

**AKŞEHİR FAY HATTINDA TOPRAKTA RADON  
KONSANTRASYONU ÖLÇÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif YILMAZ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

FİZİK ANABİLİM DALI

Haziran, 2016

Bu tez çalışması 15.FENBİL.39 numaralı proje ile AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AKŞEHİR FAY HATTINDA TOPRAKTA RADON**  
**KONSANTRASYONU ÖLÇÜMÜ**

**Elif YILMAZ**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM**

**(İKİNCİ DANIŞMAN)**

**ARŞ. GÖR. DR. AYL A GÜMÜŞ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Haziran, 2016**

## TEZ ONAY SAYFASI

Elif YILMAZ tarafından hazırlanan “AKŞEHİR FAY HATTINDA TOPRAKTA RADON KONSANTRASYONU ÖLÇÜMÜ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 22.09.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** :Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

**Başkan** :Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL  
Uşak Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu

**Üye** : Doç. Dr. Ahmet YILDIZ  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

**Üye** :Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**22/09/2016**

**Elif YILMAZ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### AKŞEHİR FAY HATTINDA TOPRAKTA RADON KONSANTRASYONU ÖLÇÜMÜ

Elif YILMAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

İnsan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi ve bölgenin jeolojik ve tektonik yapısı hakkında bilgi elde edilmesi hususundaki faydası nedeniyle, hava, su ve toprak gazında yoğun olarak radon konsantrasyonunu belirleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada, Akşehir fay hattı üzerinde ve civarında yer alan 10 farklı noktada 5 ay boyunca aylık periyotlarla toprakta radon konsantrasyonu değerleri AlphaGUARD PQ2000PRO radon dedektörü kullanılarak belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda, toprakta radon aktivite konsantrasyonunun en küçük değeri 5,36 kBq/m<sup>3</sup> ve en büyük değeri ise 47,62 kBq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Ölçümlerden elde edilen radon konsantrasyonu değerleri kullanılarak kaynakların ölçüm periyodundaki ortalama konsantrasyonları hesaplanmış ve ortalama radon konsantrasyonunun en küçük değeri 8 nolu kaynakta 10,23 kBq/m<sup>3</sup> ve en büyük değeri ise 1 nolu kaynakta 31,77 kBq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Ayrıca incelenen noktaların çoğunun ortalama radon konsantrasyonu değerlerinin, ölçüm noktalarının Akşehir fay hattına olan dik uzaklıkları arasında ters orantılı bir ilişki olduğu görülmüştür.

**2016, xii + 63 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Radon aktivite konsantrasyonu, Toprak gazı, AlphaGUARD, Akşehir fay hattı, Afyonkarahisar

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### MEASUREMENTS OF SOIL RADON CONCENTRATION AT AKŞEHİR FAULT ZONE

Elif YILMAZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Ali YALIM

Due to the effects in human health and the benefits in obtaining information on the geology and tectonic structure of the region, determination of radon concentration studies are intensely carried out in air, water and soil gas. In this study, soil gas radon concentration values were determined at the points on or around the Akşehir fault zone in monthly period during 5 month-time using AlphaGUARD PQ2000PRO radon detector.

As a result of this study, the minimum value of  $5,36 \text{ kBq/m}^3$  and the maximum value of  $47,62 \text{ kBq/m}^3$  were obtained as radon concentration in soil. The mean radon concentration values of the sampling points were calculated for the sampling period and the minimum of these values was obtained at the sampling point 8 as  $10,23 \text{ kBq/m}^3$  and the maximum at the sampling point 1 as  $31,77 \text{ kBq/m}^3$ . Moreover, it was obtained that the mean radon concentration values of the most of the sampling points were inversely proportional with the straight distances of the sampling points to the Akşehir fault zone.

**2016, xii + 63 pages**

**Key Words:** Radon activity concentration, Soil gas, AlphaGUARD, Akşehir fault zone, Afyonkarahisar

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımını esirgemeyen, eğitim bilgilerinden yararlandığım, tez çalışmamın her aşamasında bilgi birikimi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı danışmanım Sayın Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM'a, araştırmanın saha çalışması ve laboratuvar aşamasında, çalışmanın başından sonuna kadar yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Dr. Ayla GÜMÜŞ' e teşekkürü bir borç bilirim ve saygılarımı sunarım.

Afyon Kocatepe üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca 15.FENBİL.39 numaralı proje kapsamında tez çalışmamı destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ederim.

Tezin yazımı konusundaki yardımlarından dolayı arkadaşlarım Tuğçe SELEK'e ve Mehmet Zeki İLHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca desteğini esirgemeyen, eğitimimin her aşamasında yanımda olan ve bana güven duyan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Elif YILMAZ

AFYONKARAHİSAR, 2016

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	5
2.1 Radyoaktivite .....	5
2.1.1 Radyoaktif Bozunma Türleri.....	5
2.1.1.1 Alfa ( $\alpha$ ) Bozunması .....	6
2.1.1.2 Beta ( $\beta$ ) Bozunması .....	7
2.1.1.3 Gama ( $\gamma$ ) Bozunması.....	10
2.1.2 Radyoaktivite Birimleri.....	11
2.2 Radyasyon.....	12
2.2.1 Radyasyon Kaynakları .....	13
2.2.1.1 Doğal Radyasyon Kaynakları.....	13
2.2.1.2 Yapay Radyasyon Kaynakları .....	16
2.3 Radyoaktif Bozunum Serileri .....	19
2.3.1 Doğal Seriler .....	19
2.3.2 Yapay Seriler.....	20
2.4 Radium.....	20
2.5 Radon .....	21
2.5.1 Radon ve Özellikleri.....	21
2.5.2 Radonun Bulunduğu Yerler .....	23
2.5.3 Toprakta Radon .....	23
2.5.4 Radon-Deprem İlişkisi .....	25
3. MATERYAL VE METOT .....	28



3.1 Deneysel Çalışmalar .....	28
3.2 Çalışmada Kullanılan Radon Ölçüm Sistemi .....	28
3.2.1 AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Detektör Sistemi.....	28
3.2.2 AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Detektörü Yapısı .....	30
3.2.3 AlphaPUMP .....	32
3.2.4 DataEXPERT Programı .....	34
3.2.5 AlphaGUARD PQ2000 PRO Detektörü ile Toprakta Radon Aktivite Konsantrasyonu Ölçümü.....	34
3.3 İnceleme Alanının Jeolojisi .....	36
3.4 Ölçümlerin Alınması.....	39
3.5 Radon Aktivite Konsantrasyonunun Dağılım Haritasının Hazırlanması.....	40
4. BULGULAR .....	42
4.1 Radon Aktivite Konsantrasyonu Değerleri.....	42
4.2 Faya Olan Uzaklığa Göre Ortalama Radon Aktivite Konsantrasyonları.....	51
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	54
6. KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	63

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$\bar{\nu}$	Antinötrino
Bq	Becquerel
Ci	Curie
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
Gy	Gray
KBq	Kilo Becquerel
MeV	Mega elektron volt
Mm	Milimetre
MSv	MiliSievert
N	Nötron sayısı
Pb	Kurşun
Ra	Radyum
Rn	Radon
Sv	Sievert
Th	Toryum
U	Uranyum
Z	Proton sayısı
A	Alfa
B	Beta
B <sup>-</sup>	Beta-negatif
B <sup>+</sup>	Beta-pozitif
Γ	Gama
M	Mikro
Mm	Mikrometre
$\nu$	Nötrino

### Kısaltmalar

---

AAG	Afyon-Akşehir Grabeni
CGS	Centimetre-Gram-Second (Santimetre-Gram-Saniye)
DSP	Digital Signal Processing (Sayısal Sinyal İşleme)

ICRP	International Commission on Radiological Protection (Uluslar arası Radyasyondan Korunma Komisyonu)
K.F	Kalite Faktörü
NAPL	Non Aqueous Phase Liquids (Su Fazında Olmayan Akışkan)
R	Röntgen
RAD	Radiation Absorbed Dose (Radyasyon Dozu Emilimi)
Rd	Rutherford
UNSCEAR	Türkiye United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Atomik Radyasyon Etkileri Üzerinde Birleşmiş Milletler Bilim Kurulu)

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Alfa bozunumu.....	6
Şekil 2.2 Beta-negatif bozunması (İlhan 2015).....	8
Şekil 2.3 Beta-pozitif bozunması (İlhan 2015). ....	9
Şekil 2.4 Elektron yakalama olayı (İlhan 2015).....	10
Şekil 2.5 Gama bozunması (İlhan 2015). ....	10
Şekil 2.6 Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının oranları (İlhan 2015).....	13
Şekil 2.7 Dünya genelinde maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değeri.....	16
Şekil 2.8 Yapay radyasyon kaynakları. ....	18
Şekil 2.9 Uranyum ( <sup>238</sup> U) bozunma zinciri (İlhan 2015). ....	23
Şekil 2.10 Toprağın cinsine göre radon geçirgenliği (İlhan 2015). ....	24
Şekil 3.1 AlphaGUARD radon detektör sisteminin kullanım alanları (İlhan 2015). ....	29
Şekil 3.2 AlphaGUARD atma iyonizasyon odasının şematik gösterimi (Kulalı 2009)..	32
Şekil 3.3 DSP biriminin blok diyagramı (Akyıldırım 2005). ....	32
Şekil 3.4 AlphaPUMP şematik gösterimi. ....	33
Şekil 3.5 Toprak gazı sondası ve bileşenleri (İlhan 2015). ....	35
Şekil 3.6 Toprak gazı ölçümleri için temel kurulum şeması (İlhan 2015). ....	36
Şekil 3.7 İncelenen bölgenin ve çevresinin fay haritası (Koçyiğit vd. 2005).....	37
Şekil 3.8 İncelenen bölgenin uydu görüntüsü.....	39
Şekil 3.9 Kriging gridleme yönteminde “Advanced Options” penceresi (Polat 2000)...	40
Şekil 4.1 Bir nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.....	46
Şekil 4.2 İki nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği. ....	46
Şekil 4.3 Üç nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği. ....	47
Şekil 4.4 Dört nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği. ....	47
Şekil 4.5 Beş nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.....	48
Şekil 4.6 Altı nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği. ....	48
Şekil 4.7 Yedi nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği. ....	49
Şekil 4.8 Sekiz nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği. ....	49
Şekil 4.9 Dokuz nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği. ....	50
Şekil 4.10 On nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği. ....	50

<b>Şekil 4.11</b> Ölçüm noktalarının Akşehir fay hattına olan dik uzaklıklara göre ortalama radon konsantrasyonu değişimi.....	52
<b>Şekil 4.12</b> Bazı ölçüm noktalarının Akşehir fay hattına olan dik uzaklıklara göre ortalama radon konsantrasyonu değişimi.....	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Toryum, Neptünyum, Uranyum ve Aktinyum elementlerinin bazı özellikleri (İlhan 2015). .....	20
<b>Çizelge 2.2</b> Radyumun doğal olarak bulunan izotopları. ....	21
<b>Çizelge 3.1</b> Ölçüm yapılan nokta ve konumları. ....	38
<b>Çizelge 4.1</b> Bir nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri. ....	42
<b>Çizelge 4.2</b> İki nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri. ....	42
<b>Çizelge 4.3</b> Üç nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri. ....	43
<b>Çizelge 4.4</b> Dört nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri. ....	43
<b>Çizelge 4.5</b> Beş nolu ölçüm noktasının ve radon aktivite konsantrasyonu değerleri. ....	43
<b>Çizelge 4.6</b> Altı nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri. ....	44
<b>Çizelge 4.7</b> Yedi nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri. ....	44
<b>Çizelge 4.8</b> Sekiz nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri. ....	44
<b>Çizelge 4.9</b> Dokuz nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri. ....	45
<b>Çizelge 4.10</b> On nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri. ....	45
<b>Çizelge 4.11</b> Ölçüm noktalarının Akşehir fay hattına olan muhtemel dik uzaklıkları ve ortalama radon konsantrasyonu değerleri. ....	51

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 3.1</b> DataEXPERT programı ile AlphaGUARD'ın ölçtüğü radon aktivite konsantrasyonu ve hata oranı verilerinin bilgisayar ekranında görüntülenmesi.....	30
<b>Resim 3.2</b> AlphaGUARD'ın üstten görünümü.....	31

## 1. GİRİŞ

Tek renkli ışık veya parçacık yayımı bu parçacıkların ya da ışımının kendisi, maddesel ortamdan geçerken onunla etkileşerek iyon çiftleri oluşturabilen X ışını, gama ışını gibi elektromanyetik ışınlarla, kinetik enerjileri olan yüklü parçacıklar, ağır iyonlar ve serbest nötronlar gibi tanecik karakterli ışınımlara radyasyon denir.

Radyoaktiflik veya radyoaktivite kararsız haldeki nükleitlerin, parçacıklar ya da elektro manyetik ışımaya (fotonlar) yayımlayarak kendiliğinden kütlelerini kaybetmeleridir. Bir radyoizotop, doğada kendiliğinden bulunuyor ya da bir radyoaktif elementin bozulması ile oluşuyorsa bu tip radyoaktif çekirdeklere doğal radyoizotop, olaya ise doğal radyoaktiflik adı verilir. Özel şartlar altında yapay olarak, çok yüksek sıcaklıklara erişilerek veya protonu, elektronlar ve gama ışınları ile bombardıman edilerek, radyoizotoplar oluşturuluyorsa buna yapay radyoizotop, olaya ise yapay radyoaktiflik adı verilir.

Yeryüzünde bulunan bütün canlılar yaşamları süresince uzay ve güneş kaynaklı radyasyon etkisi altındadırlar. Radyasyon kirliliğinin başlıca etkenlerinden biri atmosferin ve toprağın altında gerçekleştirilen nükleer çalışmalarını denilebilir. Toprağın altında radyoaktif atıkların kaplarının sızdırması toprak aracılığı ile radyoaktif elementlerin bitkilere ve hayvanlara ulaşmasına neden olabilir. Radyasyon kirlenmesine neden olan bir diğer faktör olarakta nükleer yakıtla çalışan araçlardan olan sızıntılar ve radyoaktif yöntemler kullanan laboratuvar atıkları da örnek verilebilir.

Yaşadığımız dünyada kişilerin aldıkları yıllık radyasyon dozunun %82'si doğal kaynaklı olmaktadır. Radyum elementinin bozunması sırasında salınan radon gazı yeryüzünde doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli nedenlerden biridir. Radon, doğal radyasyon kaynaklarından U-238 serisinin 13 elementi arasında gaz olan tek elementtir ve bu seride bulunan 1600 yıl yarı ömürlü Ra-226'nın bozunması sonucu oluşmuştur. 3,8 gün yarı ömre sahip olan radon, kimyaca pasif radyoaktif bir asal gaz olmasına rağmen, radon gazı alfa parçacığı yaymakta ve solunum yoluyla akciğerlere ulaşarak akciğer kanserine yakalanma riskini ortaya çıkarmaktadır. Radon bozunduğu



zaman, kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri meydana gelmektedir. Bozunum ürünleri havadaki toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar ve solunum yoluyla vücuda girebilirler. Bozunum ürünleri karalı hale gelinceye kadar bozunma olayı sürer ve bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı devam eder. Solunum borusunda ve akciğerlerdeki bozunma sonucunda, bu organlardaki hassas hücreler zarar görerek kanser oluşumunu meydana getirmektedir.

Radon kendiliğinden oluşan radyoaktif bir gazdır ve yerküre yeryüzünde herhangi bir yerde olabilir. Çevreye yayılım coğrafik bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkilidir. Yüksek derişimlere ulaşabilmekte ve binalarda bulunabilmektedir. Topraktan havaya yayılan radon önemli bir kapalı ortam kirleticisidir. Suda eriyebildiğinden bazen sudan havaya geçişi de görülebilir. Normal atmosferde hava olaylarına bağılı olarak dilue ve düşük konsantrasyon durumları ortaya çıkar.

Topraktaki gözenek ve boşluklar içinde bulunan serbest radon atomlarına, toprak radon denilmektedir. Radon (Rn-222) doğada bulunur. Renksiz ve kokusuz olan radon, uranyum (U-238) kökenli radyoaktif bir soy gazdır. Uranyumun, yaygın bir dağılımı vardır ve Radon gazının temelini oluşturan uranyumun bu geniş dağılımı nedeni ile neredeyse her yerde az veya çok miktarda radon gazına rastlamaktadır.

Radon gazının bir bölümü oluştuğı ortamı terk ederek kayaları örten toprağı veya yeraltı sularına, oradan da atmosfere dağılmaktadır. Özellikle yerkabuğunun çatlaklı, kırıklı kesimleri boyunca taşıyıcılar aracılığı ile radon gazı daha hızlı bir şekilde yeryüzüne ulaşmakta ve buralardaki toprakta çevreye nazaran daha yoğun bir konsantrasyona sahip olmaktadır. Toprak zeminde yoğunlaşan radon gazı atmosfere karıştığında ise hızlı bir şekilde yayılmaktadır.

Radon gazının yerkabuğunda yaygın bir şekilde bulunması, kimyasal reaksiyonlara karşı duyarsız oluşu, radyoaktif özelliğinden dolayı çok düşük konsantrasyonlarda bile kolayca tespit edilebilir olması, onu çeşitli araştırmalar için çok elverişli bir jeokimyasal iz konumu olmasını sağlamıştır. Bu açıdan özellikle yerbilimleri alanında olmak üzere, pek çok bilimsel çalışmada bu radyoaktif gazdan yararlanılmaktadır.

Aktif fayların saptanması, volkan patlamaları, depremler gibi yıkıcı ve tehlikeli doğa olaylarının önceden tahmin edilmesi, yeraltı sularını taküp edilmesi, sağlık açısından elverişli yerleşim alanlarının tespit edilmesi ve bu amaçla radon risk haritalarının oluşturulması, su fazında olmayan akışkan (Non Aqueous Phase Liquids, NAPL) kirleticilerinin yayılımlarının tespit edilmesi radon gazının kullanıldığı çalışmalar örnek olarak verilebilir. Genel olarak, baro metrik basınç, nem, yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik faktörlerin toprak gazındaki radon konsantrasyonunu etkilediği söylenmektedir (Kraner 2001, Duenans *et al.* 1997, İnan *et al.* 2010a, 2012a, 2012b). Deprem kestirimi konusunda yapılan çalışmalarda Klusman ve Webster (1981) radon zaman serilerindeki değişimlerinin %90'ından fazlasını meteorolojik etkiler ile açıklarken, Fleischer ve Mogro-Campero (1985) meteorolojik etkilerin ölçülebilir değişimlere neden olmadığını ifade etmektedir. İnan vd. (2010a ve 2012b) meteorolojik faktörlerin radon gazı hareketine etkilerinin daha çok kış aylarında toprağın suya doygun olduğu dönemlerde nemli olduğunu göstermiştir. Sinyal gürültü oranının yüksek olduğu ölçüm noktalarında kış dönemlerinde bile sürekli toprak radon gazı ölçümlerinde deprem ile ilişkilendirilebilecek güvenilir değerler bulunmuştur (İnan *et al.* 2010b).

Mineral taneleri içindeki radon atomlarının serbest kalma oranını ve topraktaki gözeneklerdeki serbest radon gazının hareketini etkilemesi muhtemel atmosferik koşulların, toprak içindeki radon gaz seviyesinin değiştirmesi gözlenmelidir. Ancak farklı amaçlar ile yapılan çalışmalarda birbiriyle çelişen farklı sonuçların elde edilmesi, meteorolojik parametrelerin etki mekanizmasının tam olarak ortaya konulmadığını göstermekte ve bazen ölçüm noktasındaki yerel koşulların atmosferik koşullardan daha önemli olduğunu göstermektedir. Özellikle, değişen zemin koşullarının ve kullanılan farklı ölçüm yöntemlerinin bu çelişkili sonuçlara neden olduğu düşünülmektedir.

Toprakta radon aktivite konsantrasyonunun belirlenmesi ile ilgili literatürde yer alan ulusal ve uluslararası bazı yayınlardan alınan veriler aşağıdaki gibidir:

İlhan (2015), tarafından yapılan çalışmada, toprakta radon konsantrasyonu ölçüm değerlerinin  $0,23 \text{ kBq/m}^3$  ile  $186,1 \text{ kBq/m}^3$  arasında değişiklik gösterdiği belirtilmiştir.

Tansia vd. (2005), kuzey İtalya'daki Calabriya'da yaptıkları çalışma sonucunda sismik ve tektonik aktivitelerin radon anomalileri üzerinde etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Tuzla Fayı etrafındaki büyük toprak gruplarında LR-115 film dedektörleri (nükleer iz kazıma dedektörleri) kullanılarak toprak gazındaki radon konsantrasyonu ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada elde edilen radon konsantrasyon değerleri 0,1 kBq/m<sup>3</sup> ile 261,1 kBq/m<sup>3</sup> arasındadır (İçhedef 2011, İçhedef *et al.* 2013).

Topsakal (2015), Konya'nın Ilgın ilçesinde bulunan Ilgın Fay Hattı civarındaki toprak gazında radon aktivite seviyelerinin 0,22 kBq/m<sup>3</sup> ile 64,75 kBq/m<sup>3</sup> aralığında değiştiğini belirtmiştir.

Kulalı (2009), Yunanistan'ın Midilli adasında, toprakta radon aktivite konsantrasyonunun 8 kBq/m<sup>3</sup> ile 20 kBq/m<sup>3</sup> aralığında değiştiğini gözlemlemiştir.

Vaupotic vd. (2010), Slovenya'da yaptıkları bir çalışmada Ravne Fayı yakınlarında dördü dik, biri paralel olmak üzere belirlenen beş bölgede seçilen 18 noktada toprakta radon aktivite konsantrasyonunun 0,9 kBq/m<sup>3</sup> ile 22,9 kBq/m<sup>3</sup> arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Wang vd. (2014), Kuzey Çin Tangshan bölgesinde toprak gazı radon değerlerinin mekânsal değişiminin sismojenik ve deprem ile ilişkisini incelemişlerdir. Bunun için Nisan-Mayıs 2010 yılında 2500 km<sup>2</sup>'lik bir alanda toprak gazı radon ölçümlerini HDC-B radon dedektörü kullanarak yapmışlardır. Ölçümler sonucunda toprak gazı radon değerlerinin 0,4118 kBq/m<sup>3</sup> ile 38,4706 kBq/m<sup>3</sup> arasında değiştiğini gözlemlemişler ve toprak gazı radon değerlerinin aktif fay zonları ve deprem ile yakın bir ilişki gösterdiğini belirtmişlerdir.

Buraya kadar incelenen literatür özetinden de anlaşıldığı gibi toprak gazındaki radon aktivitesi konsantrasyonu bölgenin jeolojik ve tektonik yapısına, ölçüm yapılan dönemdeki mevsimsel ve meteorolojik şartlara, ölçüm noktasındaki derinlik gibi birçok parametreye bağlı olmaktadır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Radyoaktivite

Kararsız bir çekirdeğin parçacık veya ışın yayınlarak başka bir çekirdeğe dönüşmesine radyoaktif bozunma, bu olaya ise radyoaktivite denilmektedir.

Atom ve çekirdeği ile fiziki bilgiler 1896'da Henry Becquerel'in radyoaktiviteyi tesadüfen keşfi ile ortaya çıkmıştır. Becquerel'in belli Fluorescent (Flüor-Işıl) tuzların güneş ışınlarıyla aktifledikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışırken tesadüfen siyah bir kağıda sarılmış uranyum ve potasyum sülfattan ibaret numuneyi karanlık bir odada fotoğraf levhalarının yanında bulundurması ve bu levhalar banyo edildikleri sırada ışığa karşı tamamen korunmuş oldukları halde ışıkta kalmış gibi sonuç vermeleriyle ortaya çıkmıştır. Aynı deneyi tekrarlayan Becquerel fotoğraf levhalarının etkilenmesinin floresans veya X-ışınları olduğunu ifade etmiştir. Bazı tür radyasyonların uranyum tuzundan yayınladıkları etki sonucu fotoğraf levhalarını değiştirdiklerinin kanısına ulaşmıştır. Uranyum tuzu tarafından yayınlanan bu radyasyona ilk zamanlarda Becquerel Işınları denilmiştir. Verilen bu ad daha sonra birçok maddelerce yayınlanan farklı radyasyon tiplerini de tanımlayacak şekilde ifade edilmiştir (Arya 1999).

Uranyum tuzu dışında da bazı maddelerinde radyasyon yayınladıkları fark edilmiştir. 1898 yılında Marie Curie ve eşi Pierre Curie polonyum ve radyum adında iki radyoaktif madde bulmuşlardır (Arya 1999). Birkaç yıl içinde bunları, aktinyum, toryum ve diğer radyoaktif elementlerin ortaya çıkarılması izlemiştir (Arya 1999). Bugün farklı elementlerin yüzlerce radyoaktif izotopları vardır.

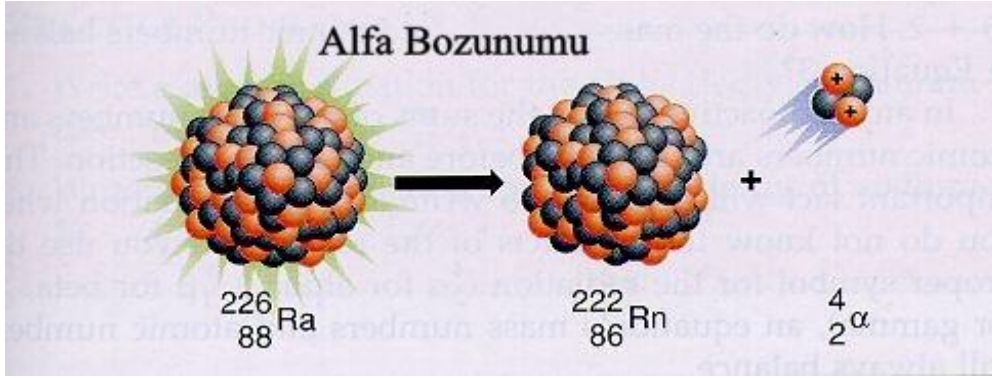
#### 2.1.1 Radyoaktif Bozunma Türleri

Kararsız haldeki atomların fazla enerjilerinden kurtularak daha kararlı bir atom haline dönüşmeleri yani radyoaktif bozunmaları üç şekilde olur. Bu bozunumlardan alfa ve beta, kararsız çekirdeklerin parçacıklar yayınlarak daha kararlı bir çekirdeğe

dönüşmeleri, gamada ise bozunum çekirdeklerin cinsi değişmeden uyarılmış durumdan taban durumuna geçmeleri şeklinde meydana gelir.

### 2.1.1.1 Alfa ( $\alpha$ ) Bozunması

Alfa bozunumu sonucu atomun çekirdeğinden iki elektriksel yük ve dört kütle birimi ile helyum ( ${}^4_2\text{He}$ ) çekirdeğine denk gelen bir parçacık yayınlanır ve bunun sonucu çekirdeğin fiziksel ve kimyasal yapısında değişimler olur (Denklem 2.1). Alfa bozunması Şekil 2.1 de ifade edilmiştir.



Şekil 2.1 Alfa bozunumu.

Alfa bozunumu denklemi,



şeklinde ifade edilmektedir. Denklemde yer alan X ana çekirdeği, Y ise ürün ya da geri tepen çekirdeği temsil eder. Alfa bozunumunda ana çekirdeğin atom numarası iki, kütle numarası dört azalırken toplam enerji (Q) ise değişmez (Denklem 2.2).

$$Q = \Delta mc^2 = [m_X - m_Y - m({}^4\text{He})].c^2 \quad (2.2)$$

Alfa parçacığının kütlesi diğer radyasyon parçacıklarına göre daha büyüktür. Bundan dolayı erişim mesafeleri daha kısa olur. 4 MeV ile 10 MeV arasında farklılık gösteren

kesikli bir enerji spektrumları vardır. Alfa'nın içinden geçtiği maddenin elektronları ile yüklü olmasından dolayı yoğun bir etkileşimde bulunur. Örnek verilecek olursa, havda alfa parçacıklarının en fazla sahip olduğu menzil uzunluğu birkaç cm'dir hatta bir kağıt tabakasından geçemeyecek kadar azdır, menzilleri az olduklarından spesifik iyonizasyonları fazla olur. Alfa parçacıklarının iyonlaştırıcı etkileri bulunmasına karşın insan derisinin ancak  $1/10^7$  a etkide bulunabilirler ve temas ettikleri yüzeyde zarara neden olurlar. Yaralara, mide yoluyla ve solunum akciğer bronşlarına nüfuz ettiğinde biyolojik tehlikeleri oldukça fazladır.

### 2.1.1.2 Beta ( $\beta$ ) Bozunması

Beta bozunumu kararsız atom çekirdeklerinden yayınlanan yüksek enerjili elektronlar olarak tanımlanır. Bu olay ise çekirdekteki bir nötronun bir protona dönüşmesidir. Beta bozunumu, beta-negatif ( $\beta^-$ ), beta-pozitif ( $\beta^+$ ) ve elektron yakalanması olmak üzere üç şekilde olur.

- Beta-Negatif ( $\beta^-$ ) Bozunması:

Bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından meydana geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını yok etmek için nötronlardan birini proton ve elektron haline getirir (Denklem 2.3). Bozunum sonucunda proton çekirdekte kalırken, elektron hızla dışarı verilir.

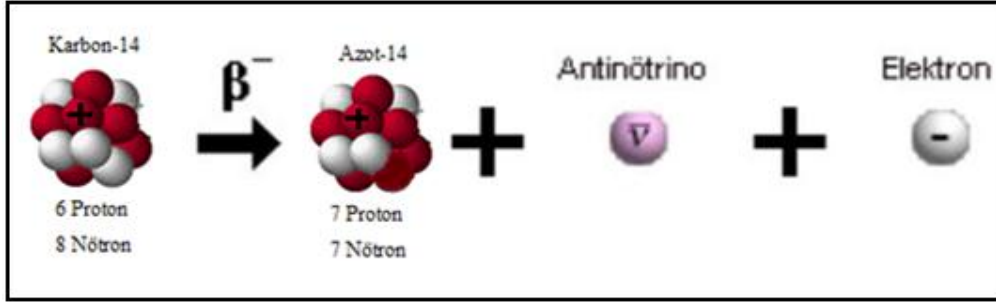


Bu hızlı elektrona beta parçacığı denir. Beta emisyonu yapan radyonüklidin atom numarasında değişme olur ve bir artarak kendiliğinden bir sonraki elementin izobar atomu haline gelir. Kütle numarası değişmediği için izobarik bozunum denilmiştir (Denklem 2.4).



Bu bozunumunda toplam enerji değişmez ve enerji denklemi Denklem 2.5'te ifade edilmiştir.

$$Q = \Delta mc^2 = [m_X - m_Y].c^2 \quad (2.5)$$



Şekil 2.2 Beta-negatif bozunması (İlhan 2015).

- Beta-Pozitif ( $\beta^+$ ) Bozunması:

Atomun kararsızlığı nötron azlığından ya da proton fazlalığından oluyorsa protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektron (pozitrona) haline gelir (Denklem 2.6).

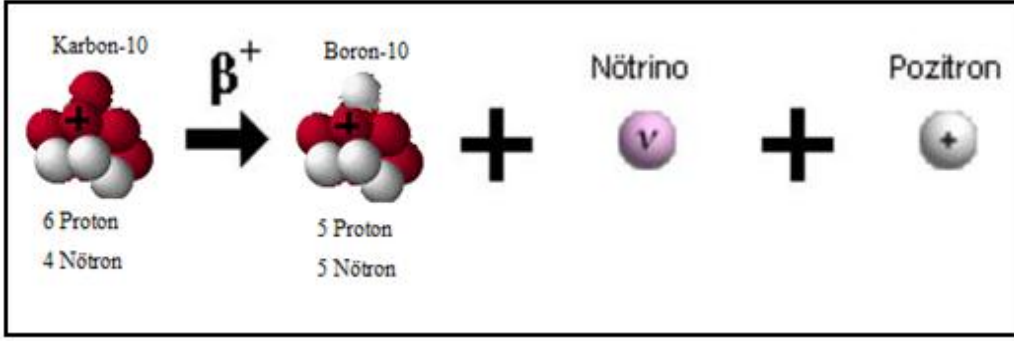
$$n \rightarrow p + e^+ + \nu \quad (2.6)$$

Bu bozunumda nötron çekirdekte kalırken, pozitron çekirdekten dışarı atılır ve böylece çekirdeğin atom numarasında değişme olur ve bir azalarak kendinden önceki elementin izobar atomu haline gelir (Denklem 2.7). Bozunum sonucunda ortaya çıkan enerji denklemi Denklem 2.8'te ifade edilmiştir.

$${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + e^+ + \nu \quad (2.7)$$

Enerji denklemi Denklem 2.8'de ifade edilmiştir.

$$Q = \Delta mc^2 = [m_X - m_Y - 2m_e].c^2 \quad (2.8)$$



Şekil 2.3 Beta-pozitif bozunması (İlhan 2015).

- Elektron Yakalama Olayı:

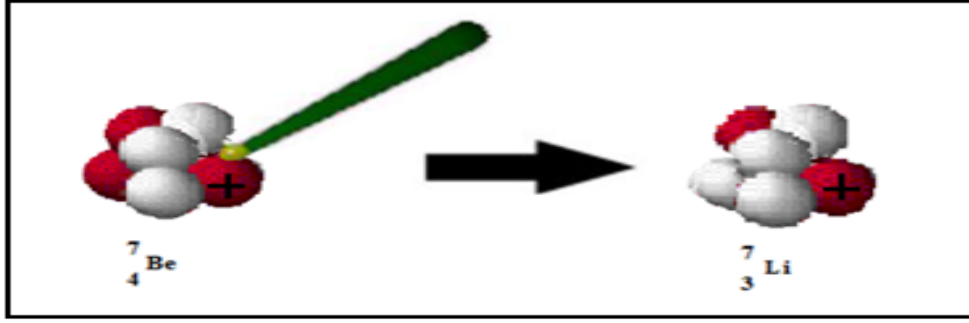
Eğer çekirdek proton fazlalığından dolayı oluyorsa kararsız ise atomun çekirdeğin (K, L) yörüngelerine yakın elektronlardan biri çekirdek tarafından yakalanmakta ve elektronla bir proton birleşerek nötron ve nötrino haline gelir (Denklem9). Bu bozunumda çekirdekteki proton sayısı değişir ve bir eksilir ancak çekirdekten parçacık salınımı meydana gelmez. Kütle numarasında da herhangi bir değişme olmaz (Denklem 10). Bu olayda boşalan elektron yörüngesi üst yörüngelerdeki gelen başka bir elektron tarafından tamamlanır.

$$p + e^{-} \rightarrow n + \nu \quad (2.9)$$

$${}^A_Z X + e^{-} \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + \nu \quad (2.10)$$

$$Q = \Delta mc^2 = [m_x - m_y] \cdot c^2 \quad (2.11)$$





Şekil 2.4 Elektron yakalama olayı (İlhan 2015).

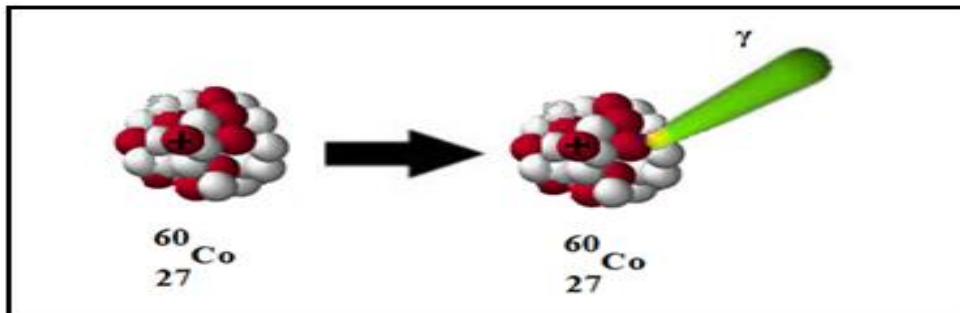
Beta bozunumu üç şekilde de proton ve nötron sayıları bir birim değişmesine rağmen kütle numarası değişmez. Ayrıca her üç bozunumda nötrino ve anti-nötrino denilen yüksüz ve kütsüz parçacıklar yayımlanır.

### 2.1.1.3 Gama ( $\gamma$ ) Bozunması

Gama bozunması, alfa ve beta bozunmalarından farklı olarak gerçekleşir. Gama bozunumunda çekirdeğin atom numarası ve kütle numarasında bir değişiklik olmaz (Denklem 2.12). Bu nedenle izomerik bozunma adını alır.



Gama yayınlanmasının yarı ömrü diğer bozunumlarla karşılaştırıldığında çok kısa ve genellikle  $10^{-9}$  saniyeden daha küçüktür ama saat ve gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlanması da bulunmaktadır. Enerji spektrumları ise kesikli haldedir.



Şekil 2.5 Gama bozunması (İlhan 2015).

## 2.1.2 Radyoaktivite Birimleri

Bir numunede var olan radyoaktif atomların mutlak sayısını öğrenmekten ise saniyede parçalanmış atom sayısını bilmesi daha yararlıdır. Bundan dolayı radyoaktivite birimi olarak birim zamandaki parçalanma sayısı tanımlanmıştır.

Curie (Ci): Bir saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak ifade edilir.

Bequerel (Bq): Bir saniyede bir bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak ifade edilir.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ parçalanma/saniye veya } 1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

Rutherford (Rd): Bir saniyede  $10^6$  bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak ifade edilir.

$$1 \text{ Rd} = 10^6 \text{ parçalanma/saniye}$$

Işınlanma(Röntgen, R): Normal hava şartlarında ( $0^\circ \text{C}$  ve  $760 \text{ mm Hg}$  basıncı), ki bu basınçta kuru havanın kütlesi  $0,001293 \text{ gram}$  ve havanın  $1 \text{ kilogramında}$   $2,58 \times 10^{-4}$  Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını radyasyon miktarı olarak tanımlanır. SI birim sisteminde karşılığı ise, normal hava şartlarında havanın  $1 \text{ kilogramında}$   $1 \text{ Clomb'luk}$  elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif elektrik yükü oluşturan X ve gama ışını radyasyonu olarak tanımlanır.

Soğurulmuş Doz: Işınlanan maddenin  $1 \text{ gramına}$   $100 \text{ erglik}$  enerji veren radyasyon miktarı olarak tanımlanır ve birimi CGS sisteminde RAD( Radiation Absorbed Dose)'dır. SI birim karşılığı Gray (Gy)'dir ve ışınlanan maddenin  $1 \text{ kilogramına}$   $1 \text{ joule}$  enerji veren radyasyon miktarıdır. Gray ve RAD arasındaki ilişki;

$$1 \text{ gray} = 100 \text{ RAD şeklindedir (Krone 2001)}.$$

Doz Eşdeğeri: Bir röntgenlik X ya da gama ışını ile aynı biyolojik etkiye sahip olan herhangi bir radyasyon miktarı olarak tanımlanır ve eski birim sistemindeki karşılığı REM 'dir ve  $\text{REM} = (\text{RAD}) \times (\text{K.F})$  eşitliği ile bulunur. Doz eşdeğerinin SI birimin sistemindeki karşılığı ise Sievert( Sv)' dir ve  $1 \text{ Gy'}$  lik X veya gama ışını ile aynı etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır ve  $\text{Sv} = (\text{Gy}) \times (\text{K.F})$  eşitliği ile bulunur. Sievert ve REM arasındaki dönüşüm;

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ REM şeklindedir}.$$

K.F ise Kalite Faktörünü ifade eder ve radyasyon ağırlık faktörü olarak tanımlanır. Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmakta faydalanılır (Krane 2001).

Etkin Doz: Vücudun tüm ışınlanmalarında, farklı dokuların hasarlarını dikkate alan ağırlıklı eşdeğer doz olarak tanımlanmakta ve birimi Sievert (Sv)'tir.

Herhangi bir radyoaktif elementin belli bir miktarının (birim kütle ya da hacim başına düşen) aktivitesine spesifik (özgül) aktivite olarak tanımlanır. Spesifik aktivite birimi; katı maddelerde Bq/kg, sıvılarda Bq/L ve gazlarda Bq/m<sup>3</sup> olarak tanımlanır.

## 2.2 Radyasyon

Radyasyon, dalga yayılması veya partikül akımı ile, uzaya veya herhangi bir ortama enerji aktarılması olayıdır. Bir radyoizotop, tabiatta kendiliğinden bulunuyor veya radyoaktif elementin bozulması ile ortaya çıkıyor ise bu tip radyoaktif çekirdeklere doğal radyoizotop ve olay ise doğal radyoaktiflik olarak tanımlanır. Laboratuvar şartlarında yapay olarak radyoizotoplar oluşturuyorsa, buna yapay radyoaktiflik denir.

Radyasyonlar

1. Madde ile etkileşmesi sonucu iyonlaşma meydana getirip getirmemesine bağlı olarak,
2. Dalga tabiatı gösterip göstermemesine bağlı olarak iki şekilde sınıflandırılabilir.

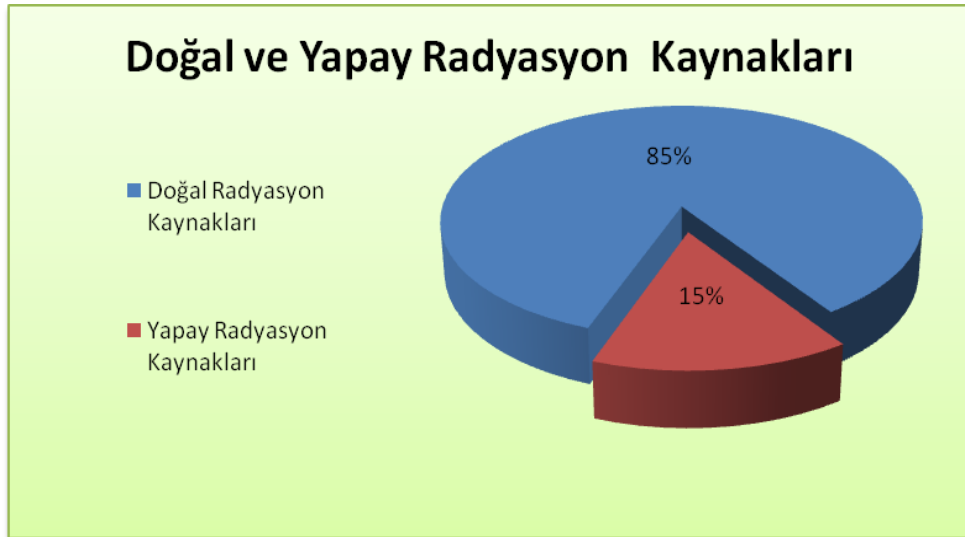
İyonlaştırıcı radyasyon madde ile etkileşimleri sonucunda, madde içinde iyonlaşma yapmasıdır. Alfa ve beta parçacıkları, proton, pozitronlar, elektronlar, hızlandırılmış ağır çekirdekler, nötronlar, x ve gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyon örneğidir.

Yukarıda belirtilen bu özellikleri bulunduran radyasyon tiplerinden elektrik yükü olanlar doğrudan iyonlaştırıcı radyasyonlar olarak tanımlanır. Yüklü olmadıkları halde madde içinde iyonlaştırma meydana getirenler ise dolaylı iyonlaştırıcı radyasyonlar denilmektedir. Parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon dalga tabiatı gösterip göstermemesine bağlı ortaya çıkabilir. Parçacık radyasyonlara, belirli kütleleri olan alfa

ve beta ışınları, pozitronlar, elektronlar, hızlandırılmış ağır çekirdekler, nötronlar, protonlar ve çekirdek altı elementer parçacıklar örnektir. Elektromanyetik radyasyonlara ise ışık hızı ile hareket eden ve dalga tabiatını gösteren x, gama, kızıl ötesi ve mor ötesi örnektir.

### 2.2.1 Radyasyon Kaynakları

Radyasyon doğal ve yapay radyasyon olmak üzere iki sınıfa yer alır ve Dünya ortalamaları dikkate alındığında maruz kalınan radyasyonun doğal ve yapay oranları Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının oranları (İlhan 2015).

#### 2.2.1.1 Doğal Radyasyon Kaynakları

İnsanlar ve canlılar radyasyonla beraber yaşamakta, güneşten ve uzaydan gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda yer alan radyoizotoplar bundan dolayı toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ve bunlara ilave olarak da yapay kaynaklardan radyasyon almaktadır. İnsanlar; yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık 2,5 msv yıllık dozun etkisi altındadırlar.

Radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli faktörüdür. Radon; uranyumun bulunduğu kayalardan, topraklardan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarından ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimindedir. Doğal radyasyon kaynaklarını şu şekilde ifade edebiliriz.

1. Kozmik radyasyon
2. Gama radyasyon
3. Vücut içi ışınlanma
4. Radon

- Kozmik radyasyon

Uzaydan gelen kozmik ışınlar doğal radyasyonun büyük bir kısmıdır. Kozmik ışınların da büyük bir kısmı atmosferden geçmeye çalışırken tutulurlar ve yalnızca küçük bir miktarı yerküreye gelir. Atmosfere giren kozmik ışınlar atmosferden geçtikten sonra yeryüzündeki manyetik alandan da etkilenir. Ekvatora göre daha kutup yakınları daha fazla kozmik ışın alır.

Kozmik ışınlar atmosfere geçtiklerinde karmaşık reaksiyonlar geçirirler ve atmosfer tarafından azar azar tutulmaktadır. Bundan dolayı yükseklik azaldıkça doz miktarı da azalma gösterir. Örneğin bir pilot uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla radyasyon dozunu alır.

- Gama radyasyonu

Yer kabuğundaki bütün maddelerde radyonüklid bulunmaktadır. Yeryüzündeki radyonüklidlerin yaydığı gama ışınlarından dolayı tüm vücut radyasyona maruzdur. Yapı malzemeleri taş ve topraktan ürettikleri için düşük orandan radyoaktivite sahiptirler. Böylece insanlar bina dışında olduğu gibi radyasyona maruz kalır. Maruz

kalınan radyasyon dozu bölgenin taşına, toprağına ve yapı malzemelerine bağı olarak değışir.

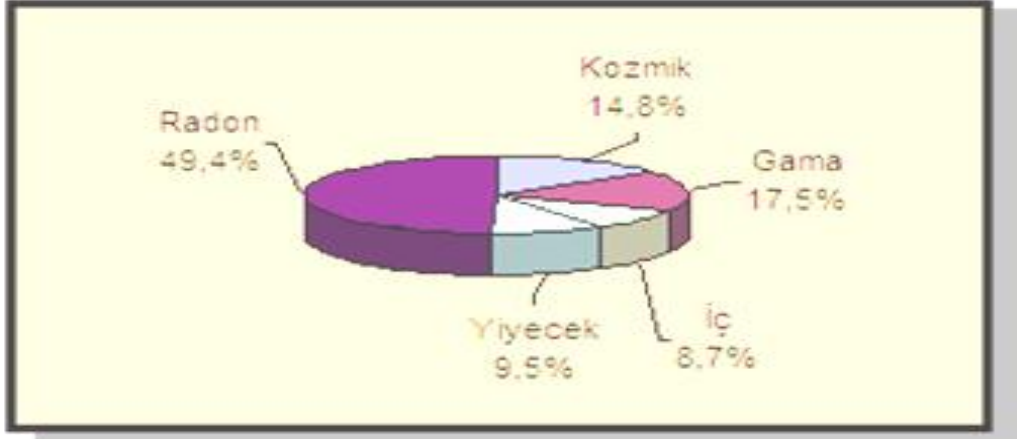
- Vücut içi ışınlanma

Vücut içi ışınlanma solunum ve sindirim yoluyla alınmasından olur. Havada yer alan Th-232 ve U-238 bozunum zincirlerinde bulunan radyoizotopların oluşturduğu toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda geçer. Radon ürünleri solunum yoluyla iç ışınlanmanın en önemli bileşenleridir. Radon dışında ki doğal radyoizotopların solunum yolu ile vücuda alınmasından kaynaklı iç ışınlama etkisi oldukça az olmaktadır. Sindirim yoluyla alınan dozun temel nedeni yiyecek ve içeceklerin içinde yer alan K-40, U-238 ve Th-232 serileridir. Doğal radyoizotopların sindirim yoluyla ile vücuda alınması besin maddelerinin bulunduğu radyoizotoplara, yiyecek ve içeceklerin tüketim hızına ve radyoizotop konsantrasyonuna bağı olarak, bölgenin iklimine ve tarımsal uygulamalara göre değışmektedir.

- Radon

Marie Curi'nin Radium üzerindeki çalışmaları ile radyoaktivite bulunmuştur. Daha sonra doğal radyoaktivite ile ilgili olarak önemli çalışmalar üzerinde durulmuştur. 1899 yılında Ernest Rutherford ve 1900 yılında Friedrich Ernest Dorn Radium tuzlarının radyoaktif radon gazı çıkardığını bulmuşlardır.

Biyosferde radon fazlaca bulunur ve kimyasal açıdan neon, kripton, ksenon gibi az bulunan elementlerdendir. Radon diğer kimyasal elementlerle reaksiyonda bulunmaz. En ağır gaz olarak bilinir.



Şekil 2.7 Dünya genelinde maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değeri.

### 2.2.1.2 Yapay Radyasyon Kaynakları

X-ışınları ve radyoaktif maddelerden hastaların tanı ve tedavisinde radyodiagnostik, nükleer tıp ve radyasyon onkolojisi kliniklerinde yararlanılmaktadır. Diğer yapay radyasyon kaynakları ise zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan x-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç reaktörlerinden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılır.

- Tıbbi uygulamalar

Hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli bir yere sahiptir. Tıbbi uygulamalardan radyasyon ve görüntü bulma, hasta hücre veya tümörlerin yok edilmesi aşamalarında faydalanılır.

- Tanısal radyoloji

X-ışınlarını kullanarak hastanın röntgen filminin çekilerek hastalığın teşhis edilmesi amaçlanır.

- Nükleer tıp

Radyoaktif maddeler vücuda, radyoaktif maddelerin incelenecek doku üzerinde toplanmasını ve belli bir süre burada durmasını sağlayacak bir kimyasal madde ile birleştirilerek verilip organ ve dokuların çalışmaları konusunda bilgi alınması amacıyla kullanılır. Bu radyoaktif maddenin vücut içerisinde nasıl dağıldığı, vücuda verilen radyoaktif maddeden salınan gama ışınlarını algılayan cihazlar ile bulunur.

- Radyoterapi

Genel olarak kanser hastalıklarının %50 'sinin tedavisinde yararlanır. Tedavide genellikle yüksek enerjili elektron hızlandırıcılar ve Co-60 radyoaktif kaynaklı cihazlardan yararlanır. Tedavi edilecek bölgeye, tedavi için yeterli doz verilerek sağlam doku ve organların dozunun minimum düzeyde tutulması ile tedavi amacına ulaşır.

- Endüstriyel uygulamalar

X ve gama ışınları kullanılarak röntgen filmi çekilen endüstriyel ürünlerin, buhar kazanları, makine aksanları, borular gibi herhangi bir hata içerip içermediği tespitinde yararlanır. Bu çalışmalara radyografi denir. Birçok sanayi ürününün yani demir, çelik, lastik, kâğıt, plastik, çimento, şeker gibi üretim aşamasındaki seviye, kalınlık, nem ve yoğunluk ölçümlerinde radyasyondan yararlanır.

Akarsularda debi ölçümü, barajlardaki su kaçaklarının tespiti, yeraltı sularının hareketlerinin takip edilmesi, radyasyondan yararlanılarak mutasyona uğratılmış tohumlar daha verimli ve dayanıklı olması sağlanmaktadır.



- Nükleer serpinti

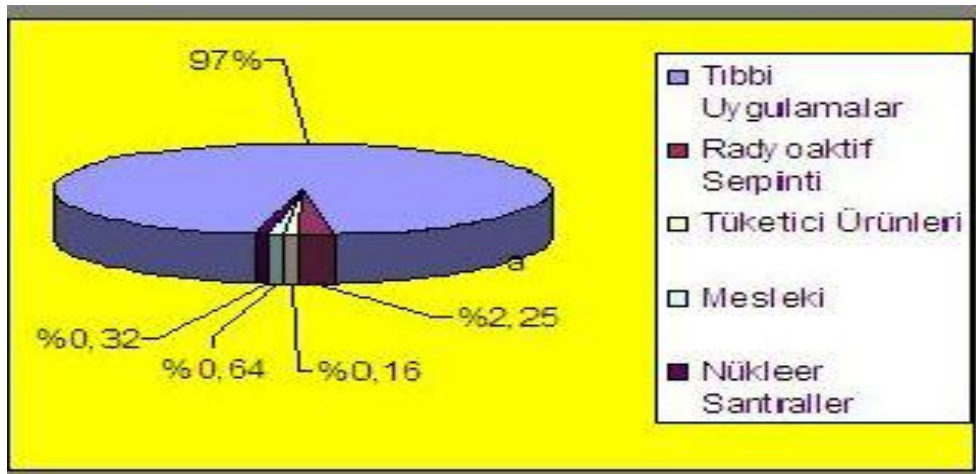
Yeraltında ve yerüstünde gerçekleştirilen nükleer bomba denemeleri sonucunda meydana gelen radyoaktif serpintiler, radyoaktif kirliliğine sebep olan en büyük yapay radyasyon kaynağıdır.

- Nükleer güç santralleri

Uranyum gibi ağır radyoaktif atomların gibi bir nötronun çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesine fisyon denir. Hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomları meydana getirmesi ise füzyon denir. Fisyon ve füzyon olayları sonucunda büyük miktarda enerji açığa çıkar ve bu enerjiye nükleer enerji olarak tanımlanır. Fisyon reaksiyonu ile oluşan enerji elektriğe çevrilir. Güneşteki reaksiyonlar ise füzyona örnektir ve bu reaksiyonun yaymış olduğu sıcaklık fisyon reaksiyonlarından çok daha fazla olduğu için bu sıcaklığı kontrol edebilecek füzyon reaktörünün kurulması yapılamamıştır.

- Tüketici ürünleri

Duman detektörleri, paratonerler ve lüks lambası fitilleri, televizyonlar, fosforlu saatler gibi bazı ürünlerin içerisinde az miktarda da olsa radyoaktif madde yer alır. Kömür ve fosfat kayalarında uranyum, radyum, potasyum-40 ve toryum bulunur.



Şekil 2.8 Yapay radyasyon kaynakları.

## 2.3 Radyoaktif Bozunum Serileri

Radyoaktif bozunum serileri doğal ve yapay bozunum serileri ile olarak ikiye ayrılır ve toplamda dört tane bozunum serisi vardır.

### 2.3.1 Doğal Seriler

Doğal serileri uranyum, toryum ve aktinyum serisi oluşturur. Doğal serinin bazı özellikleri şöyledir.

Doğal serilerin tümünde Pb'nin bir izotopu ile sonlanır. Doğal seriler uzun ömürlü bir element ile başlar ve radon gazının bir izotopu içerirler, her üç serinin bazı elemanları hem alfa hem beta eksi çıkararak bozunuma uğrar. Bu elementler  $Z=81$  ve  $Z=92$  arasındadır.

- Uranyum Serisi:

U-238 ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlarken RaG denilen ve kurşunun bir izotopu olan Pb -206 kararlı bir atomu haline gelir. Bu serinin kütle sayıları  $(4n+2)$  ile gösterilir ( n bir tamsayıdır).

- Toryum Serisi:

Toryum-232 ile başlar. Alfa ve beta yayınlarken Thd denilen kurşunun bir izotopu olan Pb 208 haline gelir. Bu serinin kütle numarası  $(4n)$  ile gösterilir.

- Aktinyum Serisi:

Uranyum-235 başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlarken AcD denilen ve kurşunun bir izotopu olan Pb-207 haline gelir. Bu serinin kütle sayıları  $(4n+3)$  ile gösterilir.

### 2.3.2 Yapay Seriler

- Neptünyum Serisi:

Neptünyum serisi yapay bir seridir. Kütle sayıları  $(4n+1)$  ile gösterilir. Bu seri Plutonyum- 241 ile başlar ve serinin kararlı olan son elementi Bi -209 şeklindedir. Neptünyum bozunum serisinin en uzun ömürlü radyoaktif elementinin yarı ömrü bile dünyanın yaşından daha kısa olmasından dolayı artık doğada yer almaz. Neptünyum serisi gaz üyesi olmayan tek seridir. Neptünyumun atom numarası 93 ve atom ağırlığı 237'dir.

Çizelge 2.1'de toryum, neptünyum, uranyum ve aktinyum elementlerine ait bazı özellikler gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1** Toryum, Neptünyum, Uranyum ve Aktinyum elementlerinin bazı özellikleri (İlhan 2015).

Seri adı	Bozunum zinciri	İlk radyoaktif çekirdek	En son bozunma ürünü olan çekirdek	En kısa yarı ömürlü üye	En uzun yarı ömürlü üye
Toryum Serisi	4n	${}_{90}\text{Th}^{232}$	${}_{82}\text{Pb}^{208}$	$3,04 \times 10^{-7}$ saniye	$1,39 \times 10^{10}$ yıl
Neptünyum Serisi	4n+1	${}_{94}\text{Pu}^{241}$	${}_{83}\text{Bi}^{209}$	$4,2 \times 10^{-6}$ saniye	$2,2 \times 10^6$ yıl
Uranyum Serisi	4n+2	${}_{92}\text{U}^{238}$	${}_{82}\text{Pb}^{206}$	$1,64 \times 10^4$ saniye	$4,51 \times 10^9$ yıl
Aktinyum Serisi	4n+3	${}_{92}\text{U}^{235}$	${}_{82}\text{Pb}^{207}$	21 dakika	$7,13 \times 10^8$ yıl

### 2.4 Radyum

1898 yılında Pierre Curie ve eşi Marie Curie tarafından pechblend (U-308) olarak tanımlanan uranyum minerali üzerinde yapılan çalışmalar sırasında bu maddeden 900 defa daha radyoaktif bir cismin varlığını ortaya çıkarılmış ve bu cismin varlığı radyum olarak tanımlanmıştır.

Atom numarası 88 ve Ra ile gösterilen radyum elementinin doğal kaynağı uranyum ve toryumdur. Kendisi doğal bir element olmayan Radyum elementi sonradan kimyasal yollarla bulunmuştur. Radyum çok nadir bulunan bir metal olup bütün izotopları radyoaktiftir, kararlı izotopu bulunmamaktadır. Radyumun doğal olarak bulunan dört izotopu ise radyum-223, radyum-224, radyum-226 ve radyum-228 (Çizelge2.4). Radyumun izotopları içerisinde doğada en çok yer alan uranyum-238 ve toryum-232 bozunma serilerinin birer üyesi olan radyum-226 ve radyum-228'dir.

**Çizelge 2.2** Radyumun doğal olarak bulunan izotopları.

İzotoplar	Bozunma Serisi	Ana Element	Ürün Element	Yarı Ömür
Ra-228	Th-232	Th-232	Ac-228	5,8 yıl
Ra-226	U-238	Th-230	Rn-222	1620 yıl
Ra-224	Th-232	Th-228	Rn-220	3,66 gün
Ra-223	U-235	Th-227	Rn-219	11,4 gün

Atom yapısında sürekli olarak dönüşüm gösteren radyum elementidir. Bu bozunma sırasında ışın yaydığı gibi helyum ve radon gazı ortaya çıkar. Tepkime sonucunda çok büyük miktarda ısı oluşur. 1 gram radyum 340 kilo kömürün verdiği kadar enerjiye denk gelir.

Radyumun radyoaktif ışınları kanserli hücrelerin yok edilmesi yararlanılır. Günümüzde kanser tedavisi için kullanılsa da radyumdan daha güvenli ve daha güçlü olan Co-60 radyoizotopların kullanılmaktadır.

## 2.5 Radon

### 2.5.1 Radon ve Özellikleri

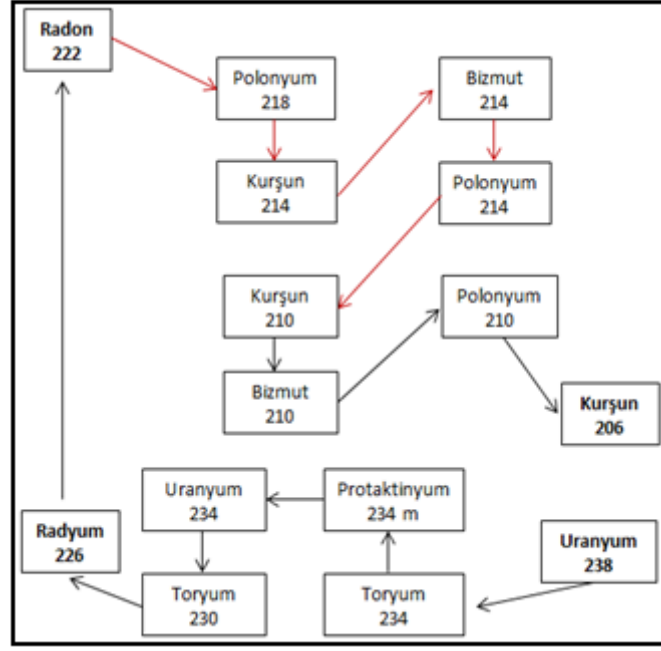
1900 yılında Darn tarafından radon bulunmuş ve radonun havadaki varlığı ise ilk olarak 1901 yılında Elsterve ve Geitel tarafından ortaya konulmuştur. Rn ile gösterilen radonun atom numarası 86'dır. Renksiz, doğada bütünüyle radyoaktif olarak yer alan bir gazdır. Radon, doğada var olan üç temel radyoaktif bozunma serisinin tek gaz ürünü

olanıdır. Bütün doğal malzemelerde bu bozunum zincirlerinin ana atomları yer alabilir. Bundan dolayı radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama verilir (Evans 1969, Duranı 1997). Tüm radyasyon kaynakları içerisinde en yüksek doza maruz kalınan doğal radyasyon kaynağı radondur.

En önemli doğal radyasyon kaynaklarından olan radon yerkürede bulunan U-238 doğal bozunum serisi ürünlerinden olan Ra-226 (Radyum) izotopunun alfa bozunumu yapması sonucunda meydana gelir. Yarı ömrü 3,82 gündür. Radon izotopları olan Rn-220 (Toron) ve Rn-219 (Aktinon) sırasıyla 55 saniye ve 3,9 saniyelik çok kısa yarı ömürlere sahip olduklarından hızla bozunurlar ve bundan dolayı doğal ortamda radona göre oldukça azlardır. Doğal radyasyon dozunun yaklaşık 2,4 mSv 'yi kadarı radon kaynağına insanlar maruz kalır (UNSCEAR 2000).

Radon tek atom şeklinde olup havadan 8 kez hidrojen de ise 100 kez daha ağırdır. Böylece kâğıt, deri, plastik, boya ve yapı malzemeleri gibi materyallere kolayca etki edebilirler. Rn- 22 diğer elementlerle kolayca bağ yapamaz çünkü elektron ilgisinin düşük ve iyonlaşma enerjisinin yüksektir. Ancak elektron ilgisi yüksek olan bazı atomlarla etkileşip karalı bileşikler yapabilir.

Radonun 27 izotopu bulunur. Bu izotoplar içerisinde ki üç temel Rn-222, Rn-220 ve Rn-219 sırasıyla uranyum, toryum ve aktinyum bozunum serilerine ait radyoaktif gazlar olup sırasıyla radon, toron ve aktinyon olarak tanımlanmaktadır. Bu izotopların yarı ömürleri sırasıyla 3,82 gün, 55,8 sn ve 3,96sn ortalama yarı ömürleri ise 5,51 gün, 80,2 sn ve 5,71 sn'dir (Evans 1968, Durrani and Ihic 1997). Rn -220 ve Rn-219'un yarı ömürlerinin çok kısa olmasından dolayı ortam havasına karışarak oluşturabilecekleri konsantrasyonlar düşüktür. Rn- 222, Uranyum ailesinin bir elemanı olup doğal radyasyon kaynakları içerisinde 4,5 milyar yıl yarı ömre sahiptir. Uranyum serisi içinde yer alan Rn- 22 ve bozunum ürünleri Şekil 2.92 de gösterilmiş ve U-238 elementinin doğada diğer radyoaktif elementlere göre daha yüksek konsantrasyonlara sahip olmasından dolayı yalnızca Rn- 222 atmosferde önemli yoğunluklar oluşturmaktadır.



Şekil 2.9 Uranyum ( $^{238}\text{U}$ ) bozunma zinciri (İlhan 2015).

### 2.5.2 Radonun Bulunduğu Yerler

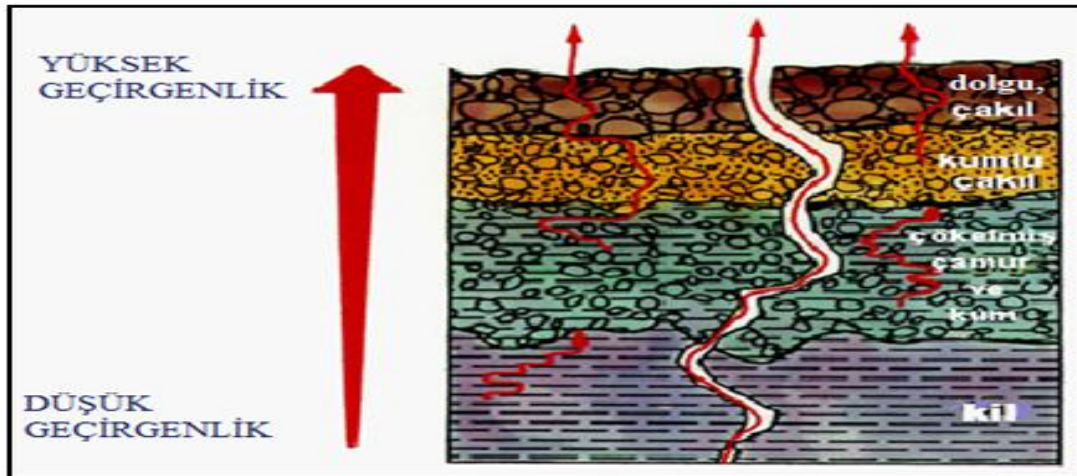
Ana kaynağı yerküre olan radonunu dünya yüzeyinde yaklaşık 100 ton bulunduğu düşünülmektedir (Saç ve Cangöz 2005). Radon biyosfer tabakasında serbest halde gezer. Radon difüzyon ve çözülme yoluyla atmosfere kolaylıkla ulaşır. Radonun atmosfere ulaştığı süreçte uranyum konsantrasyonuna bağlı olarak toprakta, sularda, bina içi ve bina dışındaki atmosferde ve ayrıca binalarda kullanılan yapı malzemelerinde değişik yoğunluklarda ortaya çıkabilir (ICRP 2014).

### 2.5.3 Toprakta Radon

Yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde gömülü olan uranyumun bozunumu ile radon yeryüzünde bir yoğunluğa neden olur. Toprak gazının olduğu yerde toprak parçacıkları ya da minareleri arasında difüzyonla Rn-222 atomları serbest hale gelirler (Kito *et al.* 1996). Radon gazı doğal bozunum sürecinin bir parçası olarak ortaya çıkar. Çevreye yayılımı bulunduğu bölgenin jeolojik yapısıyla ilişkili olarak değişir. Toprak karakteristiklerine ve basınca bağlı olarak toprakta bulunan ve havaya sızan radon miktarı değişim gösterir (Akyıldırım 2005, Kulalı 2009).

Coğrafi yerleşim radon konsantrasyonları için öneme sahiptir. Radon konsantrasyonu adalar ve Kutup Bölgesi gibi radon çıkışını sağlayan toprağın azaldığı yerleşim bölgelerinde, azdır (Iakovleva *et al.* 2003). Radon varlığı ve radon göçü toprakta oluşan radonun atmosfere çıkmasında önemli olan iki etkidir. Radonun varlığı; radyum bozunumundan radon meydana gelmesi ve bu radonun gözeneklere geçmesidir. Yani toprağın radon kaynağı olarak potansiyelini belirleyen süreç radon varlığıdır. Toprakta oluşan radonun atmosfere çıkmasında önemli olan radon göçü ise, topraktan yapılara ve atmosfere kadar olan radon hareketini tanımlamaktadır

Radon, uranyumun bulunduğu tüm kayalardan ve topraktan gelir. Gaz olmasından dolayı toprak içinde bulunan uranyum ve radyumdan daha çok hareket halindedir. Gaz olması ve gözenekler içerisinde serbestçe hareket edebilmesi sebebiyle uzun mesafeler kat edebilir ve atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Toprak tanecikleri arasındaki gözeneklerde bulunan su yardımı ile radonun toprak içerisindeki hızı kontrol edilir. Toprağın suyu ve havayı geçirme kabiliyeti 'geçirgenlik' olarak adlandırılır. Geçirgenlik, toprağın nemli olup olmadığına ve topraktaki gözeneklerin oranına bağlıdır. Şekil 2.10'da farklı toprak türlerindeki radon geçirgenlik oranları gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Toprağın cinsine göre radon geçirgenliği (İlhan 2015).

Doğal radyoaktif olan radon toprakta yüksek miktarda bulunur. Radon kapalı ortamlardan veya radyoaktif su kaynaklarında oluşan çatlaklardan sızabilmekte ve

çözünme özelliğinden dolayı suyla taşınabilmektedir. Toprakta radon salınım bazı etkenlere bağlı olarak değişir.

- ✓ Toprak ve kayacın sıcaklığına, havanın basıncına, rüzgârın hızına ve yönüne göre
- ✓ Toprağın durumuna (kuruluk, suyla tıkanmış olma, donma, karla örtülü olma)
- ✓ Toprağın geçirgenliğine
- ✓ Bölgenin yüksekliği ile değişim gösterir.

Ayrıca:

- ✓ Yeraltı suları
- ✓ Doğal gazlar
- ✓ Kömür
- ✓ Okyanuslar sınırlı sayıda olsa radon salınımı yapabilmektedir.

Bazı bölgelerde salınım bakımından radon gazı değişiklikler göstermektedir. Zamana bağlı olarak aynı yerleşim bölgelerinde değişiklik gösterebilir. En önemli radon salınım nedenlerinden birisi yeraltı kayalarındaki uranyum derişimi olmaktadır. Granit ve volkanik topraklar, tortul şistlerden önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Sedimanter topraklarda ise radon konsantrasyonu düşüktür. Az miktarda olsa da bazı tebeşir çökelti bölgelerinde de radon bulunmaktadır.

#### **2.5.4 Radon-Deprem İlişkisi**

Yerkabuğu içindeki tektonik hareketler nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzeyini sarsma olayına "deprem" denir.

Doğada var olan tek radyoaktif gaz olmasından dolayı radon içinde bulunduğu ortam kayaç, su veya gaz olsun, kimyasal reaksiyona girmemekte, sadece fiziksel mekanizmalarla etkileşim halindedir. Yarılanma ömrü insan hayatına göre kısa olmasına rağmen yerkabuğunda gelişen dinamik süreçler hakkında yararlı bilgiler taşıyabilmesi açısından yeterli bir süredir (Monnin and Seidel 1992). Radon deprem



öncesi birikmeye başlayan veya deprem sonrası serbest kalan stres yerkabuğu içindeki gerilim alanını etkilemektedir (Fleischer 1981).

Yer kabuğunun elastik olduğu kabul edilirse, gerilimindeki bu değişimin uzun mesafeler boyunca yayılması beklenir. Bu açılardan, sismik etkinlik öncesi yerkabuğunda meydana gelen değişimlerin, yine yerkabuğundan kaynaklanan radon gazı konsantrasyonlarının izlenerek tespit edilebileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Birkaç değişik teori ile radon gazının deprem öncesinde değişimine neden olan mekanizma açıklanmıştır. Deprem öncesinde yerkabuğunun derinlerinde yoğunlaşan radon gazının kabukta meydana gelen sıkışmadan dolayı yüzeye doğru itilmesinden ileri geldiğini ileri süren sıkışma modeli bunlardan bir tanesidir (King 1978, Wattananikom *et al.* 1998). Yerkabuğunda tektonik stresin artmasıyla kayaçlarda genleşme görülür. Genleşmenin etkisi ile ortaya çıkan kırılmalar veya gözenek sularının atılması şeklinde belirtilen genişleme-difüzyon (dilatancy-diffusion) modeli bir diğer teoridir (Scholz *et al.* 1973).

Deprem öncesinde yer kabuğunda meydana gelen değişimlerin radon gazı ile tespit edilmeye çalışılması ve bu yöntem ile deprem tahmin çalışmaları 1966 yılında Taşkent (Özbekistan) depremi öncesi, sırası ve sonrasında toplanmış olan veriler neticesinde yaygınlaşmıştır. 1956 yılından başlayarak uzun yıllar boyunca Taşkent'te yer alan derin artezyen kuyularında toplanan su örneklerinin radon gazı konsantrasyonları ölçümleri yapılmıştır. 1966 yılındaki deprem (M=5,3) öncesinde uzun bir zaman radon gazı konsantrasyon artışı görülmüştür. Burada elde edilen ölçümler neticesinde radon gazı ile sismik aktivite arasındaki ilişki dünyada başta ABD, Rusya, Çin ve Japonya gibi ülkelerde, ilgi gören bir araştırma konusu haline gelmiştir. 1975 Haicheng (Çin) depremi (M=7,3) Dünyada insanların resmi olarak uyguladığı ve can kaybının önlendiği tek deprem tahminidir. Burada da pek çok parametre yanında yeraltı sularında radon gazı ölçümleri yapılmış ve başarılı sonuç elde edilmiştir.

Türkiye' de ise toprak radon gazı ile sismik aktivite arasındaki ilişkiye yönelik olarak yapılan çalışmalara, Göksel vd. (1987), Friedmann vd. (1988), Woith vd. (1989), İnan vd. (2003), Saç ve Camgöz (2005), İnan vd. (2008), İnan vd. (2010), İnan ve Seyis (2010), İnan vd. (2012a), İnan vd. (2012b), Kop vd. (2013) örnek gösterilebilir. Radon

gazı konsantrasyon değişimi ile sismik aktivite arasında bir ilişki olduğunu ortaya koyan pek çok çalışma vardır. Bunun yanında deprem öncesi gözlenen radon anomalilerinin mekanizma ve kökenine yönelik birçok matematiksel model ve laboratuvar çalışması da bulunmaktadır. Ancak bu ilişki henüz güvenilir bir metod olarak kullanılabilir olacak Şekilde ortaya konulamamıştır. Yapılan farklı çalışmalarda topraktaki radon gazı ile sismik aktivite arasında korelasyon elde edilemeyen gözlemler de yer almaktadır. Tektonik blok farklılıkları ( İnan *et al.* 2012a) lm cihazı-yöntemi farklılık ve hataları, seçilen ölüm yerinin konumu ve zaman içinde sismik etkinliğine karşı duyarlılığının değişimi, meydana gelen depremlerin mesafe-büyüklük-derinlik ve karakter farklılıkları, radon gazının yerin derinliklerindeki hareketinin tüm ayrıntıları ile henüz bilinmemesi gibi parametrelerin elde edilen farklı sonuçlar üzerinde etkili olduğu dşnlmektedir.

### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1 Deneysel Çalışmalar**

Akşehir fay hattı üzerinde ve civarında yer alan 10 farklı noktada toprakta radon aktivite konsantrasyonunu belirlemek ve radon konsantrasyonlarındaki değişim ile fay ve uzaklık arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Bu amaçla, belirlenen noktalarda beş ay boyunca aylık periyotlarla radon gazı aktivite konsantrasyonu ölçümleri yapılmıştır.

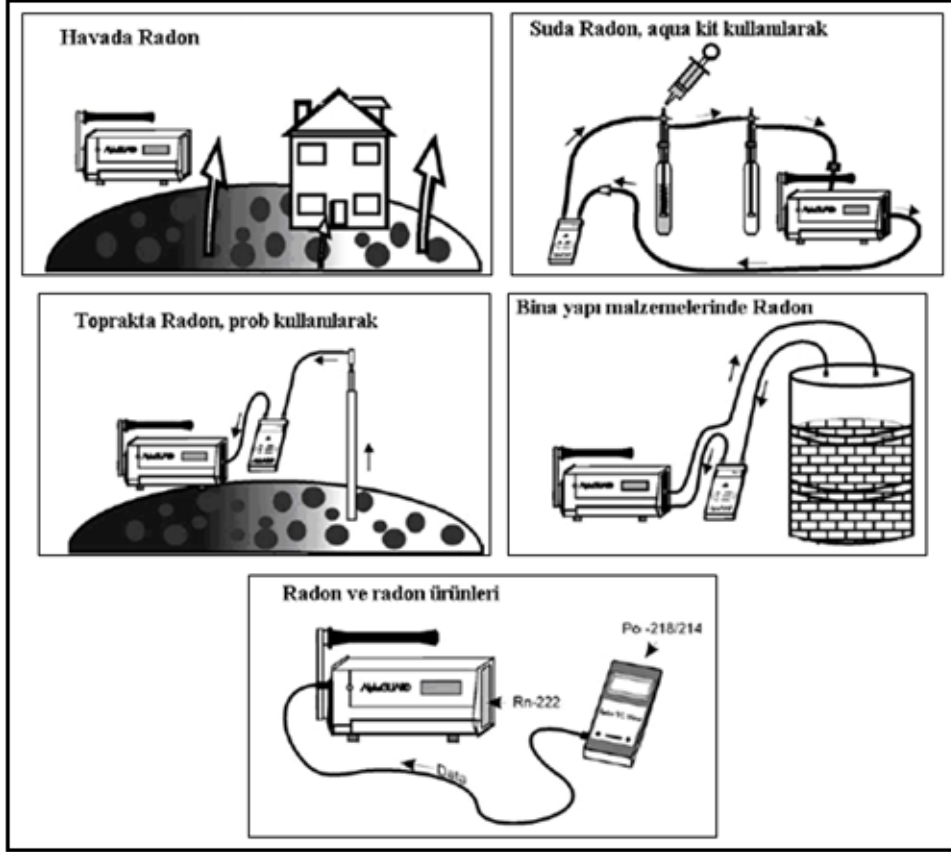
#### **3.2 Çalışmada Kullanılan Radon Ölçüm Sistemi**

Toprak gazında radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri Genitron marka AlphaGUARD PQ2000 PRO radon detektör sistemi kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan detektör sistemi hakkında ayrıntılı bilgi İlhan (2015), tarafından verilmiş olup burada kısaca özetlenecektir.

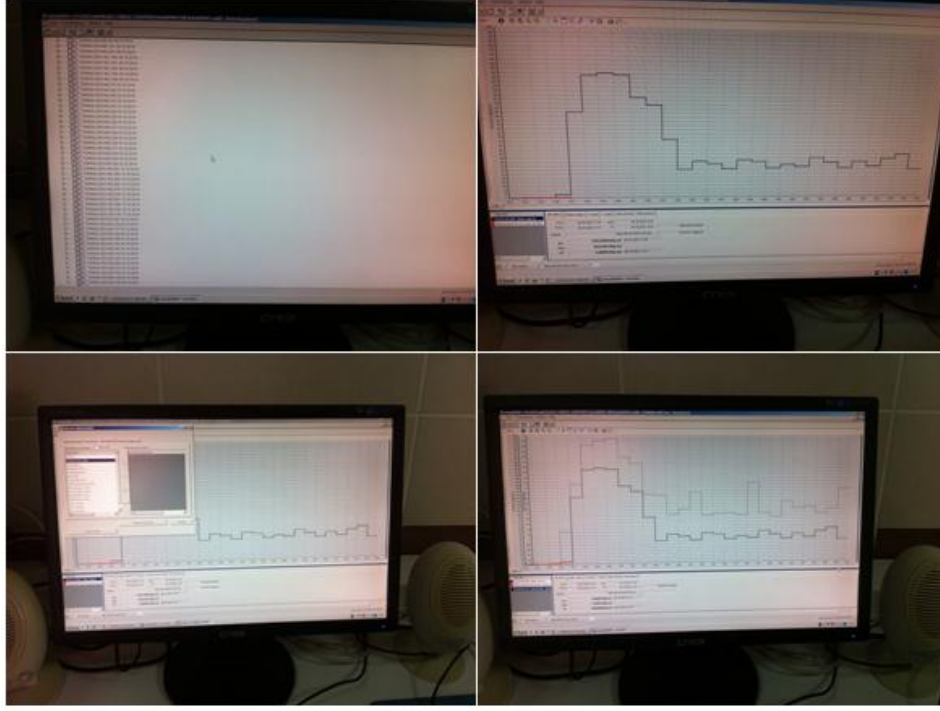
##### **3.2.1 AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Detektör Sistemi**

Radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri için kullanılan AlphaGUARD PQ2000 PRO radon ve radonun bozunum ürünlerinin radyasyon konsantrasyonları ve gama doz oranı ölçmek için kullanılan taşınabilir bir radyasyon ölçüm detektörüdür ve detektör ile başka bir aparata ihtiyaç duyulmadan havada, AquaKIT aparatı ile suda, toprak gazı sondası (Soil Gas Probe) ile toprak gazında ve yapı malzemelerinde radon aktivite konsantrasyonu ölçülebilmektedir (Şekil 3.1). Bu ölçümleri yapabilmek için kalibrasyonu sağlayan Alpha PUMP cihazına ihtiyaç duyulmaktadır. Öte yandan, bu ölçümlerle eş zamanlı olarak sıcaklık, atmosfer basıncı ve nem oranı gibi üç farklı meteorolojik parametreyi de ölçmek için kullanılabilir (Genitron 2008). Elde edilen verilerin bilgisayar ortamında grafiksel olarak işlenmesi, geliştirilmesi, arşivlenmesi ve sanal ortamda sunulması AlphaGUARD cihazı için geliştirilmiş olan farklı yazılımlar mevcuttur. Bu yazılımlar AlphaVIEW, AlphaEXPERT ve DataEXPERT'tir. Bu çalışmada verilerin elde edilmesi için DataEXPERT yazılımı

kullanılmıştır. DataEXPERT programı ile AlphaGUARD'ın ölçtüğü radon aktivite konsantrasyonu ve standart hata verilerinin bilgisayar ekran görüntüleri Resim 3.1' gösterilmektedir.



Şekil 3.1 AlphaGUARD radon detektör sisteminin kullanım alanları (İlhan 2015).



**Resim 3.1**DataEXPERT programı ile AlphaGUARD'ın ölçtüğü radon aktivite konsantrasyonu ve hata oranı verilerinin bilgisayar ekranında görüntülenmesi.

### 3.2.2 AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Detektörü Yapısı

AlphaGUARD PQ2000 PRO radon detektörünün yapısı iki kısma ayrılarak incelenebilir:

- Detektörün dış yapısı:

AlphaGUARD PQ2000 PRO detektörünün dış gövdesi dayanıklı alüminyum malzemeden yapılmıştır. Bu dış gövde içerisine detektörün ölçüm yapmasını sağlayan ölçüm ve elektronik aksam bileşenleri konulmuştur. Resim 3.2 AlphaGUARD PQ2000 PRO cihazının üstten görünüşü gösterilmektedir (Saphymo *et al.* 1998, 2001, 2014).

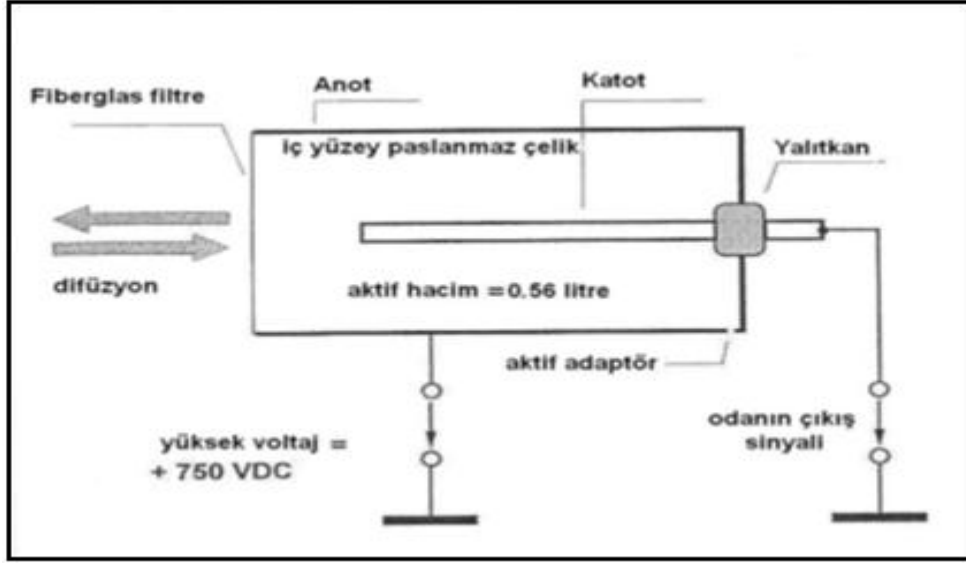


**Resim 3.2** AlphaGUARD'ın üstten görünümü.

- Detektörün içyapısı:

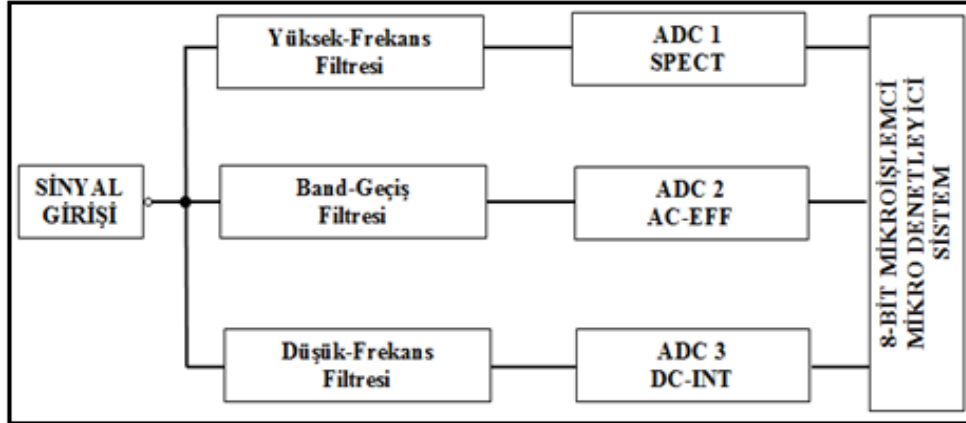
AlphaGUARD detektörünün içyapısında, ölçüm yapılmasını sağlayan iyonizasyon çemberi ve bu iyonizasyon odasından gelen sinyalleri işleyip sayısal verilere dönüştüren sinyal işleme birimi DSP (Digital Signal Processing-Sayısal Sinyal İşleme) bulunur.

AlphaGUARD radon detektörünün silindirik iyonizasyon çemberinin 0,56 litrelik bir etkin hacmi vardır. Cihaz çalıştırıldığında iyonizasyon çemberinin metalik iç kısmı 750 voltluk potansiyel farka sahip olur ve detektörün anot kutbu görevini yerine getirir. Katot kutbu ise detektörün merkezinde yatay eksen olarak adlandırılabilir paslanmaz çelikten yapılmış çubuktur. Detektör etkin hacmi içerisinde anot ve katot arasındaki 750 voltluk gerilim farkı nedeniyle meydana gelen iyonizasyon sonucu ortaya çıkan iyonlardan – yüklü olanlar (katyon) anoda, + yüklü olanlar (anyon) ise katoda doğru hareket ederler. Yüklerin bu hareketlerinden dolayı bir akım meydana gelir ve bu akımda AlphaGUARD'ın elektronik birimi tarafından anlamlı verilere çevrilir. AlphaGUARD'ın atma iyonizasyon odasının şematik çizimi Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 AlphaGUARD atma iyonizasyon odasının şematik gösterimi (Kulalı 2009).

AlphaGUARD detektörünün iç yapısının bir diğer temel bileşeni de elektrik sinyallerine dönüştürülen radon verilerini alıp işleyen elektronik birimdir. Sayısal sinyal işleme (Digital Signal Processing-DSP) biriminde birbirinden bağımsız üç sinyal işleme kanalı bulunur. Bu şekilde, detektörden gelen her ön yükseltici sinyali üç farklı kompleks özelliğe göre eş zamanlı olarak analiz edilebilir (Şekil 3.3).



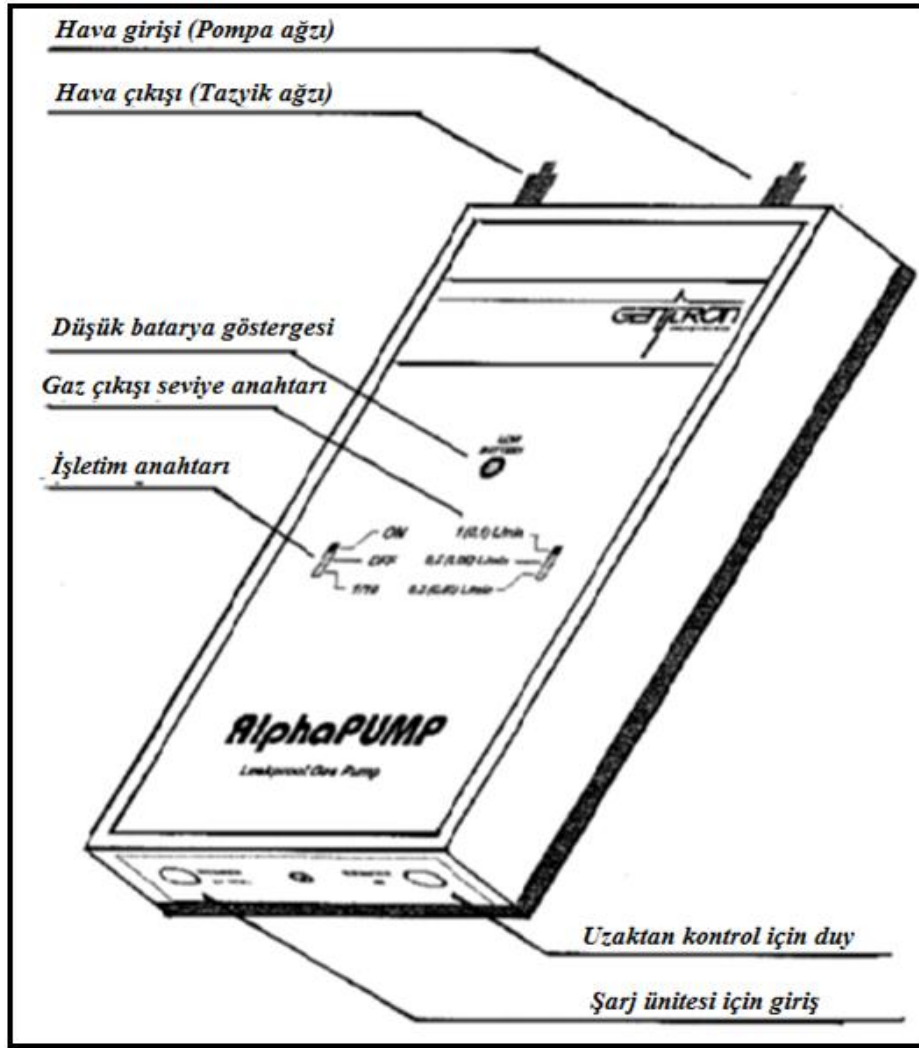
Şekil 3.3 DSP biriminin blok diyagramı (Akyıldırım 2005).

### 3.2.3 AlphaPUMP

AlphaPUMP aparatı ile AlphaGUARD detektörüne gönderilmek istenilen gaz miktarı ayarlanmaktadır. Bu pompanın üst kısmında iki anahtar ve düşük batarya göstergesi yer

almaktadır. Anahtarlardan biri açık, kapalı ve 1/10 modlarını içerir. Eğer bu anahtar 1/10 modunda ise onda bir performansla yani zaman biriminin onda birini açık, onda dokuzunu kapalı olarak kullanmaktadır.

Diğer anahtar ise AlphaGUARD detektörüne pompalanacak gaz miktarını dakikada 1; 0,5 ve 0,3 litre olarak ayarlayan modları içerir. Şekil 3.4'te AlphaPUMP aparatının şematiki gösterilmektedir (Saphymo *et al.* 1998, 2001, 2014).



Şekil 3.4 AlphaPUMP şematiki gösterimi.



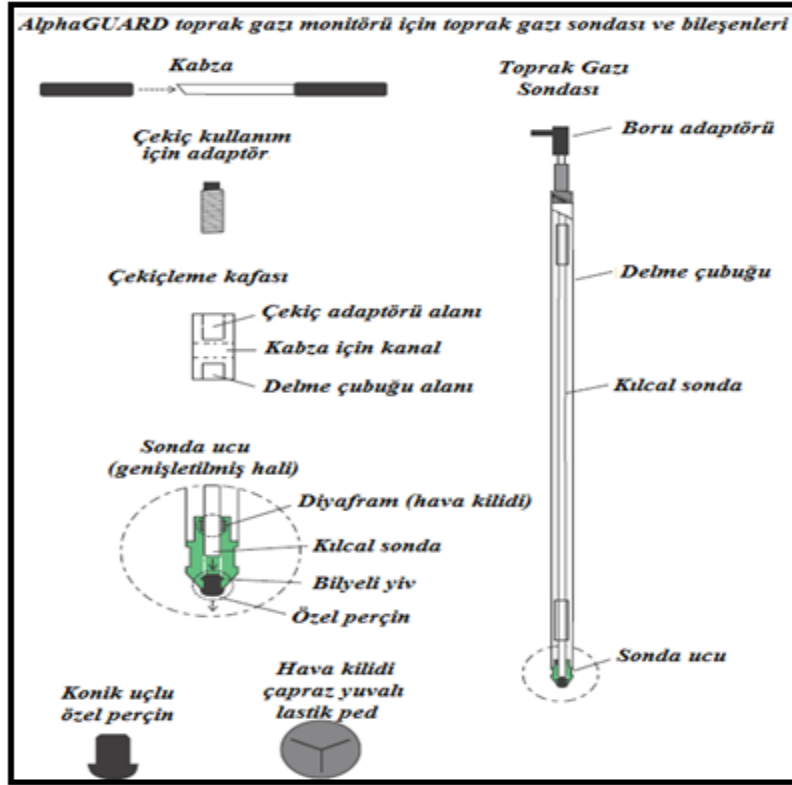
### **3.2.4 DataEXPERT Programı**

Ölçümler sonucu elde edilen verilerin bilgisayar ortamında grafiksel olarak işlenmesi, geliştirilmesi, arşivlenmesi ve sanal ortamda sunulması için AlphaGUARD cihazı için geliştirilen çeşitli yazılım paketleri vardır. Bu yazılımlar AlphaVIEW, AlphaEXPERT ve en son geliştirilmiş olan DataEXPERT yazılımlarıdır.

Bu çalışmada AlphaGUARD detektörü ile yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması için DataEXPERT yazılım programı kullanılmıştır.

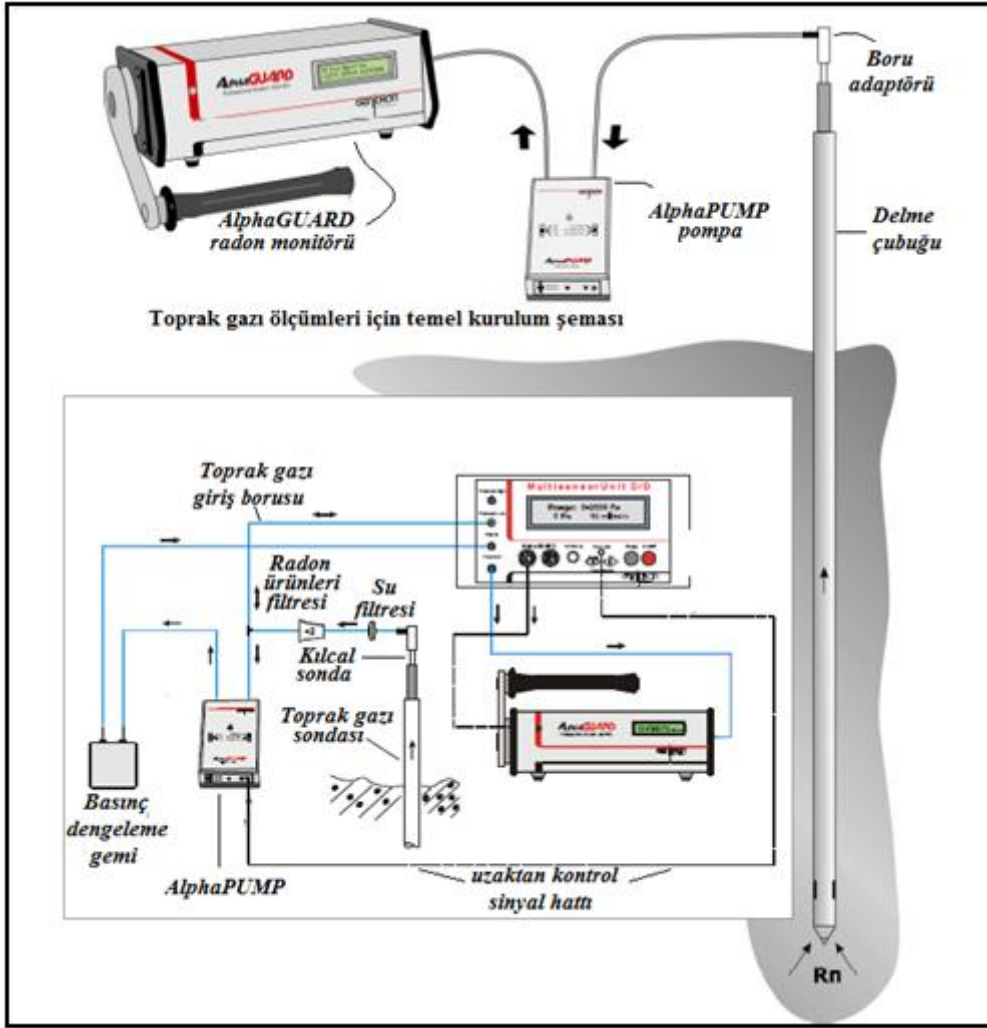
### **3.2.5 AlphaGUARD PQ2000 PRO Detektörü ile Toprakta Radon Aktivite Konsantrasyonu Ölçümü**

Bu çalışmada, toprak gazında radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri aylık periyotlarla tekrarlanarak altı ay boyunca devam ettirilmiştir. Ölçümler AlphaGUARD 2000PRO PQ detektörü kullanılarak yapılmıştır. Bunun için AlphaGUARD detektörünün 1 m uzunluktaki demir çubuk ve kılcal sondadan oluşan toprak gazı aparatı ile birlikte kullanılması gerekmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Toprak gazı sondası ve bileşenleri (İlhan 2015).

Ölçüm yapılacak derinlikte (~70 cm) delik açılıp toprak gazı sondası yerleştirilir ve gaz AlphaPUMP vasıtasıyla AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberine pompalanır. Ölçüm düzeneği şematik olarak Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Toprak gazının iyonizasyon çemberine alınması için Alpha PUMP üzerindeki birinci anahtar "ON" konumuna, diğer anahtar ise "1 L/min" konumuna getirilerek 5 dakika boyunca, dakikada 1 litre gaz pompalanmıştır. AlphaGUARD menüsünden ise 1 min FLOW seçilerek 1 dakikalık periyotta ölçülen radon aktivite konsantrasyonunun kaydedilmesi sağlanmıştır. Her noktada 10 dakikalık ölçümler yapılarak ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri elde edilmiştir.

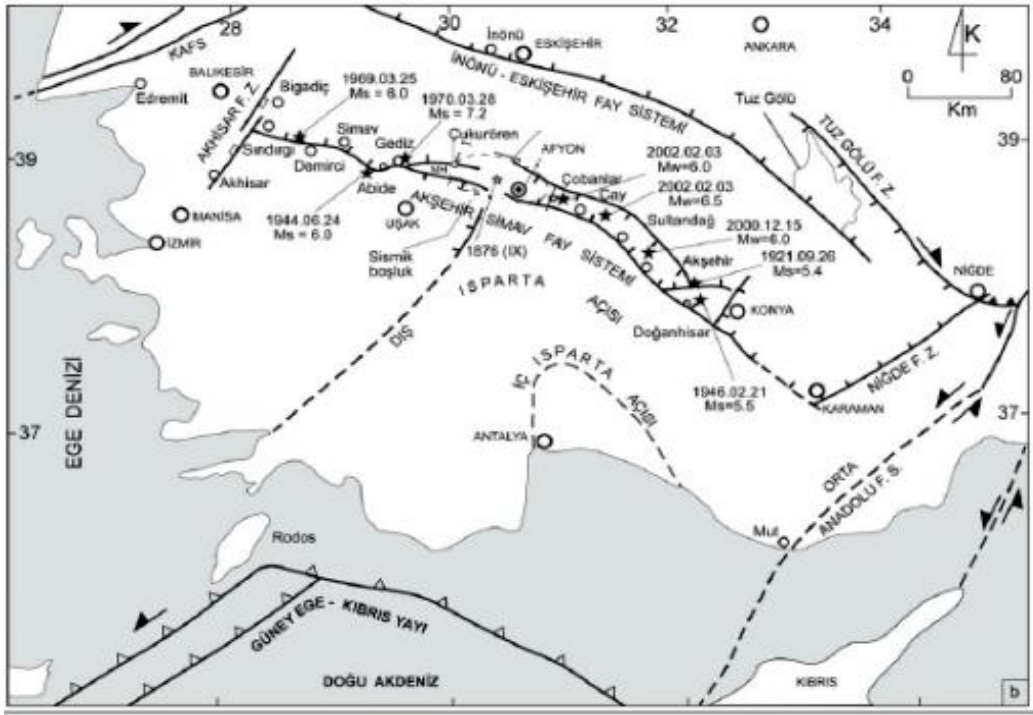


Şekil 3.6 Toprak gazı ölçümleri için temel kurulum şeması (İlhan 2015).

### 3.3 İnceleme Alanının Jeolojisi

İç-Batı Anadolu bölgesinde yer alan Afyonkarahisar ilinin tamamı 1. ve 2. dereceden deprem kuşağı içinde bulunmaktadır. En önemli diri fay Akşehir-Sultandağı-Çay ilçeleri boyunca bölgeyi kateden, ilk olarak Koçyiğit vd. (2000) tarafından adlandırılan ve özellikleri incelenen eğim atımlı normal fay olan Akşehir- Simav Fay Sistemi (AFS)'dir (Koçyiğit *et al* 2000, 2007 ). İnceleme alanı, Güneybatı Türkiye'de genişlemeli neotektonik bölgede yer almakta olup, bu bölgeyi karakterize eden Neotektonik yapılardan biri olan Akşehir-Simav fay sisteminin orta kesimini oluşturur (Koçyiğit *et al.* 2005). Ayrıca Batı Anadolu Graben sistemi ile Orta Anadolu Ova rejimi arasındaki geçiş bölgesinde bulunan inceleme alanı (Şengör *et al.* 1985), tektonik açıdan

Anadolu'da Anatolidler içinde yer alır ve Anatolidlerin güneyinde Toridlerin sınırındadır (Ketin 1966). Bölgenin tektonik haritası Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 İncelenen bölgenin ve çevresinin fay haritası (Koçyiğit vd. 2005).

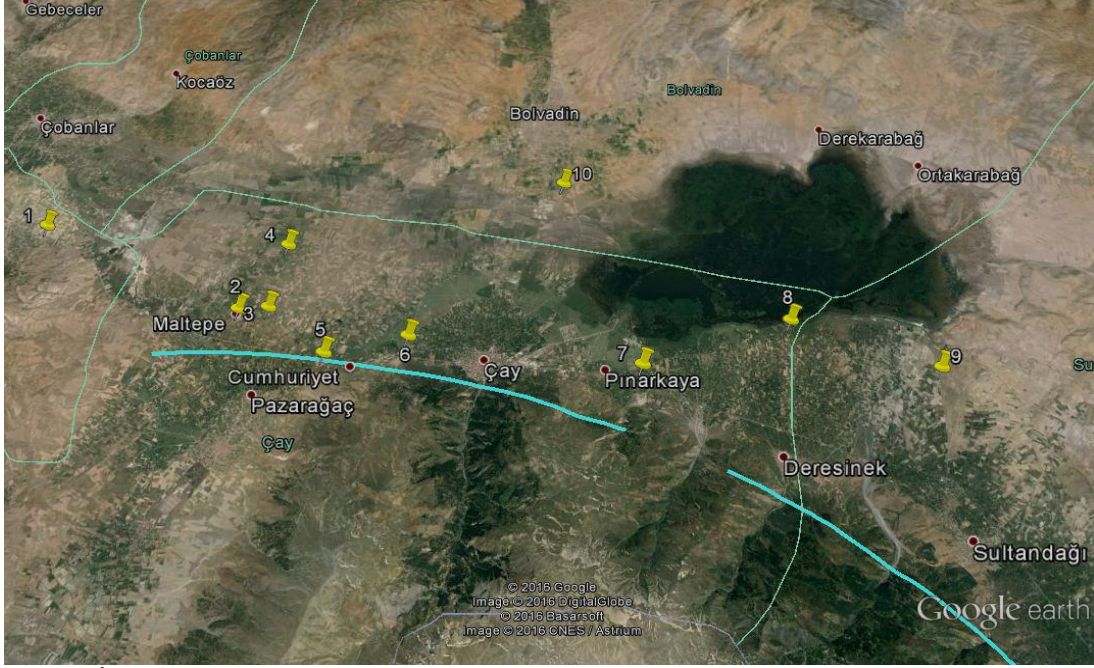
Akarçay Havzası olarak da bilinen inceleme alanında, Paleozoyikten Kuvaterner'e kadar olan değişik jeolojik dönemlerde oluşmuş kayaç toplulukları bulunmaktadır. Metin vd. (1987), Erkan vd. (1996), Yalçinkaya vd. (1986), Demirkol vd. (1977), Kibici vd. (2001), inceleme alanının içinde bulunduğu Afyonkarahisar ve çevresini jeolojik açıdan üç ana birliğe ayırmışlardır. Bunlar; Sultandağları Kesimi (Toros Kuşağı), Afyon'un Kuzey Kesimi (İç Toros Kuşağı) ve Sandıklı'nın Kuzey Kesimi'dir. Güneybatı Türkiye'nin genişlemeli Neotektonik rejiminin etkisi altında kalan inceleme alanındaki en önemli tektonik yapı, Afyon–Akşehir Grabeni (AAG) ve bu grabenin kenar faylarıdır.

Bu çalışmada, Akşehir fay hattı üzerinde ve civarında yer alan 10 farklı noktada 5 ay boyunca aylık periyotlar ile toprakta radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Ölçüm yapılan 10 nokta ve konumları şu şekildedir (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3.1** Ölçüm yapılan nokta ve konumları.

Toprak ölçümünün yapıldan noktalara verilen numaralar	Ölçüm yapılan noktaların enlem ve boylam bilgileri	Ölçüm yapılan noktalar
1	38°38'28.65" 30°48'29.88"	Total Benzin İstasyonu
2	38°36'24.79" 30°54'35.79"	Maltepe Köyü
3	38°36'29.58" 30°55'23.74"	Kadıköy Zifli Mevki
4	38°38'12.59" 30°55'32.61"	Kadıköy Başel Mahallesi
5	38°35'24.69" 30°57'16.80"	Opet Benzin İstasyonu
6	38°35'53.44" 30°59'18.61"	Çay-Ali Kaleli Mahallesi
7	38°35'24.19" 31° 5'42.97"	Çayırpınar
8	38°36'39.91" 31° 9'46.51"	Yakasenek-Oğuz Mahallesi
9	38°35'39.17" 31°13'43.05"	Alara Meyve Bahçesi
10	38°40'19.67" 31°3'21.38"	Bolvadin

Afyonkarahisar'daki fayları ve toprakta ölçüm yapılan 10 noktayı gösteren uydu görüntüsü Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 İncelenen bölgenin uydu görüntüsü.

Bu çalışmada toprakta radon konsantrasyonu değerleri AlphaGUARDPQ 2000PRO radon detektörü kullanılarak belirlendi. AlphaGUARD cihazı ile toprakta ölçüm yapmak için yüzeyden 70 cm derinlikte olacak şekilde, dik olarak yerleştirilen demir çubuk ve içine yerleştirilen kılcal sonda kullanılmıştır.

### 3.4 Ölçümlerin Alınması

Ölçümlerin alınması için çalışma alanına Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörlüğünden temin edilen arazi aracı ile gidilmiştir. Ölçümler Ağustos 2015 tarihinde başlayıp Aralık 2015 tarihinde bitmiştir. Ölçümlerin alındığı günlerin akşamında elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması için Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı kullanılmıştır.

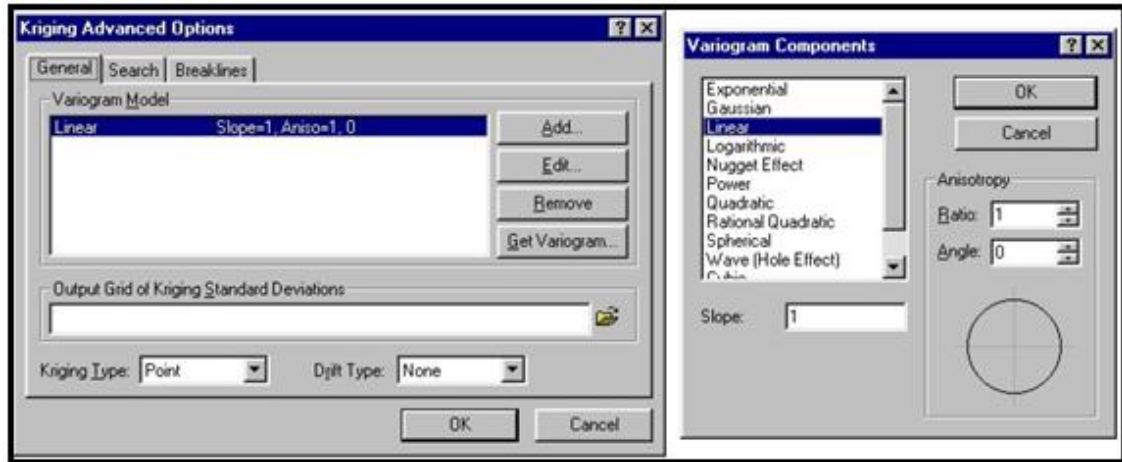
Bu çalışmada toprakta radon konsantrasyonu değerleri AlphaGUARDPQ 2000PRO radon dedektörü kullanılarak belirlendi. AlphaGUARD cihazı ile toprakta ölçüm yapmak için yüzeyden 70 cm derinlikte olacak şekilde, dik olarak yerleştirilen demir çubuk ve içine yerleştirilen kılcal sonda kullanılmıştır. 10 noktada AlphaGUARD PQ2000 PRO radon

dedektör cihazı ile elde edilen verilerin ilgili formüllerde hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

### 3.5 Radon Aktivite Konsantrasyonunun Dağılım Haritasının Hazırlanması

Bu tez çalışmasında yer alan kontur haritaları Surfer 11 yazılımı ve Kriging yönteminden yararlanılmıştır. Surfer yazılımı; gelişigüzel dağılmış verilerin gridlenmesinde, kontur haritalarının çizdirilmesinde ve 3-boyutlu görüntüler elde edilmesi amaçlanır (Polat 2002).

Kriging, yer bilimciler tarafından en çok tercih edilen ve yer bilimlerinin bütün meslek dallarında başarıyla uygulanan bir gridleme yöntemidir. Bu yöntem düzensiz verilerden, güvenilir iki ve üç boyutlu haritaların elde edilmesine olanak sağlar. Kriging yönteminde XYZ verisinden doğruluk payı yüksek bir grid alanı elde etmek için gerekli olan parametreler önceden tanımlandığından, Surfer yazılımının default (temel) gridleme yöntemidir. Herhangi bir değişikliğin yapılmasına gerek olmadan, direkt olarak verinin gridlenmesi işlemi hemen başlatılabilir. Fakat istenildiği takdirde gridleme işlemi kullanıcının kontrolünde yapılabilir ve bunun için Şekil 3.9’da gösterilen “Advanced Options” ikonuna basılır (Polat 2002).



Şekil 3.9 Kriging gridleme yönteminde “Advanced Options” penceresi (Polat 2002)

Kriging yöntemi bazı parametreleri default olarak kabul eder. Bunlara örnek olarak “Nokta (Point)” ve “Sıradan (Ordinary, No Drift Type)” gridleme seçenekleri

verilebilir. Kriging, daha önceden “Variogram (Varyans Grafiği)” ile hazırlanan bir modeli baz alarak yeniden gridleme yapabilir. Bunun yapılabilmesi için önceden hazırlanan modele kaydedilmiş XYZ verisinin “Get Variogram” ile çağrılması gerekmektedir. “Add” ikonuna basılarak, gridleme için Eksponansiyel, Gauss dağılımı, Lineer, Logaritmik gibi birden fazla Variogram modeli önerilebilir ve “Edit” ile de önerilen modellerde değişiklik yapılabilir. Bu değişikliklerden sonra oluşacak yeni standart sapmalarla yapılan gridleme işlemi grd uzantısı olarak çıkış dosyasına kaydedilebilir (Polat 2002).

Gridleme için “Point (Nokta) Kriging” yöntemi dışında “Block (Blok) Kriging” gridleme yöntemi de seçilebilir. Her iki yöntemde interpolasyonla gridleme yapar. “Point” yönteminde grid alanları üzerinde bulunan tahmini noktalar, “Block” yönteminde ise her grid alanının etrafında dikdörtgen bir blok oluşturularak sadece bu bloğun içindeki tahmini noktaların ortalaması gridleme işlemine girer (Polat 2002).

“Sıradan” veya “Evrensel” Kriging algoritmaları, verinin gelişi-güzel olmasına göre “None”, veride belirli bir eğilimin olmasına göre ise “Linear” veya “Quadratic” olarak tercih edilir. “Search” alt penceresi içinde, istenen kriterleri sağlayan veri noktalarının, veri içinde aranması veya verinin tamamına uygulanması amaçlanır (Polat 2002).



## 4. BULGULAR

### 4.1 Radon Aktivite Konsantrasyonu Değerleri

Bu çalışmada, Akşehir fay hattı üzerinde ve civarında yer alan 10 farklı noktada toprakta radon aktivite konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla Ağustos 2015 - Aralık 2015 tarihleri arasında 10 noktada ölçümler yapılmış olup, en küçük radon aktivite konsantrasyonu değeri  $5,36 \text{ kBq/m}^3$ , en yüksek radon aktivite konsantrasyonu ise  $47,62 \text{ kBq/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Ölçüm yapılan noktalarda elde edilen radon aktivite konsantrasyonu ve hata değerleri Çizelge 4.1- 4.10'da verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Bir nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri.

ÖLÇÜM NOKTASI	TARİH	Rn(kBq/m <sup>3</sup> )	Rn Hata(kBq/m <sup>3</sup> )
	04.08.2015	37,46	2,7
	15.09.2015	40,28	2,46
	31.10.2015	14,80	2,11
Total Benzin İstasyonu	25.11.2015	36,62	2,44
	22.12.2015	29,69	1,98
		Ort=31,77	Ort=2,338

**Çizelge 4.2** İki nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri.

ÖLÇÜM NOKTASI	TARİH	Rn(kBq/m <sup>3</sup> )	Rn Hata(kBq/m <sup>3</sup> )
	04.08.2015	27,98	3,01
	15.09.2015	23,81	2,64
Maltepe Köyü	31.10.2015	30,46	2,81
	25.11.2015	22,80	3,05
	22.12.2015	28,25	2,90
		Ort=26,66	Ort=2,882

**Çizelge 4.3** Üç nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri.

<b>ÖLÇÜM NOKTASI</b>	<b>TARİH</b>	<b>Rn(kBq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rn Hata(kBq/m<sup>3</sup>)</b>
Kadıköy Ziftli Mevki	04.08.2015	18,44	2,80
	15.09.2015	28,73	2,89
	31.10.2015	16,76	2,31
	25.11.2015	28,13	2,90
	22.12.2015	28,25	1,93
		Ort=24,062	Ort=2,556

**Çizelge 4.4** Dört nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri.

<b>ÖLÇÜM NOKTASI</b>	<b>TARİH</b>	<b>Rn(kBq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rn Hata(kBq/m<sup>3</sup>)</b>
Kadıköy Başel Mahallesi	04.08.2015	18,81	3,02
	15.09.2015	17,91	2,78
	31.10.2015	18,58	2,71
	25.11.2015	22,10	3,01
	22.12.2015	18,76	2,91
		Ort=19,232	Ort=2,886

**Çizelge 4.5** Beş nolu ölçüm noktasının ve radon aktivite konsantrasyonu değerleri.

<b>ÖLÇÜM NOKTASI</b>	<b>TARİH</b>	<b>Rn(kBq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rn Hata(kBq/m<sup>3</sup>)</b>
Opet Benzin İstasyonu	04.08.2015	18,67	3,04
	15.09.2015	27,58	2,99
	31.10.2015	26,11	3,10
	25.11.2015	27,00	3,09
	22.12.2015	37,96	2,67
		Ort=27,464	Ort=2,978

**Çizelge 4.6** Altı nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri.

<b>ÖLÇÜM NOKTASI</b>	<b>TARİH</b>	<b>Rn(kBq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rn Hata(kBq/m<sup>3</sup>)</b>
	04.08.2015	16,56	3,22
	15.09.2015	9,83	3,05
Çay-Ali Kaleli Mahallesi	31.10.2015	14,30	3,06
	25.11.2015	12,34	3,11
	22.12.2015	14,33	2,86
		Ort=13,472	Ort=3,06

**Çizelge 4.7** Yedi nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri.

<b>ÖLÇÜM NOKTASI</b>	<b>TARİH</b>	<b>Rn(kBq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rn Hata(kBq/m<sup>3</sup>)</b>
	04.08.2015	13,54	2,99
	15.09.2015	13,12	2,82
	31.10.2015	10,56	2,63
Çayırpınar	25.11.2015	14,06	2,55
	22.12.2015	14,87	2,61
		Ort=13,23	Ort=2,72

**Çizelge 4.8** Sekiz nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri.

<b>ÖLÇÜM NOKTASI</b>	<b>TARİH</b>	<b>Rn(kBq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rn Hata(kBq/m<sup>3</sup>)</b>
	04.08.2015	12,43	3,02
	15.09.2015	10,14	2,32
	31.10.2015	8,12	2,21
Yakasenek-Oğuz Mahallesi	25.11.2015	12,58	2,62
	22.12.2015	7,90	2,16
		Ort=10.234	Ort=2,466

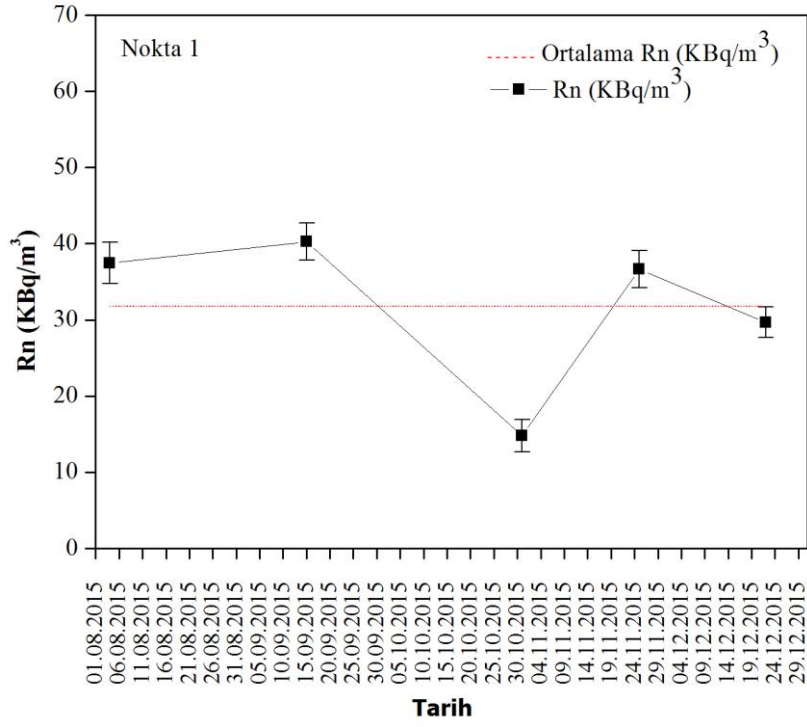
**Çizelge 4.9** Dokuz nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri.

<b>ÖLÇÜM NOKTASI</b>	<b>TARİH</b>	<b>Rn(kBq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rn Hata(kBq/m<sup>3</sup>)</b>
	04.08.2015	14,83	3,16
	15.09.2015	17,16	2,03
	31.10.2015	8,95	2,34
Alara meyve bahçesi	25.11.2015	8,16	2,49
	22.12.2015	5,36	2,46
		Ort=10,892	Ort=2,496

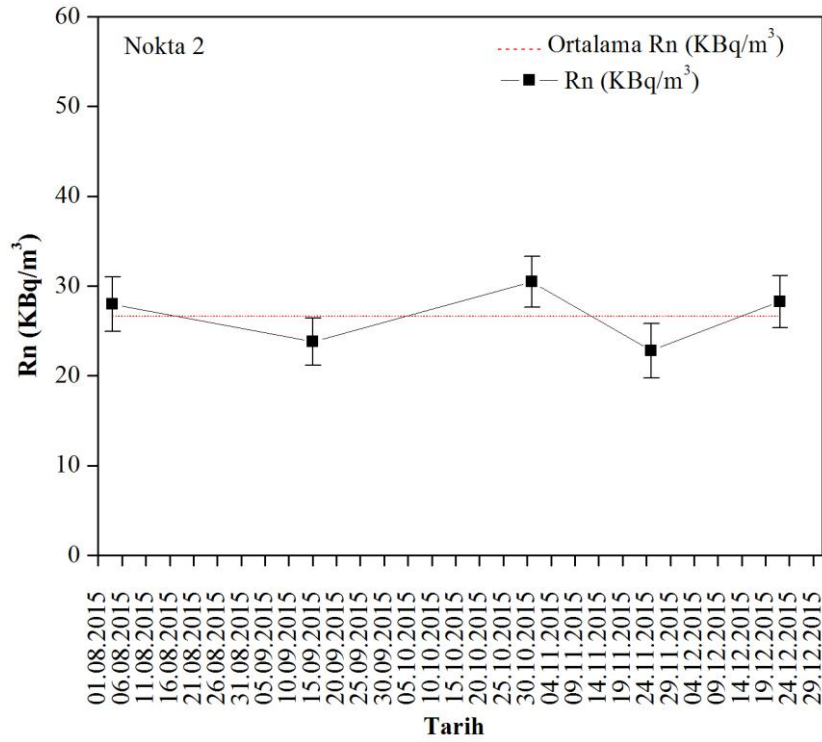
**Çizelge 4.10** On nolu ölçüm noktasının radon aktivite konsantrasyonu değerleri.

<b>ÖLÇÜM NOKTASI</b>	<b>TARİH</b>	<b>Rn(kBq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rn Hata(kBq/m<sup>3</sup>)</b>
	04.08.2015	33,14	2,97
	15.09.2015	47,62	2,37
Bolvadin	31.10.2015	22,56	2,51
	25.11.2015	18,94	2,44
	22.12.2015	22,27	2,69
		Ort=28,906	Ort=2,596

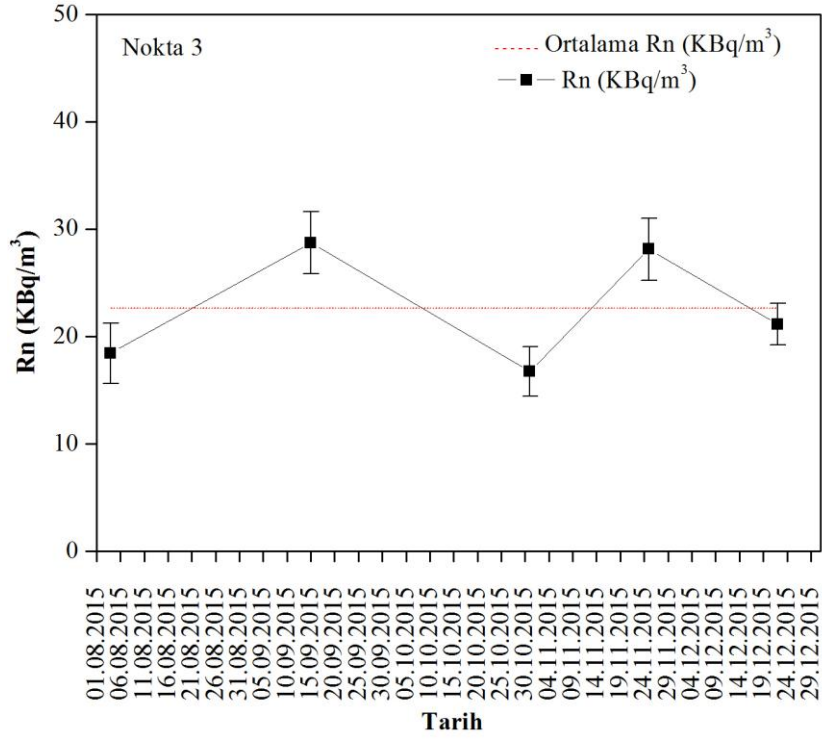
Ölçümlerden elde edilen radon konsantrasyonu değerleri kullanılarak kaynakların ölçüm periyodundaki ortalama konsantrasyonları hesaplanmıştır. Ortalama radon konsantrasyonunun en küçük değeri 8 nolu kaynakta 10,23 kBq/m<sup>3</sup> ve en büyük değeri ise 1 nolu kaynakta 31,77 kBq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Kaynakların ortalama radon konsantrasyonları ve her bir kaynakta elde edilen radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları Şekil 4.1-4.10'da gösterilmiştir.



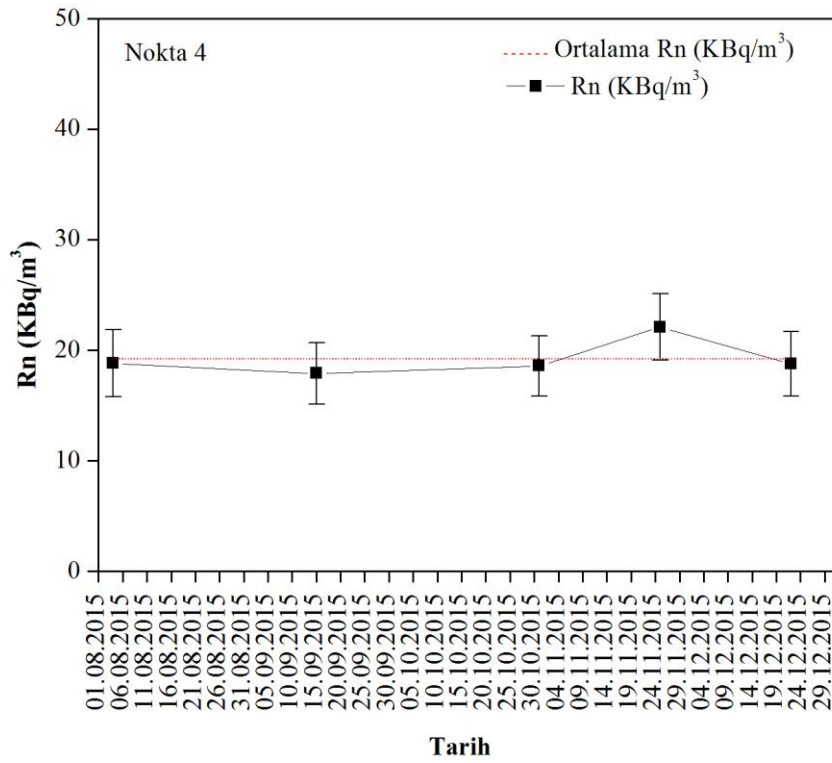
Şekil 4.1 Bir nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.



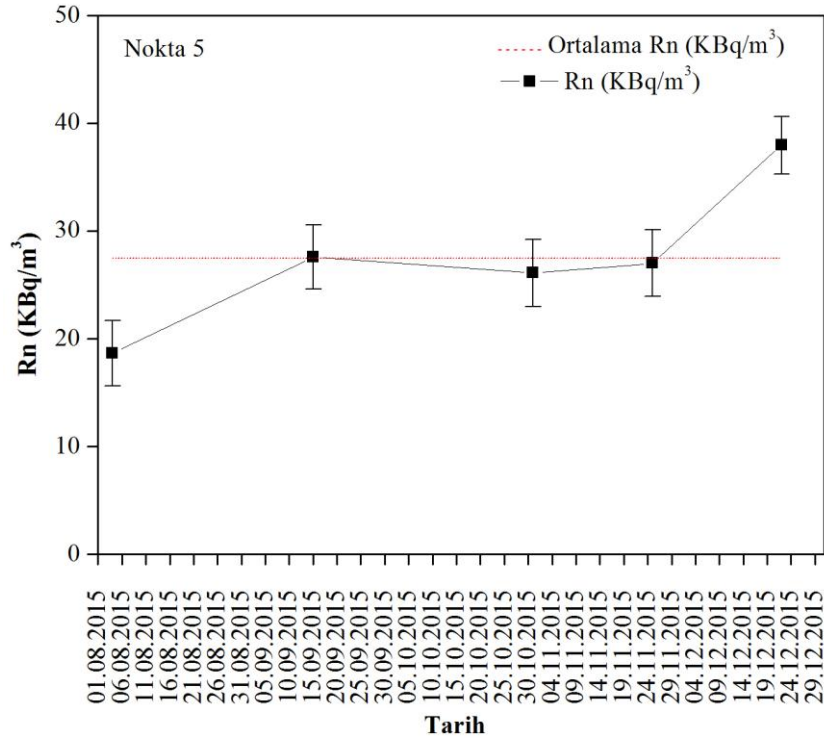
Şekil 4.2 İki nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.



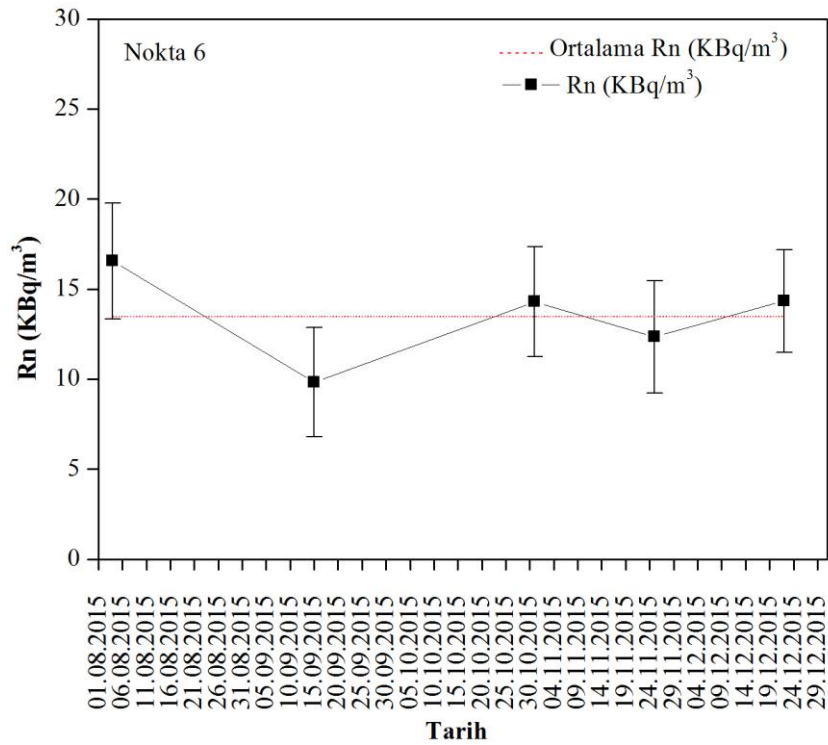
Şekil 4.3 Üç nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.



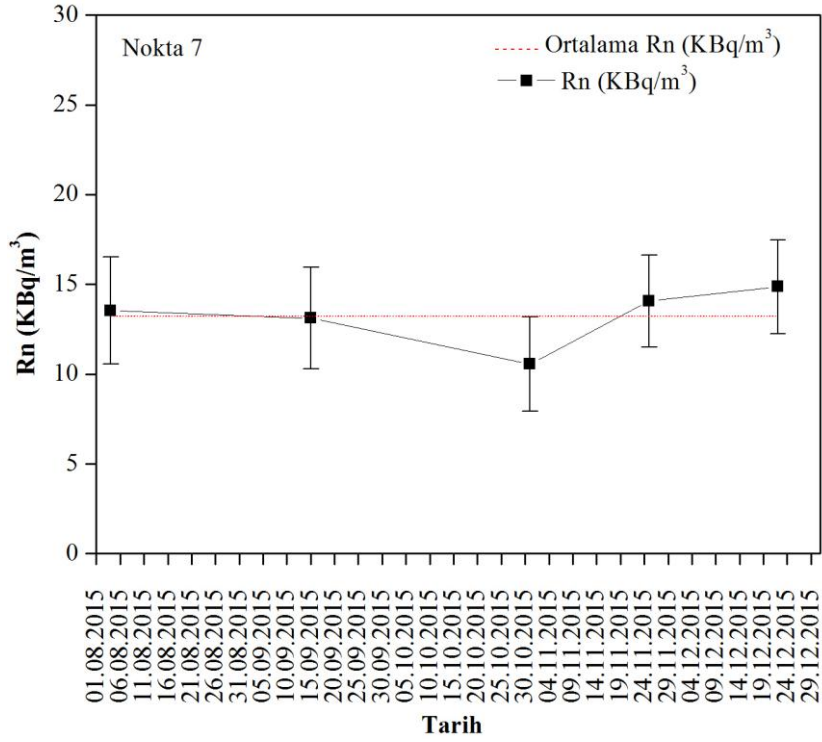
Şekil 4.4 Dört nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.



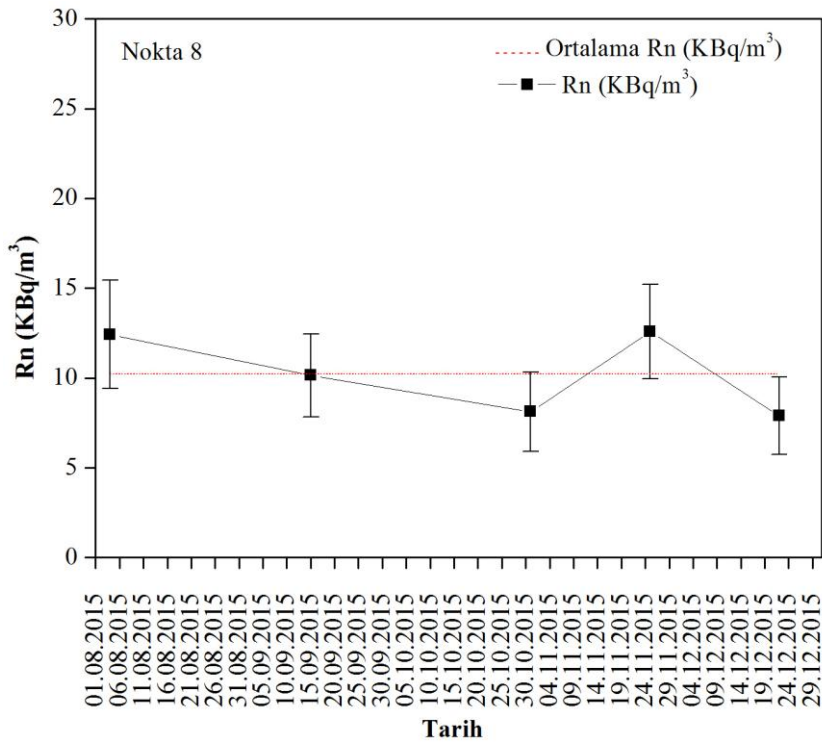
Şekil 4.5 Beş nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.



Şekil 4.6 Altı nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.

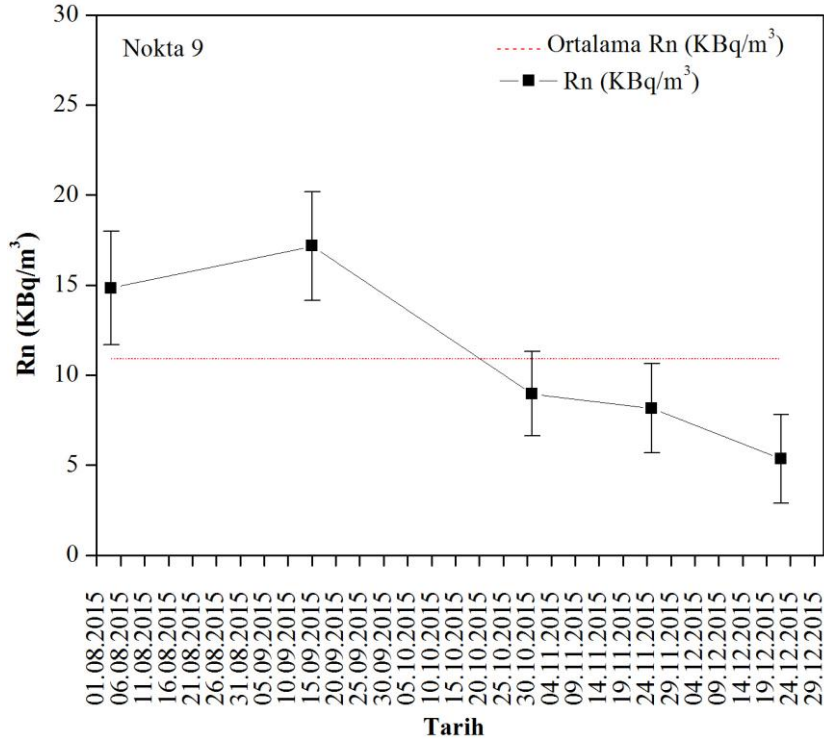


Şekil 4.7 Yedi nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.

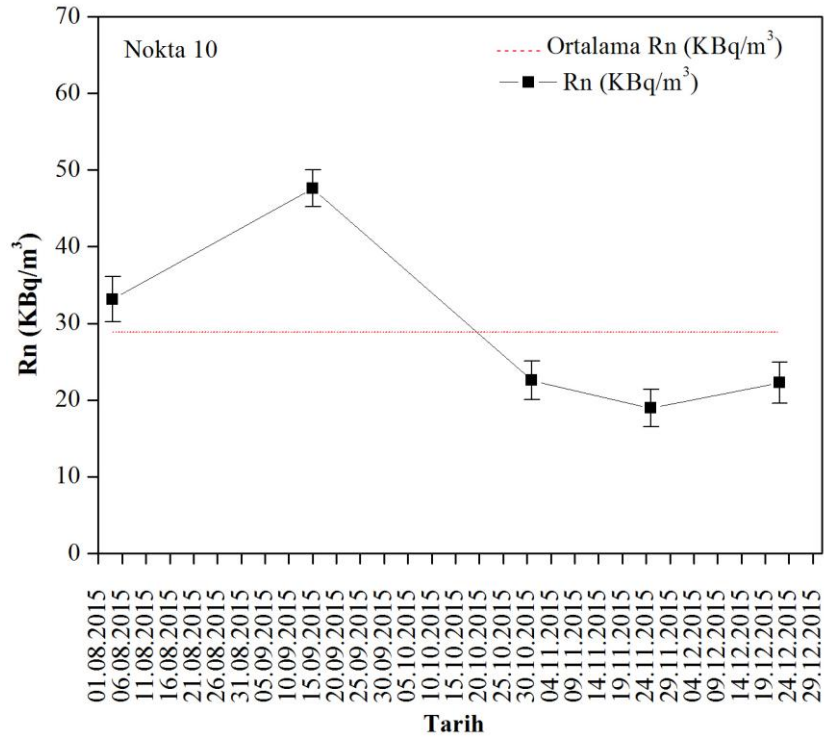


Şekil 4.8 Sekiz nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.





Şekil 4.9 Dokuz nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.



Şekil 4.10 On nolu noktanın radon aktivite konsantrasyonu grafiği.

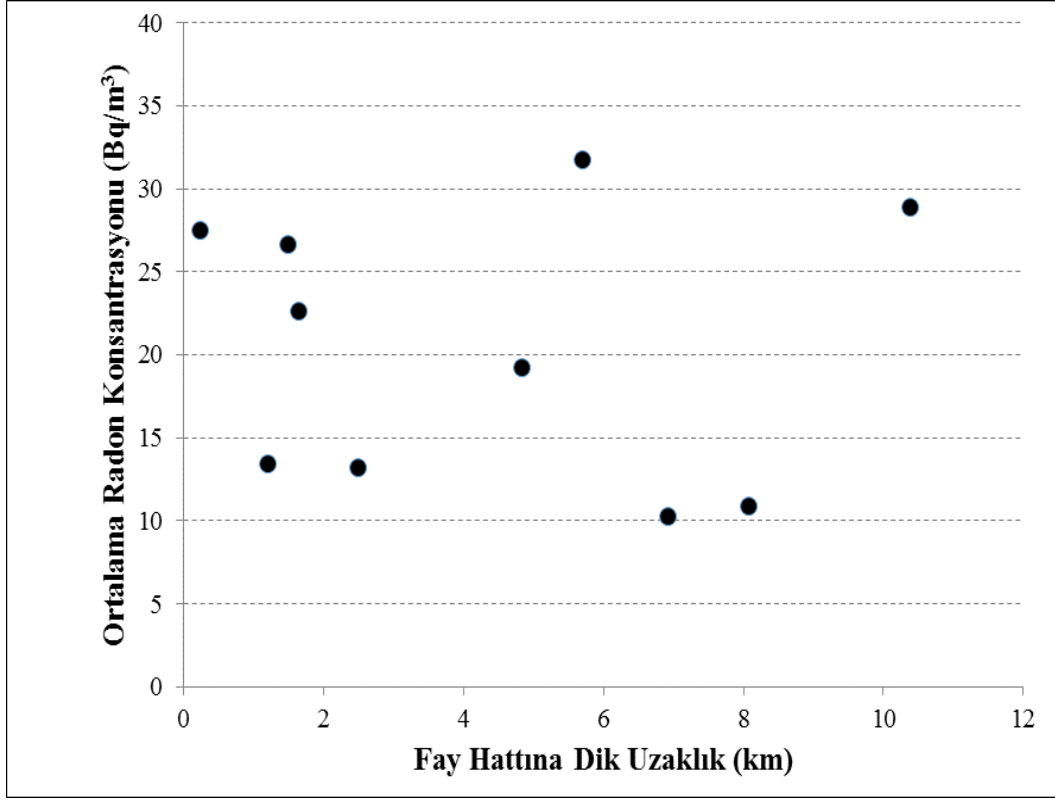
## 4.2 Faya Olan Uzaklığa Göre Ortalama Radon Aktivite Konsantrasyonları

Noktaların ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının Akşehir fay hattına olan uzaklığına göre grafiklerinin çizilerek yorumlanabilmesi için, her bir kaynağın Akşehir fay hattına olan muhtemel dik uzaklıklarının bulunması gerekmektedir. Bunun için Google Earth programında 10 noktanın konum bilgileri de GPS cihazı ile ölçülmüştür. Ölçülen bu enlem ve boylam bilgileri Google Earth programında işaretlenmiştir. Konumu belli olan nokta ile Akşehir fay hattına olan muhtemel dik uzaklık km olarak Google Earth programında hesaplanmıştır. Çizelge 4.11’de ölçüm noktalarının Akşehir fay hattına olan muhtemel dik uzaklıkları ve ortalama radon konsantrasyonu değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.11** Ölçüm noktalarının Akşehir fay hattına olan muhtemel dik uzaklıkları ve ortalama radon konsantrasyonu değerleri.

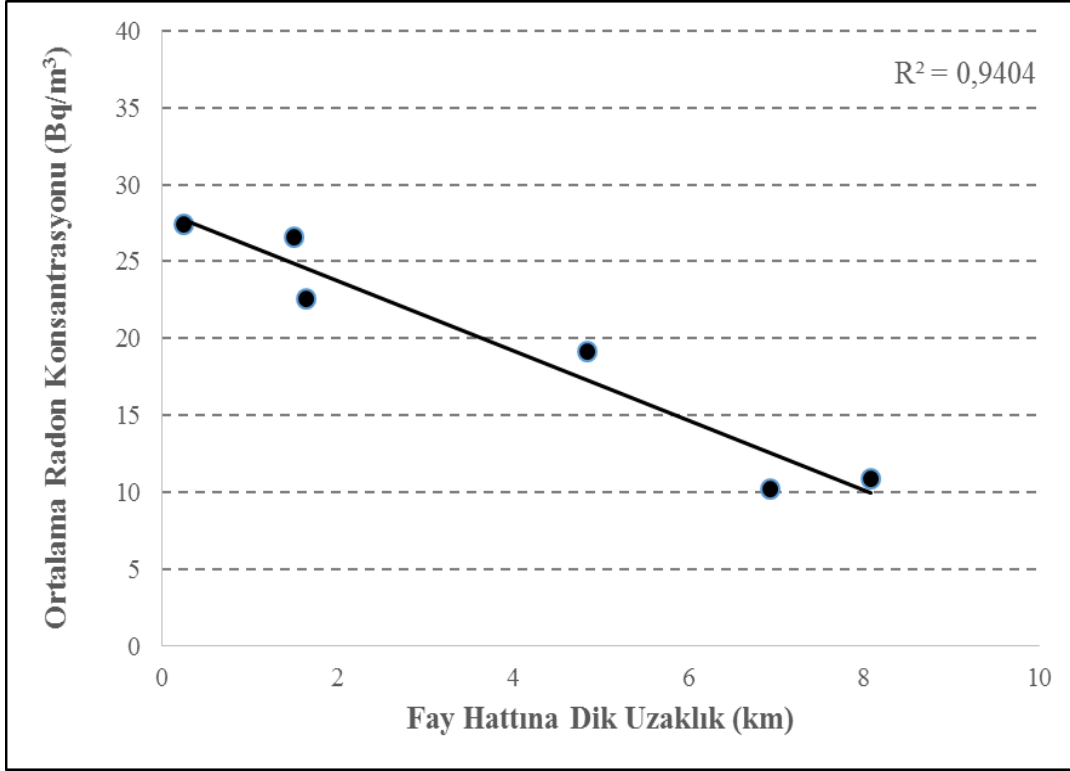
<b>Ölçüm yapılan noktalar</b>	<b>Akşehir fay hattına olan muhtemel dik uzaklık (km)</b>	<b>Ortalama Radon Konsantrasyonu (kBq/m<sup>3</sup>)</b>
1. Total Benzin İstasyonu	5,70	31,77
2. Maltepe Köyü	1,50	26,66
3. Kadıköy Ziftli Mevki	1,64	24,06
4. Kadıköy Başel Mahallesi	4,84	19,23
5. Opet Benzin İstasyonu	0,24	27,46
6. Çay-Ali Kaleli Mahallesi	1,2	13,47
7. Çayırpınar	2,5	13,23
8. Yakasenek-Oğuz Mahallesi	6,93	10,23
9. Alara Meyve Bahçesi	8,08	10,89
10. Bolvadin	10,39	28,90

Bu değerler kullanılarak Akşehir fay hattına olan muhtemel dik uzaklıklarına göre ortalama radon konsantrasyonu grafiği Şekil 4.11’deki gibi elde edilmiştir.



**Şekil 4.11** Ölçüm noktalarının Akşehir fay hattına olan dik uzaklıklara göre ortalama radon konsantrasyonu değişimi.

Şekil 4.11' e bakıldığında, ölçüm noktalarının çoğunluğu için fay hattına uzaklıkla ortalama radon konsantrasyonunun ters orantılı olduğu gözlenmiş ve bu durumun daha iyi gösterilmesi amacıyla ilişkinin belirgin olduğu belirlenen 2,3,4,5,8 ve 9 nolu kaynaklar için Şekil 4.12'de gösterilen grafik çizilmiştir.



**Şekil 4.12** Bazı ölçüm noktalarının Akşehir fay hattına olan dik uzaklıklara göre ortalama radon konsantrasyonu değişimi.

Şekil 4.12'deki grafik incelendiğinde, 2,3,4,5,8 ve 9 nolu ölçüm noktalarından elde edilen ortalama radon konsantrasyonu değerlerinin, ölçüm noktalarının Akşehir fay hattına olan dik uzaklıkları arasında ters orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir. Yani fay hattına yakın ölçüm noktalarında daha fazla radon konsantrasyonu, uzak noktalarda ise daha düşük radon konsantrasyonu olduğu görülmüştür.

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Akşehir fay hattı üzerinde ve civarında yer alan 10 farklı noktada 5 ay boyunca aylık periyotlarla toprakta radon konsantrasyonları ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde, en küçük radon aktivite konsantrasyonu değeri 5,36 kBq/m<sup>3</sup>, en yüksek radon aktivite konsantrasyonu ise 47,62 kBq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Ölçümlerden elde edilen radon konsantrasyonu değerleri kullanılarak, kaynakların ölçüm periyodundaki ortalama konsantrasyonları en küçük değeri 8 nolu kaynakta 10,23 kBq/m<sup>3</sup> ve en büyük değeri ise 1 nolu kaynakta 31,77 kBq/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar bölgede İlhan (2015), tarafından yapılmış benzer çalışmada elde edilen sonuçlarla benzerlikler göstermektedir. Adı geçen çalışmada, toprakta radon konsantrasyonu ölçüm değerlerinin 0,23 kBq/m<sup>3</sup> ile 186,1 kBq/m<sup>3</sup> arasında değişiklik gösterdiği belirtilmiştir (İlhan *et al.* 2015). Öte yandan, Afyonkarahisar'a komşu olan Konya'nın Ilgın ilçesinde toprakta yapılan çalışmada belirtilen radon aktivite konsantrasyonunu aralığı (minimum 0,22 kBq/m<sup>3</sup> ve maksimum 64,75 kBq/m<sup>3</sup>) bu çalışmada elde edilen değerlerle paralellik göstermektedir (Topsakal *et al.* 2015).

Sadece ulusal bazda yapılan çalışmaların değil, uluslararası ölçekte yapılan çalışmaların sonuçları ile bizim çalışmamızdan elde edilen sonuçlar benzerlikler göstermektedir. Bu çalışmalara örnek olarak; Vaupotic vd. (2010) tarafından Slovenya'da Ravne Fayı yakınlarında toprakta yapılan çalışma (Vaupotic *et al.* 2010), Kunovska vd. (2012) tarafından Bulgaristan'da toprakta yapılan çalışma (Kunovska *et al.* 2012) gösterilebilir.

Burada ele alınan çalışmalardan da açık olarak görülmektedir ki, toprak gazındaki radon aktivite konsantrasyonu bölgeler arasında farklılıklar göstermektedir. Bu beklenen bir durumdur, çünkü radon aktivitesinin kaynağı olan doğal radyoaktivitenin ana elementi olan uranyum ve bozunum zinciri ürünleri her bölgede farklıdır. Ayrıca bu elementlerin bölgeler arasında taşınması ve yeryüzüne çıkış olanakları da değişiklik göstermektedir.

Çalışmada ayrıca ölçüm yapılan noktaların Akşehir fay hattına olan uzaklıklarının radon konsantrasyonu üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmış ve Şekil 4.12'de gösterilen grafik çizilmiştir. Bu grafiğe göre, incelenen noktaların altısının (2,3,4,5,8 ve

9 nolu noktalar) ortalama radon konsantrasyonu değerlerinin beklendiği gibi faya olan dik uzaklıkla ters orantılı olarak değişiklik göstermiştir.

Literatürde faylanmanın olduğu bölgelerde radon konsantrasyonlarında belirgin artışlar olduğunu ve fay haritalarının çıkarılmasında radon gazı ölçümlerinin kullanılabilceğini gösteren çalışmalar vardır (Kemski *et al.* 1993, Moussa and El Arabi 2003). Fay hattına yakın noktalarda fazla radon konsantrasyonu gözlenmesi literatür ile uyumlu bir sonuçtur. Tüm ölçüm noktalarında bu sonucun çıkmamasının bölgedeki aktif fay zonları boyunca, yer kabuğundaki deformasyonlar ve buna bağlı olarak yer kabuğunu oluşturan kayalardaki ikincil kırık ve çatlakların olabileceği düşünölmektedir.

Bölgede toprakta radon konsantrasyonu değişimleri ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkinin incelenmesi için ön bir çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan bölgede toprakta radon konsantrasyonu ölçümlerinin, periyodik olarak devam etmesinin yararlı olacağını düşünölmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akyıldırım, H. (2005). Isparta İli'nde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Arya, H. (1999). Isparta İlinde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Genitron Instruments. (2008). AquaKIT User Manual, Heerstrasse 149 D-60488 Frankfurt, Germany.
- Göksel, S.A., Köksal, E.M., Yaşar, S. ve Alkan, H. (1987). Radon Ölçümleriyle ve Depremlerin Önceden Saptanması, *Jeofizik*, **1**: 176-182.
- Demirkol, C., Sipahi, H., İpek, S., Bark, A. ve Sönmez, Ş. (1977). Sultandağı Dolayının Stratigrafisi ve Jeolojik Evrimi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Derleme No: 6305, Ankara.
- Duenans, C., Fernandez, M.C., Carretero J., Liger E. and Perez M. (1997). Release of Rn 222 from some soils, *Annales Geophysicase*, **15**: 124-133.
- Durrani, S.A. and Ihic, R. (1997). Radon Measurements by Etched Track Detectors Applications in Radiation Protection Earth Sciences and the Environment, World Scientific, Singapore, 387p.
- Erkan, Y., Bayhan, H., Tolluoğul, Ü. ve Aydar, E. (1996). Afyon Yöresi Metamorfik ve Volkanik Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi. TÜBİTAK Proje Raporu, YBAG-0044/DPT Projesi Raporu, Ankara.

- Evans, R.Ç.D. (1968). Engineers Guide to the Elemenry Behavior of Radon Daughters, *Health Physics*, **17**: 2-2.
- Fleischer, L. and Mogro-Campero, A. (1985). Association of subsurface radon changes in Alaska and the Northeastern United Stades with earthquakes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **49**: 1061-1071.
- Fleischer, R.L. (1981). Dislocation model for radon response to distant earthquakes, *Geophysical Resarch Letters*, **8**: 477-480.
- Friedmann, H., Arıç, I.L., King, C.Y., Çakmak, L.T. Sav, H. ve Atalay, C. (1988). Radon Measurements for earthquake alon the North Anatolian Fault Zone: A Progress Report, *Tectonophysics*, **152**: 209-2014.
- Iakovleava, V.S., Ryzhakova, N.K. (2003). Spatial and Temporal Variations of Radon Concentrationin Soil Air, *Radiation Measurements*, **36**: 385-388.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). (2014). Radiological Protection against Radon Exposure, **43**: 35-43.
- İçhedef, M., Saç, M.M., Camgöz, B., Bolca, M. ve Harmanşah, Ç. (2013). Soil gas radon concentrations measurements in terms of great soil groups. *Journal of Environmental Radioactivity*, **126**: 165-171.
- İçhedef M. (2011). Radon Difüzyon Hızının Farklı Büyük Toprak Gruplarına Göre Değişiminin İncelenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Estitüsü, İzmir.
- İlhan M.Z. (2015). Afyonkarahisar Merkezde Toprakta Radon Konsantrasyonun Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniverstitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.



- İnan, S., Akgül, T., Seyis, C., Saatçılar, R., Baykut, S., Ergintav, S. ve Baş, M. (2008). Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): A search for precursors of seismic activity, *Journal of Geophysical Research*, **113**: B03401, doi: 10.1029/2007JB005206.
- İnan, S., Papuçcu, Z., Kulak, F., Ergintav, S., Tatar, O., Altunel, E., Akyüz, S., Tan, O., Seyis, C., Çakmak, R. ve Eyidoğan, H. (2012a). Microplate Boundaries as Obstacles to Pre-earthquake Strain Transfer in Western Turkey: Inferences from Continuous Geochemical, *Journal of Asian Earth Sciences*, **48**: 56-71.
- İnan, S., A., Çetin, H., Kulak, F., Pabuçcu, Z., Seyis, C., Ergintav, S., Ergintav, S., Tan, O., Saatçılar, R. ve Bodor, M.N. (2012b). Seasonal variations in soil radon emanation: Long term continuous monitoring in light of seismicity, *Natural Hazards*, **62**: 575-591.
- İnan, S. ve Seyis, C. (2010). Soil radon observations as possible earthquake precursors in Turkey, *Acta Geophysica*, **58**: 828-837.
- İnan, S., Seyis, C., Ergintav, S., R., Baş, M., Cuff, K., Görür, N., Canan, S., Belgen A., Kafarov, R., Çakmak, R., Karakaş, D., Çetin, S., Akar, S., Kurt, L. ve Yakan, H. (2003). Spring Water and Soil Radon Gas Monitoring: A Search For Possible Precursors Of Earthquake Activity In The Marmara Region (NW Turkey), Poster Session, EGS-AGU-EUG Joint.
- Kemiksi. J. (1993). Radonmessungen in der Bodenluft zur Lokalisierung von Störungen im Neuwieder Becken (Mittelrhein), *Bonner Geowissenschaftliche Schriften*, **8**: 144.
- Ketin, I. (1966). Anadolu'nun Tektonik Birliklerinin *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 53, Ankara.

- Kibici, Y., Yıldız, A., Bağcı, M. (2001). ‘Afyon kuzeyinin jeolojisi, ve mermer potansiyelinin araştırılması, ‘Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyonkarahisar, 73-84.
- King, C. Y. (1978). Radon Emanation on San Andreas Fault, **271**: 516-519.
- Kito, M.E., Kuhland, M.K. and Danserau, R.E. (1996). Direct Comparison Of Threemethods For The Determination Of Radon İn Well Water, *Health Physics*, **70**: 358-362.
- Klusman, R.W. and Webster, J.D. (1981). Meteorological noise in crustal gas emission and relevance to geochemical exploration, *Journal of Geochemical Exploration*, **15**: 63-76.
- Koçyiğit, A. ve Deveci, Ş. (2007). Çukurören-Çobanlar (Afyon) arasındaki deprem kaynaklarının (Aktif fayların) belirlenmesi. TÜBİTAK, Proje No: 106Y209, 71s., Ankara.
- Koçyiğit, A., Ünay, E, ve Saraç, G. (2000). Episodic Graben Formation and Extensional Neotetonic Regime İn West Central Anatolia and Isparta Angle: A Case Study İn The Akşehir–Afyon Graben, Turkey. In: Bozkurt, E., Winchester, J. A. and Piper, J.D.A. (eds). Tectonic and Magmatism İn Turkey and The Surrounding Area. Geological Society, London, *Special Publications*, **173**: 405-412.
- Kop, A., Ezer, M., Bodur, M.N., Darbaş, G., İnan, S., Ergintav S., Seyis, C. ve Yalçın, C. (2013). Geochemical Monitoring Along the Türkoğlu (Kahramanmaraş)-Gölbaşı(Adıyaman) Segments of the East Anatolion Fault System, *Arabian Journal for Science and Engineering*, **39**: 5521-5536.
- Krane, K.S. (2001). Nükleer Fizik I-II. Çeviri Editörü: Başar Şarer. Palme Yayıncılık, Ankara.

- Kulalı F. (2009). Topraktaki Aktivite Konsantrasyonu Ölçümü ve Deprem İlişkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kunovska, B., Ivanova, K., Stojanovska, Z., Vuchkov, D. and Zaneva, N. (2012). Measurements of radon concentration in soil gas of Urban Areas, Bulgaria. The First East European Radon Symposium, Cluj-Napoca, Romania, September 2-5, *Romania Journal Physics*, **58**: 172–179.
- Metin, S., Genç, S. ve Bulut, V. (1987). Afyon ve Yakın Dolayının Jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 2113, Ankara.
- Mounnin, M.M. and Seidel, J.J. (1992). Radon in soil- air and in groundwater related to major geophysical events: A survey, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A314*, 316-330.
- Moussa, M. M. and El Arabi, A-G, M. (2003). Soil radon survey for tracing active fault: a case study along Qena- Safaga Road, Eastern Desert, Egypt, *Radiationb Measurements*, **37**: 211-216.
- Polat O. (2002). Golden Software Surfer v8.01 3D Graphing System, Kullanım Kılavuzu Üzerine Notlar. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Saç, M.M. ve Camgöz, B. (2005). İzmir’de Sisimik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **7**: 47-54.
- Saphymo GmbH. (1998). AlphaGUARD User Manual Portable Radon Monitor, Heerstrasse 149 D-60488 Frankfurt, Germany.
- Saphymo GmbH. (2001). AlphaPUMP Technical Description, Heerstrasse 149 D-60488 Frankfurt, Germany.

- Scholz, C. H., Sykes, L. R. and Agrawal, Y.P. (1973). Earthquake prediction, *A Physical Basics Science*, **181**: 803-810.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. ve Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, *Strike-Slip Deformation Basin Formation and Sed İmentation Society of Economic Paleontogists and Mineralogists, Special Publication*, **37**: 227-264.
- Tansia, C., Tallaricob, A., Iovinea, G., Folino Galloa, M. and Falconeb, G. (2005). Interpretation of radon anomalies in seismotectonic and tectonic gravitational settings: the south–eastern Crati graben (Northern Calabria, Italy) *Tectonophysics* **396**: 181– 193.
- Topsakal, E.Ş. (2015). Konya' nın Ilgın İlçesinde Bulunan Ilgın Fay Hattı Civarındaki Yer Altı Sularında ve Toprak Gazında Radon Aktivite Seviyelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- UNSCEAR. (2000). United Nations Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR Exposure From Natural Radiation Sources Annex B, United Nations, New York, 84-112.
- Vaupotic, J., Gregoric, A., Kobal, I., Zvab, P., Kozak, K., Mazur, J., Kochowska, E. and Grzadziel, D. (2010). Radon concentration in soil gas and radon exhalation rate at the Ravne Fault in NW Slovenia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **10**: 895–899.
- Yalçınkaya, S., Ergin, A., Taner, K., Afşar,Ö.P., Dalkılıç, H. ve Özgönül, E. (1986). Batı Torosları' nın jeoloji raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Raporu, No: 7898, Ankara.

Wang, X., Li, Y., Du, J. and Zhou, X. (2014). Correlations between radon in soil gas and the activity of seismogenic faults in the Tangshan area, North China. *Radiation Measurements*, **60**: 8-14.

Wattananikorn, K., Kanaree, M. and Wiboolsake, S. (1998). Soil Gas Radon as an Earthquake Precursor: Some Considerations on Data Improvement. *Radiation Measurements*, **29**: 593-598.

Woith, H. and Pekdeğer, A. (1995). Soil radon and non-tectonic effects: A contribution to the joint German-Turkey project on earthquake research, In: Dubois, C., (Eds), Gas Geochemistry, Science Reviews- Northwood, ISBN 0-905927-79-6: 135-146.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Elif YILMAZ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Sivas - 1989  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0505 812 97 62/elif\_fiziko@hotmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : İmranlı Çok Programlı Lisesi – 2007  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi –Fen Edebiyat  
Fakültesi – Fizik Bölümü - 2013  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi – Fen Bilimleri  
Enstitüsü

Yayımları :

E.YILMAZ, A.GÜMÜŞ, H.A.YALIM (2016). Akşehir fay hattında toprakta radon aktivite konsantrasyonu ölçümü. 1 st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe University, Turkey 21-22 April 2016.