

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RİZE İLİNDE AKCİĞER KANSERLİ BİREYLERİN EVLERİNDE
RADON GAZI ÖLÇÜMLERİ VE AKCİĞER KANSERİ RADON
GAZI İLİŞKİSİ

EMREHAN DURSUN

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. SONGÜL AKBULUT

TEZ JURİLERİ

DOÇ. DR. NECATİ ÇELİK

YRD. DOÇ.DR. NİLÜFER AS

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE-2016

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RİZE İLİNDE AKCİĞER KANSERLİ BİREYLERİN EVLERİNDE RADON GAZI
ÖLÇÜMLERİ VE AKCİĞER KANSERİ RADON GAZI İLİŞKİSİ**

Doç. Dr. Songül AKBULUT danışmanlığında, Emrehan DURSUN tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 22/09/2016 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı	İmzası
Başkan	: Doç. Dr. Necati ÇELİK	
Üye	: Doç. Dr. Songül AKBULUT	
Üye	: Yrd. Dr. Nilüfer AS	


Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



ÖNSÖZ

Rize İl'inde akciğer kanserli hastaların evlerinde radon gazı seviyesinin belirlenerek akciğer kanseri radon gazı ilişkisini belirtmeye yönelik olarak yapılan bu çalışma, TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek Programı tarafından desteklenmiştir. Ayrıca çalışmamız ek radon iz dedektörlerinin alımı, kimyasal ve sarf malzemelerin temini, analiz masrafları ve gündelik ve yolluk giderleri için Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi BAB birimi tarafından da desteklenmiştir.

Projemiz, halk sağlığını ilgilendiren ve ciddi bir çevresel risk oluşturan radyoaktif radon gazını konu almıştır. Bölgede kanser vakalarına sıkça rastlanmakta olup, bunun nedenlerinin bir kısmının araştırılması bakımından önemli bir çalışmadır. Çalışmamız kapsamında örnekleme ve ölçümler akciğer kanserli hastaların evlerinde yapılmıştır.

Yüksek Lisans Tez çalışmam boyunca karşılaştığım zorlukların asılmasında bana yol gösteren, her türlü destek ve imkânı sağlayan, ayrıca değerli bilgilerinden yararlandığım, saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Songül AKBULUT'a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

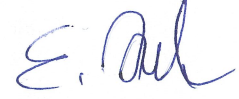
En başta sıkıntılı hallerine rağmen bize evlerini açan hastalarımız ve hasta yakınlarına göstermiş oldukları ilgi ve güler yüz için en içten teşekkürü borç biliyorum, kendilerine acil şifalar diliyorum (vefat edenlere Allah'tan rahmet diliyorum). Projemize maddi destek sağlayan kurumlarımız TÜBİTAK ve RTEÜ-BAB'a teşekkür ediyorum. Adreslere dedektör dağıtılmasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Dr. Nilüfer AS'a, Projemizin ölçüm sonuçlarına katkılarından dolayı TAEK'te Uzman araştırmacı Halim TAŞKIN'a teşekkürlerimi sunarım. Dedektörlerin dağıtılması, toplanmasında benimle birlikte çalışma yapılan bölgelere gelerek bana yardım eden yüksek lisans öğrencisi İlker Sadık İSLAM' a teşekkür ederim.

Eğitim süreci boyunca maddi ve manevi yardımlarını hiçbir şekilde esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Emrehan DURSUN

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan Rize İlindeki Akciğer Kanseri Bireylerin Evlerinde Radon Gazı Ölçümleri ve Akciğer Kanseri Radon Gazı İlişkisi başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 27.09/2016



İmza

Emrehan DURSUN

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

RİZE İLİNDE AKCİĞER KANSERLİ BİREYLERİN EVLERİNDE RADON GAZI ÖLÇÜMLERİ VE AKCİĞER KANSERİ RADON GAZI İLİŞKİSİ

Emrehan DURSUN

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Doç. Dr. Songül AKBULUT**

Çalışma kapsamında, akciğer kanserli hastaların evlerinde CR-39 iz dedektörleri kullanılarak radon gazı ölçümleri 2013 yaz ve 2014 kış mevsiminde yapılmıştır. Hastaların alışkanlıkları (sigara kullanımı, beslenme alışkanlıkları gibi), oturdukları binaların ve bina zemininin özellikleri ve hastaneden alınan bilgiler doğrultusunda evsel radon etkilenimiyle akciğer kanseri arasındaki ilişki irdelenmiştir. Bunun yanında radonun gazının kaynağı olması dolayısıyla evlerin bulunduğu zeminden alınan toprak örneklerinden gama spektrometrik analizi yardımı ile ^{238}U ve ^{226}Ra aktiviteleri tayin edilmiştir. Hazırlanan anketler hastalara uygulanarak, toprakta ^{238}U ve ^{226}Ra numunelerinde radon analizleri yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. İl geneli kış mevsimi iç ortam ve dış ortam radon aktivite değerleri sırasıyla $84,00 \text{ Bq/m}^3$ ve $34,10 \text{ Bq/m}^3$ iken etkin doz değeri sırasıyla $2,11 \text{ mSv/y}$ ve $0,32 \text{ mSv/y}$, yaz mevsimi iç ortam aktivite değerleri sırasıyla $32,51 \text{ Bq/m}^3$ ve $15,34 \text{ Bq/m}^3$ iken etkin doz eşdeğeri $0,82 \text{ mSv/y}$ ve $0,15 \text{ mSv/y}$ bulunmuştur. Radon maruziyeti dolayısıyla oluşacak akciğer kanseri riskini veren modele göre; yaz mevsiminde % 5, kış mevsiminde ise % 11 akciğer kanseri ölümleri radon maruziyetinden kaynaklandığı sonucunu vermiştir. Toprakta mevcut olan ^{238}U ve ^{226}Ra 'nın ortalama aktivite değerleri sırasıyla $114,93 \text{ Bq/kg}$ ve $116,40 \text{ Bq/kg}$ 'dır.

2016, 79 sayfa

Anahtar Kelimeler: Radon Gazı, Akciğer Kanseri, Eşdeğer Doz, Ev, Rize

ABSTRACT

RADON GAS MEASUREMENTS IN HOMES OF LUNG CANCER PATIENTS IN THE RIZE PROVINCE AND THE RELATIONSHIP BETWEEN LUNG CANCER CASES AND RADON GAS

Emrehan DURSUN

Recep Tayyip Erdoğan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Master Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Songül AKBULUT

In this study, radon gas measurements were done using CR-39 track detectors in the homes of lung cancer patients in the summer of 2013 and in the winter of 2014. The relationship between radon gas levels in the patients' homes, their living habits, the features of the building the patients resided in, and the building areas was investigated. In this way, the relationship between radon gas levels and lung cancer patients was identified. Furthermore, ^{238}U and ^{226}Ra (precursors to radon) activities of soils where the homes were located on were determined by means of gamma spectrometric analysis. The results show that indoor/outdoor ^{222}Rn concentrations were found to be 84/34,10 Bq/m³ in the winter season and 32,51/15,24 Bq/m³ in the summer season which correspond to, respectively, 2,11/0,32 and 0,82/0,15 mSv/y effective dose rate. It was estimated that the indoor and outdoor radon exposure was responsible for 5% of lung cancer deaths occurred in the summer of 2013 and 11% of lung cancer deaths occurred in the winter of 2014 in the Rize province. The mean activity concentrations of ^{238}U and ^{226}Ra in the soils were determined to be 114,93 Bq/kg and 116,40 Bq/kg, respectively.

2016, 79 pages

Keywords: Radon Gas, Lung Cancer, Dose, Home, Rize

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	VIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Radyoaktivite	10
1.3. Radyoaktif Bozunma ve Bozunma Türleri.....	11
1.3.1. Alfa Bozunması	12
1.4. Radyoaktif Bozunma Kanunu.....	15
1.4.1. Radyoaktif Numunenin Yarı Ömrü ve Ortalama Ömrü.....	17
1.5. Doğal Radyoaktivite ve Doğal Radyasyon Kaynakları	18
1.5.1. Radon	19
1.5.1.1. Topraktaki Radon	24
1.5.1.2. Sulardaki Radon	24
1.5.1.3. Atmosferdeki Radon.....	25
1.5.1.4. Radon Gazının İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.....	25
1.6. Radyasyon Dozu ve Ölçüm Birimleri	28
1.6.1. Işınlama Birimi	29
1.6.2. Soğurulan Doz Birimi	29
1.6.3. Eşdeğer Doz Birimi	29
1.7. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri	30
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	31
2.1. Rize İlinin Jeolojik Yapısı.....	31
2.2. Ev İçi Radon Konsantrasyonlarının belirlenmesi	32

2.2.1.	Adreslerin Belirlenmesi ve İz dedektörlerinin Evlere Dağıtımı	32
2.2.2.	CR-39 Pasif Örnekleme Metodu.....	33
2.2.3.	İz dedektörlerinin Ölçümleri.....	34
2.3.	Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizleri	36
2.3.1.	Örneklerin Analize Hazırlanması.....	36
2.3.2.	Deneysel Sistem ve Spektrum Analizi.....	37
2.3.3.	Aktivite Hesabı	37
2.4.	İstatistiksel Değerlendirme	38
3.	BULGULAR	39
3.1.	Evlere Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	39
3.2.	Radon Maruziyeti Dolayısıyla Oluşacak Akciğer Kanseri Riskinin Hesaplanması	47
3.3.	Anketlerin Değerlendirilmesi	49
3.4.	²³⁸ U ve ²²⁶ Ra Aktiviteleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	51
3.5.	İstatistiksel Bulgular	55
3.5.1.	Radon Konsantrasyonu Dağılımı Bakımından Vaka ve Kontrol Gruplarının Karşılaştırılması	56
3.5.2.	Ev İçi ve Dışı Radon Konsantrasyonlarının Mevsimlerle İlişkisi	57
3.5.3.	Radon ve Radyum Konsantrasyon Değerleri Arasındaki İlişki	59
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	61
5.	ÖNERİLER	62
	KAYNAKLAR	64
	EKLER	73
	ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çekirdeklerdeki nötron sayılarının atom numarasıyla değişimi.....	11
Şekil 2. Alfa bozunumu	13
Şekil 3. Kuyu potansiyeli.....	14
Şekil 4. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi	16
Şekil 5. Doğal radyasyon kaynakları	19
Şekil 6. ^{238}U 'in bozunma ürünleri seması (NCRP 97, 1988)	20
Şekil 7. Radon gazının bina içine giriş yolları.....	22
Şekil 8. Rize ili haritası.....	31
Şekil 9. CR-39 pasif nükleer iz dedektörünü içeren şematik gösterimi	33
Şekil 10. Dedektör çipi ve kazıma diski	35
Şekil 11. Radosys ölçüm sistemi ve alfa izlerinin görüntüsü	36
Şekil 12. İlçelere göre bina içi ve bina dışı mevsimsel ^{222}Rn aktivite değerleri.....	42
Şekil 13. Ev içi ve dışı konsantrasyonlarının Rize ilindeki dağılımı.....	43
Şekil 14. İl ve ilçeler bazında yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	45
Şekil 15. Yıllık etkin doz eşdeğerleri 1.3 mSv/y değerinden yüksek çıkan bazı adresler	45
Şekil 16. Topraktaki ^{238}U ve ^{226}Ra konsantrasyonları	53
Şekil 17. Topraktaki ^{238}U aktivite değerlerinin Rize il geneli dağılımı.....	54
Şekil 18. Topraktaki ^{226}Ra aktivite değerlerinin Rize il geneli dağılımı	54
Şekil 19. a) ^{222}Rn - ^{226}Ra kış sezonu aktivite konsantrasyon ilişkisi b) ^{222}Rn - ^{226}Ra yaz sezonu aktivite konsantrasyon ilişkisi	59

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.	Radon risk değerlendirmesi	28
Tablo 2.	CR-39 nükleer iz dedektörlerinin teknik zellikleri	34
Tablo 3.	Dağıtılan ve geri alınan dedektörlerin sayısı	40
Tablo 4.	İlçeler bazında toplanan dedektörlerin dağılımı	40
Tablo 5.	²²² Rn aktivite konsantrasyonları ve bina içi etkin doz eş değerler	41
Tablo 6.	Türkiye’de ve bazı ülkelerde radon konsantrasyonları	47
Tablo 7.	Topraktaki ²³⁸ U/ ²²⁶ Ra aktiviteleri ve etkin doz değerleri	53
Tablo 8.	Vaka ve kontrol gruplarına göre ²²² Rn dağılımı	55
Tablo 9.	Vaka tiplerine göre ²²² Rn konsantrasyonlarının dağılımı	56
Tablo 10.	Grup istatistikleri	57
Tablo 11.	Kontrol ve vaka grubunu karşılaştırma için Independent Samples T-testi Sonucu	57
Tablo 12.	Mevsimsel ²²² Rn karşılaştırma için Paired Samples T-test	58

SEMBOLLER DİZİNİ

A	Aktiflik
BEIR	Biological Effects of Ionizing Radiation
Bq	Becquerel
Ci	Curie
D	Soğurulan doz
Gy	Gray
Sv	Sievert
IAEA	International Atomic Energy Agency
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICRP	International Commission on Radiological Protection
NRPB	National Radiological Protection Board
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
$T_{1/2}$	Yarı ömür
λ	Bozunma sabiti
τ	Ortalama ömür
\hbar	Plank sabiti
WLM	Working Level Month
WHO	World Health Organization

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup; tüm canlılar varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar. Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta, bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir.

Buna ek olarak kozmik ışınlardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz de düşünöldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır (Durrani ve Iliç, 1997).

Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale dönerken yaydıkları enerji olarak tanımlanan radyasyonla ilgili çalışmalar 1896 yılında Henri Becquerel tarafından başlatılmıştır. Radyasyon, doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Çevremizde sürekli etkisi altında olduğumuz doğal radyasyonun yaklaşık %50'si gözle görölmeyen ve duyuvar vasıtasıyla algılanamayan renksiz, tatsız, kokusuz bir gaz olan radon ve onun kısa ömürlü ürünlerinden oluşmaktadır (Gillmore vd., 2002). Son yıllarda Radonun her yerde bulunduğu bilgisinin yayılması, radyasyon konusuna yeni bir bakış açısı getirmiştir ve bu tarihten itibaren de özellikle kapalı ortamlarda radon yoğunluğunun ölçölmesine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır (Akkurt, 2006). 1924 yılında, radon 'un akciğer kanserine ve solunum yolu hastalıklarına neden olabileceğine dikkat çekilmiştir. Daha sonra Amerika Birleşik Devletleri'ndeki madenlerde yapılan çalışmalar, radon ve onun kısa yarı ömürlü bozunum ürünlerine maruz kalmayla akciğer kanseri arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu nedenle ev ve iş yerlerinde ²²²Rn konsantrasyon dağılımının belirlenmesi önemli bir problemdir (Qureshi vd., 2000).

Bilindiği gibi uranyum radyoaktif serisi içinde yer alan radon, yeraltından toprak ve kayalardaki çatlaklardan ve yeryüzüne çıkan sulardan havaya karışmaktadır. Bu

nedenle; radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik çalışmalar, daha çok sular ve toprak gazında yapılmaktadır (Villalba vd., 2005; Akkurt, 2006; Kurnaz, 2009).

Doğal kaynaklardan dolayı insanların maruz kaldığı radyasyonun yıllık ortalama doz değeri 2,4 mSv 'dır. Bu dozun büyük bir kısmı ki yaklaşık yıllık doz miktarı 1,3 mSv olan radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir (UNSCEAR, 2000). Radon; uranyumun mevcut olduğu tüm kaya ve topraklardan gelerek bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyebilen ve atmosfere yayılan bir gazdır. Radon solunum yoluyla akciğerlere girmekte ve bozunması sonucunda akciğer kanseri oluşma riskini artırmaktadır (IARC, 1988; Çelik vd., 2008). Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyon Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41000 akciğer kanserinden en az 2500'unu, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5000, sigara içenlerden ise 15000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP, 1990) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir (Enflo, 2002).

Uluslararası Atom Enerji Ajansı, Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler evlerde 200-600 Bq/m³, iş yerlerinde 500-1500 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. (TAEK) Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonunu, evlerde 400 Bq/m³, işyerlerinde 1000 Bq/m³ olarak belirlemiştir. Uluslararası radon konsantrasyon limit değerleri olarak, ICRP tarafından 400 Bq/m³, Avrupa Birliği tarafından 400 Bq/m³ ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 100 Bq/m³ değeri üst limit olarak benimsenmiştir.

Ev içi radon konsantrasyonu ülkeler arasında ve hatta aynı ülkenin farklı bölgeleri arasında bile büyük değişiklik göstermektedir. Bu farklılıklar, toprağın jeolojik yapısına, iklim parametrelerine ve yapı karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir. Son yıllarda gerek ülkemizde gerekse dünyada ev içi radon konsantrasyonunu belirlemeye

yönelik birçok çalışmalar yapılmaktadır. Bu nedenle, binalardaki radon konsantrasyonunun bilinmesi başka yararlar da sağlayacaktır. Radonun uranyum bozunma serisinde bir ara ürün olarak oluştuğu bilindiğinden dolayı, yapılan araştırma kapsamında yüksek radon konsantrasyonu tespit edilen bölgelerde araştırma sonrasında daha detaylı hava, toprak ve su analizleri yapılarak olası uranyum rezervleri belirlenebilmektedir.

Radonun tehlikesi ortamlara göre değişiklik gösterir. Örneğin, sürekli zemin ya da bodrum katında çalışan veya yaşayan bir insanın riski ikinci katta oturan bir insanınkinden daha fazladır. Radona bağlı olarak meydana gelen risk radon dozuyla artmaktadır. Uranyum madencileri üzerinde yapılan araştırmaların, radonun akciğer kanseri için ana sebep olduğunu ortaya koymasıyla, radona maruz kalma sınırlandırılmıştır (Çelebi, 2000).

Radyoaktif kaynakların yeterince bilinmemesi, insan sağlığının korunması açısından radyolojik risk tahminini güçleştirdiği için tüm illerde doğal fon radyasyonunun belirlenmesi önemlidir. Bilindiği gibi alınan radyasyon dozu arttıkça kanser olma riski de artar. Kanser riskinin azaltılması veya kontrol altında tutulabilmesi için insanların maruz kaldıkları radyasyonun sınırlandırılması ve dozun tespit edilmesi gerekir.

Ülkemizde evlerde radon ölçümüyle ilgili çalışmalar son dönemlerde hız kazanmasına rağmen henüz yeterli ve kesin sonuçlar elde edilememektedir. Özellikle toprak tabanlı evlerde bu ölçümlerin yapılmasının yararlı olacağı açıktır. Evlerde gerçekleştirilen radon ölçümlerine ait bazı ortalama değerler şu şekilde elde edilmiştir: İzmir 210 Bq/m³, İstanbul 40-210 Bq/m³, Çanakkale 160 Bq/m³, Kars 106 Bq/m³, Samsun 26 Bq/m³'tür (Alkan, 2014; Kurt, 2015; Çelebi ve Alkan, 1997; Çelik vd., 2008; Çakmak, 2014). Bugüne kadar ÇNAEM tarafından toplam 60 il ve ilçe merkezinde evlerde radon ölçümü yapılmıştır. Mevcut sonuçlara göre Türkiye'de evlerde radon konsantrasyonu ortalaması 68±39 Bq/m³'tür. Bu konuda insanlarımızı bilinçlendirmenin en etkili yolu, belirtilen bu değerlerin insan sağlığını nasıl etkilediğinin açıklanmasıdır.

Uluslararası Radyasyon Koruma Komitesi ve Dünya Sağlık Örgütü'nün vermiş oldukları tablolara göre bazı ülkelerdeki radon konsantrasyon limitleri; ABD 150 Bq/m³, Almanya 250 Bq/m³, İsveç 200 Bq/m³, Kanada 800 Bq/m³, Hindistan 150 Bq/m³ şeklinde olup aynı ülkelerde evlerde ölçülen değerler ise, ABD 46 Bq/m³, Almanya 50 Bq/m³, İsveç 108 Bq/m³, Kanada 34 Bq/m³ ve Hindistan 57 Bq/m³'tür. UNSCEAR 1988 raporuna göre evlerde radon konsantrasyonlarının dünya ortalaması 40±25 Bq/m³ olarak kabul edilmiştir.

Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP)'nin 1977 ve 1990 yıllarında yayınladığı tavsiye raporlarında, radyasyonun skolastik etkileri (kansere oluşumu ve genetik etkiler) için bir eşik dozun bulunmadığı, doz ve etki arasında lineer bir bağıntı olduğu kabul edilerek, müsaade edilen doz sınırları çok küçük düzeylere indirilmiş ve gereksiz olarak hiçbir radyasyon dozuna maruz kalınmaması önerilmiştir. Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi radona maruz kalma sınırları 3 -10 mSv arasında tavsiye etmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için 200–600 Bq/m³, iş yerlerinde ise 500–1500 Bq/m³ arasında bir değere karşılık gelmektedir.

Ülkemizde ve dünyada çeşitli bölgelerde yapılan aktivite belirleme çalışmaları referans olmaları bakımından önemlidir.

Vuković vd. (2004), Hırvatistan'da yaptıkları çalışmada hastanedeki akciğer kanseri hastalarının ev adreslerini alarak evlerindeki radon konsantrasyonunu Radhome silikon dedektör ve LR-115 dedektörünü kullanarak ölçmüşlerdir. Ölçümler 5 saat boyunca kapalı olan yatak odalarında yapılmış ve bu ölçümlerin mevsimsel olarak farklılık gösterip, kış aylarındaki konsantrasyon değerinin yaz aylarındakinden 1.5 kat daha fazla olduğunu açıklamışlardır. Yaklaşık 200 vaka üzerinde çalışan ekip yapılan bu inceleme sonucu kanserin en belirgin sebebinin radon maruziyeti olduğunu belirtmişlerdir.

Kam (2004), Tekirdağ'da çevresel doğal radyoaktivite konsantrasyonunu belirlemek için yapılan çalışmada Tekirdağ evlerinde radon konsantrasyon değerleri 11-

247 Bq/m³ arasında elde edilmiş ve ortalama radon konsantrasyonu 87 Bq/m³ olarak bulunmuştur.

Yapılan bir değerlendirme ise sigara ve radon etkileniminin bir arada en az tek başlarına yaptıkları etkinin 10 katı kadar daha fazla akciğer kanserine sebep olduğu şeklindedir (Darby vd., 2005). Sigara içme potansiyelinin yüksek olduğu ülkemizde sağlık riski oluşturması açısından üzerinde durulması gereken çok önemli bir parametredir.

Ferdoas ve Al-Saleh (2005), Arabistan'ın Riyad şehrinde Ekim 2004 ile Haziran 2005 yılları arasında CR-39 tipi radon dedektörünü kullanarak, ev içi radon konsantrasyonunu 2-69 Bq/m³ arasında değiştiğini ve ortalama değerini 18 Bq/m³ olduğunu tespit etmiştir.

Faheem ve Matiullah (2005), Pakistan'ın Punsab Şehrinde Eylül-Aralık ayları arasında yapılan ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmasında 30 evin oturma ve yatak odalarında CR-39 tipi radon dozimetreleri kullanılarak ayrı ayrı ölçüm alınmıştır. Oturma odalarındaki değerler ~40 ile ~173 (Bq/m³), yatak odalarında ise ~38 ile ~193 (Bq/m³) arasında tespit edilmiştir. Etkin doz oranı ise 0,6 ile 3,27 mSv olarak hesaplanmıştır.

Akyıldırım (2005), Isparta'da radon yoğunluğu ölçülmüş ve haritalandırılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre radon yoğunluklarına ait ortalama değerler, Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkelerinde 372 Bq/m³, Isparta il merkezinde 118 Bq/m³ olarak bulunmuştur.

Dale vd. (2006), Amerika'da alfa-iz detektörünü kullanarak önce ortamın radon seviyesini belirleyip daha sonrada akciğer kanseri vakalarında yaş, cinsiyet, sigara içip içmeme, kaç yıllık içici oldukları, içmeye başlama yaşları, pasif içici olma durumları ve oturdukları yerleşkenin karakteristiklerine bakarak radon akciğer kanseri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Sonuçta bu ilişkinin yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Hamori vd. (2006), Macaristan'da 1994 ve 2004 yılları arasında 1527 tek katlı evde, 325 de daha fazla kata sahip olan evde yaptıkları radon konsantrasyonu araştırmasını CR-39 radon dedektörleri kullanarak yapmışlardır. Radon konsantrasyon değerlerinin 10 Bq/m^3 ile 5800 Bq/m^3 arasında değiştiğini ve ortalama değerin 58 Bq/m^3 olduğunu bulmuşlardır.

Zunic vd. (2006), Sırbistan'ın Niska Banja bölgesinde ev içi radon konsantrasyonunu belirlemek için 65 evin oturma ve yatak odasına toplam 102 tane CR-39 radon dedektörleri dağıtmışlar, yıllık ortalama radon konsantrasyonunu traverten bölgede 1500 Bq/m^3 , alivyum sediment oluşumunun olduğu bölgede 650 Bq/m^3 , maksimum değeri ise 6000 Bq/m^3 olarak tespit etmişlerdir.

Gültekin vd. (2006), Manisa ilinde toplam 23 binada yapılan çalışmada radon konsantrasyonları $47-154 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişmektedir. Bunların ev ve işyeri olarak radon konsantrasyonu değişimleri incelendiğinde, 9 işyerinin radon konsantrasyonu $56-146 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişirken, evlerde bina içi radon konsantrasyonu $47-154 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişmekte olduğu görülmektedir.

Quirino vd. (2006), Meksika'nın Zacatecas şehrinde 228 evde yaz döneminde radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik yapmış oldukları çalışmada ortalama radon konsantrasyonunu 67 Bq/m^3 olarak tespit etmişlerdir. Evlerin % 2,7 si EPA (Environmental Protection Agency)'nın tavsiye ettiği değeri (148 Bq/m^3) geçtiğini bulmuşlardır.

Vaupotik ve Kobal (2006), Slovenya'da yapmış olduğu çalışmada 26 hastanenin 201 odası için iç ortamın radon seviyelerini ve odalarda çalışan personelin yıllık etkin dozunu belirlemiştir. Sadece yedi oda için ulusal limit değeri olan 400 Bq/m^3 'ü aştığını, diğer odaların bu değerden daha düşük olduğunu gözlemiştir. Personelin % 94'ü için hesaplanan yıllık etkin dozun 1 mSv 'den düşük olduğu; fakat 10 kişi için bu değer $2,1$ ile $7,3 \text{ mSv}$ arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Rahman vd. (2007), Pakistan'ın Kuzey-batı illerinde 200 evde radon konsantrasyonunu CR-39 radon dedektörleri kullanarak araştırmışlar, çalışmalarında yıllık ortalama, maksimum ve minimum radon konsantrasyonu değerlerini sırasıyla 72 Bq/m³, 189 Bq/m³, 47 Bq/m³ olarak tespit etmişlerdir.

Kam ve Bozkurt (2007), tarafından yapılan çalışmada, Kastamonu'da yapılan çevresel radyoaktivite ölçüm çalışmalarında; ev içi radon aktivite konsantrasyonu 98,4 Bq/m³ olarak ölçülmüş, bu aktiviteye uygun yıllık efektif doz 2,48 mSv olarak hesaplanmış, ev içi ve dışı gamma absorblanmış doz sırasıyla 54,81 ve 48,03 nGy/h olarak, buna uygun toplam gamma radyasyon düzeyi (yer yüzü ve kozmik kaynaklı) 0,33 mSv/y olarak hesaplanmıştır.

Örgün vd. (2008), Ezine (Çanakkale)'de kırsal kesim evlerinde yaz mevsiminde yapılan radon ölçümlerinde; konsantrasyonlar 9–300 Bq/m³ arasında çıkmıştır. Ortalama değer ise 67,9 Bq/m³ olarak bulunmuştur.

Prasad Shiva vd. (2008), Hindistan'ın Bangalore bölgesinin 33 farklı yerleşim yerinde yapılan çalışmada, topraktaki ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivitelerinin ortalamaları sırasıyla 26,2 Bq/kg, 53,1 Bq/kg ve 635,1 Bq/kg olduğu belirlenmiştir. Ayrıca topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı havadaki ortalama dış gama doz hızı ve yıllık ortalama etkin doz değeri sırasıyla 73,9 nGy/s ve 90,6 µSv/y olarak bulunmuştur.

Çelik vd. (2008), Kars'ta 3 ay boyunca 87 evde yapmış oldukları radon konsantrasyonunu 114 Bq/m³ olarak bulmuşlardır. Bu sonuçlar doğrultusunda evlerin % 80'indeki konsantrasyon değeri Türkiye ortalamasının üzerinde çıkmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, Kars'taki radon konsantrasyon değerinin % 10 akciğer kanseri riski oluşturabilecek düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

Yeşilbağ (2008), Ardahan ve Artvin'de evler ve çevresinde radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimleriyle alakalı yapmış olduğu çalışmalarda yıllık ortalama radon konsantrasyonunu Ardahan için 173 Bq/m³, Artvin için 132 Bq/m³ olarak bulmuştur.

Özderya (2009), Samsun ilinde ev içi radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik yapmış olduğu çalışmada ortalama radon konsantrasyonunu 106 Bq/m^3 olarak bulmuştur.

Kurnaz (2009), Trabzon ve Giresun (Şebinkarahisar) da yapmış olduğu çalışmalarda yıllık ortalama radon konsantrasyonunu Trabzon için 113 Bq/m^3 ve Şebinkarahisar için 158 Bq/m^3 olarak bulmuştur.

Kürkçüoğlu vd. (2009), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Merkez Kütüphanesi'nin 12 ayrı noktasına CR-39 pasif nükleer iz detektörleri yerleştirilerek 2008 yılı yaz mevsimine ait radon konsantrasyonları ölçmüşlerdir. Çalışmada, Merkez Kütüphanedeki ortalama radon konsantrasyonunun $67,1 \text{ Bq/m}^3$ olduğu bulunmuştur. Zemin kattaki yeni çalışma salonunda ise TAEK'in kapalı mekanlar için belirlediği 400 Bq/m^3 'lük alt sınır değerinden daha yüksek bir konsantrasyon saptanmış, kullanıcılar ve özellikle de kütüphane çalışanları açısından riskli olabilecek bu durum karşısında alınması gereken koruyucu önlemler bildirilmiştir.

Can (2011), bina içi radon aktivite seviyesi ve radon efektif doz hızı katihâl nükleer iz detektör tekniği kullanılarak Kilis bölgesindeki evlerde belirledi ve evlerdeki ortalama radon konsantrasyonu 47 Bq/m^3 (standart sapması: 40 Bq/m^3) olarak bulmuştur.

National Cancer Institute'den Jay Lubin ve International Epidemiology Institute'den John Boice Kanada, Çin, Finlandiya, İsveç ve Amerika'da oturan bölgelerdeki radon seviyesinin akciğer kanseri üzerindeki risklerini istatistiksel tekniklerle araştırıp sonuçları Journal of the National Cancer Institute'de yayınladılar. Çalışmada 4263 akciğer kanseri olan ve 6612 kanser olmayan iki grup kullanıldı. Radon seviyesi 150 Bq/m^3 olan bir evde 30 yıl yaşayan bir insanda bu risk %14 artmakta olduğu sonucuna vardılar. Bu değer yaklaşık 4 pCi/L 'dir. Bu aşamadan sonra U.S. Environmental Protection Agency 150 Bq/m^3 olan radon seviyesini % 6'ya düşürmek için çalışmalar başlatmıştır.

Alıç (2014), Kahramanmaraş'tan alınan toprak numunelerinde radon aktivitesi ölçmüştür. Radon aktivitesi toprakta $62,87 \pm 5,81 \text{ Bq/m}^3$ ile $421,89 \pm 40,83 \text{ Bq/m}^3$ değerleri arasında bulmuştur. Kahramanmaraş' tan alınan meyve ve sebzelerdeki radon aktivitesi ölçülmüş ve Radon konsantrasyonu aktivitesi aktiviteleri $25,15 \pm 3,50 \text{ Bq/m}^3$ ile $341,26 \pm 37,20 \text{ Bq/m}^3$ değerleri arasında bulmuştur.

Alkan (2014), İzmir'de yapmış olduğu çalışmasında akciğer tanısı almış hastalar ve sağlıklı kontrol grubu arasında kapalı ortamlardaki radon konsantrasyonlarını LR-115 katihâl iz dedektörlerini kullanarak ölçmüştür. LR-115 tipi katı hal nükleer iz dedektörleri gönüllü kişilerin evlerinin oturma odaları ve yatak odalarına asılmış, 2 ay süre ile bekletilmiştir. İz dedektörleri $60 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta yüzde 10'luk (2,5 M) NaOH çözeltisinde 90 dakika boyunca banyo edilmiş ve gözlemlenen mikroskopik iz yoğunluklarından radon aktivite konsantrasyonları saptanmış. İzmir'in araştırılan ilçelerinde, bina içi radon aktivite konsantrasyonunun 210 Bq/m^3 aritmetik ortalama ile $28 - 487 \text{ Bq/m}^3$ aralığında değiştiği saptanmış. Akciğer kanseri tanısı almış hasta grubu için bina içi radon aktivite konsantrasyonu 138 ile 472 Bq/m^3 aralığında iken, sağlıklı grup için bina içi ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu 28 ile 367 Bq/m^3 aralığında bulunmuş.

Kurt (2015), kapalı ortamlardaki radon konsantrasyonları LR-115 katı hal iz kazıma dedektörleri kullanılarak ölçmüştür. 509 adet LR-115 nükleer iz dedektörü Fatih ilçesindeki 25 okula yerleştirmiş ve etkin doz değerleri hesaplamıştır. Hesaplamalar sonucunda, radon konsantrasyonu $40 - 395 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişmekte ve bu sonuçlar Türkiye limitleri (400 Bq/m^3) ile kıyaslandığında düşük olmasına karşın Uluslararası Sağlık Örgütü limitlerinin (100 Bq/m^3) üstündedir.

Evsel radon etkilenimiyle akciğer kanseri arasında az, istatistiksel olarak önemsiz bir risk artımı olduğunu ileri süren yayınlar olmakla beraber ilişkinin yasal düzenlemelerle gerekli önlemlerin alınmasını gerektirecek kadar kuvvetli olduğunu gösteren kanıtlar daha güçlüdür. Bu çalışmada Rize ilinde akciğer kanserli hastaların evlerinde radon ölçümleri yapılmış, hastaların alışkanlıkları (sigara kullanımı, beslenme alışkanlıkları gibi), oturdukları binalar, bina zemininin özellikleri ve hastaneden alınan bilgiler doğrultusunda evsel radon etkileşimiyle akciğer kanseri arasındaki ilişki

irdelenmiştir. Radon ölçümlerinin yanında, hazırlanan anketler hastalara uygulanmış, toprak numunelerinde radyoaktivite analizleri yapılmıştır.

1.2. Radyoaktivite

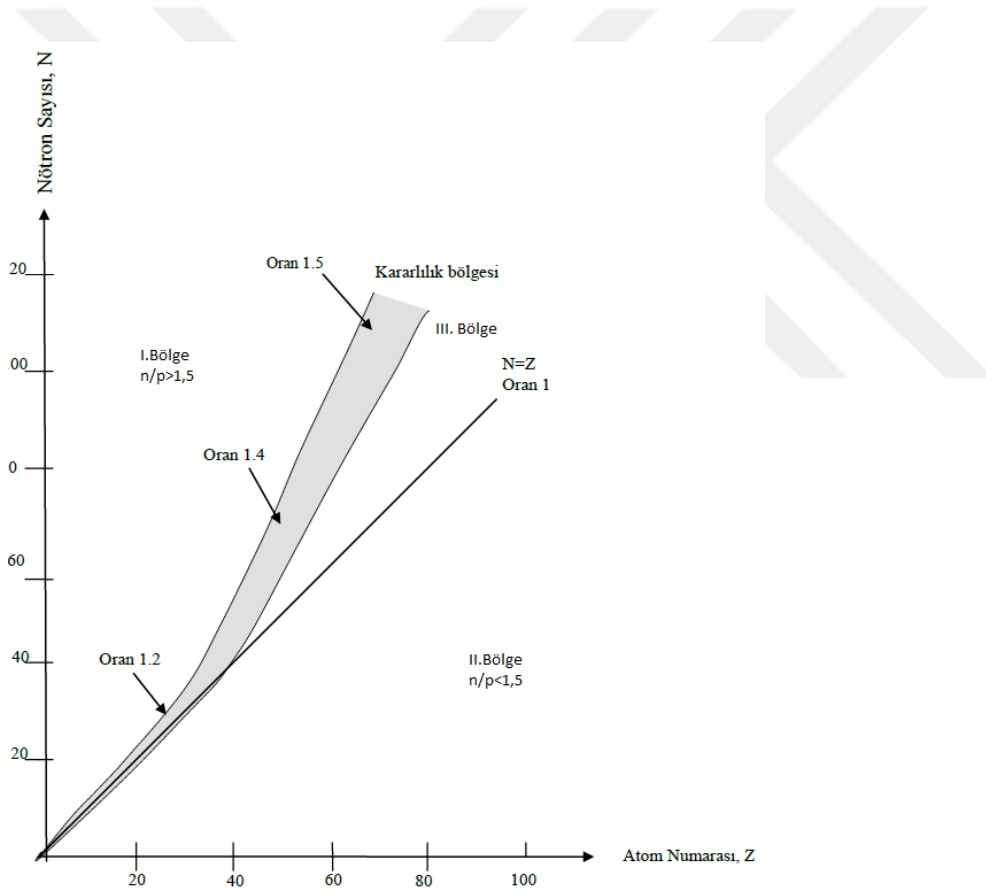
Kararsız atom çekirdeklerinin dışarıdan enerji almadan kendiliğinden bölünerek; elektromanyetik radyasyonlar, alfa ve beta parçacıkları yayınlamak suretiyle başka atom çekirdeklerine dönüşmesine radyoaktivite veya radyoaktif bölünme denir. Radyoizotopların bölünme şekilleri; alfa bozunmaları, beta bozunmaları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

En basit çekirdek olan hidrojen haricindeki diğer tüm çekirdekler nükleon adı verilen, doğadaki temel yük birimi olan pozitif elektron yüküne sahip proton (p) ve yüksüz nötronlardan (n) oluşurlar. Nükleonlar çekirdek içerisinde Coulomb ve çekirdek etkileşimleri ile bir arada 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.

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 olan bir element parçacıklar salarak veya ışınla yaparak bozunacak ve bu olay çekirdek kararlı

hale gelene kadar devam edecektir. Her çekirdek kararsız olmadığından radyoaktivite ayırt edici bir fiziksel özelliktir.

Şekil 1’de bilinen çekirdeklerin nötron ve proton sayılarının dağılımı görülmektedir. Bu şekilde, proton ve nötron sayıları eşit olan ($N=Z$) hafif çekirdekler kararlılık eğrisi ve etrafındaki dar kararlılık bölgesi ile temsil edilirken, daha ağır çekirdeklere $N/Z > 1$ olan bölge ile temsil edilirler. 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 olacağını anlaşılabilmektedir (Krane, 2001).



Şekil 1. Çekirdeklerdeki nötron sayılarının atom numarasıyla değişimi

1.3. Radyoaktif Bozunma ve Bozunma Ürünleri

Radyoaktif bozunma, kararsız atomların fazla enerjilerini vererek daha kararlı bir atom haline dönüşmek için kendilerini yeniden düzenlemelerine denir.

Radyoaktif çekirdekler kendiliğinden bozunuma uğrarlar. Bu bozunmalar üç şekilde gerçekleşir. Alfa ve beta bozunmalarında, kararsız çekirdekler alfa veya beta parçacıkları yayarak daha kararlı bir çekirdeğe dönüşmeye çalışırken, gama bozunumunda ise çekirdeklerin cinsi değişmeden uyarılmış durumdan taban durumuna bozunması şeklinde olur.

Radon gazı oluşumu sırasında alfa bozunmaları meydana geldiği için daha detaylı inceleyelim.

1.3.1. Alfa Bozunması

Alfa yayınlanması bir Coulomb itmesi olayıdır. Bu durum ağır çekirdekler için gittikçe artan öneme sahiptir; çünkü itici Coulomb kuvveti, yaklaşık olarak A ile artan nükleer bağlanma kuvvetinden daha hızlı (yani Z^2 ile) artar. Pozitif yükün kendiliğinden çekirdek dışına atılması için alfa parçacığını seçmesinin nedeni alfa parçacığının çok kararlı ve sıkıca bağlı yapısı nedeniyle, ayrı ayrı bileşenlerin in toplam kütesine kıyasla daha küçük bir kütleyle sahip olmasıdır. Eğer mümkün olduğu kadar hafif parçalanma ürünlerine ve mümkün olan en büyük kinetik enerjiye sahip olmayı istersek, alfa parçacığı tercih edilir (Krane, 2001).

Çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığını Şekil 2 'de görüldüğü gibi yayımlayarak bozunur.

Denklem 1 'de görüldüğü gibi bozunan çekirdeğin atom numarası 2, kütle sayısı ise 4 azalır. Alfa parçacığı aslında helyum çekirdeğinin iki kere iyonlaşmış halidir. Bu bozunumda proton ve nötron sayıları ayrı ayrı korunur. Ayrıca toplam enerji de korunmalıdır (Denklem 2). Oluşan alfa parçacığını helyum atomunun çekirdeği olarak da düşünmek mümkündür.



Şekil 2. Alfa bozunumu.

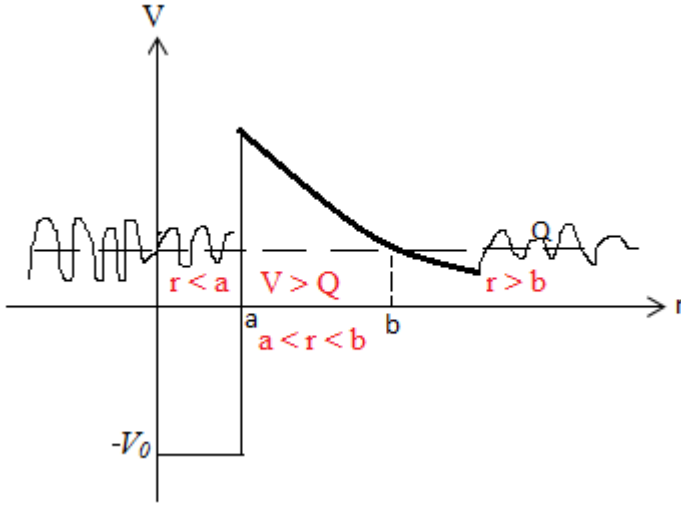


$$Q = \Delta mc^2 = [m(X) - m(X') - m({}^4_2 He)] \times c^2 \quad (2)$$

Q değeri aynı zamanda bozunma ürünlerine verilen toplam kinetik enerjiye eşittir ($Q = T_x + T_\alpha$).

Bozunum nedeniyle ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmını, momentumun korunumu gereğince alfa parçacığı alır. Alfa çekirdeği yüksek enerjiye sahip olsa da ağır kütlesi sebebiyle menzili çok kısadır. Alfa bozunumu genellikle kütle numarası 190'dan büyük çekirdeklerde daha sık görülür. Enerji spektrumu kesiklidir ve 4 ile 10 MeV arasında değişim gösterir.

Şekil 3' de Alfa bozunumunu şematik olarak temsili görünmektedir. Q yatay çizgisi parçalanma enerjisidir. Şekil üç bölgeye ayrılmıştır. $r < a$ olan küresel bölge çekirdeğin içidir ve derinliği $-V_0$ olan bir potansiyel kuyusu ile temsil edilir. Burada V_0 pozitif bir sayıdır. Klasik olarak alfa parçacığı bu bölgede $Q + V_0$ kinetik enerjisiyle hareket edebilir fakat bu bölge dışına kaçamaz. $a < r < b$ bölgesinde potansiyel enerji mevcut toplam Q enerjisinden daha büyük olduğu için bu dairesel kabuk bölgesi bir potansiyel engel oluşturur. Fakat kuantum mekaniğine göre alfa parçacığı ile ilgili dalganın engelde sanki bir delik varmış gibi sızma ihtimali vardır ve buna *tünelleme olayı* denir.



Şekil 3.Kuyu potansiyeli

Klasik bakış açısına göre küresel potansiyel kuyusundaki bir alfa parçacığı, $r=a$ 'nın ötesine geçmeyi her denediğinde hareketi keskin bir şekilde geri çevirecektir. Bununla birlikte kuantum mekanişel olarak böyle bir engelden 'sızma' veya 'tünelleme' için bir şans vardır. Bu engel alfa kararsız çekirdeklerinin derhal bozunamayacağı gerçeğini açıklar. Çekirdek içindeki alfa parçacığı engeli aşmıca kadar kendisini tekrar tekrar engel yüzeyi önünde bulur. Örneğin, ^{238}U 'de sızma olasılığı o kadar küçüktür ki alfa parçacığı engeli aşmadan önce ortalama olarak 10^{38} deneme (yaklaşık 10^9 yıl boyunca saniyede yaklaşık 10^{21}) yapmalıdır.

Bir alfa yayınlıyıcısının bozunma sabiti bir-cisim teorisinde $\lambda = fP$ ile verilir. Burada f, alfa parçacığını kendisini engel önünde bulma frekansı ve P ise engelden geçme olasılığıdır. Tipik bir kuyu derinliği için $V_0 \approx 35 \text{ MeV}$ alınırsa $Q \approx 5 \text{ MeV}$ için $f = 6 \times 10^{21} / s$ değeri elde edilir. Tüm engeli geçme olasılığı $P = e^{-2G}$ ile verilir. Burada

G Gamow çarpanıdır ve Gamow çarpanı, $G = \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2}} \int_a^b [V(r) - Q]^{1/2} dr$ dir.

1.4. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Radyoaktifliğin keşfedildiği 1896 yılını izleyen üç yılda, saf radyoaktif numunenin zamanla bozunma hızının üstel kanuna uyduğu gösterilmiştir. Radyoaktifliğin tüm numunede değil de tek tek çekirdeklerdeki değişikliği temsil ettiğinin anlaşılması için daha birçok yıl geçmesi gerekmiştir. Bozunmanın istatistiksel yapıda olduğunun, yani herhangi bir atomun ne zaman bozunacağını bilinememesi ve bu hipotezin doğrudan üstel kanuna uyduğunun anlaşılması ise iki yıl almıştır.

Eğer bir t anında N sayıda radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni çekirdekler ilave edilmiyorsa dt süresi içinde bozunan dN çekirdek sayısı, N ile orantılıdır:

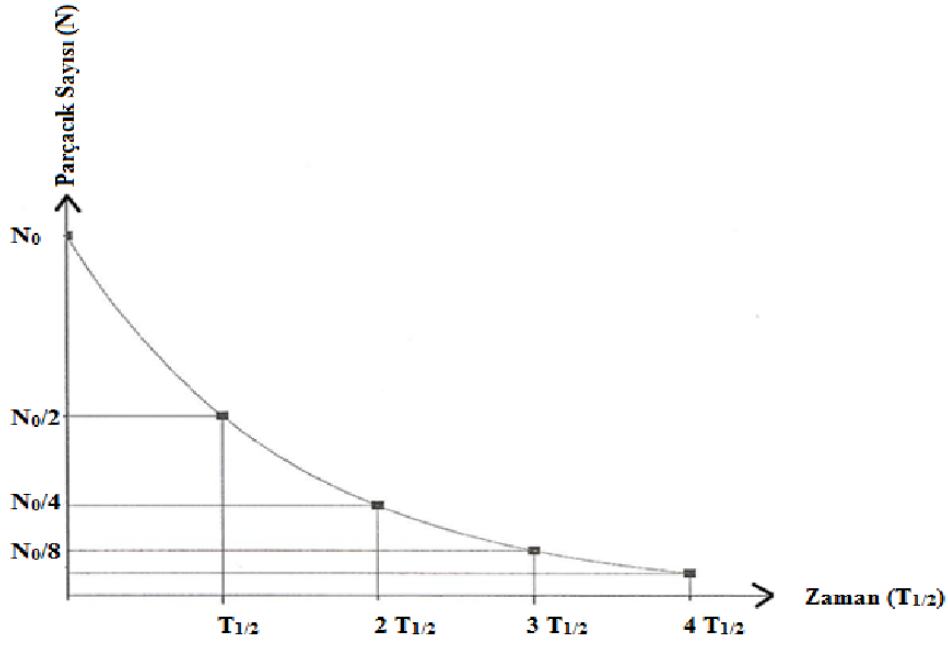
$$\lambda N(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \quad (9)$$

Baştaki eksi işareti t arttıkça N (radyoaktif atomların)'nin azaldığını göstermektedir. Denklem çözülerek radyoaktif üstel bozunma yasası elde edilir.

$$-\int \lambda dt = -\frac{dN(t)}{dt} \quad (10)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (11)$$

Denklemden t zamanı, $N(t)$ t zamanı sonunda arta kalan çekirdek sayısını, N_0 başlangıçtaki ($t = 0$) henüz bozunmamış çekirdek sayısını, λ ise radyoaktif numunenin bozunma sabitini gösterir ve birimi s^{-1} dir (Krane, 2001).



Şekil 4. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi

Şekil 4'de bir radyoaktif çekirdeğin üstel bozunma denkleminde ait çekirdek sayısı değişimi vermektedir. Denklem 11'in her iki tarafı bozunma sabiti (λ) ile çarpılırsa aktivite denklemi elde edilir.

$$N\lambda(t) = N_0\lambda e^{-\lambda t} \quad (12)$$

Burada $N\lambda$ birim zamandaki bozunma sayısını verecektir. Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısı çekirdeğin *bozunma hızı* veya *aktivitesi* olarak tanımlanır. I ile gösterilir, birimi bozunma/saniyedir.

$$I(t) = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = I_0 e^{-\lambda t} \quad (13)$$

($t = 0$)'da ki başlangıç aktivitesi

$$I_0 = \lambda N_0 \quad (14)$$

dır.

1.4.1. Radyoaktif Numunenin Yarı Ömrü ve Ortalama Ömrü

Radyoaktivitede önemli başka bir nicelik de $t_{1/2}$ ile gösterilen yarı ömürdür. yarı-Ömür $t_{1/2}$, çekirdeklerin yarısının bozunması için gerekli süreyi göstermektedir. Aktiflik, bozunmamış çekirdeklerin sayısının yarıya düşmesi için gerekli zaman aralığına eşittir. Denk.(11)'de $N = N_0/2$ ve $t = t_{1/2}$ değerleri yerine konulduğunda

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad \text{veya} \quad t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (15)$$

bulunur.

Radyoaktivitenin istatistiksel karakteri nedeni ile radyoaktif bir atomun ömrü, sıfır ile sonsuz arasında herhangi bir değer olabilir. Buna göre bir atomun ne kadar var olacağı bilinmez, ancak bir grup atomun ortalama ömründen söz edilebilir. Ortalama ömür (τ), bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır (Krane, 2001). Bu nedenle radyoaktif atomlar için yarı ömürden farklı bir tanım verilir, τ (*ortalama ömür*) radyoaktif atomların tek tek ömürleri toplamının ortalamasıdır. t_1, t_2, t_3 ömürlerine sahip atomların sayıları $dN_1(t), dN_2(t)$ ve $dN_3(t)$ olmak üzere ortalama ömür,

$$\tau = \frac{t_1 dN_1(t) + t_2 dN_2(t) + t_3 dN_3(t) + \dots}{dN_1(t) + dN_2(t) + dN_3(t) + \dots} \quad (16)$$

şeklinde ifade edilir.

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{\int_0^{N_0} dN(t)} = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{N_0} \quad (17)$$

$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ bağıntısı yerine yazılırsa;

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} tN_0 e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \int_0^{\infty} \lambda t N_0 e^{-\lambda t} dt \quad (18)$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (19)$$

elde edilir.

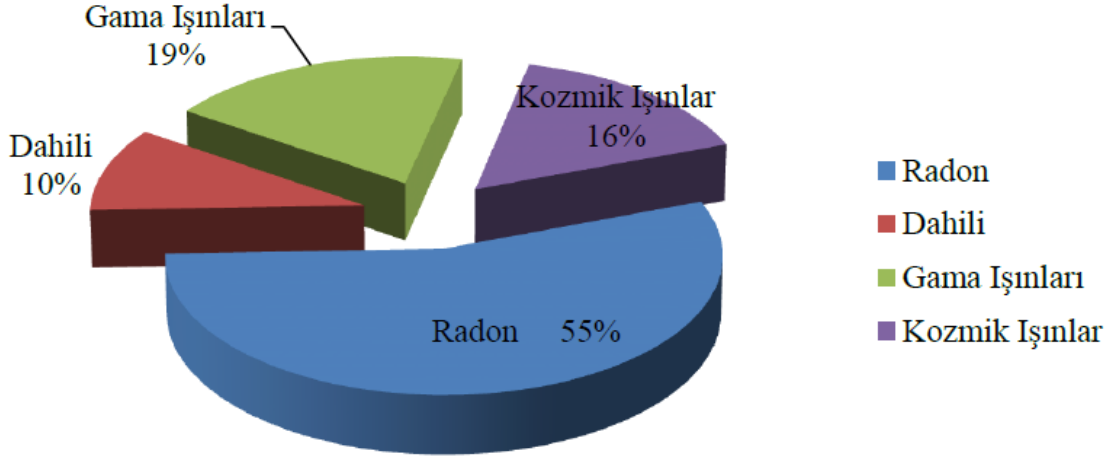
Denklem (9) ile denklem (13) karşılaştırıldığında

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} = 0,693\tau \quad (20)$$

elde edilir.

1.5. Doğal Radyoaktivite ve Doğal Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup; tüm canlıların varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar. Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Bu yüzden bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalır. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv / yıl'dır. Şekil 5'te doğal radyasyon kaynaklarının oranları verilmiştir.



Şekil 5. Doğal Radyasyon Kaynakları

1.5.1. Radon

Radon gazından bahsetmeden önce radon gazının oluşum sırasındaki uranyum ve radyumdan kısaca bahsedelim.

Uranyum, doğal elementlerin en ağırıdır ve tabiatta hiçbir zaman serbest olarak bulunmaz ancak çeşitli elementlerle birleşerek uranyum minerallerini meydana getirir. Atom çekirdeğinde 92 proton, 146 nötron ve 7 enerji düzeyinde 92 elektron bulunur. Oksijenle birleşmesi en kolaydır (Zararsız, 2005). ^{238}U için bozunma zinciri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Radyum yer kabuğunun çeşitli katmanlarındaki toprak ve kayalarda uranyumla beraber bulunabilir. Bunun yanı sıra uranyumun bulunduğu noktalardan yüksek çözünürlüğü nedeniyle çok uzaklara taşınıp birikim oluşturabilir. Radyum volkanik kayalarda, kumtaşı ve kireçtaşına göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunur (Çelebi, 1995).

Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni; radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon, renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan; ^{119}Rn - ^{226}Rn arasında toplam 28 izotopu bulunan bir kimyasal elementtir. ^{222}Rn kaya, toprak ve suda değişik oranlarda bulunan ^{238}U 'nun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur.

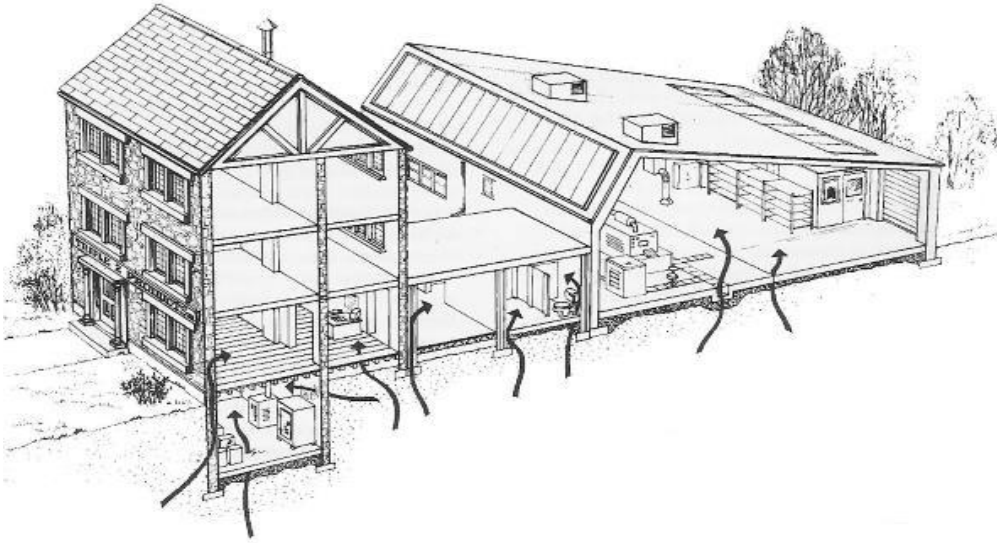
^{222}Rn bir seri bozunumu ile yine radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünlerini üretir. ^{222}Rn ve bozunma ürünleri, doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun yaklaşık % 55' sini oluşturmaktadır (BIER VI, 1999)(Şekil 5). ^{222}Rn ve bozunma ürünlerinin solunması ve sindirim sistemine alınması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Bozunma ürünleri (^{218}Po , ^{214}Bi , ^{214}Po ve ^{214}Pb radyoizotopları) gaz olmayıp, havadaki toz ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosollerini oluşturmaktadır ve solunum yoluyla akciğerlere, ^{222}Rn ve bozunma ürünleri içeren suların içilmesiyle de sindirim sistemine alınmaktadır. Bu aerosollerin kararlı hale gelinceye kadar bozunmaları, sürekli radyasyona maruz kalınmasına neden olmaktadır. Bu durum ise, akciğer dokusunda hasar oluşturarak zaman içerisinde kansere sebep olabilmektedir. ^{222}Rn ve bozunma ürünlerinin solunması akciğer kanseri oluşumunda sigaradan sonra ikinci faktör olarak bilinmektedir (BIER VI, 1999; EPA, 1992).

Bu bozunma zincirinin ana atomları bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Bu yüzden radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır. Radyoaktif radon gazının yarı ömrü 3,8 gündür. Şekil 6'da radonun bozunum şeması görülmektedir.

Radon gazının havadaki miktarı bölgeden bölgeye ve ülkeden ülkeye göre değişim gösterir. Kışın özellikle soğuk iklime sahip bölgelerde, evlerin ısıtılması sonucu evdeki basınç az ve dışarıdaki basınç fazla olur ve bu nedenle içerdeki radon oranı

yükselir. Aynı durum rüzgarlı havalar için de geçerli olduğu için radon oranı içerde artar. Yaz aylarında ise iyi havalandırılmış işyeri ve evlerde dışarı ile basınç farkı olmayacağı için ortamdaki radon seviyesi azalır (Papaethymiou, 2003).

Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radonun büyük kısmı, binalara, altındaki toprak ya da kayalardan girer. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselir, binanın altında hapsolür. Hapsolan bu gazlar, basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar Şekil 7’de görüldüğü gibi radon gazı, zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat boru boşlukları, duvarlar arası boşlukları ve içme suları ile bina içlerine sızarlar.



Şekil 7. Radon gazının bina içine giriş yolları

Kapalı bir ortamda radon konsantrasyonuna etkide bulunan kaynaklar şunlardır (TAEK, 2009);

1. Topraktaki ve yapı malzemelerindeki ^{226}Ra miktarı,
2. Toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı,
3. Toprak ve yapı malzemelerinin difüzyon potansiyeli,
4. Toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği,
5. Binadaki havalandırma kapasitesi,

6. İklim koşulları,
7. Mutfakta ve ısınma amaçlı doğal gazın veya jeotermal enerjinin kullanımı,
8. İç- dış hava sıcaklık ve basınç farkı,
9. Bina içi aktiviteler sebebiyle sulardan bina içi atmosfere radon karışmasıdır.

Bina içi radon konsantrasyonunun azaltılması amacıyla alınabilecek önlemler şunlardır (TAEK, 2009);

- 1.Kapı ve pencerelere yalıtım yapılmışsa havalandırma süresini uzatmak gerekir.
- 2.Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılmalı, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- 3.Binaların özellikle bodrum katlarının toprakla izolasyonu iyi yapılmalıdır.
- 4.Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazı bina dışına çıkmazsa bina içindeki konsantrasyon artacaktır. Bu nedenle kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir.
- 5.Radon düzeyi yüksek olabileceğinden, 20 yıldan eski olan evlerde çatlakların kapatılmalı ve izolasyon ile bakımı sürekli yapılmalıdır.
- 6.Hava akımının bina içerisinden toprağa doğru olması sağlanmalıdır.
- 7.Bina içinde kullanılan suyun radon içeriği azaltılmalıdır (suyun havalandırılması, karbon filtrelerden geçirilmesi).

Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir. Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler $200-600 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise 400 Bq/m^3 'tür. İngiltere'de NRPB (The National Radiological Protection Board) radon miktarını dışarda ortalama 4 Bq/m^3 , evlerde ortalama 20 Bq/m^3 olarak belirlemiş eğer radon miktarı evlerde 200 Bq/m^3 'ün üzerine çıkar ise müdahale edilmesi gerektiğini (action

level) ifade etmiştir. USA Çevre Koruma Ajansı (EPA)'da benzer bir limit koymuştur. EPA'ya göre saptanan maksimum limit 148 Bq/m^3 'tür.

1.5.1.1. Topraktaki Radon

Radon, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde gömülü olan uranyumun bozunması ile yeryüzünde bir yoğunluk oluşturur. Uranyum içeren pek çok farklı türden kayalar mevcuttur, fakat bunun önemli bir radon kaynağı sayılabilmesi için uranyum konsantrasyonunun 50 ppm değerinden yüksek olması gerekir (Durrani and Ilic, 1997). ^{222}Rn atomları toprak gazının olduğu yerde toprak parçacıkları ya da mineralleri arasında difüzyonla serbest kalırlar (Blaauboer, 1989). Doğal bozunma sürecinin bir parçası olarak ortaya çıkan radon gazı, bulunduğu bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılmaktadır. Toprakta bulunan ve havaya sızan radon miktarı, toprak karakteristiklerine ve basınca bağlıdır (Akyıldırım, 2005; Kulalı, 2009).

1.5.1.2. Sulardaki Radon

İnsanlar su ihtiyaçlarını yüzey sularından ve yer altı su kaynaklarından temin etmektedir. Radon suda çözünebilir. Yüzey suları ve yer altı suları, değişik miktarlarda radyum içeren toprak ve kayalarla yakın temasta bulunduğu için içme ve kullanma sularında radona rastlanabilir. Sudaki radon konsantrasyon değeri Bq/l ya da pCi/l birimleri ile verilir. Yer kabuğunda bulunan radyoaktif katmanlarla temas halinde bulunan yer altı suları yüzey sularına göre daha radyoaktiftir. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi UNSCEAR, yüzey suları için tipik ^{222}Rn konsantrasyonunun 40 Bq/m^3 (1pCi/l) değerinden daha düşük olduğunu ve yer altı suları için tipik ^{222}Rn konsantrasyonunun 4 ile 40 kBq/m^3 arasında değiştiğini bildirmektedir (UNSCEAR, 1982). ^{238}U ve ^{232}Th gurubunda yer alan radyoaktif elementler yer altı sularında bulunmaktadır. Özellikle uranyum serilerine ait olan radyoaktif elementlerden ^{223}Ra , ^{226}Ra ve ^{222}Rn sağlık açısından önemli risk oluştururlar (Erdoğan, 2010). Radon ev ortamına su vasıtasıyla girer ve suyun sıcaklığı arttıkça ev atmosferindeki radon miktarı da artar. (UNSCEAR, 1993). İçme sularında bulunan

radonun sindirim yoluyla ve kullanma sularında ise difüzyon yoluyla deriden vücuda alınması sonucu radyasyona maruz kalınabilir.

1.5.1.3. Atmosferdeki Radon

Radon (^{222}Rn veya ^{220}Rn) topraktan, kayalardan difüzyon yoluyla ve yapı malzemelerinden dış solunum yaparak bina içi ve bina dışı atmosfere karışır. Gesell 1983'de yayınladığı bir çalışmada, yerden 1 m yükseklikte bina dışı ortamlar da ortalama ^{222}Rn konsantrasyonunun Amerika kıtasında 9 Bq/m^3 olduğunu ortaya koymuştur (radon konsantrasyonları 4 ile 15 Bq/m^3 arasında değişmektedir). Bina dışı ortamlardaki radon düzeyleri, yüzeye yakın yerlerde yüksek uranyum ve toryum ihtiva eden bölgelerde 10 kat veya daha fazla değerlere çıkabilir. Radon atomlarının akış yönü topraktan havaya doğrudur. Bu hareketi etkileyen faktörler şunlardır:

- 1- Radyumun toprak ve kayalardaki konsantrasyonu
- 2- Materyallerden kaçan radonun fiziksel bağ yapma isteği
- 3- Toprak ve kayalardaki gözenekli yapı
- 4- Toprak ve hava arasındaki atmosferik basınç farkı
- 5- Toprağın suya doyma derecesi

Ayrıca; yeraltı suları, doğal gazlar, kömür, okyanuslar sınırlı da olsa radon salınımı yapabilmektedir.

1.5.1.4. Radon Gazının İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, teneffüs edildiğinde akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olur. Ancak bu, yüksek dozda radona maruz kalmış herkes akciğer kanserine yakalanacak anlamına gelmez. Sonuçta radon akciğer kanseri riski oluşturmakta veya mevcut riski arttırmaktadır (Ahad, 2003).

Radonun reaktivitesi zayıftır ve dokulardaki çözünürlüğü de düşüktür. Akciğerlere alınan radonun bir kısmı solunum ile dışarı atılabilir (Değerlier, 2008). Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1,3 mSv'dir. Genelde insanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Solunum sisteminde ortaya çıkan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam etmekte ve bu sürecin her aşamasında radyasyona maruz kalınmaktadır. Bu ise, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere sebep olabilmektedir. Solunum sistemindeki radyasyon dozu; solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünleri konsantrasyonuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır. Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41.000 akciğer kanserinden en az 2.500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5.000, sigara içenlerden ise 15.000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir (TAEK, 2009).

Solunum sistemindeki radyasyon dozu; solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünleri konsantrasyonuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır. Solunum sisteminde radon bozunma ürünlerinin alfa bozunması ile alınan radyasyon dozu, yalnızca radonun bozunmasıyla meydana gelen dozdan 100 kat daha fazladır (ICRP, 1986).

Radon ve ürünleri halk sağlığını tehdit eden bir kaynaktır. Solunan radon ürünlerinin bir kısmı akciğer ortamında çözülür ve buradan vücudun diğer taraflarına

taşınır. Bu nedenle radon tehlikesinin denetlenmesi bakımından kapalı yerlerde, özellikle evlerde radon konsantrasyonlarının ölçülmesi önem taşır (Kumbur vd., 1997).

Günümüze kadar yapılan hayvan deneyleri ve epidemiyolojik değerlendirmeler radonla akciğer kanseri arasında doğrudan ilişki kurulmasını sağlamıştır. Radon hızlı bozunması sonucu meydana gelen ürünler kendisini havadaki parçacıklara bağlar. Bu parçacıklar solunum sistemiyle alındığında bronşiyal ağacın değişik kademelerine kadar ilerler. Radyoaktif parçalanma süreci burada sürdüğünden, alfa parçacıkları yaymayı sürdürürler. Alfa parçacıklarının penetrasyon güçlerinin az olmasına rağmen bronş ve bronşyoilerin yüzeysel hücrelerine penetre olabilecek yeterlidir (Güler, 1997).

Radona bağlı olarak meydana gelen risk dozla artar. Etkilenimin şiddetine ve etkilenim süresine bağlıdır. Bu parametreler bronşiyal hücreleri etkileyen alfa parçacık miktarını belirlemektedir (Gönüllü, 1995).

ABD de bütün kanser ölümlerinin %10–12 sinin evsel radon etkilenimine bağlı olduğu belirtilmektedir (Lubin, 1995). Ancak yapılan bir değerlendirmede sigara ve radon etkileniminin bir arada yaptığı etkinin belirlenmesi aditif (katkı) ve çoğaltıcı bir ilişkinin bulunduğu sonucunu vermektedir (Harley vd., 1990). Sigara ve radonun birlikte etkileşmesi tek tek yaptıklarından en az on kat daha fazla oranda akciğer kanserine neden olmaktadır (Botkin vd., 1988). Sigara ile radon gazının birlikte etkileşimi sonucu kanser riskinin 26 kat arttığını öne süren çalışmalardan biride 2005 yılında Darby ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (Darby vd., 2005).

Radon ile ilgili olarak hesaplanan risk (risk 70 yıl süre ile zamanının %75'ini evde geçiren kişiler esas alınarak hesaplanmıştır) Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Radon risk değerlendirmesi (Çevre sağlığı temel kaynak dizisi No:44;32).

Düzey (pCi/L)	Akciğer kanseri ölümleri (binde)	Karşılaştırmalı diğer etkilerin değerleri	Karşılaştırmalı risk
200	400-70	Dış ortamın bin katı Sigara içmeyenlerin 60 katı Günde 4 paket sigara içen kişi	
100	270-630	Ortalama iç ortam seviyesinin 100 katı	Yıllık 20000 akciğer grafisi
40	120-380		Günde iki paket
20	60-210	Ortalama dış ortam seviyesinin 100 katı	Günde bir paket sigara içilmesi
10	30-120	Ortalama dış ortam seviyesinin 10 katı	Sigara içmeyen bir kişinin 5 katı
4	13-50	Ortalama dış ortam seviyesinin 10 katı	Yılda 200 akciğer filmi Sigara içmeyenlerin akciğer kanserinden ölüm riski
2	7-30		
1	3-13	Ortalama iç ortam seviyesi	Yılda 20 akciğer filmi
0.3	1-3	Ortalama dış ortam seviyesi	

1.6. Radyasyon Dozu ve Ölçüm Birimleri

Radyoaktif maddenin saniye başına gerçekleştirdiği bozunma sayısına aktivite denir. Aktivitenin SI birimi Becquerel olarak adlandırılır ve kısaca (Bq) ile sembolize edilir. Eski birim sisteminde Curie olarak kullanılan radyoaktivite birimi (Ci), bir gram radyumun saniyede uğradığı bozunma sayısı (3,7x10¹⁰ bozunma/saniye) olarak tanımlanmış ve bu sayıda aktivite gösteren tüm diğer radyoaktif maddelerin aktivitesi 1 Curie olarak belirtilmiştir.

Working Level (WL): 170 saatlik bir peryotta 130.000 Mev (Milyon elektron volt)'luk bir enerji açığa çıkartan etki olarak tanımlanır. (1WL=pCi/L)

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bozunma/saniye}$$

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

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

1.6.1. Işınlama Birimi

Işınlama birimi Röntgen, normal hava koşullarında (0°C ve 1 atm basınç) havanın 1 kilogramında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar meydana getiren x veya γ radyasyon miktarıdır. Yeni radyasyon birimi Coulomb/kg olarak belirlenmiştir.

$$1 \text{ Coulomb/kg} = 3876 \text{ R veya}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg dır.}$$

1.6.2. Soğurulan Doz Birimi

Nükleer teknolojinin ilerlemesi ile elde edilen yüksek enerjili x ışınlarının α , β ve nötron gibi radyasyonlardan herhangi bir cisimde soğurulan enerjisinin ölçümünde coulomb/kg veya röntgen yetersiz kalmıştır. Bu nedenle her çeşit radyasyon ve madde için soğurulan doz birimi olarak Gray tanımlanmıştır. Radyoaktif bir madde tarafından salınan radyasyon etkileştiği maddelere enerji bırakmaktadır. Soğurulmuş doz, ışınlanan maddenin 1 kilogramında 1 Joule'lük enerji soğurması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır ve Gy ile sembolize edilir.

Soğurulmuş dozun eski birimi rad olup,

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/gr}$$

$$1 \text{ rad} = 0.01 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-5} \text{ J/gr}$$

$$100 \text{ rad} = 1 \text{ gray } 1 \text{ gray} = 1 \text{ J/kg'dır.}$$

1.6.3. Eşdeğer Doz Birimi

Radyasyona maruz kalan insanlarda meydana gelebilecek zararlı biyolojik etkilerin belirlenebilmesi açısından, ölçülebilen bir radyasyon dozu birimine ihtiyaç duyulmuştur. 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. Zira soğurulan dozun meydana getirdiği zararlı biyolojik etkiler, hem iyonizasyon yoğunluğuna hem de radyasyonun türüne (α , β , γ vs.) göre farklılık göstermektedir. Yani oluşacak biyolojik etki, iyonlaştırıcı radyasyonların geçtikleri ortamın birim uzunluğunda kaybettikleri enerji miktarına (Lineer Enerji transferi) bağlı olarak değişim göstermekte ve LET arttıkça artmaktadır. Bu nedenle eşdeğer doz birimi, radyasyonların oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü olmalıdır. Doz eşdeğerinin SI birimi Sievert (Joule/kg) dir ve kısaca "Sv" ile sembolize edilir ve soğurulan dozun ile kalite faktörünün çarpımı olarak tanımlanır.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg} \quad 1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

1.7. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

(AEDE) Bu değer, insanın farklı radyasyon kaynaklarından yayılan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kaldığı gerekse yediği gıdalar ve soluduğu havada bulunan değişik radyonüklitlerden yayınlanan ışınlarla içeriden maruz kalmak suretiyle bir yıl içerisinde alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır ve birimi Sievert'tir. Her radyonüklitin yayınladığı 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 yıllık etkin doz eşdeğeri bulunur. (AEDE=Dönüşüm faktörü x Aktivite konsantrasyonu)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Rize İlinin Jeolojik Yapısı

Akarsu vadilerinden dolayı alüvyal topraklara, kıyı kesimlerde ise volkanik örtü ve tüflerin oluşturduğu yapılar rastlanmaktadır. Yüksek bölgeler de magmatik elamanlar göze çarpmaktadır. Toprak yapısı podzolik (iğne yapraklı ağaçların altında kalan toprak, madensel tuzlar yönünden zayıf, nemli bölgelerin karakteristik toprağıdır), kahve rengi kireçsiz orman toprakları, alüvyal ve kolüvyal (eğimli yamaçlar boyunca, kumlu, çakıllı birikinti üzerinde oluşan yapı) topraklardır. Sahil kesiminde denizden gelen fosil içerikli yapılar belirmektedir. Fındıklı, Ardeşen ve Çamlıhemşin taraflarında özellikle granit, andesite ve basalt kompozisyonlarına yoğun olarak rastlanmaktadır.



RİZE İLİ HARİTASI

Şekil 8. Rize ili haritası (URL-1)

2.2. Ev İçi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

2.2.1. Adreslerin Belirlenmesi ve İz Dedektörlerinin Evlere Dağıtımı

Adres tespiti aşaması araştırmada en önemli kısımlardan biridir. Bu aşamada yapılan çalışmalarda adreslerin dağılımının düzenli olması gerekir. Bu şekilde çalışma alanı sistematik şekilde değerlendirilmiş olur. Çalışma kapsamında akciğer kanserli hastaların adresleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nden tespit edilmiştir. Hastane kayıtlarından gruplar seçilirken mümkün mertebe anlamlı sonuçlar verebilecek ve il genelini temsil edecek şekilde adresler alınmıştır. Akciğer teşhisi konulan 100 hasta ve 40 kanserli olmayan normal kişilerin yaşadıkları adreslerde çalışma gerçekleştirilmiştir. Adreslere yerleştirilen dedektörlerin Magellan eXplorist 510 gps cihazı ile konumları kaydedilerek haritalandırma yapılmıştır. Hastaların alışkanlıklarının ve yerleşim bölgesinin özelliklerinin belirtilmesi amacıyla hazırlanan anketler uygulanmış ve analiz için adreslerden toprak örnekleri alınmıştır. Anketler yardımıyla radon dışında kanser oluşumunu tetikleyen parametreler belirtilmiştir. Alınan toprak örneklerindeki analizlerin amacı ise ^{238}U ve ^{226}Ra aktivitelerini tespit etmek ve alınan yıllık etkin doz değerini belirlemektir.

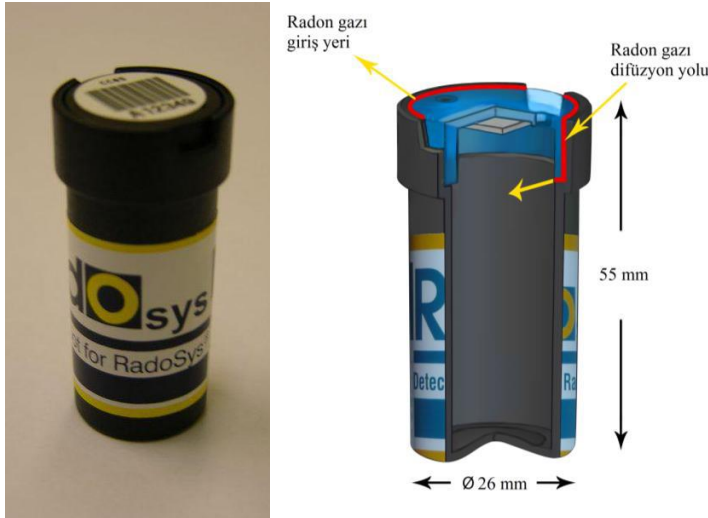
Tez çalışması için tespit edilen hastaları telefonla tek tek arayarak yapılacak araştırma hakkında bilgi verilmiş ve destek veren hastaların evlerine gidilerek radon iz dedektörlerinin yerden en az bir metre yüksekliğe ve evin içinde ve dışında hava akışına maruz kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu iz dedektörleri yaz ve kış mevsimleri için evlerde 3 ay süre ile bekletilmiş ve 3 ay sonunda toplanarak analize gönderilmiştir.

2013 yılında yapılan çalışmada İyidere ilçesine bağlı Çiftlik köyünde diğer örnekleme noktalarına göre radon gazı oranı yüksek çıktığı (yaz mevsimi iç ve dış ortam sırasıyla $115,07 \text{ Bq/m}^3$ ve $16,67 \text{ Bq/m}^3$, kış mevsimi iç ve dış ortam sırasıyla $242,93 \text{ Bq/m}^3$ ve $63,50 \text{ Bq/m}^3$) için aynı bölgede 2014 kış mevsiminde 80 adet CR-39 dedektörleri evlere dağıtılarak ölçümler yinelenmiştir.

2.2.2. CR-39 Pasif Örnekleme Metodu

Bina içi ve dışı radon gazı ölçümlerinde genellikle LR-115 ve CR-39 katıhal nükleer iz kazıma yönteminden faydalanılır. Bu çalışmada RSKS tipi CR-39 katı hal iz dedektörleri kullanıldı. Bu dedektörlerin kimyasal adı polyallyl alil diglycol karbonat (PADC) ve kimyasal sembolü $C_{12}H_{18}O_7$ 'dir. Şekil 9'da CR-39 dedektörünün içerisinde bulunduğu Radosys ışınlama kutusu görülmektedir. CR-39 dedektörleri camın optik özellikleri ile mekanik ve fiziksel özellikleri birleştirilerek yapılmış ve ısı altında sertleştirilmiş bir tür plastiktir. Dedektörler aşağıdaki karakteristik özelliklere sahiptir:

1. Camla kıyaslanabilecek optik özelliklere sahip olup yüzeyi cam gibi parlak ve pürüzsüzdür.
2. Sahip olduğu üstün optik özellikleri sayesinde her türlü şartlarda kullanılabilir. Çözücülerle temas edildiğinde veya uzun süre çözücü içinde bekletildiğinde iç ve dış yüzeyinde çatlama ve kırılmalar olmaz.
3. Aşınma direnci akrilik plastiklerden 30-40 kat daha fazladır. Kimyasal maddelere, aseton ve benzin içeren çözücülere karşı dayanıklıdır.
4. 100 milyon röntgen şiddetindeki gama ışınlarına maruz bırakıldığında saydamlığından % 5 oranında kayıp verir. Bu kayıp akrilik materyallerde % 45 civarındadır.



Şekil 9. CR-39 pasif nükleer iz dedektörünü içeren şematik gösterimi

CR-39 dedektörünün kimyasal formülü $C_{12}H_{18}O_7$ dir. Macaristan'daki Radosys firmasında üretilmekte olan bu nükleer iz dedektör çipleri için üretici firmanın verdiği teknik özellikler Tablo 2'de sunulmuştur (Radosys WEB, 2010).

Tablo 2. CR-39 nükleer iz dedektörlerinin teknik özellikleri

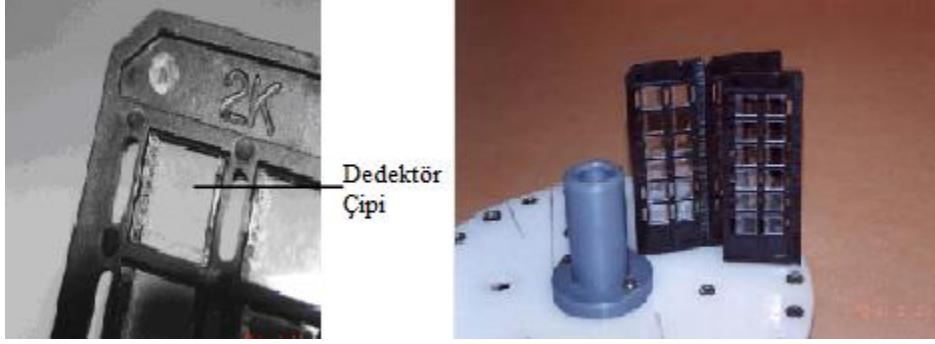
Tip	Kapalı kutu: Radosys-RS
Dedektör Konumu	1 çip (Kapak kısmına sabitlenmiştir.)
Materyal	Geçirgen plastik
Filtre	Hava boşluğu
Boyutlar (Difüzyon kabı)	26mm x 55mm
Boyutlar (Çip alanı)	100mm ²
Dedektör ile birlikte sunulanlar	Dedektör çipi için hazırlanmış tanımlama etiketi, 3 katlı folyodan yapılmış radon geçirmez kılıf
Seçenekler	İsteğe bağlı tasarlanmış etiketler
Uygulama	Kapalı ortam radon testi

2.2.3. İz Dedektörlerinin Ölçümleri

İz dedektörleri, 35x55 mm silindirik şekilde olup dedektör çipi plastik kutunun iç alt tarafında, yüzey alanı 10x10 mm ve kalınlığı 1 mm'dir. İz dedektörlerinin yüzeyi polypropylene madde ile kaplanmıştır. Polypropylene madde alfa parçacıklarına duyarlı olup, ²²⁰Rn (Toron) ve toz parçacıklarının girmesini engellemektedir. Sadece radon gazı içeriye difüzyon yoluyla girmektedir. Radonun bozunması sonucu oluşan alfa parçacıkları dedektör çipin üzerine izler bırakmaktadır. CR-39 radon iz dedektörleri kullanılarak aynı anda birçok evde radon konsantrasyonu ölçümü yapılabilmektedir.

Üç ay boyunca radon gazına maruz kalan dedektörlerin analizleri ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi)'de Radosys otomatik iz sayım sistemi kullanılarak yapılmıştır. Bu sistem, bilgisayara bağlı gelişmiş bir optik mikroskop, banyo ünitesi ve radon dedektörlerinden oluşmaktadır.

Dedektör ipleri plastik kutuların içinden dikkatlice çıkarılıp her biri Şekil 10'daki gibi slaytlara yerleştirilmiştir. Her bir slayt 12 tane dedektör çipi almaktadır. Daha sonra banyo (etching) işlemi yapılmıştır.



Şekil 10. Dedektör ipi ve kazıma diski

Radon gazına maruz kalan CR-39 dedektör çipleri 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.

Bilgisayarda yazılım olarak Linux işletim sistemi kullanılmaktadır. Her bir slayt sayım ünitesine yerleştirerek okutma işlemi yapılmıştır. CR-39 dedektör çipinde, cm^2 başına düşen alfa izlerinin yoğunluğu, (200x) optik mikroskop kullanılarak sayılmıştır. Şekil 11'de ölüm sistemi ve alfa izlerinin dedektör çipi üzerine bıraktığı izler görülmektedir. Daha sonra her bir iz dedektörünün evlere dağıtılış ve evlerden toplanış tarihleri bilgisayara girilerek kayıtlı olan sistem sayesinde aktiviteler Bq/m^3 cinsinden bulunmuştur.



Şekil 11. Radosys ölçüm sistemi ve alfa izlerinin görüntüsü

2.3. Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizleri

2.3.1. Örneklerin alınması ve Analize Hazırlanması

Çalışma kapsamında Rize de il, ilçe ve köylerde ikamet eden akciğer kanserli hastaların yaşamış oldukları adreslerde evlerin kurulduğu zeminlerden toprak numuneleri alınmıştır. Toprak numunelerinin toplanması yüzeyden 5-10 cm derinliğe inilerek radyoaktif sayımlara yetecek miktarda alınmıştır. Numuneler önceden etiketlenmiş temiz, ağızları kapanabilen naylon torbalara konulup laboratuvara getirilmiştir.

Toplanan numuneler öncelikle sınıflandırılmış ve oda sıcaklığında kurutulmuşlardır. Daha sonra, numunelerin öğütme ve eleme işlemleri yapılmıştır. Toprak örnekleri homojen olması için 80 Mesh'lik elekten geçirilerek neminin alınması için $80^{\circ}C$ de bir etüve konulmuştur. Etüvde bir kaç gün kaldıktan sonra deney geometrisine uygun biçimde hazırlanan, çapı 6 cm ve yüksekliği 5 cm olan plastik kutuların içine konulmuş ve kutuların ağızları sıkıca kapatılarak 1 ay süreyle bekletilmiştir. Böylece ^{238}U ve ^{226}Ra ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması sağlanmış ve numuneler sayıma hazır hale getirilmiştir.

Bekleme süresi dolan örneklerin çok kanallı gama dedektörü ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ölçümlerin tamamlanmasının ardından örneklerden elde

edilen spektrumların bilgisayar ortamında analizlerinin yapıp aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır.

2.3.2. Deneysel Sistem ve Spektrum Analizi

Çalışmada toprak numunelerinin radyoaktivite analizleri için, K.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Laboratuvarında bulunan çok kanallı gama spektroskopisi kullanılmıştır. Gamma spektroskopik ölçümler 1332,5 keV'de 1,9 keV rezölüsyona ve % 15' lik relatif verime sahip olan Canberra, GC 1519 model yüksek saflıkta coaxial dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Dedektör, ön yükselteç, yükselteç, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) oluşmaktadır.

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.

Her bir pik için ilgili alan (ROI) bölgeleri seçilmiştir. Yine her bir pik için piklerin alanları, en büyük alan ve en küçük hatayı verecek şekilde işaretlenmiştir. Yapılan enerji kalibrasyonundan yararlanılarak, çıkan bu piklerin hangi enerji değerlerine karşılık geldiği belirlenmiş olup bu enerjilere karşılık gelen radyoizotoplar tespit edilmiştir. Alınan spektrumlardaki ^{238}U bozunma ürünü olan ^{226}Ra (186,21 keV), ^{214}Pb (295,2 keV), ^{214}Pb (351,9 keV) ve ^{214}Bi (609,3 keV) pikleri dikkate alınarak ortalama ^{238}U aktivitesi ve 186,21 keV'deki pik yardımı ile de ortalama ^{226}Ra aktivitesi hesaplanmıştır.

2.3.3. Aktivite Hesabı

Ölçümler sonucu elde edilen radyonüklitlerin aktivitelerini hesaplamak için dedektör verimini de hesaba katarak,

$$\text{Aktivite} = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayım Süresi} \times \text{Numune Miktarı} \times \text{Bolluk} \times \text{Verim}} \quad (43)$$

ifadesinden yararlanılmıştır. Piklerin altındaki net alanlar, toplam alandan background çıkarılarak elde edilmiştir.

2.4. İstatistiksel Değerlendirme

Yapılan ölçümlere göre çalışma kapsamındaki vaka ve kontrol grupları arasındaki istatistiksel anlamlılıklara bakmak için Independent Sample T-testi ve Paired Sampe T-testi uygulanarak anlamlılıklarına bakılmıştır.

3. BULGULAR

Çalışmamızda öncelikle, Rize il merkezi, Merkez köyler, İlçeler ve ilçelere bağlı köyler de dâhil olmak üzere Rize genelinde belirlenen adreslerdeki evlerde radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi ve insanların yıllık ortalama radondan dolayı maruz kaldıkları etkin doz değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler hem Türkiye’de hem de dünyada yapılan diğer çalışmaların verileriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca uluslararası kuruluşlar tarafından izin verilebilir seviyelerde olup olmadığı değerlendirilmiştir. Öte yandan çalışma kapsamında uygulanan anketler ışığında elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak radon gazı ve akciğer kanseri ilişkisi Rize ili için verilmeye çalışılmıştır.

3.1. Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerler

^{238}U ’in bozunma zincirinde bulunan ve radyoaktif bir gaz olan radon (^{222}Rn) bina içine, bina zeminindeki çatlaklardan, yapıların bağlantı noktalarından, duvar çatlaklarından, asma kat boşluklarından, tesisat boru boşlukları, duvar arası boşlukları ve içme suları ile sızarlar. Radon konsantrasyonu kapalı odalarda zaman zaman insan sağlığı açısından zararlı seviyelere ulaşabilmektedir. Ev içi radon konsantrasyonunu bina yapılan bölgenin jeolojik yapısı, binanın tipi, yapı malzemesinin cinsi, sıcaklık, basınç, nem, evlerin havalandırma şekli, rüzgar hızı ve hatta insanların yaşam şekli bile büyük oranda etkileyebilen faktörlerdir (Mireles vd., 2007). Bu doğrultuda dedektörler mümkün mertebe ili temsil edecek şekilde adreslere dağıtılmış ve üç ayın sonunda geri toplanarak analizleri yapılmıştır.

Dedektörlerin bir kısmı kırılma kaybolma ve ev sahiplerine ulaşamama gibi durumlardan dolayı geri alınamamıştır. Adreslere dağıtılan 320 adet dedektörden 264’ü amaca uygun ve sağlam bir şekilde geri alınmıştır. Dağıtılan ve geri alınan dedektörlerin sayısı Tablo 3’da verilmiştir. Tablo 4’de ise ilçeler bazında sonuç alınan dedektör sayıları mevcuttur. Aktivitenin yüksek çıkması dolayısıyla Çiftlik Köyündeki adreslere 2014 yılında tekrardan dağıtılan 80 adet dedektörün 58 adedi amaca uygun olarak toplanmıştır.

Tablo 3. Dağıtılan ve geri alınan dedektörlerin sayısı

<i>Bina İçi</i>				<i>Bina Dışı</i>			
<i>Yaz</i>		<i>Kış</i>		<i>Yaz</i>		<i>Kış</i>	
<i>Dağıtılan</i>	<i>Toplanan</i>	<i>Dağıtılan</i>	<i>Toplanan</i>	<i>Dağıtılan</i>	<i>Toplanan</i>	<i>Dağıtılan</i>	<i>Toplanan</i>
80	66	80	64	40	30	40	28
Kontrol Grubu							
20	20	40	37	0	0	20	19

Tablo 4. İlçeler Bazında Toplanan Dedektörlerin Dağılımı

<i>İlçeler</i>	<i>Yaz Mevsimi</i>		<i>Kış Mevsimi</i>	
	<i>İç Ortam</i>	<i>Dış Ortam</i>	<i>İç Ortam</i>	<i>Dış Ortam</i>
İyidere	14	6	14	6
Kalkandere	7	2	6	3
Güneysu	5	4	5	3
Merkez Köyler	15	5	16	4
İkizdere	1	0	2	0
Çayeli	9	5	9	5
Merkez	21	1	37	22
Çamlıhemşin	2	2	2	0
Ardeşen	4	1	3	1
Pazar	4	1	3	1
Fındıklı	4	3	4	2
Genel Toplam	86	30	101	47
*Çiftlik Köy	-	-	58	-

*2013 yılında yapılan ölçümler sonucunda Çiftlik Köy' de belirlenen adreslerde radon gazı konsantrasyonu yüksek çıktığından dolayı 2014 yılında ölçümler tekrarlanarak 58 adet dedektör amaca uygun olarak toplanmıştır.

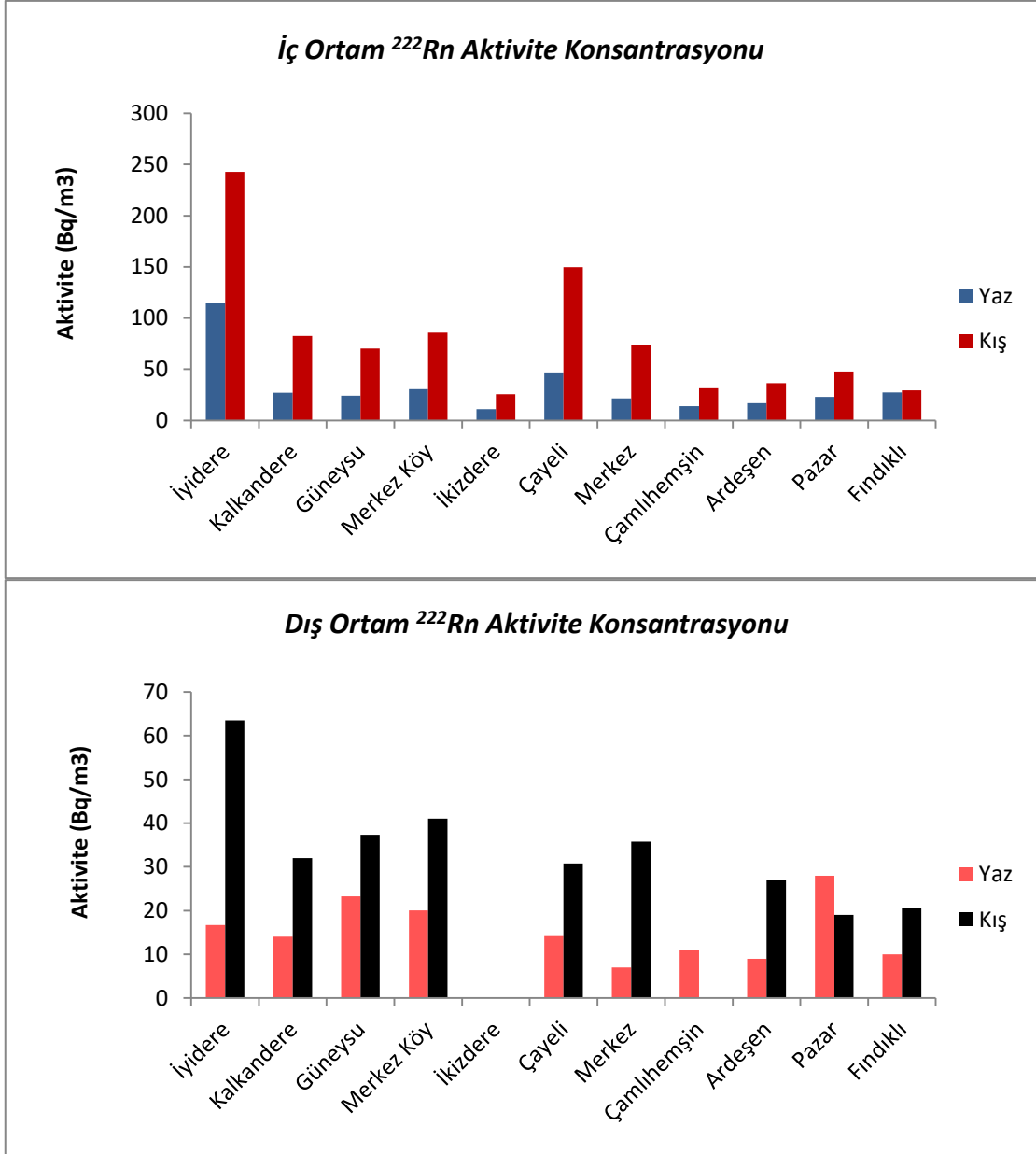
Rize ili merkez ilçeler ve köylere ait bina içi ve dışı radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi Tablo 5 ve Şekil 12'da görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında il genelinde yaz mevsimi iç ortam ortalama radon aktivite konsantrasyonu 32,51, dış ortam ise 15,34 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Kış mevsimi iç ve dış ortalama radon aktivite konsantrasyonları ise sırasıyla, 83,64 ve 34,10 Bq/m³'tür.

Tablo 5. ²²²Rn aktivite konsantrasyonları ve bina içi etkin doz eş değerler

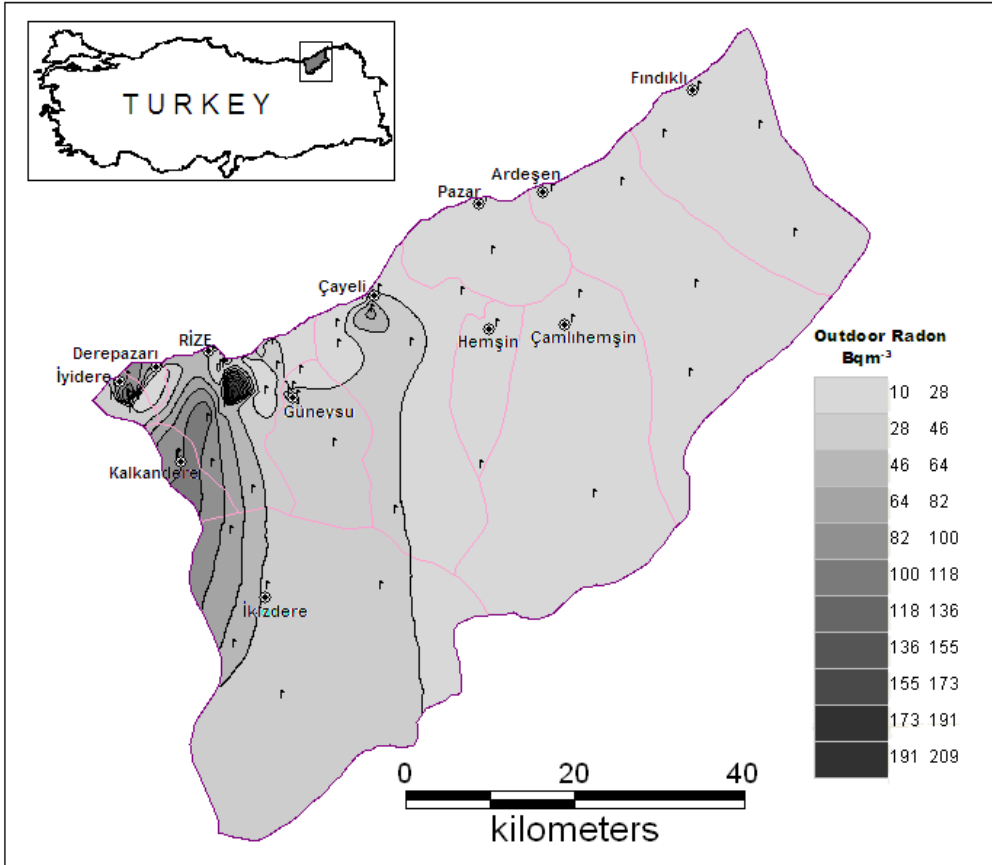
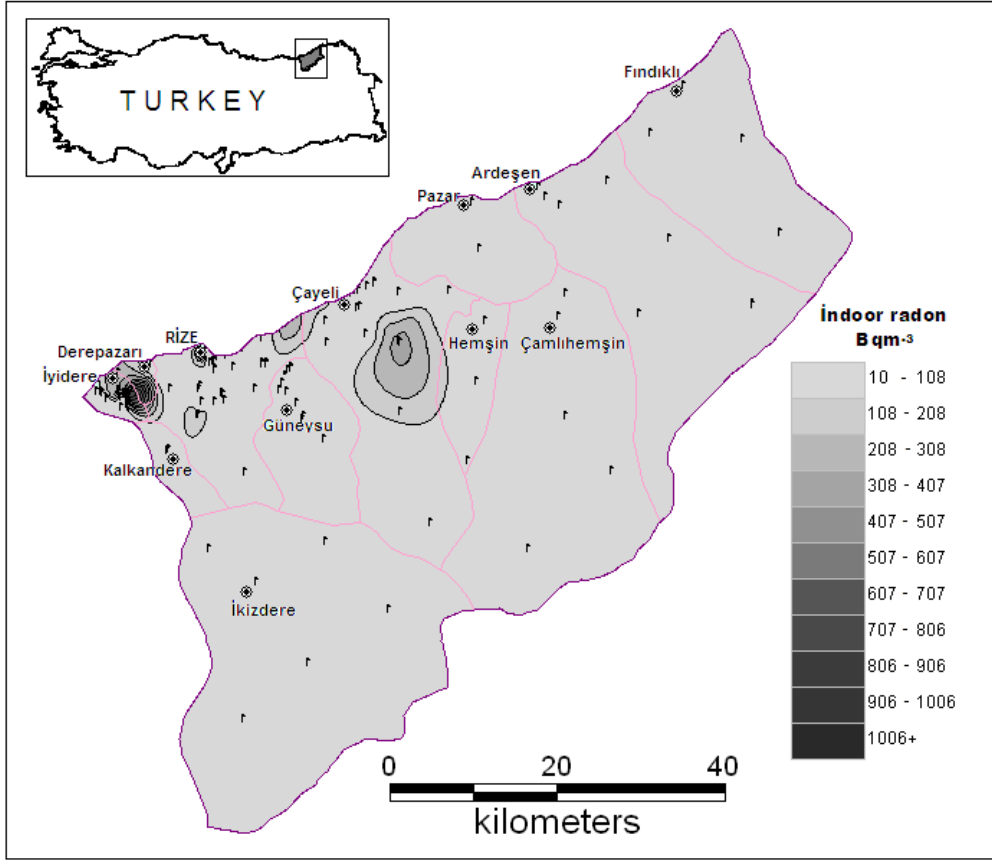
<i>Bölgeler</i>	<i>Yaz Mevsimi</i>				<i>Kış Mevsimi</i>			
	<i>İç Ortam</i>		<i>Dış Ortam</i>		<i>İç Ortam</i>		<i>Dış Ortam</i>	
	Aktivite (Bq/m ³)	Etkin Doz mSv/y	Aktivite (Bq/m ³)	Etkin Doz mSv/y	Aktivite (Bq/m ³)	Etkin Doz mSv/y	Aktivite (Bq/m ³)	Etkin Doz mSv/y
<i>Genel Ortalama</i>	32,51	0,82	15,34	0,15	83,64	2,11	34,10	0,32
<i>İyidere</i>	115,07	2,90	16,67	0,16	242,93	6,13	63,50	0,60
<i>Kalkandere</i>	27,00	0,68	14,00	0,13	82,50	2,08	32,00	0,30
<i>Güneysu</i>	24,06	0,61	23,25	0,22	70,17	1,77	37,33	0,35
<i>Merkez Köyler</i>	30,53	0,77	20,04	0,19	85,88	2,17	41,00	0,39
<i>İkizdere</i>	11,00	0,28	-	-	25,50	0,64	-	-
<i>Çayeli</i>	46,89	1,18	14,40	0,14	149,56	3,77	30,80	0,29
<i>Merkez</i>	21,58	0,54	7,00	0,07	73,36	1,85	35,77	0,34
<i>Çamlıhemşin</i>	14,00	0,35	11,00	0,10	31,50	0,79	-	-
<i>Ardeşen</i>	17,00	0,43	9,00	0,09	36,33	0,92	27,00	0,26
<i>Pazar</i>	23,00	0,58	28,00	0,27	47,67	1,20	19,00	0,18
<i>Fındıklı</i>	27,50	0,69	10,00	0,10	29,50	0,74	20,50	0,19
<i>Çiftlik köy</i>					128,84	3,25		

Ölçüm yapılan tüm evlerdeki radon konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 13'de gösterilmiştir. Radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimine bakıldığında il geneli yaz mevsimi aktivite değerleri, kış mevsimindeki ortalama değerinden yaklaşık 2,5 kat düşük olduğu görülmüştür. Yaz mevsimi en düşük radon aktivitesi 11,00 Bq/m³ ve kış mevsimi en düşük radon aktivitesi 25,50 Bq/m³ olarak İkizdere ilçesinde gözlenmiştir. En yüksek radon aktivitesi 115,07 Bq/m³ olarak yaz mevsiminde ve 242,93 Bq/m³ değeri ile de kış mevsiminde İyidere ilçesinde gözlenmiştir. İyidere ilçesinde aktivitenin yüksek olmasını ilçe yerleşiminin jeolojik yapısına ve volkanik tüflerin oluşturmasına atfedilebilir. Kışın evlerin ısıtılması sonucu evdeki basınç az ve dışarıdaki basınç fazla olur ve bu nedenle içerdeki radon oranı yükselir. Aynı durum rüzgârlı havalar için de geçerli olduğu için radon oranı içerde artar. Yaz aylarında ise iyi havalandırılmış işyerleri ve evlerin dışarıya ile basınç farkı olmayacağı için ortamdaki radon seviyesi azalır.

İl geneli yaz ve kış radon dağılımını gösteren haritalar Şekil 13'de verildiği gibidir.



Şekil 12. İlçelere göre bina içi ve bina dışı mevsimsel ²²²Rn aktivite değerleri



Şekil 13. Ev içi ve dışı ²²²Rn konsantrasyonlarının Rize ilindeki dağılımı

Tablo 5'deki verilere bakıldığında, ev içi ve dışı radon konsantrasyonundan dolayı insanların maruz kaldıkları yıllık etkin doz eşdeğerleri görülmektedir.

Kapalı mekânlarda radon konsantrasyonundan dolayı insanların maruz kaldıkları yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanırken Denklem 49'den yararlanılmıştır (UNSCEAR, 2000,a,b,c).

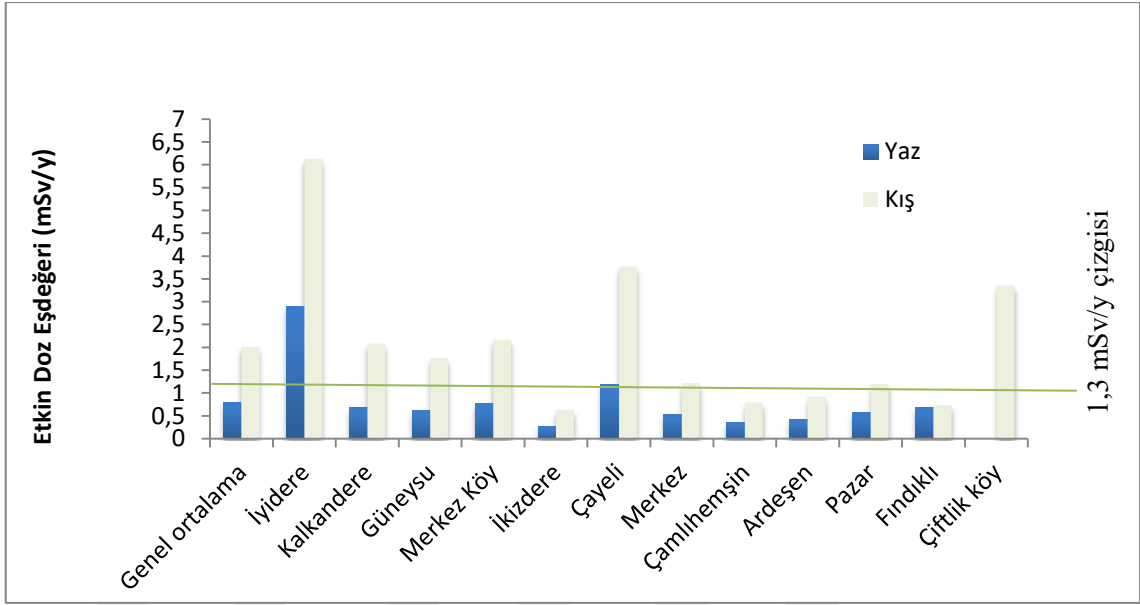
$$AEDE(mSv/ y) = AxExFxTx D \quad (49)$$

Bu ifadede A , radonun aktivite konsantrasyonunu (Bq/m^3), E , ev içi denge faktörü olarak belirlenen 0,4 değerini (dış ortam için 0,6), F , meşguliyet faktörü olarak adlandırılan ve insanların kapalı ortamlarda geçirdikleri zamanı 0,8 (dış ortamlar için 0,2), T , bir yıllık zamanı (8760 s/y), D ise doz dönüşüm faktörü olarak belirlenen $9 \times 10^{-6} mSv(Bq/m^3.s)^{-1}$ değerini göstermektedir.

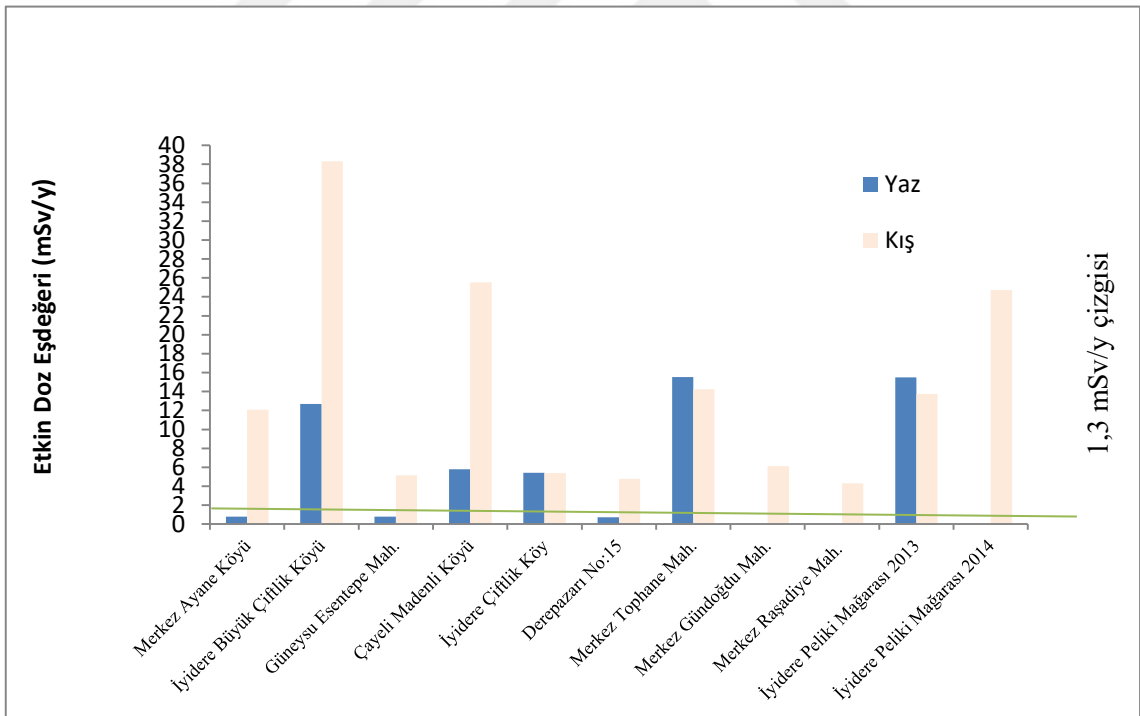
UNSCEAR 2000 raporuna göre; radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1,3 mSv'dir. Tablodaki sonuçlara bakıldığında yaz ayı radon aktiviteleri genel anlamda düşük olup, kış mevsiminde ortalama değerden yüksek etkin doz eşdeğeri oluşturacak radon aktivitelerine rastlanmıştır.

İl geneli kış mevsimi iç ortam $84 Bq/m^3$ 'lük radon aktivite değeri 2,11 mSv/y'lik etkin doz eşdeğeri oluşturmaktadır. İlçeler bazında bakıldığında İyidere de maruz kalınan ortalama etkin doz eşdeğeri yaz mevsiminde 2,90 mSv/y ($115,07 Bq/m^3$), kış mevsiminde ise 6,13 mSv/y ($242,93 Bq/m^3$) dır. Kalkandere, Güneysu, Merkez köyler, Çayeli, ve Merkezde kış mevsiminde kapalı alanda maruz kalınan yıllık ortalama etkin doz eş değerleri sırasıyla; 2,08, 1,77, 2,17, 3,77 ve 1,85 mSv/y'dir. Sıralanan bu değerlerin hepsi 1,3 mSv/y değerinden yüksektir. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri 0,28 mSv/y (yaz mevsimi) ve 0,79 mSv/y (kış mevsimi) ile İkizdere İlçesinde bulunmuştur.

Etkin doz eşdeğerlerini gösteren çizelgeler ilçeler ve yüksek çıkan noktalar için Şekil 14 ve 15'de verilmiştir.



Şekil 14. İl ve ilçeler bazında yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 15. Yıllık etkin doz eşdeğerleri 1.3 mSv/y değerinden yüksek çıkan bazı adresler

Örnekleme noktalarına bireysel olarak bakıldığında on istasyonda oldukça yüksek aktivite değerlerine rastlanılmıştır (Tablo 9). Yüksek aktivasyondan dolayı maruz

kalınan yıllık ortalama doz eşdeğerleri, İyidere Büyük Çiftlik Köyü, Merkez Ayane Köyü, Güneysu Esentepe Mahallesi, Çayeli Madenli Köyü, İyidere Çiftlik Köy, Der pazarı numara 15, Merkez Tophane Mahallesi, Merkez Gündoğdu Mahallesi, Merkez Reşadiye Mahallesi ve İyidere Pileki Mağarası için sırasıyla; 38,32, 12,08, 5,15, 25,53, 5,40, 4,77, 14,23, 6,13, 4,31 ve 5,04 mSv/y'dir.

Ülkemizde Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) ve Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) evlerde radon konsantrasyonu için izin verilebilir seviyeyi 400 Bq/m^3 olarak belirlemişlerdir. Bu değere karşılık gelen yıllık ortalama etkin doz değeri ise 10 mSv'dir. Ancak, UNSCEAR 'ın 2000 raporunda, insanların radon gazından dolayı maruz kaldıkları 1,32 mSv/yıl seviyesi Rize ili için göz önüne alındığında doz değerleri pek çok evde bu değer üzerinde. Diğer taraftan, radon aktivite konsantrasyonu değerleri Rize ilinde 4 ev de 429, 564, 1519 ve 1012 Bq/m^3 değeri ile ICRP'nin 400 Bq/m^3 sınırını aşmıştır. Bu konsantrasyonlara karşılık gelen yıllık etkin doz eş değerleri ise; 12,08, 14,23, 25,23 ve 38,32 mSv/yıl'dır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise evlerde radon konsantrasyonu için izin verilebilir seviyeyi 100 Bq/m^3 olarak belirlemiştir. Çalışmamızda 14 adreste ölçülen radon aktivite konsantrasyonları 100 Bq/m^3 'ün üzerindedir. Tablo 6'da Türkiye'de ve dünyada bazı bölgelerde ev içi radon konsantrasyonu değerleri verilmektedir. Tablodaki verilere göre Rize'deki radon aktivite değerleri ortalaması Türkiye ortalamasının yaklaşık 20 Bq/m^3 altında dünya ortalamasının ise 12 Bq/m^3 üzerindedir.

Tablo 6. Türkiye’de ve bazı ülkelerde radon konsantrasyonu

<i>İller</i>	<i>Radon konsantrasyonu (Bq/m³)</i>	<i>Referans</i>
Şanlıurfa	68	Çelebi ve Alkan (1997)
Çanakkale	160	Çelebi ve Alkan (1997)
Isparta	164	Uluğ vd. (2003)
Tekirdağ	87	Yarar vd (2005)
Manisa	97	Erees vd (2006)
Kastamonu	98	Kam ve Bozkurt (2007)
Edirne	49	Bozkurt ve Kam (2007)
Kars	114	Çelik vd (2008)
Giresun	130	Çelik vd. (2008)
Batman	84	Damla vd. (2008)
Ardahan	173	Yeşilbağ vd.(2009)
Artvin	132	Yeşilbağ vd.(2009)
Konya	779,36	Çömlek (2010)
Kilis	47	Can (2011)
Eskişehir	25-422	Soğukpınar (2013)
Rize	84	Bu çalışma
Kahramanmaraş	62,87-421,83	Alıç (2014)
İzmir	210	Alkan (2014)
Samsun	26	Çakmak (2014)
İstanbul	40 – 395	Kurt (2015)
<i>Diğer Ülkeler</i>		
İspanya (Barcelona)	68,5	Gutierrez vd. (1992)
İspanya (Madrid)	40,5	Gutierrez vd. (1992)
Meksika	145	Marina vd. (2001)
Yunanistan (Patras)	38	Papaefthymio vd. (2002)
Hindistan (Himachal Pradesh)	123	Singh vd. (2002)
Suudi Arabistan (Yemen)	42	Khayrat vd. (2003)
Meksika (Zacatecas)	67	Quirino vd. (2006)
Suudi Arabistan (Riyad)	18	Ferdoas S. Al-Saleh (2007)
Pakistan	72	Rahman vd. (2007)

3.2. Radon Maruziyeti Dolayısıyla Oluşacak Akciğer Kanseri Riskinin Hesaplanması

Akciğer kanseri riski oluşturmada radon sigaradan sonra ikinci sırada gelmektedir. (BEIR VI, 1999). Radon gazına bağlı ölümler eşitlik denklem 50 ile hesaplanmaktadır.

$$N_{r,a} = (ERR_{r,a} \times N_a) / (1 + ERR_{r,a}) \quad (50)$$

Burada $N_{r,a}$ a yaşında iç ortam radon konsantrasyonu dolayısıyla ölenlerin sayısı. $ERR_{r,a}$ r radonu maruziyeti dolayısıyla a yaşı için etkin relatif risk. N_a ise a yaşındaki akciğer kanserinden ölenlerin sayısı.

Etkin relatif risk BEIR VI'nin yaş konsantrasyon modeli kullanılarak hesaplanmıştır (BEIR VI, 1999). Bu modele göre bir a yaşı için etkin relatif risk:

$$ERR_{r,a} = \beta(W_{5-14} + 0.7W_{15-24} + 0.51W_{25+}) \quad (51)$$

β maruziyet-cevap fonksiyonu olup, 75 yaşının altındakiler için 6.0×10^{-3} olarak alınmıştır.

W_{5-14} 5-14 yaş arası. W_{15-24} 15-24 yaş arası ve W_{25+} is 25 yaş ve üzeri yıllardaki toplam maruziyeti göstermektedir. Maruziyet dozu “Working Level Months” olarak adlandırılır. WLM'nin hesabı eşitlik 52'den faydalanılarak yapılmaktadır.

$$WLM = \frac{WL(WorkingLevel) \times Maruziyet \text{ Süresi}(saat)}{170 \left(\frac{saat}{ay} \right)} \quad (52)$$

WL ise eşitlik 53'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$WL = \frac{Radon \left(\frac{pCi}{l} \right) \times Denge Faktörü}{100} \quad (53)$$

olup, denklemde denge faktörü 0.5 olarak kabul edildiğinde; WL değeri 54 eşitliği yardımı ile hesap edilmiştir.

$$WL = \frac{Radon \left(\frac{pCi}{l} \right)}{200} \quad (54)$$

Bu ifade de 1 pCi/l'nin 37 Bq/m³ olduğu dikkate alınarak dönüşümler yapılmıştır.

Bu çalışmada Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Tıp Fakültesi kayıtları ve iletişimde olunan hastalardan alınan bilgiler doğrultusunda Rize de yaşayıp, 2013 yaz ve 2014 kış sezonu arasında akciğer kanserinden ölen hastaların sayısı 120 olarak kaydedilmiştir. Model de proje kapsamında çalışılan grupların yaş ortalaması olan 67 yaş parametresi olarak kabul edilmiş ve 67 yaş için radon maruziyetinin sebep olduğu akciğer kanseri ölümleri tahmin edilmiştir. Hesaplama yaz ve kış mevsimleri için iç ve dış radon konsantrasyonları dikkate alınarak yapılmıştır. Yaz mevsimi iç ve dış ortam ortalama radon konsantrasyonları 39,74 Bq/m³ (0,00537 WLM) ve 22,58 Bq/m³(0,00305 WLM) iken, kış mevsimi iç ve dış ortam ortalama radon konsantrasyonları; 84 Bq/m³ (0,14 WLM) ve 47,00 Bq/m³ (0,00635 WLM)'tür. Model sonucu yaz aylarında 120 kişiden yaklaşık 6'sının, kış aylarında ise yaklaşık 13'ünün radon maruziyetine bağlı olarak gelişen akciğer kanseri nedeniyle öldüğü sonucuna varılmıştır. Bu durum ise yaz mevsiminde % 5, kış mevsiminde % 11 ölümlerin radon maruziyetinden kaynaklandığı sonucuna denk gelmektedir.

3.3. Anketlerin Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında sonuç aldığımız toplam 102 adres vardır. 102 adresin 36'sı kontrol grubu, 76'sı ise çalışma grubumuz olan akciğer kanserli hastaların yaşamış olduğu adreslerdir. 76 adresten oluşan hasta grubunun 14'ünde bayan hasta, 62'sinde ise bay hasta vardır. Hasta grubunun yaş ortalaması 67 olup, en küçüğü 46 en büyüğü ise 86 yaşındadır.

Eklerde 1 numara ile verilen anket değerlendirmesine bakıldığında, özellikle erkek hastalarda sigara kullanımı oldukça yüksek olup, kullanım süresi 25 yıl ile 60 yıl arasında değişmektedir. 14 bayan hastadan sadece bir tanesi sigara kullanmıştır.

Toplumun özellikle sigara konusundaki yasaklar uygulanmadan önce pasif içici olmanın zararları hakkında çokta bilinci olmadığından hastaların pek çoğu pasif içici konumunda kalmıştır. Anket değerlendirmemize göre sadece 19 hastanın pasif içici olmadığı bilgisi edinilmiştir. Bu durum, evde sigara kullanan birilerinin olmaması, kahvehane alışkanlığının olmaması ve hastanın mesleği gereği kalmış olduğu ortamlarla alakalı bir durumdur.

Hastaların pek çoğu ölçüm yapılan adreste yıllarca yaşamış olup, bu süreç 4 ile 70 yıl arasında değişmektedir.

Bölgede rastlanan hastalık çeşidine baktığımızda “**Bronş veya akciğer malign neoplazmi**” yaygın olarak karşılaşılan bir durum olduğu ve alt, üst ve orta loblarda kendini gösterdiği hastane raporlarında görülmektedir.

Bölgenin zemin karakteristikleri; kara toprak, toprak kaya karışımı, sarı renkli toprak, kırmızı toprak, kaya, killi toprak, taşlı humuslu toprak, yumuşak kaya, tortul kaya ve kum olmak üzere adresten adrese sıralanan özelliklerde zemin yapısına rastlamak mümkündür.

Karadeniz de yaygın olarak bilinen ahşap evler zamanla yerini, tuğla, briket ve beton yığınlarına bırakmıştır. Ulaşılan adreslerin pek çoğu direk zemin üzerine kurulan müstakil evler ya da bodrum kat üzerine inşa edilmiş müstakil evler şeklindedir. Şehir merkezlerinde apartman dairelerinde ikamet eden hastalara rastlanmış olup, sayıları oldukça azdır.

Kalıtım hastalıklarının ortaya çıkmasında belirleyici bir faktördür. Araştırmaya dahil edilen 29 hastanın bir veya daha çok yakınlarında aynı hastalığın var olduğu bilgisine ulaşılmıştır. 23 hastanın yakınlarında benzer rahatsızlıklar yoktur. Diğer 24 hastanın yakınlarında ise bu tip bir rahatsızlık olup olmadığı sorusuna net cevap alınamamıştır.

Hastaların beslenme alışkanlıkları genel anlamda normal olup, bazı hastaların özellikle çok kırmızı et tükettiği bilgisine ulaşılmıştır. Hastaların uyku düzenleri de birkaç hasta hariç normaldir.

Çalışma ortamları kapalı ortam radon maruziyetine kalma bakımından en az evler kadar önemlidir. Hastalar geçmişte çoğunlukla bölgenin ana ürünü olan çay sektöründe çalışmışlardır. Bazıları çay bahçelerinde, bazıları çay alım satımı bazıları da çay fabrikalarında işçi olarak görev yapmışlardır. Hastalar arasında çay sektörü dışında fırıncılık yapan, inşaatla uğraşan, şoförlük yapan, ticaretle uğraşan, çiftçi olan v.b. kişilerde mevcuttur.

Isınmak amaçlı kullanılan yakıtların kapalı ortamlara radon salınımı bakımından önemi büyüktür. Rize il merkezinde yakıt olarak doğal gaz kullanılmakta olup, ilçeler ve pek çok köyde kömür ısınmak için kullanılmaktadır. Birçok köyde de ısınmak için odun yeterli görülmüştür. Özellikle kömür ve doğal gaz radon kaynağı olması bakımından ev içi aktivite konsantrasyonlarının yüksek olmasına katkısı olan faktörlerdendir.

3.4. ²³⁸U ve ²²⁶Ra Aktiviteleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Ulaşılan adreslerden alınan toprak örneklerinde radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Topraktaki radyonüklitlerin aktiviteleri biliniyorsa, yerden bir metre yükseklikte soğurulan doz hızı belirlenebilmektedir. Bu çalışma da toprak örneklerinin analizinden elde edilen radyonüklit aktivitelerinden yararlanılarak, toprak örneklerindeki gama dozu (D) değerleri UNSCEAR'in 2000 raporundan yararlanılarak hesaplanmış ve her ilçe için hesaplanan gama dozu değerleri Tablo 12'de verilmiştir.

$$D(\text{nGy/s}) = (0,462 \times ^{238}\text{U}) + (0,427 \times ^{226}\text{Ra}) \quad (55)$$

Bulunan gama dozları kullanılarak, yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) yani insanın bir yılda maruz kaldığı, farklı radyonüklitlerin yaydığı radyasyonlardan alacağı toplam

doz miktarı bulunabilmektedir. Eşitlik 56 kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmaktadır (UNSCEAR, 2000,a,b,c).

$$\text{AEDE } (\mu\text{Sv/y}) = \text{Soğurulan Gama Dozu} \times \text{Çevresel Gama Dozu Dönüşüm Faktörü} \times \text{Meşguliyet Faktörü} \times \text{Zaman} \quad (56)$$

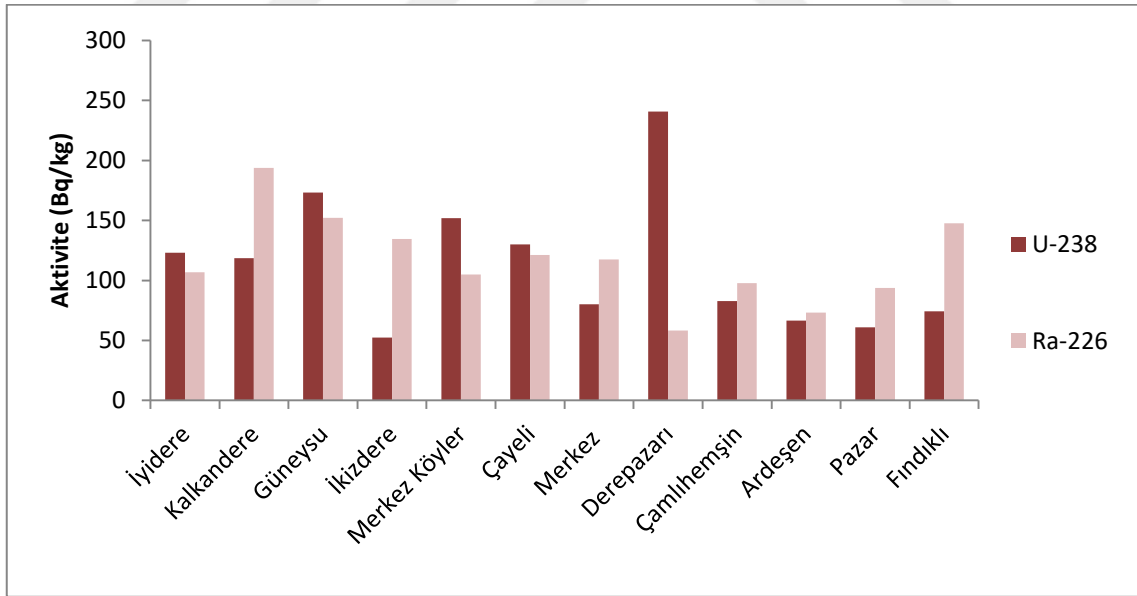
Bu eşitlikte Çevresel Gama Dozu Dönüşüm Faktörü 0.7 Sv/Gy olarak belirlenmiştir ve bu değer hem ev içinde hem de ev dışında yapılan ölçümlerde değişmemektedir. Yine bu eşitlikte bilinmesi gereken diğer bir faktör, Meşguliyet Faktörü yani insanların bu ışınlara maruz kaldıkları süredir. Bu çalışmada yapılan hesaplarda, insanların zamanlarının % 20'sini açık alanlarda ve % 80'ini kapalı alanlarda geçirdikleri göz önüne alınmıştır (Meşguliyet faktörü ev içi için 0,8 ve ev dışı için ise 0,2 olarak alınır). Zaman ise, bir yıldaki saat sayısıdır (8760 s/y). Rize merkez ve ilçeleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 12'de verilmektedir.

Tablo 12 de görüldüğü üzere; Rize geneli ortalama ^{238}U ve ^{226}Ra aktivite değerleri sırasıyla 114,93 ve 116,40 Bq/kg'dır. Literatürde ^{238}U ve ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu için dünya ortalama değerleri sırasıyla 35 ve 32 Bq/kg olarak verilmektedir (UNSCEAR, 2000,a,b,c). Rize de bulunan ortalama değerler UNSCEAR'ın verdiği değerlerden hayli yüksektir. En yüksek ^{238}U (240,71 Bq/kg) aktivitesi Der pazarı'nda, ^{226}Ra (193,70 Bq/kg) aktivitesi ise Kalkandere ilçelerinde gözlenmiştir.

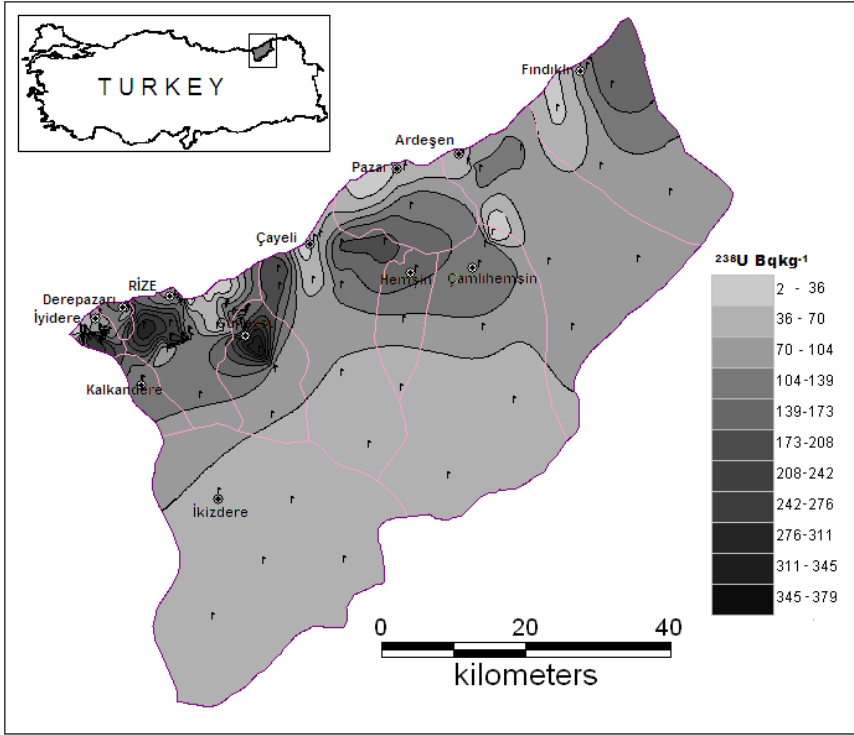
Tablo 7'deki verilere göre; Rize ilinde yaşayan insanların topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kaldıkları yıllık etkin doz değeri UNSCEAR'ın belirttiği 70 $\mu\text{Sv/yıl}$ 'ın hayli üzerindedir.

Tablo 7. Topraktaki ^{238}U , ^{226}Ra aktiviteleri ve etkin doz değerleri

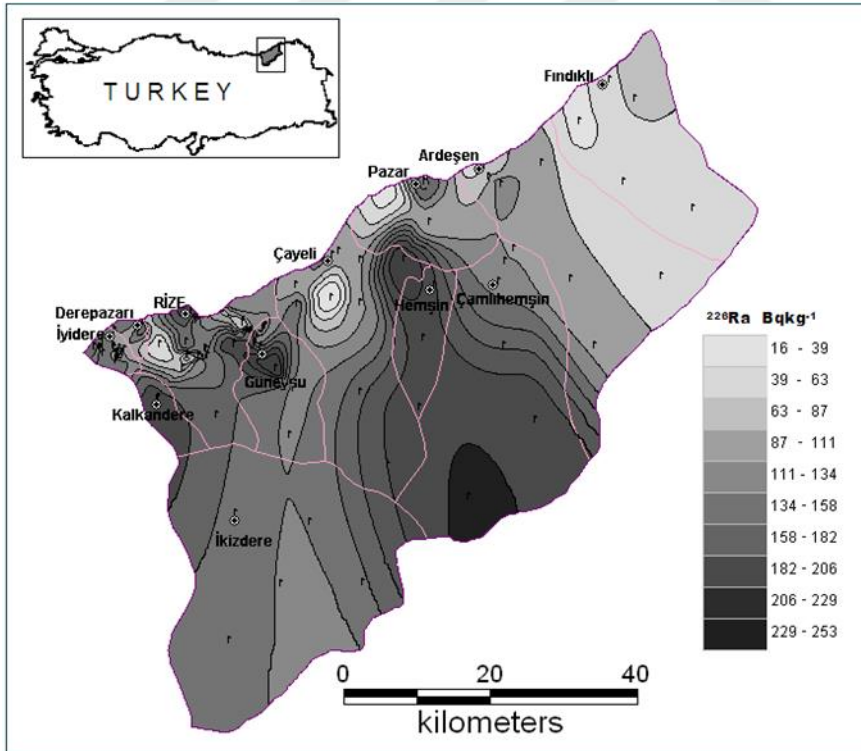
İlçeler	Radyonüklidler (Bq/kg)		Absorblanan Doz	Etkin Doz
	^{238}U	^{226}Ra	D(nGy/h)	$\mu\text{Sv/yıl}$
İyidere	123,02	106,75	102,41	201,33
Kalkandere	118,43	193,7	137,42	237,79
Güneysu	173,27	152,1	144,99	247,97
İkizdere	52,44	134,43	81,61	119,32
Merkez Köyler	151,95	104,97	115,02	192,28
Çayeli	130,15	121,34	111,94	189,78
Merkez	80,15	117,45	87,18	161,87
Derepaarı	240,71	58,4	136,14	238,24
Çamlıhemşin	82,81	97,76	80	127,16
Ardeşen	66,52	73,31	62,03	118,85
Pazar	60,87	93,79	68,17	117,51
Fındıklı	74,17	147,76	97,36	166,69
Genel Ortalama	114,93	116,40	102,02	183,11

**Şekil 16.** Topraktaki ^{238}U ve ^{226}Ra konsantrasyonları

Şekil 17-18'de örnekleme noktalarına ait koordinatlar kullanılarak çıkarılan haritalarda ^{238}U ve ^{226}Ra dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 17. Topraktaki ^{238}U aktivite değerlerinin Rize il geneli dağılımı



Şekil 18. Topraktaki ^{226}Ra aktivite değerlerinin Rize il geneli dağılımı

3.5. İstatiksel Bulgular

Çalışma kapsamında bulunan vaka ve kontrol grupları arasındaki ilişkileri değerlendirmek için Independent Samples T-testi, Radon dağılımının mevsime ve kapalı yada açık ortama bağlı olarak değişimini incelemek için Paired Samples T-test 'inden faydalanılarak temel tanımlayıcı testlerle birlikte çıktılar verilmiştir.

Vaka ve kontrol gruplarına göre dağılım Tablo 8'da ve vaka tiplerine göre radon konsantrasyonlarının dağılımı Tablo 9'da verildiği gibidir.

Tablo 8. Vaka ve kontrol gruplarına göre ^{222}Rn dağılım

Grup	Dedektör Sayısı	Ortalama Aktivite(Bq/m^3)	Ortanca Değer	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Vaka	74	63,7	32	138,4	9	1011
Kontrol	39	50,4	38	48,7	10	300
Ortalama	113	59,1	34	115,4	9	1011

Tablo 9. Vaka tiplerine göre radon Radon konsantrasyonlarının dağılımı

KANSER TİPİ	Radon							
	Sigara içme		Toplam N	konsantrasyonu (Bq/m ³)				
	İçiyor	içmiyor		Mean	Median	SD	Min	Max
Bronş veya akciğer malign neoplazmı, alt lob	10	1	11	34	34	16,5	9	68
Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	36	10	46	52,4	32,5	91,8	13	621
Bronş veya akciğer malign neoplazmı, orta lob	6	1	7	207,4	42	360,7	25	1011
Bronş veya akciğer malign neoplazmı, tanımlanmamış	6	1	7	74,4	38	99,8	16	295
Bronş ve akciğer overlapping lezyonu	2	1	3	25	25	6	19	31

3.5.1. Radon Konsantrasyonu Dağılımı Bakımından Vaka ve Kontrol Gruplarının Karşılaştırılması

Vaka ve kontrol grubu arasında radon konsantrasyonu ortalamaları açısından fark olup olmadığını araştırmak amacıyla Independent-Samples T-Test kullanıldı.

Tablo 10’de grup istatistikleri verilmiştir. Araştırmaya katılan 74 vaka grubunun ortalama radon konsantrasyonu değeri 63,69 Bq/m³ iken, 39 kontrol grubunun ortalaması ise 50,36 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Tablo 11’te görüldüğü gibi T-testine göre $p>0,05$ olduğu için iki grup arasında anlamlı bir fark gözlenmediğini söyleyebiliriz.

Tablo 10. Grup istatistikleri

	GRUPLAR	N	Ortalama	Standart Değer	Standart
					Ortalama Değeri
RADONORT	VAKA	74	63,69	138,360	16,084
	KONTROL	39	50,36	48,677	7,795

Tablo 11. Kontrol ve Vaka grubunu karşılaştırma için Independent Samples T-testi Sonucu

	Levene's Test for Equality of Variances		T-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
RADONORT	Equal variances assumed	2,195	0,141	0,582	111	0,562	13,330	22,907	-32,061	58,721
	Equal variances not assumed			0,746	100,65	0,458	13,330	17,873	-22,127	48,787

3.5.2. Ev İçi ve Dışı Radon Konsantrasyonlarının Mevsimlerle İlişkisi

Radon dağılımının mevsime ve kapalı ya da açık ortama bağlı olarak değişimini incelemek için Paired Samples T-testi sonuçları Tablo 12’te verilmiştir.

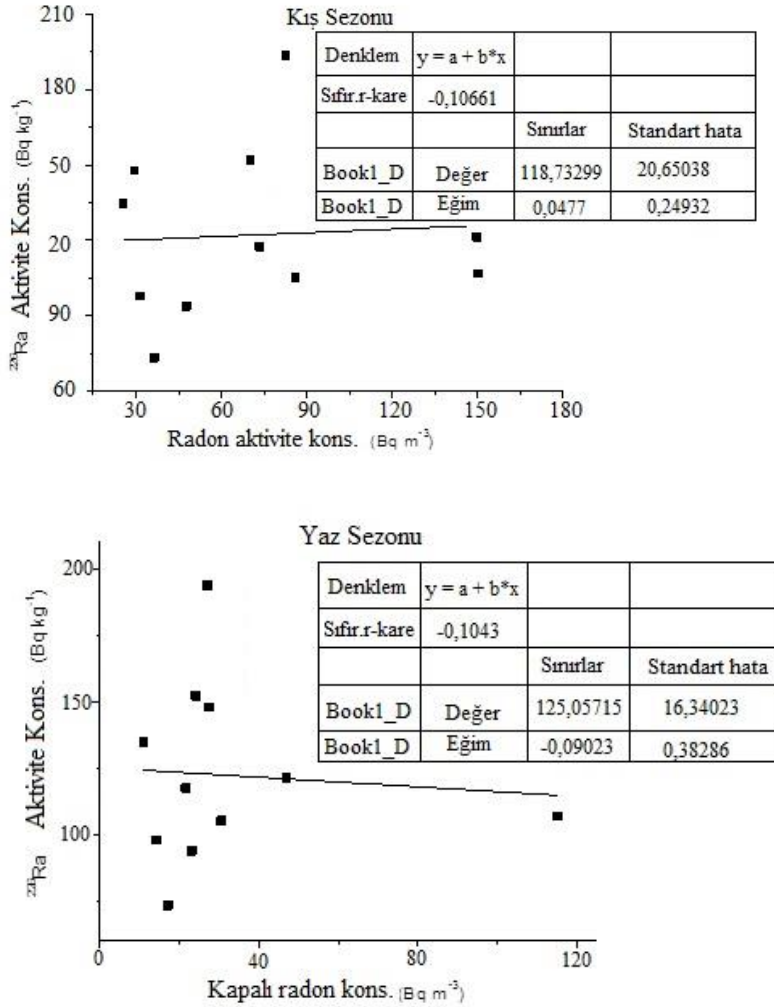
Tablo12. Mevsimsel Radon Karşılaştırma için Paired Samples T-test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Yaz iç Radon Yaz dış Radon	32,34615	106,09088	20,80613	-10,50488	75,19719	1,555	25	0,133
Kış iç Radon Kış dış Radon	102,80769	353,10055	69,24872	-39,81271	245,42809	1,485	25	0,150
Yaz iç Radon Kış iç Radon	-61,80392	185,61821	25,99175	-114,0099	-9,59796	-2,378	50	0,021
Yaz dış Radon Kış dış Radon	-29,04167	59,57055	12,15979	-54,19610	-3,88723	-2,388	23	0,026

Yapılan istatistiksel testler sonucunda anlamlılık derecesi yaz iç-yaz dış ve kış iç-kış dış için $p>0,05$ olduğu için ($r_1=0,133$ ve $r_2=0,150$) yaz iç-yaz dış ve kış iç- kış dış arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Öte yandan teste göre yaz iç-kış iç ve yaz dış - kış dış radon konsantrasyonları arasında $p<0,05$ ($r_3 = 0,021$ ve $r_4=0,025$) olduğu için anlamlı bir fark görülmüştür. Bu sonuçlar radon konsantrasyonunun kapalı ortamlarda daha fazla birikmesi ve mevsimsel farklılıklara atfedilebilirken, kış iç ve kış dış arasında anlamlı bir farkın gözlenmemesi sebebi kış mevsiminde dış ortama bırakılan ve geri alınan dedektör sayısının istatistiksel değerlendirme için yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır.

3.5.3. Radon ve Radyum Konsantrasyon Değerleri Arasındaki İlişki

Radon yeryüzüne toprakta bulunan radyumun bozunmasıyla açığa çıkar. Yaz mevsiminde atmosfer basıncının düşmesi, toprak havası basıncının düşmesine neden olur ve radon gazı göçünü artırır. Fakat yaz mevsiminde kapalı ortamların havalandırması fazla olduğu için biriken radon miktarı az olur. Havalandırmadan ötürü radyum miktarında da şekil 19'daki gibi bir azalma görülür. Kış mevsiminde sıcaklığın düşmesi ile atmosfer basıncı artar ve radon gazı göçü azalır. Fakat kış mevsiminde havalandırma fazla yapılmadığı için radon gazı birikimi fazla olur. Toprak gözenekleri kışın az olduğu için topraktan gelen radyum miktarı fazla olmaz fakat havalandırma az yapıldığı için şekil 20'deki gibi artma görülür.



Şekil 19. a) Radon-Radyum kış sezonu aktivite konsantrasyonu b) Radon-Radyum yaz sezonu aktivite konsantrasyonu karşılaştırması

Radon gazı akciğer kanseri arasında ilişki kurarken dikkate alınan diğer parametreler (hastanın yaşı, sigara kullanım süresi, zemin özelliği, inşaat malzemesi, kalıtsal hastalık ve beslenme alışkanlığı) arasında anketlere verilen cevapların yetersiz ve net olmaması sebebiyle istatistiksel bir ilişki kurulamamıştır.



4. TARIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada Rize'deki evlerde yaz ve kış dönemlerinde üç aylık periyotlarla ev içi ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarını ve bu evlerin çevrelerindeki topraklarda ^{238}U ve ^{236}Ra aktivitelerini belirlemek amacıyla yapılmıştır ve insanların hem ^{222}Rn 'den hem de topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kaldıkları yıllık ortalama etkin doz değerleri hesaplandı. Bu değerler hem Türkiye'de hem de dünyada yapılan diğer çalışmaların verileriyle karşılaştırıldı. Ayrıca uluslararası kuruluşlar tarafından izin verilebilir seviyelerde olup olmadığı değerlendirildi.

Rize il genelinde kış mevsimi ve yaz mevsimi iç ortam radon aktivite değerleri sırasıyla 84 ve 32,51 Bq/m³ bulunmuştur. Bu değerlere karşılık gelen etkin doz değerleri sırasıyla 2,11 mSv/y, 0,82 mSv/y'dır. En yüksek aktivite değerlerine İyidere ilçesinde 242,93 Bq/m³, en düşük aktivite değerlerine ise İkizdere İlçesinde 25,50 Bq/m³ olarak rastlanılmıştır. İyidere ilçesinin Çiftlik köyünde 2013 yılında yapılan çalışmada bazı adreslerde yüksek radon aktivite değerlerine rastlanıldığı için bu bölgede belirlenen adreslere 2014 yılında 3 aylık süre ile tekrar dedektörler dağıtılmıştır ve aktivite değeri 128,84 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Bu değere karşılık gelen etkin doz değeri ise 3,25 mSv/y' dır (Tablo 5). Hesaplanan etkin doz eşdeğeri UNSCEAR' ın vermiş olduğu 1,32 mSv/y sınır değerinden yüksek olduğu gözlenmiştir.

Çalışmada kullanmış olduğumuz modele göre yaş parametresi çalışma kapsamında tespit edilen hastaların ortalama yaşı olan 67 kabul edilerek BEIR VI'nin 1999 yılında önerdiği modelden faydalanarak radon maruziyetinin akciğer kanserine ne derece etkili olduğu tahmin edilmiştir. Hesaplama yaz ve kış mevsimleri için iç ve dış radon konsantrasyonları dikkate alınarak yapılmış ve yapılan hesaplamalar sonucunda yaz mevsimi için iç ve dış ortam ortalama radon konsantrasyonları 39,74 Bq/m³ (0,00537 WLM) ve 22,58 Bq/m³(0,00305 WLM) iken, kış mevsimi için iç ve dış ortam ortalama radon konsantrasyonları; 84 Bq/m³ (0,14 WLM) ve 47,00 Bq/m³ (0,00635 WLM) değerleri parantez içlerinde verildiği gibi WLM cinsinden ifade edilerek hesaplama yapılmıştır. Kullanılan modelle tahmin edilen sonuca göre yaz aylarında 120 kişiden yaklaşık 6'sının, kış aylarında ise yaklaşık 13'ünün radon maruziyetine bağlı

olarak gelişen akciğer kanseri nedeniyle öldüğü sonucuna varılmıştır. Bu durum ise yaz mevsiminde % 5, kış mevsiminde % 11 ölümlerin radon maruziyetinden kaynaklandığı sonucuna denk gelmektedir.

Yapılan anket sonuçlarına göre tespit edilen adreslerdeki hastaların bir çoğu yoğun miktarda sigara kullanmakta olup bu süreç 25 ila 60 yıl arasında değişmektedir. Hastaların yaş ortalaması ise 67'dir. Bu iki kritere bakıldığında hastalığın oluşumu ve gelişimi normal bir süreç olarak görülmektedir. Kontrol grupları ile çalışma grupları arasında radon dağılımı bakımından anlamlı bir farklılık gözlenmemiş olup (Tablo 11), genel olarak anket sorularına verilen cevaplara göre oluşturulan verilerin dağılımı dolayısıyla istatistiksel değerlendirme sonuçlarında herhangi bir anlamlı ilişki gözlenmemiştir. Fakat yüksek radon konsantrasyonlarının gözlemlendiği adreslerde aynı hastalığa yakalanmış olan iki veya daha fazla hasta olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Konsantrasyonların yüksek olduğu adresler genelde birinci yada zemin katlardır.

Bölgede rastlanan yaygın akciğer kanseri çeşidi "Bronş veya akciğer malign neoplazmi" dir.

Rize geneli ortalama ^{238}U ve ^{226}Ra aktivite değerleri sırasıyla 114,93 ve 116,40 Bq/kg'dır ve Rize ilinde yaşayan insanların topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kaldıkları yıllık etkin doz değeri UNSCEAR'ın belirttiği 70 $\mu\text{Sv/yıl}$ 'ın bayağı üzerinde hesaplanmıştır. ^{226}Ra - ^{222}Rn ilişkisi mevsimsel olarak Şekil 19'da özetlendiği gibi verilmiştir. Mevsimsel farklılıklar nedeni ile ^{226}Ra 'ya bağlı olarak kış mevsiminde ^{222}Rn miktarı yaz mevsimine göre hafif artış göstermiştir.

5. ÖNERİLER

Rize ilinde evlerde yapılan radon konsantrasyonları sonuçlarının insan sağlığını ne derece etkileyebileceği konusunda insanları bilgilendirmek ve bu bilgilendirme dahilinde gereken önlemlerin alınma yöntemlerini göstermek gerekebilir. Çalışma bölgelerinde evlere daha fazla sayıda radon dedektörü dağıtılabilir ve daha detaylı ölçümler yapılabilir. Ayrıca yapı malzemelerinin radon konsantrasyonu üzerine etkisini gözlemleyebilmek için eşit sayılarda ahşap ve beton evlere radon dedektörü konulabilir. Yine çalışma bölgelerinde ev içi ve ev dışı gama radyasyonları ölçülerek radon ile bir ilişkisinin olup olmadığına bakılabilir.

Radon konsantrasyon değerleri bazı bölgeler hariç her ne kadar ICRP ve TAEK'in izin verilen değerler altında çıkmış olsa da insanlar bilinçlendirilip ve özellikle evlerin havalandırılması konusunda uyarılar yapılabilir. Yeni inşaatların yapımında radyoaktif içeriği düşük materyaller kullanılabilir ve bina temelinden ölçümler yapılabilir. Binanın zemin ile bağlantı noktaları sağlamlaştırılabilir (geçirgen olmayan bir çimento tabakası ile toprağın örtülmesi gibi). Hava akımının bina içinden toprağa doğru akması sağlanabilir. Radon konsantrasyonu yüksek olan bölgelerde, toprak tabanlı kırsal kesim evlerinde tabana polietilen bir örtü serildikten sonra üzerine çimento dökülmesi gibi önlemler alınabilir.

Ayrıca topraktaki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivitelerinin belirlenmiş olması, ileride doğabilecek herhangi bir Çernobil Nükleer Kazası benzeri durumda radyasyon takibi açısından faydalı olacağı açıktır.

KAYNAKLAR

- Akyıldırım, H., 2005.** Isparta ilinde radon yoğunluğunun ölçülmesi ve haritalandırılması. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, 63s., 10.
- Akkurt, A., 2006,** Afyon ve Çevresinde Jeotermal Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, Türkiye, 68s.
- Arogunjo, A. M., Farai, I. P. and Fuwape, A., 2004.** Dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the Delta region of Nigeria. Radiation Protection Dosimetry, 108s., 73-77.
- Barbara V., Jose R.N., and Margarida F.C., 2012.** Lung cancer and indoor radon exposure in the north of Portugal – An ecological study, Cancer Epidemiology, 36s., 26–32
- .
- BEIR VI, 1999, Health Effects of Exposure to Radon.** Committee on Health Risks of Exposure to Radon. Board on Radiation Effects Research (BEIR VI). National Academy Press.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. and Osmanlıoğlu, A.E., 2007,** Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of Southeastern Turkey, Radiation Measurement, 42, 1387-1391.
- Branko V., Dario F., Vanja R., and Josip P., 2005,** Indoor radon and lung cancer: a case-control study. Isotopes in Environmental and Health Studies, 41, 169-176.
- Celik N., Poffijn A., Cevik U., and Schepens L., 2008,** Indoor Radon Survey in Dwellings of The Kars Province, Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 128, 432-436.

- Celik, N., Cevik, U., Celik, A. and Kucukomeroğlu, B., 2008**, Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 1349-1354
- Currie, L.A., 1968**, Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Analytical Chemistry* 40, 586-593.
- Çelebi, N., Taşdelen, M., Kopuz, G., ve Uluç, A., 2000**, Antalya Evlerinde Radon Konsantrasyon Ölçümleri, - GAP-Çevre Kongresi, Vol.2,1053-1058,2000.
- Damla, N., Cevik, U., Karahan, G., and Kobya A.I., 2006**, Gross α and β activities in tap waters in Eastern Black Sea region of Turkey. *Chemosphere* 62, 957–960.
- Damla, N., Cevik, U., Karahan, G., Kobya, A.I., Kocak, M., and Isık, U., 2009**, Determination of gross α and gross β activities in waters from Batman, Turkey, *Desalination* 244, 208–214.
- Darby S., and Hill D. Auvinen A., 2005**, Radon in homes and risk of lung cancer: collaboratiive analysis of individual data from 13 Euopen case-control studies. *BMJ* 330: 223.
- Degerlier, M., ve Karahan, G., 2010**, Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey. *Desalination* 261, 126-130.
- Değerlier, M., Karahan, G. and Ozger, G., 2008**, Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey, *Journal of Environmental Radioactivity*, 1-8.
- Durrani, S. A., and Iliç, R., 1997**, Radon measurements by etched track detectors: applications in radiation protection, earth sciences, and the environment, World Scientific, Singapore.

- Enflo, A., 2002,** Where are the radon-induced lung cancer cases? Is it time for a re-valuation of the radon problem? International Congress Series, 1236, 23-25.
- Ereeş., F. S., Aközcan, S., Parlak, Y. and Çam, S., 2005,** Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). Radiation Measurement, 41, 598-601.
- Faheem, M. and Matiullah, 2008,** Indoor radon concentration levels in several districts of the Punjab Province, Pakistan, Radiation Measurements, 43, 380–384.
- Fatima, I., Zaidi, H. J., Arif, M., Daud, M. and Tahir, S. N. A., 2007,** Measurement of natural radioactivity and dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the soil of southern Punjab, Pakistan. Radiation Protection Dosimetry, 1-7
- Ferdoas, S. and Al-Saleh, 2007,** Measurement of indoor gamma radiation and radon concentrations in dwellings of Riyadh city, Saudi Arabia. Applied Radiation and Isotopes, 65, 843-848.
- Gillmore G. K., Phillips P. S., Denman A. R., and Gilbertson D. D., 2002,** “Radon in the Creswell Crags Permian limestone Caves” Journal of Environmental Radioactivity, 62, 165–179.
- Gönüllü U., 1995,** Akciğer Kanserinin Epidemiyolojisi ve Etiyolojisi, T Klin Tıp Bilimleri, 363s.
- Gutierrez, J., Baixeras, C., Robles, B., Saez, C. J. and Font, L., 1992,** Indoor Radon Levels and Dose Estimation in Two Major Spanish Cities. Radiation Protection Dosimetry, 45, 495-498.
- Güler Ç. ve Çobanoğlu Z., 1997,** Radon Kirliliği, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:44, T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü. Ankara, 26-33s.

- Gültekin, Y., Çam S., Ereeş, and F.S., 2006,** Assesment Of DoseRatesAroundManisa (Turkey), RadiationMeasurement, 41, 598-601.
- Hamori, K., Toth, E., Pal, L., Köteles, G., Losonci, A. and Minda, M., 2006,** Evaluation of indoor radon measurement in Hungary. Journal of Environmental Radioactivity, 88, 189-198.
- Harley, N. H. and Harley, J. H., 1990,** Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exporsure, Ca, A Cancer Journal for Clinician, 40, 265-275.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 1996,** Radiation Safety. IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.
- IARC, 1988,** International Agency for Research on Cancer. In: Man-made mineral fibresand radon. In: IARC Mono-graphs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 43, (Lyon, France: IARC).
- ICRP, 1990,** The International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60. Recommendations of the International Commission on the Radiological Protection, Pergamon PressInc., ICRP, USA.
- Ingham, M. N., Gowing, C. J. B. and Harrison, H. M., 2007,** The Validation of the Determination of Trace Elements by Energy Dispersive Polarised X-ray Fluorescence Spectrometry. British Geological Survey, Internal Report, OR/07/012.
- Jankovic, M.M., Todorovic, D.J., Todorovic, N.A., and Nikolov, J., 2012,** Natural radionuclides in drinking waters in Serbia. Applied Radiation and Isotopes 70, 2703–2710.

- Jay H.L., and John D.B., 1997,** Lung cancer risk from residential radon: meta-analysis of eight epidemiologic studies. *Journal of the National Cancer Institute*, , 89, 1.
- Jibiri, N. N. and Bankole, O. S., 2006,** Soil radioactivity and radiation absorbed dose rates at roadsides in high-traffic density areas in Ibadan metropolis, southwestern Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry.*, 118, 453–458.
- Jonathan M.S., 2006,** Residential radon and lung cancer end of the story?. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 69, 527-531.
- Kabata-Pendias and Pendias, H., 2001,** “Trace Elements in Soils and Plants,” CRC Pres New York, 1, 30.
- Kam, E., and Bozkurt, A., 2007,** Environmental radioactivity measurements inKastamonu region of northern Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.,65 (4), 440-444
- Karahan, G. and Bayulken, A., 2000,** Assesment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey), *Journal of Environmental Radioactivity*, 47, 213-221.
- Karahan, G., Ozturk, N., and Bayulken, A., 2010,** Natural radioactivity in various surface waters in Istanbul, Turkey. *Water Research* 34, 4367-4370.
- Khayrat, A. H., Al-Jarallah, M. I., Fazal-ur Rehman, X. and Abu-Jarad, F., 2003,** Indoor radon survey in dwellings of some regions in Yemen. *Radiation Measurement*, 36, 449-451.
- Köksal E. M, Celebi N. and Ozcinar B, 1993,** Indoor ^{222}Rn Concentrations in Istanbul Houses, *Health Physics*, 65, 87-88.
- Krane, S. K. (Edit: Şarer, B.), 2001,** Nükleer Fizik 1. Cilt Ders Kitabı, Birinci Baskı, Palme Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara.

- Krieger, H.L., and Whittaker, E.L., 1980**, Prescribed Procedures for Measurement of Radioactivity in Drinking Water, EPA-600/4- 80-032. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Kumbur, H., Zeren, O., Koksall, M. ve Özçınar, B., 1997**, İçel’de evlerde radon düzeylerinin araştırılması, Çevkor Dergisi.
- Kurnaz, A., 2009**, Trabzon İlinin ve Şebinkarahisar İlçesinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi ve Yıllık Etkin Doz. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 279 s.
- Kürkçüoğlu E.M., Haner B., Yılmaz A. ve Toroğlu İ., 2009**, Karaelmas Yerleşkesi Merkez Kütüphanesi Radon Ölçümleri, SDÜ Fen Dergisi
- Leenhouts H.P., and Chadwick K.C., 1994**, A two-mutation model of radiation carcinogenesis: application to lung tumours in rodents and implications for risk evaluation. J. Radiol., 14, 2115-2130,
- Lubin JH and Steindorf K, 1995**, Cigarette Use and The Estimation of Lung Cancer Attributable to Radon in The United States. Radiat Res. Jan. 141(1). 79–85.
- Osmanlıoğlu, A. E., Kam, E. ve Bozkurt, A., 2007**, Assessment of Background Radioactivity Level For Gaziantep Region of Southeastern Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 410s., 124.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G. and Çelebi, N., 2005**, Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in Southeast part of Eskisehir, Turkey. Applied Radiation and Isotopes, 63, 267–275.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin S.Y, Ataksor, B. and Çelebi N., 2008**, A Study of Indoor Radon Levels in Rural Dwellings of Ezine (Çanakkale, Turkey) Using

Solid-State Nuclear Track Detectors, Radiation Protection Dosimetry, 131(3), 379–384.

Özderya, F., 2009. Samsun İli Ev İçi Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 80s.

Özdemir, B.F. 2006, Afyon ve Çevresindeki Sularda Radon (RN-222) Aktivitesinin Tayini. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fizik Ana Bilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye, 109s., 33.

Papaethymiou, H., Mavroudis, A. and Kritidis, P., 2003, Indoor Radon Levels and Influencing Factors in Houses of Patras, Journal of Environmental Radioactivity, 66, 247-260.

Prasad Shiva, G. N., Nagaiah, N., Ashok, G. V. and Karunakara, N., 2008, Concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K thesoils of Bangaloreregion, India. Health Physics, 94.

Rahman, S.,Mati, N., Matiullah. and Ghauri, B. M., 2007, Seasonal indoor radon concentration in theNort West Frontier Province and federally administer edtribalareas-Pakistan. Radiation Measurements, 42, 1715-1722.

Schoenberg J.B., Stenhagen A., Mason T.J., Patterson J., Bill J., and Altman R. J., 1987, Occupation and lung cancer risk among New Jersey white males, Natl Cancer Inst., 79, 13-21.

Singh, S., Kumar, A. and Singh, B., 2002, Radon level in dwellings and its correlation with uranium and radium content in some areas of Himachal Pradesh, India Environmental International, 28, 97-101.

Sroor, A., El-Bahi, S. M., Ahmed, F. and Abdel-Haleem, A. S., 2001, Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. Applied Radiation and Isotopes, 55, 873-879.

TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu), 2002, Radyasyon ve Biz, Ankara.

Turhan, S., Ozcıtak, E., Taskın, H., and Varinlioglu, A., 2013, Determination of natural radioactivity by gross alpha and beta measurements in ground water samples. Water research 47, 3103 -3108.

Tzortzis, M. and Tsertos, H., (2004), Determination of Thorium, Uranium and Potassium Elemental Concentrations in Surface Soils in Cyprus, Journal of Environmental Radioactivity, 77, 325-338.

Uluğ, A., Karabulut, M., and Celebi, N., 2004, Radon Measurement with CR-39 Track Detectors at specific Locations in Turkey, Nuclear Technology and Radiation Protection, 19, 46-49.

(UNSCEAR), 2000a. Effects and Risks of Ionizing Radiations. UN, New York.

(UNSCEAR), 2000b. Exposure and Effects of the Chernobyl Accident. UN, New York.

(UNSCEAR), 2000c. Exposures from Natural Radiation Sources. UN, New York.

UNSCEAR (1993), United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Annex B Exposure from natural radiation sources.

USA-EPA, 1988, Federal Guideline Report No. 11. Limiting Values of Radionuclide Intake and Air Concentration and Dose Conversion Factors for Inhalation EPA520/1-88-020, Submersion and Ingestion, Washington, DC, USA.

URL-1,2015, http://cografyaharita.com/haritalarim/41_rize_ili_haritasi.png
(08 Temmuz 2016)

Üzbey, S., 2009, Çorum ili genelinde faaliyet gösteren kömür ocaklarındaki radongazının ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 81., 4.

Vaupotic, J., and Kobal, I., 2006, Radon Survey and Exposure Assessment in Hospitals. Radiation Protection Dosimetry, 121(2): 158-167.

William J.F., 2000, Health and productivity gains from better indoor environments and their relationships with building energy efficiency, Annual Review of Energy and the Environment, 25, 537-566.

Yarar, Y., Gunaydi, T. and Kam, E., 2005, A radon survey in some regions of Turkey. International Congress Series 1276, 385.

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, Türkiye, 102s.

Yonehara H., Aoyama T., Radford E. P., Kato H., and Sakanoue M., 1995, Radon concentrations in residential housing in Hiroshima and Nagasaki, Health Phys., 68, 683-688.

EKLER

Ek 1. Anket sorularına verilen cevaplar

<i>Hasta (K:Kadın)</i>	<i>Sigara Kullanım Süresi(yıl)</i>	<i>Yaş</i>	<i>Adreste Oturma Süresi(yıl)</i>	<i>Pasif İçici</i>	<i>Hastalık Çeşidi</i>	<i>Zemin Özellikleri</i>	<i>İnş. Malzemesi</i>	<i>Evin Durumu</i>	<i>Kalıtım Varmı</i>	<i>Beslenme Alışkanlığı</i>	<i>Uyku Düzeni</i>	<i>Meslek</i>
1	40	76	55	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, alt lob	Kara toprak	Taş üstü piriket	Müstakil	2 kız bir erkek kardeş, anne ve baba	Kırmızı et	Normal	Çay experliği
2(K)	0	60	35	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Toprak ve kaya	Ahşap üstü tuğla	Müstakil bodrum üstü	Yok	Normal	Normal	Ev hanımı
3(K)	0	68	40	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, alt lob	-	-	-	-	-	-	-
4	-	62	-	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı	-	-	-	-	-	-	-
5	55	70	50	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Sarı toprak	Beton-tuğla	Müstakil bodrum üstü	Yok	Normal	Normal	Çay fabrikasında işletme memuru
6	60	78	22	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, tanımlanmamış	Kırmızı toprak	Beton-tuğla	Müstakil	Amcası	Normal	Normal	Çiftçi
7(K)	35	68	63	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, tanımlanmamış	Kara toprak	Piriket	Müstakil	Amcası, yegeni, oğlu	Normal	Düzensiz	Ev hanımı
8	40	57	57	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Kaya	Tuğla	Müstakil	Yok	Normal	Normal	Çay bahçelerinde çalıştı
9	-	73	20	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	-	-	-	-	-	-	-

10(K)	0	78	17	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kırmızı toprak	Beton-tuğla	Müstakil bodrum üstü	Yok	Normal	Normal	Ev hanımı
11	40	60	40	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, alt lob	Kaya	Taş üstü tuğla	Müstakil bodrum üstü	Yok	Normal	Normal	Kamyon şoförü
12	-	67	20	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
13	25	56	33	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, orta lob	Killi toprak	Beton	Müstakil bodrum üstü	Yok	Normal	Normal	Ticaret
14(K)	-	67	28	Evet	Bronş ve akciğer overlapping lezyonu	-	-	-	-	-	-	-
15	60	73	50	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kırmızı toprak	Taş üstü tuğla	Müstakil	Dayısı	Kırmızı et	Normal	Çiftçi
16	-	47	-	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
17	-	70	70	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi üst	Kara toprak	Priket-tuğla	Müstakil bodrum üstü	Abisi	Normal	Normal	Çay fabrikasında muhasebeci
18	-	53	53	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
19	45	77	45	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kara toprak	Beton-tuğla	Müstakil 3.kat	Amcası	Normal	Normal	Taş ocağı (pileki mağarası)
20	-	73	70	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
21	43	63	35	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kara toprak	Tuğla-ahşap	Müstakil	Babası ve 3 amcası	Kırmızı et	Normal	Çaykurda santralde çalıştı
22	45	67	44	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi	Taşlı humuslu toprak	Yığma tuğla	Müstakil bodrum üstü	Babası	Normal	Normal	İnşaat ustası, çay ekspersi
23	40	69	25	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, tanımlanmamış	Kaya	Beton-tuğla	müstakil bodrum üstü	Yok	Normal	Normal	Karayolu ve kahvehane işletmeciliği

24(K)	0	61	30	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Yumuşak-kaya	Tuğla	müstakil bodrum üstü	Erkek kardeşi	Normal	Normal	Ev hanımı
25	40	57	35	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Kırmızı toprak	Taş üstü piriket	müstakil	Yok	Normal	Normal	Şoför
26	25	77	35	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Kara toprak	Beton	müstakil bodrum üstü	İki kızı, yeğeni	Kırmızı et	Normal	Bağ bahçe işleri
27	0	86	30	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	-	--	-	-	--	-	-
28	40	52	27	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Kırmızı kaya	Beton	Müstakil	Yok	Normal	Uykusuz	Orman işçisi
29	60	83	83	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Kara toprak	Ahşap	Müstakil 3.kat	Babası	Normal	Normal	Tapu dairesinden emekli
30	-	75	20	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Tortul kaya	Beton	müstakil	Yok	Kırmızı et	Normal	Çiftçi
31	55	71	27	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Kırmızı toprak	Beton	Müstakil	Babası	Normal	Normal	Köy hizmetlerinden emekli
32	-	79	26	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Kaya	Ahşap	Müstakil	Yok	Normal	Normal	Fırıncılık ve demirçelikte çalıştı
33	40	62	30	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, tanımlanmamış	Kırmızı toprak	Tuğla	Müstakil	Yok	Kırmızı et	Normal	Çayalım yerinde çalıştı
34	35	73	41	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, alt	Kırmızı toprak	Beton	Müstakil	Anne ve dayısı	Normal	Normal	Çay fabrikası
35	-	74	37	Hayır	Akciğer sekonder malign neoplazmı	Toprak+ taş	Beton	Müstakil	Kardeşi	Kırmızı et	Normal	Ayakkabı imalatı
36(K)	0	53	14	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	Kırmızı toprak	Beton	Müstakil	Erkek kardeşi	Normal	Normal	Ev hanımı
37(K)	0	48	48	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	-	-	-	-	-	-	-

38	38	62	18	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, alt lob	Kumlu	Beton	Müstakil	Baba ve amca	Normal	Normal	Çay paketleme
39	42	56	12	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kara toprak	Beton	Müstakil	Yok	Normal	Normal	Çay fabrikası
40	0	50	40	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kırmızı toprak	Kerpiç	Müstakil	Amca ve amca çocukları	Normal	Normal	Çay fabrikası
41	-	75	20	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
42(K)	0	70	60	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kaya	Ahşap	Müstakil	Babası ve eşi	Normal	Normal	Ev hanımı
43	-	62	18	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, alt lob	-	-	-	-	-	-	-
44	-	77	75	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, alt lob	Kaya	Ahşap	Müstakil	Eşi	Normal	Normal	İnşaatçı
45	0	63	16	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, orta lob	Kaya	Beton	Müstakil	Yok	Et-tavuk	Normal	Marketçi
46	50	76	50	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kırmızı toprak	Priket-tuğla	Müstakil	Amcası	Kırmızı et	Az uyku	Fırıncı
47	50	74	12	Evet	Bronş ve akciğer overlapping lezyonu	Kırmızı toprak	Beton	Müstakil	Torunlar	Tavuk eti	Düzensiz	Fırıncı
48(K)	0	46	-	Hayır	Bronş ve akciğer overlapping lezyonu	Kara toprak	Beton-tuğla	Apartman 1. kat	Yok	Düzensiz	Normal	Ev hanımı
49	-	61	60	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
50	50	59	15	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kaya	Beton	3. kat	Babası ve dedesi	Normal	Düzensiz	Şoför
51(K)	0	55	39	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Beyaz sert toprak	Beton-tuğla	Müstakil	Amcası	Normal	Normal	Ev hanımı
52	-	98	-	Hayır	Bronş veya	Kara toprak	Beton	Müstakil	-	Normal	-	-

					akciğer malign neoplazmi, üst lob							
53	45	60	20	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst	Sarı sert toprak	Beton	Müstakil	Yok	Normal	Normal	Kamyon şoförü
54	-	49	4	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kumlu	Beton	Apt. 2. kat	Yok	Kırmızı et	Normal	Konfeksiyoncu
55	35	73	40	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, orta lob	Kumlu	Beton	Müstakil	Yok	Normal	Normal	Öğretmen
56	-	70	50	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
57	45	65	6	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Yumuşak kaya	Beton	Müstakil bodrum üstü	Yok	Normal	Normal	Çay fabrikası
58	45	66	16	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kumlu	Beton	Apt 5.kat	Abisi	Kırmızı et	Normal	Oto boyacı
59	50	80	-	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kara toprak	Beton	Zemin kat	Yok	Normal	Normal	Çiftçi
60	40	70	32	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	Kara toprak	Beton-tuğla	Müstakil	İki abisi	Normal	Normal	Çay paketleme
61	30	51	50	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, alt lob	Kara toprak	Beton	Müstakil	Amca ve amca oğlu	Normal	Normal	Çay fabrikası
62	-	74	-	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, orta	-	-	-	-	-	-	-
63	-	48	-	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, orta lob	-	-	-	-	-	-	-
64(K)	0	49	15	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
65(K)	0	75	25	Hayır	Bronş veya akciğer malign neoplazmi, tanımlanmamış	Sarı toprak	Beton-tuğla	Müstakil bodrum üstü	Yok	Normal	Normal	Ev hanımı

66	-	69	-	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
67	47	72	5	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, orta lob	Kumlu	Beton-tuğla	Apartman 2. kat		Düzensiz	Normal	Ticaret
68	-	62	-	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
69	-	80	30	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
70	-	66	35 Yıl	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, alt lob	Kırmızı toprak	Beton-tuğla	Müstakil bodrum üstü	Yok	Kırmızı et	Normal	Çay fabrikası
71	40	53	53	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, alt	Beyaz toprak	Beton-tuğla	Müstakil bodrum üstü	Baba, iki kardeş ve oğul	Kırmızı et	Normal	Belediyede güvenlikçi
72(K)	0	51	35	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	-	-	-	-	-	-	-
73	-	52	12	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, üst lob	-	-	-	-	Kırmızı et	Düzensiz	Gemilerde boyacı
74	-	72	-	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, alt lob	Kumlu	Tuğla	Apartman 2. kat	Abisi	Kırmızı et	Normal	Çay fabrikası
75	40	61	61	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, tanımlanmamış	Sert toprak	Taş duvar üstü ahşap	Müstakil	Babası	Kırmızı et	Normal	Çay paketleme fabrikasında çalıştı
76	40	74	25	Evet	Bronş veya akciğer malign neoplazmı, tanımlanmamış	Kara toprak	Taş duvar üstü ahşap	Müstakil	Yok	Normal	Normal	Çay bahçelerinde çalıştı

ÖZGEÇMİŞ

Emrehan dursun 13/01/1991 tarihinde Artvin’de doğdu. İlköğretimini Borçka ilçesinde Cumhuriyet İlköğretim Okulu’nda ve lise eğitimin Şehit Savaş Gedik Lisesi’nde tamamladı. 07/09/2009 tarihinde başladığı lisans eğitimini 18/07/2014 tarihinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde tamamladı. 2014 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü’nde başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir.

