

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TOPRAKTA RADON GAZI KONSANTRASYONLARININ
BELİRLENMESİ**

ŞEVVAL CİNGÖZ

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ




FİZİK
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAKTA RADON GAZI KONSANTRASYONLARININ
BELİRLENMESİ

ŞEVVAL CİNGÖZ

Prof. Dr. Nalan ÖZKAN GÜRAY
Danışman, Kocaeli Üniv.
Doç. Dr. Hayriye SUNDU PAMUK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Doç. Dr. Nilgün DEMİR
Jüri Üyesi, Bursa Uludağ Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Radon, doğada yaygın olarak bulunun radyoaktif bir soy gazdır. Radonu göremez, koklayamaz veya tadamayız. Radon(²²²Rn), yeraltından evlere ve kapalı alanlara sızabilme özelliğine sahiptir. Radon seviyelerinin belirlenmesi için özel cihazlar kullanılır. Bu çalışmada AlphaGUARD cihazı kullanılarak toprakta radon gazı konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir.

Çalışmanın hazırlanmasında ve danışmanlık konusunda yardımlarını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Nalan ÖZKAN GÜRAY'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca her zaman yol gösteren hocam Prof. Dr. Recep Taygun GÜRAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitimim konusunda beni her zaman destekleyen ve motive eden, her daim bana güvenen, düşünen bir birey olmamı sağlayan babam Bahattin EROL'a ve annem Hatice EROL' a, hoşgörü ve desteğiyle sürekli yanımda olan eşim Eftal CİNGÖZ'e, manevi desteğini esirgemeyen kardeşim Şamil Eren EROL'a, saha çalışmasındaki yardımlarından dolayı kayınpederim Sedat CİNGÖZ'e, ölçüm noktasındaki destekleri için Hayri Tolga ASALKAN ve YASKİ (Yalova Atık Su ve Kanalizasyon Alt Yapı Tesislerini İşletme Birliği) tesisi çalışanlarına teşekkür ederim.

Eylül – 2019

Şevval EROL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLOLAR DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
2.1. Kullanılan Ölçüm Cihazı	7
2.1.1. AlphaGUARD.....	7
2.1.2. AlphaPUMP	15
2.1.3. AlphaGUARD kalibrasyonu.....	17
2.2. AlphaGUARD ile Toprak Gazı Ölçümleri	17
2.3 Radon Gazı Ölçüm Noktası	19
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	25
KAYNAKLAR.....	26
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	29
ÖZGEÇMİŞ.....	30

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Rn Bozunma zinciri.....	4
Şekil 1.2.	²³⁸ U Bozunma Zinciri	5
Şekil 2.1.	İyonizasyon odası şematik gösterimi.....	7
Şekil 2.2.	DataEXPERT yazılımında ölçülen değerlerin görüntülenmesi	8
Şekil 2.3.	Ön yüzün şematik gösterimi	8
Şekil 2.4.	Alt tarafın şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.5.	Arka yüzün şematik gösterimi	9
Şekil 2.6.	Sol panelin şematik görüntüsü	10
Şekil 2.7.	Sağ panelin şematik görüntüsü.....	10
Şekil 2.8.	AlphaGUARD tuş takımı.....	12
Şekil 2.9.	Difüzyon modu (sol: 10dak , sağ: 60 dak. döngüsü).....	13
Şekil 2.10.	Difüzyon modu: vidalı kapak sökülmüş, koruyucu ızgaraya takılmış hali.....	14
Şekil 2.11.	Ölçüm işlemi sırasında AlphaGUARD	14
Şekil 2.12.	Akış modu (sol: 1 dak, sağ: 10 dak döngüsü).....	14
Şekil 2.13.	Akış modu: vidalı kapak, koruyucu ızgaraya takılmış hali	15
Şekil 2.14.	AlphaPUMP şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.15.	Başlatma aşamasından sonraki AlphaGUARD ekranı - Akış modu (sol: 1 dakika, sağ: 10 dakika döngü)	17
Şekil 2.16.	Toprak gazı sondası ve kurulan düzeneğin şematik gösterimi	18
Şekil 2.17.	Marmara Bölgesi'nde son 10 yılda gerçekleşen depremler	19
Şekil 2.18.	Ölçüm noktasında kurulan düzenek	20
Şekil 3.1.	YASKİ tesisinde AlphaGUARD ile yapılan ölçüm değerleri grafiği.....	21
Şekil 3.2.	16.08.2018 tarihine ait günlük radon gazı yoğunluğu değişimi (KBq/m ³).....	22
Şekil 3.3.	14.08.2018 - 17.08.2018 tarihleri arasındaki radon gazı yoğunluğu değişimi	22
Şekil 3.4.	Bir haftalık sıcaklık ve radon gazı yoğunluğu değişim grafiği.....	23
Şekil 3.5.	14.08.2018 - 07.08.2018 tarihleri arasındaki radon gazı yoğunluğu ve bağıl nem değişimi arasındaki ilişki.....	24
Şekil 3.6.	13.8.2018 - 2.10.2018 tarihleri arasındaki basınç değerleri.....	24

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1.	AlphaGUARD cihazına ait bazı teknik özellikler.....	11
Tablo 2.2.	LED'in görünümü ve rengine göre, cihazın çalışma durumu.....	12
Tablo 2.3.	Anahtarlama konumuna bağlı olarak pompa hızları (L / dak).....	16



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Alternatif akım
Bq	: Becquerel
DC	: Doğru akım
M	: Deprem büyüklüğü
Ra	: Radyum
rH	: Bağıl nem
Rn	: Radon
Th	: Toryum
U	: Uranyum
V	: Volt

Kısaltmalar

DSP	: Digital Signal Processing (Sayısal Sinyal İşleme)
EPA	: Environmental Protection Agency (USA Çevre Koruma Ajansı)
HPGe	: High Purity Germanium (Yüksek Saflıkta Germanyum Dedektörü)
RMP	: Radon Monitoring Proficiency (Radon İzleme Yeterliliği)
YASKİ	: Yalova Atık su ve Kanalizasyon Alt Yapı Tesislerini İşletme Birliği

TOPRAKTA RADON GAZI KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Radon, 3,82 günlük yarı ömre sahip, doğal olarak oluşan, kokusuz, renksiz ve radyoaktif bir asal gazdır. Kimyasal olarak reaksiyona girmez. Ayrıca suda çözünür bir gazdır. Bilinen en ağır gaz olan radon havadan dokuz kat daha yoğundur. ^{238}U bozunma zincirinin bir parçası olan ^{226}Ra 'un bozunmasıyla ortaya çıkar. Radon tüm dünyada toprakta, kayalarda ve suda bulunur. Gaz olması nedeniyle, kayalardaki çatlaklar ve çatlaklar arasındaki boşluklar ve topraktaki hava boşluklarında hareket eder. Topraktaki radon, iç mekân radonunun ana kaynağıdır. Yalova ilinde topraktaki radon gazı konsantrasyonu AlphaGUARD PQ 2000 radon monitörü ve toprak kiti ile ölçülmüştür. Ayrıca bu çalışmanın amaçlarından biri laboratuvarında mevcut AlphaGUARD sistemine ek olarak alınan toprak gazı ölçüm kitini çalışır hale getirmek ve ilk ölçümleri almaktır.

Anahtar Kelimeler: AlphaGUARD, Radon, Radon Gazı Konsantrasyonu, Toprakta Radon Gazı.

DETERMINATION OF RADON GAS CONCENTRATIONS IN SOIL

ABSTRACT

Radon is a naturally occurring, odorless, colorless and radioactive noble gas which has a half-life of 3.82 days. It is a chemically-unreactive. Also radon is a water soluble gas. It is the heaviest known gas—radon is nine times denser than air. Radon generates from the decay of radium, ^{226}Ra , which is a member of the ^{238}U decay chain. Radon found in soil, rocks and water all over the earth. Due to it is gas, Radon moves through cracks and fissures in rocks, and through the air spaces in soil. Radon in soil is the main source of indoor radon. The radon concentration in soil gas was measured with the AlphaGUARD PQ 2000 PRO radon monitor and soil kit in Yalova. In addition, one of the objectives of this study is to make the soil gas measurement kit taken for the AlphaGUARD system in laboratory operational and to take the first measurements.

Keywords: AlphaGUARD, Radon, Radon Gas Concentration, Radon Gas in Soil.

GİRİŞ

Radon (^{222}Rn), ^{238}U bozunma zincirinin üyesi olan radyumun bozunmasıyla oluşan bir asal gazdır. Tüm dünyada toprakta, kayalarda ve suda bulunur. İç mekandaki radonun ana kaynağı topraktır.

Radon gazı akciğerlere solunduğunda, çoğu dışarı verilir ve solunum sisteminde birikmez. Bununla birlikte, akciğerlerin iç bölgesine ulaşan radonun küçük bir kısmı, hassas akciğer dokusundaki DNA'ya zarar verebilir ve kansere neden olabilir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) yaptığı araştırmalara göre, Radon gazı ABD'de sigaradan sonra akciğer kanserinin ikinci önde gelen sebebidir ve yılda yaklaşık 20 bin ölümle sonuçlanmaktadır [1].

Bu sebeple, topraktaki radon konsantrasyonunun ölçümü, iç mekanlardaki yüksek radon konsantrasyonlarını değerlendirmek için bir gösterge ve öngörme yöntemi olarak kullanılabilir [2-5].

İç mekan radon konsantrasyonunu topraktaki radon konsantrasyonu ile ilişkilendirmek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır [6-12].

Topraktaki radon ölçümleri topraktan gelen radon akışının sadece radyum içeriğine ve dağılımına değil, aynı zamanda geçirgenliğine, gözenekliliğine, nem içeriğine ve meteorolojik parametrelere de bağlı olduğunu bildirmiştir [13-15].

İç mekân radon seviyesi, bölgenin jeolojik yerleşimi, toprağın doğası, meteorolojik koşullar, ev yapımında kullanılan yapı malzemesi türü ve ev sakinlerinin yaşam tarzı gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğu gösterilmiştir [16, 17].

Bölgenin su içeriğinin de ve topraktaki radon konsantrasyonunu yansıtabilecek olan taşıma parametrelerinin radon yayılımı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür [18].

Bununla birlikte, birçok ülkede toprakta ve yeraltı sularındaki radon konsantrasyonu değişimleri sismik aktiviteyle ilişkilendirmek üzere incelenmiştir.

Yeraltı sularında ilk radon ölçümleri Japonya'da, 1927'de Shiratoi ve 1947'de Imamura tarafından yapılmıştır [19, 20].

Toprakta ilk radon ölçümleri yine Japonya'da 1953 yılında iki yıl boyunca aktif bir fay bölgesi boyunca yapılmıştır [21].

1956'da Okabe bir deprem yaklaşırken radon konsantrasyonunda önemli bir artış olduğunu göstermiştir [22].

1966-1971 döneminde eski Sovyetler Birliği'nde Ulomov ve Mavashev, 1966'da Taşkent depreminden önce, Taşkent artezyeninde bir akiferdeki (1300-2400 m derinliğinde) termal sularda radon konsantrasyonunda anormaliler gözlemlemiştir [23, 24].

Antsilevich 1971'de $M = 3-3,5$ büyüklüğündeki depremlerden 3-8 gün önce radon anomalisi bildirilmiştir [25].

Ülkemizde de toprakta ve suda radon ölçümleri yapılmıştır. Radon konsantrasyonu, Bolu'ya yakın olan Kuzey Anadolu Fay Hattının 200 km'lik bir kesimi boyunca, ilkbaharda yer altı sularında ve beş bölgede yeraltı toprak gazlarında sürekli olarak ölçülmüştür. Yeraltı suyu radonu konsantrasyonu, 5 Temmuz 1983'te 5,7 büyüklüğündeki Biga depreminden önce uzun vadeli önemli bir artış göstermiştir [26].

İç hedef ve arkadaşları, Seferihisar, aktif Tuzla Fayındaki radon konsantrasyon değişimini meteorolojik faktörleri göz önünde bulundurarak incelemiştir. 2 yıl boyunca yapılan ölçümlerde radon konsantrasyonunun sıcaklıkla her zaman pozitif korelasyonda olduğunu göstermişlerdir [27].

Topraktaki radon konsantrasyonları mevsimsel faktörlerden de etkilenmekte olduğundan zaman zaman depremle ilişkilendirilmesi oldukça güç olmaktadır. Bu sebeple araştırmacılar sadece radon gazı konsantrasyonu değil, farklı parametreleri de ölçerek ortaya çıkan verileri istatistikî olarak değerlendirmeye yönelik çalışmaya devam etmektedirler.

1. GENEL BİLGİLER

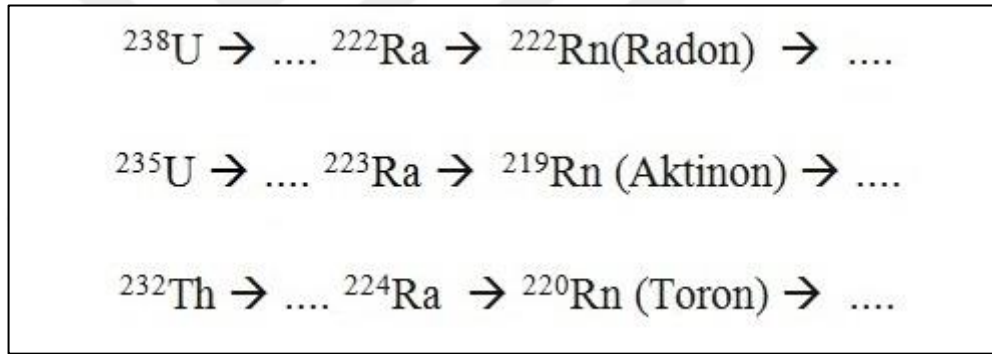
Radon, 1899'da Ernest Rutherford ve Robert B. Owens tarafından uranyum, toryum, radyum ve polonyumdan sonra keşfedilen beşinci radyoaktif elementtir. 1900'de Friedrich Ernst Dorn, radyum bileşiklerinin 'Radium Emanation' ('Ra Em') adlı bir radyoaktif gaz çıkardığını fark ettiği bazı deneyler bildirdi. Bundan önce, 1899'da Pierre ve Marie Curie, radyum tarafından yayılan gazın bir ay boyunca radyoaktif kaldığını gözlemledi. O yılın ilerleyen dönemlerinde Montreal'deki McGill Üniversitesi'nden Robert B. Owens ve Ernest Rutherford, toryum oksitten radyasyonu ölçmeye çalışırken farklılıklar olduğunu gözlemlediler.. Rutherford, toryum bileşiklerinin sürekli olarak bir radyoaktif gaz yaydığını fark etti ve bu gazı “toryum yayılımı” olarak adlandırdı. 1901'de Rutherford ve Harriet Brooks, yayımların radyoaktif olduğunu gösterdi, fakat elementin keşfi için Curie’ler övgüyü aldı. 1903'te, aktinyumdan benzer yayılımlar André-Louis Debierne tarafından gözlemlendi ve “Aktinyum yayılımı” (Ac Em) olarak adlandırıldı.

Kısa süre sonra üç yayılma için birkaç kısaltılmış ad önerildi: 1904'te ekstradio, exthorio ve exactinio; 1918'de radon (Ro), thoron (To) akton (Ao); 1919'da radeon, thoreon, ve akteon, ve sonunda 1920'de radon, thoron ve aktinon. Bu üç gazın spektrumlarının argon, kripton ve ksenon ile olan benzerlikleri, 1904 yılında Sir William Ramsay'ın “yayımların” soy gaz ailesinin yeni bir elementi içerebileceğini öne sürmesini sağladı.

1909'da Ramsay ve Robert Whytlaw-Gray radon, erime sıcaklığını ve yaklaşık yoğunluğunu belirlediler. 1910'da, bilinen en ağır gaz olduğunu tespit ettiler ve radyolüminesans özelliğini vurgulamak için Latince “parlayan” manasına gelen “Nitens” kelimesinden türetilmiş “Niton” ismini önerdiler ve sembolünü “Nt” olarak belirlediler. 1912'de Uluslararası Atom Ağırlıkları Komisyonu (International Commission for Atomic Weights) tarafından kabul edildi. 1923'te Uluslararası Kimyasal Elementler Komitesi ve Uluslararası Saf ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC), radon (Rn), toron (Tn) ve aktinon (An) isimlerini seçti [28].

Yarı ömrü 3,82 gün olan, doğal olarak oluşan, kokusuz, renksiz ve radyoaktif bir soy gaz olan Radon, periyodik cetvelin soygazlar sınıfının en ağır olanı ve grubun tek radyoaktif elementidir. ^{238}U bozunma serisindeki doğal olarak oluşan radyoaktif radyum bozunumunun bir yan ürünüdür [29]. İnsan duyuları tarafından hissedilemez. Erime sıcaklığı -71 derece, kaynama noktası -61,8 derecedir. Katı durumuna soğutulduğunda sarı renk verir. Sıcaklık düştükçe rengi turuncu ve kırmızıya döner. Standart sıcaklık ve basınçta radon, deniz seviyesindeki yeryüzü atmosferinin yoğunluğunun ($1,217 \text{ kg/m}^3$) yaklaşık 8 katı olan $9,73 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğunda tek atomlu bir gaz oluşturur. Radon suda çözünür, artan sıcaklıkla çözünürlüğü azalır.

Doğada var olan üç temel radyoaktif bozunma serisinin tek gaz halindeki ürünü radondur (Şekil 1.1).



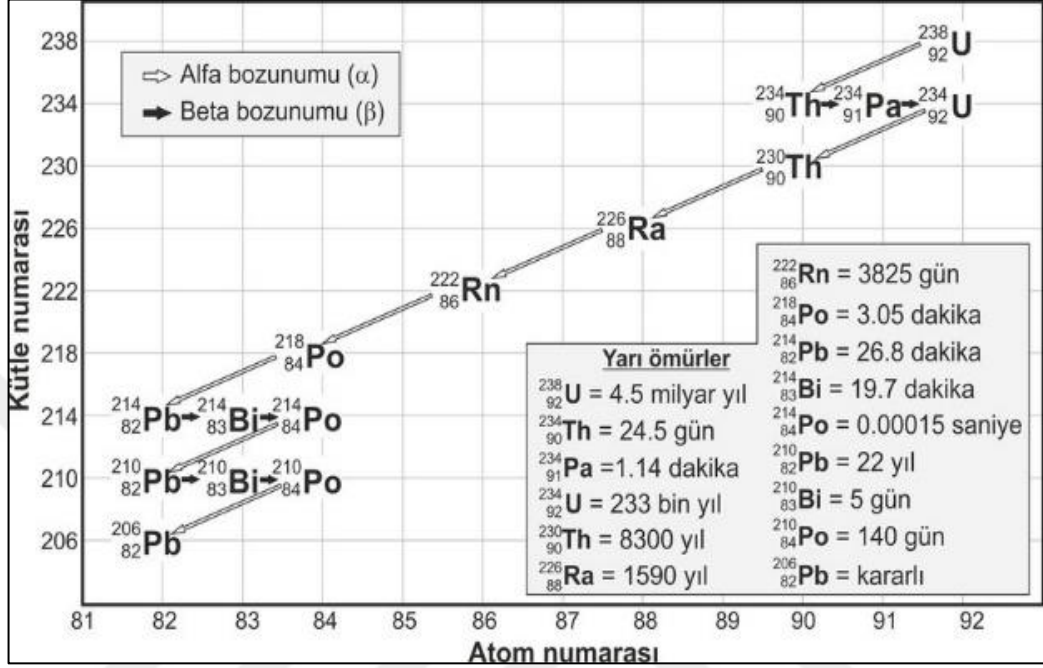
Şekil 1.1. Rn Bozunma zinciri

Radonun kararlı izotopu yoktur. Atom kütleleri 193 ile 231 arasında olan 39 adet radyoaktif izotopu vardır. En kararlı izotop; ^{238}U serisinin ürünü olan ^{222}Rn dir ve 3,8 gün yarı ömre sahiptir. Bolluk oranının yüksek oluşu ve diğer izotoplara oranla yarı ömrünün uzun olması sebebiyle atmosferde ve toprakta ^{222}Rn 'nin yoğunluğu diğer izotoplara göre fazladır.

^{220}Rn izotopu, en kararlı toryum izotopunun (^{232}Th) doğal bir bozunma ürünüdür ve toron olarak adlandırılır. 55,6 saniyelik bir yarı ömre sahiptir.

^{219}Rn izotopu, aktinon olarak bilinir, ^{235}U serisinin ürünüdür ve 3,96 saniye yarı ömre sahiptir.

Kararsız bir radyoaktif çekirdek olan radon kararlı hale gelene kadar sekiz alfa bozunması, altı beta bozunması yaparak son ürün olan kurşuna dönüşür. ^{238}U bozunma zinciri Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. ^{238}U Bozunma Zinciri [30]

Radon bir gaz olduğu için, kayaların ve toprakların katı maddesine sabitlenmiş olan uranyum ve radyumdan çok daha fazla hareket kabiliyetine sahiptir. Kayaların içindeki kırık, çatlaklar ve toprak tanecikleri arasındaki boşluklara girerek kolayca hareket edebilir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Radon aktivitesini ölçmek için iki teknik mevcuttur. Bu teknikler pasif radon ölçümü ve sürekli aktif radon ölçümüdür. Pasif radon ölçümü elektrik gücü gerektirmezken sürekli aktif radon ölçümü elektrik gücü gerektirir. Kullanılacak en iyi teknik ise yapılacak uygulamaya bağlıdır.

Radon seviyelerini ölçebilen sensörlere alfa iz dedektörleri, aktif kömür dedektörleri ve AlphaGUARD monitörleri

Alfa iz dedektörleri, AC gücü gerektirmeyen pasif radon ölçüm cihazlarıdır. Dedektöre monte edilmiş ince bir plastik veya film parçası içerirler. Radon, filtrelenmiş bir açıklıktan dedektöre akar. Dedektör içindeki radon bozunduğunda, yayılan alfa partikülleri film üzerinde izler oluştururlar. İzler radon konsantrasyonunu belirlemek için sayılır. Bu dedektörler, yüksek radon konsantrasyonlarını ölçmede çok etkili değildir.

Aktif kömür cihazları, AC gücü gerektirmeyen pasif sensörlerdir. Granül aktif karbonu (yani aktif kömür) tutan bir teneke kutudan oluşur. Kömür, ızgaralı bir açıklıktan teneke kutuya giren radonu emer. Belirli bir maruz kalma süresinden sonra, teneke kutu kapatılır ve kömür bir HPGe gama ışını detektörü kullanılarak analiz edilir. Kısa süreli ölçümler için aktif kömür cihazları tercih edilebilir (1 ile 7 gün). Nem oranı yüksek olan yerler için pratik değildir, çünkü kömür doymuş hale gelebilir.

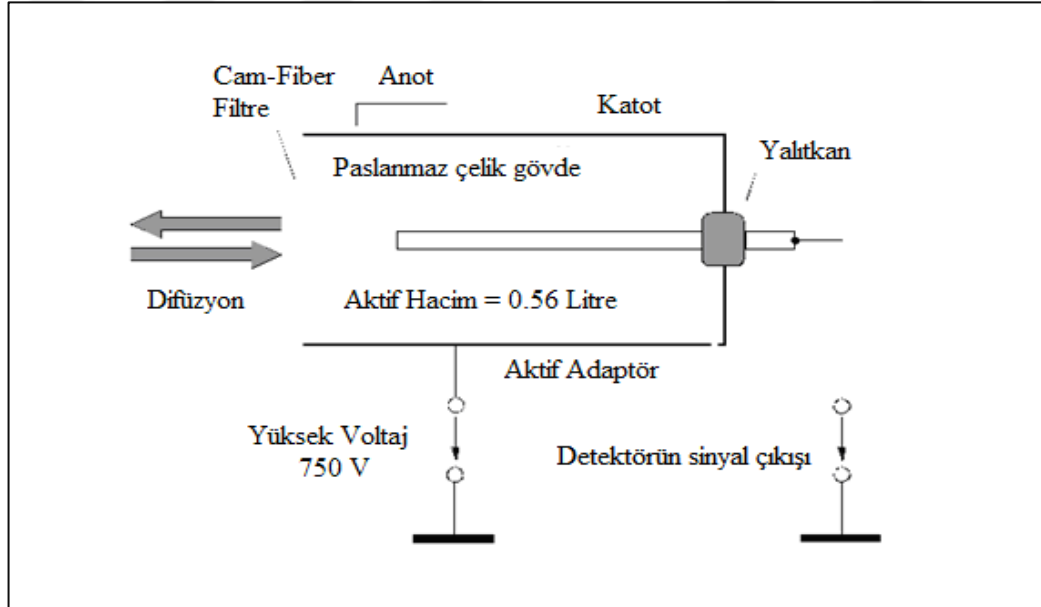
Bu çalışmada sürekli aktif radon ölçümü için AlphaGUARD PQ 2000 PRO cihazı kullanılmıştır. Toprak gazındaki radon konsantrasyonlarının belirlenmesi için AlphaGUARD sistemine ek olarak alınan toprak gazı ölçüm kiti kullanılmıştır.

2.1. Kullanılan Ölçüm Cihazı

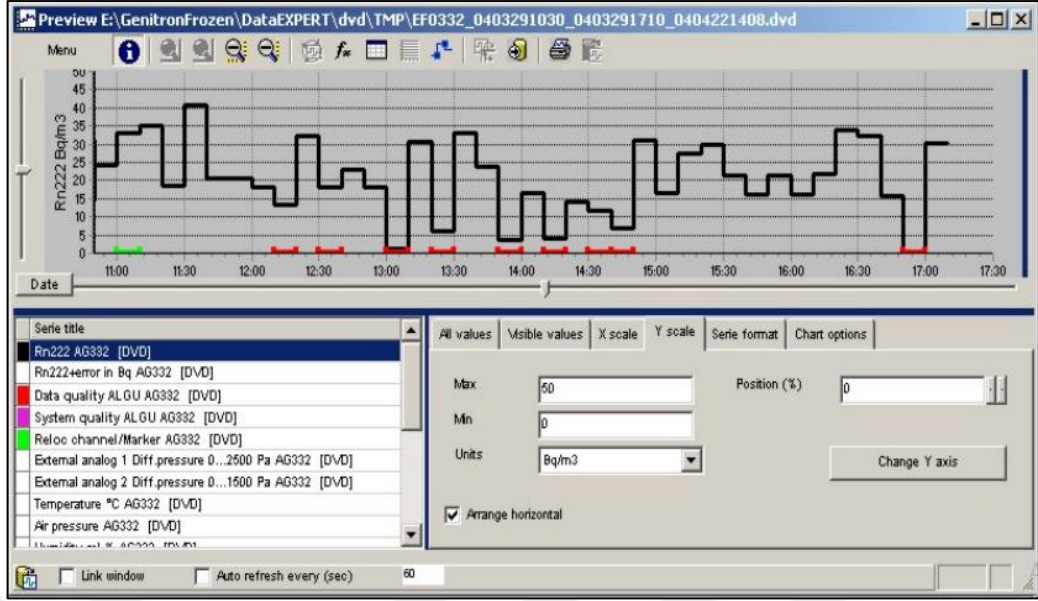
2.1.1. AlphaGUARD

AlphaGUARD PQ 2000 PRO, yüksek depolama kapasitesine sahip, taşınabilir, pille veya güç kablosuna bağlı çalışan bir radon monitörüdür. Havadaki radon konsantrasyonuna ek olarak AlphaGUARD aynı zamanda ortam sıcaklığını, bağıl nemi ve entegre sensörlerle atmosferik basıncı aynı anda ölçer ve kaydeder. Bu radon monitörü 2 – 2 000 000 Bq/m³ arasındaki radon konsantrasyonlarının sürekli izlenmesi için uygundur. Hem bina içerisinde hem de dışarıda kısa veya uzun süreli inceleme için tasarlanmıştır.

İyonlaşma odasına sahiptir (Şekil 2.1). Radonu tespit etmek için alfa spektroskopisi kullanır. Pompa yardımıyla hava iyonizasyon odasına iletilir. Alfa spektroskopisinden üretilen sinyal, dijital bir çıktıya dönüştürülür. Bu çıktı AlphaGUARD veya bilgisayarda saklanmaktadır. Cihaz RS-232 dönüştürücü ile bir bilgisayara bağlanır. DataEXPERT yazılım paketi sayesinde veriler grafiksel olarak incelenebilir (Şekil 2.2).

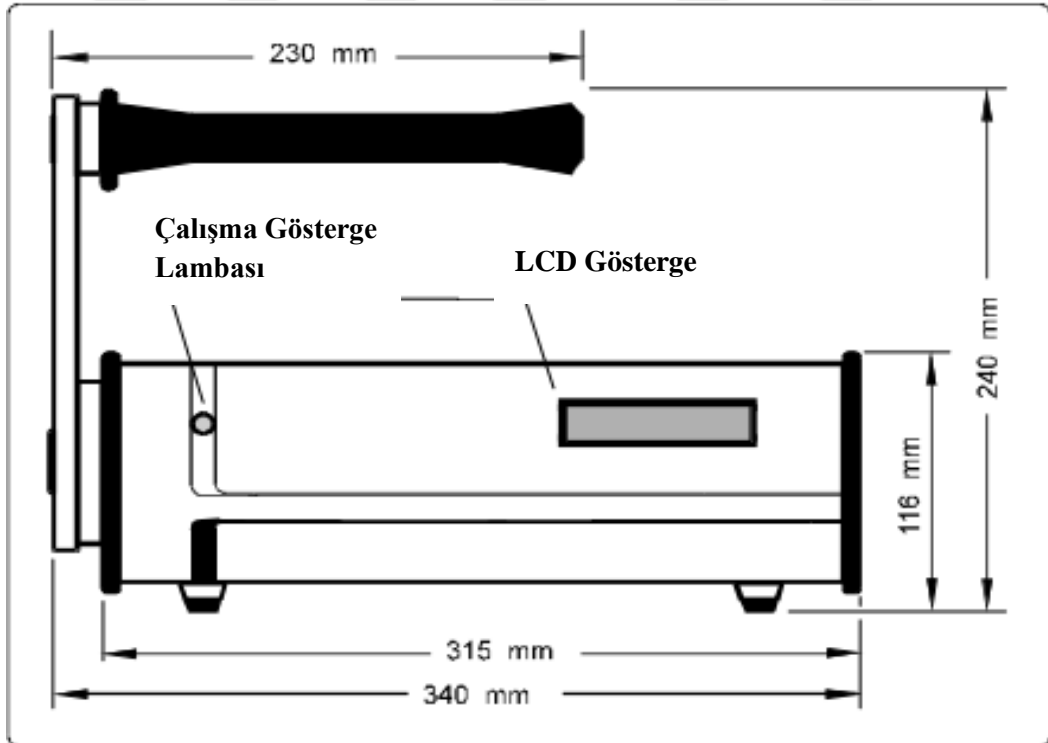


Şekil 2.1. İyonizasyon odası şematik gösterimi [31]



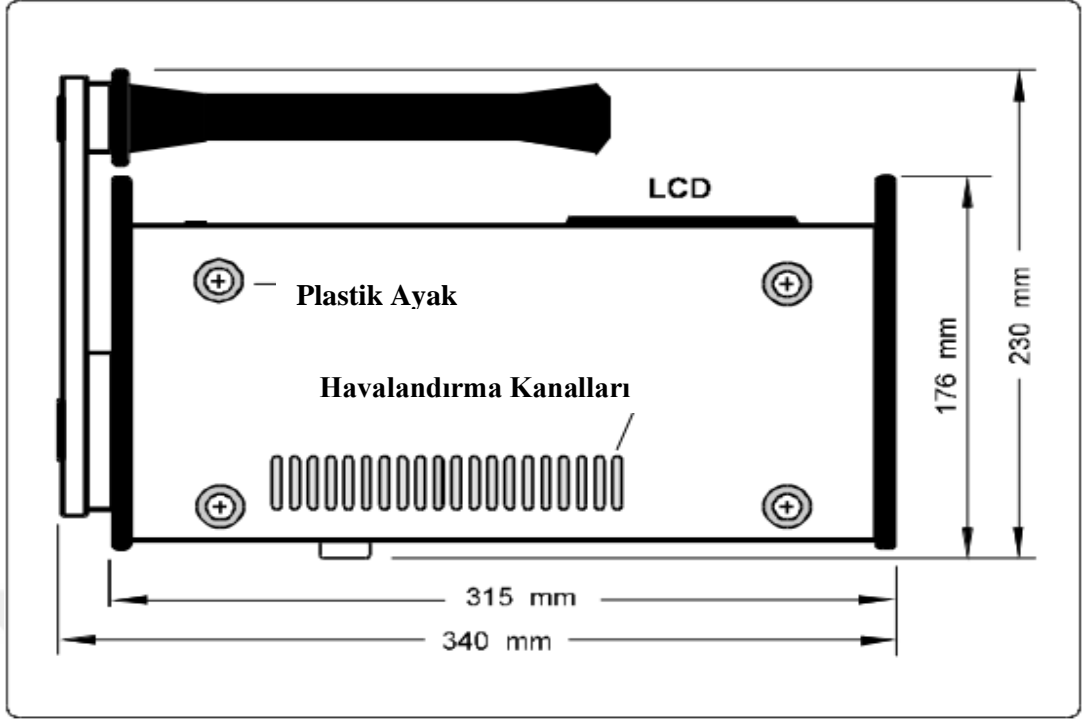
Şekil 2.2. DataEXPERT yazılımında ölçülen değerlerin görüntülenmesi [31]

AlphaGUARD PQ 2000 PRO Radon detektörünün elektronik bileşenleri sağlam bir alüminyum gövdeye yerleştirilmiştir. AlphaGUARD cihazının boyutları ve dış görünüşleri aşağıdaki gibidir (Şekil 2.3, 4, 5, 6, 7) [31].

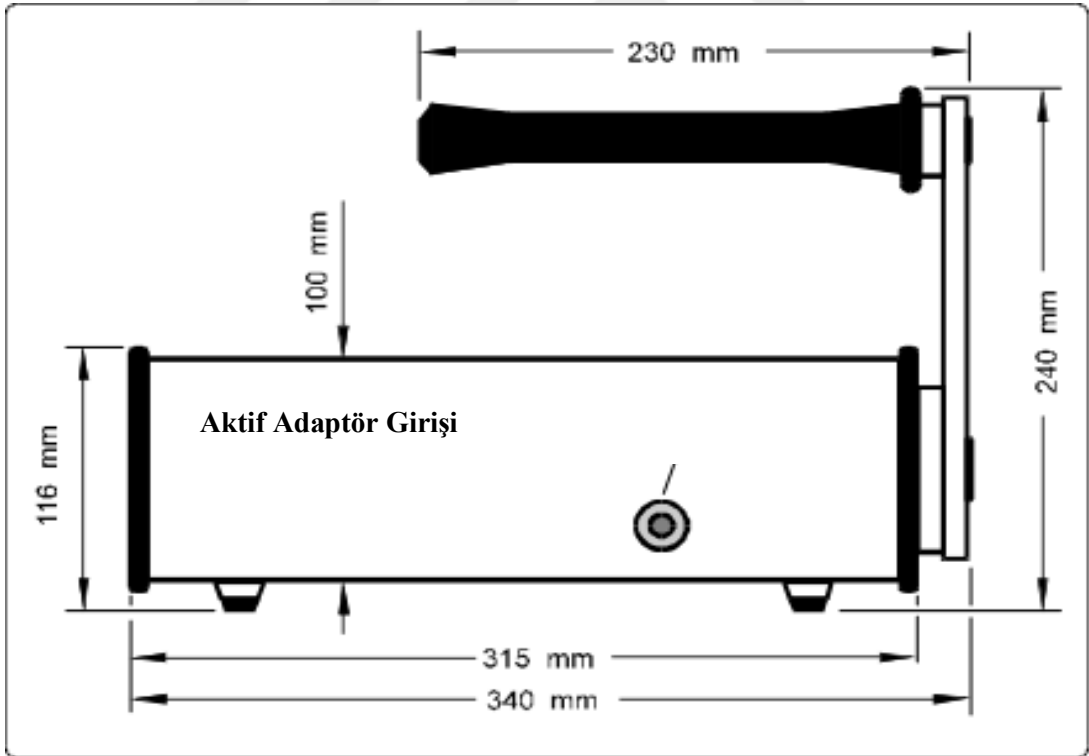


Şekil 2.3. Ön yüzün şematik gösterimi

Alt tarafta havalandırma kanalları sıraları bulunur.

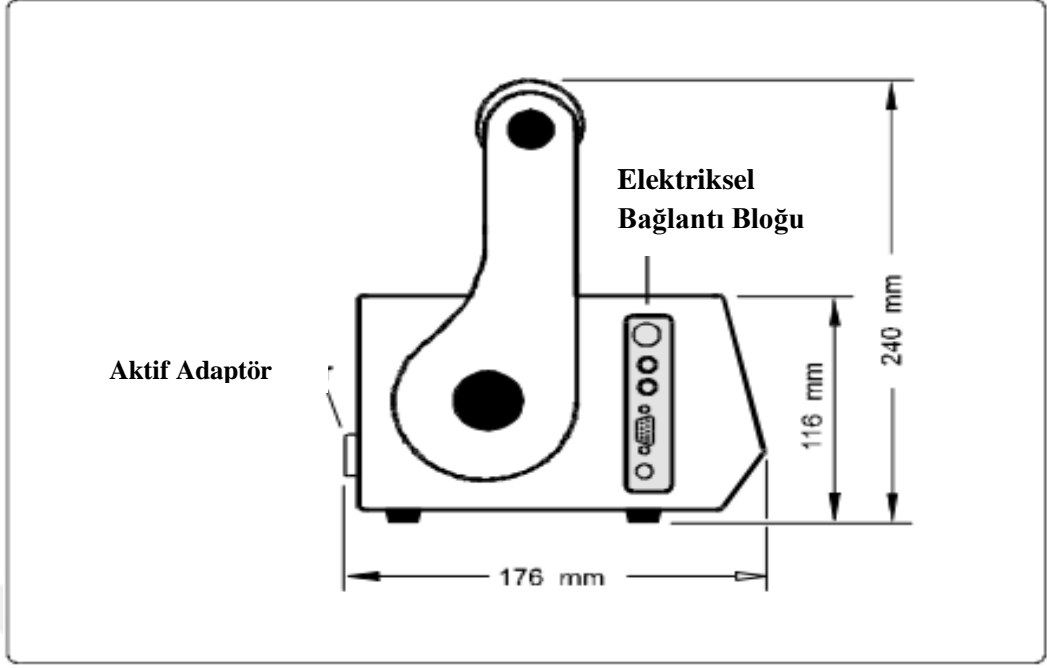


Şekil 2.4. Alt tarafın şematik gösterimi



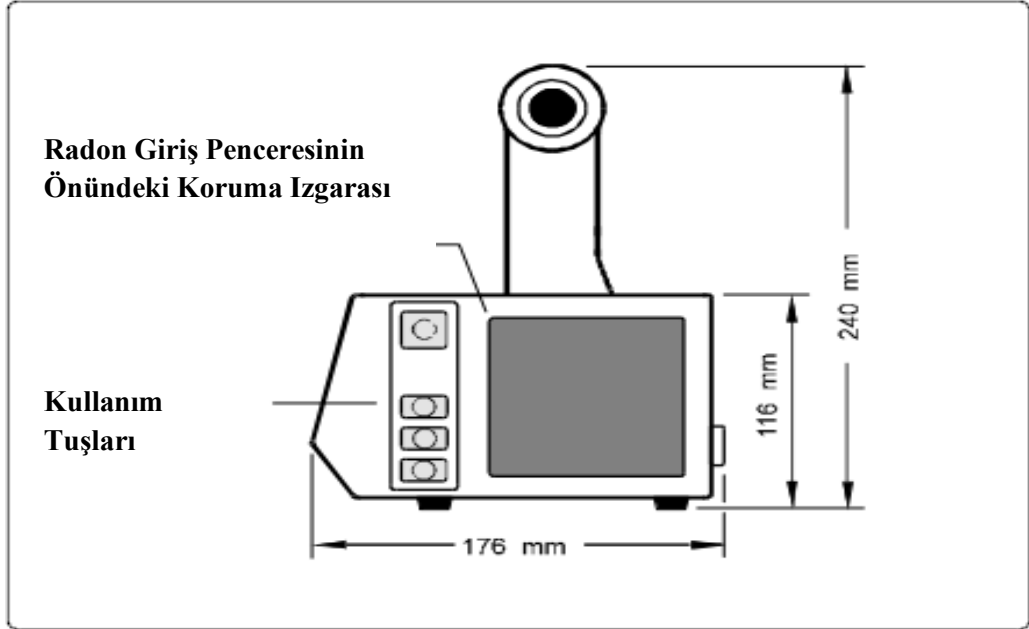
Şekil 2.5. Arka yüzün şematik gösterimi

Sol panelde; tutma kolu ve elektrik bağlantıları bulunmaktadır.



Şekil 2.6. Sol panelin şematik görüntüsü

Sağ yan panel radon giriş penceresinin koruma ızgarası ve AlphaGUARD'ın çalıştırılması için gerekli tuşları içerir.



Şekil 2.7. Sağ panelin şematik görüntüsü

AlphaGUARD cihazının teknik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. AlphaGUARD cihazına ait bazı teknik özellikler

Toplam ağırlık	4,5 kg
Rn detektör tipi	İyonizasyon odası
Detektör gerilimi	DC 750 V
İşletim modu	Akım modu ve 3D α spektroskopisi
Toplam detektör hacmi	0,62 litre
Etkin detektör hacmi	0,56 litre
Detektör dolma mekanizması	Hızlı pasif difüzyon veya aktif adaptörle otomatik dolma
Spektral sinyal üretme birimi	DSP (Digital Signal Processing), on-line çapraz korelasyon algoritması
Detektör hassaslığı	1 CPM/20 Bq/m ³
Rn ²²² ölçüm sınırları Alt sınır Üst sınır	2 Bq/m ³ 2x106 Bq/m ³
LCD ekran çözünürlüğü	1 Bq/m ³ (0,03 pCi/l)
Sistem doğrusalık hatası	< % 3
Rn ²²² kalibrasyon hatası	± % 3
Ölçüm sıklıkları Difüzyon modu Akış modu	10 veya 60 dak 1 veya 10 dak
Veri depolama kapasitesi	1 dak döngüyle 3 gün 10 dak döngüyle 1 ay 60 dak döngüyle 6 ay
Dâhili batarya kapasitesi	10 gün
İklim parametreleri Sıcaklık Atmosferik basınç Nem	-10 C - +50 C 700 mbar . 1100 mbar 0 %rH . 95 %rH

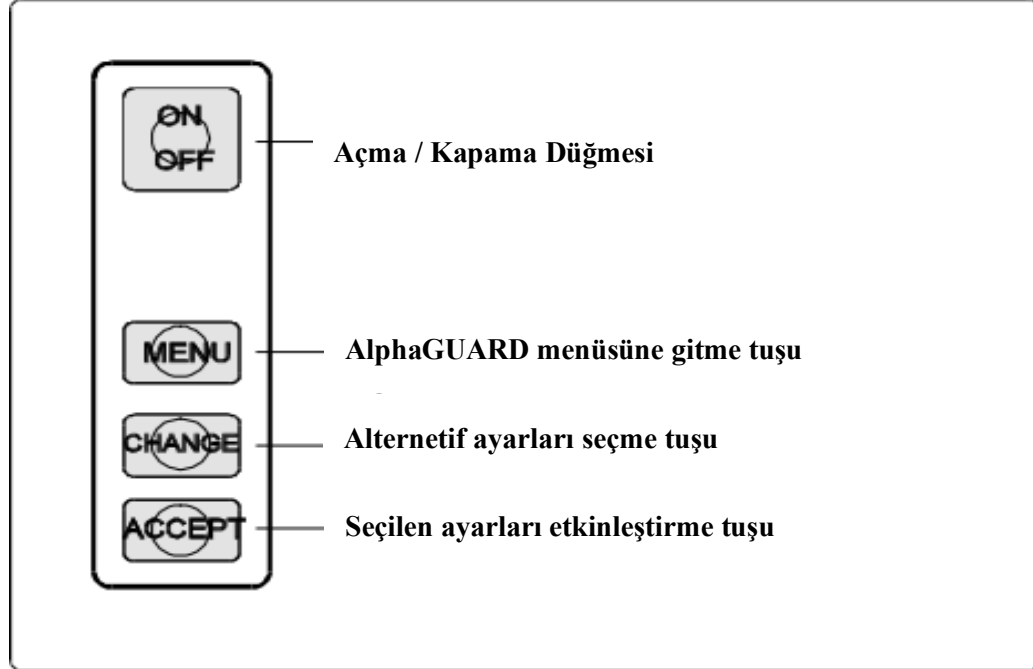
Çalışma gösterge lambasının görünümü ve rengi, cihazın çalışma durumunu gösterir (Tablo 2.2).

Dâhili bataryanın şarj edilmesi maksimum 16 saat sürmektedir ve pilin aşırı şarj edilmemesini sağlayan bir sisteme sahiptir.

Kullanıcı menüsü Şekil 2.8’de görüldüğü gibi dört tuştan oluşmaktadır. Bunlar; ON / OFF, MENU, CHANGE, ACCEPT tuşlarıdır.

Tablo 2.2. LED'in görünümü ve rengine göre, cihazın çalışma durumu

LED'in durumu	Çalışma koşulu
Yanıp sönen yeşil ışık	Ölçüm devam ediyor, Dâhili bataryadan güç alıyor, 75 saatten fazla çalışma süresi kaldı.
Yanıp sönen kırmızı ışık	Ölçüm devam ediyor, Dâhili bataryadan güç alıyor, 75 saatten az çalışma süresi kaldı.
Yeşil ışık	Ölçüm devam ediyor, Harici 12 V beslemeden güç alıyor, 9 günden fazla çalışma süresi kaldı.
Kırmızı ışık	Ölçüm devam ediyor, Harici 12 V beslemeden güç alıyor, 9 günden az çalışma süresi kaldı.
Kapalı	AlphaGUARD çalışmıyor, Şebeke elektriği / güç kaynağı bağlandığında şarj edilmeli.



Şekil 2.8. AlphaGUARD tuş takımı [31]

ON / OFF tuşü AlphaGUARD'ı açar veya kapatır.

MENU tuşuna basarak AlphaGUARD menüsü etkinleştirilir. Bu menü, seçilen cihaz parametrelerinin görüntülenmesini ve gerekirse değiştirilmesini sağlar. Tuşa art arda basıldığında yeni bir menü noktası seçilir veya menü programı kapatılır. Önemli parametreler CHANGE ve ACCEPT tuşuyla da değiştirilebilir. 8 saniyeden uzun bir süre hiçbir tuşa basılmazsa, menü programı otomatik olarak kapatılır.

CHANGE tuşu, menü programı etkinleştirildiğinde geçerli ayarların değiştirilmesini sağlar. Bu tuşa art arda basıldığında olası ayar alternatifleri gösterilir.

ACCEPT tuşuna basılarak, CHANGE tuşu ile seçilen değişiklikler uygulanır. Bir bip sesi, yapılan değişikliğin uygulandığını gösterir ve menü programı otomatik olarak kapanır. Ekranda standart ölçüm ekranı gösterilir.

AlphaGUARD PQ 2000 PRO; difüzyon modu ve akış modu olmak üzere iki farklı modda ölçüm almaktadır.

Difüzyon modu; açık havada veya binalarda radon gazı konsantrasyonunu izlemek için tasarlanmıştır. Hem enerji tüketimi hem de ölçüm sisteminin mekanik aşınması difüzyon modunda minimum düzeyde olduğundan, bu tür işlemler uzun süreli çalışmalar için en uygun yöntemdir. Bu modda 10 dak ya da 60 dak döngüde ölçüm alınabilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Difüzyon modu (sol: 10dak , sağ: 60 dak. döngüsü) [31]

AlphaGUARD PQ2000 PRO difüzyon modunda çalıştırılırken, sağ vidalı kapak çıkarılmalıdır. Filtrenin zarar görmesini önlemek için metalik koruyucu ızgara giriş penceresinin önüne monte edilmelidir (Şekil 2.10). Cihaz açıldıktan sonra kullanıcı menüsünde bulunan tuşlar yardımı ile ya da DataEXPERT yazılımı kullanılarak AlphaGUARD'a bağlı bir bilgisayar aracılığıyla difüzyon modu seçilir.



Şekil 2.10. Difüzyon modu: vidalı kapak sökülmüş, koruyucu ızgaraya takılmış hali

İlgili ölçüm döngüsü tamamlanır tamamlanmaz, son veriler ekranda gösterilir veya menüden erişilebilir (Şekil 2.11). Ayrıca, PQ2000 PRO modelinde ölçüm başlangıcından itibaren ölçülen radonun ortalama değerleri menüden görülebilir.



Şekil 2.11. Ölçüm işlemi sırasında AlphaGUARD [31]

Akış modu, açık veya kapalı devre sistemleri için kullanılabilir. Bu modda 1 dak ya da 10 dak döngüde ölçüm alınabilir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Akış modu (sol: 1 dak, sağ: 10 dak döngüsü) [31]

AlphaGUARD PQ2000 PRO akış modunda çalışırken vidalı kapak ve koruyucu ızgaraya takılmalıdır (Şekil 2.13).

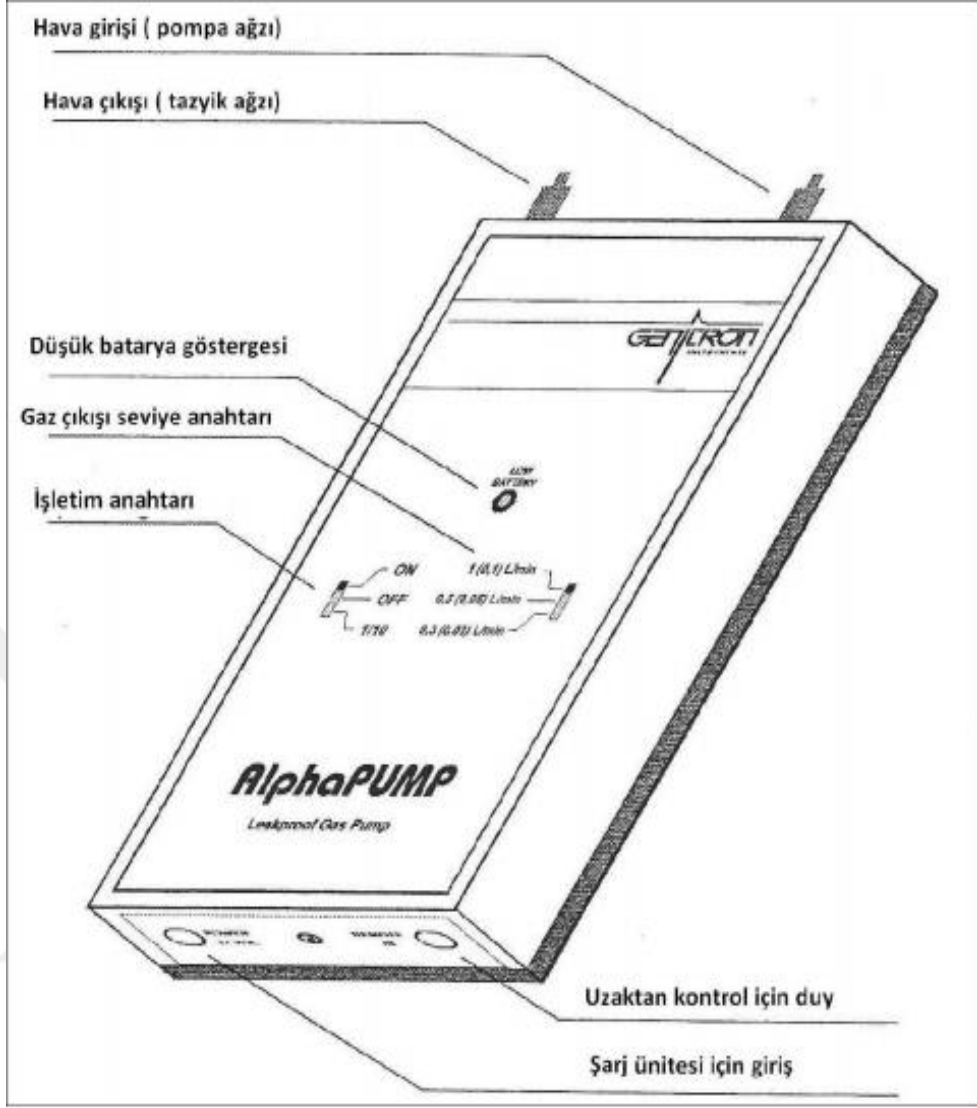


Şekil 2.13. Akış modu: vidalı kapak, koruyucu ızgaraya takılmış hali [31]

2.1.2. AlphaPUMP

AlphaPUMP pille çalışan, ortamdaki radonu iyonizasyon odasına yönlendiren pompadır. Bu cihaz yardımıyla döngü halinde sürekli olarak veya anlık ölçümler yapılabilir.

Ön panelde iki adet 3 kademeli kaydırma düğmesi ve kalan pil kapasitesi için bir gösterge bulunur. Üst dar tarafta, hortum borularını bağlamak için giriş ve çıkış başlığı vardır. Ana güç kaynağı / şarj ünitesi ve uzaktan kumanda için konektör soketleri, alt dar tarafta bulunur. Arkasında sabitlemek için bir kemer klipsi bulunur (Şekil 2.14). Sol çalıştırma düğmesi, cihazı açıp kapatmak için kullanılır ve sürekli ölçüm çalışması (anahtar konumu 'AÇIK') ve periyodik ölçüm çalışması (anahtar konumu '1/10') arasında seçim yapmayı sağlar. Sağdaki kaydırma anahtarı (güç amplifikatörü anahtarı) pompanın çıkışını değiştirmeye izin verir. Sol çalıştırma anahtarıyla birlikte 6 farklı pompa hızı 1,0 ile 0,03 L / dak aralığında ayarlanabilir.



Şekil 2.15. AlphaPUMP şematik gösterimi [31]

Kalan pil kapasitesinin göstergesi (kırmızı LED), pilin kalan kapasitesi belirli bir seviyeye ulaştığında yanıp söner. Batarya uyarısının ilk yanıp sönmelerinden sonra, AlphaPUMP yaklaşık 1 L / dak konumunda bir saat veya 0,003 L / dak konumunda 30 saat çalışabilir.

Tablo 2.3. Anahtarlama konumuna bağlı olarak pompa hızları (L / dak)

Çalıştırma Düğmesinin Konumu	Güç Yükseltme Düğmesinin Konumu		
	1 (0,1) L / dak	0,5 (0,05) L / dak	0,3 (0,03) L / dak
ON	1,0	0,5	0,3
1/10	0,1	0,05	0,03

2.1.3. AlphaGUARD kalibrasyonu

Birçok deneysel çalışmada olduğu gibi ölçümlerde kullanılan elektronik cihazların yaptığı ölçümlerin doğru olduğundan emin olmak, yapılan çalışmalarda büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda kullanılacak cihazların öncelikli olarak kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Yapılan kalibrasyon sonucunda elde edilen düzeltme faktörü hesaplanarak ölçülen değerler ayarlanır.

AlphaGUARD cihazı, uzun yıllar boyunca stabilitesini korur (5 yıl garantilidir). Dahili kalite güvence sistemine dayanarak, kullanıcı herhangi bir arıza belirtisi olmadığı sürece ünitesinin kalibrasyonuna tam güven duyabilmektedir. Bununla birlikte, kalibrasyon parametreleri yılda en az bir kez bilinen bir standartla (NIST) doğrulanmalıdır.

Radon İzleme Yeterliliği (RMP) - Nitelik Testi; cihazların verileri hedef değerden \pm % 25'ten fazla farklılık göstermediğinde geçilmiş olur. AlphaGUARD Radon monitör üniteleri ortalama olarak sadece \pm % 2 sapma göstermiştir ve böylece üstün doğruluğu onaylanmıştır.

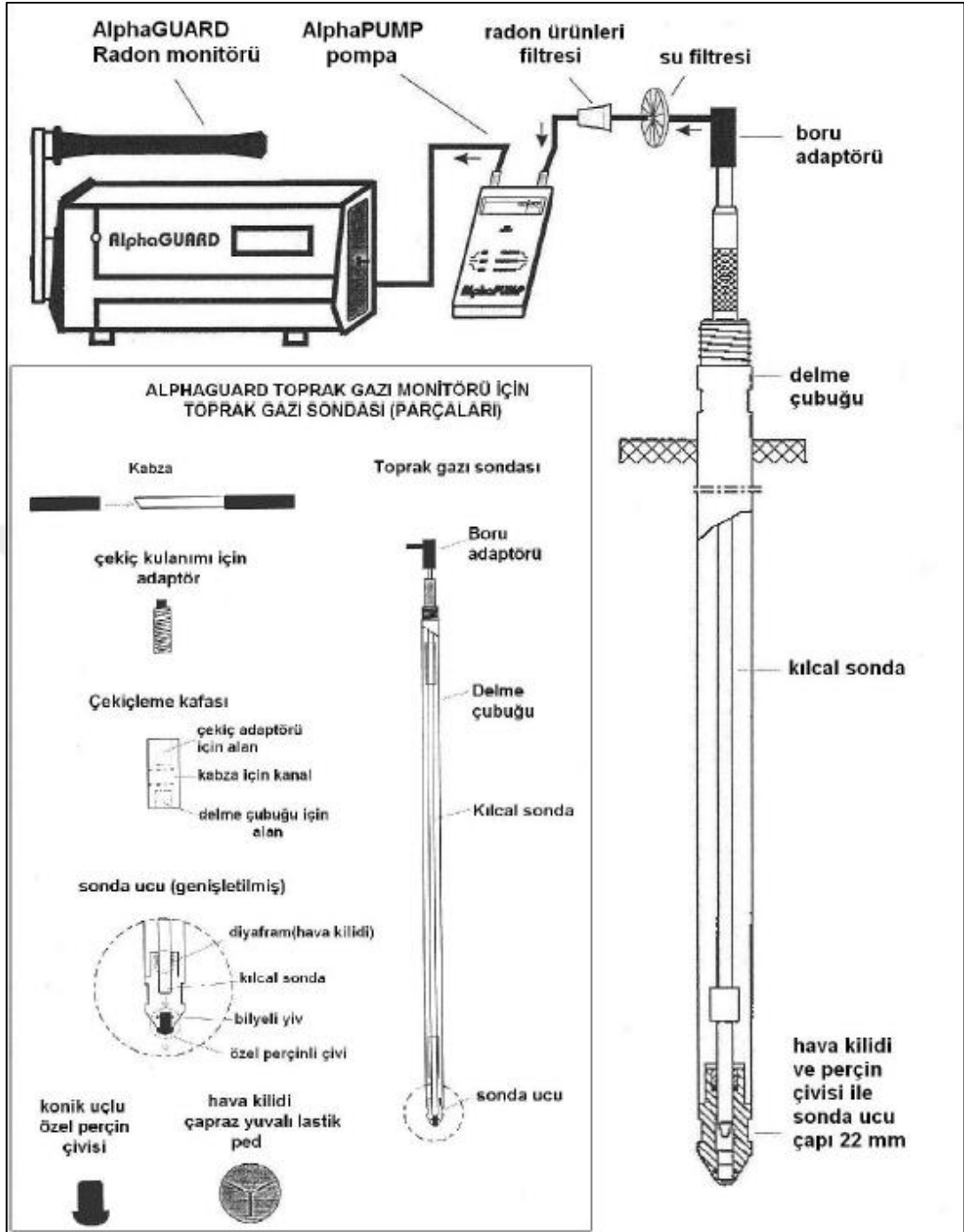
2.2. AlphaGUARD ile Toprak Gazı Ölçümleri

Doğru toprak gazı ölçümleri için AlphaGUARD'ın akış moduna ayarlanması gerekir. Cihaz açıldıktan sonra yan tarafında bulunan tuşlar veya DataEXPERT yazılımı kullanılarak AlphaGUARD'a bağlı bir bilgisayar aracılığıyla bu mod değiştirilebilir.



Şekil 2.16. Başlatma aşamasından sonraki AlphaGUARD ekranı - Akış modu (sol: 1 dakika, sağ: 10 dakika döngü) [31]

Toprak gazı sondası düzeneği Şekil 2.17'da gösterildiği üzere kurulur.



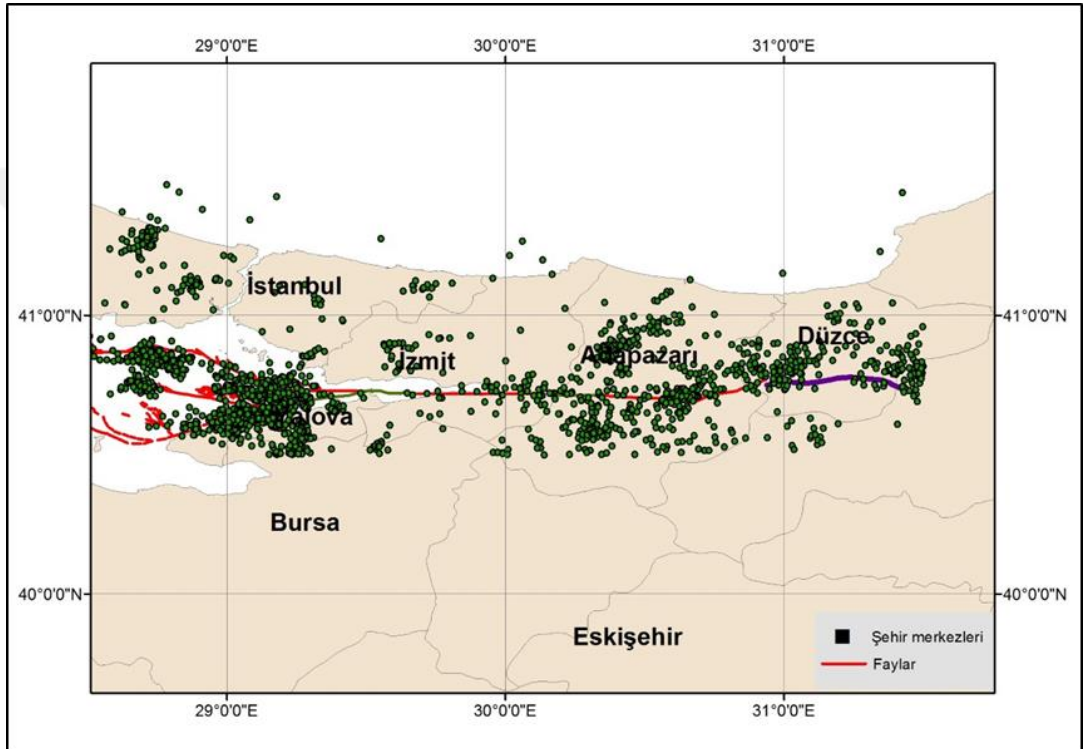
Şekil 2.18. Toprak gazı sondası ve kurulan düzeneğin şematik gösterimi [31]

Toprak gazı sondası; demir bir delme çubuğu ve kılcal sondadan oluşmaktadır. Delme çubuğunun ucunda perçin çivisi bulunmaktadır. Çubuk toprağa çakılmadan önce perçin çivisinin takılı olduğundan emin olunduktan sonra bir çekiç yardımıyla delme çubuğu istenilen derinliğe kadar toprağa çakılabilir. Daha sonra çubuk 2 - 3 cm kadar yukarı çekilmelidir. Kılcal sonda çubuk içine yerleştirilir ve sert bir şekilde ittirilir. Böylece perçin çivisinin ayrılması sağlanır ve havanın emilmesi için açıklık oluşur.

Kılcal sonda plastik boru yardımıyla; sırasıyla su durdurma filtresi ve radon ürünleri filtresi ve AlphaPUMP'a bağlanır. Böylelikle toprak gazı AlphaPUMP monitörünün iyonizasyon odasına gönderilir.

2.3 Radon Gazı Ölçüm Noktası

Bu çalışmada ölçüm istasyonunu belirlemek için, Marmara Bölgesi'nde son 10 yılda gerçekleşen depremler incelendi (bakınız Şekil 2.17)



Şekil 2.19. Marmara Bölgesi'nde son 10 yılda gerçekleşen depremler

Ölçüm istasyonu $40^{\circ}38'50.6''$ kuzey enlemi ve $29^{\circ}13'55.9''$ E doğu boylamındaki YASKİ (Yalova Atık su Ve Kanalizasyon Alt Yapı Tesislerini İşletme Birliği) tesisi olarak seçilmiştir. Kurulan düzeneğe ait fotoğraflar Şekil 2.18'da gösterilmiştir.

AlphaGUARD, cihazı korumak adına özel olarak yaptırılan metal dolap içerisine yerleştirilmiştir. Metal dolap konteynere sabitlenmiştir ve konteynerde delik açılarak cihazdan çıkan borunun toprak sondasına ulaşması sağlanmıştır. Bir çekiç yardımıyla toprak sondası 80 cm derinliğe gömülmüştür.

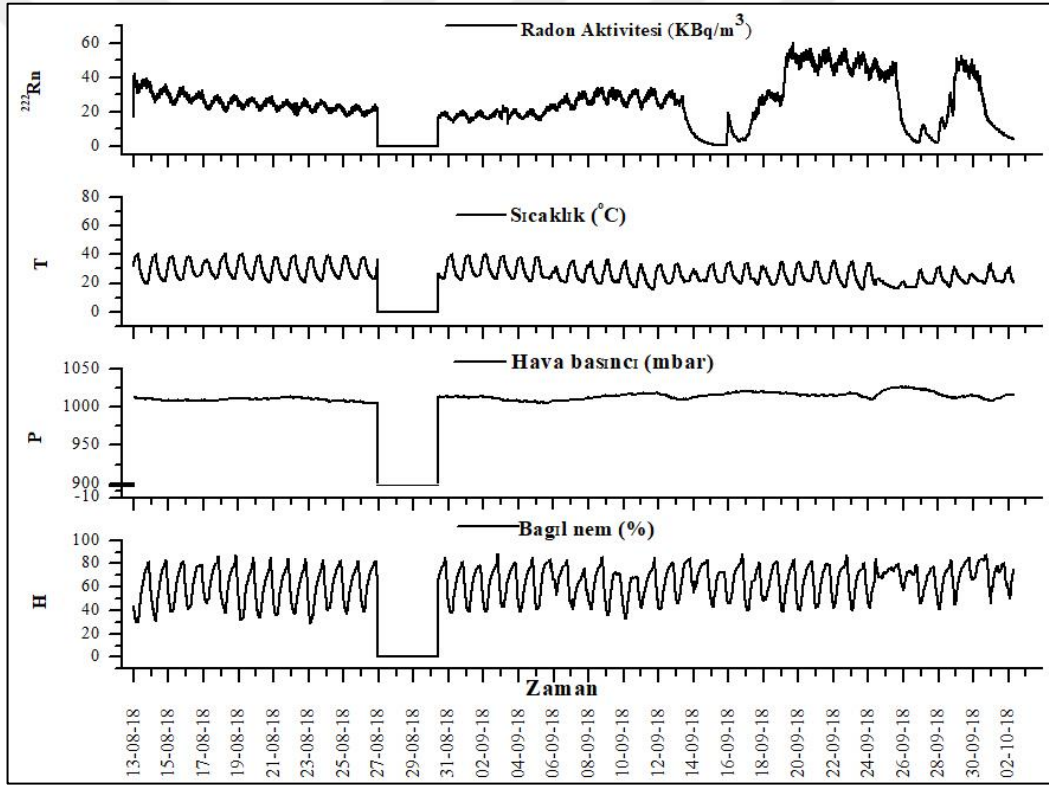


Şekil 2.20. Ölçüm noktasında kurulan düzenek

Alınan ölçümlerin uzaktan izlenebilirliği için AlphaGUARD cihazı bir bilgisayara bağlanmış ve 4,5G USB modem kullanılarak internet erişimi elde edilmiştir. Bilgisayara kurulan uzaktan erişim programı yardımı ile ölçümler uzaktan izlenebilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

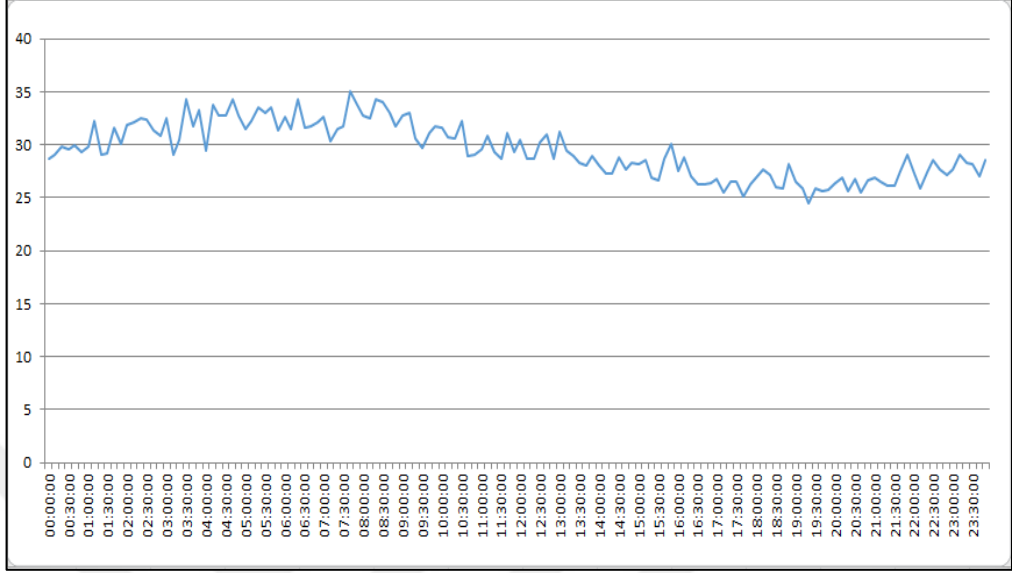
13.8.2018 - 2.10.2018 tarihleri arasında YASKİ tesisinde AlphaGuard cihazıyla yapılan ölçümlerde elde edilen veriler Şekil 3.1’de verilmiştir. Ölçümler; AlphaPUMP cihazı 0,3 L / dak pompa hızına ayarlanarak 52 gün boyunca 10 dakika aralıklarla kaydedilmiştir ve toplamda 6684 veri elde edilmiştir. Ölçüm istasyonunda ölçülen en yüksek değer 60,4 KBq/m³, en düşük değer 0,15 KBq/m³ olarak ölçülmüştür. Ortalama değer ise 25,6 KBq/m³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. YASKİ tesisinde AlphaGUARD ile yapılan ölçüm değerleri grafiği

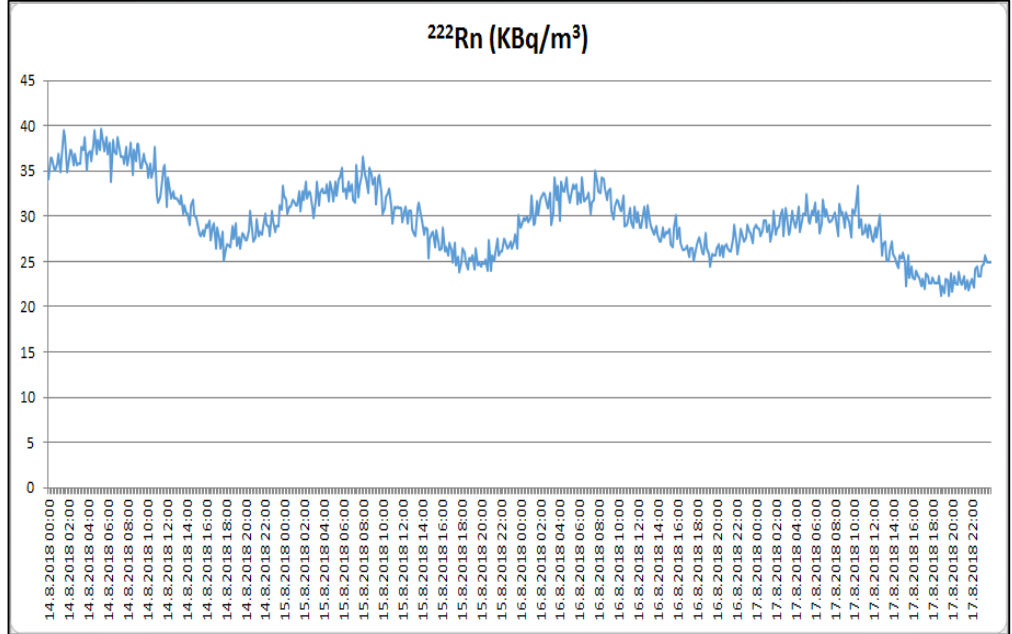
Grafikte görüldüğü üzere bazı günlerde ölçüm değerleri sıfır olarak kaydedilmiştir. Mevsimsel yağış sonucu ortamdaki suyun artması sebebiyle su durdurma filtresi su ile dolmuş ve radon gazı geçişine engel olmuştur. Bu sebeple bazı tarihlere ait radon gazı yoğunluğu verileri alınamamıştır.

Bir günlük radon gazı yoğunluğu değişimine ait grafik ise Şekil 3.2’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde periyodik bir değişim görülmemiştir.



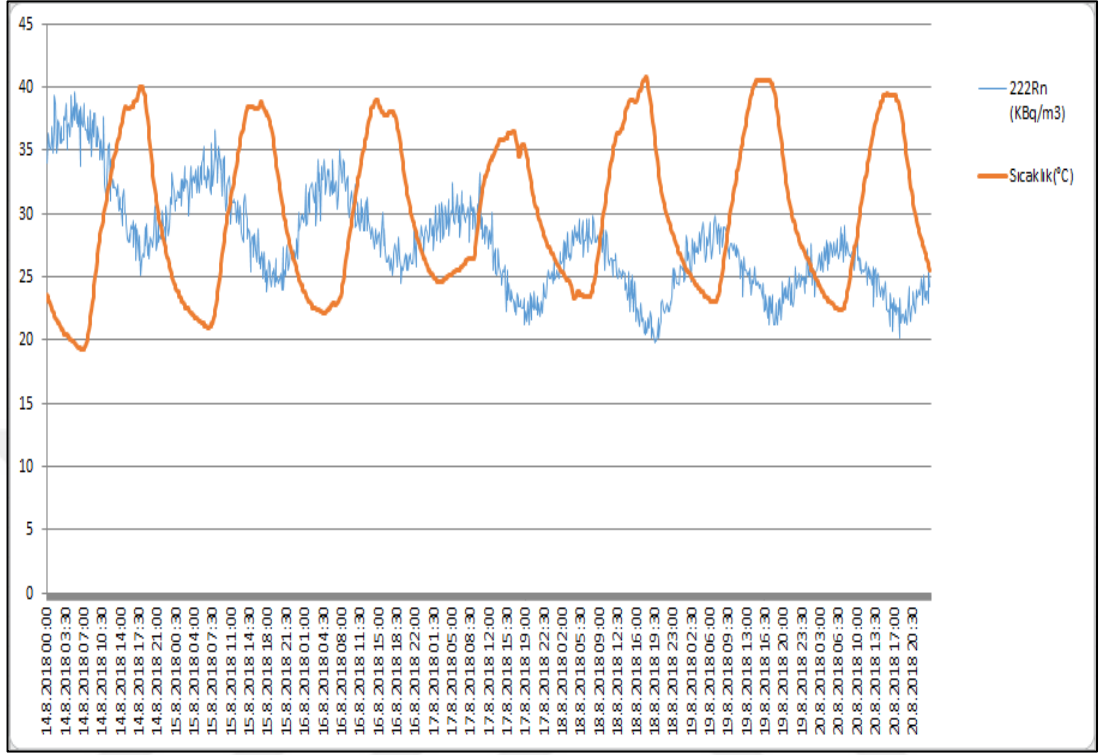
Şekil 3.2. 16.08.2018 tarihine ait günlük radon gazı yoğunluğu değişimi (KBq/m³)

Fakat birbirini takip eden birkaç güne ait radon gazı yoğunluğu grafiği incelendiğinde; düzenli bir değişim görülmüştür. Bu değişime ait grafik Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3. 14.08.2018 - 17.08.2018 tarihleri arasındaki radon gazı yoğunluğu değişimi

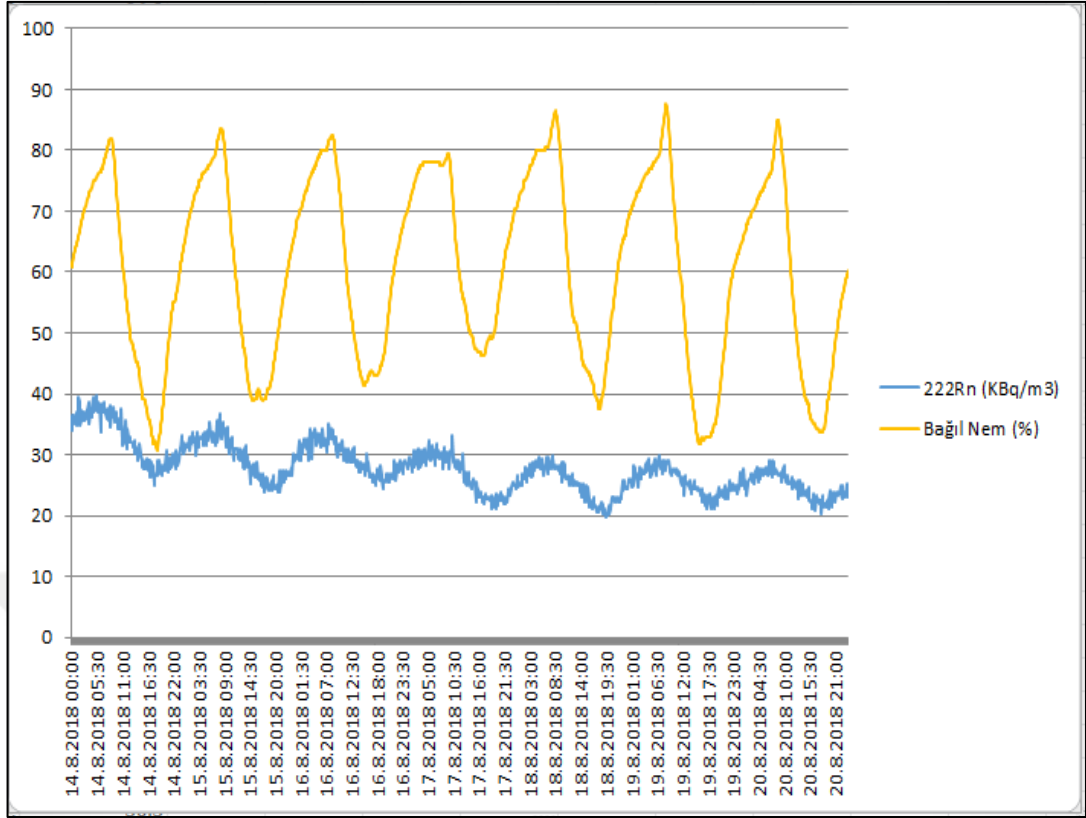
Bir haftalık sıcaklık ölçüm değerleri ile radon gazı yoğunluğunu ilişkilendirdiğimizde; sıcaklık artışıyla radon gazı yoğunluğunun azaldığı görülmüştür (Şekil 3.4).



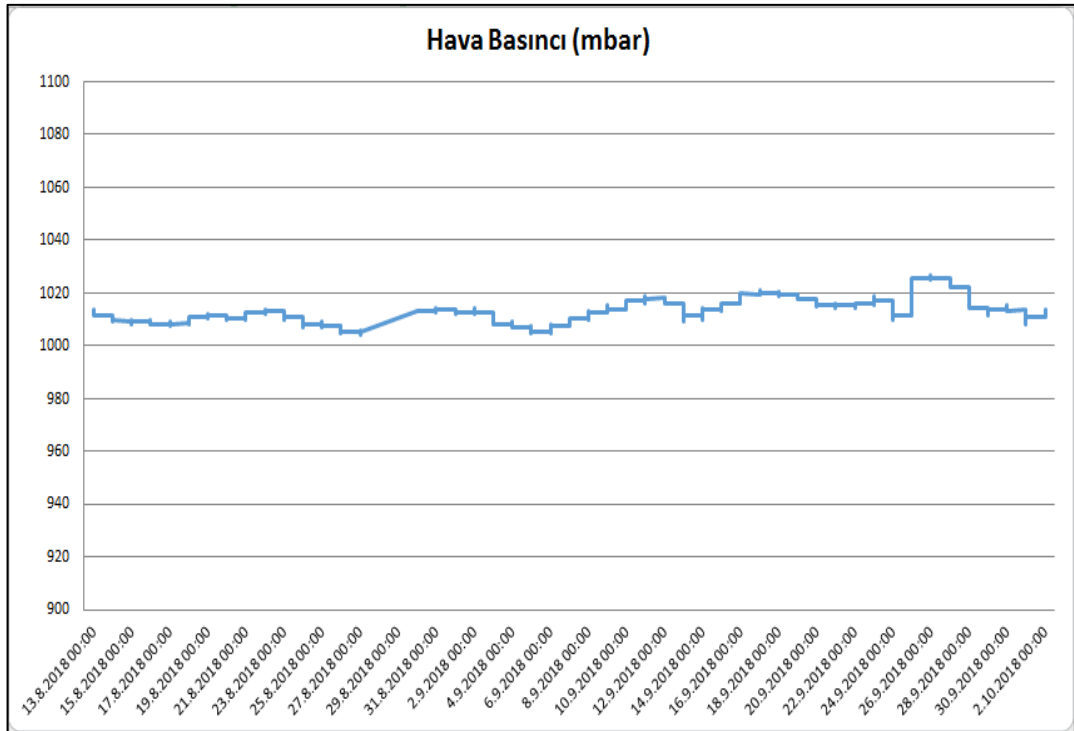
Şekil 3.4. Bir haftalık sıcaklık ve radon gazı yoğunluğu değişim grafiği

Yine bir haftalık bağıl nem değişimi ve radon gazı yoğunluğu değişimini ilişkilendirdiğimizde; bağıl nem ve radon gazı yoğunluğunun doğru orantılı olduğu görülmüştür. Bağıl nem arttığında radon gazı yoğunluğunun da arttığı Şekil 3.5'te görülmektedir.

13.08.2018 - 2.10.2018 tarihleri arasında AlphaGUARD cihazıyla ölçülen basınç değerleri ise Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Değerler incelendiğinde en yüksek 1026,7 mbar, en düşük 1004,4 mbar değeri ölçüldüğü görülmüştür. Basınç parametresine ait verilerde kayda değer değişimler gözlemlenmemiştir. Bu sebeple hava basıncının radon gazı yoğunluğu üzerine bir etkisi olduğu görülmemiştir.



Şekil 3.5. 14.08.2018 - 07.08.2018 tarihleri arasındaki radon gazı yoğunluğu ve bağıl nem değişimi arasındaki ilişki



Şekil 3.6. 13.8.2018 - 2.10.2018 tarihleri arasındaki basınç değerleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında; topraktaki radon gazı yoğunluğunun mevsimsel koşullara göre değişim gösterdiği açıkça görülmektedir (Şekil 4.4,5). Bu çalışmada topraktaki radon gazı yoğunluğunun sıcaklık ile ters, nem ile doğru orantıda değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışma toprağın 80 cm altında AlphaGUARD cihazı ile 13.8.2018 - 2.10.2018 tarihleri arasında sürekli ölçüm yapılarak tamamlanmıştır. Mevsimsel yağış sebebiyle toprağa karışan yağmur suyu toprağın çamur olmasına sebebiyet vermiş ve gaz geçişini engellemiştir. Aynı şekilde yağış sebebiyle artan nem sonucu topraktaki radon gazını ileten boruda su birikmiş ve gaz geçişine engel olmuştur. Bu sebeple, AlphaGUARD cihazı ile yapılacak uzun süreli ölçümlerde, ölçüm alanının yağıştan korunması gerekmektedir. Bununla birlikte alternatif olarak boruda birikebilecek suyu tahliye etmeye yardımcı ek bir sistem kurulabilir.

Çalışmayı genişletmek adına farklı derinliklerde ya da farklı toprak tiplerinde radon gazı yoğunluğu değişimi gözlemlenebilir. Maden ocakları, metro istasyonları gibi kapalı ortamlardaki radon gazı seviyeleri tespit edilebilir. Ek olarak, gel-git olayları, güneş ve ay tutulması benzeri gökyüzü olaylarının radon gazı yoğunluğu üzerine etkileri incelenebilir.

Doğal kaynaklardan alınan bu radyasyondan kaçmak mümkün değildir. Maruz kaldığımız radon dozunun en aza indirilmesi adına bu tür çalışmaların sayısı arttırılmalıdır. Radon gazının insan sağlığı üzerindeki zararları hakkında ve kişiler tarafından alınabilecek önlemler hakkında toplum bilinçlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/402-r-03-003.pdf>, (Ziyaret tarihi: 21 Mayıs 2019)
- [2] Reimer G.M., Gundersen L.C.S., A Direct Correlation Among Indoor Radon, Soil Gas Radon and Geology in the Reading Prong Near Boyertown, Pennsylvania, *Health Phys.*, 1989, **57**, 155–160.
- [3] Farid S.M., Indoor and Soil Radon Measurements in Swaziland by Track Detectors, *J. Environ. Radiac.*, 1997, **34**, 29–36.
- [4] Varley N.R., Flowers A.G., The Influence of Geology on Radon Levels in S.W. England, *Radiat. Prot. Dosim.*, 1998b, **77**, 171–176.
- [5] Vaupotič J., Andjelov M., Kobal I., Relationship Between Radon Concentrations in Indoor Air and in Soil Gas, *Environ. Geol.*, 2002, **42**, 583–587.
- [6] Varley N.R., Flowers A.G., The Influence of geology on radon levels in S.W. England, *Radiat. Prot. Dosim.*, 1998b, **77**, 171–176.
- [7] Antoci C., Immè G., Delfa S.L., Nigro S.L., Morelli D., Patanè G., Alessandro G., Indoor and Soil Radon Measurements in the Hyblean Foreland (SouthEast Sicily). *Ann. Geophys.*, 2007, **50**, 493–500.
- [8] Chauhan R.P., Kumar A., Chauhan N., Joshi M., Aggarwal P., Sahoo B.K., Ventilation Effect on Indoor Radon-thoron Levels in Dwellings and Correlation with Soil Exhalation Rates, *Indoor Built Environ.*, 2014, **25**, 203–212.
- [9] Chen J., Ford K.L., A Study on the Correlation between Soil Radon Potential and Average Indoor Radon Potential in Canadian Cities, *J. Environ. Radiact.*, 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.01.018>.
- [10] Celik N., Celik U., Celik A., Kucukomeroglu, Determination of Indoor Radon and Soil Radioactivity Levels in Giresun, Turkey, *J. Environ. Radioact.*, 2008, **99**, 1349–1354.
- [11] Åkerblom G., Andersson P., Clavensjö B., Soil Gas Radon—a Source for Indoor Radon Daughtyers, *Radiat. Prot. Dosim.*, 1984, **7**, 49–54.
- [12] Kemski J., Klingel R., Siehl A., Valdivia-Manchego M., From Radon Hazard to Risk Prediction-based on Geological Maps, Soil Gas and Indoor Measurements in Germany, *Environ. Geol.*, 2009, **56**, 1269–1279.

- [13] Koarashi J., Amano H., Andoh M., Iida T., Estimation of ^{222}Rn Flux from Ground Surface Based on the Variation Analysis of ^{222}Rn Concentration in a Closed Chamber, *Radiat. Prot. Dosim.*, 2000, **87**, 121–131.
- [14] Almayahi B.A., Tajuddin A.A., Jaafari M.S., In situ Soil ^{222}Rn and ^{220}Rn and Their Relationship with Meteorological Parameters in Tropical Northern Peninsular Malaysia, *Radiat. Phys. Chem.*, 2013, **90**, 11–20.
- [15] Lara E., Rocha Z., Palmieri H.E.L., Santos T.O., Rios F.J., Oliveira A.H., Radon Concentration in Soil Gas and its Correlations with Pedologies, Permeabilities and ^{226}Ra Content in the Soil of the Metropolitan Region of Belo Horizonte -RMBH, Brazil, *Radiat. Phys. Chem.*, 2015, **116**, 317–320.
- [16] Ennemoser O.G., Iacomuzzi S.M., Brunner P., Radon Measurements in Soil to Predict Indoor Radon Concentrations in New Building in an Area with Unusually High Radon Levels, *Sci. Total Environ.*, 1995, **162**, 209–213.
- [17] Singh B., Singh S., Bajwa B.S., Singh J., Kumar A., Soil Gas Radon Analysis in Some Areas of Northern Punjab, India, *Environ. Monit. Assess.*, 2011, **174**, 209–217.
- [18] Stranden E.A., Kolstad A.K., Lind B., Radon Exhalation: Moisture and Temperature Dependence, *Health Phys.*, 1984, **47**, 480–486.
- [19] Shiratoi K., The Variation of Radon Activity of Hot Spring, *Tohoku Imperial Univ. Scientific Report*, 1927, **3**(16), 1725-1730.
- [20] Imamura G.; Report on the Observed Variation of the Tochiomata Hot Spring Immediately Before the Nagano Earthquake of July 15, 1947. *Kagaku*, 1947, **11**, 16-17.
- [21] Hatuda Z., Radon Content and its Change in Soil Air Near the Ground Surface, *Mem. College Sci.*, 1953, *Univ. Kyoto*, **B**(20), 285-306.
- [22] Okabe S., Time Variation of the Atmospheric Radon Content Near the Ground Surface with Relation to Some Geophysical Phenomena, *Mem. College Sci. Univ. Kyoto*, 1956, **A**(28), 99-115.
- [23] Ulomov V.I., Mavashev B.Z., A Precursor of a Strong Tectonic Earthquake, *Dok. Akad. Nauk Sci. USSR, Earth Sci. Sect., English Translations*, 1968, **176**, 9-11.
- [24] Ulomov V.I., Mavashev B.Z., Forerunners of the Tashkent Earthquakes, *Izv. Akad. Nauk Uzbekskoj SSR*, 1971, 188-200.
- [25] Antsilevich M.G., An Attempt to Forecast the Moment of Origin of Recent Tremors of the Tashkent Earthquake Through Observations of the Variation of Radon, *Izvestiâ Akademii nauk Uzbekskoj*, 1971, 188–200.

- [26] Friedmann H., Aric K., Gutdeutsch R., King C.Y., Altay C., Sav H., Radon Measurements for Earthquake Prediction Along the North Anatolian Fault zone: A Progress Report, *Tectonophys.*, 1988, **152**, 209-214.
- [27] İçhedef M., Saç M. M., Harmanşah C., Taskopru C., Two Year Evolution of Radon Emission and Tectonic Movements in Tuzla Fault, Seferihisar-İzmir, *Applied Radiation & Isotopes*, 2014, **86**, 102-108.
- [28] <https://en.wikipedia.org/wiki/Radon>, (Ziyaret tarihi: 25 Mayıs 2019)
- [29] Jaishi H. P., Singh S., Tiwari R. P., Tiwari R. C., Correlation of Radon Anomalies with Seismic Events Along Mat Fault in Serchhip District, Mizoram, India, *Applied Radiation & Isotopes Including Data Instrumentation & Methods for Use in Agriculture Industry & Medicine*, 2014, **86**(4), 79–84.
- [30] https://www.researchgate.net/figure/238Ue-ait-bozunma-zinciri-Bishop-2001-ile-Karam-ve-Stain-2009dan-duezenlenerek_fig9_313226610, (Ziyaret tarihi: 30 Mayıs 2019)
- [31] P.R.M.A (Portatif Radon Monitörü “AlphaGUARD”) Kullanım Kılavuzu.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Erol Ş., Özkan N.**, Investigating the Relationship Between Soil Radon Gas and Seismic Activity in Yalova, *Turkish Physical Society 34. International Physics Congress*, Bodrum, Turkey, 5-9 September 2019



ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Kocaeli/İzmit'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli/Derince'de tamamladı. 2009 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fizik Bölümü'nden bölüm birincisi olarak 2014'te mezun oldu. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda Tezli Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

