

**T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

KİLİS İLİ TOPRAK ÖRNEKLERİNDE RADON GAZI ÖLÇÜMÜ

SALMAN ÖZKABLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

DANIŞMAN: Prof. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU

OCAK 2020

KİLİS

TEZ ONAYI

Prof. Dr. Cumhur CANBAZOĞLU danışmanlığında, Salman ÖZKABLAN tarafından hazırlanan “**Kilis İli Toprak Örneklerinde Radon Gazı Ölçümü**” adlı tez çalışması/...../202.. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy..... ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	Prof.Dr. Ahmet Necmeddin YAZICI Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik ABD	
Üye	Prof.Dr. Cumhur CANBAZOĞLU Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Fizik ABD	
Üye	Dr.Öğr.Üyesi Mesut YALÇIN Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO	

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../202.. tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:.....

Bu tez çalışması Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler (BAP) Birimi tarafından 2019-12371 nolu proje ile desteklenmiştir.

Doç.Dr. Serhat KUZUCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİLİS İLİ TOPRAK ÖRNEKLERİNDE RADON GAZI ÖLÇÜMÜ

Salman ÖZKABLAN

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU

Yıl: 2020

Sayfa: 52

Bu çalışmada, Kilis ilinden toplanan 29 adet toprak örneğinin radon gazı konsantrasyonları CR-39 pasif nükleer iz detektörleri kullanılarak kapalı kutu yöntemi ile belirlenmiştir. Kilis ili toprak örnekleri için radon gazı konsantrasyonu, radon gazı çıkış hızı, efektif radyum içeriği, yıllık efektif doz eşdeğeri ve topraktan radon yayılımı yoluyla kapalı alanlara katkıda bulunan radon gazı konsantrasyonu hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radon, CR-39, Toprak, Kilis.

ABSTRACT

MSc. Thesis

MEASUREMENTS OF RADON GAS IN SOILS IN THE PROVINCE OF KİLİS

Salman ÖZKABLAN

Kilis 7 Aralık University

Graduate Training Institute

Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Cumhur CANBAZOĞLU

Year: 2020

Page: 52

In this study, radon gas concentrations of 29 soil samples collected from Kilis province were determined by closed-can technique using CR-39 passive nuclear track detectors. Radon gas concentration, radon exhalation rate, effective radium content, annual effective dose equivalent and radon concentration contribution to indoor radon were calculated for soil samples of Kilis province.

Keywords: Radon, CR-39, Soil, Kilis.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yapılmasında ve sonuçlandırılmasında bana yardımcı olan Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi ve danışman hocam Prof. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU'na teşekkür ederim. Radyoaktivite ölçümlerinin yapılması esnasında emeği geçen Bitlis Eren Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı sorumlusu Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih KULUÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde 2019-12371 nolu proje ile destek sağlayan Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler (BAP) Birimine teşekkür ederim.

Son olarak, tezimin tamamlanması sürecinde bana her konuda destek veren sevgili eşim Ayşegül ÖZKABLAN'a ve her türlü desteğini yaşamım boyunca benden esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Salman ÖZKABLAN

Kilis, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Radyoaktivite ve Radyasyon.....	2
1.2. Radyasyon Birimleri	2
1.3. Radyoaktif Bozunma ve Bozunma Türleri:	3
1.3.1. Radyoaktif Bozunma.....	3
1.3.2. Alfa (α) Bozunması.....	3
1.3.3. Beta (β) Bozunması.....	5
1.3.4. Gama (γ) Işıması	5
1.3.5. Nötron Yayınlanması	6
1.4. Radyasyon Kaynakları	6
1.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	6
1.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	8
1.5. Radon ve Özellikleri	9
1.6. Doğal Radyoaktif Seriler ve İzotopları	9
1.7. Radonun Bulunduğu Yerler.....	12
1.7.1. Toprakta Radon	12
1.7.2. Havada Radon	14
1.7.3. Suda Radon	15
1.8. Önceki Yapılan Çalışmalar.....	15
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
2.1. Bölgenin Tanıtılması.....	19
2.2. Materyal	21
2.3. Yöntem.....	21
2.3.1. Numunelerin Toplanması.....	21
2.3.2. Numunelerin Analize Hazırlanması.....	24
2.3.3. CR-39 Radon iz Dedektörleri Analizleri.....	26

2.3.4. Kapalı Kutu Tekniği ve Topraktaki Radon Gazı Aktivite Hesabı	27
2.3.5. Topraktaki Radon Gazı ıkış Hızı Tahmini	28
2.3.6. Etkin Radyum İçeriğinin Tahmini	28
2.3.7. Yıllık Etkili Dozun Tahmini	29
2.3.8. Standart Sapma.....	29
3. BULGULAR VE TARTIşMA	30
4. SONUÇLAR	40
5. KAYNAKLAR.....	42
EKLER.....	46
ÖZGEçMİş.....	52



SİMGELER VE KISALTMALAR

1. Simgeler

Bq	: Becquerel
Ci	: Curie
Gy	: Gray
Sv	: Sievert

2. Kısaltmalar

OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Radyoaktivite Etkileri Bilimsel Komitesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Radyoaktif bozunma (Baran, 2013).....	4
Şekil 1.2. Alfa(α) bozunması (İlhan, 2015)	4
Şekil 1.3. Gama(γ) Bozunması (İlhan, 2015).....	5
Şekil 1.4. Maruz kalınan doğal ve yapay radyasyon yüzdeleri (TAEK)	6
Şekil 1.5. Maruz kalınan doğal radyasyon doz yüzdeleri (TAEK)	7
Şekil 1.6. Uranyum bozunma serisi (Günay, 2016)	10
Şekil 1.7. Aktinyum bozunma serisi (Günay, 2016)	11
Şekil 1.8. Toryum bozunma serisi (Günay, 2016)	11
Şekil 1.9. Neptünyum bozunma serisi (Günay, 2016)	12
Şekil 1.10. Topraktaki radon difüzyonu (Kuş, 2017).....	14
Şekil 2.1. Kilis ilinin Türkiye haritasındaki yeri.....	19
Şekil 2.2. Denede kullanılan kapalı kutu konfigürasyonu	27
Şekil 3.1. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	31
Şekil 3.2. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama alansal radon gazı çıkış hızı	33
Şekil 3.3. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama kütleli radon gazı çıkış hızı	34
Şekil 3.4. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama efektif radon konsantrasyonu	36
Şekil 3.5. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı	37
Şekil 3.6. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örnekleri için ortalama efektif doz değerleri.....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri (TAEK)	8
Çizelge 1.2. Radon ve izotopları (Özdemir, 2006)	9
Çizelge 1.3. Radyoaktif bozunma serilerine ait bazı özellikler (Krane, 2001)	10
Çizelge 2.1. Toprak örneği alınan noktaların konumları	23
Çizelge 3.1. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama radon gazı konsantrasyonu (Bq/m^3)	31
Çizelge 3.2. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama alansal radon gazı çıkış hızı ($mBq m^{-2} h^{-1}$)	32
Çizelge 3.3. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama kütleli radon gazı çıkış hızı ($mBq kg^{-1} h^{-1}$)	34
Çizelge 3.4. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama efektif radyum konsantrasyonu ($Bq kg^{-1}$)	35
Çizelge 3.5. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı (Bq/m^3)	37
Çizelge 3.6. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örnekleri için ortalama efektif doz değerleri ($\mu Sv y^{-1}$)	38

RESİMLER DİZİNİ

Resim 2.1. Toprak örneği alınan örnekleme noktaları.....	21
Resim 2.2. Kilis il merkezi çalışma sahası ve örnek alım noktaları	22
Resim 2.3. Elbeyli ilçe merkezi çalışma sahası ve örnek alım noktaları	22
Resim 2.4. Polateli ilçe merkezi çalışma sahası ve örnek alım noktaları	22
Resim 2.5. Musabeyli ilçe merkezi çalışma sahası ve örnek alım noktaları.....	23
Resim 2.6. Elenmiş toprak örnekleri.....	24
Resim 2.7. Toprak örneği kaplarının alüminyum folyoyla kaplanması.....	25
Resim 2.8. CR-39 Detektörlerinin kaplara yerleştirilmesi.....	25
Resim 2.9. CR-39 Detektörlerinin poşetlere konulması	25
Resim 2.10. RADOSYS cihazı	26
Resim 2.11. CR-39 İz detektörleri	26



1. GİRİŞ

Bütün canlılar dünyanın var oluşundan bu güne karasal ve kozmik orjinli doğal radyasyonlara maruz kalmaktadırlar. Karasal radyasyonun kaynağı yer kabuğunda var olan ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th serileri ve ^{40}K radyoaktif elementidir. Bu radyoaktif elementler bütün toprak, kaya türlerinde ve bina yapı malzemelerinde bulunur. Toprakta ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarının dünya ortalaması sırası ile 35, 30 ve 400 Bq/kg'dır (UNSCEAR, 2000; TAEK). Kozmik radyasyonun kaynağı ise uzaydan dünya atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlar ve kozmojenik radyoizotoplardır (TAEK). İnsanlar ve canlılar bu doğal radyasyon kaynaklarından yılda 2.4 mSv'lik bir radyasyon dozuna maruz kalırlar ve bu yıllık etkin doza yaklaşık olarak %50 katkı radondan ileri gelir (UNSCEAR, 2000).

Radon renksiz, kokusuz, tatsız alfa yayan kimyasal olarak inert bir gazdır. Yer kabuğundaki kayalar ve topraklarda var olan uranyum, radyum ve toryumun doğal radyoaktif bozunumu sonucunda üretilir. Radon'un üç doğal izotopu vardır. Bunlar radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) ve aktinondur (^{219}Rn) (Rangaswamy et al., 2016). ^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn 'nin yarı ömürleri sırası ile 3,8 gün, 55 saniye ve 4 saniyedir. Radon izotoplarının en önemlisi doğada en çok bulunan ^{222}Rn 'dir (Canbazoglu, 2004).

Topraktaki radon konsantrasyonu bir bölgeden diğerine büyük oranda değişir ve topraktaki radyum içeriğine doğrudan bağlıdır. ^{226}Ra 'nın radyoaktif bozunumu sonucu oluşan radon atomları ya difüzyon ya da transfer mekanizmaları ile ya da her ikisi ile taşınırlar. Böylelikle radon, kaya ve toprak yüzeylerinden atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Kaya ve toprak yüzeylerinden radon çıkışı özellikle bina içi ortamlarda maruz kalınan radyasyona katkı sağlar (Saad et al., 2013). Yapı malzemeleri de kaya ve topraktan üretildikleri için potansiyel radon yayıcılarıdır (TAEK). Bu nedenle dünyanın pek çok farklı yerinde toprak ve kayalarda radon gazı belirlenmesi önemsenmekte, konu ile ilgili bilimsel çalışmalar yapılmaktadır (Mazur et al. , 1999; Baykara et al. , 2005; Sharma et al. , 2003; Singh et al. , 2008; Mittal et al. , 2016).

Bu tez çalışmasında, Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan 29 adet toprak örneğinde radon gazı ölçümü kapalı kutu tekniği ile CR-39 detektörleri kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Toprak örnekleri için radon çıkış hızı, efektif radyum içeriği, efektif doz eşdeğeri ve bina içi radona katkı sağlayan radon konsantrasyonu hesaplanmıştır.

1.1. Radyoaktivite ve Radyasyon

Radyoaktivite, Fransız Fizikçi Henry Becquerel tarafından 1896 yılında ilk kez keşfedilmiştir. Radyoaktivite, atom çekirdeğinin ışın veya parçacık çıkararak kararsız halden daha kararlı bir atom çekirdeğine dönüşen, kontrol edilemez, yavaşlatılmaz ve durdurulamaz bir olay olarak tanımlanmaktadır (Gündoğan, 2016).

Radyasyon, dalga, parçacık ya da foton olarak adlandırılan enerji yayılımıdır. Günlük yaşantımızda iç içe olduğumuz bazı radyasyon kaynakları; Radyo dalgaları, sağlık alanında ve endüstride kullanılan X ışınları, güneş ışınları maruz kaldığımız radyasyon kaynaklarından sadece bazılarıdır (TAEK).

Radyasyonun, atomlardan bir veya birden fazla elektron koparması olayına iyonlaşma, iyonlaşma meydana getiren radyasyonlara ise iyonlaştırıcı radyasyonlar denir (Canbazoglu, 2004).

Radyasyon, iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (İlhan, 2015):

- **İyonlaştırıcı Radyasyon:** Madde ile etkileştiklerinde maddenin atomundan elektron koparacak kadar enerjiye sahip olan radyasyondur. Bu radyasyona alfa, beta, gama ve x ışınları örnek olarak verilebilir.
- **İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon:** Madde ile etkileştiklerinde maddenin atomundan elektron koparamayacak kadar enerjiye sahip olan radyasyondur. Örnek olarak mikro dalgalar, radyo ve televizyon dalgaları, cep telefonu dalgaları ve baz istasyonlarından yayılan dalgalar, verilebilir.

1.2. Radyasyon Birimleri

Radyoaktivite birimleri dörde ayrılır: bunlar; Aktivite, Işınlanma, Soğurulan doz ve Eşdeğer doz birimidir (TAEK):

- **Aktivite Birimi:** Birimi becquerel olup, saniyede bir bozunan radyoaktif maddenin aktivitesidir. Önceki birimi Curie'dir.

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci' dir.}$$

- **Işınlanma Birimi:** Birimi Röntgen olup, normal hava şartlarında (0 C⁰ ve 760 mm Hg basıncında) havanın 1 kilogramında 2,58×10⁻⁴ Coulomb'luk pozitif veya negatif iyonlar oluşturan X ve Gama radyasyon miktarıdır (Krane, 2001).

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C.kg}^{-1}$$

- **Soğurulan Doz Birimi:** SI birim sisteminde birimi Gray olup, bir kilogramlık maddeye bir joule'lük enerji veren doz birimidir. Eski birimi ise Rad'dır (Krane, 2001).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg, } 1 \text{ Gray} = 100 \text{ Rad'dır.}$$

- **Eşdeğer Doz Birimi:** Birimi Sievert olup, iyonlaştırıcı radyasyonlar nedeniyle tüm vücut ışınlanmalarının farklı dokulardaki biyolojik etkilerinin bir ölçüsüdür. Sievert, soğurulan dozla kalite faktörünün çarpılmasıyla bulunmaktadır. Eski birimi Rem'dir (Krane, 2001).

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem'dir.}$$

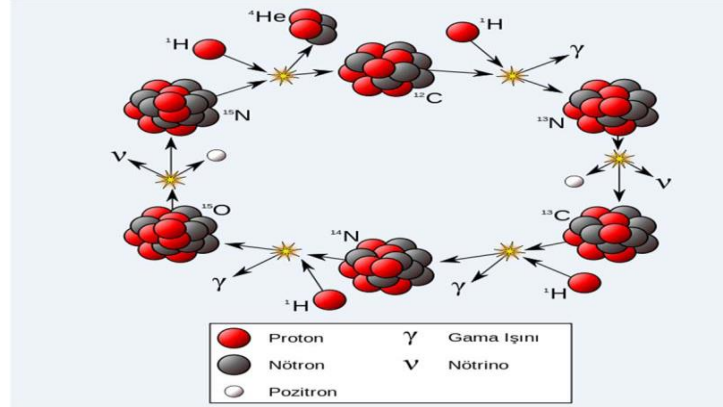
1.3. Radyoaktif Bozunma ve Bozunma Türleri

1.3.1. Radyoaktif Bozunma

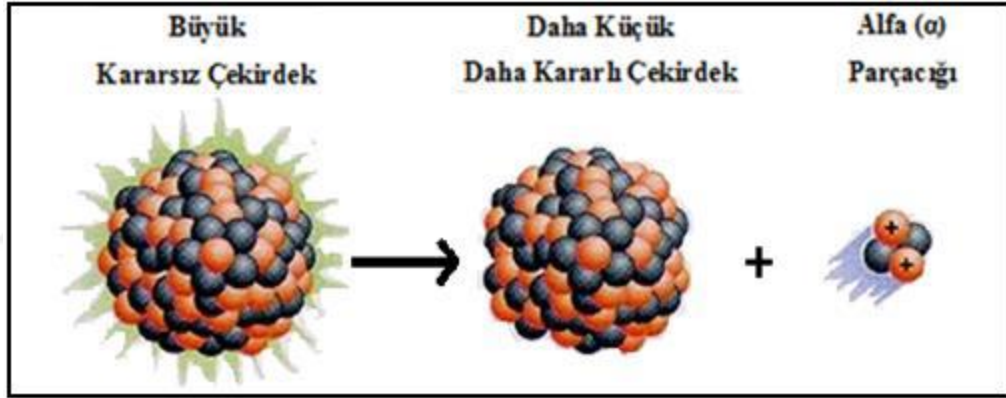
Kararsız olan atom çekirdeklerinin çeşitli elektromanyetik parçacıklar yayarak ve ışıma yaparak kendiliğinden bozunması olayına radyoaktif bozunma denir. Radyoaktif bozunma türleri ise alfa (α) bozunumu, beta(β) bozunumu, gama (γ) ışını yayınlanması ve nötron yayınlanması olmak üzere 4 farklı şekilde gerçekleşmektedir (Şekil 1.1) (Baran, 2013).

1.3.2. Alfa (α) Bozunması

Atom numaraları 83'den büyük olan radyoaktif elementler daha kararlı hale gelmek için proton ve nötron kaybederler. Alfa parçacığı iki protona ve iki nötrona sahip helyum çekirdeğidir ve +2 yüküne sahip olup çekirdekten yayınlanır (Şekil 1.2). Alfa bozunumu Denklem 1.1 ile ifade edilir (Kulalı, 2009).



Şekil 1.1. Radyoaktif bozunma (Baran, 2013)



Şekil 1.2. Alfa (α) bozunması (İlhan, 2015)

$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He} (\alpha) \quad (1.1)$$

Denklem (1.1)'de X ana çekirdek, Y ise ürün çekirdek olarak adlandırılmaktadır. Alfa bozunumunda ana çekirdeğin kütle numarası 4 azalırken, atom numarası 2 azalmaktadır, toplam enerji (Q) ise değişmemektedir (Denklem 1.2).

$$Q = \Delta mc^2 = [m_x - m_y - m({}^4_2 \text{He})].c^2 \quad (1.2)$$

Alfalar 4 MeV ile 10 MeV arasında kesikli bir enerji spektrumuna sahiptir (Baran, 2013).

1.3.3. Beta (β) Bozunması

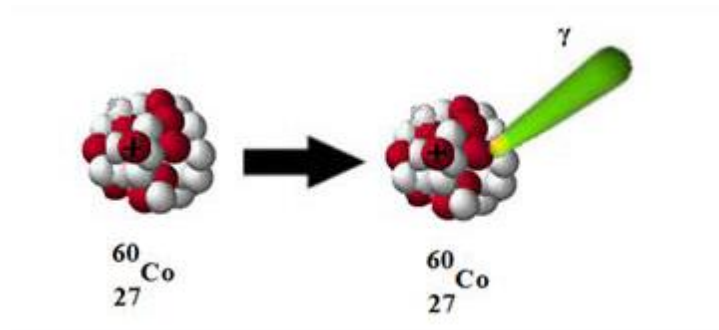
Beta bozunması kararsız atom çekirdeklerindeki nötronun protona ya da protonun nötrona dönüşmesi sırasında ortama yayılan enerjinin beta parçacığı (pozitif veya negatif) olarak formlaşıp yayılmasıdır. Çekirdekteki nötron fazlalığından dolayı yayınlanan elektron negatif yüklü olur ve β^- olarak ifade edilir. Beta yayınlanması çekirdekteki proton fazlalığından kaynaklanıyorsa yayınlanan parçacıklar pozitif yüklü olur ve pozitron adını alarak β^+ ile gösterilir (Baykara, 2005). β^- ve β^+ denklemleri (Denklem 1.3 ve Denklem 1.4) sırasıyla aşağıda verilmiştir (Gündoğan, 2016).



1.3.4. Gama (γ) Işıması

Gama (γ) ışımalarının kaynağı çekirdek olup, bir çekirdek alfa (α) ve beta (β) parçacığı yayınladıktan sonra genellikle kararlı hale geçemez ve çekirdek fazla enerjisini gama ışını olarak yayınlar (Şekil 1.3) (Baykara, 2005).

Gama (γ) ışını elektromanyetik dalga özelliği göstermektedir. Enerji dalgaları olduklarından dolayı elektriksel yüke sahip olmayıp kütesiz olarak kabul edilirler. Gama yayınlanmasının yarı ömrü, alfa ve beta bozunmalarına göre çok düşüktür ve genelde 10^{-9} saniyeden daha küçük bir zaman içinde meydana gelir (Şahin, 2009).



Şekil 1.3. Gama (γ) bozunması (İlhan, 2015)

1.3.5. Nötron Yayınlanması

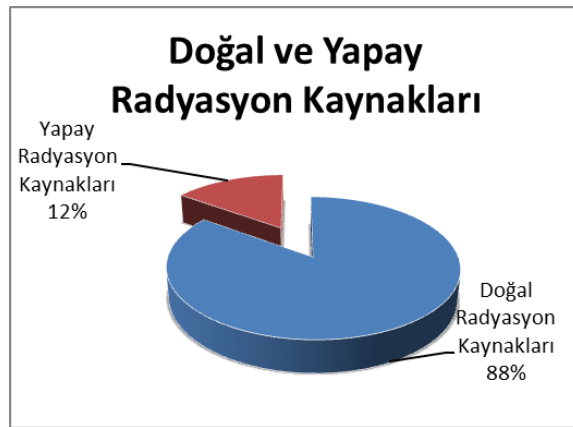
Nötronlar, kütleleri protona eşit olan, aynı zamanda yüksüz nükleonlardır ve radyoaktif bozunma sonucunda oluşmayıp, bölünme sonucunda oluşmaktadır. Nötron yayınlanması aynı zamanda ağır çekirdeklerin nötron bombardımanı sonucunda ikiye bölünmesi ve nötronlarla birlikte büyük bir enerjinin ortaya çıkması olayı olarak da ifade edilmektedir. Yüksüz olmalarından dolayı madde içerisine kolayca girebilir ve atomun elektron yapısından geçebilmektedir (Baykara, 2005).

1.4. Radyasyon Kaynakları

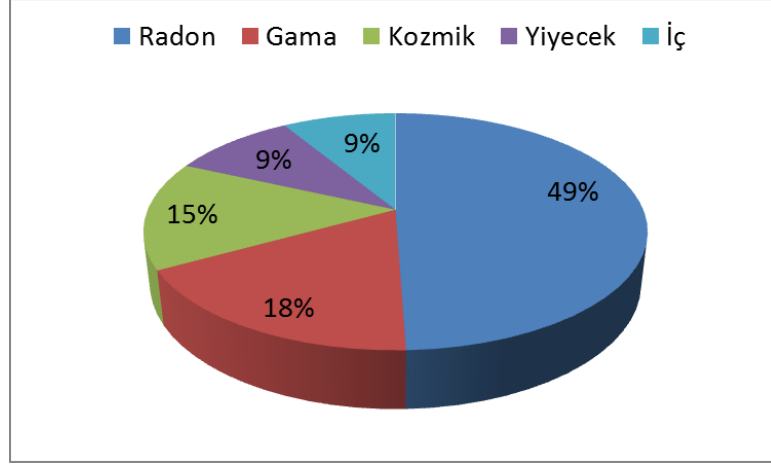
Radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Maruz kalınan doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının dünya ortalama oranları Şekil 1.4'de verilmiştir (TAEK).

1.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Tüm insanlar sürekli yeryüzünde bulunan karasal radyonüklitler ve uzaydan gelen kozmik ışıklardan dolayı radyasyona maruz kalmaktadırlar. Bu radyonüklitler Uranyum (^{238}U), Toryum (^{232}Th) serileri ve Potasyum (^{40}K)'dur. Bu radyoaktif elementler toprak, su ve bina yapı malzemelerinde bulunurlar. İnsan vücuduna kolaylıkla geçip, çeşitli organ ve dokularda birikir ve vücut içi ışınlamalar ile doz etkisi meydana getirirler. Dış uzaydan gelen kozmik ışıklara ve karasal gama radyasyonuna maruz kalma sonucu ise doğrudan canlılarda doz etkisi meydana gelmektedir. Şekil 1.5'de doğal radyasyon kaynaklarından dolayı maruz kalınan doz yüzdeleri verilmiştir (TAEK).



Şekil 1.4. Maruz kalınan doğal ve yapay radyasyon yüzdeleri (TAEK)



Şekil 1.5. Maruz kalınan doğal radyasyon doz yüzdeleri (TAEK)

Kozmik radyasyon

İçinde bulunduğumuz dünya çoğunluğu atmosfere ulaşan protonlar olan yüksek enerjili parçacıklar tarafından bombardıman edilmektedir. Protonlar yüklü parçacıklar oldukları için atmosferde dünyanın manyetik alanının etkisi altına girerler. Bu nedenle kozmik ışın yoğunluğu ekvatordan kutuplara gidildikçe artmaktadır. İnsanların maruz kaldığı kozmik radyasyon dolayısıyla enlem arttıkça artmaktadır. Bununla birlikte güneş ve yıldızlardan kaynaklı kozmik ışınlar ait nötron ve protonlar atmosferin alt tabakasındaki elementlerle etkileşerek trityum (^3He), berilyum (^7Be), karbon (^{14}C) ve sodyum (^{22}Na) gibi radyoaktif izotoplar meydana getirmektedir. Bu radyoaktif izotoplar solunum ve sindirim yoluyla iç ışınlamaya neden olmaktadır. Kozmik ışın kaynaklı yer seviyesindeki yıllık etkin doz UNSCEAR raporlarında 0,4 mSv'dir (TAEK).

Karasal radyasyon

Dünyanın varoluşundan bu yana var olan uzun ömürlü radyonüklitlerden kaynaklanan karasal radyasyon, vücudumuzu iç ve dış ışınlamaya maruz bırakmaktadır. Dış ışınlamalar yeryüzünde bulunan ^{238}U ve ^{232}Th serilerine ait radyonüklitler ve ^{40}K radyoizotopundan yayınlanan gama ışınlarından kaynaklanır. Bu radyonüklitler vücut içerisinde radyasyon yayarak iç ışınlamaya neden olurlar, ayrıca bu karasal radyonüklitler toprak ve kaya katmanlarındaki farklı konsantrasyon değerlerine sahiptirler. UNSCEAR 2000 raporlarına göre topraktaki doğal radyonüklitlerin ortalama

aktivite konsantrasyon değerleri ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 35, 35, 45 ve 400 Bq/kg'dır (TAEK). Çizelge 1.1'de dünya geneli için doğal radyasyon kaynaklı maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri verilmiştir (TAEK).

1.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Gelişen dünya ile birlikte, doğal radyasyonun dışında ileri teknolojiye olan ihtiyaçtan dolayı insanlar yapay radyasyon kaynaklarını üretmektedir. Bu yapay radyasyon kaynaklarından bazıları, tıbbi uygulamalar, tanısal radyoloji, nükleer tıp, ışın tedavisi, endüstriyel uygulamalar, nükleer serpinti ve nükleer güç santralleridir (İlhan, 2015; TAEK).

Çizelge 1.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklı maruz kalınan ortalama doz değerleri (TAEK)

Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
	Değişim Aralığı	Ortalama
Kozmik Radyasyon		
• Foton Bileşeni	0,28	
• Nötron Bileşeni	0,10	0,3-0,1
• Kozmojenik Radyoizotoplar	0,01	
Toplam	0,39	
Yeryüzü Kaynaklı Dış Işınımlar		
• Bina İçi	0,07	0,3-0,6
• Bina Dışı	0,41	
Toplam	0,48	
Solunum Yolu İle Işınlanma		
• Uranyum ve Toryum Serileri	0,006	
• Radon (Rn-222)	1,15	0,2-10
• Toron (Rn-220)	0,10	
Toplam	1,26	
Beslenme Yolu İle Işınlanma		
• K-40	0,17	
• Uranyum ve Toryum Serileri	0,12	0,2-0,8
Toplam	0,29	
GENEL TOPLAM	2,4	1-10

1.5. Radon ve Özellikleri

Radon, periyodik cetvelde soy gazlar (8A) grubunda 6. periyotta yer alan 86 atom numarasına sahip renksiz, kokusuz, tatsız radyoaktif bir gazdır. Hidrojenden yaklaşık yüz kat, havadan da yaklaşık yedi buçuk kat ağır bir gaz olup 0 °C'de yoğunluğu 9,73 gram/litre'dir. Yarılanma ömrü 3,82 gündür. Radon (^{222}Rn), ^{238}U (Uranyum) serisine ait ^{226}Ra (Radyum)'nın bozunması sonucu oluşur. Erime noktası -71 °C ve kaynama noktası -61,8 °C'dir (Günay, 2016). Radon'un (^{222}Rn), Toron (^{220}Rn) ve Aktinon (^{219}Rn) olmak üzere iki izotopu daha vardır. Bu izotopların yarı ömürleri radona göre çok kısa olup sırasıyla 55,6 saniye ve 3,96 saniyedir. Çizelge 1.2'de radon ve izotoplarının yarı ömürleri verilmiştir (Özdemir, 2006).

Radon; tüm yüzey, toprak ve kayalarda, suda, atmosferde ve bina yapı malzemelerinde bulunmaktadır. Radon gazı, teneffüs edildiğinde radyoaktif bozunma ile akciğerlerde tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Bu parçacıkların bozunması ile ortaya çıkan enerji akciğer dokusunda hasara, zaman içerisinde ise kansere sebep olabilmektedir. Yüksek dozda radona maruz kalma, herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemelidir (TAEK).

1.6. Doğal Radyoaktif Seriler ve İzotopları

Radon'un üç doğal izotopu (^{219}Rn , ^{220}Rn ve ^{222}Rn) radyoaktif bozunma zincirleri içerisinde yer alır. ^{222}Rn , radon elementinin en uzun yarı ömürlü izotopudur. Radon, ^{238}U radyoaktif bozunma serisinin bir üyesidir. Radonun diğer iki izotopu ise ^{232}Th ve ^{235}U serisinin üyeleri olan toron ve aktinondur (Kuş, 2017). Radyoaktif bozunma serileri; Uranyum, Aktinyum, Toryum ve Neptinyum olmak üzere dört ayrı seri şeklinde sıralanmaktadır (Günay, 2016). Çizelge 1.3'de Radyoaktif bozunma serilerinin bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. Radon ve İzotopları (Özdemir, 2006)

Seri Adı	Ana Element	Ürün Element ve Adı	Yarı-Ömür	Alfa Radyasyon Enerjisi (MeV)
Uranyum	^{238}U	^{220}Rn -Radon	3,85 gün	5,49
Toryum	^{232}Th	^{220}Rn -Toron	55,6 saniye	6,29
Aktinyum	^{235}U	^{219}Rn -Aktinon	3,96 saniye	6,42

Çizelge 1.3. Radyoaktif bozunma serilerine ait bazı özellikler (Krane, 2001)

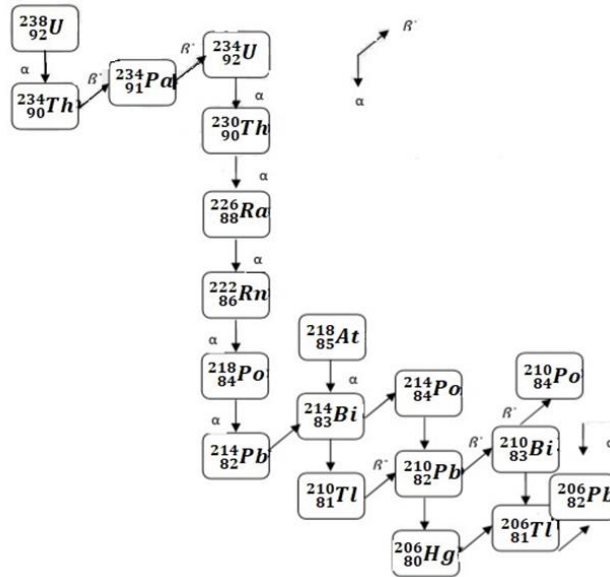
Seri Adı	Türü	Son Çekirdek(Kararlı)	En Uzun Ömürlü Üyesi	
			Çekirdek	Yarı-Ömür (y)
Toryum	4n	^{208}Pb	^{232}Th	$1,41 \times 10^{10}$
Neptünyum	4n+1	^{209}Bi	^{237}Np	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	4n+2	^{206}Pb	^{238}U	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	4n+3	^{207}Pb	^{235}U	$7,04 \times 10^8$

Uranyum Serisi

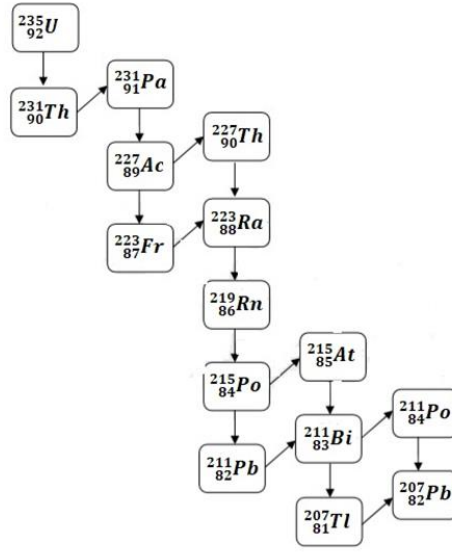
Uranyum serisinin ilk elementi ^{238}U olup, serisindeki çekirdekler genellikle alfa ve beta parçacıkları yayarak bozunmaktadır. ^{238}U ile başlayıp, kurşun izotopu olan ^{206}Pb ile biter ve doğada % 99,27 oranında bulunmaktadır. Uranyum (n bir tamsayı olmak üzere) bozunma serisi $4n+2$ ile gösterilir (Baykara, 2005). Uranyum bozunma serisi Şekil 1.6'da verilmiştir (Günay, 2016).

Aktinyum Serisi

Doğada % 0,72 oranında bulunan serinin ana çekirdeği ^{235}U olup son elementi ^{207}Pb 'dir. Bozunma serisi $4n+3$ ile ifade edilmektedir (Baykara, 2005). Aktinyum bozunma serisi Şekil 1.7'de verilmiştir (Günay, 2016).



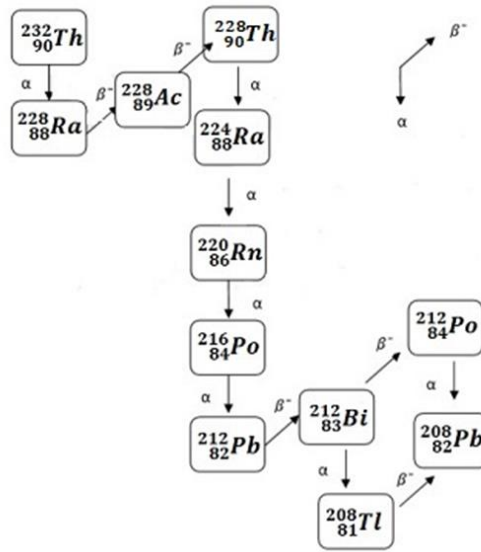
Şekil 1.6. Uranyum bozunma serisi (Günay, 2016)



Şekil 1.7. Aktinyum bozunma serisi (Günay, 2016)

Toryum Serisi

Toryum serisi ^{232}Th ile başlar ve son elementi kararlı kurşun izotopu olan ^{208}Pb 'dir. Genellikle düşük enerjili alfa parçacığı yayınlayan toryum serisi, alfa parçacığının yanında düşük seviyede gama ışını da yayınlamaktadır. Bozunma serisi $4n$ olarak temsil edilmektedir (Baykara, 2005). Şekil.1.8'de toryum bozunma serisi gösterilmiştir (Günay, 2016).



Şekil 1.8. Toryum bozunma serisi (Günay, 2016)

Neptünyum Serisi

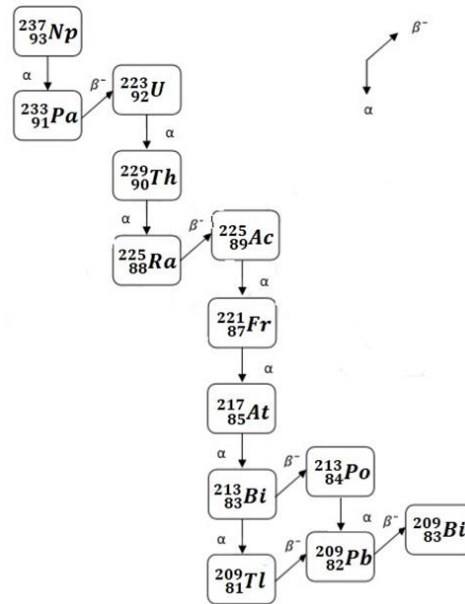
Neptünyum serisi ^{237}Np ile başlayıp son elementi ^{209}Bi ile biten ve artık doğada bulunmayan yapay bir seridir. Bozunma serisi $4n+1$ ile gösterilir (Baykara, 2005). Şekil.1.9'da Neptünyum bozunma serisi gösterilmiştir (Günay, 2016).

1.7. Radonun Bulunduğu Yerler

Radon, yer kabuğu, kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunuma uğraması ve ^{238}U bozunum serisinin bir üyesi olarak ortaya çıkmaktadır. Radonun ana kaynağı yer küredir ve biyosfer tabakasında serbest halde bulunan radon atmosfere kolaylıkla taşınabilir. Uranyum konsantrasyonuna bağlı olarak toprak, hava ve suda farklı yoğunluklarda bulunabilmektedir (İlhan, 2015; Demirel, 2013).

1.7.1. Toprakta Radon

Topraktaki radyoaktivite temel olarak yer kürede bulunan kayalardan kaynaklanmakta ve ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyonüklitler yer kabuğunda bulunarak toprağın radyoaktif olmasına sebep olmaktadır. Bu doğal radyonüklitlerin topraktaki bulunma miktarları ise kayaç çeşidine bağlıdır. Yüksek radyasyon seviyeleri volkanik kökenli kayalarda (volkanik, granit, fosfat) ve tuz kayalarında, düşük radyasyon seviyeleri ise tortul kayalarda bulunmaktadır (Değerlier, 2007).



Şekil.1.9. Neptünyum bozunma serisi (Günay, 2016)

^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi doğal radyonüklitlerin yüksek oranda bulunduğu bu kayaların zamanla ufalanarak küçük parçalar halinde, yağmur ve yeraltı sularıyla birlikte toprağa karışması, toprağın radyoaktivitesini arttıran önemli bir olaydır. Toprak alt tabakasındaki oksidasyonlar topraktaki organik maddelerin ayrışmasını ve zamanla alt tabakalardaki uranyum miktarının azalmasına sebep olur. Toprakta bulunan hümik asit, kayaların parçalanmasında ve parçalanmış kayaların sular vasıtasıyla toprağa karışmasında önemli rol oynamaktadır. Aktivite seviyeleri, toprak içerisinde bulunan mineral oluşumu ve yoğunluğuna bağlı olarak toprak cinsine göre değişiklik göstermektedir (Bakkal, 2012).

Radon, ^{219}Rn , ^{220}Rn ve ^{222}Rn olmak üzere üç izotoptan oluşmaktadır. Bu izotoplar sırasıyla, ^{235}U , ^{232}Th ve ^{238}U radyoaktif serilerinin birer üyesidir. ^{219}Rn , atası olan ^{235}U 'in yer kürede az bulunmasından dolayı çok fazla öneme sahip değildir. ^{220}Rn ve ^{222}Rn 'nin topraktaki yayılma hızı hemen hemen aynıdır. ^{220}Rn 'nin yarı ömrü (55,6 saniye) ^{222}Rn 'nin yarı ömründen (3,82 gün) daha küçük olduğundan dolayı, ^{222}Rn çevreye daha çok yayılır ve ^{222}Rn bu izotopların en önemlisi olarak önem arz etmektedir (Gündoğan, 2016).

Uranyum bozunum serisinde yer alan Radyumun (^{226}Ra) toprak içerisinde bozunması sonucu oluşan radon, önce toprak mineralleri ve parçacıkları arasındaki difüzyonla serbest kalır, daha sonra ise bu serbestlikten dolayı hava dolu gözeneklere ve oradan da atmosfere geçmeye çalışır. Radon gazının atmosfere geçmesini kontrol altında tutan değişkenler, toprağın nem oranı, topraktaki gözeneklerin genişliği, toprağın hava ve su geçirgenliğidir. Killi toprakların kumlu ve çakıllı topraklara göre radon geçirgenliği daha azdır. Uranyum yer kabuğunda 2 ile 4 ppm arasında çok miktarda bulunmaktadır. Yer kabuğunun demir, magnezyum ve alüminyum içeriğinin fazla olduğu bölgelerde uranyum miktarı bazen 100 ppm olmaktadır. Kayaçlarda bulunan uranyumun bozunumu sonucu radyum difüzyona uğrayarak daha üst katmanlardaki toprağa karışır (İlhan, 2015; Kuş, 2017). Şekil 1.10'da topraktaki Radon difüzyonu gösterilmiştir.

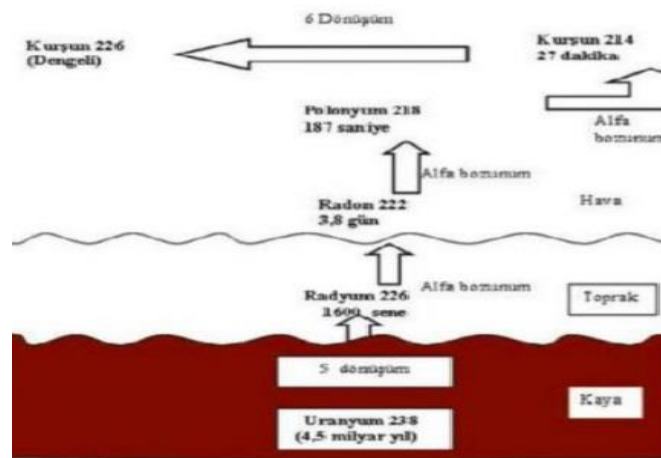
Evlere giren radonun en önemli kaynağı, evlerin inşa edildiği arazinin toprak yapısı ve kayalardır. Radon tüm kaya ve topraklardan bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosferde yayılmaktadır. Radon konsantrasyonu, değişik bölgelerde farklılık göstermekle birlikte, aynı yerleşim bölgesinde zamana bağlı olarak da farklılık

göstermektedir. Granit, volkanik kayalar ve tortul şistler en önemli radon kaynağı iken, sedimenter topraklar düşük radon konsantrasyonuna sahiptir (Kapdan, 2009).

Topraktaki radon konsantrasyonu seviyesi meteorolojik ve jeolojik parametrelere bağlıdır. Toprak gazı konsantrasyonunu etkileyen en önemli etken yağıştır. Bununla birlikte radyum içeriği, radyum dağılımı, gözeneklilik, nem ve yoğunluk toprak radon gazı konsantrasyonunu etkileyen faktörler arasındadır (Ortaç, 2019).

1.7.2. Havada Radon

Havadaki radonun asıl kaynağı topraktaki radyumdur. Havadaki radon konsantrasyonu topraktaki radyum miktarına, radyoaktif gaz çıkış hızına ve atmosferik dağılım faktörlerine bağlıdır. Bina yapı malzemeleri doğal olarak topraktaki uranyumu içerdiğinden, hava için diğer bir önemli radon kaynağı bina yapı malzemeleridir. Suların kullanımı esnasında suda çözünen radon havaya yayılarak havadaki radon konsantrasyonuna katkı sağlamakta, dolayısıyla hava için diğer bir radon kaynağını sular oluşturmaktadır. Yer altı suları yüksek basınca sahip olduklarından dolayı önemli miktarda (370 kBqm^{-3} den fazla) radon içerebilmektedir. Havadaki radon gazı, insanların radyasyon dozuna, soluma ile maruz kaldığı en büyük katkıyı vermekte, soluma ile vücut içerisine alınan radon ve izotopları solunum sistemlerinde birikerek önemli derecede sağlık riski oluşturmaktadır. Bu doz değeri yaklaşık olarak $1,3 \text{ mSv}$ civarındadır (Canbazoglu, 2004).



Şekil.1.10 Topraktaki radon difüzyonu (Kuş, 2017)

1.7.3. Suda Radon

Sular, etrafında bulunan toprak ve kayalar ile etkileşim halinde olduğundan, toprak ve kayalardaki radyoaktif izotopların sulara geçme olasılığı yüksektir. Yeraltı suları yüzey sularından daha radyoaktiftir. Uranyum serisine ait olan radyum (^{226}Ra) ve radon (^{222}Rn) yeraltı sularında oldukça fazla konsantrasyonda bulunmaktadır. Sularda bulunan radon gazı kaynağının sulara çözünmüş radyum tuzları olduğu bilinmektedir. Suların karakteristik özellikleri (çözünürlük, taşıyıcılık ve çöktürme), suların doğal radyoaktivitesini etkilemektedir (Özdemir, 2013).

1.8. Önceki Yapılan Çalışmalar

İlhan, M. tarafından 2015 yılında yapılan bir çalışmada, Afyonkarahisar şehir merkezinde AlphaGUARD PQ2000 PRO detektörü kullanılarak 4 bölgede toprakta radon aktivite konsantrasyonu belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde $0,23 \text{ kBq/m}^3$ ile $186,1 \text{ kBq/m}^3$ aralığında değişen değerler elde edilmiştir. Elde edilen radon aktivite konsantrasyonları ile bölgelerin jeolojik yapısı arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır (İlhan, 2015).

Yılmaz, E. tarafından 2016 yılında yapılan bir çalışmada, Akşehir fay hattı üzerinde 10 farklı noktada 5 ay boyunca aylık periyotlarla AlphaGUARD PQ2000 PRO dedektörü kullanılarak toprakta radon konsantrasyonu ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde toprak radon konsantrasyon değerlerinin $5,36 \text{ kBq/m}^3$ ile $47,62 \text{ kBq/m}^3$ aralığında olduğu belirlenmiştir (Yılmaz, 2016).

Taşköprü, C. tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada, İzmir-Bayındır bölgesindeki jeotermal alanlardaki büyük toprak gruplarında toplam 6 istasyon kurulmuş ve 1 yıl boyunca periyodik olarak LR-115 TİP 2 nükleer iz kazıma detektörleri kullanılarak toprak gazı radon çıkışları incelenmiştir. Yapılan ölçümlerde toprak gazı radon konsantrasyon değerlerinin $0,17 \text{ kBq/m}^3$ ile $15,18 \text{ kBq/m}^3$ aralığında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler kullanılarak radon difüzyon katsayıları hesaplanmış ve difüzyon katsayılarının $0,04 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ ile $6,79 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ aralığında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca toprak örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarının

sırasıyla 16,4 ile 73,0 Bq/kg, 15,8 ile 45,4 Bq/kg ve 225,0 ile 545,2 Bq/kg arasında değiştiği belirlenmiştir (Taşköprü, 2014).

Baykara, O. ve arkadaşları tarafından 2005 yılında yapılan bir çalışmada Türkiye'deki Kuzey ve Doğu Anadolu Aktif Fay Sistemi'ndeki toprak örneklerinden radon çıkış hızı, radon konsantrasyonu ve efektif radyum içeriği kapalı kutu tekniği ile ölçülmüştür. Sistemdeki radon konsantrasyonu ve çıkış hızının ölçülen maksimum değerleri sırası ile 8.10 Bq kg⁻¹ ve 400,7 (mBq m⁻² h⁻¹) olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, toprak örneklerindeki efektif radyum konsantrasyonu 0,02 ile 0.80 Bq kg⁻¹ arasında değişmektedir (Baykara et al., 2005).

Mahur, A.K. ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılan bir çalışmada, LR-115 plastik iz detektörleri kullanılarak Orissa Eyaleti Chhatrapur plajından (Hindistan) alınan kum örneklerinin efektif radyum içeriği belirlenmiştir. Efektif radyum içeriği değerlerinin 63.6 ile 773,5 Bq kg⁻¹ aralığında değiştiği bulunmuştur. Efektif radyum içeriği 13 örnek için 370 Bq kg⁻¹ olan limit değerin altında, 7 örnek için ise üstünde bulunmuştur (Mahur et al., 2008).

Bala Pankaj ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan 'Değişik Bina Malzemeleri ve Toprak rneklerinde Radon ıkış Hızının llmesi' başlıklı çalışmada; LR-115 katihal alfa iz detektörleri kullanılarak Una ve Hamirpur bölgelerindeki (Himalayalar) toprak ve bina yapı malzemeleri örneklerinde radon çıkış hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Toprak rnekleri için radon çıkış hızı 59.7 mBq kg⁻¹ h⁻¹ lik bir ortalama değer ile 39,1 den 91,2 mBq kg⁻¹ h⁻¹ değerleri arasında değişmektedir. Çalışılan bölgenin radyum konsantrasyonu ise 30,6 ile 51,9 Bq kg⁻¹ değerleri arasındadır ve radyum için ortalama değer 41,6 Bq kg⁻¹'dir. Bina yapı malzemeleri için çıkış hızı 59,94 mBq kg⁻¹ h⁻¹ lik bir ortalama değer ile 40,72 den 81,40 mBq kg⁻¹ h⁻¹'e değişmektedir (Bala et al., 2017).

Saad, A.F. ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada; Libya'nın kuzeydoğusunda bulunan Bengazi ve Al-Marj şehirlerinden alınan toprak örneklerindeki radon konsantrasyonları Cr-39 katihal iz detektörleri kullanılarak kapalı kutu tekniği ile ölçülmüştür. Kütle ve Alansal radon çıkış hızları, radyum içeriği, bina içi radona katkı sağlayan toprak kaynaklı radon konsantrasyonu ve yıllık efektif dozlar

belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak normal sınırlar içerisinde bulunmuştur (Saad et al., 2013).

Mittal ve arkadaşları tarafından 2016 yılında Hindistan'da yapılan araştırmada; Rajasthan'ın Bikaner ve Jhunjhunu bölgelerinin farklı lokasyonlarından toplanan 20 adet toprak ve su örneğindeki radon konsantrasyonları analizleri RAD7 elektronik radon detektörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toprak örneklerindeki radon ölçümleri 4561 Bq m⁻³'lük ortalama bir değer ile 941 Bq m⁻³'den 10050 Bq m⁻³'e değişmektedir. Toprak örneklerinin yapı malzemesi olarak kullanılması herhangi bir sağlık riski oluşturmadığı için, uygun olduğu rapor edilmiştir (Mittal et al. , 2016).

Duggal, V. ve arkadaşları tarafından Hindistan'da 2015 yılında yapılan araştırmada Kuzey Rajasthan sahası toprak örneklerindeki radyum ve radon çıkış hızları çalışılmıştır. Toprak örneklerindeki radon çıkış hızı ölçümleri kutu tekniği kullanılarak tip II LR-115 plastik iz detektörleri ile ölçülmüştür. Kütle (EM) ve alansal (EA) radon çıkış değerleri hesaplanmıştır. Kütle ve alansal radon çıkış hızları sırası ile 8,27'den 23,19 mBq kg⁻¹ h⁻¹'e ve 273,80'den 768,04 mBq m⁻² h⁻¹'e değişmektedir. Kütle ve alansal radon çıkış hızı ortalaması ise sırası ile 14,96 mBq kg⁻¹ h⁻¹ ve 495,32 mBq m⁻² h⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Radyum konsantrasyonu 12,45 Bq kg⁻¹'lik ortalama değer ile 6,88 den 19,31 Bq kg⁻¹'e değişmektedir. Gözlenen efektif radyum konsantrasyonları bütün toprak örnekleri için 370 Bq kg⁻¹ olan izin verilen değerden küçüktür (Duggal et al., 2015).

Verma, D. ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada Hindistan'ın Farrukhabad şehrinden alınan toprak örneklerinde efektif radyum içeriği ve radon çıkış hızları belirlenmiştir. Ölçümler kapalı kutu tekniği ile tip II LR-115 plastik iz detektörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Efektif radyum değerleri ortalaması 16,58 Bq kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır ve 5,39-34,56 Bq kg⁻¹ arasında değişmektedir. Kütle ve yüzey radon çıkış hızlarının ise sırası ile 0,41 x 10⁻⁶ - 2,64 x 10⁻⁶ Bq kg⁻¹ d⁻¹ ve 1,41 x 10⁻⁶ - 9,10 x 10⁻⁶ Bq m⁻² d⁻¹ aralığında değiştiği bulunmuştur. Toprak örneklerindeki radyum konsantrasyonu OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) tarafından tavsiye edilen 370 Bq kg⁻¹'lik izin verilebilir değer oldukça altında bulunmuştur (Verma et al., 2012).

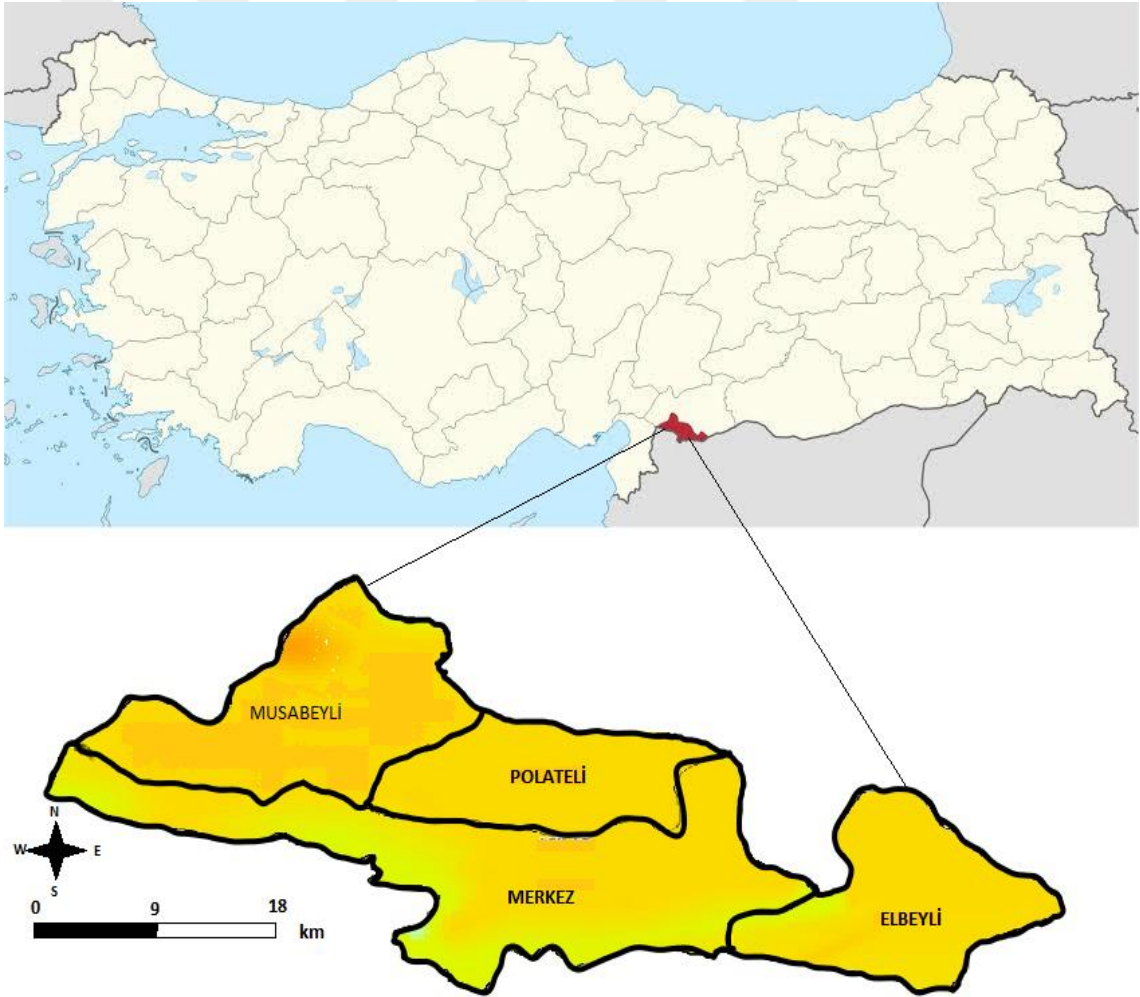
Jagadeessa, B.G. ve Narayana, Y. tarafından yapılan araştırmada Güney Hindistan'ın Hassan Bölgesinde radon çıkış hızı ölçümleri 2016 yılında yapılmıştır. Kapalı kutu tekniği kullanılarak toprak ve bina yapı materyallerinden radon çıkış hızı ölçülmüştür. Yüzey yapı malzemeleri için alansal radon çıkış hızınının 13,07 ile 430 mBq m⁻² h⁻¹ değerleri arasında değiştiği bulunmuştur. Ortalama değer ise 141 mBq m⁻² h⁻¹ olarak rapor edilmiştir. Toprak rneklerinin alansal radon çıkış hızı ise 140 mBq m⁻² h⁻¹ ortalama değerleri ile 36,5'dan 376 mBq m⁻² h⁻¹'e değeritiği bulunmuştur. Hem toprak hem de bina yapı malzemeleri için efektif radyum içeriği ve radon çıkış hızı arasında pozitif korelasyon gözlenmiştir. Bina yapı malzemeleri ve toprak örnekleri için ortalama yıllık efektif doz değerleri sırasıyla 16,7 ve 16,6 µSv y⁻¹ olarak bulunmuştur (Jagadeessa ve Narayana, 2016).

Singh, J. ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan bir çalışmada Hindistan'ın Haryana ve Himachal Pradesh eyaletlerine ait bazı bölgelerden alınan toprak örneklerindeki radyum konsantrasyonu ve radon çıkış hızı LR-115 tip II plastik iz detektörleri kullanılarak ölçülmüştür. Radyum konsantrasyonu 5,30-31,71 Bg kg⁻¹ arasında bulunmuştur. Örnekler için radon çıkış hızları 216,87 ile 1298,00 mBq m⁻² h⁻¹ aralığında rapor edilmiştir (Singh et al. , 2009).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Bölgenin Tanıtılması

Kilis ili Türkiye-Suriye sınır bölgesinde yer alan, bir kısmı Güneydoğu Anadolu bölgesinde bir kısmı ise Akdeniz bölgesi arasındaki geçiş kuşağında bulunmaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 680 metre olan bu şehir, Gaziantep platosunun güneybatısında yer almaktadır. Kilis ilinin coğrafi koordinatları 36^0 kuzey paraleli ile 32^0 doğu meridyeni arasında bulunup, kuzeyi ve doğusunda Gaziantep'e, batısında Hatay'a ve Güneyinde ise Suriye'ye komşuluk etmektedir. 1995 yılında il olan bu şehir, Merkez ilçe, Polateli, Elbeyli ve Musabeyli olmak üzere 4 ilçe merkezi ve 137 köyden oluşmaktadır. Şekil 2.1'de Kilis İlinin Türkiye haritası üzerindeki yeri gösterilmiştir (Kilis Valiliği, 2019).



Şekil 2.1. Kilis ilinin Türkiye haritasındaki yeri

Kilis ili iklim özellikleri, Akdeniz havzasında bulunduğundan dolayı yazları tropikal, kışları ise kutupsal hava gibi birbirinden farklı hava kütlelerinin etkisinde kalmaktadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise serin ve nemli bir klimatolojik özelliğe sahiptir. Kış mevsiminin en soğuk ayı ocak ayında, en sıcak ayı ise temmuz ve ağustos aylarında yaşanmaktadır. Ortalama sıcak ve soğuk hava dereceleri sırasıyla 26,8 °C ve 3,6 ile 6,5 °C aralığında değişmektedir (Kilis Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2019).

Kilis ili toprak yapısı dört tip toprak türüne sahiptir. Bunlar akdeniz kıvıll toprakları, kalkersiz kahverengi orman toprakları, bazaltik topraklar ve kolüvyal topraklardır. Akdeniz kıvıll toprakları bölgedeki kırmızımsı ve kahverengi topraklar olup, kireç bakımından zengin tortul kütleler üzerinde oluşurlar. Bu toprak çeşidi, organik madde miktarınca fakir, seskioksit (S_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3), kalsiyum oksit (CaO) ve alüminyum oksitçe (Al_2O_3) zengindir. Bazaltik toprak ve kalkersiz orman toprakları, bazaltlar ve sepatinler üzerinde gelişirler. Alüminyum oksit ve organik madde miktarları düşük, demir oksit oranı nispeten yüksektir. Kolüvyal topraklar, kısa mesafelerden taşınarak birikmiş topraklardır. Bu toprak türünün kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) ve kalsiyum oksit (CaO) oranları yüksek, alüminyum oksit (Al_2O_3) ve organik madde miktarı düşüktür (Bakkal, 2012).

Kilis ili, Akdeniz Bölgesi'yle Güneydoğu Anadolu Bölgesi geçiş kuşağı arasında yer aldığından dolayı, toprak özellikleri bakımından çeşitlilik göstermektedir. Bölgede kırmızımsı kahverengi topraklar en fazla bulunur ve Kilis şehir merkezi ile Musabeyli'nin kuzeydoğusunu kaplar. Elbeyli ilçesi kolüvyal topraklara, Şehir Merkezi'nin batısı ve Musabeyli'nin kuzeydoğusu kireçsiz kahverengi topraklara, Polateli ilçesi kırmızı akdeniz topraklarına sahiptir. Bazaltik toprak türü ise Musabeyli ve Elbeyli ilçelerinde parçalar halinde, Polateli ve Şehir Merkezi'nin kuzey ve doğusunda geniş bir alana sahiptir (Karademir ve Doğan, 2019).

54,006 hektar alanlık kırmızı kahverengi, 17,404 hektar alanlık kolüvyal, 17,207 hektar alanlık kireçsiz kahverengi, 2,583 hektar alanlık kırmızı akdeniz ve 50,000 hektar alanlık bazaltik olmak üzere toplam 141.200 hektar alana sahip bir şehirdir (Karademir ve Doğan, 2019).

2.2. Materyal

Yapılan bu çalışmada, Kilis il merkezi ve merkeze bağlı ilçelerin toprak örneklerindeki radon gazı konsantrasyonları CR- 39 pasif nükleer iz dedektörleri ile tespit edilmiştir. CR-39 pasif nükleer iz dedektörlerinin kimyasal adı polyallyl diglycol karbonat (PADC), kimyasal formülü ise $C_{12}H_{18}O_7$ 'dir. Bu dedektörün karakterize özellikleri ise;

i) Optik özellikleri bakımından cama benzer, yüzeyi parlak bir tür plastik maddedir.

ii) Çözücülerle (Aseton ve Benzin) etkileştiğinde kırılmayan, iç ve dış hasarlanmaya uğramayan her türlü şartlarda kullanılabilme özelliklerine sahiptir (Canbazoglu, 2004).

CR-39 pasif nükleer iz dedektörleri 1 cm x 1 cm boyutunda olup, üretici firma tarafından belirlenen kalibrasyon faktörü $44,47 \text{ kBq h mm}^2/\text{iz m}^3$ 'dür (Radosys, 2011).

2.3. Yöntem

Kilis il merkezi ve merkeze bağlı ilçelerindeki toprak örneklerinin radon gazı konsantrasyonları CR-39 pasif nükleer iz dedektörleri kullanılarak kapalı kutu tekniği ile tespit edilmiştir.

2.3.1. Numunelerin Toplanması

Topraktaki radon gazı konsantrasyon değerlerini belirlemek üzere, Kilis il merkezi ve ilçe merkezlerinden, toprak yüzeyinin yaklaşık 30 cm derinliğinden toprak örnekleri toplandı (Resim 2.1). Alınan toprak örnekleri hava geçirmez kapalı kaplara konularak etiketlendi ve laboratuvara getirildi. Toprak örneklerinin alındığı, Kilis il ve ilçe merkezlerindeki çalışma sahaları sırası ile Resim 2.2, Resim 2.3, Resim 2.4 ve Resim 2.5'de gösterilmiştir. Örnekleme noktalarının konumları Çizelge 2.1'de verilmiştir.



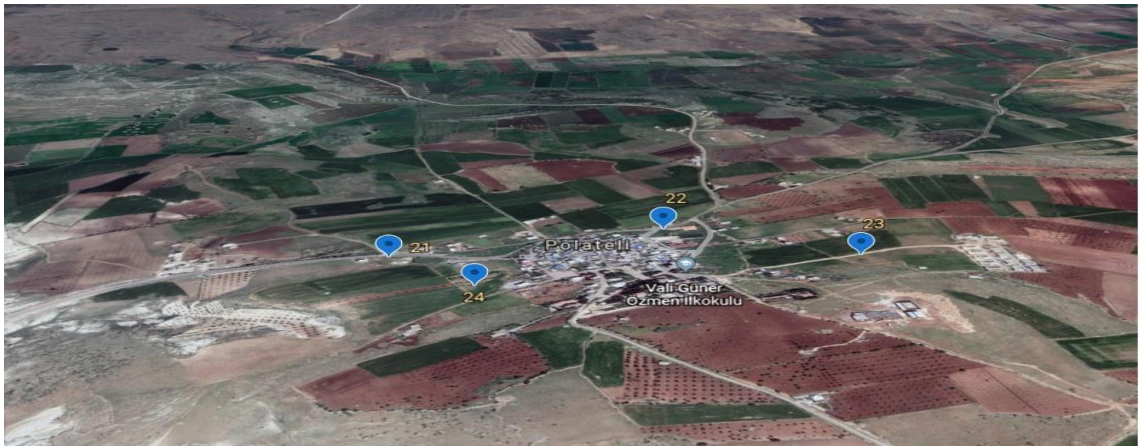
Resim 2.1. Toprak örneği alınan örnekleme noktaları



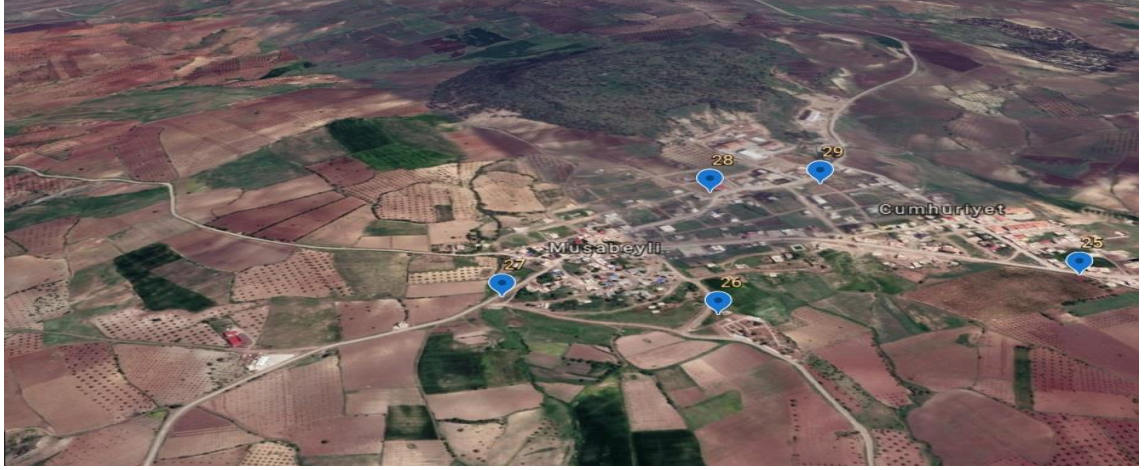
Resim 2.2. Kilis il merkezi çalışma sahası ve örnek alım noktaları



Resim 2.3. Elbeyli ilçe merkezi çalışma sahası ve örnek alım noktaları



Resim 2.4. Polateli ilçe merkezi çalışma sahası ve örnek alım noktaları



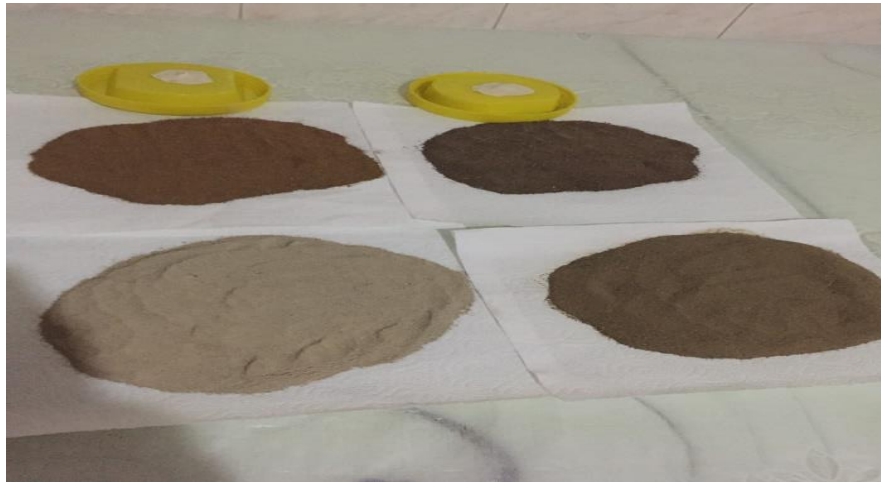
Resim 2.5. Musabeyli ilçe merkezi çalışma sahası ve örnek alım noktaları

Çizelge 2.1. Toprak örneği alınan noktaların konumları

Örnek Numarası	Yer Adı	Enlem/Boylam
1	Merkez	37° 07' 00" / 36° 43' 55"
2	Merkez	37° 06' 44" / 36° 44' 05"
3	Merkez	37° 06' 40" / 36° 44' 23"
4	Merkez	37° 06' 18" / 36° 44' 18"
5	Merkez	37° 07' 31" / 36° 44' 17"
6	Merkez	37° 08' 12" / 36° 44' 35"
7	Merkez	37° 07' 54" / 36° 43' 46"
8	Merkez	37° 05' 44" / 36° 43' 50"
9	Merkez	37° 05' 33" / 36° 43' 57"
10	Merkez	37° 05' 32" / 36° 43' 29"
11	Merkez	37° 05' 27" / 36° 43' 18"
12	Merkez	37° 05' 26" / 36° 42' 49"
13	Merkez	37° 06' 59" / 36° 42' 14"
14	Merkez	37° 07' 33" / 36° 42' 39"
15	Merkez	37° 08' 24" / 36° 43' 15"
16	Elbeyli	37° 28' 14" / 36° 40' 05"
17	Elbeyli	37° 28' 20" / 36° 40' 28"
18	Elbeyli	37° 28' 05" / 36° 40' 46"
19	Elbeyli	37° 27' 38" / 36° 40' 41"
20	Elbeyli	37° 27' 44" / 36° 40' 30"
21	Polateli	37° 08' 23" / 36° 50' 33"
22	Polateli	37° 08' 42" / 36° 50' 34"
23	Polateli	37° 08' 53" / 36° 50' 27"
24	Polateli	37° 08' 28" / 36° 50' 27"
25	Musabeyli	36° 55' 20" / 36° 52' 56"
26	Musabeyli	36° 54' 58" / 36° 53' 01"
27	Musabeyli	36° 54' 48" / 36° 53' 07"
28	Musabeyli	36° 55' 08" / 36° 53' 14"
29	Musabeyli	36° 55' 16" / 36° 53' 12"

2.3.2. Numunelerin Analize Hazırlanması

Labaratuvara getirilen toprak örnekleri radon çıkışının daha iyi ölçülebilmesi için ince bir elekten elenerek iri tanelerinden ve yabancı maddelerden ayrıştırıldı (Resim 2.6). Daha sonra ayrıştırılan nemli toprak örnekleri fırınlanarak kurutuldu. Kurutulan toprak örnekleri önceden belirlediğimiz hava geçirmez silindirik şeklindeki plastik kaplara konuldu ve radon kaçışını engellemek için silindirik kapların kapakları silikonlanarak sıkıca kapatıldı. Kapağı kapatılan silindirik kaplar güneş ışını ve nem gibi dış etkenlerden etkilenmemesi için alüminyum folyolarla tamamen kaplandı (Resim 2.7). Daha sonra toprak örneklerinin radyoaktif dengeye gelebilmesi için 30 gün boyunca laboratuvar ortamında muhafaza edildi. 30 günün sonunda laboratuvar ortamında muhafaza edilen toprak örneklerinin kapakları radon kaçışını minimum düzeyde tutmak için seri bir şekilde açılarak 1x1 cm boyutlarındaki CR-39 iz detektörleri kapakların altına yerleştirildi ve tekrar kapaklar silikonlanarak kapatıldı. CR-39 iz detektörlerinin kapaklara yerleştirilmesi Resim 2.8’de gösterilmiştir. Daha sonra CR-39 iz detektörleri 30 gün boyunca toprak örneklerindeki alfa ışınlarına maruz bırakıldı. 30 günün sonunda CR-39 iz detektörleri dikkatli bir şekilde toplanarak hava geçirmez poşetlere tek tek konuldu ve etiketlenerek analiz yapılmak üzere Bitlis Eren Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvar’ına gönderildi (Resim 2.9).



Resim 2.6. Elenmiş toprak örnekleri



Resim 2.7. Toprak örneği kaplarının alüminyum folyoyla kapatılması



Resim 2.8. CR-39 Detektörlerinin kaplara yerleştirilmesi



Resim 2.9. CR-39 Detektörlerinin poşetlere konulması

2.3.3. CR-39 Radon İz Detektörleri Analizleri

CR-39 detektörler kullanılarak radon gazı aktivite konsantrasyonu analizleri Bitlis Eren Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda RADOSYS marka Radometer 2000 model otomatik sayım sistemi kullanılarak yapılmıştır (Resim 2.10). Bu cihazda kullanılan detektörler difüzyon kabı içerisinde 1x1 cm boyutlarındaki CR-39 detektörlerden oluşmaktadır (Resim 2.11). Toprak örneklerinden yayınlanan alfa ışınlarına maruz kalan CR-39 iz detektörlerinin, sayıma hazır hale getirilmesi için; detektörler 12'li slaytlara yerleştirilmiş ve kimyasal kazıma işlemi 6,25 M NaOH çözeltisi içerisinde 90 °C sıcaklıkta 4,5 saat boyunca RADOBATH ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Sayımlar her bir detektör yüzeyinde 9 farklı noktada izlerin otomatik olarak 3 kez sayılması şeklinde yapılmıştır.



Resim 2.10. RADOSYS cihazı



Resim 2.11. CR-39 İz detektörleri

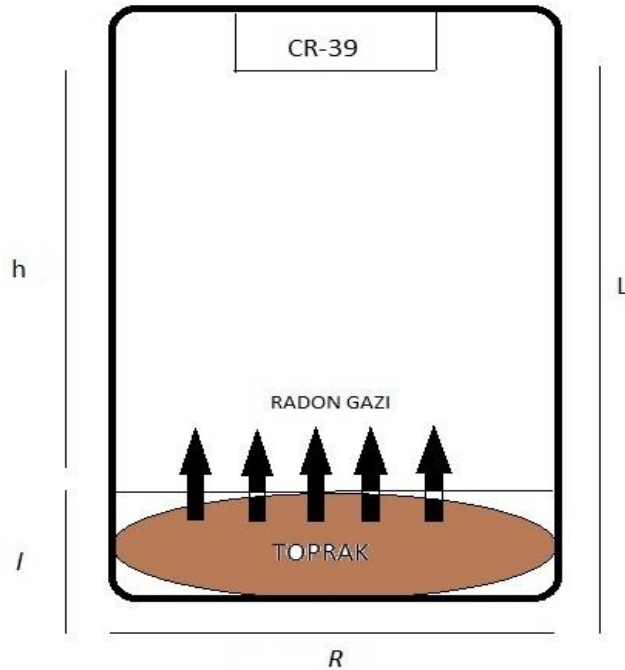
2.3.4. Kapalı Kutu Tekniği ve Topraktaki Radon Gazı Aktivite Hesabı

Toprak örneklerinin radon gazı konsantrasyonu ölçümü CR-39 iz detektörleri kullanılarak kapalı kutu tekniğiyle (Şekil 2.2) yapıldı. Şekil 2.2’de gösterilen L; örnek kabının boyunu, l; toprak örneğinin kalınlığını, h; toprak örneğiyle detektör arasındaki mesafeyi ve R; örnek kabının çapını göstermektedir. Kapalı kutu içerisindeki CR-39 iz detektörleri alfa ışımalarına maruz kaldıktan sonra kimsayal iz kazıma işlemine tabi tutularak kameralı mikroskop ile detektörler üzerindeki alfa parçacığı kaynaklı izler sayıldı.

Kapalı kutu içerisinde bulunan topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonu Denklem 2.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_{Rn} \left(\frac{Bq}{m^3} \right) = TD \times CF/t \quad (2.1)$$

Bu denklemde C_{Rn} radon aktivitesini (Bq/m^3), TD iz yoğunluğunu ($track/mm^2$), CF kalibrasyon katsayısını (üretici tarafından verilen $44,47 \text{ h.kBq}/(m^3 \cdot track/mm^2)$) ve t maruz kalma süresini (saat) temsil etmektedir.



Şekil 2.2. Deneyde kullanılan kapalı kutu konfigürasyonu

2.3.5. Topraktaki Radon Gazı Çıkış Hızı Tahmini

Toprak örneklerindeki ortalama Alansal eksalasyon hızı (E_A) ve Kütle eksalasyon hızı (E_M) sırası ile Denklem 2.2. ve Denklem 2.3. kullanılarak hesaplanmıştır (Saad et al., 2013).

$$E_A = \frac{C_{Rn} \cdot \lambda \cdot V}{A \left[T + \left(\frac{1}{\lambda_{Rn}} (e^{-\lambda_{Rn} T} - 1) \right) \right]} \quad (2.2)$$

$$E_M = \frac{C_{Rn} \cdot \lambda \cdot V}{M \left[T + \left(\frac{1}{\lambda_{Rn}} (e^{-\lambda_{Rn} T} - 1) \right) \right]} \quad (2.3)$$

Burada E_A ; Alansal eksalasyon hızını ($\text{mBq kg}^{-1} \text{h}^{-1}$), E_M ; Kütle eksalasyon hızını ($\text{mBq m}^{-2} \text{h}^{-1}$), C_{Rn} ; Radon aktivite değerini (Bq m^{-3}), A ; Radonun çıktığı toprak numunesinin toplam yüzey alanını (m^2), V ; Örnek kabının boş hacmini (m^3), M ; Toprak örneğinin kütlesini (kg), λ_{Rn} ; Radonun bozunma sabitini (h^{-1}), T ; Maruz kalınan süreyi (h) temsil etmektedir.

2.3.6. Etkin Radyum İçeriğinin Tahmini

Kapalı kutu içindeki radon aktivite konsantrasyonu Denklem 2.4.'deki gibi zamanla artmaya başlar (Saad et al., 2013).

$$C_{Rn} = C_{Ra} (1 - e^{-\lambda_{Rn} T}) \quad (2.4)$$

Burada C_{Ra} ; Toprak örneğinin etkili radyum içeriğidir ve kapalı kutudaki örneğin etkili radyum içeriğini temsil eder. Denklem 2.5. kullanılarak hesaplanır.

$$C_{Ra} (\text{Bq kg}^{-1}) = (\rho / k T_e) (h A / M) \quad (2.5)$$

Burada h ; detektör ile toprak örneği yüzeyi arasındaki mesafeyi, ρ ; sayılan iz yoğunluğunu, k ; CR-39 iz detektörünün kalibrasyon faktörünü ve T_e ; efektif maruz kalma süresini ifade eder ve Denklem 2.6'daki gibi hesaplanır.

$$T_e = T - \frac{1}{\lambda_{Rn}} (1 - e^{-\lambda_{Rn} T}) \quad (2.6)$$

Yapılan bu çalışmada CR-39 detektörlerinin topraktaki radondan dolayı alfa ışımaya maruz kalma süresi 30 gündür.

2.3.7. Yıllık Etkili Dozun Tahmini

Radon ve radon ürünlerine maruz kalmadan dolayı akciğer kanseri riski etkili doz eşdeğerlerinden direkt olarak hesaplanabilir. Radon ve kızları kaynaklı radyasyon tehlikeleri toprak örneklerinin radon ekselasyon hızından hesaplanır. Toprakta bina içi radon konsantrasyonuna katkı Denklem 2.7 kullanılarak hesaplanır (Saad et al., 2013).

$$C_{Rn} = \frac{E_X \times S_r}{V_r \lambda_v} \quad (2.7)$$

Burada C_{Rn} ; İç mekana katkıda bulunan radon konsantrasyonunu ($Bq\ m^{-3}$), E_X ; Radon ekselasyon hızını ($Bq\ m^{-2}\ h^{-1}$), V_r ; oda hacmini (m^{-3}) ve λ_v ; hava değişim oranını (h^{-1}) temsil eder. Yıllık etkili doz eşdeğeri (E_p) ortalama radon konsantrasyonu ile ilgilidir ve Denklem 2.8 kullanılarak hesaplanır.

$$E_p [WLM\ y^{-1}] = \frac{8760nFC_{Rn}}{170 \times 3700} \quad (2.8)$$

Burada C_{Rn} ; radon konsantrasyonunu ($Bq\ m^{-3}$), n ; içeride harcanan zamanın oranını, F ; denge faktörünü, 8760; yıl başına kaç saat düştüğünü ve 170; çalışma ayı başına düşen saat sayısını temsil eder. Radon maruziyeti için dönüşüm faktörü 6,3 mSv/WLM'dir.

2.3.8. Standart Sapma

Örneklerin standart sapma hesaplamaları Denklem (2.9) kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (2.9)$$

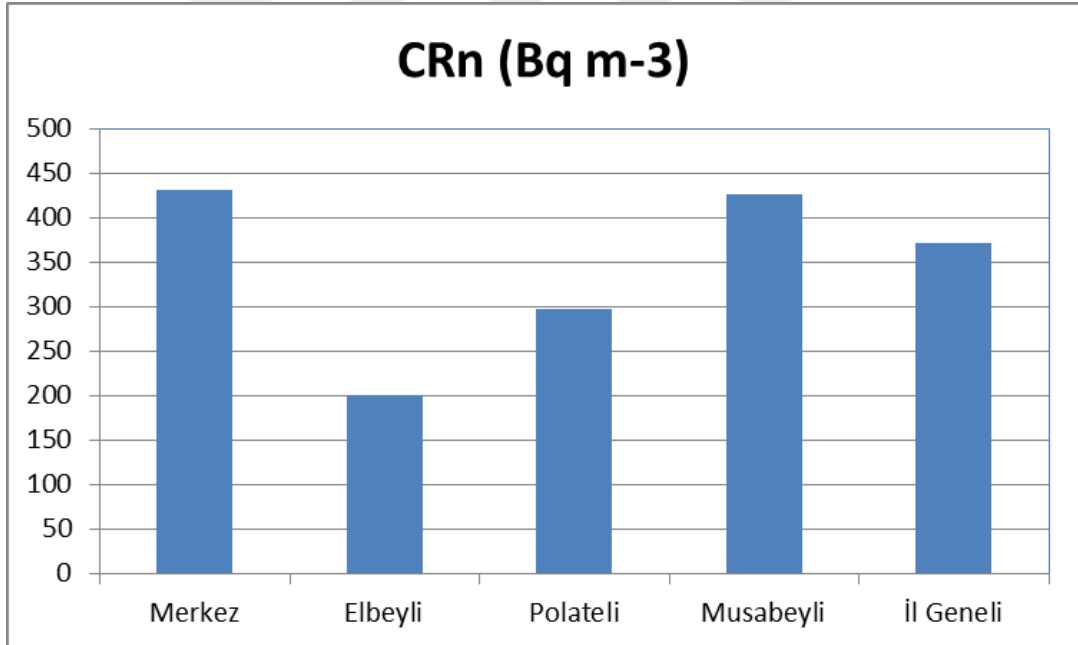
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada, Kilis il merkezi ve ilçe merkezlerinden alınan 29 toprak örneğinin radon gazı konsantrasyonu ölçümü CR-39 iz detektörleri kullanılarak kapalı kutu tekniğiyle yapılmıştır. Toprak örnekleri için radon çıkış hızı, efektif radyum içeriği, bina içi radona katkı sağlayan radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Radon konsantrasyonu belirlenen toprak örneklerinin hesaplanan aktivite değerleri; Kilis il merkezi, Elbeyli, Polateli ve Musabeyli için sırası ile EK-1, EK-2, EK-3 ve EK-4' de verilmiştir. İl geneli için en yüksek toprak gazı radon konsantrasyonu 2915,06 Bq m⁻³ ile il merkezinde, en düşük toprak gazı radon konsantrasyonu ise 26,97 Bq m⁻³ değeri ile yine il merkezinde ölçülmüştür.

Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1'de Kilis il merkezi ve ilçe merkezlerinden alınan toprak örneklerinin ortalama radon gazı konsantrasyonu ve değişim aralıkları verilmiştir. Çizelge 3.1 incelendiğinde il merkezi toprak örnekleri için ortalama radon gazı konsantrasyonunun 431,78 Bq m⁻³ (standart sapması: 28,34) ve konsantrasyon aralığının 26,97 Bq m⁻³ ile 2915,06 Bq m⁻³ arasında değiştiği görülür. Elbeyli ilçe merkezi toprak örnekleri için ise ortalama radon gazı konsantrasyonunun 201,54 Bq m⁻³ (standart sapması: 41,76) ve konsantrasyon aralığının 59,40 Bq m⁻³ ile 338,65 arasında değiştiği görülür. Polateli ilçe merkezi toprak örnekleri için ortalama radon gazı konsantrasyonunun 297,43 Bq m⁻³ (standart sapması: 67,41) ve değişim aralığının 87,40 Bq m⁻³ ile 838,10 Bq m⁻³ arasında olduğu görülür. Musabeyli ilçe merkezi toprak örnekleri için ortalama radon gazı konsantrasyonu 427,61 Bq m⁻³ (standart sapması: 81,24) ve konsantrasyon aralığı 246,82 Bq m⁻³ ile 966,43 Bq m⁻³ arasında değişir. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyumlu bulunmuştur. Şekil 3.1. incelendiğinde, toprak örneklerinin en yüksek ortalama radon gazı konsantrasyonunun 431,78 Bq m⁻³ (standart sapma: 28,34) ile il merkezinde, en düşük ortalama radon gazı konsantrasyonunun ise 201,54 Bq m⁻³ (standart sapması: 41,76) değeri ile Elbeyli ilçe merkezinde olduğu görülür. Kilis il merkezi toprak örneklerinin ortalama radon gazı konsantrasyonu, il geneli için elde edilmiş olan ortalama radon gazı konsantrasyon değerinden (372,83 Bq m⁻³) büyüktür.

Çizelge 3.1. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama radon gazı konsantrasyonu (Bq/m^3).

Bölge Adı	Örnek Sayısı	Ortalama Radon Gazı Konsantrasyonu (Bq/m^3)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Merkez	15	26,97	2915,06	431,78	28,34
Elbeyli	5	59,40	338,65	201,54	41,76
Polateli	4	87,40	838,10	297,43	67,41
Musabeyli	5	246,82	966,43	427,61	81,24
İl Geneli	29	26,97	2915,06	372,83	45,16



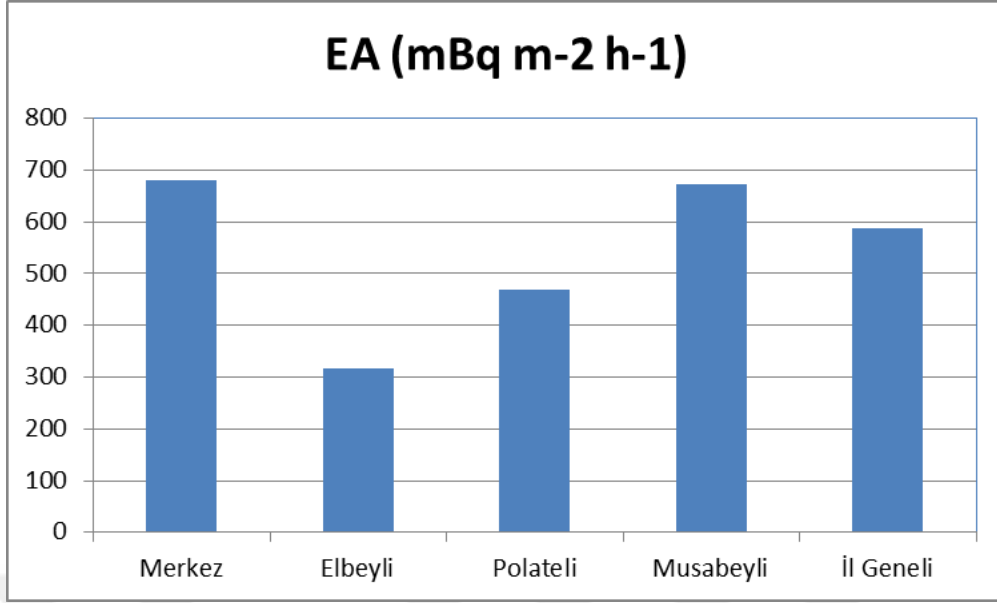
Şekil 3.1. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama radon gazı konsantrasyonu

Çizelge 3.2 ve Şekil 3.2’de Kilis il merkezi ve ilçe merkezlerinden alınan toprak örneklerinin ortalama alansal radon gazı çıkış hızı değerleri verilmiştir. Çizelge 3.2

incelendiğinde; il merkezi toprak örneklerinin alansal radon gazı çıkış hızının ortalaması $679,78 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (standart sapması: 44,62) ve değişim aralığı $42,46 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ile $4589,44 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ arasındadır. Elbeyli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama alansal radon gazı çıkış hızının $317,31 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (standart sapması: 65,74) ve değişim aralığının $93,52 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ile $533,17 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ arasında olduğu görülmektedir. Polateli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama alansal radon gazı çıkış hızı ise $468,28 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (standart sapması: 106,13) ve değişim aralığı $137,60 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ile $1319,50 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ arasındadır. Musabeyli ilçe merkezi toprak örneklerinin alansal radon gazı çıkış hızı ortalamasının $673,23 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (standart sapması: 127,90) olduğu ve $388,59 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ile $1521,54 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ arasında değiştiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur. Şekil 3.2 incelendiğinde, toprak örneklerinin en yüksek ortalama alansal radon gazı çıkış hızının $679,78 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ile il merkezinde, en düşük ortalama alansal radon gazı çıkış hızının ise $317,31 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ile Elbeyli ilçe merkezinde olduğu görülmektedir. Kilis il merkezi toprak örneklerinin ortalama alansal radon gazı çıkış hızının, il geneli için elde edilmiş olan ortalama alansal radon gazı çıkış hızı değerinden ($586,98 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.2. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama alansal radon gazı çıkış hızı ($\text{mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)

Bölge Adı	Örnek Sayısı	EA ($\text{mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Merkez	15	42,46	4589,44	679,78	44,62
Elbeyli	5	93,52	533,17	317,31	65,74
Polateli	4	137,60	1319,50	468,28	106,13
Musabeyli	5	388,59	1521,54	673,23	127,90
İl Geneli	29	42,46	4589,44	586,98	71,11



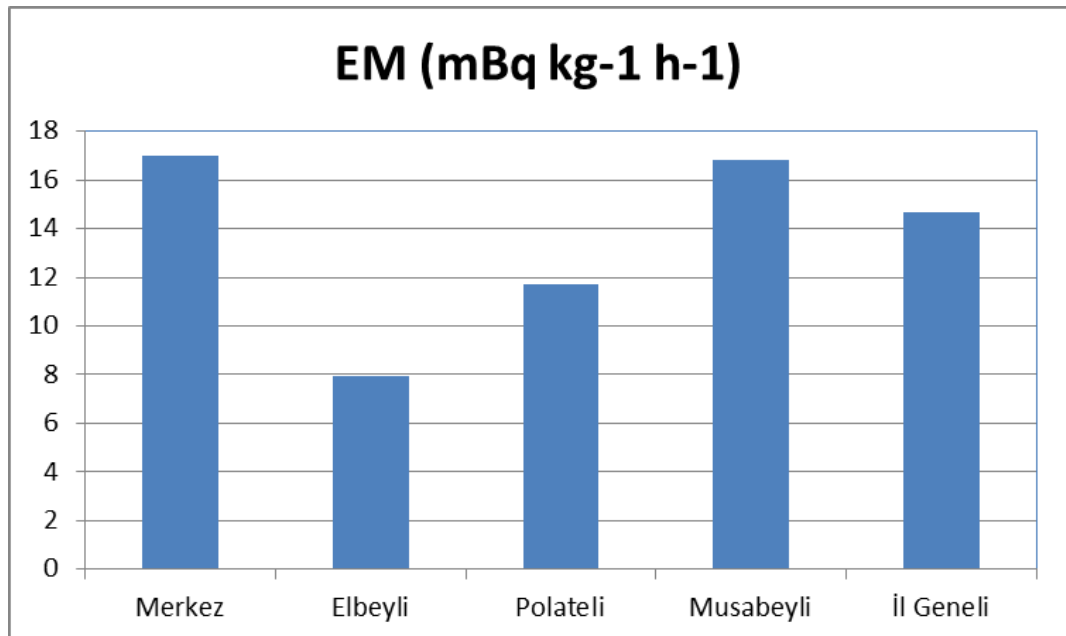
Şekil 3.2. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama alansal radon gazı çıkış hızı

Çizelge 3.3 ve Şekil 3.3’de Kilis il merkezi ve ilçe merkezlerinden alınan toprak örneklerinin ortalama kütleli radon gazı çıkış hızı değerleri verilmiştir. Çizelge 3.3 incelendiğinde, il merkezi toprak örneklerinin kütleli radon gazı çıkış hızı ortalaması $17,00 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (standart sapması: 1,12) olduğu ve radon gazı çıkış hızı aralığının $1,06 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ile $114,74 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ arasında değiştiği görülmektedir. Elbeyli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama kütleli radon gazı çıkış hızının $7,93 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (standart sapması: 1,64) ve değişim aralığının $2,34 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ile $13,33 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ arasında olduğu görülmektedir. Polateli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama kütleli radon gazı çıkış hızının $11,71 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (standart sapması: 2,65) ve değişim aralığının $3,44 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ile $32,99 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ arasında değiştiği görülmektedir. Musabeyli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama kütleli radon gazı çıkış hızı $16,83 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ’dir (standart sapması: 3,20) ve değişim aralığı $9,72 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ile $38,04 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ arasındadır. Elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 3.3 incelendiğinde, toprak örneklerinin en yüksek ve en düşük ortalama kütleli radon gazı çıkış hızının sırası ile $17,00 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ve $7,93 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ile il merkezinde ve Elbeyli ilçe merkezinde olduğu görülmektedir. Kilis il merkezi toprak örneklerinin ortalama kütleli radon gazı çıkış hızının ($17,00 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), il

geneli için elde edilmiş olan ortalama değerden ($14,68 \text{ mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.3. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama kütleli radon gazı çıkış hızı ($\text{mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

Bölge Adı	Örnek Sayısı	EM ($\text{mBq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Merkez	15	1,06	114,74	17,00	1,12
Elbeyli	5	2,34	13,33	7,93	1,64
Polateli	4	3,44	32,99	11,71	2,65
Musabeyli	5	9,72	38,04	16,83	3,20
İl Geneli	29	1,06	114,74	14,68	1,78

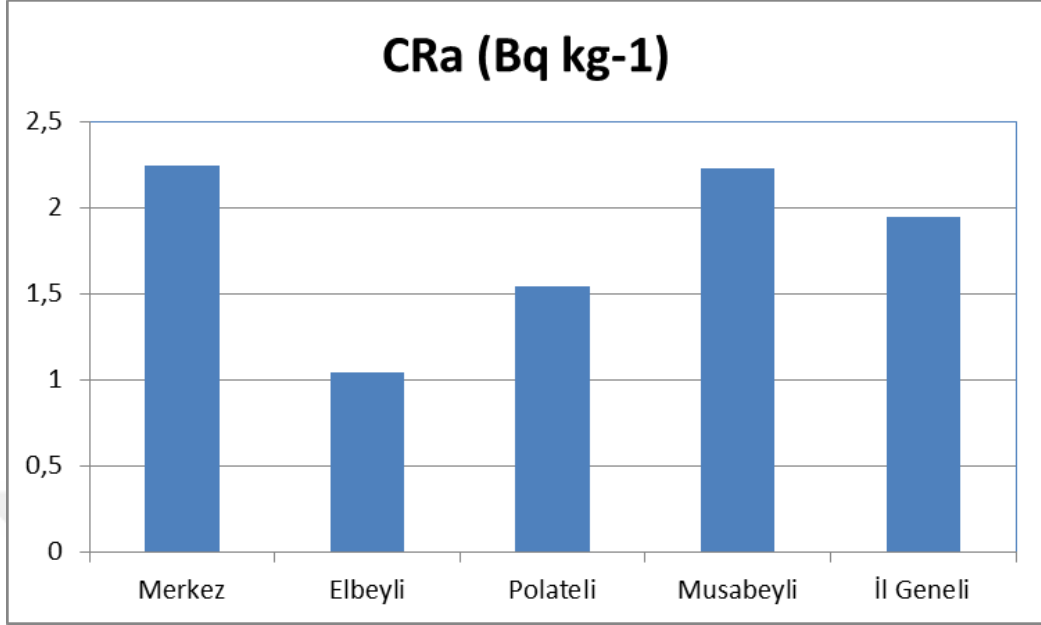


Şekil 3.3. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama kütleli radon gazı çıkış hızı

Çizelge 3.4 ve Şekil 3.4’de Kilis il merkezi ve ilçe merkezlerinden alınan toprak örneklerinin ortalama efektif radyum konsantrasyonu değerleri verilmiştir. Çizelge 3.4 incelendiğinde il merkezi toprak örneklerinin ortalama efektif radyum konsantrasyonunun 2,25 Bq kg⁻¹ (standart sapması: 0,15) ve değişim aralığının 0,14 Bq kg⁻¹ ile 15,20 Bq kg⁻¹ arasında olduğu görülmektedir. Elbeyli ilçe merkezi toprak örneklerinin efektif radyum konsantrasyonunun ortalaması 1,05 Bq kg⁻¹ (standart sapması: 0,22) ve konsantrasyon aralığının 0,31 Bq kg⁻¹ ile 1,77 Bq kg⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Polateli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama efektif radyum konsantrasyonunun 1,55 Bq kg⁻¹ (standart sapması: 0,35) ve değişim aralığının 0,46 Bq kg⁻¹ ile 4,37 Bq kg⁻¹ arasında olduğu görülmektedir. Musabeyli ilçe merkezi toprak örneklerinin efektif radyum konsantrasyonu 1,29 Bq kg⁻¹ ile 5,04 Bq kg⁻¹ arasında değişir ve ortalaması 2,23 Bq kg⁻¹’dir. Toprak örneklerinin efektif radyum konsantrasyonlarının OECD tarafından tavsiye edilen 370 Bq kg⁻¹’lik değer oldukça altında olduğu görülmüştür (Verma et al., 2012). Şekil 3.4 incelendiğinde, toprak örneklerinin en yüksek ve en düşük ortalama efektif radyum konsantrasyonu sırası ile 2,25 Bq kg⁻¹ ve 1,05 Bq kg⁻¹ ile il merkezinde ve Elbeyli ilçe merkezindedir. Kilis il merkezi toprak örneklerinin ortalama efektif radyum konsantrasyonunun, il geneli için elde edilmiş olan efektif radyum konsantrasyonu değerinden (1,95 Bq kg⁻¹) büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.4. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama efektif radyum konsantrasyonu (Bq kg⁻¹)

Bölge Adı	Örnek Sayısı	C _{Ra} (Bq/kg)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Merkez	15	0,14	15,20	2,25	0,15
Elbeyli	5	0,31	1,77	1,05	0,22
Polateli	4	0,46	4,37	1,55	0,35
Musabeyli	5	1,29	5,04	2,23	0,42
İl Geneli	29	0,14	15,20	1,95	0,24



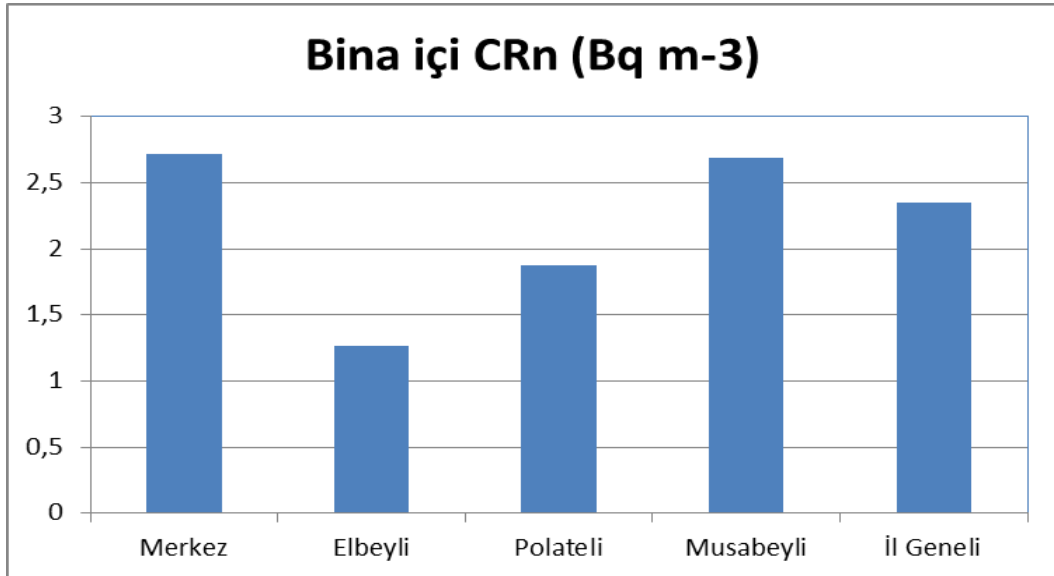
Şekil 3.4. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama efektif radyum konsantrasyonu

Çizelge 3.5 ve Şekil 3.5’de Kilis il merkezi ve ilçe merkezlerinden alınan toprak örneklerinin toprak gazı radon konsantrasyonunun ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı verilmiştir. Çizelge 3.5 incelendiğinde il merkezi toprak örneklerinin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı 2,72 Bq/m³ (standart sapması: 0,18) ve değişim aralığı 0,17 Bq/m³ ile 18,36 Bq/m³ arasındadır. Elbeyli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı 1,27 Bq/m³ (standart sapması: 0,26) ve değişim aralığının 0,37 Bq/m³ ile 2,13 Bq/m³ arasında olduğu görülmektedir. Polateli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı 1,87 Bq/m³ (standart sapması: 0,43) ve konsantrasyon aralığının 0,55 Bq/m³ ile 5,28 Bq/m³ arasında değiştiği görülmektedir. Musabeyli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı ise 2,69 Bq/m³ (standart sapması: 0,51) ve değişim aralığı 1,55 Bq/m³ ile 6,09 Bq/m³ arasındadır. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur. Şekil 3.5 incelendiğinde, toprak örneklerinin en yüksek ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı 2,72 Bq/m³ ile il merkezinde, en düşük ortalama bina içi

radon gazı konsantrasyonuna katkısı ise 1,27 Bq/m³ ile Elbeyli ilçe merkezindedir. Kilis il merkezi toprak örneklerinin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı, il geneli için elde edilmiş olan değerden (2,35 Bq/m³) büyüktür.

Çizelge 3.5. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı (Bq/m³)

Bölge Adı	Örnek Sayısı	Bina içi CRn (Bq/m ³)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Merkez	15	0,17	18,36	2,72	0,18
Elbeyli	5	0,37	2,13	1,27	0,26
Polateli	4	0,55	5,28	1,87	0,43
Musabeyli	5	1,55	6,09	2,69	0,51
İl Geneli	29	0,17	18,36	2,35	0,29

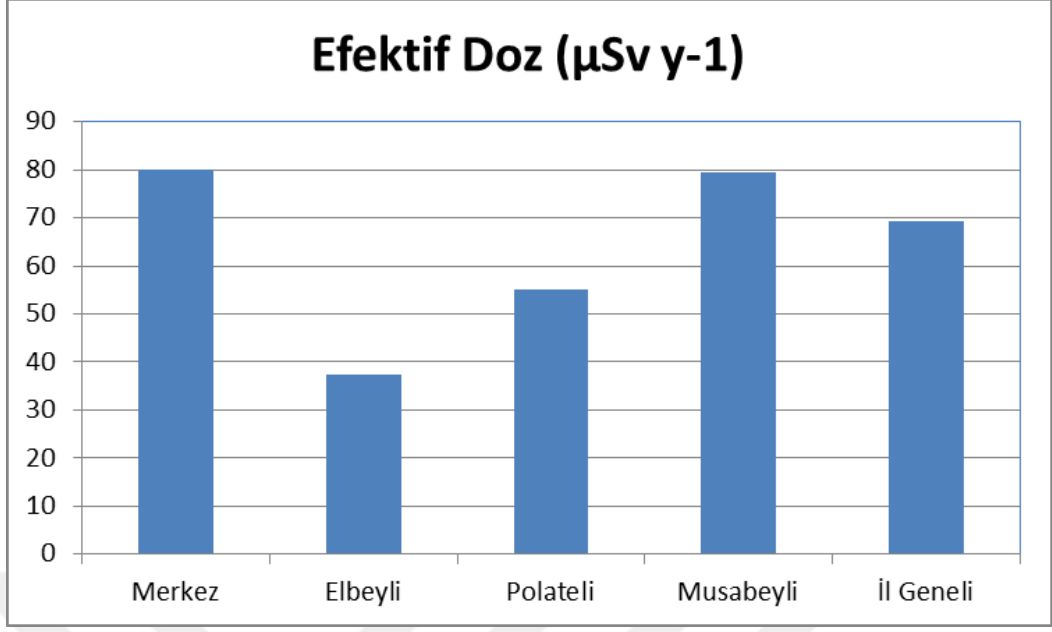


Şekil 3.5. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısı

Çizelge 3.6 ve Şekil 3.6’da Kilis il merkezi ve ilçe merkezlerinden alınan toprak örneklerinin ortalama efektif doz değerleri verilmiştir. Çizelge 3.6 incelendiğinde il merkezi toprak örneklerinin efektif doz değerlerinin 5,01 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ile 541,19 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ aralığında değiştiği, ortalama değer ise 80,16 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ (standart sapması: 5,26) olduğu görülmektedir. Elbeyli ilçe merkezi toprak örnekleri efektif doz ortalamasının 37,42 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ (standart sapması: 7,75) olduğu ve doz aralığının 11,03 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ile 62,87 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ arasında değiştiği görülmektedir. Polateli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama efektif dozu 55,22 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ (standart sapması: 12,52) ve değişim aralığı 16,23 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ile 155,60 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ arasındadır. Musabeyli ilçe merkezi toprak örneklerinin ortalama efektif dozunun 79,39 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ (standart sapması: 7,64) ve doz aralığının 45,82 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ile 179,42 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ arasında değiştiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyum içindedir. Şekil 3.6 incelendiğinde, toprak örneklerinin en yüksek ortalama efektif dozunun 80,16 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ile il merkezinde, en düşük ortalama efektif dozunun ise 37,42 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ile Elbeyli ilçe merkezinde olduğu görülmektedir. Kilis il merkezi toprak örneklerinin ortalama efektif doz değerinin (80,16 $\mu\text{Sv y}^{-1}$), il geneli için elde edilmiş olan efektif doz değerinden (69,22 $\mu\text{Sv y}^{-1}$) büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.6. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örnekleri için ortalama efektif doz değerleri ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)

Bölge Adı	Örnek Sayısı	Efektif Doz ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Merkez	15	5,01	541,19	80,16	5,26
Elbeyli	5	11,03	62,87	37,42	7,75
Polateli	4	16,23	155,60	55,22	12,52
Musabeyli	5	45,82	179,42	79,39	7,64
İl Geneli	29	5,01	541,19	69,22	8,39



Şekil 3.6. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan toprak örnekleri için ortalama efektif doz değerleri

4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada, Kilis il merkezi ve ilçe merkezlerinden alınan 29 toprak örneğinin radon gazı konsantrasyonu CR-39 iz detektörleri kullanılarak kapalı kutu tekniğiyle belirlendi. Toprak örnekleri için radon çıkış hızı, efektif radyum içeriği, bina içi radona katkı sağlayan radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri hesaplandı. Elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görüldü.

Kilis il geneli için toprak örneklerinin ortalama radon gazı konsantrasyonu 372,83 Bq m⁻³ (standart sapması: 45,16) olarak tespit edildi. İl geneli için en yüksek radon konsantrasyonu 2915,06 Bq m⁻³ ile il merkezinde, en düşük radon konsantrasyonu ise 26,97 Bq m⁻³ değeri ile yine il merkezinde ölçüldü. Kilis il merkezi, Elbeyli, Polateli ve Musabeyli ilçeleri için toprak örneklerinin ortalama radon gazı konsantrasyonları sırası ile 431,78 Bq m⁻³ (standart sapması: 28,34), 201,54 Bq m⁻³ (standart sapması: 41,76), 297,43 Bq m⁻³ (standart sapması: 67,41) ve 427,61 Bq m⁻³ (standart sapması: 81,24) olarak hesaplandı.

Kilis il geneli toprak örneklerinin ortalama alansal radon gazı çıkış hızı değeri 586,98 mBq m⁻² h⁻¹ (standart sapması: 71,11) olarak hesaplandı. Toprak örneklerinin en yüksek ortalama alansal radon gazı çıkış hızının 679,78 mBq m⁻² h⁻¹ ile il merkezinde, en düşük ortalama alansal radon gazı çıkış hızının ise 317,31 mBq m⁻² h⁻¹ ile Elbeyli ilçe merkezinde olduğu tespit edildi. Kilis il merkezi, Elbeyli, Polateli ve Musabeyli ilçeleri için toprak örneklerinin ortalama alansal radon çıkış hızları sırası ile 679,78 mBq m⁻² h⁻¹ (standart sapması: 44,62), 317,31 mBq m⁻² h⁻¹ (standart sapması: 65,74), 468,28 mBq m⁻² h⁻¹ (standart sapması: 106,13) ve 673,23 mBq m⁻² h⁻¹ (standart sapması: 127,90) olarak hesaplandı.

Kilis il geneli toprak örneklerinin ortalama kütleli radon gazı çıkış hızı değeri 14,68 mBq kg⁻¹ h⁻¹ (standart sapması: 1,78) olarak hesaplandı. Toprak örneklerinin en yüksek ortalama kütleli radon gazı çıkış hızının 17,00 mBq kg⁻¹ h⁻¹ ile il merkezinde, en düşük ortalama kütleli radon gazı çıkış hızının ise 7,93 mBq kg⁻¹ h⁻¹ ile Elbeyli ilçe merkezinde olduğu tespit edildi. Kilis il merkezi, Elbeyli, Polateli ve Musabeyli ilçeleri için toprak örneklerinin ortalama kütleli radon çıkış hızları sırası ile 17,00 mBq kg⁻¹ h⁻¹ (standart sapması: 1,12), 7,93 mBq kg⁻¹ h⁻¹ (standart sapması: 1,64), 11,71 mBq kg⁻¹ h⁻¹

(standart sapması: 2,65) ve 16,83 mBq kg⁻¹ h⁻¹ (standart sapması: 3,20) olarak hesaplandı.

Kilis il geneli toprak örneklerinin ortalama efektif radyum konsantrasyonu değeri 1,95 Bq kg⁻¹ (standart sapması: 0,24) olarak hesaplandı. Toprak örneklerinin en yüksek ortalama efektif radyum konsantrasyonunun 2,25 Bq kg⁻¹ ile il merkezinde, en düşük ortalama efektif radyum konsantrasyonunun ise 1,05 Bq kg⁻¹ ile Elbeyli ilçe merkezinde olduğu görüldü. Kilis il merkezi, Elbeyli, Polateli ve Musabeyli ilçeleri için toprak örneklerinin ortalama efektif radyum konsantrasyon değerleri sırası ile 2,25 Bq kg⁻¹ (standart sapması: 0,15), 1,05 Bq kg⁻¹ (standart sapması: 0,22), 1,55 Bq kg⁻¹ (standart sapması: 0,35) ve 2,23 Bq kg⁻¹ (standart sapması: 0,42) olarak hesaplandı.

Kilis il geneli toprak örneklerinin toprak gazı radon konsantrasyonunun bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısının ortalaması 2,35 Bq m⁻³ (standart sapması: 0,29) olarak hesaplandı. Toprak örneklerinin en yüksek ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısının 2,72 Bq m⁻³ ile il merkezinde, en düşük ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkısının ise 1,27 Bq/m³ ile Elbeyli ilçe merkezinde olduğu saptandı. Kilis il merkezi, Elbeyli, Polateli ve Musabeyli ilçeleri için toprak örneklerinin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyonuna katkı değerleri sırası ile 2,72 Bq m⁻³ (standart sapması: 0,18), 1,27 Bq m⁻³ (standart sapması: 0,26), 1,87 Bq m⁻³ (standart sapması: 0,43) ve 2,69 Bq m⁻³ (standart sapması: 0,51) olarak hesaplandı.

Kilis il geneli toprak örneklerinin ortalama efektif doz değeri 69,22 µSv y⁻¹ (standart sapması: 8,39) olarak hesaplandı. Toprak örneklerinin en yüksek ortalama efektif dozunun 80,16 µSv y⁻¹ ile il merkezinde, en düşük ortalama efektif dozunun ise 37,42 µSv y⁻¹ ile Elbeyli ilçe merkezinde olduğu tespit edildi. Kilis il merkezi, Elbeyli, Polateli ve Musabeyli ilçeleri için toprak örneklerinin ortalama efektif doz değerleri sırası ile 80,16 µSv y⁻¹ (standart sapması: 5,26), 37,42 µSv y⁻¹ (standart sapması: 7,75), 55,22 µSv y⁻¹ (standart sapması: 12,52) ve 79,39 µSv y⁻¹ (standart sapması: 7,64) olarak hesaplandı.

5. KAYNAKLAR

- Bakkal, S., “Kilis İli Toprak Örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- Bala, Pankaj., Kumar, V., Mehra, R., 2017. Measurement of radon exhalation rate in various building materials and soil samples. Indian Academy of Sciences, DOI 10.1007/s12040-017-0797-z.
- Baran, A., “Denizli ve Çevresindeki Termal Alanlarda Bina İçi Radon Düzeylerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- Baykara, O., “Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hatlarının Kesişim Bölgesindeki Doğal Radyoaktivite Tayini”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- Baykara, O., Doğru, M., İncegöz, M., Aksoy, E., 2005. Measurements of radon emanation from soil samples in triple-junction of North and East Anatolian active faults systems in Turkey. Radiation Measurements, 39, 209-212.
- Canbazoğlu, C., “Elazığ Yöresinde Doğal Radyoaktivite Tayini”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- Değerlier, M., “Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- Demirel, S., “Konya'nın İçme Suyunun Sağlandığı Bazı Kuyu Sularında ^{222}Rn Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- Duggal, V., Mehra, R., Rani, A., 2015. Study of Radium and Radon Exhalation Rate in Soil Samples from Areas of Northern Rajasthan. Journal Geological Society of India, 86, 331-336.
- Günay, O., “Batı Marmara Bölgesi'nde Toprak Gazı Radon Konsantrasyon Değişimleri ile Yer Kabuğu Hareketleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- Gündoğan, A., “Kilis İli Sularında Radon Gazı Ölçümü”, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.

- İlhan, M.Z., “Afyonkarahisar Şehir Merkezinde Toprakta Radon Aktivite Konsantrasyonunun Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- Jagadeesha, B.G., Narayana, Y., 2016. Radon Exhalation Rate Measurement in the Environment of Hassan District of Southern India. Published in Russian in Radiokhimiya, 59, 92-95.
- Kapdan, E., “Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, 2009.
- Karademir, D., Doğan, M., 2019. Kilis İlinde Arazi Kullanımında Meydana Gelen Değişimler. Journal of Awareness, 4, 329-342.
- Kilis İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2019. <http://www.kiliskulturturizm.gov.tr/> (Erişim tarihi: Aralık 2019).
- Kilis Valiliği, 2019. <http://www.kilis.gov.tr/> (Erişim Tarihi: Aralık 2019).
- Krane, K.S., 2001. Nükleer Fizik (1. Cilt). ISBN: 975-7477-82-6, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Kulalı, F., “Topraktaki Radon Konsantrasyonu Ölçümü ve Deprem İlişkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- Kuş, A., “Sakarya İli Toprak Örneklerinde Doğal Radyasyon Düzeyinin Belirlenmesi ve Radon Yayılım Hızlarının Ölçülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- Mahur, A.K., Khan, M.S., Naqvi, A.H., Prasad, R., Azam, A., 2008. Measurement of effective radium content of sand samples collected from Chhatrapur beach, Orissa, India using track etch technique. Radiation Measurements, 43, 520-522.
- Mazur, D., Janik, M., Loskiewicz, J., Olko, P., Swakon, J., 1999. Measurements of radon concentration in soil gas by CR-39 detectors. Radiation Measurements, 31, 295-300.
- Mittal, S., Rani, A. and Mehra, R., 2016. Estimation of radon concentration in soil and groundwater samples of Northern Rajasthan, India. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 9, 125-130.

- Ortaç, E., “Toprak Radon Gazı (^{222}Rn), Deprem ve Meteorolojik Değişkenler Arasındaki İlişkinin Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- Özdemir, F., “Konya’nın Termal Sularında ^{222}Rn Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- Özdemir, F.B., “Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- RADOSYS, 2011. RADOSYS User Manual. Radosys Kft., Budapest, Hungary.
- Rangaswamy, D.R., Srinivasa, E., Srilatha, M.C. and Sannappa, J., 2016. Measurement of radon concentration in drinking water of Shimoga district, Karnataka, India. J Radioanal Nucl Chem. 307, 907-916.
- Saad, A.F., Abdallah, R.M. and Hussein, N.A., 2013. Radon exhalation from Libyan soil samples measured with the SSNTD technique. Applied Radiation and Isotopes, 72, 163-168.
- Sharma, D.K., Kumar, A., Kumar, M., Singh, S., 2003. Study of uranium, radium and radon exhalation rate in soil samples from some areas of Kangra district, Himachal Pradesh, India using solid-state nuclear track detectors. Radiation Measurements, 36, 363-366.
- Singh, H., Singh, J., Singh, S., Bajwa, B.S., 2008. Radon exhalation rate and uranium estimation study of some soil and rock samples from Tusham ring complex, India using SSNTD technique. Radiation Measurements, 43, 459-462.
- Singh, J., Singh, H., Singh, S., Bajwa, B.S., 2009. Uranium, radium and radon exhalation studies in some soil samples using plastic track detectors. Indian J. Phys. , 83(8), 1147-1153.
- Şahin, S., “Sivrice Fay Zonundaki Radon Değişimi ve Doğal Radyoaktivite”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, <http://www.taek.gov.tr>. (Erişim tarihi: Aralık 2019).

Taşköprü, C., “Küçük Menderes Havzası Topraklarında Radon Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.

UNSCEAR, 2000. Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, with scientific annexes, United Nations, New York.

Verma, D., Khan, M.S., Zubair, M., 2012. Assessment of effective radium content and radon exhalation rates in soil samples. J Radioanal Nucl Chem, DOI 10.1007/s10967-012-1694-1.

Yılmaz, E., “Akşehir Fay Hattında Toprakta Radon Konsantrasyonu Ölçümü”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.

EKLER

EK-1. Kilis İl Merkezi Toprak Örneklerin 'deki Radon Gazı Konsantrasyonları

EK-2. Elbeyli İlçe Merkezi Toprak Örneklerin' deki Radon Gazı Konsantrasyonları

EK-3. Polateli İlçe Merkezi Toprak Örneklerin 'deki Radon Gazı Konsantrasyonları

EK-4. Musabeyli İlçe Merkezi Toprak Örneklerin 'deki Radon Gazı Konsantrasyonları



EK-1. Kilis İl Merkezi için Radon Konsantrasyonu, Alansal Radon Eksalasyon Hızı, Kütleli Radon Eksalasyon Hızı, Radyum İçeriği Eşdeğeri, Radon Konsantrasyonunun İç Mekana Katkısı, Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri Değerleri

Örnek Numarası	Yer Adı	Radon Konsantrasyonu (Bq m ⁻³)	Alansal Radon Eksalasyon Hızı (mBq m ⁻² h ⁻¹)	Kütleli Radon Eksalasyon Hızı (mBq kg ⁻¹ h ⁻¹)	Radyum İçeriği Eşdeğeri (Bq kg ⁻¹)	Radon Konsantrasyonunun İç Mekana Katkısı (Bq m ⁻³)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv y ⁻¹)
1	Merkez	142,36 ± 31,32	224,13 ± 49,31	5,60 ± 1,23	0,74 ± 0,16	0,90 ± 0,20	26,43 ± 5,82
2	Merkez	187,08 ± 31,8	294,54 ± 50,07	7,36 ± 1,25	0,98 ± 0,17	1,18 ± 0,20	34,73 ± 5,90
3	Merkez	171 ± 20,52	269,22 ± 32,31	6,73 ± 0,81	0,89 ± 0,11	1,08 ± 0,13	31,75 ± 3,81
4	Merkez	158,74 ± 6,35	249,92 ± 10,00	6,25 ± 0,25	0,83 ± 0,03	1,00 ± 0,04	29,47 ± 1,18
5	Merkez	303,15 ± 42,14	477,28 ± 66,35	11,93 ± 1,66	1,58 ± 0,22	1,91 ± 0,27	56,28 ± 7,82
6	Merkez	472,47 ± 9,77	743,85 ± 15,38	18,60 ± 0,39	2,46 ± 0,05	2,98 ± 0,06	87,72 ± 1,81
7	Merkez	191,52 ± 3,7	301,53 ± 5,83	7,54 ± 0,15	1,00 ± 0,02	1,21 ± 0,02	35,56 ± 0,69
8	Merkez	156,35 ± 13,76	246,16 ± 21,66	6,15 ± 0,54	0,82 ± 0,07	0,99 ± 0,09	29,03 ± 2,56
9	Merkez	44,37 ± 3,55	69,86 ± 5,59	1,75 ± 0,14	0,23 ± 0,02	0,28 ± 0,02	8,24 ± 0,66
10	Merkez	639,41 ± 7,14	1006,68 ± 11,24	25,17 ± 0,28	3,33 ± 0,04	4,03 ± 0,05	118,71 ± 1,33
11	Merkez	2915,06 ± 185,69	4589,44 ± 292,35	114,74 ± 7,31	15,20 ± 0,97	18,36 ± 1,17	541,19 ± 34,47
12	Merkez	63,48 ± 6,98	99,94 ± 10,99	2,50 ± 0,28	0,33 ± 0,04	0,40 ± 0,04	11,79 ± 1,30

EK-1. (Devam)

Örnek Numarası	Yer Adı	Radon Konsantrasyonu (Bq m ⁻³)	Alansal Radon Eksalasyon Hızı (mBq m ⁻² h ⁻¹)	Kütleli Radon Eksalasyon Hızı (mBq kg ⁻¹ h ⁻¹)	Radyum İçeriği Eşdeğeri (Bq kg ⁻¹)	Radon Konsantrasyonunun İç Mekana Katkısı (Bq m ⁻³)	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (µSv y ⁻¹)
13	Merkez	657,84 ± 23,09	1035,70 ± 36,35	25,89 ± 0,91	3,43 ± 0,12	4,14 ± 0,15	122,13 ± 4,29
14	Merkez	346,84 ± 36,07	546,06 ± 56,79	13,65 ± 1,42	1,81 ± 0,19	2,18 ± 0,23	64,39 ± 6,70
15	Merkez	26,97 ± 3,24	42,46 ± 5,10	1,06 ± 0,13	0,14 ± 0,02	0,17 ± 0,02	5,01 ± 0,60
ORTALAMA		431,78 ± 28,34	679,78 ± 44,62	17,00 ± 1,12	2,25 ± 0,15	2,72 ± 0,18	80,16 ± 5,26

EK-2. Elbeyli İlçesi için Radon Konsantrasyonu, Alansal Radon Eksalasyon Hızı, Kütleli Radon Eksalasyon Hızı, Radyum İçeriği Eşdeğeri, Radon Konsantrasyonunun İç Mekana Katkısı, Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri Değerleri

Örnek Numarası	Yer Adı	Radon Konsantrasyonu (Bq m ⁻³)	Alansal Radon Eksalasyon Hızı (mBq m ⁻² h ⁻¹)	Kütleli Radon Eksalasyon Hızı (mBq kg ⁻¹ h ⁻¹)	Radyum İçeriği Eşdeğeri (Bq kg ⁻¹)	Radon Konsantrasyonunun İç Mekana Katkısı (Bq m ⁻³)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv y ⁻¹)
16	Elbeyli	313,73 ± 37,65	493,93 ± 59,28	12,35 ± 1,48	1,64 ± 0,20	1,98 ± 0,24	58,25 ± 6,99
17	Elbeyli	179,52 ± 34,25	282,64 ± 53,92	7,07 ± 1,35	0,94 ± 0,18	1,13 ± 0,22	33,33 ± 6,36
18	Elbeyli	116,41 ± 44,24	183,28 ± 69,65	4,58 ± 1,74	0,61 ± 0,23	0,73 ± 0,28	21,61 ± 8,21
19	Elbeyli	59,4 ± 7,13	93,52 ± 11,23	2,34 ± 0,28	0,31 ± 0,04	0,37 ± 0,05	11,03 ± 1,32
20	Elbeyli	338,65 ± 85,51	533,17 ± 134,63	13,33 ± 3,37	1,77 ± 0,45	2,13 ± 0,54	62,87 ± 15,88
ORTALAMA		201,54 ± 41,76	317,31 ± 65,74	7,93 ± 1,64	1,05 ± 0,22	1,27 ± 0,26	37,42 ± 7,75

EK-3. Polateli İlçesi için Radon Konsantrasyonu, Alansal Radon Eksalasyon Hızı, Kütleli Radon Eksalasyon Hızı, Radyum İçeriği Eşdeğeri, Radon Konsantrasyonunun İç Mekana Katkısı, Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri Değerleri

Örnek Numarası	Yer Adı	Radon Konsantrasyonu (Bq m ⁻³)	Alansal Radon Eksalasyon Hızı (mBq m ⁻² h ⁻¹)	Kütleli Radon Eksalasyon Hızı (mBq kg ⁻¹ h ⁻¹)	Radyum İçeriği Eşdeğeri (Bq kg ⁻¹)	Radon Konsantrasyonunun İç Mekana Katkısı (Bq m ⁻³)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv y ⁻¹)
21	Polateli	111,63 ± 24,56	175,75 ± 38,67	4,39 ± 0,97	0,58 ± 0,13	0,70 ± 0,16	20,73 ± 4,56
22	Polateli	838,1 ± 207,85	1319,50 ± 327,24	32,99 ± 8,18	4,37 ± 1,08	5,28 ± 1,31	155,60 ± 38,59
23	Polateli	87,4 ± 13,11	137,60 ± 20,64	3,44 ± 0,52	0,46 ± 0,07	0,55 ± 0,08	16,23 ± 2,43
24	Polateli	152,6 ± 24,11	240,25 ± 37,96	6,01 ± 0,95	0,80 ± 0,13	0,96 ± 0,15	28,33 ± 4,48
ORTALAMA		297,43 ± 67,41	468,28 ± 106,13	11,71 ± 2,65	1,55 ± 0,35	1,87 ± 0,43	55,22 ± 12,52

EK-4. Musabeyli İlçesi için Radon Konsantrasyonu, Alansal Radon Eksalasyon Hızı, Kütleli Radon Eksalasyon Hızı, Radyum İçeriği Eşdeğeri, Radon Konsantrasyonun İç Mekana Katkısı, Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri Değerleri

Örnek Numarası	Yer Adı	Radon Konsantrasyonu (Bq m ⁻³)	Alansal Radon Eksalasyon Hızı (mBq m ⁻² h ⁻¹)	Kütleli Radon Eksalasyon Hızı (mBq kg ⁻¹ h ⁻¹)	Radyum İçeriği Eşdeğeri (Bq kg ⁻¹)	Radon Konsantrasyonunun İç Mekana Katkısı (Bq m ⁻³)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv y ⁻¹)
25	Musabeyli	246,82 ± 39,49	388,59 ± 62,17	9,72 ± 1,55	1,29 ± 0,21	1,55 ± 0,25	45,82 ± 7,33
26	Musabeyli	261,84 ± 28,8	412,24 ± 45,34	10,31 ± 1,13	1,37 ± 0,15	1,65 ± 0,18	48,61 ± 5,35
27	Musabeyli	316,12 ± 60,02	497,70 ± 94,50	12,44 ± 2,36	1,65 ± 0,31	1,99 ± 0,38	58,69 ± 11,14
28	Musabeyli	346,84 ± 36,28	546,06 ± 57,12	13,65 ± 1,43	1,81 ± 0,19	2,18 ± 0,23	64,39 ± 6,74
29	Musabeyli	966,43 ± 241,61	1521,54 ± 380,39	38,04 ± 9,51	5,04 ± 1,26	6,09 ± 1,52	179,42 ± 44,86
ORTALAMA		427,61 ± 81,24	673,23 ± 127,90	16,83 ± 3,20	2,23 ± 0,42	2,69 ± 0,51	79,39 ± 7,64

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Salman ÖZKABLAN

Doğum Yeri : Merkez/Kilis

Doğum Tarihi : 08.05.1989

E Posta : salman_2107@hotmail.com

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Okul, başlama ve mezuniyet yılı, şehir):

Lisans : Ahi Evran Üniversitesi, 2009-2014, Kırşehir

Yüksek Lisans : Kilis 7 Aralık Üniversitesi, 2017-2020, Kilis