmalarda ölçülen sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir. Elde edilen verilere göre ²²²Rn konsantrasyonunun değerlerinin 16 ile 28 Bq/m³ arasında değiştiği ve ortalama değerinin 21 Bq/m³ olduğu bulunmuştur. Kozluk ilçesinde bulunan okulların kat

sayısının az olmasından dolayı dedektörler daha çok zemin katlara yerleştirilmiştir. Zemin katlarda ^{222}Rn 'un daha yüksek olması beklenmektedir. Zemin katların radon aktivite konsantrasyon ortalaması $23,12 \text{ Bq/m}^3$ olmuştur. Birinci katlarda ölçülen radon aktivite konsantrasyon ortalama değeri $18,33 \text{ Bq/m}^3$, ikinci katta ise ortalama değer 16 Bq/m^3 olmuştur. Ortalama değerlere baktığımızda en yüksek değer zemin katlarda olurken en düşük değer ise ikinci katlarda elde edilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen değerlerin insan sağlığı için belirlenen sınır değerlerin çok altında olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. Gercüş ilçesinde ölçüm yapılan okulların sonuçları

Okul adı	Kat	İz Sayısı	İz Yoğunluğu (iz sayısı/cm ²)	Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Cumhuriyet İlkokulu	Zemin	137	29.274	65
	Zemin	118	25.214	56
	1.	102	21.795	48
Hisar İlkokulu	Zemin	118	25.214	56
	Zemin	93	19.872	44
	1.	74	15.812	35
Nurlu İlkokulu	Zemin	46	0.9829	22
	Zemin	90	19.231	42
	1.	45	0.9615	21
Gönüllü İlkokulu	Zemin	67	14.316	32
	Zemin	98	20.940	46
	1.	32	0.6838	15

Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi ^{222}Rn konsantrasyonunun minimum değeri 15 Bq/m^3 ile Gönüllü İlkokulunda, maksimum değeri 65 Bq/m^3 ile Cumhuriyet İlkokulunda ölçülmüştür. Ortalama değeri ise $40,16 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür. Radon aktivite konsantrasyonunun katlara göre ortalama değerlerine bakıldığında; zemin katların

ortalaması 45,37 Bq/m³, birinci katların radon aktivite konsantrasyon ortalama değeri 29,75 Bq/m³ olmuştur. Bu değerler insan sağlığı için risk oluşturacak değerlerin çok altındadır.

Çizelge 4.5'te verilen sonuçlar incelendiğinde ²²²Rn konsantrasyonunun 37 ile 87 Bq/m³ arasında değiştiği ortalama değerinin ise 56 Bq/m³ olduğu hesaplanmıştır. Katlara göre radon aktivite konsantrasyon değerlerinin ortalamalarına baktığımızda zemin katların ortalamasının 66,14 Bq/m³, birinci katların ortalama değerinin 42,5 Bq/m³ ve ikinci katların radon aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinin 39 Bq/m³ olduğu tespit edilmiştir. Radon ağır bir gaz olduğundan ölçüm sonuçlarının zemin katlarda daha yüksek çıkması ve üst katlara çıkıldıkça değer azalması gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar zemin kat > birinci kat > ikinci kat şeklindedir.

Çizelge 4.5. Hasankef ilçesi okul ölçüm sonuçları

Okul adı	Kat	İz Sayısı	İz Yoğunluğu (iz sayısı/cm ²)	Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Karaköy İlkokulu	Zemin	79	16.880	37
	Zemin	179	38.248	84
	Zemin	167	35.684	79
60. Yıl İlkokulu	Zemin	185	39.530	87
	1.	89	19.017	42
	2.	82	17.521	39
Atatürk İlkokulu	Zemin	149	31.838	70
	Zemin	100	21.368	47
	1.	82	17.521	39
Saklı İlkokulu	Zemin	125	26.709	59
	1.	89	19.017	42
	1.	100	21.368	47

Beşiri ilçesindeki okullarda yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarında görüldüğü gibi ²²²Rn konsantrasyonunun en yüksek değeri 63 Bq/m³ ile Asmadere ilkokulunda tespit edilmiştir. En düşük değeri ise 28 Bq/m³ ile Doğankavak ilköğretim okulunda ölçülmüştür. Bu okullarda ölçülen ölçüm sonuçlarının ortalama ²²²Rn konsantrasyonu 46 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır. Ortalama ²²²Rn

konsantrasyonunun katlara göre değişiminin zemin kat ortalaması 46,87 Bq/m³, birinci kat ortalaması 46,5 Bq/m³ ve ikinci kat ortalaması 29 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre ²²²Rn konsantrasyon ortalama sıralaması Zemin kat>1. Kat>2. kat olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Beşiri ilçesinde elde değerler Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı temel güvenlik standartları çerçevesinde Türkiye için önerilen maksimum 400 Bq/m³ düzeyine yakındır. Bundan dolayı Beşiri ilçesinde ileriki yıllarda tedbir amaçlı ²²²Rn konsantrasyon ölçümleri yapılabilir.

Çizelge 4.6 Beşiri ilçesinde bulunan okullardan elde edilen sonuçlar

Okul adı	Kat	İz Sayısı	İz Yoğunluğu (iz sayısı/cm ²)	Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Asmadere İlkokulu	Zemin	112	23.932	53
	Zemin	133	28.419	63
	1.	107	22.863	50
Cumhuriyet İlkokulu	Zemin	76	16.239	36
	1.	74	15.812	35
	2.	62	13.248	29
Doğankavak İlkokulu	Zemin	101	21.581	48
	Zemin	60	12.821	28
	Zemin	81	17.201	38
Durucak İlkokulu	1.	112	23.932	53
	Zemin	121	25.855	57
	Zemin	79	16.880	37
Kapaklı İlkokulu	Zemin	74	15.812	35
	Zemin	87	18.590	41
	Zemin	84	17.949	40
Yontuk Yazı İlkokulu	Zemin	119	25.427	56
	Zemin	101	21.581	48
	Zemin	120	25.641	57
Beşpınar İlkokulu	Zemin	119	25.427	56
	Zemin	120	25.641	57
	1.	101	21.581	48

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

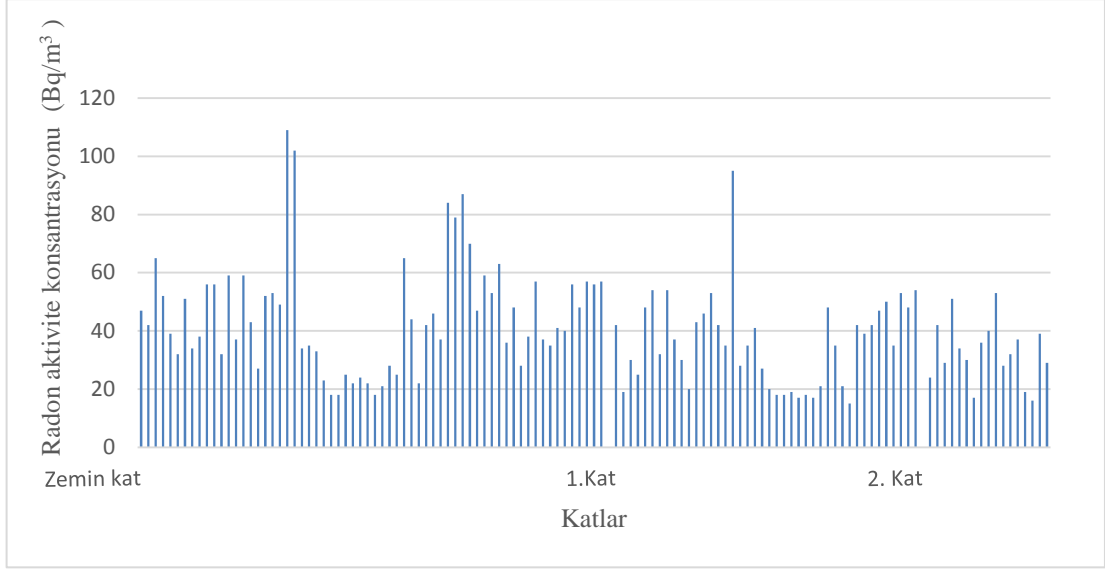
5.1. Sonuçlar

Batman'da bulunan okullardan elde edilen istatistiksel değerler Çizelge 5.1'de verilmiştir. İl merkezinde ^{222}Rn aktivite konsantrasyonunun aritmetik ortalaması 44 Bq/m^3 , geometrik ortalaması 41 Bq/m^3 , minimum değeri 17 Bq/m^3 ve maksimum değeri 109 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Ölçümlerin istatistik değerleri

	Şehir merkezi (Bq/m^3)	Kozluk (Bq/m^3)	Gercüş (Bq/m^3)	Sason (Bq/m^3)	Beşiri (Bq/m^3)	Hasankeyf (Bq/m^3)
Aritmetik ortalama	44	21	40	25	46	56
Geometrik ortalama	41	20	37	24	45	53
Medyan	42	21	56	23	48	47
Standard sapma	18	4	16	7	10	19
Minimum	17	16	15	18	28	37
Maximum	109	28	65	35	63	87

İlçelere göre incelendiğinde ^{222}Rn konsantrasyonunun aritmetik ortalaması en düşük 21 Bq/m^3 ile Kozluk ilçesinde, en yüksek değer ise 56 Bq/m^3 ile Hasankeyf ilçesinde ölçülmüştür. Geometrik ortalama en yüksek değeri 53 Bq/m^3 Hasankeyf ilçesinde, en düşük değeri 20 Bq/m^3 Kozluk ilçesinde hesaplanmıştır. ^{222}Rn aktivite konsantrasyonunun minimum değeri Gercüş ilçesinde 15 Bq/m^3 , maksimum değeri ise il merkezinde 109 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.1 Katlara göre ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerleri

^{222}Rn konsantrasyonu en fazla zemin katta en az ikinci katta olduğu tespit edilmiştir. Radon gazı ağır bir gaz olduğundan üst katlara çıkıldıkça yoğunluğunun düşük çıkması gerekir. Ölçümlerden elde edilen verilerle oluşturulan grafik bu durumu doğrulamaktadır. Birinci katta istisnai bir durum olarak bir okulda ^{222}Rn konsantrasyonu diğer okullara göre yüksek çıkmıştır. Bunun birçok nedeni olabilir. Aynı şekilde iki okulda zemin katlarda yüksek değerler görülmektedir. Bu yüksek değerler aynı binadadır.

Radon (^{222}Rn) gazı için yıllık etkin doz değerini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$\text{AED}_{\text{Rn}} = \text{A}_{\text{Rn}} \times \text{F} \times \text{T} \times \text{DDK} \quad (5.1)$$

AED_{Rn} yıllık etkin doz değeri (mSv) A_{Rn} radon aktivite konsantrasyonu (Bq/m^3), F radon ve bozunma ürünleri arasındaki denge faktörü, binalar için 0,4 olarak kabul ediliyor. T binalarda geçirilen süre ve DDK radondan kaynaklanan doz dönüşüm katsayısıdır (radon için DDK değeri $9 \text{ nSv} (\text{Bq h m}^{-3})^{-1}$).

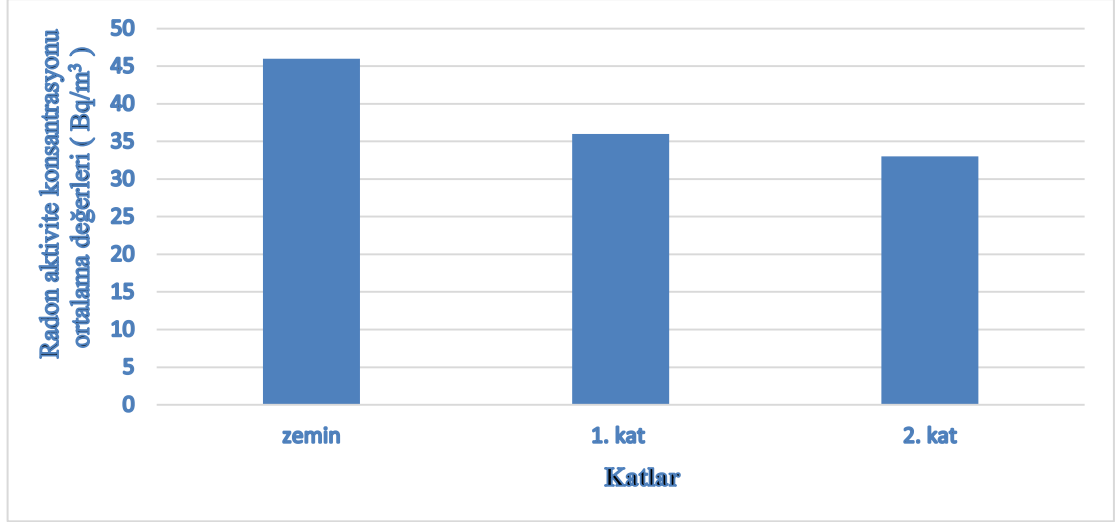
Çizelge 5.2’de ilçelere göre efektif doz değerlerine baktığımızda il merkezinde 0,23 mSv, Kozluk’ta 0,10 mSv, Gercüş’te 0,27 mSv, Sason’da 0,12 mSv, Beşiri’de 0,40 mSv ve Hasankeyf’te ise 0,28 mSv olarak ölçülmüştür. Efektif doz değeri en yüksek ilçe 0,40 mSv ile Beşiri ilçesi olurken, en düşük doz değeri 0,10 mSv ile Kozluk ilçesi olmuştur. Katlardaki dağılıma baktığımızda ise zemin katta 0,28 mSv, birinci katta 0,23 mSv ve ikinci katta ise 0,17 mSv olarak ölçülmüştür.

Genel olarak deęerlendirdiđimizde ise en dűşűk 0,07 mSv en yűksek 1,55 mSv ve ortalama 0,25 mSv olarak ۆlçűlműştűr. Bu deęerlere bakıldıđında Batman'da radon kaynaklı bir tehdit görűlmemektedir. Ancak bu çalıřmada elde edilen sonuçların sabit bir sonuç olarak kabul edilmemesi gerekir.

Çizelge 5.2. İlçeler göre efektif doz değeri, katlara göre efektif doz değeri ve maksimum-minimum doz değerleri

	İstasyonlar	Yıllık Etkin Doz (mSv)
İlçeler	Şehir Merkezi	0,23
	Kozluk	0,10
	Gercűř	0,27
	Sason	0,12
	Beşiri	0,40
	Hasankeyf	0,28
Katlar	Zemin Kat	0,28
	1. Kat	0,23
	2. Kat	0,17
Genel Olarak	Minimum	0,07
	Maksimum	1,55
	Ortalama	0,25

Şekil 5.2'de görűldűđű gibi katlara göre ortalamalara baktığımızda zemin katlarda ۆlçűlen radon aktivite konsantrasyonu ortalaması 45.5 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır. Birinci katların ortalama değeri $36,02 \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. İkinci katların ortalama değeri $32,70 \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Üst katlara çıkıldıkça radon aktivite konsantrasyonunun azalması beklenir. Sonuçlar bu beklentiyi zemin > 1. kat > 2. kat sıralaması ile karşılamaktadır.



Şekil 5.2. Katlara göre radon aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri

Batman merkez ve beş ilçede doğada bulunan dört temel radyoaktif elementin doz değerlerine baktığımızda Beşiri ilçesinin en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Beşiri'den sonra en büyük değer il merkezinde görülmüştür. Ortalama değerlere baktığımızda 329 ± 126 değerle en fazla ^{40}K (Bq.kg^{-1}) değeri görülmektedir. En düşük ise 12 ± 6 değerle ^{137}Cs nin değeri görülmektedir. ^{226}Ra ortalaması ise 31 ± 10 olarak çıkmıştır. (AEDE) yıllık eşdeğer etkin doz değerine baktığımızda en yüksek değer 0.072 ± 0.017 ile Beşiri'de görülürken 0.045 ± 0.010 ile en düşük değer il merkezinde görülmektedir. Havada ortalama absorbe doz hızına (ADRA) baktığımızda ise yine en yüksek değer 59 ± 14 ile Beşiri'de görülmektedir. En düşük değer 37 ± 8 ile il merkezinde görülmektedir.

Topraktaki radyonüklitlerin aktiviteleri biliniyorsa yerden bir metre yükseklikte ölçülen doz hızı belirlenebilir. Bu çalışmanın yapıldığı okulların bulunduğu bölgelerden alınan toprak örneklerinin analizinden elde edilen radyonüklit aktivitelerinden yararlanılarak toprak örneklerindeki gama dozu (D) değerleri (5.1) numaralı eşitlikten yararlanılarak hesaplanmış ve her bir toprak örneği için hesaplanan gama dozu değerleri yukarıdaki çizelgelerde verilmiştir.

$$D \text{ (nGy/s)} = (0,462 \times ^{238}\text{U}) + (0,604 \times ^{232}\text{Th}) + (0,0417 \times ^{40}\text{K}) \quad (5.2)$$

Elde edilen gama dozları kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) yani insanın bir yılda maruz kaldığı çeşitli radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyonlardan (ışımaldan) alacağı doz miktarı bulunabilmektedir. Yukarıdaki

denklem (5.2) kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmaktadır (UNSCEAR, 2000).

$$AEDE (\mu\text{Sv/y}) = \text{SGD} \times \text{ÇGDĐF} \times \text{MF} \quad (5.3)$$

Çizelge 5.3. Radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyon değerleri

İstasyonlar	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	Doz Hızı (nGy/h)	AED (mSv)
Şehir Merkezi	31±7	23±9	215±84	10±8	37±8	0.045±0.010
Kozluk	23±6	22±6	366±96	12±4	43±7	0.053±0.007
Gercüş	25±6	18±3	398±67	16±7	39±3	0.048±0.012
Sason	24±4	27±9	400±77	10±2	44±8	0.054±0.010
Beşiri	42±13	37±11	412±102	11±5	59±14	0.072±0.017
Hasankeyf	27±4	22±3	361±56	6±2	41±6	0.050±0.007
Ortalama	31±10	25±10	329±126	12±6	43±12	0.053±0.014

Bu eşitlikte çevresel gama dozu dönüşüm faktörü 0,7 Sv/Gy olarak belirlenmiştir ve bu değer hem kapalı ortam içinde hem de kapalı ortam dışında yapılan ölçümlerde değişmemektedir. Yine bu eşitlikte bilinmesi gereken diğer bir faktör, meşguliyet faktörü yani insanların bu ışınlara maruz kaldıkları süredir. Bu çalışmada yapılan hesaplarda, insanların zamanlarının %20'sini açık alanlarda ve %80'ini kapalı alanlarda geçirdikleri göz önüne alınmıştır (Meşguliyet faktörü kapalı ortam için 0,8 ve kapalı ortam dışı için ise 0,2 olarak alınır). Batman'daki ilkokullarda gerçekleştirilen bu çalışma, okul binalarında öğrencilerin ve çalışanların aldığı radon aktivite yoğunlukları ve yıllık etkin dozlar hakkında bilgi vermektedir. Kapalı radon ölçümleri Batman ilindeki 41 ilkokulda CR-39 tabanlı radon dozimetreler kullanılarak gerçekleştirildi. Çalışma alanındaki kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 15 ila 109 Bq/m³ arasında değişmekte olup ortalama 41 Bq/m³'dür. Hesaplanan yıllık etkin doz 0,07 ila

1,55 mSv arasında değişmekte ve ortalama eylem 0,25 mSv ve önerilen eylem düzeyinden (3-10 mSv) daha düşüktür. ^{222}Rn , ^{226}Ra 'nın bir ürün çekirdeği olduğundan yüksek ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları içeren alanlarda inşa edilen okullarda yüksek kapalı radon konsantrasyonunun ölçülmesi beklenmektedir. Öğrenciler ve çalışanlar zamanlarının çoğunu okulda harcarken doğal radyasyondan aldıkları dozu tahmin etmek önemlidir. Radon ölçümlerinin yapıldığı her okulun yakın çevresinde toplanan toprak örneklerinde ^{137}Cs , ^{232}Th ^{226}Ra and ^{40}K radyonüklidlerin aktiviteleri gama ışını spektroskopisi ile belirlendi. Numunelerde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 31, 25, 329 ve 12 Bq/kg idi. Elde edilen değerler, havadaki ortalama emilen doz oranının (ADRA) ve tüm numuneler için yıllık etkin doz eşdeğerinin (AEDE) sırasıyla 43 nGy h⁻¹ ve 0,25 mSv olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.4. Bazı ülkelerde bulunan ilkokullarda yapılan ölçüm sonuçları

Ülke Adı	Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)	Referanslar
Belçika	120	(Poffijn ve ark, 1992)
İtalya	100	(Cafaro ve ark., 2014)
S. Arabistan	75	(Al-Mosa, 2007)
Makedonya	88	(Stojanovska, 2014)
Slovenya	170	(Vaupotic, 2001)
Yunanistan	149	(Clouvas, 2011)
Sırbistan	128	(Curguz ve ark., 2015)
Nijerya	45	(Obed ve ark, 2011)
Kosova	198	(Nafezi ve ark., 2014)
Türkiye (Kastamonu)	12-59	(Yalçın ve ark., 2015)
Türkiye (Trabzon)	150	(Çevik ve ark., 2013)
Türkiye (Batman)	41	Bu çalışma

Çizelge 5.4'te bazı ülkelerde yapılan çalışmalarda elde edilen radon gazı konsantrasyon değerleri verilmiştir. Buna göre en yüksek konsantrasyon değeri 198 Bq/m³ ile Kosova'da ölçülürken en düşük değer ise 45 Bq/m³ ile Nijerya da ölçülmüştür. Diğer ülkelere baktığımızda İtalya'da 100 Bq/m³, Suudi Arabistan'da 75 Bq/m³, Makedonya'da 88 Bq/m³, Slovenya'da 170 Bq/m³, Yunanistan'da 149 Bq/m³, Sırbistan'da 128 Bq/m³ ve Kosova'da 198 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. Ülkemizde ise Kastamonu'da 12-59 Bq/m³, Trabzon'da 150 Bq/m³, bu çalışmada ise 41 Bq/m³ olarak

ölçülmüştür. Ülkemizde ölçülen değer diğer ülkelerin ortalamasına yakın değerlerdir. Trabzon'da ölçülen değer Kosova ve Slovenya'dan daha düşük çıkmıştır. Kastamonu'da ölçülen değer ortalaması en düşük değer olan Nijerya'dan daha düşük düzeyde çıkmıştır. Bu çalışmada çıkan sonuç ise Nijerya'dan sonraki en düşük değerdir. Ülkemizde yapılan üç ölçümün ortalaması Nijerya'dan sonra en düşük değere sahiptir. Bu durum ülkemizde yapılan çalışmalarda radon gazının bina içi konsantrasyonunun sağlık açısından tehlike oluşturulabilecek değerlerin altında olduğunu göstermektedir.

5.2. Öneriler

Bu çalışma Batman ili merkezindeki 41 ilkokulda okul nüfusu ve okulun çalışma bölgesinde dağılımı dikkate alınarak CR-39 tabanlı radon dozimetresi kullanılarak kapalı radon ölçümleri yapılmıştır. Radon ölçümleri, radon konsantrasyonlarının bütünleşmiş ve uzun vadeli izlenmesi için en güvenilir teknik olan katı hal nükleer iz dedektörü (SSNTD) kullanılarak gerçekleştirildi. Kapalı radon ölçümleri, Mart-Mayıs 2012 tarihleri arasında Batman'daki 41 ilkokulda mümkün olduğunca düzgün şekilde dağılmış olarak seçilerek 3 ay süreyle gerçekleştirildi.

Bu çalışma kapsamında Batman'da bulunan ilkokullarda bina içi Radon (Rn^{222}) konsantrasyonun ölçülmesi hedeflenmiştir. Batman ili ve ilçelerinde bulunan ilkokul binalarında sağlık açısından tehlikeli olan radon gazı düzeyinin ölçülmesine ihtiyaç vardır. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri bilinen bir gerçekliktir. İl genelinde okullarda radon gazına maruz kalma düzeylerinin belirlenebilmesi için tüm okullarda radon gazı ölçümü yapılması daha sağlıklı bir sonuç verecektir. Ancak imkânların kısıtlı olmasından dolayı sınırlı sayıda okul örnek evren olarak alınarak ölçüm yapılmıştır. Radon gazının insan sağlığı üzerine olan etkilerinden dolayı belli yıl aralıklarla aynı okullarda radon gazı aktivitesi ölçülebilir. Bu tekrar yapılan çalışmalarda bir değişim olması durumunda bunların not edilip ilgili kurum ve kuruluşlarla paylaşılması gerekir. Ülkemizdeki radyasyon kaynaklarının tam olarak bilinmemesi nedeniyle insan sağlığının korunması hususunda ve bu tez kapsamında yapılan Batman ve ilçelerinde bulunan ilkokul binalarında radon gazı ölçülmesi çalışması tüm ülke genelinde yapılmalıdır. Böylelikle radyolojik risklerin tahminine ve çalışmalarına yönelik gelecek zamanlarda oluşacak radyoaktif kirliliğin değişmesinin değerlendirilmesi hususunda ülkemizdeki tüm ilkokullarda benzer çalışmalar yapılarak çocukların maruz kalabilecekleri radon miktarının tespit edilebilir ve riskin yüksek

olduğu bölgelerde önlemler alınması sağlanabilir. Batman ilkokullarında yapılan bu çalışma ortaokul ve liselerde yapılarak öğrencilerin genel olarak maruz kalabilecekleri radon düzeyi ortaya çıkarılabilir. Bu alışmalar periyodik bir hale getirilerek değişimler izlenmelidir. Gerektiğinde koruyucu tedbirler alınmalıdır.

Bu alışma, öğrencilerin ve çalışanların aldığı kapalı radon ve harici gama ışınlarının dünya ortalamalarının altında olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak bu çalışmada göz önüne alınan okullarda herhangi bir önlem alınmasına gerek olmadığı söylenebilir. Bu çalışmanın sonuçları, güvenlik önlemlerini benimsemek ve radyasyon acil durumlarıyla etkili bir şekilde mücadele etmek için yararlı bir temel veri sağlayacaktır.



KAYNAKÇA

- Akkurt, N., 2014, Eskişehir İlçelerinde Radon Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Al-Mosa, T.M.A., 2007, Indoor Radon Concentration In Kindergartens, Play- And Elementary Cchools İn Zulfy City (Saudi Arabia). Riyadh, MSc. Thesis, *Department of Physics and Astronomy at the College of Science, King Saud University.*
- Arya A P. (Edit: Şahin, Y.), 1999, Çekirdek Fiziğinin Esasları., Aktif Yayın, Dağıtım LTD ŞTİ , İstanbul.
- Beir, V. I., 1999, Health Effects Of Exposure To Radon, Committee On Health Risks Of Exposure To Radon, National Academies Press, Washington (DC).
- Bozkurt, A., Yılmaz, N., Kam, E., Karahan, G. and Osmanlioğlu, A.E., 2007, Assessment Of Environmental Radioactivity For Sanliurfa Region Of Southeastern Turkey, *Elsevier*, 1387-1391.
- Cafaro, C., Bossew, P., Giovanni C. and Garavaglia M., 2014, Definition Of Radon Prone Areas İn Friuli Venezia Giulia Region, Italy, *Using Geostatistical Tools, Journal Of Environmental Radioactivity*, 208-219.
- Cevik, U., Celik, A., Celik, N., Ozkalayci, F. and Akbulut, S., 2013, Assessment of Radiological Levels at Schools in Trabzon, Turkey, *Indoor Built Environ*, 22, 376-383
- Clouvas, A., Xanthos, S. and Takoudis G., 2011, Indoor Radon Levels İn Greek Schols, *Elsevier*, 881-885.
- Ćurguz, Z., Stojanovska, Z., Žunić, Z. S., Kolarž, P., Ischikawa, T., Omori, Y., Mishra, R., Sapra, B. K., Vaupotič, J., Ujić, P. and Bossew, P., 2015, Long-term measurements of radon, thoron and their airborne progeny in 25 schools in Republic of Srpska. *J. Environ. Radioact.*, 148, 163–169.
- Damla, N., 2006. Doğu Karadeniz Bölgesindeki İçme Sularında Toplam Alfa, Toplam Beta Ve Gama Radyoaktivliği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Damla, N., Cevik, U., Kobya, A. I., Celik, A., Celik, N. and Yıldırım, I., 2011, Assessment Of Natural Radioactivity And Mass Attenuation Coefficients Of Brick And Roofing Tile Used İn Turkey. *Radiation Measurements*, 701-708.
- Damla N. ve Aldemir K. Batman'da bulunan ilkokullarda bina içi radon gazı düzeyinin belirlenmesi 50(2) 226-234, 2014.
- Daşdağ, S., 2010, İyonlaştırıcı Radyasyonlar Ve Kanser. *Dicle Tıp Dergisi / Dicle Medical Journal*, 177-185.
- Demirel, S., 2013, Konya'nın İçme Suyunun Sağlandığı Bazı Kuyu Sularında ²²²Rn Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Durrani, S. A. and Ilic, R., 1997, Radon Measurements By Etched Track Detectors: Applications In Radiation Protection, Earth Sciences And The Environment, World Scientific Publishing Co. Pte.Ltd, England.
- EPA, 1986, Radon Reduction Techniques For Detached Houses, Technical Guidance, EPA 625/5-86-019. Resareh Triangle Park. Air And Energy Engineering Research Laboratory Office Of Research And Development, Usenvironmental Protection Agency.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 52.Basım. Ankara: TC Sağlık Bakanlığı, Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü Yayını, 9-10.
- IARC, 1988, Manmade Mineral Fibers And Radon, IARC Monographs On The Evaluation Of Carcinogenic Risks To Humans, 43, Lyon.
- ICRP, 1994, International Commission on Radiological Protection, Protection Against Radon-222 at Home and at Work, *Pergamon Press ICRP Publication 65*, 45-45.
- ICRP, 1994, International Commission on Radiological Protection, Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Pergamon Press ICRP Publication 65, 45 pp.
- Kam, E. and Bozkurt, A., 2007. Environmental Radioactivity Measurements In Kastamonu Region Of Northern Turkey, *Applied Radiation And Isotopes*, 440-444.
- Karadem, A., 2011, Cr-39 Dedektörleri İle Mağaralarda Radon Konsantrasonu Ölçümleri, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Krane, K. S., 1988. Introductory Nuclear Physics, Canada.
- Krane, S. K. (Edit: Şarer, B.), 2001. Nükleer Fizik 1. Cilt Ders Kitabı, Birinci Baskı, Palme Yayın Dağıtım LTD. ŞTİ., Ankara.
- Kulalı, F., 2009, Topraktaki Radon Konsantrasyonu Ölçümü Ve Deprem İlişkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Maged, A. F., 2006, Radon concentrations in elementary schools in Kuwait, *Health physics*, 90(3), 258-262.
- Nafezi, G., Bahtıjarı, M., Xhafa, B., Hodolli, G., Kadırı, S., Makollı, S., Shala, B. and Mula, Z., 2014, Monitoring Of Indoor Radon Concentration In Some Elementary And Secondary Schools Of Kosovo, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/ Journal Of The Institute Of Natural & Applied Sciences, 43-47.
- NASA, The electromagnetic spectrum <http://science.hq.nasa.gov/kids/imagers/ems/index.html> [Ziyaret Tarihi 27.12.2015].
- Obed, R.I., Ademola, A. and Vascotto, M., 2011, Radon Measurements By Nuclear Track Detectors In Secondary Schools In Oke-Ogun Region, Nigeria. *Journal Of Environmental Radioactivity*, 1012-1017.

- Özmen, B., 1995, Depremlerin Önceden Bilinmesinde Kullanılan Yöntemler, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Seminer Dersi (JEO 500)
- Pershagen, G. et al., 1994, Residential Radon Exposure And Lung Cancer In Sweden, *The New England Journal Of Medicine*, 159-164.
- Poffijn, A., Uttenhove, J., Drouget, B., and Tondeur, F., 1992, The radon problem in schools and public buildings in Belgium, *Radiation Protection Dosimetry*, 45(1-4), 499-501.
- Stojanovska, Z., Zunic, Z. S., Bossew, P., Bochicchio, F., Carpentieri, C., Venoso, G. and Cucos-Dinu, A., 2014, Preliminary results from time integrated measurements concentrations of indoor radon, thoron and their progenies in schools of Republic of Macedonia. *Radiation Protection Dosimetry*, 1(162), 152-156.
- TAEK, <http://Www.Taek.Gov.Tr/Bilgi-Kosesi/184-Radyasyon-İnsan-Ve-Cevre/Radyasyonla-Birlikte-Yasiyoruz/501-Dogal-Radyasyon-Kaynaklari.Html>, [Ziyaret Tarihi: 5 Temmuz 2014].
- UNSCEAR 2000, United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation, Exposure From Natural Radiation Sources, United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2000, Sources And Effects Of İonizin Radiation, New York, UNSCEAR
- USA, 1989 Environmental Protection Agency, Radon Measurement in Schools, EPA 520/1 89-010 Office Of Radiation Programs, Washington, D.C.
- Vaupotic, J., Kobal, I., 2001, Radon Exposure In Slovenian Spas, *Radiation Protection Dosimetry*, 265-270.
- Yalçın, S., Aras G., Akar T.Ü. and Gürler O., 2015, Indoor Radon Levels In Primary And Secondary Schools Of Kastamonu Turkey, *Journal Of Environmental Protection And Ecology* , 16(1), 18-22.
- Yeşilbağ, Y. Ö., 2008, Artvin Ve Ardahan İlleri Ev İçi Radon Konsantrasyonu Ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Kamuran ALDEMİR
Uyruğu: T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi: Silvan 05.05.1974
e-mail: kamuranaldemir@gmail.com

EĞİTİM

<u>Derece</u>	<u>Adı</u>	<u>Bitirme Yılı</u>
Lise	Fatih Lisesi (BATMAN)	1995
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi Fatih Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği	2000
Yüksek Lisans	Batman Üniversitesi	Devam Ediyor

Uzmanlık Alanı:

Yabancı Diller: İngilizce

Yayımlar:

Makale: Nevzat Damla & Kamuran Aldemir (2014) Radon survey and soil gamma doses in primary schools of Batman, Turkey, Isotopes in Environmental and Health Studies, 50:2, 226-234,