

**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KASTAMONU BÖLGESİNDEKİ SULARDA RADON AKTİVİTESİNİN
ÖLÇÜLMESİ**

Fulya İNCİRCİ

FİZİK ANABİLİM DALI

**KASTAMONU
2011**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Fulya İNCİRCİ** tarafından hazırlanan “**Kastamonu Bölgesindeki Sularda Radon Aktivitesinin Ölçülmesi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : **Doç.Dr. Sezai YALÇIN**

Eş Danışman : **Doç.Dr. Orhan GÜRLER**

Jüri Üyeleri :

Prof.Dr. Gökay KAYNAK
Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü Nükleer Fizik ABD

Prof.Dr. Güneş TANIR
Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü Nükleer Fizik ABD

Doç.Dr. Sezai YALÇIN
Kastamonu Üniversitesi Eğitim Fakültesi
Fen Bilgisi Eğitimi ABD

Doç.Dr. Orhan GÜRLER
Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü Nükleer Fizik ABD

Yrd.Doç.Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Kastamonu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. H. Güran ÜNAL
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KASTAMONU BÖLGESİNDEKİ SULARDA RADON AKTİVİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ

Fulya İNCİRCİ

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sezai YALÇIN
Eş Danışman: Doç. Dr. Orhan GÜRLER

Radon, renksiz kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soygazlar sınıfında yer alan radyoaktif bir gazdır. Radon, kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucu oluşur. Radon, uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan, topraktan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Günlük hayatta sürekli maruz kaldığımız radyasyonun yaklaşık %47 si radon ve radonun bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Radon gazı difüzyon yoluyla toprağa oradan da atmosfere veya ortama yayılmaktadır. Radon gazının birikmesiyle, ²²²Rn yoğunluğu kapalı mekanlarda veya iyi havalandırılmayan yerlerde kritik değerlere ulaşabilmektedir. Radonun bozunum ürünlerine yüksek dozlarda maruz kalındığında özellikle akciğer kanseri riskini arttırdığı için radon yoğunluğu fazla olan yerleşme bölgelerinde tehlike yaratmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin kuzeyinde yer alan Kastamonu ilinin 10 ilçesinde ve Ilgaz dağında ilkbahar ve yaz dönemi olmak üzere toplanan kaynak ve musluk sularında radon konsantrasyonunun belirlenmesi ve risk yönünden değerlendirilmesidir. Su örnekleri, Genitron Instruments tarafından üretilen AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörü ile analiz edilmiştir ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar uluslararası önerilen değerlerle kıyaslanmıştır.

Bu çalışma sonucunda elde edilen radon konsantrasyonu değerleri ilkbahar dönemi ölçümleri için $0,362 \pm 0,139$ Bq/L ile $12,734 \pm 0,391$ Bq/L aralığında, yaz dönemi ölçümleri için $0,312 \pm 0,034$ Bq/L ile $19,213 \pm 1,000$ Bq/L aralığında değişim göstermiştir.

2011, 186 sayfa

Anahtar sözcükler: Radon, radyasyon, aktivite, su, sağlık, Kastamonu, AlphaGUARD

ABSTRACT

MSc Thesis

MEASUREMENTS OF RADON ACTIVITY IN WATERS IN THE KASTAMONU REGION

Fulya İNCİRCİ

Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Sezai YALÇIN
Co Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Orhan GÜRLER

Radon is colorless, odourless, tasteless, radioactive gas which takes place in noble gases of periodical ruler with atomic number 86. Radon occurs as a result of radioactive decay of natural uranium in the rock, soil and water. Radon, comes from the existence of uranium in rocks and soil as it is a gas, it is tend to escape to the atmosphere. Radon has been observed that nearly % 47 of the radiation we are exposed in daily life is coming from radon and radon decay products. The radon gas diffuses into soil and then into atmosphere or environment. When accumulates in closed localities or in unventilated places ²²²Rn concentrations may reach to critical volues. As radon decay products exposure of high concentration, it especially increases lung cancer risk, that is why radon creates danger in localities of high concentration.

The aim of this study is to determine radon concentrations in the source and tap waters collected in the spring and summer season from Ilgaz mountain and 10 districts of the city Kastamonu that takes place in the north part of Turkey and to evaluate its risk level for human health. Water samples were analyzed with the AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detector produced by Genitron Instruments and the results obtained in this study were compared with the international recommended values.

The results obtained from this study for radon ranged from the spring seasons for the measurements $0,362 \pm 0,139$ Bq/L to $12,734 \pm 0,391$ Bq/L, the summer seasons for the measurements $0,312 \pm 0,034$ Bq/L to $19,213 \pm 1,000$ Bq/L.

2011, 186 pages

Key Words: Radon, radiotion, activity, water, health, Kastamonu, AlphaGUARD

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam sayın Doç.Dr. Sezai YALÇIN' a teşekkür ederim.

Kaynaklardan numune alımlarım sırasında beni yalnız bırakmayan değerli hocalarım Doç.Dr. Sezai YALÇIN ile Doç.Dr. Orhan GÜRLER'e ve sevgili arkadaşım Arş. Gör. Ürkiye AKAR'a teşekkür ederim.

Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Anabilim Dalı başkanı Prof.Dr. Gökay KAYNAK'a AlphaGUARD PQ 2000 PRO detektörünü temininden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

TAEK, ÇNAEM Araştırma ve Geliştirme Bölümünde “Nükleer Tekniklerin Geliştirilmesi ve Uygulaması” alanında araştırmacı olarak görev yapan sayın Erol KAM' a teşekkür ederim.

Numunelerin toplanmasında ulaşım hizmetini sağlayan Kastamonu Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarımda her zaman yanımda olan, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Fulya İNCİRCİ
Kastamonu, Mart 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1 Radyoaktivite.....	5
2.2 Radyoaktif Bozunma Yasası.....	7
2.3 Peşpeşe Parçalanma Yasası.....	14
2.4 Radyasyon.....	17
2.4.1 Doğal radyasyon kaynakları.....	18
2.4.2 Yapay radyasyon kaynakları.....	19
2.5 Radyasyon Ölçüm Yöntemleri.....	20
2.5.1 Gazlı detektörler.....	20
2.5.2 Sintilasyon detektörleri.....	22
2.5.3 Yarıiletken detektörler.....	24
2.6 Radon.....	25
2.6.1 Radon gazı kaynağı.....	25
2.6.2 Radonun bozunum ürünleri.....	27
2.6.3 Konut-içi radon kaynakları.....	28
2.6.3.1 Toprak ve kayalardan gelen radon.....	28
2.6.3.2 İnşaat malzemelerinden gelen radon.....	30
2.6.3.3 Havadan gelen radon.....	31
2.6.3.4 Sulardan gelen radon.....	32
2.6.3.5 Doğal gazdan gelen radon.....	33
2.7 Radon Gazının İnsan Sağlığına Etkisi.....	34
2.8 Radon Gazının Etkilerinin Azaltılması.....	36
2.8.1 Türkiye’de ev içi ²²² Rn konsantrasyonunun şehirlere göre dağılımı.....	37
2.9 Radon Gazı Ölçümü.....	40
2.10 Radon Ölçümünde Kullanılan Materyaller.....	41
2.10.1 Kısa dönem ölçüm teknikleri.....	41
2.10.1.1 Aktif karbon tekniği.....	41
2.10.1.2 Sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif karbon.....	42
2.10.1.3 Alfa iz detektörleri.....	42
2.10.1.4 Elektret iyon odaları.....	42
2.10.1.5 Sürekli monitörler.....	43
2.10.1.5.1 Alfa sintilasyon sürekli radon monitörleri.....	43
2.10.1.5.2 İyonizasyon odaları sürekli radon monitörleri.....	43
2.10.1.5.3 Katı hal sürekli radon monitörleri.....	44
2.10.1.5.4 Radon tuzacı (Grab Sampler) tekniği.....	44
2.10.2 Uzun dönem ölçüm yöntemleri.....	44
2.10.2.1 Katı hal nükleer iz detektörleri (Alfa iz detektörleri).....	45
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	46

3.1 Numune Alımı.....	46
3.2 AlphaGUARD Radon Detektörü.....	47
3.3 AlphaGUARD Detektörünün Yapısı ve Çalışma İlkesi.....	50
3.3.1 Detektörün dış yapısı.....	51
3.3.2 Detektörün iç yapısı.....	54
3.4 AlphaGUARD PQ 2000 PRO'nun Teknik Özellikleri.....	58
3.5 Su Numunelerinin Analizi İçin Ölçüm Düzeneginin Hazırlanması.....	61
3.6 AlphaGUARD PQ 2000PRO ile Sudaki Radon Ölçümü.....	62
3.7 Sudaki Radon Hesaplamaları.....	63
3.7.1 Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları.....	65
3.7.2 Standart hata.....	65
4. BULGULAR.....	66
4.1 AlphaGUARD Detektörü İle Yapılan Ölçümler ve Hesaplamalar.....	66
4.2 Su Örneklerinin Ortalama Radon Konsantrasyonları.....	176
5. SONUÇ ve TARTIŞMA.....	180
KAYNAKLAR.....	182
ÖZGEÇMİŞ.....	186

SİMGELER DİZİNİ

α	Alfa
Bq	Becquerel
β	Beta
Bi	Bizmut
dk	Dakika
DSP	Digital Signal Processing-Sayısal Sinyal İşleme
γ	Gamma
g	Gün
ICRP (International Committee on Radiological Protection)	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
kg	Kilogram
MeV	Mega Elektron Volt
μ Bq	Mikro Becquerel
mSv	Mili Sievert
Pb	Kurşun
Po	Polonyum
ppm	Parts per Million (Milyonda Bir Birim)
Ra	Radyum
Rn	Radon
s	Saniye
Sv	Sievert
U	Uranyum
UNSCEAR Komitesi (The United Nation Scientific Committeon the Effects of Atomic Radiation)	Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel
y	Yıl
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Bir manyetik alan tarafından α ve β -parçacıkları ile γ -ışınlarının saptırılmalarını gösteren denel düzenek	7
Şekil 2.2	Çevremizdeki radyasyonun etmenlerine göre yüzde dağılımı	18
Şekil 2.3	Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa ömürlü bozunma ürünleri	19
Şekil 2.4	Yapay radyasyon kaynakları.....	19
Şekil 2.5	Bir sintilasyon detektörünün şematik diyagramı	23
Şekil 2.6	Radon gazının bazı özellikleri.....	25
Şekil 2.7	Uranyum Serisinin Bozunum Şeması.....	27
Şekil 2.8	Topraktaki radon geçirgenliği.....	29
Şekil 2.9	Radon gazının binalara girdiği yerler.....	31
Şekil 2.10	Radon bozunum ürünleri tarafından akciğerlerde yapılan ışınlama...	34
Şekil 2.11	²²² Rn'nin Türkiye haritası üzerinde illere göre dağılımı.....	39
Şekil 2.12	Radon konsantrasyonunun havalandırmaya bağlı olarak değişimi....	39
Şekil 2.13	Pasif radon detektörleri ile ölçme ve değerlendirme işlemlerinin şematik gösterimi.....	40
Şekil 3.1	Kastamonu bölgesinden su örneği alınan ilçeler.....	46
Şekil 3.2	AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü.....	48
Şekil 3.3	AlphaGUARD ile havada radon ölçümü için kullanılan sistem.....	49
Şekil 3.4	AlphaGUARD sudaki radon ölçümü (Aqua kit kullanılarak) için kullanılan sistem.....	49
Şekil 3.5	AlphaGUARD ile yapı malzemelerindeki radon ölçümü için kullanılan sistem.....	50
Şekil 3.6	AlphaGUARD ile toprakta radon ölçümü için kullanılan sistem.....	50
Şekil 3.7	AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları.....	51
Şekil 3.8	AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları.....	52
Şekil 3.9	AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları.....	52
Şekil 3.10	AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve ebatları.....	53
Şekil 3.11	AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları.....	54
Şekil 3.12	AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi.....	56
Şekil 3.13	AlphaGUARD'ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı.....	57
Şekil 3.14	Sudaki radon ölçüm düzeneği.....	62
Şekil 3.15	Radon yayılma katsayısının (k) değişim grafiği.....	64
Şekil 4.1	²²² Rn konsantrasyonu, sıcaklık, basınç ve bağıl nem ölçümü örnek grafiği.....	66
Şekil 4.2	İlkbahar ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	68
Şekil 4.3	Yaz ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyon (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	69

Şekil 4.4	İlkbahar ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	70
Şekil 4.5	Yaz ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	71
Şekil 4.6	İlkbahar ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	72
Şekil 4.7	Yaz ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu;(b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	73
Şekil 4.8	İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	74
Şekil 4.9	Yaz ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	75
Şekil 4.10	İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	76
Şekil 4.11	Yaz ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	77
Şekil 4.12	İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	78
Şekil 4.13	Yaz ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	79
Şekil 4.14	İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	80
Şekil 4.15	Yaz ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	81
Şekil 4.16	İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	82
Şekil 4.17	Yaz ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	83
Şekil 4.18	İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	84
Şekil 4.19	Yaz ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	85

Şekil 4.20	İlkbahar ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	86
Şekil 4.21	Yaz ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	87
Şekil 4.22	İlkbahar ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	88
Şekil 4.23	Yaz ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	89
Şekil 4.24	İlkbahar ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	90
Şekil 4.25	Yaz ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	91
Şekil 4.26	İlkbahar ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	92
Şekil 4.27	Yaz ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	93
Şekil 4.28	İlkbahar ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	94
Şekil 4.29	Yaz ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	95
Şekil 4.30	İlkbahar ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	96
Şekil 4.31	Yaz ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	97
Şekil 4.32	İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	98
Şekil 4.33	Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	99
Şekil 4.34	İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	100
Şekil 4.35	Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	101

Şekil 4.36	İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	102
Şekil 4.37	Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	103
Şekil 4.38	İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	104
Şekil 4.39	Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	105
Şekil 4.40	İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	106
Şekil 4.41	Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	107
Şekil 4.42	İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	108
Şekil 4.43	Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	109
Şekil 4.44	İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	110
Şekil 4.45	Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	111
Şekil 4.46	İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	112
Şekil 4.47	Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu ilçesi 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	113
Şekil 4.48	İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	114
Şekil 4.49	Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	115
Şekil 4.50	İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	116
Şekil 4.51	Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	117

Şekil 4.52	İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	118
Şekil 4.53	Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	119
Şekil 4.54	İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	120
Şekil 4.55	Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	121
Şekil 4.56	İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	122
Şekil 4.57	Yaz ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	123
Şekil 4.58	İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	124
Şekil 4.59	Yaz ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	125
Şekil 4.60	İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	126
Şekil 4.61	Yaz ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	127
Şekil 4.62	İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	128
Şekil 4.63	Yaz ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu ilçesi 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	129
Şekil 4.64	İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	130
Şekil 4.65	Yaz ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	131
Şekil 4.66	İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	132
Şekil 4.67	Yaz ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	133

Şekil 4.68	İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	134
Şekil 4.69	Yaz ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	135
Şekil 4.70	İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	136
Şekil 4.71	Yaz ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	137
Şekil 4.72	İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	138
Şekil 4.73	Yaz ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	139
Şekil 4.74	İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	140
Şekil 4.75	Yaz ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	141
Şekil 4.76	İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	142
Şekil 4.77	Yaz ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	143
Şekil 4.78	İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	144
Şekil 4.79	Yaz ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	145
Şekil 4.80	İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	146
Şekil 4.81	Yaz ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	147
Şekil 4.82	İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	148
Şekil 4.83	Yaz ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	149

Şekil 4.84	İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	150
Şekil 4.85	Yaz ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	151
Şekil 4.86	İlkbahar ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	152
Şekil 4.87	Yaz ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	153
Şekil 4.88	İlkbahar ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	154
Şekil 4.89	Yaz ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	155
Şekil 4.90	İlkbahar ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	156
Şekil 4.91	Yaz ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	157
Şekil 4.92	İlkbahar ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	158
Şekil 4.93	Yaz ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	159
Şekil 4.94	İlkbahar ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	160
Şekil 4.95	Yaz ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	161
Şekil 4.96	İlkbahar ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	162
Şekil 4.97	Yaz ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	163
Şekil 4.98	İlkbahar ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	164
Şekil 4.99	Yaz ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	165

Şekil 4.100	İlkbahar ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	165
Şekil 4.101	Yaz ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	167
Şekil 4.102	İlkbahar ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	168
Şekil 4.103	Yaz ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	169
Şekil 4.104	İlkbahar ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	170
Şekil 4.105	Yaz ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	171
Şekil 4.106	İlkbahar ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	172
Şekil 4.107	Yaz ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	173
Şekil 4.108	İlkbahar ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	174
Şekil 4.109	Yaz ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.....	175
Şekil 4.110	Ortalama radon konsantrasyonlarının kaynak yerlerine göre dağılımı.....	179

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Çeşitli kayalardaki uranyum konsantrasyonu.....	26
Çizelge 2.2	Radon ve bozunum ürünlerinin özellikleri.....	28
Çizelge 2.3	İnşaat malzemeleri içindeki ^{226}Ra ve ^{222}Rn değerleri.....	30
Çizelge 2.4	Su kaynaklarının ortalama radon konsantrasyonu ve yüzdelik kullanım oranları.....	33
Çizelge 2.5	Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri.....	35
Çizelge 2.6	Çeşitli Ülkeler için radon konsantrasyon limitleri (Bq/m^3).....	36
Çizelge 2.7	^{222}Rn konsantrasyon ölçümü yapılan il ve ilçelere ait ev içi ortalama radon konsantrasyon değerleri	38
Çizelge 3.1	AlphaGUARD monitörünün bazı teknik ve fiziksel özellikleri.....	60
Çizelge 4.1	İlkbahar dönemi ölçümü yapılan suların kaynak yerleri ve ortalama radon konsantrasyonları	177
Çizelge 4.2	Yaz dönemi ölçümü yapılan suların kaynak yerleri ve ortalama radon konsantrasyonları.....	178

1. GİRİŞ

İçinde yaşadığımız dünya oluşumundan beri radyoaktiftir. Bu nedenle insanoğlu var oluşundan bu yana doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta, bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir. Buna ek olarak kozmik ışıklardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz de düşünüldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır.

Sularda ise radyoaktivite iki şekilde meydana gelmektedir. Birincisi, suların, geçtikleri bölgelerdeki kaya veya toprak ile teması sonucu bunlarda bulunan radyoizotopları çözerek bünyelerine almaları veya yağmur suları tarafından çözülerek içme sularına taşınması, ikincisi ise atıklar veya kazalar sonucunda radyoizotopların suya karışmasıdır. Yer altı suları, diğer ismi ile derin dolaşımli sular, alt tabakalarda fazlaca bulunan volkanik ve granit kayalarla etkileşirler. Bu yüzden yer altı suları yüzey sularına göre daha fazla radyoaktivite taşırlar.

Çevremizde sürekli var olan doğal radyasyonun neredeyse %50 si radon gazı ve onun kısa ömürlü ürünlerinden kaynaklanmaktadır. 1899 senesinde Ernest Rutherford ve 1900 senesinde Friedrich Ernest Dorn tarafından, bozunma ürünü olarak yaydığı alfa parçacığı sayesinde keşfedilen radon gazı gözle görülmeyen ve duyular vasıtasıyla algılanamayan renksiz, tatsız, kokusuz bir gazdır. Tüm doğal radyoaktif serilerde radon gazı yayınlanması söz konusudur. Uranyumun (^{238}U) bozunma serisi içinde yer alan ^{226}Ra 'nın bozunması sonucunda ^{222}Rn (radon), toryumun (^{232}Th) bozunma serisi içinde yer alan ^{224}Ra 'ün bozunması sonucunda ^{220}Rn (toron), aktinyumun (^{235}U) bozunma serisi içinde yer alan ^{223}Ra 'ün bozunması sonucunda ^{219}Rn (aktinon) izotopları yayınlanır. Radon, toron ve aktinonun yarı ömürleri sırasıyla 3,82 gün, 55,6 s, 3,96 s dir. ^{220}Rn (toron) ve ^{219}Rn (aktinon) kısa yarı ömürleri nedeniyle çok çabuk yok olacağından doğadaki radon radyasyonunun hemen hemen tamamı ilk izotopun (^{222}Rn) sonucudur. Bu yüzden radon çalışmalarında özellikle üzerinde durulan ^{222}Rn izotopudur.

Radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1,3 mSv'dir. 1980'li yılların ortalarından itibaren radonun her yerde bulunduğu bilgisinin yayılması, radyasyon konusuna yeni bir bakış açısı getirmiştir ve bu tarihten itibaren de özellikle kapalı ortamlarda radon yoğunluğunun ölçülmesine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır.

Uranyum radyoaktif serisi içinde yer alan radonun yeraltından havaya geçişi, toprak ile kayalardaki çatlaklardan ve yeryüzüne çıkan sulardan sağlanmaktadır. Bu nedenle radonla ilgili çalışmalar daha çok sulardaki ve topraktaki radonu tespit etmeye yönelik olarak yapılmaktadır. Ancak kapalı ortamlarda radon konsantrasyonunun ölçülmesine yönelik araştırmalar da son yıllarda hız kazanmıştır (Akar 2010).

Bilindiği üzere, canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli olan en önemli içecek sudur. Bu nedenle suyun canlılar tarafından içilmesi ve kullanılması sağlık riski taşımayacak bir güvence içinde olmalıdır. İnsanoğlu, su ihtiyacını yüzeysel sular ve yeraltı su kaynaklarından temin etmektedir. Yeraltı suları yüzey sularına göre daha radyoaktiftir. Granit bakımından zengin olan bölgelerin yeraltı sularında radon gazı, uranyum ve toryum serisi ürünlerinin yüksek miktarlarda bulunduğu saptanmıştır (Akar 2010). Ayrıca, sismik faaliyet başlamadan önce yer kabuğundaki gerilmeler nedeniyle oluşacak genleşmeler, kayalardan yeraltı su sistemine radon geçişinin artmasına, dolayısıyla çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon yoğunluğunda bir artış gözlenmesine neden olmaktadır (Akyıldırım 2005).

Türkiye'de havada, suda ve toprakta radon konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Son yıllarda yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Adapazarı'nda Kapdan tarafından yapılan çalışmada ilçe merkezindeki binalarda radon konsantrasyonu belirlenmiş, yıllık maruz kalınan doz hesaplanmış, ilçe merkezindeki evlerde ortalama radon aktivitesi 59 Bq/m^3 , ilçe geneli için ortalama yıllık doz miktarı 1.47 mSv olarak bulunmuştur (Kapdan 2009).

Isparta’da radon yoğunluğu ölçülmüş ve haritalandırılmış, ölçüm sonuçlarına göre ^{222}Rn yoğunluklarına ait ortalama değerler, Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkelerinde 372 Bq/m^3 , Isparta il merkezinde 118 Bq/m^3 olarak bulunmuştur (Akyıldırım 2005).

Afyon ve çevresindeki kuyu sularında radon (^{222}Rn) aktivitesi ölçülmüş, 0.94 Bq/L ile 15.61 Bq/L değerleri arasında sonuçlar elde edilmiştir (Özdemir 2006).

Afyon jeotermal sularında Pylon AB-5R detektörü kullanılarak radon (^{222}Rn) aktivitesi ölçülmüş, maksimum radon konsantrasyonu $44,57 \text{ Bq/L}$ ve minimum radon konsantrasyonu $0,085 \text{ Bq/L}$ olarak bulunmuştur (Akkurt 2006).

İzmir-Çeşme yer altı-termal suları ve çevresindeki topraklarda radyoaktivite araştırmaları yapılmış, termal ve kuyu sularında CR-39 nükleer iz kazıma detektörü kullanılarak radon aktivitesi ölçülmüş, termal sularda radon konsantrasyonu $0.073\text{-}0.294 \text{ Bq/L}$ arasında, ortalama radon konsantrasyonu 0.207 Bq/L olarak hesaplanmış, kuyu sularında radon konsantrasyonu $0.086\text{-}0.493 \text{ Bq/L}$ arasında, ortalama radon konsantrasyonu 0.303 Bq/L olarak hesaplanmıştır (Barış 2006).

Çorum ili genelinde faaliyet gösteren 3 farklı kömür ocağında CR-39 radon gazı detektörüyle ölçümler yapılmış, 1 nolu kömür ocağında 22 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu $292,83 \text{ Bq/m}^3$, 2 nolu kömür ocağında 30 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu $198,54 \text{ Bq/m}^3$ ve 3 nolu kömür ocağında ise 30 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu $285,89 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulunmuştur (Üzbey 2009).

Bursa-Çekirge bölgesi termal sularında AlphaGUARD PQ 2000 PRO detektörü kullanılarak radon konsantrasyonu ölçülmüş, radon konsantrasyon değerleri $2.513 \pm 0.286 \text{ Bq/L}$ ile $94.347 \pm 4.361 \text{ Bq/L}$ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Akar 2010).

Tekirdağ'da çevresel doğal radyoaktivite konsantrasyonunu belirlemek için yapılan çalışmada Tekirdağ evlerinde radon konsantrasyon değerleri 11-247 Bq/m³ arasında elde edilmiş ve ortalama radon konsantrasyonu 87 Bq/m³ olarak bulunmuştur (Kam 2004).

Kam ve Bozkurt tarafından Kastamonu'da yapılan çevresel radyoaktivite ölçüm çalışmalarında; ev içi radon aktivite konsantrasyonu 98,4 Bq/m³ olarak ölçülmüş, bu aktiviteye uygun yıllık efektif doz 2,48 mSv olarak hesaplanmış, ev içi ve dışı gamma absorblanmış doz sırasıyla 54,81 ve 48,03 nGy/h olarak, buna uygun toplam gamma radyasyon düzeyi (yeryüzü ve kozmik kaynaklı) 0,33 mSv/y olarak hesaplanmış, toplanan toprak örneklerinde ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K doğal radyonüklidlerinin aktiviteleri sırasıyla 32,93, 27,17, 431,43 Bq/kg, fisyon ürünü ¹³⁷Cs için 8,02 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Kam ve Bozkurt 2007).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Radyoaktivite

Radyoaktivite, 24 Şubat 1896'da Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel radyoaktivite olayını tesadüfen keşfettiğinde belirli floresans tuzlarının güneş ışınlarıyla aktiflendikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışıyordu. Şans eseri olarak kalın bir kağıda sarılmış uranyum ve potasyum sülfattan ibaret numuneyi karanlık bir odada fotoğraf levhalarının yanında bıraktı. Levhalar banyo edildiklerinde ışığa karşı tamamen korunmuş olmalarına rağmen ışıktaki kalmış gibi bir sonuç verdiler. Bu deneyi tekrarlayan Becquerel fotoğraf levhalarının etkilenmesinin floresans veya X-ışınları ile ilgisi olmadığını, sadece uranyum elementinin bir özelliği olduğunu ve fotoğraf levhalarını etkileyen bir tür radyasyonun uranyum tuzundan yayımlandıkları sonucuna varmıştır.

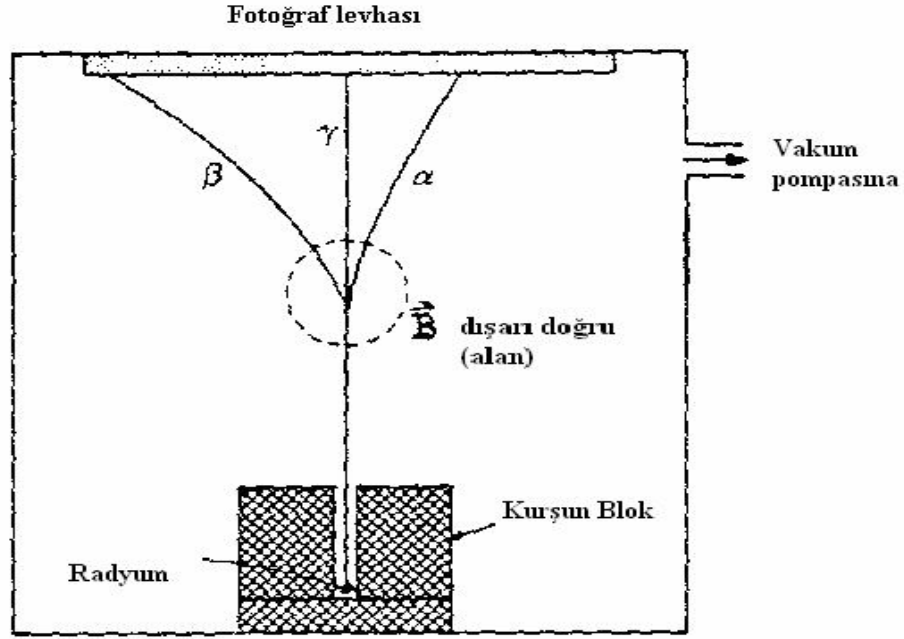
Becquerel'in keşfinden sonra radyasyonun özelliklerini anlamaya yönelik büyük çabalar sarfedilmiştir. İlk araştırmaların birçoğu Curie'ler, William Crokes, Ernest Rutherford ve Rutherford'un Cambridge'teki arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Doğal radyoaktif maddelerin radyasyonları, girme güçlerine bağlı olarak üç ayrı grupta sınıflandırılmışlardır. Birinci grup, girici güçleri çok zayıf olanları kapsamaktadır.. Bunlar herhangi bir kağıt parçası tarafından bile durdurulabilmekte, fakat havada yoğun iyonlaşmalara sebep olmaktadır. Bu radyasyonlar alfa parçacıkları (α -parçacıkları) olarak adlandırılmıştır. İkinci grubu oluşturan iyonlaştırma güçleri daha az, ancak α -parçacıklarından daha büyük girici-güce sahip ve birkaç mm kalınlığındaki metal levhalardan kolayca geçebilen radyasyona beta parçacıkları (β -parçacıkları) adı verilmiştir. Üçüncü gruptakiler de az iyonlaşmaya sebep olurlar fakat farklı maddelerin santimetrelerce kalınlığından geçebilmektedirler. Bunlara da gama ışınları (γ -ışınları) adını verilmiştir. Gama ışınları çok yüksek enerjili, elektromanyetik dalgalardır ve ışık hızıyla hareket ederler. Alfa ve beta parçacıklarından daha fazla giricidirler (Arya 1983).

Bir çekirdeğin bir ışın ya da parçacık yayınlamak başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayına **radyoaktiflik (radyoaktivite)**, bu dönüşüm sürecinde ya elektromanyetik dalga yoluyla ya da yayınlanan bir parçacığın kinetik enerjisi yoluyla enerji yayınlanmasına **radyasyon** ve radyasyon yayınlayan maddelere de **radyoaktif maddeler** denir. Nükleer radyasyonların ortak bir özelliği etkileştikleri ortamları iyonlaştırıcı (atomdan elektron sökülmesi) yetenekleridir. Bu nedenle nükleer radyasyonlara sık sık iyonlayıcı radyasyon denir (Krane 2001).

1898 yılında Marie Curie ve eşi Pierre Curie, uranyumun radyoaktif bozunmasından ortaya çıkan polonyum (Po) ve radyum (Ra) radyoaktif elementlerini keşfetmişlerdir (Arya 1983). Pierre ve Marie Curie, Becquerel ile birlikte radyum elementinin doğal radyoaktifliği üzerine yaptıkları çalışma ile 1903 yılında Nobel Fizik Ödülü kazanmışlardır (Krane 2001).

Doğal radyoaktifliğin yanı sıra laboratuarlarda nükleer reaksiyonlarla radyoaktif çekirdekler üretilmektedir. Bu olaya da yapay radyoaktivite denir. Bu ilk kez alüminyumun, 1934'te Irene Curie ve Pierre Joliot tarafından polonyumun doğal radyoaktif bozunmasından çıkan α -parçacıkları ile bombardıman edilmesi sonucunda ^{30}P izotopunun elde edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu izotop 2.5 dakika yarı ömürle pozitron yayınlamak bozunur (Krane 2001).

Doğada rastlanan radyoaktif elementler α , β ve γ yayınlamak bozunuma uğrarlar. Bu parçacıklardan alfalar pozitif yüklü, betalar negatif yüklü ve gammalar yüksüzdür. Parçacıkların bu yüklerinin tespitini yapabilmek için kullanılan deney düzeneği Şekil 2.2'de görülmektedir. Bir manyetik alan tarafından α ve β parçacıkları ile γ - ışınlarının saptırılmalarını gösteren denel düzenekte α - parçacıkları pozitif yüklü olduklarından sağa, β -parçacıkları negatif yüklü olduklarından sola saparlar. β - parçacıklarının α -parçacıklarına oranla kütlelerinin çok az, hızlarının çok yüksek oluşundan sapmaları α -parçacıklarından fazladır. γ - ışınları yüksüz olduklarından manyetik alan tarafından saptırılmazlar (Arya 1983).



Şekil 2.1 Bir manyetik alan tarafından α ve β -parçacıkları ile γ -ışınlarının saptırılmalarını gösteren denel düzenek (Arya 1983)

2.2 Radyoaktif Bozunma Yasası

Radyoaktifliğin keşfedildiği 1896 yılını izleyen üç yılda, saf bir radyoaktif numunenin zamanla bozunma hızının üstel yasaya uyduğu gösterilmiştir. Radyoaktifliğin tüm numunede değil de tek tek atomlarda değişikliği temsil ettiğinin anlaşılması için daha birçok yılın geçmesi gerekmiştir. Bozunmanın istatistiksel yapıda olduğunun, yani herhangi bir atomun ne zaman bozunacağını bilinememesi ve bu hipotezin doğrudan üstel yasaya uyduğunun anlaşılması ise iki yıl almıştır. Parçacıkların tek tek davranışlarının önceden kestirilememesi günümüzde birçok bilim adamını rahatsız etmez, ancak kuantum teorisinin gelişmesinden önce, bu durumun kabul edilmesi oldukça zor olmuştur. Bu konuda çalışan araştırmacıların, bugün açıkça bilinen gerçekleri yerleştirebilmek için çok çaba göstermeleri gerekmiştir.

Eğer bir t anında N radyoaktif çekirdek varsa dt süresi içinde bozunan dN çekirdek sayısı, N ile orantılıdır:

$$\lambda = -\frac{(dN/dt)}{N} \quad (2.1)$$

Burada λ , bozunma veya parçalanma sabitidir. Denklem (2.1)'in sağ tarafı bir atomun birim zamanda bozunma olasılığıdır, yani bu olasılık, atomun yaşı ne olursa olsun sabit olup radyoaktif bozunmanın istatistiksel teorisinin temel varsayımdır. Denklem (2.1)'in integrali alınırsa,

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

bağıntısı elde edilir. Deneysel bulgularla uyuşan bu üstel bağıntı “radyoaktif bozunma yasası” olarak bilinir. Burada, N , t anındaki var olan bozunmamış çekirdeklerin sayısını, N_0 , $t=0$ anında var olan bozunmamış çekirdeklerin sayısını gösterir.

Yarı Ömür

Radyoaktif maddelerin bir diğer önemli niceliği de yarı-ömürdür ve $t_{1/2}$ ile gösterilir. Yarı-ömür, var olan bozunmamış çekirdeklerin yarıya düşmesi için geçen süreyi göstermektedir. Denklem (2.2)'de $N = N_0/2$ ve $t=t_{1/2}$ konulursa

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.3)$$

bulunur.

Ortalama Ömür

Radyoaktif bozunma yasası üstel bir işlev olması nedeniyle var olan bozunmamış çekirdeklerin tümünün bozunması için geçen süre sonsuz olacaktır. Bir sonraki bozunacak çekirdeğin hangisi olacağı kestirilemeyeceği için örnek içindeki bir

çekirdeğin ömrü sıfır ile sonsuz arasında olacaktır. Bu nedenle çekirdeklerin bozunması için bir ortalama ömür tanımlanması gerekir. Ortalama ömür bütün çekirdeklerin ömürlerini toplayıp toplam çekirdek sayısına bölünerek hesaplanabilir. dN_1 çekirdeğin ömrü t_1 , dN_2 çekirdeğin ömrü t_2 , dN_3 çekirdeğin ömrü t_3 , olsun. Buradan ortalama ömür τ ,

$$\tau = \frac{dN_1 t_1 + dN_2 t_2 + dN_3 t_3 + \dots}{dN_1 + dN_2 + dN_3 + \dots} \quad (2.4)$$

olacaktır. Yukarıdaki Denklem integrasyon şeklinde yeniden yazılırsa,

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN}{\int_0^{N_0} dN} = \frac{\int_0^{N_0} t dN}{N_0} \quad (2.5)$$

elde edilir. Denklem (2.5) te dN yerine Denklem (2.2) nin diferansiyeli alınarak elde edilen değeri konulursa

$$\tau = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt \quad (2.6)$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.7)$$

bulunur (Yalçın 1992). Ortalama ömür basit olarak bozunma sabitinin tersidir.

Aktiflik

Denklem 2.2 ile ancak t süre sonra bozunmamış belirli bir türdeki çekirdeklerin sayısı (N) bulunabilir. Ancak uygulamada bu niceliğini ölçmek çok zor olduğu için bunun yerine belli bir zaman aralığı içinde bozulan çekirdek sayısını ölçmek (yayımlanan radyasyonları gözleyerek) daha kolaydır. **Aktiflik** veya **bozunma hızı**

olarak tanımlanan “birim zamanda bozunan çekirdek sayısını” bulabilmek için Denklem (2.2) nin zamana göre diferansiyeli alınırsa,

$$dN = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} dt \quad (2.8)$$

Bulunur ve aktiflik için,

$$\text{Aktiflik} = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

sonucu elde edilir. Burada dN, dt zaman aralığında bozunan çekirdek sayısını, $N = N_0 e^{-\lambda t}$, t anındaki var olan bozunmamış çekirdek sayısını gösterir. Aktiflik genellikle A simgesi ile gösterilir. Bir radyoaktif numunede λ bozunma sabiti ile karakterize edilen çekirdeğe ait t anındaki aktiflik,

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.10)$$

olarak yazılabilir. t=0 anındaki başlangıç aktifliği, $A_0 = \lambda N_0$, Denklem (2.10) da yerine yazılırsa,

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.11)$$

üstel aktiflik bağıntısı elde edilir.

Radyoaktivite araştırmalarının başlangıcında aktiflik birimi olarak curie (Ci), 1 gram saf radyumun(^{226}Ra) saniyedeki bozunma sayısı olarak tanımlanmıştır. 1950 lilerde curie(Ci) birimi yeniden tanımlanarak radyum veya herhangi bir radyonüklitten bağımsız olarak

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

şeklinde tanımlanmıştır. 1970 lerin ortalarında SI birim sistemine geçişle birlikte radyoaktivitenin keşfini yapan H. Becquerel adına atıfla aktiflik birimi becquerel (Bq) olarak adlandırılmıştır (Lapp and Andrews 1972, Lowenthal and Airey 2004).

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ bozunma/s}$$

1 Bq küçük bir aktifliği ifade eder. Bu nedenle radyoaktif kaynakların aktifliği becquerel biriminin üst katları olan $1 \text{ kBq} = 10^3 \text{ Bq}$, $1 \text{ MBq} = 10^6 \text{ Bq}$ ile ifade edilir. 1 Ci ise çok büyük bir aktifliği gösterir ve uygulamada curie biriminin alt katları olan $1 \text{ mCi} = 10^{-3} \text{ Ci}$, $1 \mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci}$, $1 \text{ nCi} = 10^{-9} \text{ Ci}$, $1 \text{ pCi} = 10^{-12} \text{ Ci}$ birimleri kullanılır. Aktiflik birimi olarak becquerel kullanılmakla birlikte tıp ve laboratuvar uygulamalarında curie birimi de halen kullanılan bir birimdir.

Aktiflik sadece saniyedeki parçalanma sayısını vermekte, yayınlanan radyasyonun türü veya enerjileri ile ilgili hiçbir bilgi vermemektedir (Krane 2001).

Işınlama dozu, soğurulmuş doz ve doz eşdeğeri

Bir nesnenin aldığı radyasyon miktarı birkaç farklı birimle ölçülür. Radyasyon, maddeyi oluşturan atom ve molekülleri iyonlaştırarak veya uyararak (eksitasyon) etkilediğinden bu birimler ya oluşan iyonlaşma miktarını ya da madde içinde depolanan enerji miktarını ölçer (William 1987).

Işınlama Dozu: En eski ışınlama doz birimi röntgendir(R). 1 röntgen(R), X-ışını veya γ -ışınlarının 0°C ve 760 mm Hg basıncında 1 cm^3 kuru havada 1 elektrostatik(esu) yük birimi iyonlaşma yükü oluşturması olarak tanımlanır.

$$1 \text{ R} = 1 \text{ esu/cm}^3$$

SI birim sisteminde ışınlama dozu C/kg olarak ölçülür ve havanın verilen bir m kütleinde oluşan iyonlardaki toplam Q elektrik yükü Işınlama Dozu X olarak tanımlanır ve γ -ışınlarının enerjileri ve kaynakların aktiflikleri tamamen farklı olsa

bile aynı ışınlama dozunu oluşturan γ -ışını kaynakları aynı şiddetli olarak kabul edilir.

$$\text{Işınlama dozu } X \text{ (C/kg)} = Q / m$$

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

Soğurulmuş doz: Havadan başka iyonize eden radyasyona maruz kalan diğer materyallerde enerji soğurulma oranları farklı olacaktır. Böylece farklı materyallerde iyonlaşmayla enerji soğurulmasını tanımlama için bir standarda sahip olmak gerekir. Bu niceliğe “soğurulmuş doz (D)” denir ve maddenin birim kütlesi başına iyonize eden radyasyon tarafından ortama aktarılan enerjiyi ölçer. Soğurulmuş doz için yaygın kullanılan birim “**radiation absorbed dose**” sözcüklerinin baş harfleri ile gösterilen “**rad**”dır. 1 rad maddenin gramı başına 100 erg enerji soğurulmasına eşittir.

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

SI birim sisteminde “soğurulmuş doz” birimi gray (Gy) dir ve maddenin kg’ı başına 1 J enerji soğurulmasına eşittir.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Doz eşdeğeri: İnsan varlığının radyasyondan korunmasına yönelik standartlar tanımlamak için farklı radyasyon çeşitlerinin biyolojik etkilerini ölçmek gerekir. Bazı radyasyonlar enerjilerini uzun bir yol boyunca ortama aktarırlar öyle ki herhangi bir küçük yol aralığı boyunca (tipik bir insan hücresi boyutu) bağlı olarak küçük enerji aktarırlar; β ve γ ışınları bu tür radyasyonlardır. α parçacıkları gibi diğer tip radyasyonlar çok kısa yol uzunlukları boyunca başlangıç enerjilerinin tümünü aktarırlar ve daha hızlıca enerji kaybederler. α radyasyonunun 1 rad ‘ından hücre

hasarı olasılığı γ radyasyonunun 1 rad'ın dan çok daha büyüktür. Bu farkları nitelemek için “bağlı biyolojik etkinlik” (RBE) tanımlanır.

$$RBE = \frac{\text{Bir biyolojik etkiyi meydana getiren X- ışını dozu}}{\text{Aynı biyolojik etkiyi meydana getiren diğer radyasyon dozu}}$$

RBE, 1 ile 20 arasında değerler alır. RBE göreceli olarak ölçülmesi zor bir nicelik olduğu için RBE yerine alışıldığı gibi kalite faktörü (QF) kullanılır. QF radyasyonun enerjisi ve tipi için birim yol başına aktarılan enerjiye göre hesaplanır. Birim yol başına bağlı olarak küçük enerji aktaran radyasyonlar (β ve γ gibi) 1 'e yakın QF ne sahipken α 'lar gibi birim yol başına daha çok enerji aktaran radyasyonların kalite faktörü 20 'ye yakındır. Bir biyolojik sistem üzerinde belli bir radyasyonun etkisi, soğurulmuş doz ve kalite faktörüne(QF) bağlıdır. Doz eşdeğeri DE bu iki niceliğin çarpımı ile elde edilir.

$$\text{Doz Eşdeğeri} = \text{Soğurulmuş Doz} \times \text{QF}$$

$$\text{DE} = \text{D} \cdot \text{QF}$$

Doz eşdeğeri, eğer soğurulmuş doz “**rad**” biriminde ise “**roentgen equivalent man**” sözcüklerinin baş harfleri ile gösterilen “**rem**” birimiyle ölçülür.

$$\text{DE (rem)} = 1 \text{ rad} \cdot \text{QF}$$

SI birim sisteminde soğurulmuş doz için gray(Gy) birimi kullanılır ve Doz eşdeğeri birimi SI birim sisteminde “sievert”(Sv) dir

$$\text{DE (Sv)} = 1 \text{ Gy} \cdot \text{QF}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

(Krane 2001).

2.3. Peşpeşe Parçalanma Yasası

Hem doğal olarak bulunan radyoaktif izotoplarda hem de yapay olarak meydana getirilen radyoaktif izotoplarda bozunma peşpeşe parçalanmalar şeklinde meydana gelebilir. Bu tür bozunmalarda ana radyoaktif element başka bir ürüne, bu üründe radyoaktif ise başka bir elemente bozunur. Ana ve ürün çekirdeklerin herhangi bir andaki aktifliğinin bilinebilmesi için çekirdek sayılarının bilinmesi gerekir. Herhangi bir t anındaki ana ve ürün çekirdek sayısı radyoaktif bozunma yasası ve aktiflik bağıntısından yararlanarak bulunabilir.

Herhangi bir t anında, λ_1 bozunma sabitiyle ürüne bozunacak ana elementin atomlarının sayısı N_1 olsun. Ürün elementin atomlarının sayısını N_2 ile gösterelim. Bunlarda λ_2 bozunma sabitiyle bir elemente bozunacaklardır. Bu kararlı elementteki atomların sayısı ise N_3 olsun. Ayrıca $t=0$ iken $N_1=N_{10}$, $N_2=N_{20}=0$ ve $N_3=N_{30}=0$ olduğunu varsayalım. Aktifliğin saniyede bozunma sayısı şeklindeki tanımından şu bağıntıları yazabiliriz:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (2.12)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (2.13)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (2.14)$$

Denklem (2.12), N_1 'in bozunum hızını verir. Denklem (2.13), N_2 tipindeki atomların $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildikleri ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla gözden kaybolduklarını göstermektedir. Denklem (2.14) ile N_3 atomlarının üretim hızı elde edilir. Denklem (2.12) nin $t=0$ da $N_1=N_{10}$ şartıyla integrali alınırsa

$$N_1 = N_{10}e^{-\lambda_1 t} \quad (2.15)$$

elde edilir. N_1 'in bu değeri Denklem (2.13)'de yerine konulacak olursa

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

veya

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{10}e^{-\lambda_1 t} \quad (2.16)$$

elde edilir. Bu bağıntının iki tarafı $e^{\lambda_2 t}$ ile çarpılarak

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

veya

$$\frac{d}{dt} (N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (2.17)$$

bulunur. İntegral alınırsa

$$N_2 e^{\lambda_2 t} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} + C \quad (2.18)$$

elde edilir. Buradaki C integral sabitinin değeri $t=0$ da $N_2=N_{20}=0$ değeri yerine konularak

$$C = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10}$$

olarak bulunur. C'nin bu değeri Denklem (2.18) de yerine konulup her iki taraf $e^{\lambda_2 t}$ ye bölünürse

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.19)$$

bulunur. Benzer şekilde Denklem (2.14), $t=0$ da $N_3=N_{30}=0$ şartıyla çözülürse

$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (2.20)$$

bulunur. Böylece Denklem (2.15), (2.19), (2.20) yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan atomların sayısı bulunabilir. Bu eşitlikler $t=0$ da $N_1=N_{10}$ ve $N_{20}=N_{30}=0$ özel durumlar için türetildi. Bundan sonra N_{20} ve N_{30} , $t=0$ iken sıfır olmasalar bile N_1 , N_2 ve N_3 için bağıntılar türetmek mümkündür. Böylece hesaplamaların sonuçları

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.21a)$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{20} e^{\lambda_2 t} \quad (2.21b)$$

$$N_3 = N_{30} + N_{20} (1 - e^{-\lambda_2 t}) + N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (2.21c)$$

şeklinde olacaktır.

Zincirleme bozunma problemi herhangi bir sayıdaki zincirleme radyoaktif bozunmalara genelleştirilebilir. Zincirleme bozunmaları temsil eden diferansiyel eşitlikler

$$\begin{aligned}
 \frac{dN_1}{dt} &= -\lambda_1 N_1 \\
 \frac{dN_2}{dt} &= \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \\
 \frac{dN_3}{dt} &= \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3 \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 \frac{dN_n}{dt} &= \lambda_{n-1} N_{n-1} - \lambda_n N_n
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

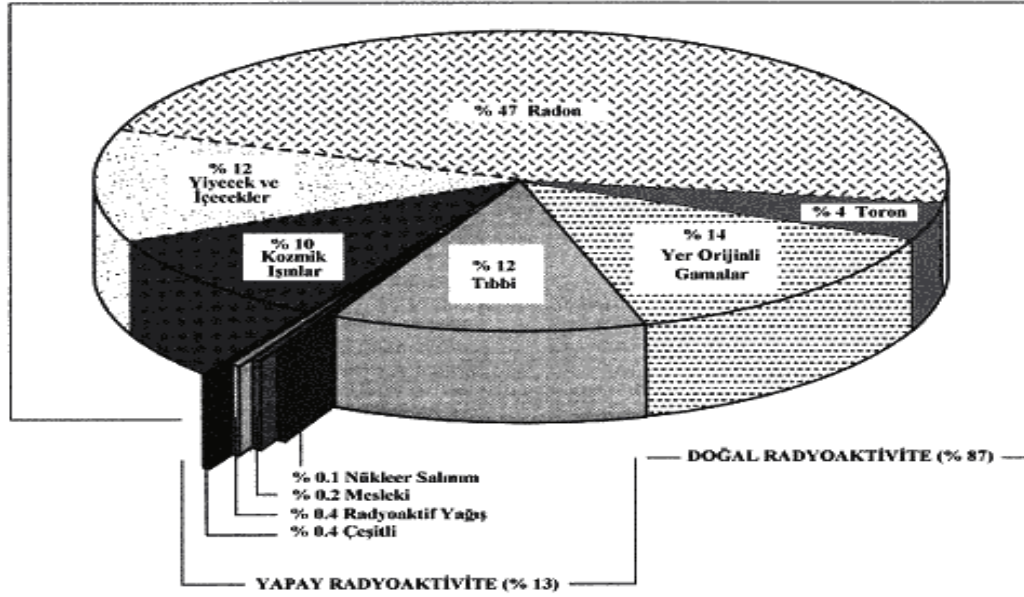
olur. Burada $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ herhangi bir t anında mevcut bulunan farklı izotop atomlarının sayılarıdır ve $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ bunların sırayla bozunma sabitleridir. Şayet biz mevcut olan farklı izotopların radyoaktif atomlarının ilk sayılarını biliyorsak (yani $t=0$ 'da $N_{10}, N_{20}, N_{30}, \dots, N_{n0}$ biliniyorsa) herhangi bir t anında $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ değerlerini (2.22) eşitlikleri yardımıyla bulmamız mümkündür (Arya 1983).

2.4 Radyasyon

Radyasyon daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini olanaklı kılan radyo dalgaları, endüstride kullanılan X-ışınları, güneş ışınları, nükleer radyasyon günlük hayatımızda alışkın olduğumuz farklı radyasyon çeşitleridir (Zorer 2006).

Bütün canlılar radyasyonla birlikte yaşamakta, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yerkabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ve bunlara ilave olarak da yapay kaynaklardan yayımlanan radyasyonla ışınlanmaktadır. İnsanlar,

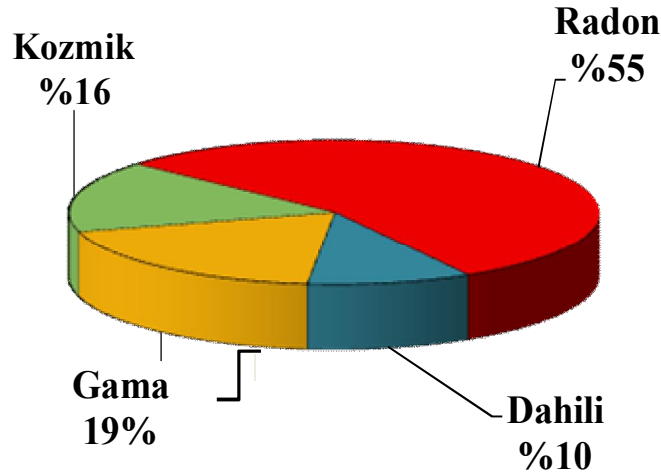
yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık 2.5 mSv (**sievert (Sv) = 1 Joule/kg**) yıllık doza maruz kalmaktadırlar. Şekil 2.3 de görüldüğü gibi, toplum dozunun yaklaşık %87'si doğal kaynaklardan, %12'si tıbbi uygulamalardan, geri kalan kısmı ise mesleki ışınlamalar ve diğer yapay kaynaklardan meydana gelmektedir.



Şekil 2.2 Çevremizdeki radyasyonun etmenlerine göre yüzde dağılımı

2.4.1 Doğal radyasyon kaynakları

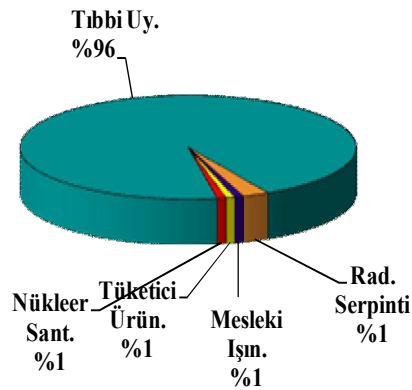
Bozunuma uğrayan çekirdek doğada bulunuyor veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunmasından ortaya çıkıyorsa buna doğal radyasyon denir. Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa ömürlü bozunma ürünleridir. Radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1.3 mSv'dir.



Şekil 2.3 Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa ömürlü bozunma ürünleri (Akkurt Erişim Tarihi:08.01.2011)

2.4.2 Yapay radyasyon kaynakları

Radyoaktif çekirdek, insan tarafından yapay olarak reaktörlerde veya hızlandırıcılarda üretiliyorsa buna yapay radyasyon denir. Hastaların tanı ve tedavisi amacıyla nükleer tıp ve radyasyon onkolojisi kliniklerinde, X-ışınları ve radyoaktif maddeler kullanılmaktadır. Bazı maden işletmelerinde radyoaktif atık üretilmektedir. Örneğin termik santrallerde üretilen kömür içinde radyoaktif madde bulunmaktadır. Bunların dışında duman detektörleri, fosforlu saatler ve lüks lambası fitili gibi bazı tüketici ürünlerinde az miktarda radyoaktif madde bulunmaktadır (Bora 2001).



Şekil 2.4 Yapay radyasyon kaynakları (Akkurt Erişim Tarihi:08.01.2011).

2.5 Radyasyon Ölçüm Yöntemleri

Nükleer radyasyonu tespit etmek için kullanılan bütün detektörlerin temel çalışma ilkeleri benzer özelliklere sahiptir: Radyasyon detektöre girer, detektör materyalinin atomları ile etkileşir (enerjisinin bir kısmını ya da tamamını kaybeder) ve atom yörüngelerinden nispeten düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek üzere elektronik devre tarafından ya akım pulsu ya da voltaj şekline dönüştürülür. Detektör materyalinin seçimi, ölçülecek radyasyon tipine ve hakkında edinilecek bilgiye bağlıdır (Krane 2001). Nükleer radyasyonların ölçümünde yaygın olarak kullanılan detektör türleri arasında; gazlı, sintilasyon ve yarıiletken detektörler sayılabilir.

2.5.1 Gazlı detektörler

Nükleer radyasyon dedektörlerinin pek çoğu, dedektöre gelen radyasyonun oluşturduğu iyonları (veya elektronları) ayırmak ve saymak için bir elektrik alan kullanır. En basit tipte bir dedektör iyonlaşma odasıdır. Bunlar, plakalarının arasına gaz (daha çok hava) doldurulmuş paralel düzlem kondansatörlerdir. Plakalar arasındaki elektrik alan, iyonların elektronlarla tekrar birleşmesini engeller. Elektron bulutu pozitif potansiyelde tutulan plakaya doğru sürüklenirken, pozitif yüklü iyonlar da diğer plakaya doğru sürüklenirler. Havada bir iyon üretmek için gerekli ortalama enerji yaklaşık olarak 34 eV'dir; böylece 1-MeV'lik radyasyon 3×10^4 civarında iyon ve elektron üretir.

Sinyalin genliği, oluşan iyonların sayısı ile orantılıdır (ve dolayısıyla radyasyonun biriktirdiği enerji ile) ve plakalar arasındaki voltajdan bağımsızdır. Uygulanan voltaj, elektronlar arasında sürüklenen iyon ve elektron bulutunun hızlarını belirler. Tipik bir voltaj değeri kabaca 100V'dir, iyonlar yaklaşık 1m/s hızlarla hareket ederler ve 1 cm'lik odayı 0,01s'de geçerler (Elektronlar yaklaşık 1000 kat daha hızlı hareket ederler). Nükleer sayma standartlarına göre bu süre son derece uzun bir zamandır ve bu nedenle iyon odaları her pulsu saymada kullanılamaz. Radyasyon monitörü olarak geniş bir kullanım alanı bulur ve pek çok ticari radyasyon monitörleri gerçekte iyon

odalarıdır. Radyasyon şiddeti, sayacın cevap süresi esnasında pek çok radyasyonun etkileşmesini gösteren akım olarak kaydedilir. Çıkış akımı hem kaynağın aktifliği ile hem de radyasyonların enerjisi ile orantılıdır. Daha yüksek enerjili radyasyonlar daha çok iyonlaşmaya ve dolayısıyla daha büyük bir tepkiye neden olur.

Bir gazlı dedektörü her pulsu gözlemek için kullanmak istersek pulslar önemli derecede yükseltilmelidir. Bunu yapmanın yollarından birisi voltajı daha fazla artırmaktır, genellikle 1000 V kadar. Daha büyük elektrik alan, iyonlaştırma işlemi sonucunda çıkan elektronları daha çok hızlandırır ve gaz atomlarıyla daha çok elastik çarpışmalar yaparak sürüklenen elektronlar bu kez elastik olmayan çarpışmalar yapmak için yeterli enerjiyi kazanabilirler ve hatta yeni iyonlanmış atomlar üretebilirler. İkincil iyonlaştırma üretimi ile gerçekleşen hızlı yükselmeye Townsend Çıığı denir. Her birincil iyon için çok sayıda (10^3-10^5) ikincil olay olmasına rağmen, sayaç daima, ikincil olayların sayısı ilk olayların sayısı ile orantılı olacak şekilde çalışır. Bu yüzden bu sayaçlara orantılı sayaç denir. Orantılı sayacın çıkış sinyalleri esas olarak çok hızlı oluşan çığ işleminden kaynaklandığı için, bu süre birincil iyonların oluşturduğu noktadan çığın olduğu anot telinin civarına kadar birincil elektronların sürüklenme zamanı ile belirlenir. Bu zaman μ s mertebesindedir.

Eğer elektrik alan daha büyük değerlere çıkarılırsa ikincil çığlar oluşur. Bunları ilk çığdaki uyarılmış atomlar tarafından yayınlanan fotonlar başlatır. Bu fotonlar birincil çığın olduğu bölgeye göre biraz daha uzakta hareket ederler ve hemen hemen tütün tamamı işleme katılmış olur. Yükseltme çarpanı 10^{10} kadardır. Bütün tütün her olay için işleme katıldığından orijinal radyasyon enerjisi hakkında tam bilgi mevcut değildir, gelen tüm radyasyonlar özdeş çıkış pulsları üretirler. Bu çalışma bölgesine Geiger-Müller bölgesi denir ve sayaçlar bu ilkeye dayandıkları için Geiger sayacı olarak adlandırılırlar. Geiger sayaçları portatif radyasyon monitörleridir.

Bir Geiger sayacının çıkış sinyalleri pek çok çığ işlemi sonucu birikmiş elektronları içerir; bu sinyal 1 V civarındadır ve genellikle daha fazla yükselme gerekli değildir. Elektronların birikme süresi 10^{-6} s kadardır. Bu süre içinde pozitif iyonlar çığ bölgesinden çok uzağa gidemezler. Böylece anot teli civarı pozitif yüklü iyon

bulutuyla çevrilir. Bu bulut elektrik alan şiddetini düşürür ve sonunda çığ işlemi durur.

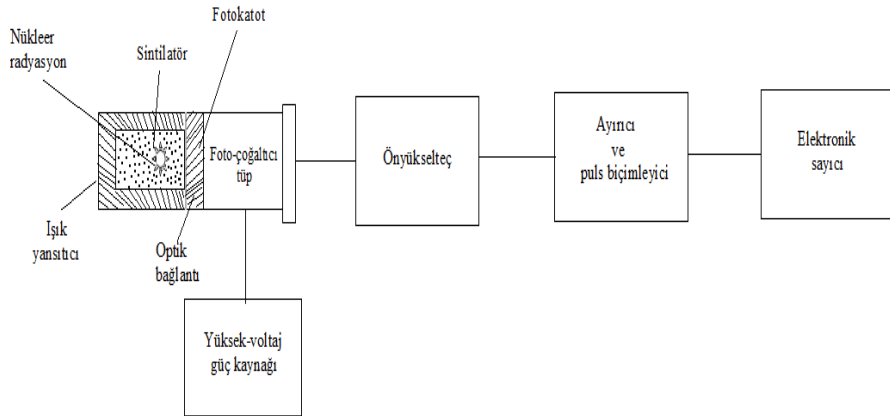
Pozitif iyonların katoda sürüklenmeleri ve nötralize olmalarıyla çevrim tamamlanır (10^{-4} - 10^{-3} s içinde), fakat bu süredeki hareketleri esnasında iyonlar hızlanırlar ve katotdan elektron sökebilecek kadar yeterli enerji kazanabilirler ve işlem tekrar başlamış olur. (Geiger tübündeki çoğalan çığ işleminin doğasından dolayı çıkış pulsunu yaratan tek bir elektrondur). Sürekli artıştan korunmak için tüpe 2. Bir tür gaz eklenir, buna söndürücü gaz denir. Söndürücü gaz genellikle etanol gibi kompleks organik moleküldür; ilk konulan gaz ise argon gibi basit moleküllü bir gazdır. Tipik bir karışım %90 argon ve %10 etanoldür. Çoğunluğunu argon gazının içerdiği yükler (+ yüklü) katoda doğru sürüklenmeye başlarlar. Söndürücü gaz atomlarıyla yaptıkları çarpışmalar sonucunda bir elektronun transfer edilmesiyle, argon nötr hale geçer ve iyonlaşan etanol katoda doğru sürüklenmeye başlar ve katoda ulaştığında nötr hale geçer. Daha önce katotdan bir elektron koparmak için harcanan enerji şimdi molekülün ayrışması için soğurulabilir. (Bu işlem basit argon atomları için mümkün değildir). Söndürücü gaz böylece yavaş yavaş kullanılıp bitirilir. Yani bir Geiger tüpü periyodik olarak değiştirilmelidir. Bazı Geiger tüpleri de söndürücü gaz olarak halojenler kullanılarak yapılırlar. Bu, ayrılmış moleküllerin tekrar bir araya gelmesi için tüpü yenileme gereksinimini ortadan kaldırır (Krane 2001).

2.5.2 Sintilasyon detektörleri

İyonlayıcı nükleer parçacıklar etkileştikleri ortamda uyarma (eksitasyon) ve iyonlaşmaya (iyonizasyon) neden olurlar. Gamma ışınları ise etkileştikleri ortamda fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu sonucu ortaya çıkan elektron ve pozitron yoluyla eksitasyon meydana getirir. Bazı maddeler uyarılma sonucu görünür bölgede veya görünür bölgeye çok yakın ışık yayımlarlar. Bu tür kristallere veya amorf (şekilsiz) maddelere sintilatör, ışık yayınlanmasına sintilasyon (ışıldama) denir. Bu tür maddelerden ışık yayınlanması uyarılma son bulduktan sonra en az 10^{-10} s devam eder. Bazı maddelerde ışık yayınlanması saniye, saat, hatta aylarca

sürebilir. Radyasyon detektörü olarak kullanılan sintilatörlerde ışık yayınlanması 10^{-6} - 10^{-9} s arasındadır.

Sintilasyon sayaçlarının çalışma ilkesi, sintilatörde radyasyon tarafından uyarılma sonucu oluşan görünür ışığın bir elektrik pulsuna dönüştürülmesine dayanır. Şekil 2.5 de genel sayma sisteminde kullanılan bir sintilasyon dedektörünün şematik diyagramı verilmiştir. Bir sintilatörle bir “fotoçoğaltıcı tüp” optik bir ortam aracılığı ile uyumlu biçimde bağlanarak bir sintilasyon detektörü oluşturulur. Fotoçoğaltıcı tüp bir fotokatot ile 8-10 adet gerilim uygulanabilen “dynod” adı verilen elektrottan oluşmuştur. Nükleer radyasyon sintilatörde iyonlaşma ve uyarma meydana getirerek başlangıç enerjisinin tümünü veya bir kısmını kaybeder. Soğurulan enerji sintilatörde sintilasyona neden olur. Sintilasyon sonucu oluşan ışık fotonları optik bağlantı aracılığıyla fotokatot üzerine düşerler. Fotokatottan fotoelektronlar yayınlanır. Yayınlanan elektronlar fotokatota gelen ışık şiddetiyle dolayısıyla yüklü parçacığın sintilatörde kaybettiği enerjiyle orantılıdır. Fotoçoğaltıcı tüpte dynodlarla elektronlar çoğaltılır. Çoğaltılmış elektronlar toplayıcı elektrot “anot” ta toplanır ve bir gerilim (voltaj) pulsı üretilmiş olur. Gerilim pulsı bir ön yükselticide (preamplifier) yükseltildikten ve bir diskriminatörden (ayırıcı) geçtikten sonra sayıcıya ulaşır (Yalçın 1999).



Şekil 2.5 Bir sintilasyon detektörünün şematik diyagramı (Price 1964).

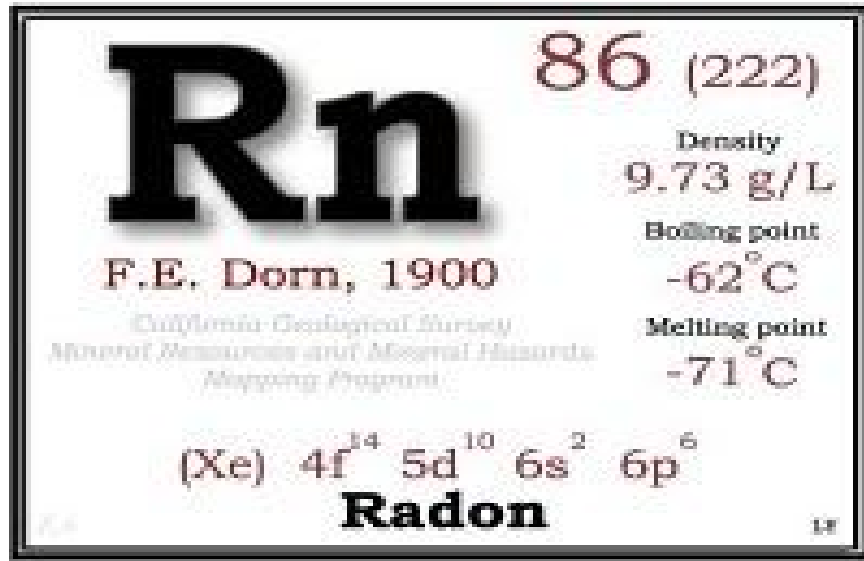
2.5.3 Yarıiletken detektörler

Yarıiletkenler isminden de anlaşılacağı üzere elektrik iletkenliği iletkenlerden daha az yalıtkanlardan daha fazla olan materyallerdir. 1940 ve 1950 lilerde geliştirilmeye başlanan yarıiletken detektörler ve 1960 larda nükleer radyasyon detektörü olarak kullanılmaya başlamıştır. Yarıiletken detektörün temel çalışma ilkesi gazlı detektörlerde olduğu gibi radyasyonun detektörde oluşturduğu iyonlaşmaya dayanır. Burada gazın yerini yarıiletken detektör materyali alır. Yarıiletken içinden iyonize eden radyasyon geçtiğinde bir elektrik alan yardımıyla toplanan elektron-hole çifti (gazlı detektörlerdeki elektron-iyon çifti yerine) oluşur. Yarıiletkenlerin üstün taraflarından biri bir elektron-hole çifti oluşturmak için gereken enerjinin gaz iyonlaşması için gereken enerjiden 10 kat daha az olmasıdır. Bir yarıiletken detektörde, verilen bir radyasyon enerjisi için oluşan elektron-hole çiftlerinin (yük taşıyıcıların) çok büyük sayıda olması, bu sayıdaki istatistiksel düzensizliklerin etkisinin çok az olmasına neden olur. Sonuçta yarıiletken detektörlerde enerji rezülasyonu da diğer detektörlere oranla çok daha iyidir.

Yarıiletken materyaller içerisinde en çok kullanılan yarıiletkenler IV A grubu elementleri olan Silisyum ve Germanyum'dur. Ge ve Si içinde 4 değerlik atomunun komşu atomlarla dört kovalent bağ oluşturduğu kristaller şeklindedir. Yani tüm değerlik elektronları kovalent bağa katılırlar ve bant yapısı bir dolu valans (değerlik) bandı ve bir boş iletim bandı gösterir. Valans bandı olarak isimlendirilen bant, kristal içinde kovalent bağa katılan valans elektronlarını içeren banttır. İletim bandında ise kristal içinde herhangi bir spesifik atoma bağlı olmayan ve hareket etmek için serbest olan elektronlar bulunur. Bu banttaki elektronlar, materyalin elektriksel iletkenliğine katkıda bulunurlar. Silisyum kristalinde, iletim bandında hiç elektron yoktur ve bu nedenle silisyum elektrik için zayıf bir iletkenidir. Bu iki bant (valans ve iletim bandı), materyalin yarıiletken ya da yalıtkan oluşunu belirleyen ve yasak enerji aralığı olarak isimlendirilen bir enerji aralığı ile ayrılırlar. Bu aralık bir yalıtıkanda 5 eV, bir yarıiletkende ise 1 eV'dir. Yasak enerji aralığı oda sıcaklığında silisyum için 1.12 eV ve 80 K'de germanyum için 0.74 eV'dir.

Yasak enerji aralığının darlığı, materyalin sıcaklık hassasiyeti ile ilgilidir. Bu özelliklerden faydalanılarak bu materyallerin detektör olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek pratik olarak mümkündür. Germanyum detektörlerin maksimum çalışma sıcaklıkları silisyumdan yapılmış detektörlere göre daha düşüktür. Bu nedenle Ge detektörlerini termal yük taşıyıcı üretimini uygun bir seviyeye düşürebilmek için soğuk tutmak gerekir. Detektörün soğukta tutulması aynı zamanda elektronların enerji aralığını geçerken termal uyarılmalarını ve detektörün ürettiği tabansayım elektriksel gürültülerini de azaltır. Detektörlerin soğutulması için en yaygın kullanılan ortam sıvı azottur. Detektörler, gürültü düzeyini düşük tutmak için 77 K'deki sıvı azot içinde bulunan bir vakum odasında tutulurlar (Zorer 2006).

2.6 Radon



Şekil 2.6 Radon gazının bazı özellikleri

2.6.1 Radon gazı kaynağı

Radon, renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan radyoaktif bir gazdır. Erime noktası -71 °C (202.15 °K, -95.8 °F), kaynama noktası ise -61.8 °C (211.35 °K, -79.24 °F)'dir (Özdemir, 2006). Radon donma sıcaklığının altındaki sıcaklıklara kadar soğutulursa, sıcaklık düşüşüyle

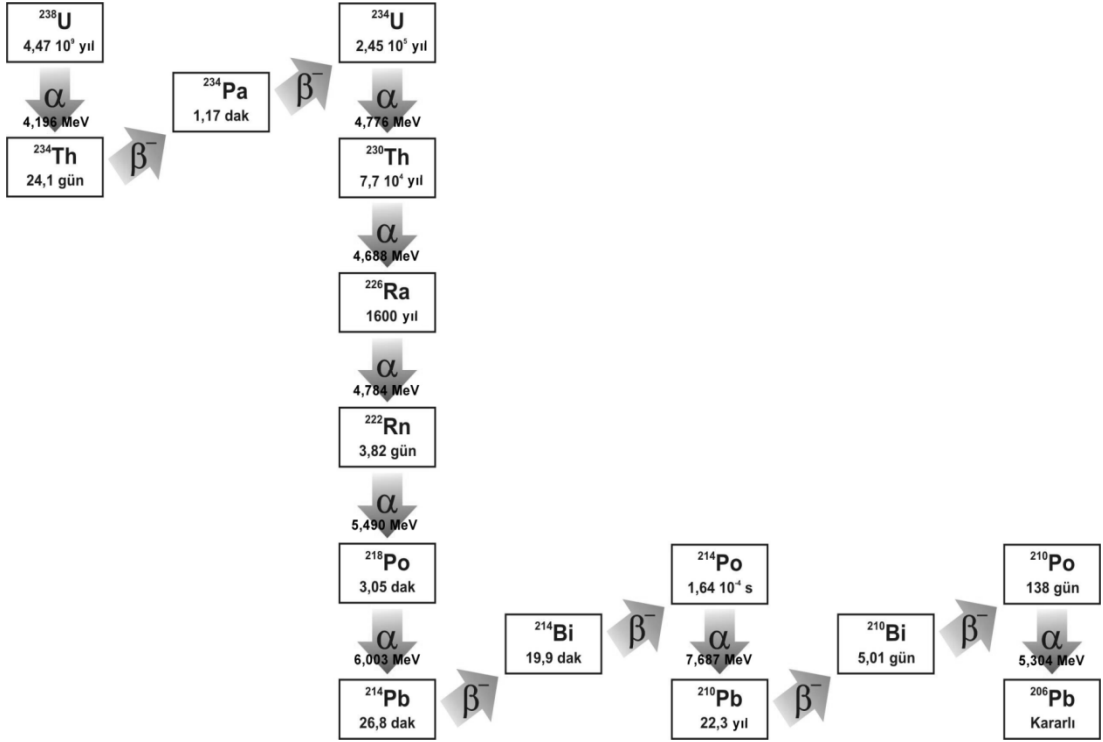
orantılı bir şekilde sarılığı artan parlak bir görünüm alır. Sıvı hava sıcaklığı olan -195 °C’de turuncu-kırmızı arası bir renk alır (Davutoğlu 2008).

Radon; kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucu oluşur (Yücel ve Arıkan). Uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan, topraktan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Sıcaklık, basınç farklılıkları, nem gibi faktörler bu kaçıışı hızlandırmaktadır. Çeşitli kayalardaki uranyum konsantrasyonu Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Çeşitli kayalardaki uranyum konsantrasyonu

Kaya Tipleri	Uranyum Konsantrasyonu (ppm-parts per million)
Volkanik Kayalar	3.0
Fosfat Kayalar(Florida)	120.0
Fosfat Kayalar (Kuzey Afrika)	20-30
Granit	4.0
Kireçtaşı	1.3
Tortul Kayalar	1.2

Radon denilince ilk akla gelen ^{222}Rn , doğal radyasyon kaynaklarından olan 4.5 milyar yıl ömre sahip uranyum ailesinin bir elemanıdır ve uranyum serisi içinde yer alan ^{222}Rn ve bozunum ürünleri Şekil 2.7’de görülmektedir.



Şekil 2.7 Uranyum serisinin bozunum şeması

2.6.2 Radonun bozunum ürünleri

Radon'un bozunması ile kısa ömürlü radon ürünleri olan ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po meydana gelir. Özellikle radon gazı bozunduğu zaman oluşan ^{218}Po atomları, iyonize halde, hava içindeki herhangi bir parçacığa tutunma eğiliminde olduğundan ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po atomlarının pek çoğu oluştuklarında bir parçacığa tutunmuş haldedirler (Kapdan 2009). Çizelge 2.2 de radon ve bozunma ürünlerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2 Radon ve bozunum ürünlerinin özellikleri

İZOTOP	YARI ÖMÜR	BOZUNMA SABİTİ (s ⁻¹)	TEMEL RADYASYON ENERJİLERİ (MeV)		
			α	β	γ
²²² Rn	3,82 gün	2,1x10 ⁻⁶	5,49	-	-
²¹⁸ Po	3,05 dk	3,79x10 ⁻³	6,00	-	-
²¹⁴ Pb	26,8 dk	4,31x10 ⁻⁴	-	0,65	0,29
²¹⁴ Bi	19,9 dk	5,8x10 ⁻⁴	-	3,27	0,61
²¹⁴ Po	1,6x10 ⁻⁴ s	4,3x10 ³	7,69	-	-
²¹⁰ Pb	22,3 yıl	9,8x10 ⁻¹⁰	-	0,016	0,046
²¹⁰ Bi	5,013 gün	1,6x10 ⁻⁶	-	1,16	-
²¹⁰ Po	138 gün	5,81x10 ⁻⁸	5,30	-	-
²⁰⁶ Pb	kararlı				

2.6.3 Konut-içi radon kaynakları

2.6.3.1 Toprak ve kayalardan gelen radon

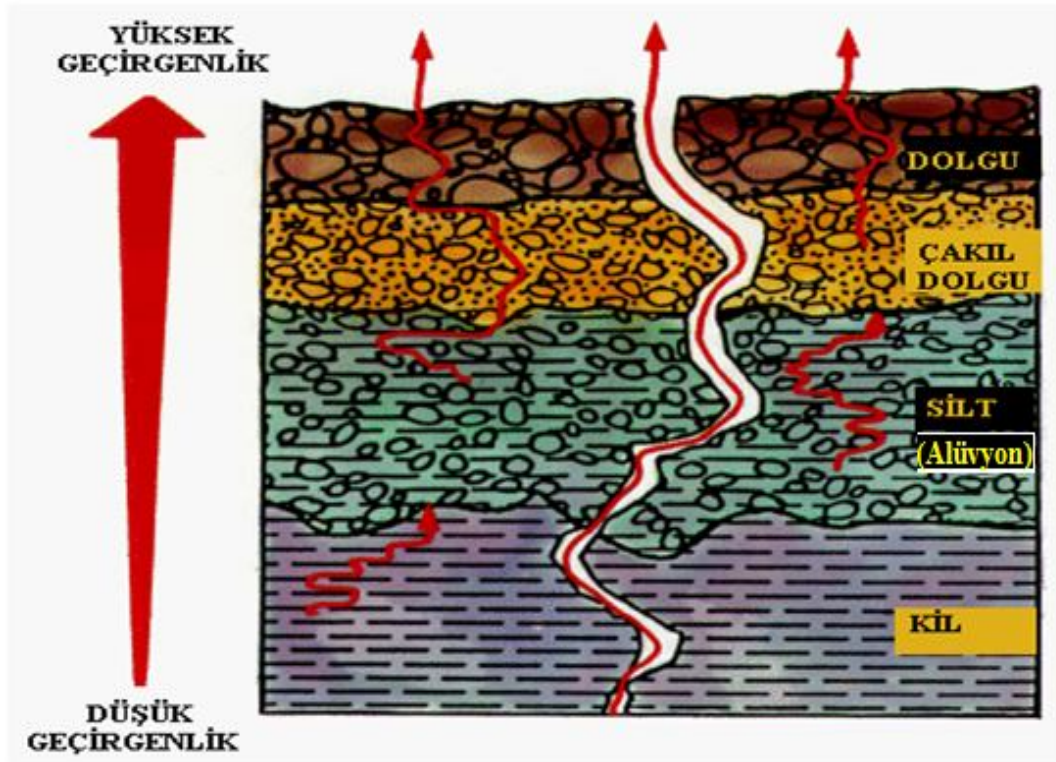
Radonun gaz olması onu, toprak içinde bulunan uranyum ve radyumdan daha fazla hareketli kılar. Bu yüzden toprak taneleri arasındaki gözeneklerden ve kaya içindeki açıklıklardan, kırıklardan kaçarak toprak ve kayaları kolaylıkla terk edebilir. Gözenekler içinde serbest hareket edebilme yeteneğine sahip olması, uzun mesafeler boyunca hareket edebilmesini sağlar. Böylece bina içlerinde yüksek konsantrasyonlarda radon birikme ihtimali yüksek olur (Günaydı 2004).

Konuta giren radonun kaynağının, binanın inşa edildiği arazide bulunan toprak ve kayalar olduğu bilinmektedir. Toprak boyunca yükselerek binanın altında sıkışan radon ve diğer gazlar, basınç oluştururlar. Evlerdeki hava basıncı genelde toprakta ki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar.

Radonun değişik bölgelerde salınım bakımından farklılık gösterdiği bilinmektedir. Aynı yerleşim bölgesinde bile zamana bağlı olarak değişim söz konusudur. Radon konsantrasyonları için coğrafî yerleşim önemlidir. Kutup bölgesi gibi radon çıkışını sağlayan toprağın azaldığı yerleşim bölgelerinde, radon konsantrasyonları düşüktür.

Topraktan radon salınımı;

- ❖ Topraktaki radyum konsantrasyonuna,
- ❖ Toprağın gözenekliliğine, geçirgenliğine ve nem içeriğine (Şekil 2.8)
- ❖ Toprağın durumuna (kuruluk, suyla tıkanmış olma, donma, karla örtülü olma)
- ❖ Meteorolojik koşullara (toprak ve hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgar hızı, rüzgarın yönü)
- ❖ Bölgenin yüksekliğine, bağlıdır (Kapdan 2009).



Şekil 2.8 Topraktaki radon geçirgenliği (Günaydı 2004)

2.6.3.2 İnşaat malzemelerinden gelen radon

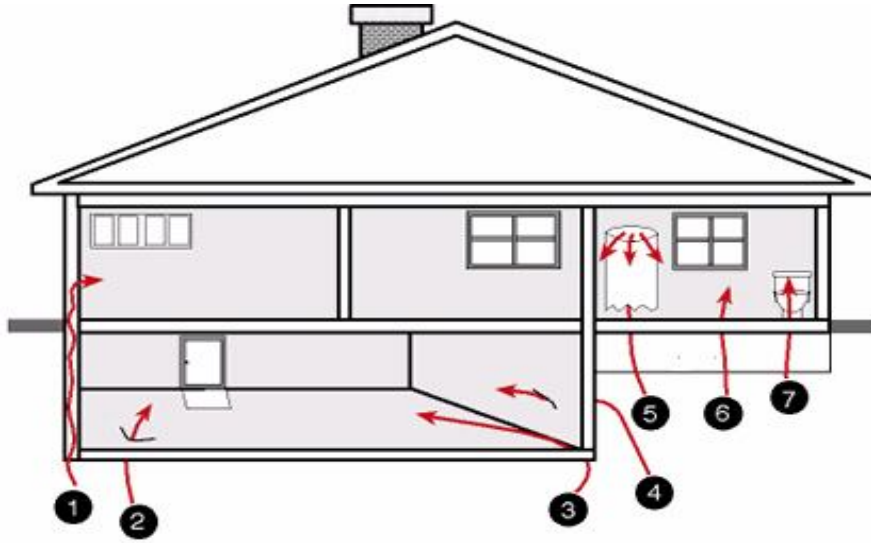
Kökeni toprak ve kum olan yapı malzemesi bileşiminde de uranyum ve radyum bulunmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan az miktardaki uranyum binalardaki radon düzeyini arttırıcı etkenlerden birisidir. Bu nedenle dış solunum adı verilen bir doğal mekanizma ile duvarlardan sürekli olarak radon gazı çıkar ve bina içi ortamda artan bir yoğunluk oluşturur (Kapdan 2009).

Bazı inşaat malzemeleri için radyum konsantrasyonları ve radon çıkış hızları çizelgede verilmiştir. Beton ve tuğla, en yaygın kullanılan inşaat malzemeleridir. Yapılan çalışmalar sonucunda betondaki ^{226}Ra konsantrasyonunun, tuğlaya göre daha az, ^{222}Rn çıkış oranının ise betonda tuğladan daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Kapdan 2009).

Çizelge 2.3 İnşaat malzemeleri içindeki ^{226}Ra ve ^{222}Rn değerleri

İnşaat Malzemesi	^{226}Ra konsantrasyonu (Bq /kg)	^{222}Rn çıkış hızı ($\mu\text{Bq}/\text{kg s}$)
Tahta	-	0.2
Tuğla	45	1.0
Beton	9-32	2.5-20
Alçı taşı	12	6.3
Fosfattan elde edilen alçı taşı	580-740	0.13-0.20
Çimento	50	1.0
Kum	10	3.0

Şekil 2.9'da Radon gazının binalara nerelerden girdiği gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Radon gazının binalara girdiği yerler (Akyıldırım 2005).

1) Duvar içi boşluklar, 2) Zemin çatlakları, 3) Birleşme noktaları, 4) Duvar çatlakları
5) Su Kaynağı, 6) Asma tavan boşluğu, 7) Boru çevresi boşluğu.

2.6.3.3 Havadan gelen radon

Açık havadaki radon gazının başlıca kaynağı yer kabuğunda bulunan radyum izotopudur. Radyumun bozunmasıyla açığa çıkan radon topraktaki gözeneklerden atmosfere difüzyon yoluyla karışır ve atmosferik radon yoğunluğunu artırır. Bu hareketi etkileyen temel etkenler şunlardır:

- Materyallerden kaynaklanan radon yayılımı
- Toprak ve hava arasındaki basınç farkı
- Toprağın suya doyma seviyesi
- Kayaç ve toprağın gözenekli yapısı
- Radyumun yoğunluğu

Atmosfer basıncının düşük olması durumunda, toprak içerisindeki havada da basınç düşük olacaktır ve böylece derinden yüzeye yönelen radon miktarı artacaktır. Yağmurlu ya da yağışlı havalarda yüzeydeki toprak nem oranı artar ve toprak gözenekleri kapanır. Alttan yüzeye yönelmiş radon toprağın üst gözeneklerinde tutulur ve radonun aşağıdan yukarıya difüzyon yoluyla geçişi zorlaşır. Sonuçta

toprak yüzeyindeki radon yoğunluğunda azalma olur. Çok kuru katı içinde, katı içindeki çatlak ve gözeneklerdeki yüzeylerde radonun yeniden bağlanmasıyla (tutunmasıyla) radon salımı azalır. Eğer katı hafif nemli ise radon salımı belli nem düzeyine kadar artar, belli nem düzeyinin üstünde su dolu gözeneklerde difüzyon oranı düşük olacağından tekrar azalır (UNSCEAR 1982). Radon yoğunluğunun mevsimsel bazı incelemeleri yapıldığında günün öğle saatlerinde minimum, gece yarısı ise maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür (Akyıldırım 2005).

2.6.3.4 Sulardan gelen radon

Bir bölgede bulunan göller, akarsular, göletler, kuyular ve membalar o bölgenin jeokimyasal ve jeofiziksel yapısı ve radyoaktiflik içeren madenleri hakkında bilgi verir. Yeraltı uranyum yataklarının keşfinde yapılan çalışmalar genellikle kuyu ve kaynak sularında radon yoğunluğu ölçülerek gerçekleştirilir. Bunun sebebi bu suların kaynağının, yeraltı, akarsular sistemi olması ve bu akarsu sisteminin de kollarının uranyum yataklarından geçme ihtimalinin yüksek olmasıdır. Eğer uranyum yatağından geçen bir kol varsa yatağı yıkayan sularda uranyum ve radyum çözünür ve tabii ki radon gazı çıkışı gözlenir. Bu yüzden kaynak sularının çıkış noktalarında radon gazı yoğunluğu artar. Radon miktarının termal sular söz konusu olduğunda ise daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bunun en önemli sebepleri termal suların sıcak olmaları, geçtikleri yerlerde daha fazla minerali, dolayısıyla uranyum tuzunu çözebilmeleri ve yerin daha derin noktalarından yeryüzüne çıkıyor olmalarıdır. Evlerde kullanılan musluk suları da tüm arındırma işlemlerine rağmen belirli bir miktar radon içermektedir. Bu miktar, ev suyunun alındığı kaynağa ve ne kadar arıtıldığına bağlıdır (Akyıldırım 2005). Sularda bulunan radon ev içlerine, sular kullanıldığı zaman girer. Suyun sıcaklığı arttıkça ortama verilen radon miktarı da artar.(UNSCEAR 1993).

Evdeki alışkanlıklar ve uygulamalar; duş, çamaşır ve bulaşık makinesi gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktar radonun salınmasına neden olur. Sudaki radon seviyesi, ev içi radon seviyesini önemli derecede etkileyebilecek kadar yüksektir. Yer altı sularında radon konsantrasyonu, yüzeysel sulardan daha yüksektir.

Bazı bölgelerde evlere ulaşan sular özel kuyulardan gelir. Yeraltı sularındaki radon konsantrasyonu, yüzeysel sulardan daha yüksektir (UNSCEAR 1982).

Çizelge 2.4 Su kaynaklarının ortalama radon konsantrasyonu ve yüzdelik kullanım oranları (UNSCEAR 1993)

Kaynak tipi	Konsantrasyon (Bq/m ³)			Kullanım (%)		
	ABD	İngiltere	Referans Değer	ABD	İngiltere	Referans Değer
Yüzey suyu	1100	1000	1000	50	66	60
Yer altı suyu	11500	30000	10000	32	34	30
Kuyu suyu	208000	<1000000	100000	18	<1	10

2.6.3.5 Doğal gazdan gelen radon

Doğalgazın üretimi ve depolanması esnasında doğalgazın bozunumu ile ortama radon gazı verilir. Doğalgazın üretim kuyularındaki radon konsantrasyonu, detekte edilemeyen seviyelerden, 50 kBq/m³ seviyesine kadar değişik değerler vermektedir (Çelebi 2007).

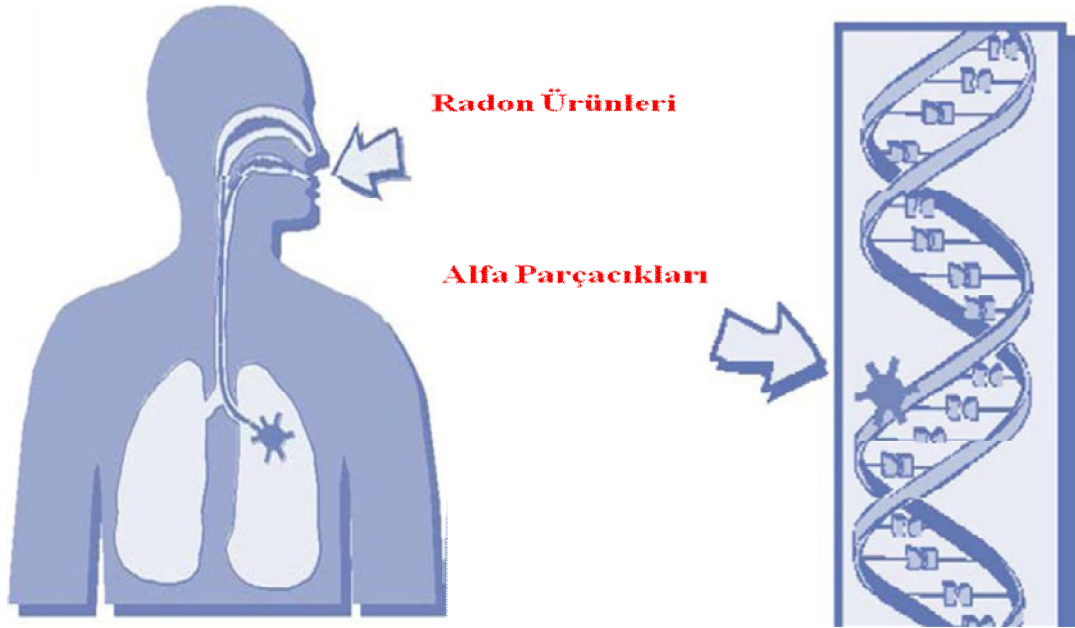
Doğalgaz topraktan çıkartılır. Bundan dolayı uranyumun olduğu bir yerden çıkartılırsa kendisinin yanı sıra uranyumun bozunması ile meydana gelen radon ile birlikte üretilir ve depolanır. Doğalgazın önemli bir ev içi radon kaynağı olması bundan kaynaklanır.

Doğalgaz, evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığında da radon gazı ortaya çıkar ve buda ev içi radon seviyesini artırır. Eğer yanma ürünleri havalandırma ile dışarı atılırsa, radon kaynağı ihmal edilebilir (Çelebi 2007). Ayrıca radon yanıcı bir gaz olmadığı için varlığı fark edilemez ve ortama kolaylıkla yayılabilir.

2.7 Radon Gazının İnsan Sağlığına Etkisi

Radonun kendisinin sağlığa olumsuz etkisi oldukça azdır denebilir. Bir soygaz olarak radon, teneffüs edildiğinde dikkate değer ölçüde vücut tarafından tutulamaz. Gene teneffüs yoluyla dışarı atılır. Çünkü radon nefes alma süresiyle kıyaslandığında daha uzun yarı ömre sahip bir asal gazdır.

Radon soygaz olduğundan dolayı teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür. Potansiyel sağlık zararı radonun gaz olmayan radyoaktif bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Radonun bozunum ürünlerinin bir kısmı atmosfer içindeki herhangi bir parçacığa tutunmak, bazıları ise serbest radyoaktif atomlar olarak kalma eğilimindedirler. Radonun bozunum ürünlerinden, serbest olarak kalma eğiliminde olanları taşıyan hava solunduğu zaman bunlar üst solunum yollarında, yapışma eğiliminde olanlar ise akciğerlerin derinliklerinde tutulma eğilimi gösterirler ve ciğerler temizlenmeden önce bozunmaya başlarlar. Bozunum ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunmaya devam ederler. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan alfa parçacıkları, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içinde kansere neden olur.



Şekil 2.10 Radon bozunum ürünleri tarafından akciğerlerde yapılan ışınlama (Kapdan 2009).

Ev ve iş yerlerinde radona maruz kalma sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiş ve yıllık doz için eylem seviyesi tespit edilmiştir. Eylem seviyesinin 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için 200- 600 Bq/m³ (evde geçirilecek süre 7000 saat), iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasında bir değer tespit edilmesi önerilmiştir (Kapdan 2009).

Çizelge 2.5 Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri (Kapdan 2009)

Eylem seviyesi (Etkin doz)	3 mSv/yıl	10 mSv/yıl
Evler için Eylem seviyesi (Radon konsantrasyonu)	200 Bq/m ³	600 Bq/m ³
İş Yerleri için Eylem Seviyesi (Radon Konsantrasyonu)	500 Bq/m ³	1500 Bq/m ³

Radonun asıl kaynağının uranyum olması nedeniyle radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye, limit değerler de ülkeler arasında değişiklikler göstermektedir. İngiltere’de bu değer 200 Bq/m³, Avrupa ülkelerinde 400 Bq/m³, Kanada’da ise 800 Bq/m³ olarak kabul edilmiştir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, evlerde radon için tavsiye edilen düzeyler 200-600 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Türkiye’de Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’ne göre evler için izin verilen limit değer 400 Bq/m³, işyerleri için 1000 Bq/m³ tür (TAEK 2009). Çizelge 2.6’da çeşitli ülkeler ve uluslar arası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için izin verilen radon konsantrasyonları verilmektedir.

Çizelge 2.6 Çeşitli Ülkeler için radon konsantrasyon limitleri (Bq/m³)
(Yücel ve Arıkan Erişim Tarihi: 12.07.2010)

A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO	100

(AB: Avrupa Birliği, ICRP: Uluslar arası Radyasyondan Korunma Komitesi,
WHO: Dünya Sağlık Örgütü.)

2.8 Radon Gazının Etkilerinin Azaltılması

Radon ölçümlerinin mevsimsel, zamana bağlı hatta gece ve gündüz farklılıklarını gösterecek biçimde yapılması gerekmektedir.

Radon risklerinin azaltılması için alınması gereken tedbirler vardır. Bunlar;

- Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- Binaların toprak ile temas eden yüzeyleri ve birleşim yerleri sızıntıya imkan vermeyecek şekilde izole edilmelidir.
- Evlerin duvarlarında, su ve kanalizasyon borularının geçtiği yerlerde bulunan çatlaklar, açıklıklar onarılmalı ve kapatılmalıdır.
- Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazı bina dışına kaçamazsa bina içindeki konsantrasyonu artıracaktır. Bu nedenle, kapalı ortamların

havalandırılmasına özen gösterilmelidir. Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi artırılmalıdır.

- Suyun radon kapsamı azaltılmalıdır. Buda suyun havalandırılması ve karbon filtrelerden geçirilmesi ile yapılabilir.
- Konuyla ilgili olarak yeterli bir risk iletim ağı kurulmalıdır. Toplum bireylerinin duyarlılığı artırılmalıdır.

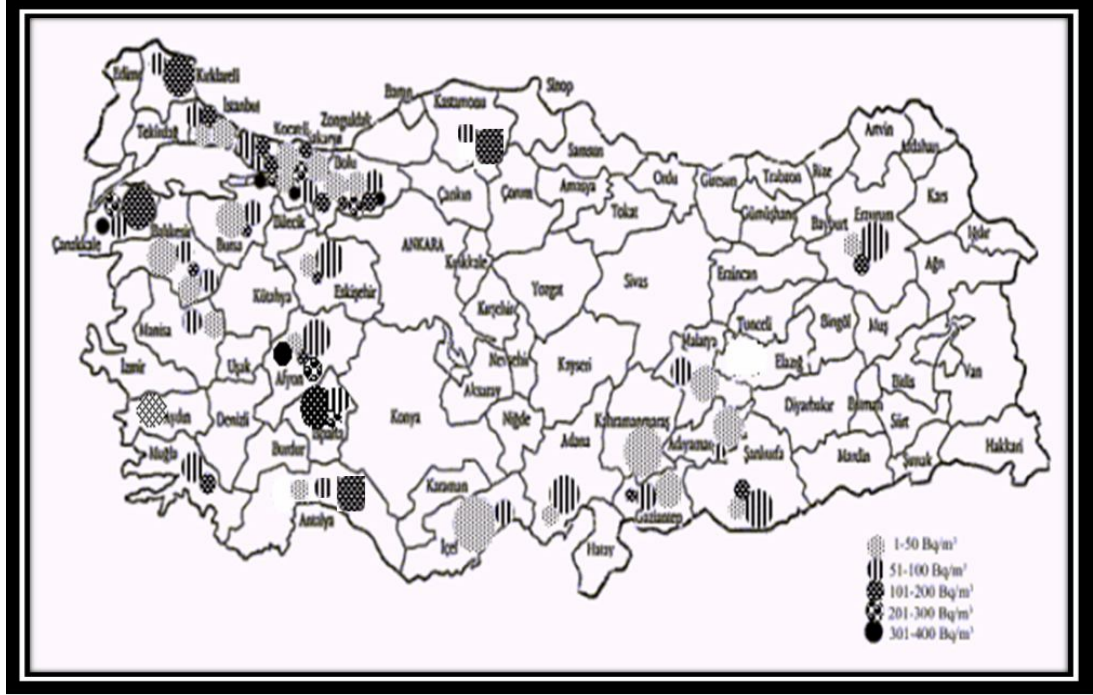
2.8.1 Türkiye’de ev içi ²²²Rn konsantrasyonunun şehirlere göre dağılımı

Ev içi ²²²Rn oranının belirlenmesi, soğuk iklime sahip bölgeler için daha önemlidir. İklim koşullarına bağlı olarak kapı ve pencerelerde yapılan izolasyon, bina içi havalandırmayı önlemekte, bu da radon oranını artırmaktadır. Aynı şekilde, kapı ve pencerelerin iklim nedeniyle kapalı tutulması da oranı artırmaktadır.

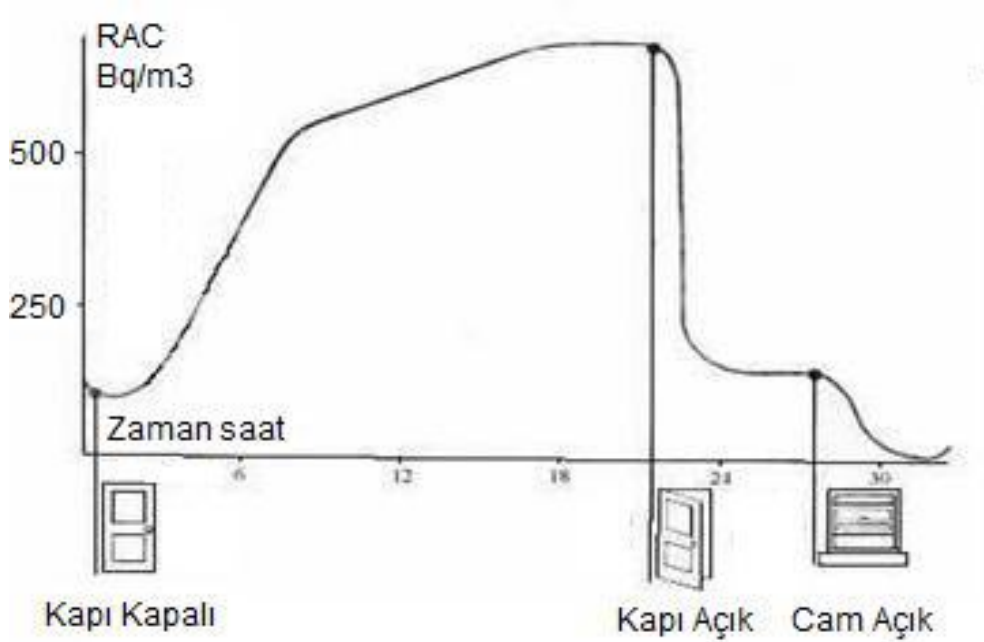
Şimdiye kadar ²²²Rn konsantrasyon ölçümü yapılan il ve ilçelere ait ev içi ortalama radon konsantrasyon değerleri Çizelge 2.7’de verilmektedir. Antalya, Mersin, Adıyaman gibi illerimizde ²²²Rn oranı düşük çıkarken; Isparta, Eğirdir, Dinar, Çanakkale vb illerimizde ise oran oldukça yüksektir. Bunun yanında bölgenin fay hattı üzerinde olup olmaması da oranı değiştirmektedir. Çanakkale, Dinar, Isparta, Eğirdir, Yalvaç gibi fay hattı üzerinde bulunan il ve ilçelerimizde oran yüksek çıkarken, Bolu ve Kocaeli’nde oran düşüktür. UNSCEAR tarafından, ev içi radon konsantrasyonunun dünya aritmetik ortalama değeri 40 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. ²²²Rn konsantrasyon oranı ölçülen illerimizin çoğunun ortalama ²²²Rn değeri bu değeri aşmaktadır (Uluğ ve Çelebi).

Çizelge 2.7 ²²²Rn konsantrasyon ölçümü yapılan il ve ilçelere ait ev içi ortalama radon konsantrasyon değerleri (Uluğ ve Çelebi 2005)

İstanbul	50.00	Kocaeli	16.97	Düzce	67.78
Zeytinburnu (İstanbul)	43.18	Köprübaşı	54.33	Antalya	28.12
Eskişehir	61.80	Tosya	55.76	Finike	42.02
Adana	63.00	Kastamonu	75.50	Manavgat	41.55
Mersin	35.60	Balıkesir	41.00	Serik	38.86
K. Maraş	25.22	Sındırgı	55.00	Boğazkent	31.86
Adıyaman	16.62	Çanakkale	154.13	Isparta	163.67
Ş. Urfa	73.75	Kestanbolu (Çanakkale)	154.70	Eğirdir	123.89
Elazığ	71.00	Bursa	47.40	Yalvaç	111.54
Erzurum	65.43	Yatağan Termik Santrali	90.38	Burdur	85.88
Afyon	65.80	Sakarya	80.78	Gaziantep	50.58
Dinar	186.50	Gölcük	65.96		
Rize	70.58	Bolu	84.44		



Şekil 2.11 ^{222}Rn 'nin Türkiye haritası üzerinde illere göre dağılımı (Uluğ ve Çelebi 2005)



Şekil 2.12 Radon konsantrasyonunun havalandırmaya bağlı olarak değişimi (URL-1).

2.9 Radon Gazı Ölçümü

Geliştirilmiş özel tekniklerle radon ölçümleri yapılabilir. Radon ölçüm teknikleri aktif ve pasif olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Aktif ölçüm tekniğinde, anlık radon ölçümleri yapılmaktadır. İyon odaları, sintilasyon hücresi, filtreler aktif radon ölçümlerinde kullanılan aletlere örnek olarak verilebilir.

Pasif ölçüm tekniğinde ise, Katı Hal Nükleer iz detektörleri kullanılarak uzun süreli radon ölçümleri yapılmaktadır. Katı Hal Nükleer iz detektörleri ile radon konsantrasyon ölçümleri çeşitli plastik maddelerden yapılmış film tabakaları kullanılarak gerçekleştirilir (Fişne vd. 2004).

Pasif alfa detektörü kullanılarak yapılan radon ölçümleri 3 farklı yolla oluşturulabilir:

- Detektörün önünde bulunan bir filtre üzerinde radon ürünlerini topladığı gaz akışlı aktif cihazlarda
- Gaz akışı olmayan difüzyon yoluyla radon girişi olan ağzı kapalı odacıklarla
- Açık bir detektör üzerinde, havadaki radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacıklarının kaydedildiği pasif aygıtlarla (Kapdan 2009).



Şekil 2.13 Pasif radon detektörleri ile ölçme ve değerlendirme işlemlerinin şematik gösterimi (Fişne vd. 2004).

2.10 Radon Ölçümünde Kullanılan Materyaller

Radon ölçüm teknikleri, ölçüm sonuçlarının alınma süresine bağlı olarak :

- ❖ Kısa dönem ölçüm teknikleri
- ❖ Uzun dönem ölçüm teknikleri

olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir.

2.10.1 Kısa dönem ölçüm teknikleri

Kısa dönem ölçümlerde amaç bir an önce sonuçları almaktır. En sık kullanılan kısa dönem ölçüm teknikleri aktif kömür, alfa iz dedektörleri, sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif kömür, elektret iyon odaları, radon tuzağı örnekleri ve sürekli monitörlerdir (Kapdan 2009).

2.10.1.1 Aktif karbon tekniği

Bu teknik bir absorblayıcı ortamda (kömür gibi) radon gazının absorbe olmasına ve daha sonrada bu malzemenin analiz edilmesiyle radonun bozunum ürünleri olan Pb^{214} ve Bi^{214} , ün yayımladığı gama ışınlarının aktivitelerinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu sayede radon miktarı tespit edilmiş olur.

Bu amaçla metal bir kap içerisine birkaç gram aktif karbon yerleştirilir. Uygun bir kapakla metal kap kapatılır. Metal kap ölçüm yapılacak yere yerleştirilir ve radon yüklü havanın kömüre yani karbon yatağına difüze edebilmesi için kapağı açılır. Kabın bu şekilde kalma süresi birkaç gün kadardır. Ölçüm süresi sonunda kabın kapağı tekrar kapatılır ve analiz için laboratuara götürülür. Laboratuvarda genellikle NaI (sodyum iyodür) sayıcıları kullanılarak gama aktivite ölçümü gerçekleştirilir. Kullanılan metal kaplar farklı boyutlarda ve şekillerde olabilir. Bazı metal kaplarda toron girişini engellemek ya da nemi minimize etmek için difüzyon bariyerleri kullanılabilir (Kapdan 2009).

2.10.1.2 Sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif karbon

Aktif karbon tekniği gibi radon gazının aktif karbon üzerinde absorblanması esasına dayanmaktadır. Fakat analiz için farklı bir ekipman kullanılır. Detektör tipik olarak içerisinde 1-3 gram kömür bulunan 20 ml'lik sıvı sintilasyon şişesinden oluşur. Ölçüm için sintilasyon şişesi açılarak radonun kömüre difüze etmesi sağlanır. Difüzyon sonrasında sintilasyon şişesi tekrar kapatılır ve analiz etmek için laboratuara götürülür. Analize hazırlamak için radon yayını tekniği kullanılır. Bu teknik kullanılarak kömür üzerine absorbe olmuş radonun büyük bir kısmı sıvı sintilasyon şişesindeki özel sıvıya transfer edilir. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin çözüdüğü sıvıyı içeren sintilasyon şişesi sıvı sintilasyon sayıcısına yerleştirilir ve sayım alınır (Kapdan 2009).

2.10.1.3 Alfa iz detektörleri

Bu teknik bölüm 3.1.2.1' de anlatılmaktadır.

2.10.1.4 Elektret iyon odaları

Elektret, kalıcı elektriksel yük gösterebilen bir dielektrik malzemedir. Çelik bir kap içerisine elektret malzemesi (teflon gibi) yerleştirilir. Bu güçlü bir elektrostatik alan oluşturur. Kabın tabanındaki küçük bir giriş radon gazının içeri girmesini sağlar. Radon ve radonun bozunum ürünleri bozunduğu zaman alfa, beta ve gama ışınları yayımlar. Bu yüksek enerjili parçacıklar hava içerisinde ilerlerken havadaki oksijen, azot gibi atomlarla çarpışırlar ve kap içerisinde iyonizan parçacıklar üretirler. Bu iyonlar elektret tarafından oluşturulmuş ola elektrik alan tarafından çekilerek toplanır ve elektretin toplam yükü değişir. Bu değişimden yararlanarak radon konsantrasyonu bulunur (Kapdan 2009).

2.10.1.5 Sürekli radon detektörleri

Radon ölçümleri için kullanılan üç çeşit sürekli radon detektörü vardır. Bunlar; alfa sintilasyon, iyonizasyon odası ve katı hal detektörleridir.

Sürekli radon detektörlerinin avantajları;

- ❖ Çoğu çeşidi taşınabilir.
- ❖ Sahada sonuç almak mümkündür.
- ❖ Radon konsantrasyonunun gerçek zamanlı değişimi görülebilir.
- ❖ Ölçüm aralıklarında esneklik sağlar.

Sürekli radon detektörlerinin dezavantajları;

- ❖ Pahalı sistemlerdir.
- ❖ Bazı modelleri büyük ve ağırdır.
- ❖ Düzenli kalibrasyon gereklidir.
- ❖ Yetişmiş elemana ihtiyaç vardır.
- ❖ İyonizasyon odası sürekli radon detektörü bazı durumlarda neme karşı hassas olabilir (Kapdan 2009).

2.10.1.5.1 Alfa sintilasyon sürekli radon detektörleri

Bir alfa sintilasyon hücresi ile foto çoğaltıcı tüp sayım sistemine bağlı zamanlama devresi ve kontrol sisteminden meydana gelir. Difüzyon yoluyla hava numuneleri alınır. Belirli zaman aralığı için alınan sayımlar hafızaya kaydedilir. Bir sonraki zaman aralığı için yeni sayım alınır. İşlem bu şekilde devam eder. Kısa dönem de alınan bu sonuçlar zamanla radon konsantrasyonunun değişimini yansıtır (Kapdan 2009).

2.10.1.5.2 İyonizasyon odaları sürekli radon detektörleri

Bir elektrometre ve veri kaydedicisine bağlı iyonizasyon odasından meydana gelir. Difüzyonla alınan hava numunesi dedektöre yollanır. Radonun bozunum ürünleri elektrostatik olarak yok edilir ve böylece dedektöre girmesi engellenir. Radon, iyonizasyon odasının hacmi içerisinde bozunur ve iyonlar oluşturur. Bunlar elektrik

sinyallerine dönüştürülür. Bu sinyaller sayılır, yüklenir, elektrometre ve data kaydedici tarafından görüntülenir (Kapdan 2009).

2.10.1.5.3 Katı hal sürekli radon monitörleri

Difüzyon örnekleme esasına dayanır. Alfa bozunumuna hassas bir katı hal silikon dedektörü kullanılır. Sürekli alınan verilerin yazıcıyla çıkışı alınır ve böylece radon konsantrasyonu görüntülenmiş olur. Diğer sürekli ölçüm monitörlerine göre daha az duyarlı olmasına nedeniyle tercih edilmektedir (Kapdan 2009).

2.10.1.5.4 Radon tuzağı (Grab Sampler) tekniği

Bu teknikte Lucas Hücresi olarak da bilinen bir alfa sintilasyon hücresi ve bir veya iki fototüp kullanılır. Sintilasyon hücresinin duvarları ZnS(Ag) fosfor ile kaplanmıştır. Sintilasyon hücresi bir veya iki vanalı olabilir. Hava numunesi toplamak için bu vana (veya vanalar) açılır. Numune alındıktan sonra vana kapatılarak radonun bozunum ürünleriyle radyoaktif dengeye gelebilmesi için yaklaşık olarak dört saat beklenir. Bu süre sonunda sintilasyon hücresi sayım için fototübün ağzına yerleştirilir. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıkları sintilasyon hücresinin duvarlarındaki ZnS ile etkileşimi sonucu çıkan pulslar (elektrik sinyalleri) sayılır ve gerekli hesaplamalar yapılarak radon konsantrasyonu belirlenir (Kapdan 2009).

2.10.2 Uzun dönem ölçüm yöntemleri

Radon seviyesi günden güne, mevsimden mevsime göre değişebileceği için yıllık ortalama radon seviyesini tespit edebilmek adına uzun dönem radon ölçümü gerçekleştirilir. En sık kullanılan uzun dönem ölçüm teknikleri alfa iz dedektörleri ve elektret iyon dedektörleridir (Kapdan 2009).

2.10.2.1 Katı hal nükleer iz detektörleri (Alfa iz detektörleri)

Katı hal nükleer iz detektörleri uzun süreli radon ölçümleri için kullanılmaktadır. Radon ve radonun bozunum ürünleri genelde alfa aktiftirler. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin yayınladıkları bu alfa parçacıkları tespit edilerek (sayılarak) radon konsantrasyonu bulunabilir. Çünkü yayınlanan alfa parçacıklarıyla radon konsantrasyonu arasında doğrudan bir orantı vardır. Bu amaçla radonun yayınladığı enerji aralığındaki özellikle alfa parçacıklarına hassas olan plastik filmler kullanılır. Alfa parçacıkları bu filmler üzerinde bir iz bırakır. Radonun bozunum ürünleri alfa parçacığı dışında beta ve gamma ışınları da yayınlamaktadır. Fakat bu filmler büyük ölçüde beta ve gamma ışınlarına hassas değildir. Beta ve gamma ışınları bu filmler üzerinde iz bırakmazlar. Alfa parçacıklarının bu filmler üzerinde bıraktıkları izler daha sonra kimyasal iz kazıma yöntemiyle açığa çıkartılarak mikroskop yardımıyla sayılır. Gerekli hesaplamalardan sonra radon konsantrasyonu belirlenir.

Kullanılan filmler selüloz nitrat, selüloz asetat, polikarbonat, allil diglikol karbonat gibi plastik maddelerden yapılmıştır. Kimyasal iz kazıma esnasında alkali (NaOH ya da KOH) ya da asit çözeltileri (HF veya HNO₃) kullanılır.

Nükleer iz detektörlerinin avantajları;

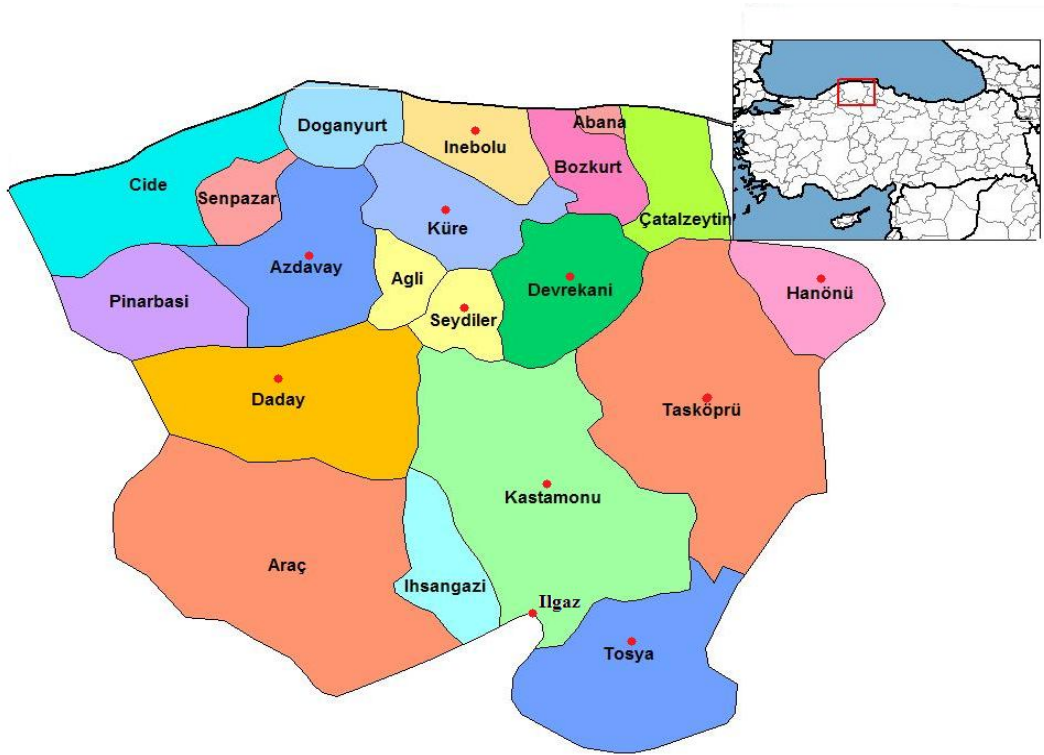
- ❖ Küçüktürler (1cmxcm ve yaklaşık 100-500 mikrometre kalınlığında)
- ❖ Kullanılması kolaydır.
- ❖ Elektronik bir cihaza gerek yoktur.
- ❖ Taşınması kolaydır.
- ❖ İşlenmesi ve okunması kolaydır.
- ❖ Ucuzdur.
- ❖ Uzun süreli radon ölçümüne müsaittir.
- ❖ Nemden, makul seviyedeki ısıdan ve ışıktan etkilenmezler.

Nükleer iz detektörlerinin dezavantajları ise;

- ❖ Radon konsantrasyonu yüksek değilse anlık ölçüm almaya uygun değildir.
- ❖ Düşük konsantrasyonlarda hata oranı yüksektir (Kapdan 2009).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kastamonu bölgesindeki kaynak ve musluk sularında radon konsantrasyonlarını tayin etmek üzere 10 ayrı ilçeden ve Ilgaz dağından toplam 18 su örneği alındı ve bu yerlerden alınan su örneklerinde sayımlar gerçekleştirilmiştir. Numuneler ilkbahar ve yaz olmak üzere iki dönemde incelenmiştir. İlkbahar ölçümü 21.05.2010 - 27.05.2010 tarihleri arasında, yaz ölçümü ise 20.08.2010 - 25.08.2010 tarihleri arasında yapılmıştır.



Şekil 3.1 Kastamonu bölgesinden su örneği alınan ilçeler.
("•" : Su örneği alınan ilçeleri gösteriyor).

3.1 Numune Alımı

Çalışma kapsamında, su örneklemelerinde 500 mL'lik plastik şişeler kullanılmıştır. Kaynaklardan örnek almadan önce su bir süre dışarı akıtılmaya bırakılarak temiz su örneği elde edilmiştir. Temiz su elde edildikten sonra şişeler 3 kez su ile çalkalanarak ağzına kadar boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuş ve radon gazı kaçışını önlemek için şişelerin kapağı su akışı altında sıkıca kapatılmıştır. Su örnekleri ilçelerden

sabahları alınmış ve gün boyu ölçümler yapılmıştır. İlçelerin bazılarında hem kaynak hem de musluk suları alınmıştır. Bazı ilçelerden sadece kaynak bazılarında ise sadece musluk suyu alınmıştır. Kaynaklardan alınan su örnekleri Laboratuvara götürülerek ölçümler gerçekleştirilmiştir.

3.2 AlphaGUARD Radon Detektörü

Radon ölçümlerinde kullanılan AlphaGUARD PQ 2000PRO temel olarak radon (^{222}Rn , ^{220}Rn) ve radon yan ürünlerine ait radyasyon yoğunlukları ile gamma (γ) doz oranını ölçmekte kullanılan taşınabilir bir radyasyon detektörüdür. AlphaGUARD havada, suda, toprakta ve yapı malzemelerinde radyasyon ölçümleri yapabilmektedir. Ölçüm sonuçlarını Bq (Becquerel) yani Bq/m^3 cinsinden veren AlphaGUARD detektörü, eş zamanlı olarak sıcaklık, atmosfer basıncı ve nem oranı gibi üç farklı iklimsel parametreyi de ölçebilmektedir. Bu parametrelerin birimleri sırasıyla $^{\circ}\text{C}$, mbar ve %rH dir.

AlphaGUARD radon detektörü gelişmiş bir “atma (puls) iyonlaşma çemberi” veya alfa (α) spektroskopisi yöntemi kullanmaktadır. Yüksek radon ölçüm hassasiyetine sahiptir ve yoğunluk gradientleri ile küçük yoğunluk dalgalanmalarını algılayabilecek derecede hassas elektronik yapıya sahiptir. Uzun süreli ölçümler yapabilmektedir ve ölçümler esnasında doğrudan bir güç kaynağına bağlanabildiği gibi yüksek kapasiteli pilleri sayesinde seçilen ölçüm moduna göre 6 aya kadar ölçüm yapabilmektedir. Bunların yanı sıra AlphaGUARD olumsuz sayılabilecek koşullarda, mesela yüksek nem, yüksek sıcaklık, yüksek titreşim gibi, bakım gerektirmeden ölçüm yapabilmektedir. Şekil 3.2 de AlphaGUARD detektörü görülmektedir (Akyıldırım 2005).



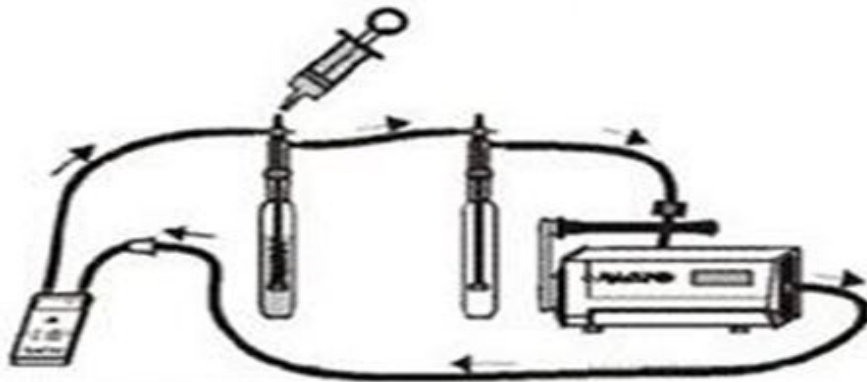
Şekil 3.2 AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü.

AlphaGUARD radon detektörü ölçüm ünitesine tümleşik olan bir emme pompası yardımı ile havayı detektör iyonlaşma odasına çeker. Emme sonucunda iyonlaşma odasına giren ^{222}Rn ve ^{220}Rn izotopları bozunarak oda içerisinde iyonizasyona sebep olarak bir elektrik sinyalleri meydana getirirler. Bu sürekli emme esnasında radon yan ürünleri bir plaka şeklindeki filtre tarafından tutulur ve filtre plakası üzerinde biriken radon yavru ürünlerinin alfa aktivitesi ise filtre plakasının diğer yüzüne yerleştirilmiş hassas bir sayısal işlemcili modülü olan, alfa duyarlı TN-WL-02 mikroçip modülü vasıtasıyla ölçülür. Yapılan tüm ölçümlerden elde edilen elektrik sinyalleri, AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun Counter-Module sayıcı birimine TTL sinyali olarak gönderilir ve detektörün kalibrasyon bilgileri de kullanılarak yazılım tarafından okunabilir veriler haline dönüştürülür. Alınan verilerin grafiksel olarak işlenmesi, geliştirilmesi, arşivlenmesi ve sanal ortamda sunulması için ise AlphaGUARD için geliştirilmiş çeşitli yazılım paketleri kullanılmıştır. Bunlar AlphaVIEW, AlphaEXPERT ve en son geliştirilmiş olan DataEXPERT yazılımlarıdır. İlk iki yazılım türü sadece DOS ortamında çalışmaktadır ve AlphaGUARD detektörü ile bir RS232 port ile haberleşmektedirler. Bu çalışma süresince kullanmış olduğumuz DataEXPERT ise Windows ve Linux gibi işletim sistemleri altında çalıştırılabilmektedir ve RS232 bağlantısına ek olarak internet üzerinden de detektörle haberleşme sağlanabilmektedir.

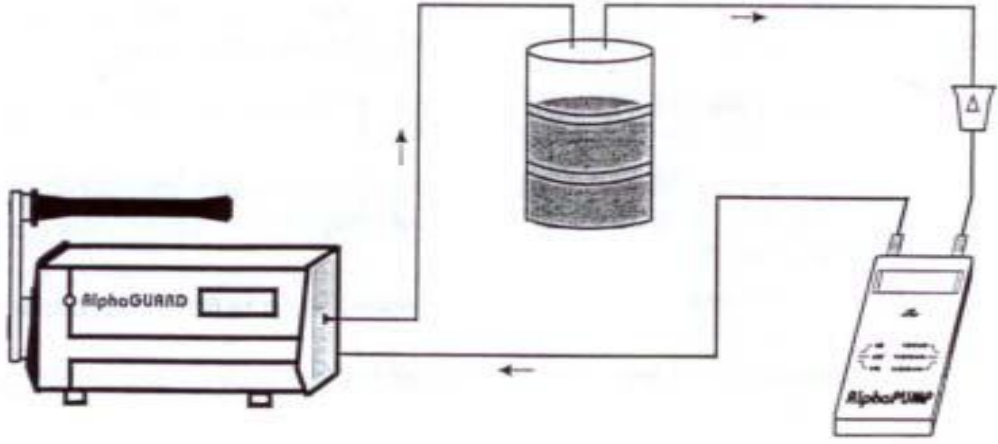
AlphaGUARD'ın atmosferde veya havada yapacağı ölçümler için ayrıca bir aparat kullanmak gerekmemektedir. Ancak suda, toprakta ve yapı malzemelerinde Radon ve yan ürünlerin yoğunluklarının tayin edilebilmesi için bazı aparatlar kullanılması gerekmektedir. Suda yapılacak ölçümler için AquaKit (Şekil 3.4), toprakta yapılacak ölçümler için Soil Gas Probe (Toprak Gaz Sondası) kullanılmaktadır (Şekil 3.6). Ayrıca AlphaGUARD ile gerek sudaki, gerek topraktaki ve gerekse yapı malzemelerindeki ölçümlerin (Şekil 3.5) yanı sıra kalibrasyon işlemlerinde de kullanılması gerekli olan AlphaPUMP, cihaz iyonizasyon odasına hava pompalayan bir diğer alettir. Bahsi edilen bu bileşenlerle ilgili daha ayrıntılı bilgi daha sonraki kesimlerde verilmiştir (Akyıldırım 2005).



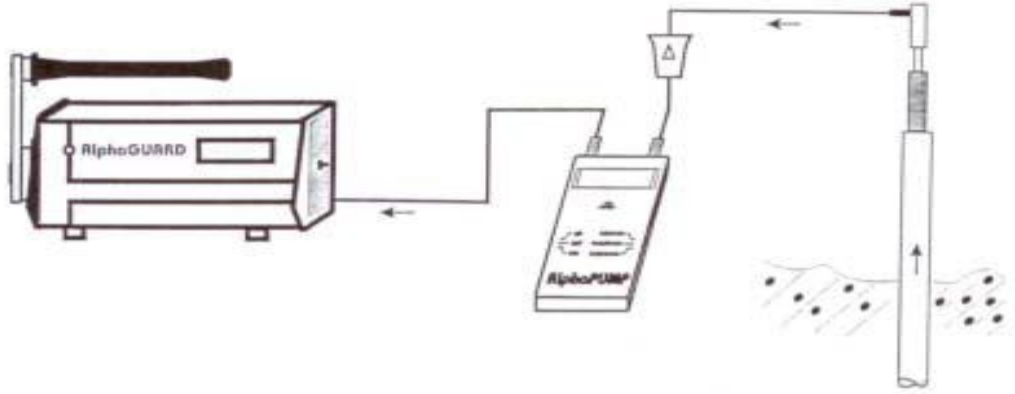
Şekil 3.3 AlphaGUARD ile havada radon ölçümü için kullanılan sistem.



Şekil 3.4 AlphaGUARD sudaki radon ölçümü (Aqua kit kullanılarak) için kullanılan sistem.



Şekil 3.5 AlphaGUARD ile yapı malzemelerindeki radon ölçümü için kullanılan sistem (Gentron Instruments AlphaPump Technical Description, 2001).



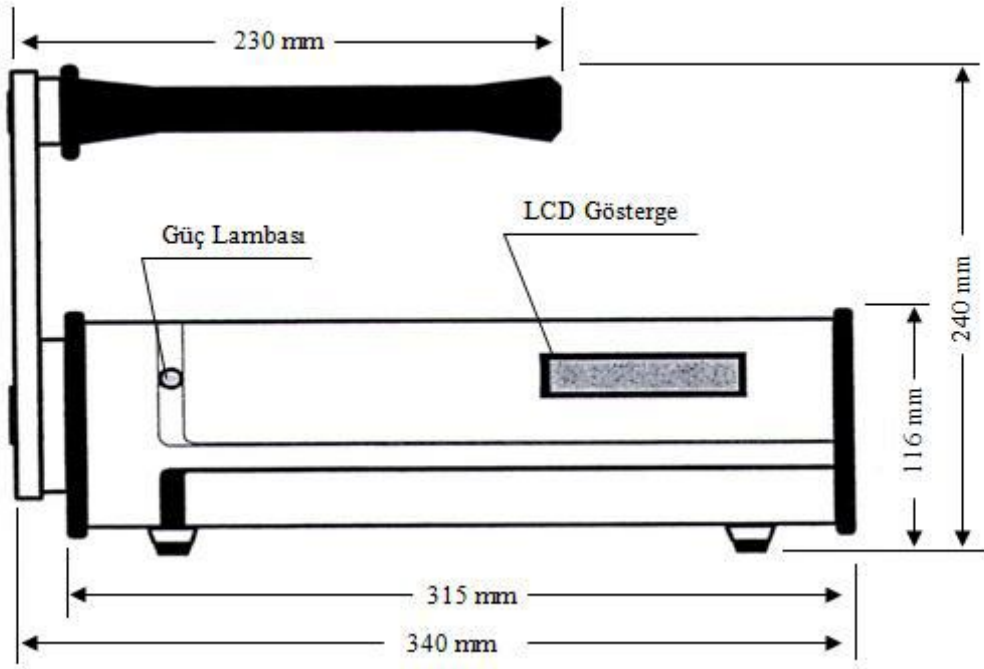
Şekil 3.6 AlphaGUARD ile toprakta radon ölçümü için kullanılan sistem (Gentron Instruments AlphaPump Technical Description 2001).

3.3 AlphaGUARD Detektörünün Yapısı ve Çalışma İlkesi

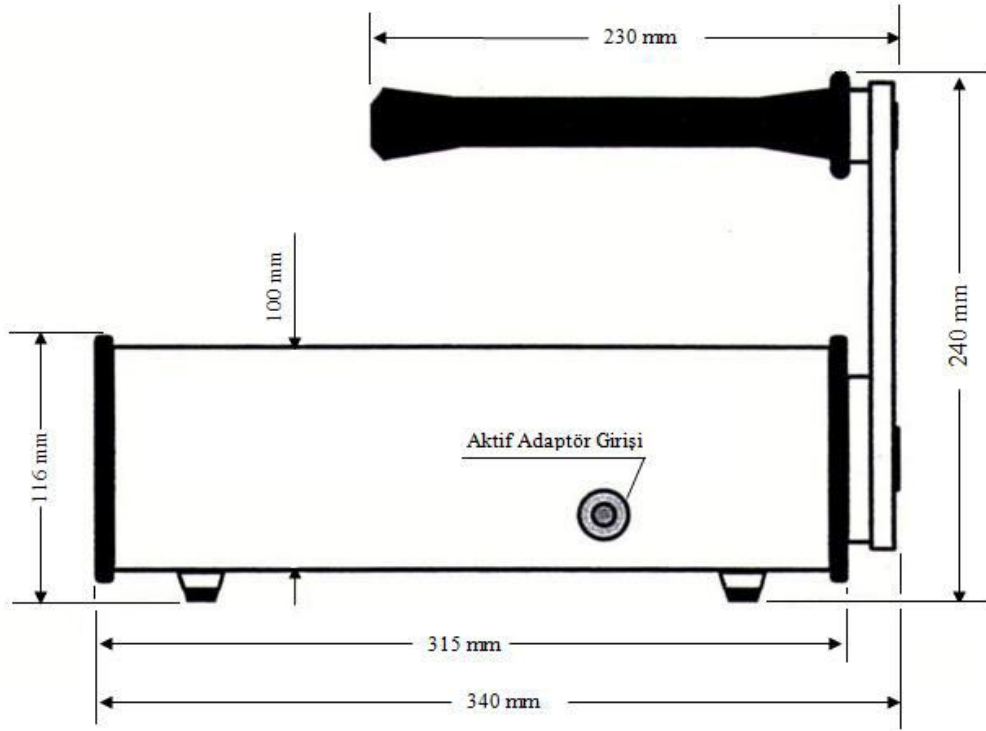
AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörünün yapısı iki temel kısma ayrılarak incelenebilir: 1) Detektörün dış yapısı, ebatları ve dışarıdan görülen bazı özellikleri. 2) Detektörün iç yapısı ki iç yapısını oluşturan iki ana bileşen olan ölçüm ve veri işleme birimleri.

3.3.1 Detektörün dış yapısı

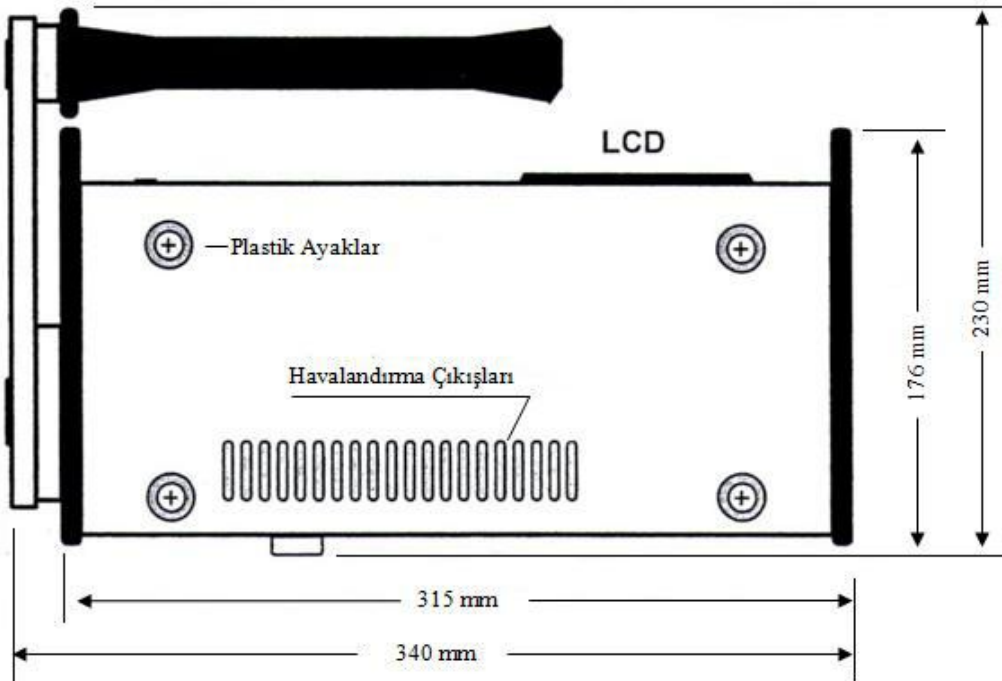
AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörünün ölçüm yapmasını sağlayan ölçüm ve elektronik aksam bileşenleri dayanıklı bir alüminyum dış gövde içine yerleştirilmiştir. Aşağıdaki şekillerde AlphaGUARD cihazın farklı görünüşleri ile bazı ebatları verilmiştir.



Şekil 3.7 AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları.



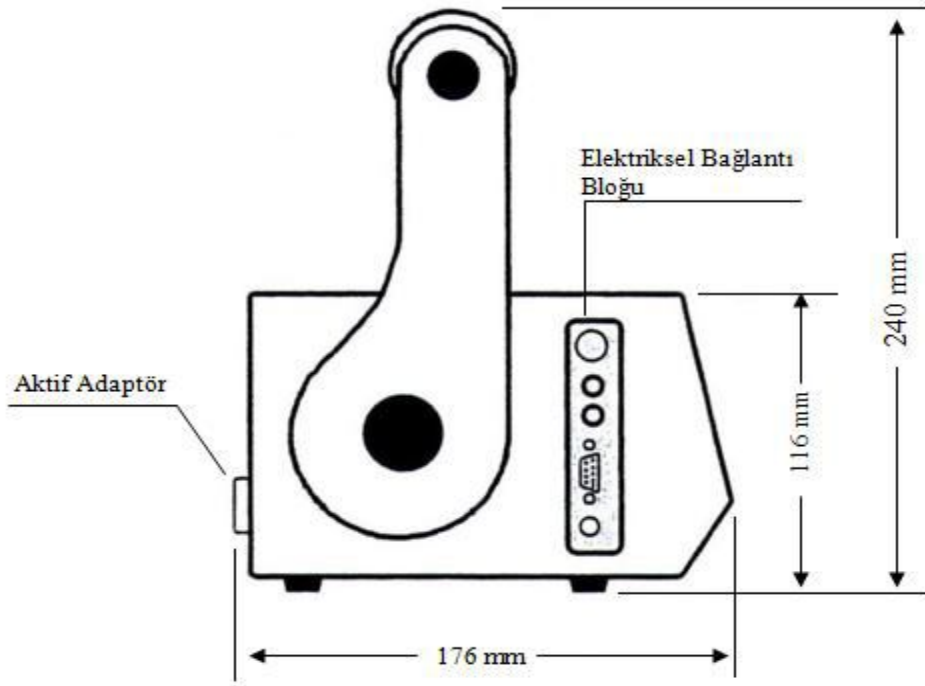
Şekil 3.8 AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları.



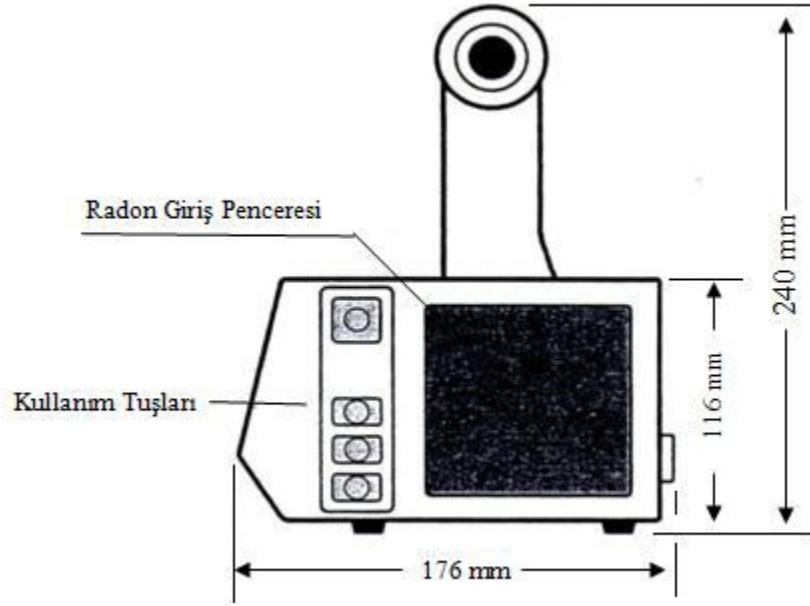
Şekil 3.9 AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları.

Cihazın arka kısmındaki vida yuvası plastik bir kapakla kapatılmıştır. AlphaGUARD PQ 2000PRO'da bu kapağın arkasında bulunan yuva cihazın iyonizasyon odasıyla buraya bağlanan etkin hava pompası arasındaki bağlantıyı sağlar. Yani buradan detektör içerisine hava girişi sağlanmaktadır (Şekil 3.8). Bu da AlphaPUMP ile yapılır. Alt kısımda alüminyum gövdenin yerle temasını kesen plastik ayaklar ve havalandırma kanalları bulunmaktadır. İç kısımda bulunan bir fan sayesinde, özellikle uzun süreli kullanımlarda cihazın soğutulmasını sağlamak için sıcak hava buralardan dışarıya atılmaktadır.

AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun taşıma kolunun bağlı olduğu sol kısımda elektrik bağlantı girişleri bulunmaktadır. Burada harici sensor girişi için bir adet MINI-DIS-85 soketi, 2 adet 4mm'lik soket, PC ile bağlantıyı sağlamak için 1 adet RS232 girişi ve 12V DC adaptör girişi bulunmaktadır (Şekil 3.10). Cihazın sağ tarafında korumayla kapatılmış radon gazı giriş paneli ve AlphaGUARD menü kontrolünü sağlayan tuş takımı bulunmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.10 AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve ebatları.



Şekil 3.11 AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları.

Radon giriş penceresinin filtre yüzeyi ile koruyucu grid arasında teknik açıdan gerekli ve tüm yönlerde açık olan bir hava aralığı bulunmaktadır. Bu demektir ki koruyucu gridi herhangi bir şeyle kaplamak radon gazı girişi penceresini gaz sızdırmaz hale getirmez, yani iyonizasyon odasına yine radon gazı girişi sağlanır (Akyıldırım 2005).

3.3.2 Detektörün iç yapısı

AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörünün asıl önemli kısmı iç yapısıdır. Cihazın alüminyum korumasının altında ölçüm yapılmasını sağlayan detektör (atma iyonizasyon çemberi) ve detektörden gelen sinyalleri işleyip sayısal veri haline getiren sinyal işleme birimi DSP (Digital Signal Processing-Sayısal Sinyal İşleme) bulunmaktadır.

^{222}Rn , ^{220}Rn ve bunların yan ürünlerinin sürekli ölçülmesini amaçlayan birçok cihaz ve bunların kullandıkları çeşitli tiplerde detektörler mevcuttur. Seçilecek detektörler ölçümün amacına, hassasiyet sınırlarına, ölçümün yapılacağı yerlere ve buralardaki radyasyon yoğunluğuna ve tabii ki maliyete göre belirlenmektedir. Örneğin radyasyon yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde ölçü zamanı daha küçük bir detektör

seçilmesi gerekmektedir. Bir radyasyon detektörü için “ölü zaman” detektörün algılayabileceği iki en yakın bozunma arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanabilir. Tersine daha az yoğunlukta radyasyon bulunan bir noktada bu kadar hassas bir detektöre, dolayısıyla daha karmaşık bir sisteme ihtiyaç duyulmayacaktır. Aşağıda AlphaGUARD benzeri yedi çeşit detektör sıralanmıştır (Akyıldırım 2005).

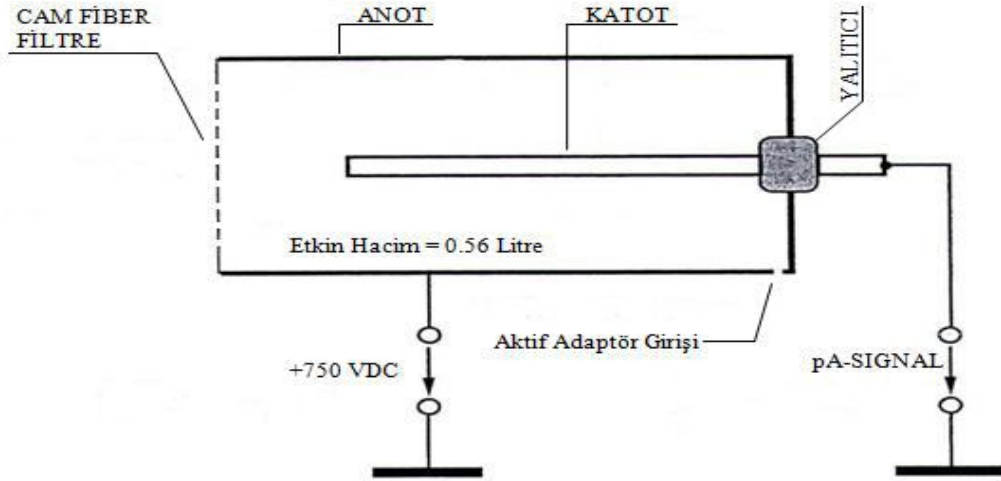
1. Silikon yüzeyli bariyer diyotu (Analog işletim modu)
2. Alfa duyarlı mikroçip
3. PMT detektörlü (Lucas Hücresi) ZnS(Ag) sintilasyon çemberi
4. İyonizasyon çemberi - Elektrometre DC entegral modlu
5. İyonizasyon çemberi - Tek kanal analiz edici toplam sayma modu
6. İyonizasyon çemberi - Multi kanal analizörlü 2D (iki boyutlu) alfa spektrumu
7. İyonizasyon çemberi - 3D (üç boyutlu) doğrusal sinyal işlemcisi (DSP)

Yukarıdaki detektör sistemleri kendi aralarında bazı fiziksel ilkeler bakımından karşılaştırıldığında DSP özelliğine sahip iyonizasyon çemberinin daha üstün niteliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu karşılaştırmadan anlaşıldığı üzere mevcut detektörler içerisinde en avantajlı olanı 3D DSP teknolojisine sahip iyonizasyon çemberidir. AlphaGUARD detektörü, tasarım optimizasyonu yapılmış silindirik atma iyonizasyon çemberine sahiptir.

Düzenli işletimde radon içeren hava iyonizasyon çemberi içerisine geniş yüzeyli bir cam fiber filtreden geçerek girmektedir. Burada sadece ^{222}Rn 'nin geçmesine izin verilirken yan ürünlerin iyonizasyon odasına girmesi engellenmektedir. Aynı zamanda filtre, çemberin iç kısmının toz zerreciklerinin birikmesiyle oluşacak kirlenme ve paslanmadan etkilenmemesini sağlamaktadır. Buna destek olarak cihaz içine dışarıdan miktarı kontrol edilebilen temiz hava girişi sağlayacak bir pompa (AlphaPUMP) da kullanılmaktadır.

AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun silindirik atma iyonizasyon çemberi 0,56 litrelik bir etkin hacme sahiptir. Cihaza güç verilmesiyle beraber iyonizasyon çemberinin metal iç yüzeyleri 750 voltluk bir iç gerilimle yüklenerek detektörün anodu (+ kutup) haline gelir. Buna karşılık detektörün yatay eksenine denebilecek eksen boyunca yatay

olarak uzanan paslanmaz çelikten yapılmış çubuk ise 0 volt seviyesindedir ve katot vazifesini görür. Anot ve katot arasındaki yalıtım elektrot çubuğun iyonizasyon çemberi içerisine girdiği noktadaki bir plastik parçayla sağlanır. Anot ve katot arasındaki 750 voltluk gerilim farkı sayesinde detektör etkin hacmi içerisindeki iyonizasyon sonucu ortaya çıkan iyonlardan katyonlar (- yüklü iyonlar) anoda, anyonlar (+ yüklü iyonlar) ise katoda hareket ederler. Böylece yüklerin hareketi sonucu devrede bir akım meydana gelir. Bu akım da AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun elektronik birimi tarafından işlenerek anlamlı veriler haline getirilir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.12) AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun atma iyonizasyon odasının şematik bir çizimi görülmektedir.

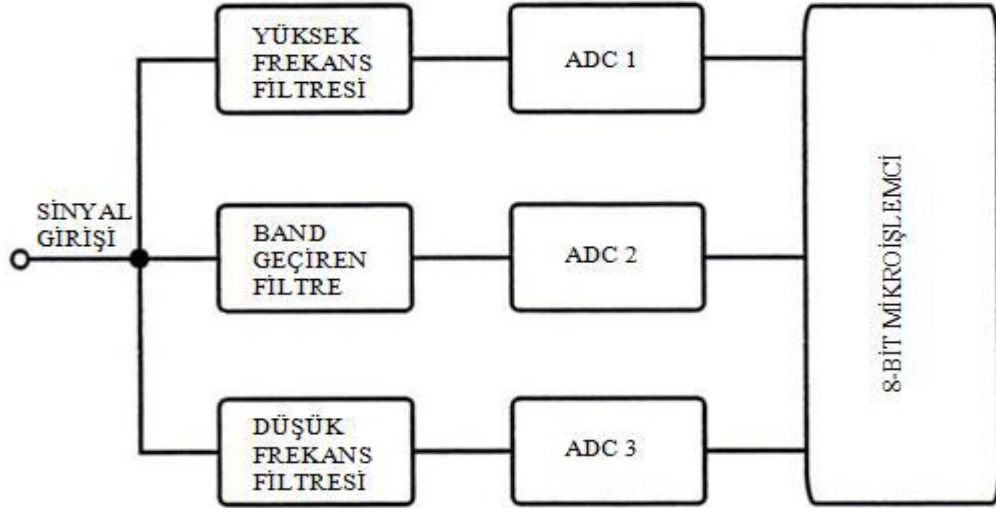


Şekil 3.12 AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi.

Cihazın iyonizasyon odası içinde radon ve toron bulunduğu zaman detektör her ikisine de aynı algılama hassasiyetini göstermektedir. Detektör odasının dolması sürecinde radon yoğunluğunda herhangi bir değişiklik olmamasına karşın toron'un neredeyse tamamı bozunacaktır çünkü 10 dakikalık bir gecikmeye sahiptir. Pratikte AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun toron'a karşı hassaslığı radon'a karşı hassaslığının %1'i ile %10'u arasındadır.

Cihazının iç yapısının ikinci temel bileşeni elektronik birimdir. Bu elektronik birim detektör tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülen radon verilerini alıp işlemekle

sorumlu birimdir. Sayısal sinyal işleme birimi DSP, birbirinden bağımsız üç sinyal işleme kanalına sahiptir. Her bir kanalın kendine ait analog-dijital çevirici devresi vardır. Böylece devreye detektörden gelen her ön yükseltici sinyali üç farklı özelliğine göre aynı anda analiz edilebilmektedir. DSP birimine ait blok diyagram Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13 AlphaGUARD’ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı.

Bir numaralı kanal AlphaGUARD PQ 2000PRO’nun spektroskopik kanalı olarak adlandırılır. Burada sadece sinyallerin atma derinliklerine göre değil, aynı zamanda atma şekillerine göre de bir sınıflandırmaktadır. Bu sinyal analizi sonucunda üç boyutlu bir görüntü elde edilir. DSP teknolojisine sahip olmayan iyonizasyon odalı detektörlerde yüksek seviyedeki radon yoğunluklarında meydana gelen α olayları multiplere (üçlülere) ayrılma eğilimindedirler ve bu sinyalleri daha karmaşık hale getirmektedir. Ancak AlphaGUARD PQ 2000PRO’da da detektör sisteminde kullanılan DSP teknolojisi bu durumu daha karmaşık bir matematiksel algoritma, çapraz korelasyon (cross-correlation) algoritması kullanarak meydana gelen gürültüyü seçerek radon sinyalinden ayırt edebilmektedir. Elde edilen sinyal (primer sinyal) kısa zaman aralıklarında örneklenir ve orijinal sinyalin sayısal değerler halinde örnekleri çıkarılarak AlphaGUARD elektronik devresinin son kısmı olan hızlı mikro kontrolör tarafından işlenir.

ADC1 yoluyla spektroskopik kanalda örneklendirilen veriler mikro kontrol birim tarafından her α pikinden elde edilen atma genliği (= klasik alfa spektrumu) ve atmanın şekli için de tanımlama bilgileri şekline dönüştürülür. Detektör tarafından toplanan bu bilgiler x eksenini α piki genliğini (= alfa enerjisini), y eksenini zaman birimi başına meydana gelen α bozunumu ve z eksenini de atma şekli olmak üzere üç eksenli bir spektrum halinde sunulabilir. ADC2 yani ikinci kanal sadece yüksek radon seviyelerinde devreye girmektedir. Kanalin girişindeki bant geçiren filtre devresi doğru boyutlandırıldığında gürültünün genliği çemberin toplam iyonizasyon akımının kareköküyle doğru orantılı olarak değişmektedir ve bu bağıntı kullanılarak piko amper seviyesindeki iyonizasyon akımı kesin olarak ölçülebilmektedir. ADC3'lü üçüncü kanal ise klasik bir DC integratörlü akım ölçümü gerçekleştiren devredir.

Bu üç sinyal karakteristiğinin temelinde altı değişik matematiksel algoritma yatmaktadır. Tüm işlemler sonucunda optimize edilmiş yoğunluk prosedürü vasıtasıyla gerçek radon yoğunluğu belirlenmektedir. Her bir radon değeri yaklaşık olarak 50 milyon matematiksel işlemin sonucunda elde edilir ve bu işlemler için AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun ihtiyaç duyduğu akım ise sadece 3 mA'dır (Akyıldırım 2005).

3.4 AlphaGUARD PQ 2000 PRO'nun Teknik Özellikleri

AlphaGUARD PQ 2000PRO, daha önce de belirtildiği gibi ^{222}Rn kaynaklı alfa radyasyonunu ölçmekte kullanılır. Bu radyasyon maddeyi iyonize edici özelliğe sahip olduğundan detektör buna uygun bir iyonizasyon odalı cihazdır. Detektör toplam hacmi 0,62 litredir ancak bunun 0,56 litrelik kısmı etkin detektör olarak kullanılmaktadır. Bu detektör silindirik olup besleme gerilimi (anot ve katot arası gerilim farkı) DC 750 voltur. Ayrıca cihazın dâhili bataryası sayesinde 10 gün süreli veri alabilmektedir.

Detektör hassasiyeti oldukça düşüktür. Hata payı 20 Bq/m^3 'te 1 cpm ya da 100 Bq/m^3 'te 4,5 cpm olarak verilmektedir. ^{222}Rn yoğunluğu ölçüm aralığı ise oldukça

geniştir. Alınan veriler $2 \text{ Bq/m}^3 - 2 \times 10^6 \text{ Bq/m}^3$ aralığındadır. Bu geniş menzile rağmen sistemin kendisinden gelen %3 gibi bir doğrusallık hata payı bulunmaktadır.

Cihaz amaca ve zaman seçimine bağlı olarak ölçümleri iki şekilde yapabilmektedir. Difüzyon modu ve akış modu. Uzun süreli ve devamlı ölçümlerde (cihaz menzili 6 aydır) difüzyon modu kullanılır. Bu modda cihaz detektörü 10 dakikalık veya 1 saatlik döngülerle veri kaydeder. Radon akış modunda ise veri alma aralıkları 1 dakika veya 10 dakika olarak ayarlanabilir. Bu mod daha çok kısa süreli ölçümlerde çok sayıda veri noktası elde etmek için seçilir (Akyıldırım 2005).

Çizelge 3.1 AlphaGUARD monitörünün bazı teknik ve fiziksel özellikleri (GENRICH 2006).

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 dolum mekanizması	Hızlı pasif difüzyon veya aktif adaptörle otomatik dolma
Detektör sinyal işleme birimi	3 ayrı ADC kanallı hızlı sinyal işleme
Spektral sinyal üretme birimi	DSP(Digital Signal Processing), on-line çapraz korelasyon algoritması
Detektör hassaslığı	1 CPM/20 Bq/m ³
²²² Rn ölçüm sınırları	
Alt sınır	2 Bq/m ³
Üst sınır	2x10 ⁶ Bq/m ³
LCD ekran çözünürlüğü	1 Bq/m ³
Sistem doğrusallık hatası	< %3
²²² Rn kalibrasyon hatası	± % 3
Ölçüm sıklıkları	
Difüzyon modu	10 veya 60 dak
Akış modu	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
Toplam ağırlık	4,5 kg
İklim parametreler	
Sıcaklık	-10°C - +50°C
Atmosfer basıncı	700 mbar - 1100 mbar
Nem	0 %rH - 95 %rH

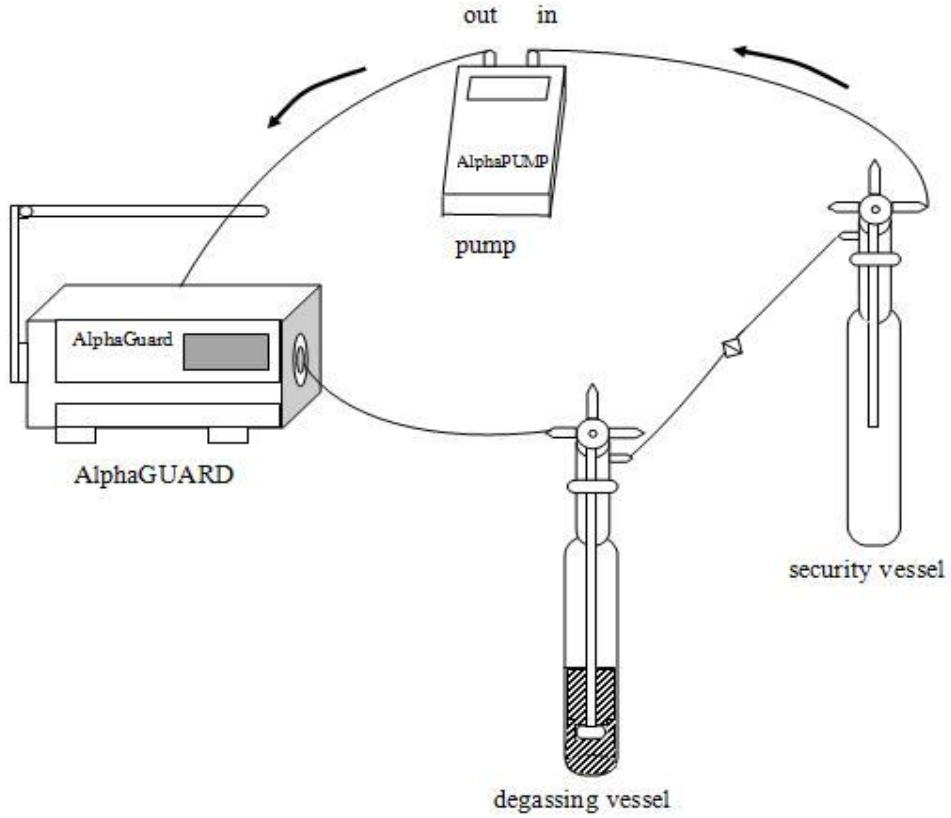
AlphaGUARD PQ 2000PRO ^{222}Rn yanında yine bir radon izotopu olan toron (^{220}Rn) yoğunluklarını da aynı birimle ölçmektedir. Ayrıca üç farklı iklimsel parametre, sıcaklık, nemlilik ve basınç da aynı anda ölçülebilmektedir. Çizelge 3.1 AlphaGUARD PQ 2000PRO radon monitörüne dair daha ayrıntılı teknik veriler içermektedir (Akyıldırım 2005).

3.5 Su Numunelerinin Analizi İçin Ölçüm Düzeneğinin Hazırlanması

Sudaki radon konsantrasyonu ölçümü için, ek bir donanım olan AquaKIT, pompa (AlphaPUMP) ve AlphaGUARD PQ 2000PRO'dan oluşan Şekil 3.14'de şematik olarak gösterilen düzenek aşağıdaki bağlantılar gerçekleştirilerek kurulur.

1. Arıtma şişesinin (degassing vessel) alt yan başlığı güvenlik şişesinin (security vessel) alt yan başlığına 150 mm'lik iki tane kilitli tüp ile bağlanır.
2. Güvenlik şişesinin üst yan başlığı pompanın 'IN' başlığına 400 mm uzunluğundaki tüp ile bağlanır.
3. Pompanın 'OUT' başlığı 500 mm uzunluğundaki tüp ile AlphaGUARD'ın arka kısmında bulunan 'Active Adapter (aktif adaptör)' girişine bağlanır.
4. AlphaGUARD'ın sağ tarafındaki 'Flow Adapter (akış adaptörü)' girişi 600 mm'lik tüp ile arıtma şişesinin üst yan başlığına bağlanır.

Yukarıda ifade edilen tüm bağlantılar gerçekleştirildiğinde su numunelerinde radon konsantrasyonu ölçümü için kullanılan 1098 mL dahili hacimli ölçüm düzeneği hazırlanmış olur (Akar 2010).



Şekil 3.14 Sudaki radon ölçüm düzeneği (Akar 2010).

3.6 AlphaGUARD PQ 2000PRO ile Sudaki Radon Ölçümü

1. Şekil 3.14’de verilen ölçüm düzeneği kurulur.
2. AlphaGUARD sayacı açılır ve ölçüm modu ‘1 min FLOW’ olarak seçilir (bu ayarlama AlphaGUARD menüsünden veya DataEXPERT yazılımı ile yapılabilir).
3. Arıtma şişesini örnekle doldurmadan önce 10 dakika süreyle ölçüm yapılır. Bu ölçüm değeri doğal fon değeri olarak kaydedilir (bu değer (3.1) eşitliğindeki C_0 değeridir).
4. Arıtma ve güvenlik şişelerinin başlıkları saat 3 konumuna getirilir.
5. Plastik enjektör, ölçümü yapılacak su örneği ile doldurulur.
6. Enjektör arıtma şişesinin düşey bağlantı başlığına takılır ve 100 mL’lik numune yavaşça arıtma şişesi içine boşaltılır.
7. Arıtma ve güvenlik şişelerinin saat 3 konumundaki başlıkları hızlı şekilde saat 6 konumuna getirilir. Böylece kapalı gaz çevrimi elde edilmiş olur.
8. Plastik enjektör, arıtma şişesinin düşey bağlantı başlığından çıkarılır.

9. Pompanın (AlphaPUMP) performans seviyesi ‘0.3 L/min’ hava akış oranına ayarlanır ve pompa açılır. Böylece ölçüm başlar.
10. 10 dakikalık döngü işleminden sonra pompa kapatılır, fakat AlphaGUARD cihazı radon ölçümünün devam etmesi için 20 dakika daha açık bırakılır.
11. Ölçümü yapılan su örneği arıtma şişesi içinden boşaltılır ve düzenek tekrar kurulur. AlphaGUARD’ın arka kısmında bulunan aktif adaptörün tüp bağlantısı kesilir.
12. Pompanın performans seviyesi ‘1 L/min’ hava akış oranına ayarlanır ve açılır (ölçüm düzeneği ortam havası ile temizlenir).
13. Ölçüm düzeneğinin temizlenme işlemi radon değeri ortam konsantrasyonuna erişinceye kadar devam eder. Bu aşamadan sonra başka bir örnek için ölçüm işlemi başlatılabilir.
14. Ölçüm boyunca depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için AlphaGUARD bilgisayara bağlanır ve veri analiz yazılımı (DataEXPERT) ile birlikte çalışır.

3.7 Sudaki Radon Hesaplamaları

Su örneklerindeki radon konsantrasyonu hesabı radon cihazında belirtilen radon konsantrasyonu üzerine kurulur. Yani ölçüm değeri, örneğin gerçek radon konsantrasyonu değildir. Çünkü su içindeki radon, detektör içine düzenek içindeki hava ile sürüklenmektedir ve havanın da bu değere katkısı gerçekleşmektedir. Bu nedenle numunenin içindeki radon konsantrasyonu hesabı aşağıdaki eşitlik kullanılarak yapılır (Genitron Instruments 2007, Akar 2010).

$$C_{water} = \frac{C_{air} \left(\frac{V_{system} - V_{sample}}{V_{sample}} + k \right) - C_0}{1000} \quad (3.1)$$

Burada,

C_{water} – su örneğinin radon konsantrasyonu (Bq/L);

C_{air} – ölçüm sonucunda cihazda belirtilen konsantrasyon değeri (Bq/m³);

C_0 – arka plan (doğal fon) konsantrasyonu (Bq/m³);

V_{system} – ölçüm düzeneğinin dahili hacmi (mL);

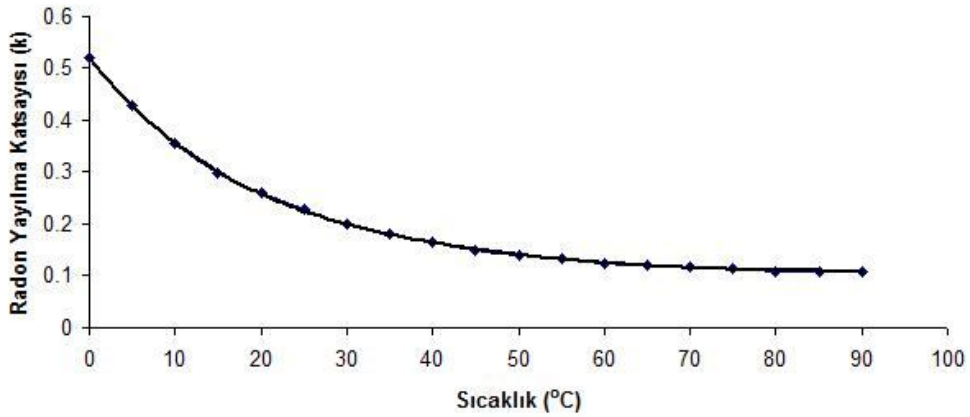
V_{sample} – su örneğinin hacmi (mL);

k - radon yayılma katsayısıdır.

Radon yayılma katsayısı (k), sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermekte ve artan sıcaklık değerlerine karşılık azalmaktadır (Şekil 3.15). Bunun nedeni sıcaklık artışı ile radon gazının sıvı fazdan gaz faza geçişinin hız kazanmasıdır. Burada k,

$$k = \frac{\text{Sıvı Fazdaki Konsantrasyon Değeri}}{\text{Gaz Fazdaki Konsantrasyon Değeri}}$$

olarak tanımlanır.



Şekil 3.15 Radon yayılma katsayısının (k) değişim grafiği (Aquakit-GENITRON INSTRUMENTS 2007).

3.7.1 Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları

Belirli zaman aralıklarında her kaynak için 3 numune alındı. Bu numuneler için ortalama radon konsantrasyonu değerleri (3.2) Denklemiyle hesaplandı.

$$\bar{x} = \sum \frac{x_i}{N} \quad (3.2)$$

3.7.2 Standart hata

Hesaplanan ortalama değerlerin standart hatası

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}} \quad (3.3)$$

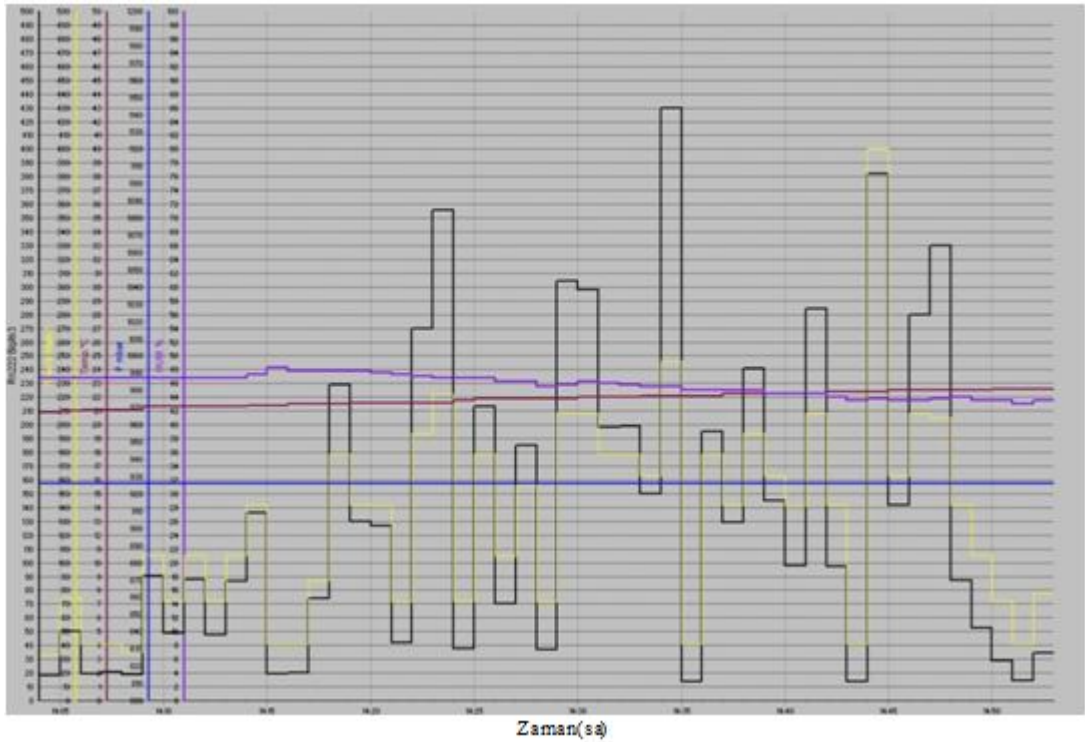
Denklemleri kullanılarak hesaplandı.

4. BULGULAR

Kastamonu ilçelerinden alınan kaynak ve musluk suyu numuneleri için, AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörü kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlere ait veriler; grafikler ve tablolar halinde verilmiştir. Her bir su numunesi için elde edilmiş olan veri seti; ^{222}Rn konsantrasyonu, sıcaklık, basınç ve bağıl nem parametrelerinden oluşmaktadır. ^{222}Rn konsantrasyonu ve iklimsel parametreler ayrı ayrı pencerelerde olmak üzere grafiksel olarak verilmiştir.

Her bir kaynaktan 1 adet 500 mL'lik su numunesi alınmış ve ölçümler 3 kez tekrarlanmıştır. Her ölçümden önce 10 dakikalık süre ile doğal fon (C_0) ölçümleri yapılmış ve 10 dakikalık ortalama değerler kaydedilmiştir.

4.1. AlphaGUARD Dedektörü İle Yapılan Ölçümler ve Hesaplamalar

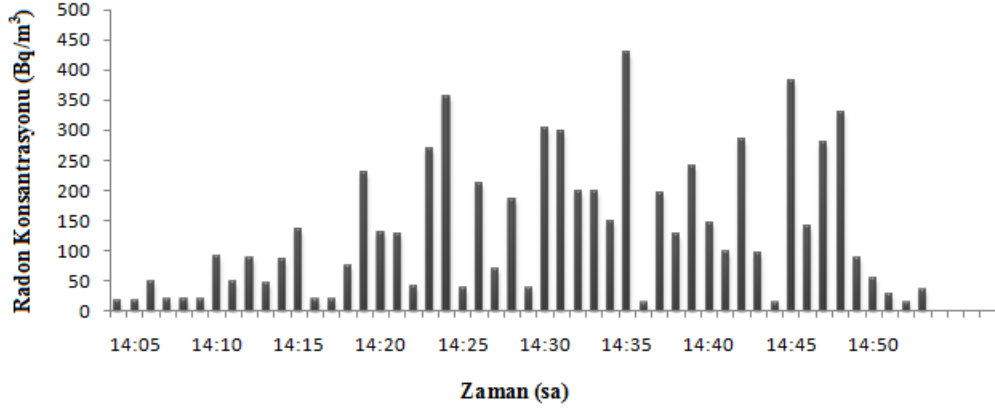


Şekil 4.1 ^{222}Rn konsantrasyonu, sıcaklık, basınç ve bağıl nem ölçümü örnek grafiği.

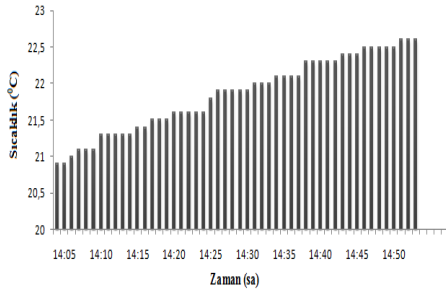
Şekil 4.1’de alınan ölçüm sonunda AlphaGUARD için geliştirilmiş olan DataEXPERT yazılımında elde edilen örnek bir grafik verilmiştir. Grafikte x eksenini zamanı saat cinsinden, y ekseninde siyah renk ^{222}Rn konsantrasyonunu (Bq/m^3 biriminde), sarı renk ^{222}Rn hata konsantrasyonunu (Bq/m^3 biriminde), bordo renk sıcaklığı (santigrat derece cinsinden), mavi renk atmosferik basıncı (mbar) ve mor renk bağıl nemi (% rH) göstermektedir. Sistem 1 dakika aralıklarla ölçüm yapmak üzere ayarlanmıştır.

Kastamonu bölgesinin 10 ayrı ilçesinden ve Ilgaz dağından toplam 18 farklı kaynaktan alınan musluk ve kaynak suyunun, ilkbahar ölçümü 21.05.2010 - 27.05.2010 tarihleri arasında, yaz ölçümü ise 20.08.2010 - 25.08.2010 tarihleri arasında yapılan örneklemelemlerde alınan su numunelerine ait verilerin grafiklerinin yanı sıra tablo halinde ortalama değerleri Şekil 4.2-Şekil 4.109 da verilmiştir.

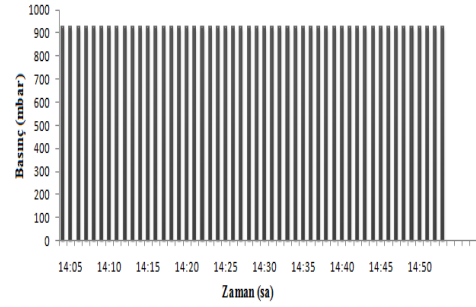
Şekil 4.2’de toplam 50 dakikalık ölçüm sonucu elde ettiğimiz grafik verildi. Bu grafik, 14:05-14:15 arası ortalama doğal fon konsantrasyonunu (Bq/m^3) göstermektedir. 14:15-14:18 arası sisteme ilçeden aldığımız su numunesi eklendi. Su numunesinin köpürtme ve bekleme işlemleri 14:18-14:48 arası gerçekleştirildi. Bu 30 dakikalık işlem ortalama radon konsantrasyonunu göstermektedir. 14:48-14:50 arasında sistemden su uzaklaştırıldı. 14:50-14:55 arasında sistemin içinde kalan hava sistemden uzaklaştırılıp diğer ölçüm için hazır hale getirildi. Şekil 4.3 ve 4.109 ile verilen ölçümlerde de aynı yöntem uygulanmıştır.



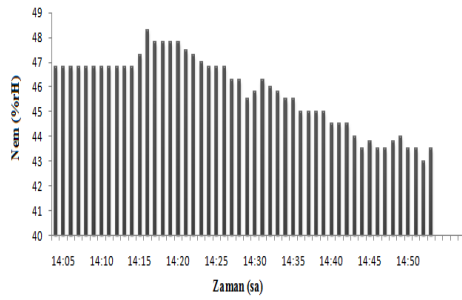
(a)



(b)



(c)

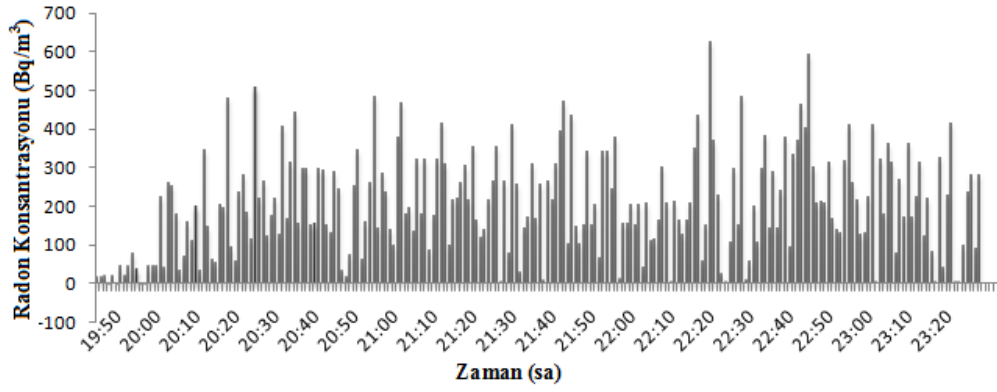


(d)

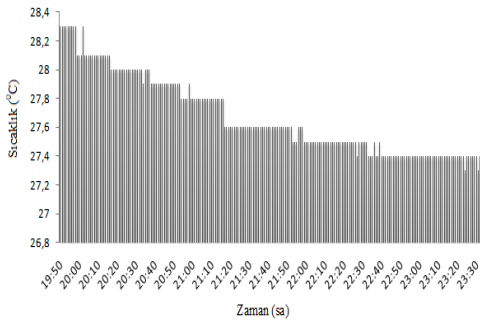
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	60,70
^{222}Rn (Bq/m^3)	187,58
Sıcaklık (0C)	22
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	45,75

(e)

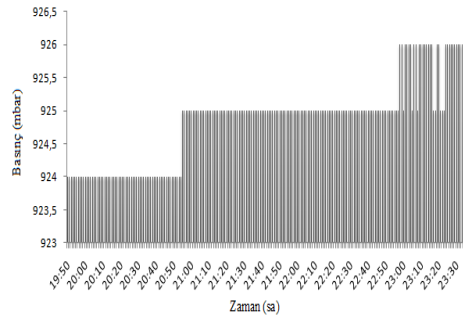
Şekil 4.2 İlkbahar ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



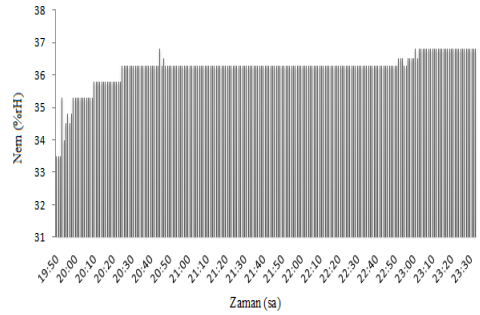
(a)



(b)



(c)

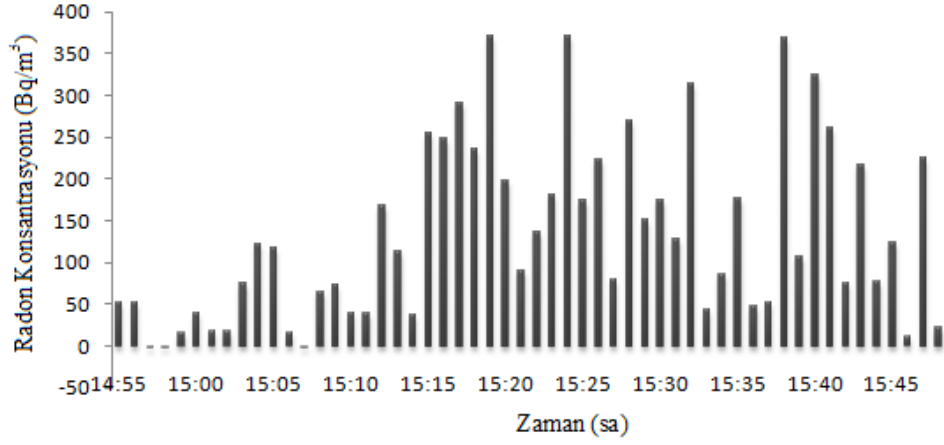


(d)

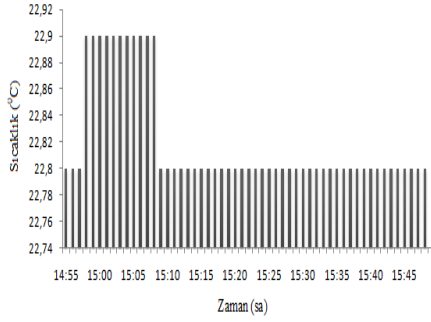
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	25,51
^{222}Rn (Bq/m^3)	182,34
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	27,67
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	36,21

(e)

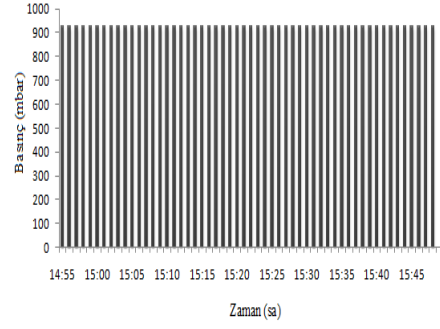
Şekil 4.3 Yaz ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyon (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



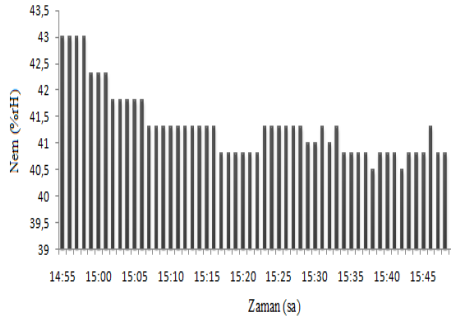
(a)



(b)



(c)

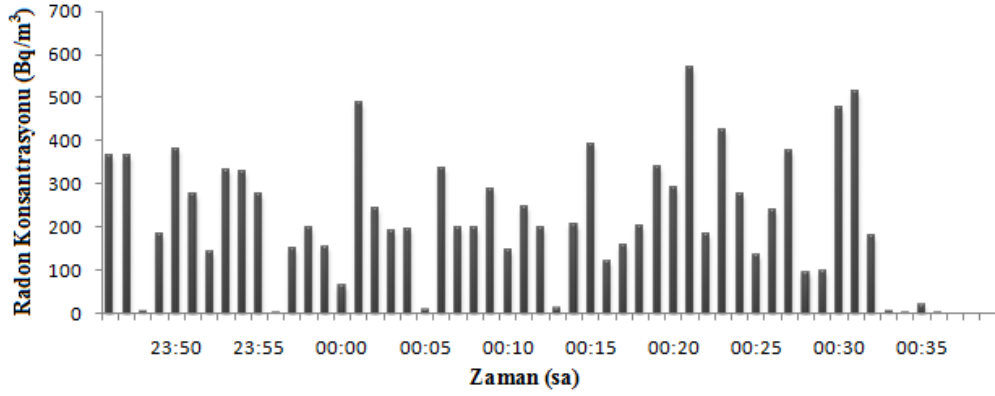


(d)

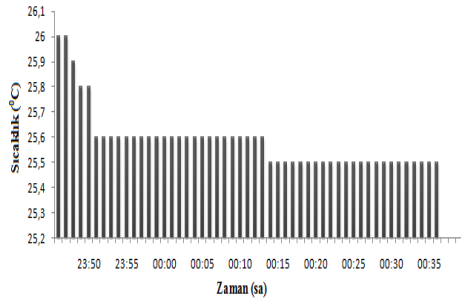
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	42,09
^{222}Rn (Bq/m^3)	189,06
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	41,31

(e)

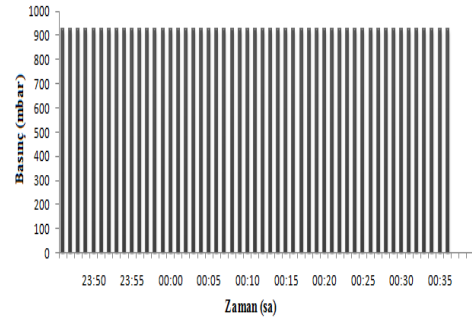
Şekil 4.4 İlkbahar ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



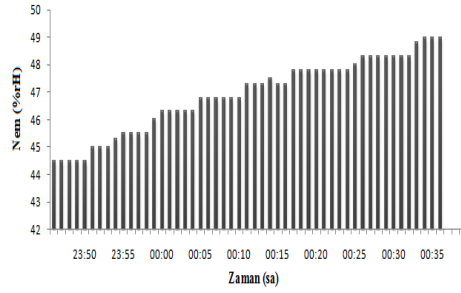
(a)



(b)



(c)

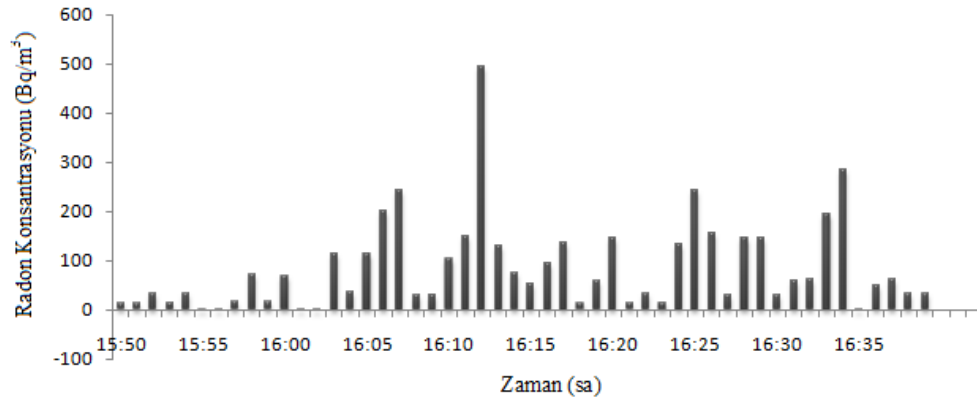


(d)

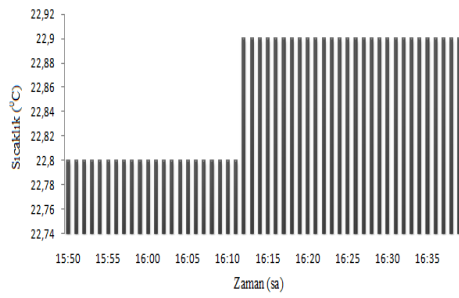
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	208,27
^{222}Rn (Bq/m^3)	233,26
Sıcaklık (0C)	25,58
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	46,89

(e)

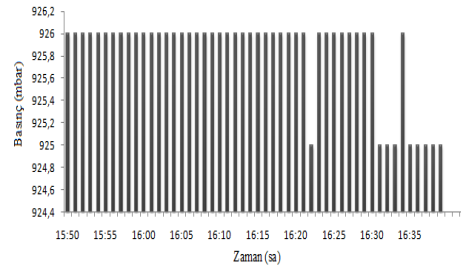
Şekil 4.5 Yaz ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu;(b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



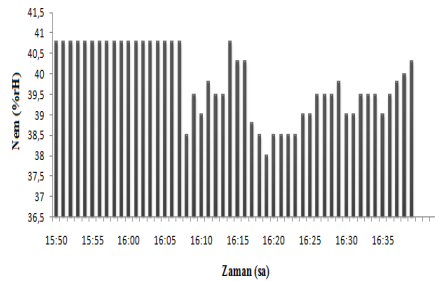
(a)



(b)



(c)

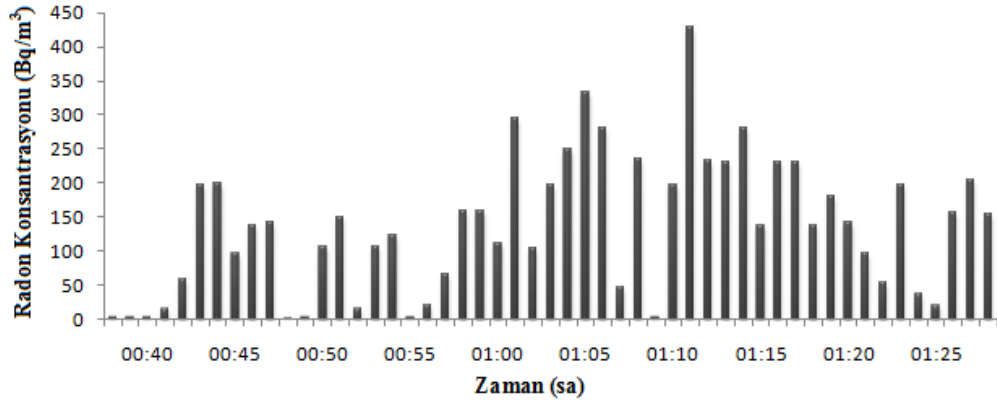


(d)

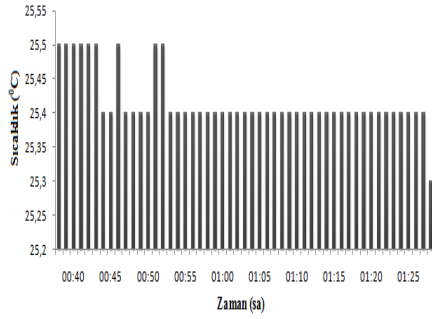
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	24,98
^{222}Rn (Bq/m^3)	120,29
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	22,8
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	39,86

(e)

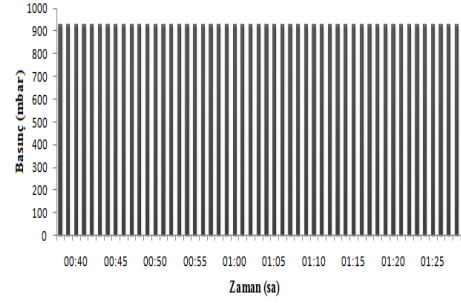
Şekil 4.6 İlkbahar ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



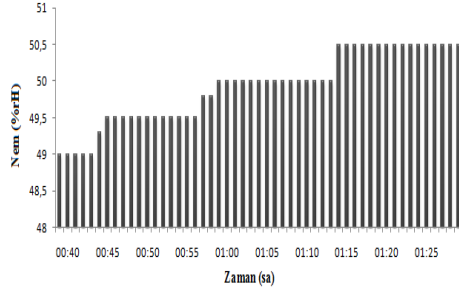
(a)



(b)



(c)

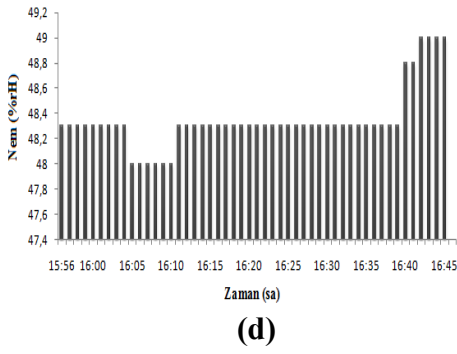
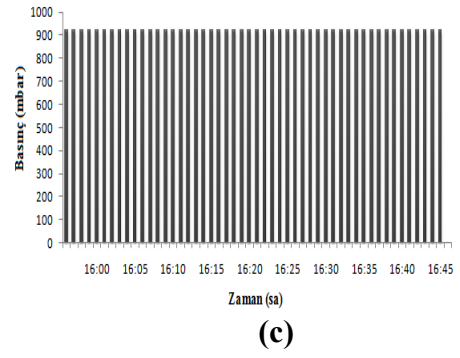
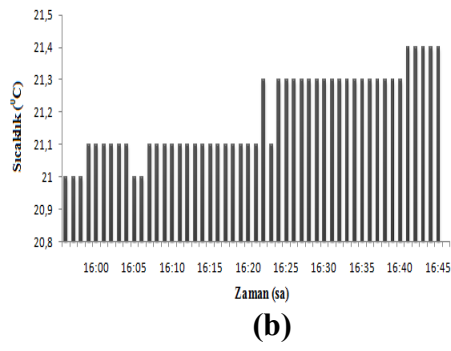
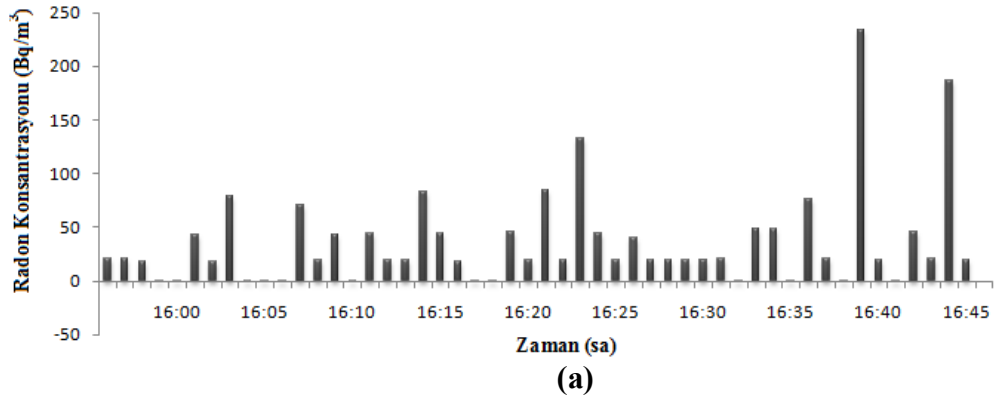


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	85,39
^{222}Rn (Bq/m^3)	169,63
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,41
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	49,91

(e)

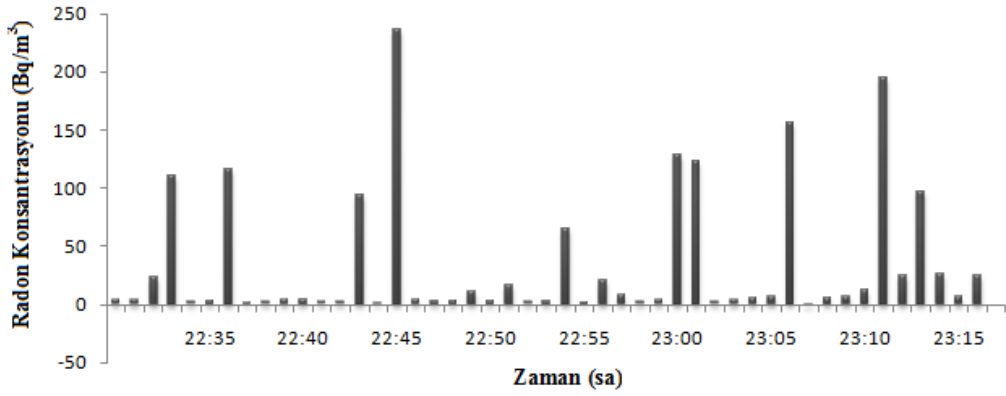
Şekil 4.7 Yaz ölçümü, Azdavay ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu;(b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



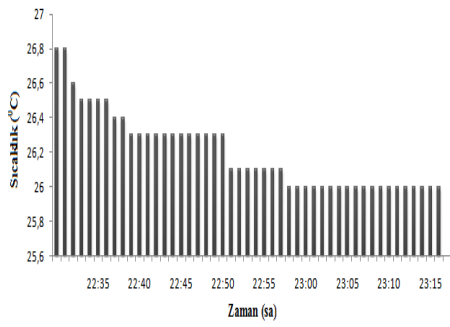
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	22,83
^{222}Rn (Bq/m^3)	41,32
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,1
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	48,34

(e)

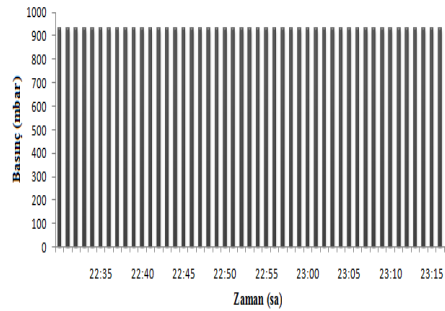
Şekil 4.8 İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



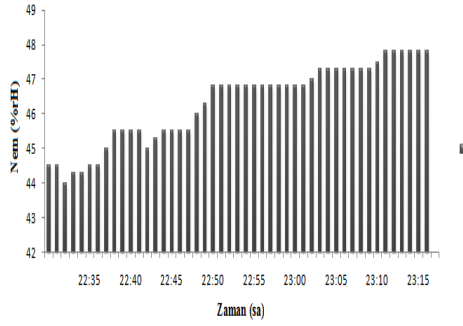
(a)



(b)



(c)

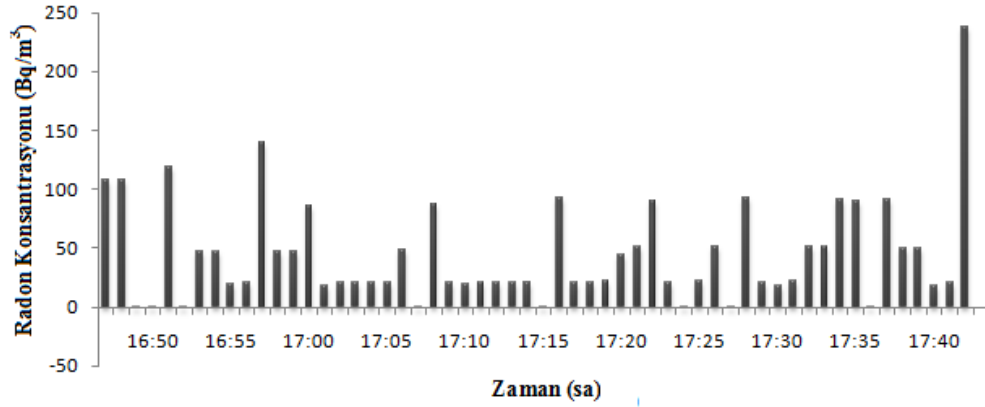


(d)

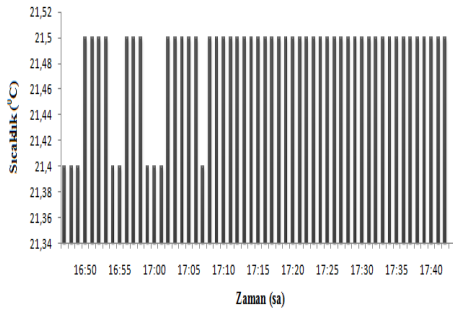
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	27,15
^{222}Rn (Bq/m^3)	38,42
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	26,19
Basınç (mbar)	929
Bağıl Nem (%rH)	46,3

(e)

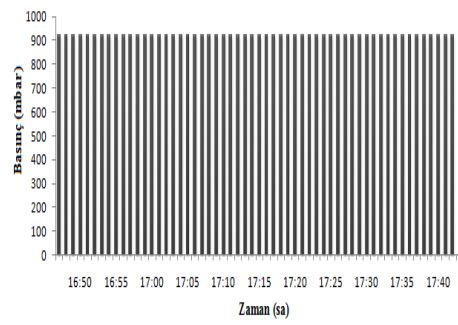
Şekil 4.9 Yaz ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



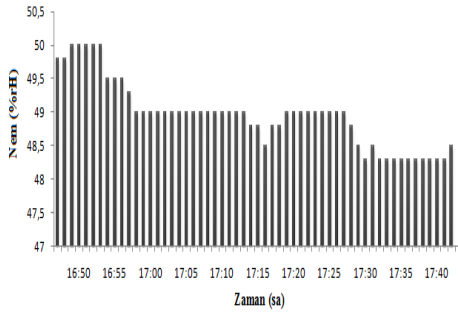
(a)



(b)



(c)

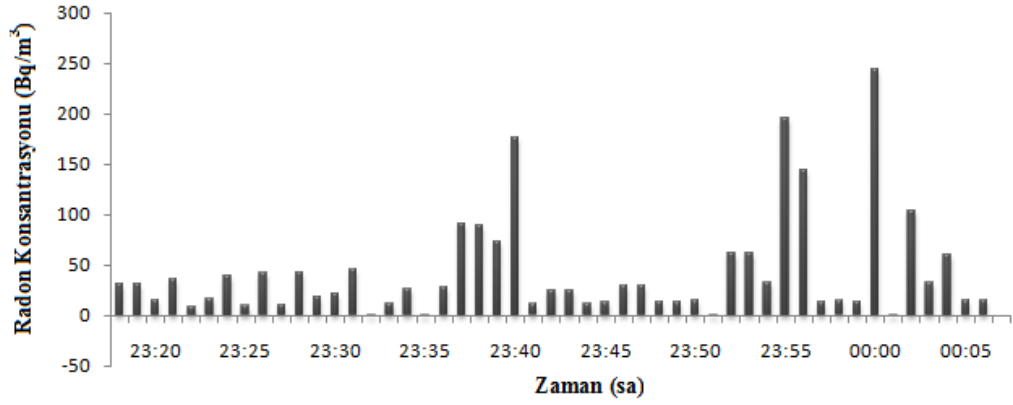


(d)

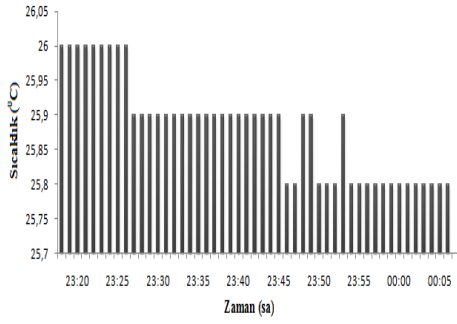
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	43,79
^{222}Rn (Bq/m^3)	37,66
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,48
Basınç (mbar)	921
Bağıl Nem (%rH)	48,95

(e)

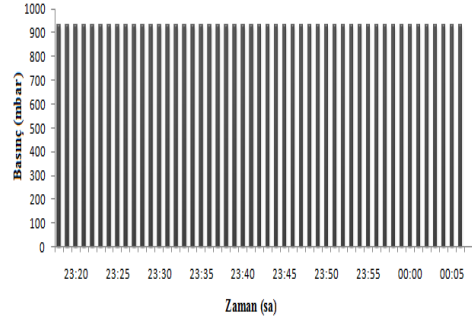
Şekil 4.10 İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



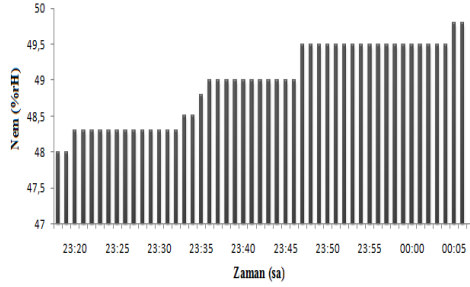
(a)



(b)



(c)

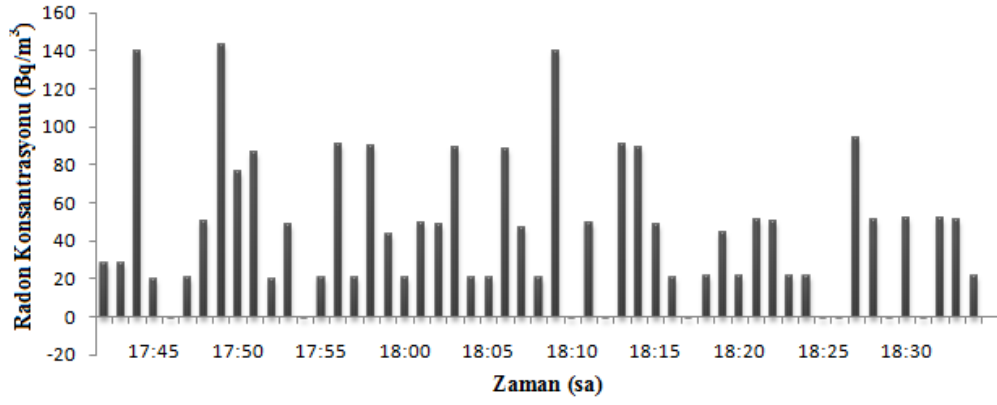


(d)

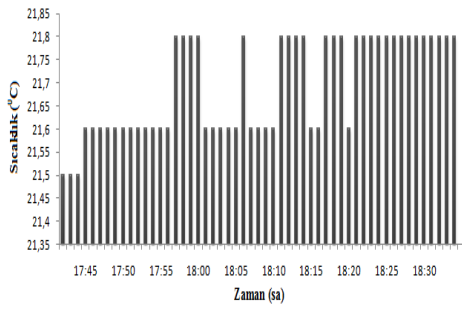
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	23,71
^{222}Rn (Bq/m^3)	49,99
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,88
Basınç (mbar)	929
Bağıl Nem (%rH)	48,96

(e)

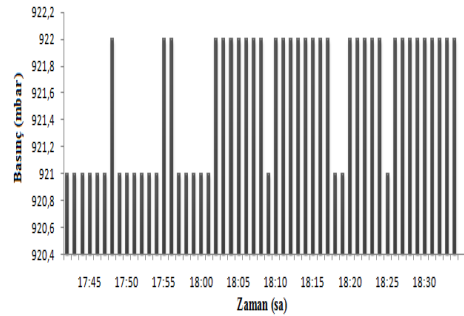
Şekil 4.11 Yaz ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



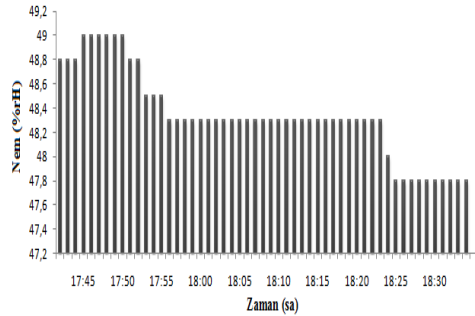
(a)



(b)



(c)

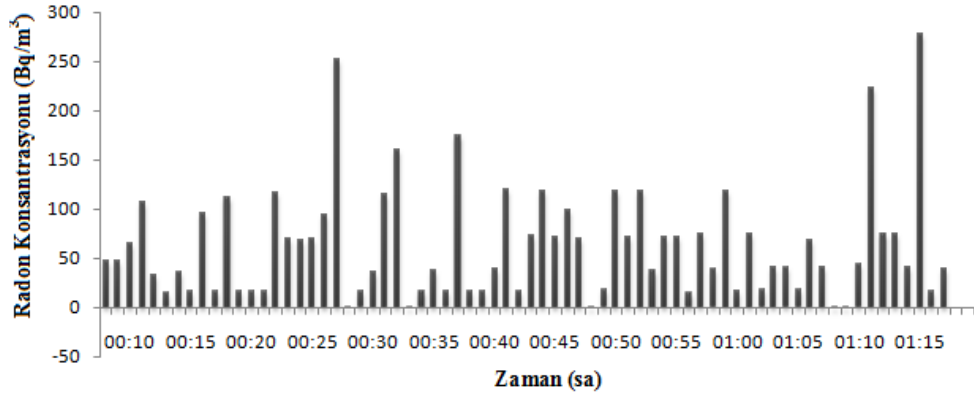


(d)

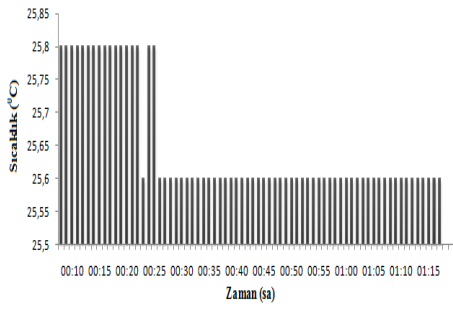
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	60,61
^{222}Rn (Bq/m^3)	44,73
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,69
Basınç (mbar)	921
Bağıl Nem (%rH)	48,33

(e)

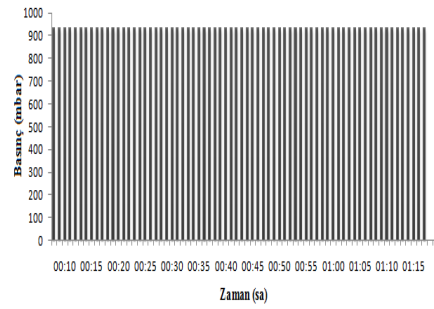
Şekil 4.12 İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



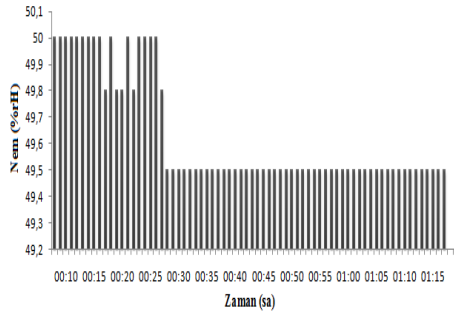
(a)



(b)



(c)

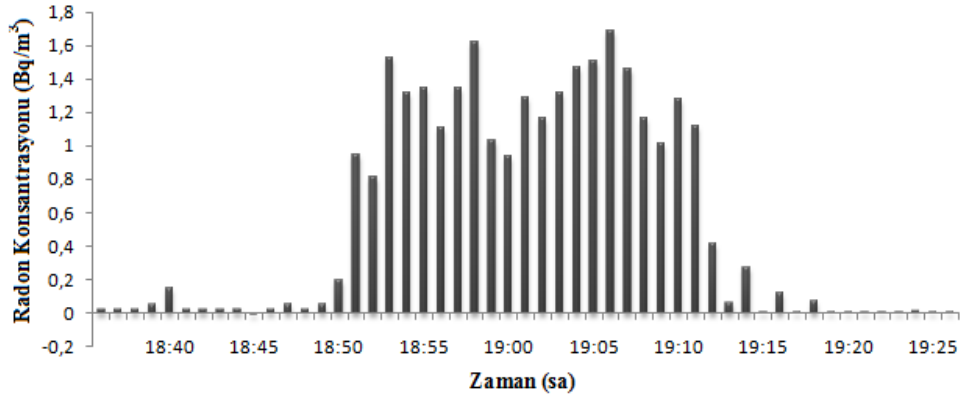


(d)

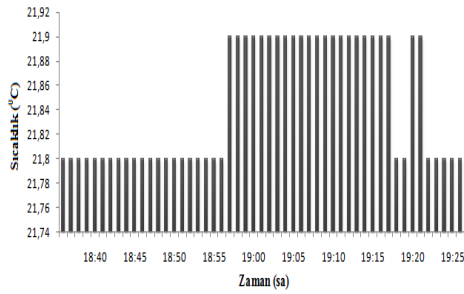
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	50,96
^{222}Rn (Bq/m^3)	69,50
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,64
Basınç (mbar)	929
Bağıl Nem (%rH)	49,62

(e)

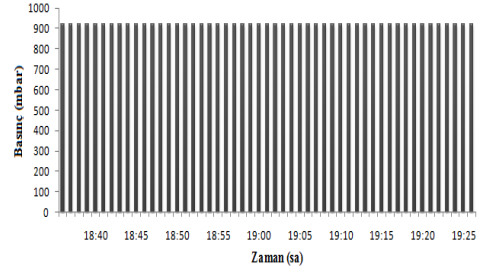
Şekil 4.13 Yaz ölçümü, Daday ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



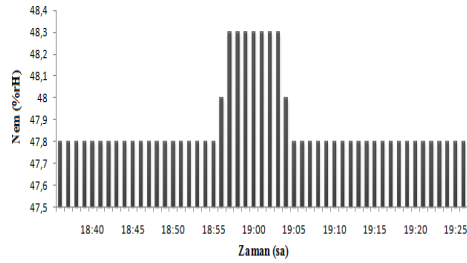
(a)



(b)



(c)

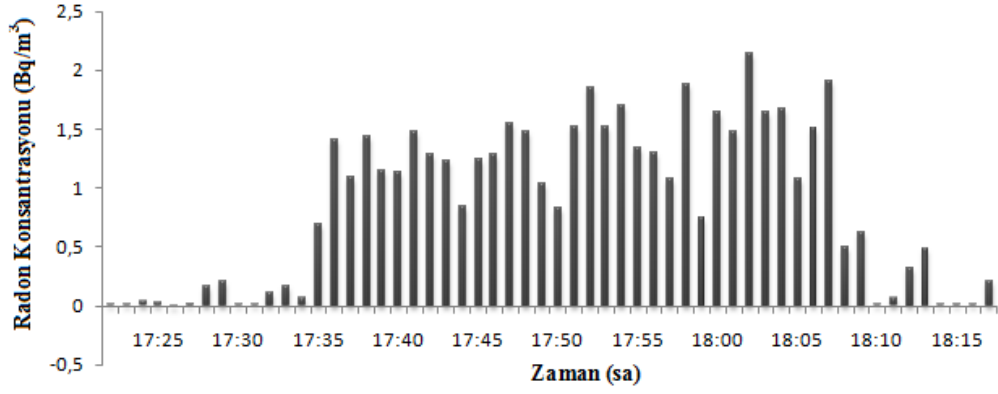


(d)

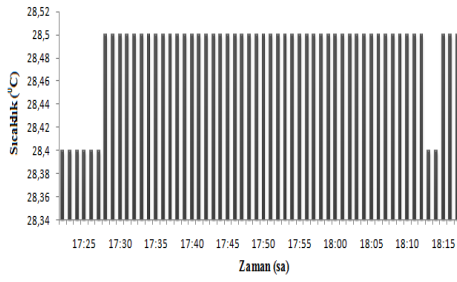
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	37,73
^{222}Rn (Bq/m^3)	920,43
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,84
Basınç (mbar)	922
Bağıl Nem (%rH)	47,87

(e)

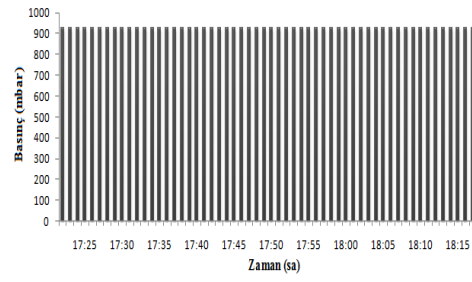
Şekil 4.14 İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



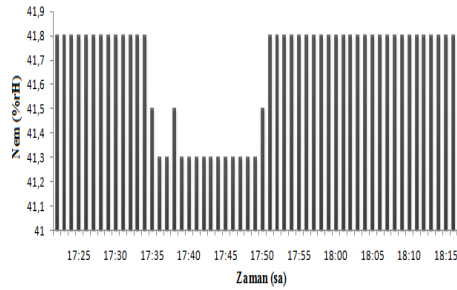
(a)



(b)



(c)

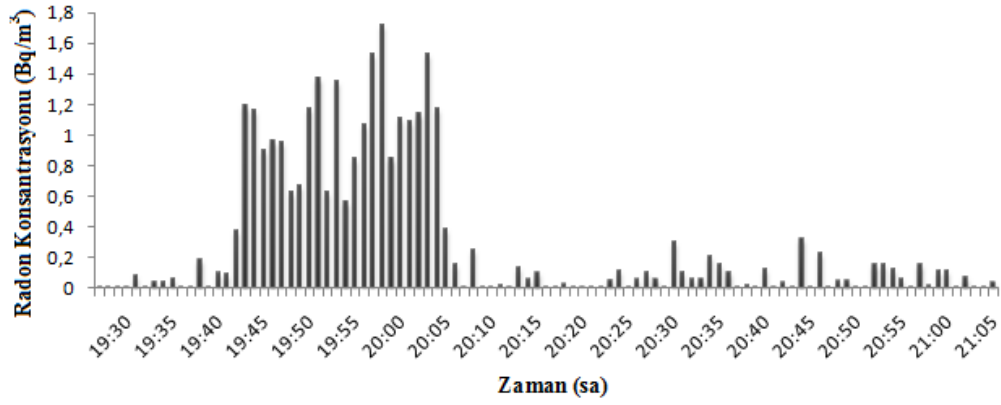


(d)

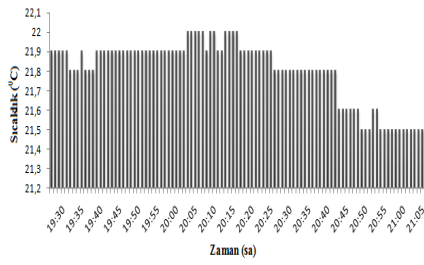
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C ₀) (Bq/m ³)	74,74
²²² Rn (Bq/m ³)	1369,07
Sıcaklık (°C)	28,48
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	41,66

(e)

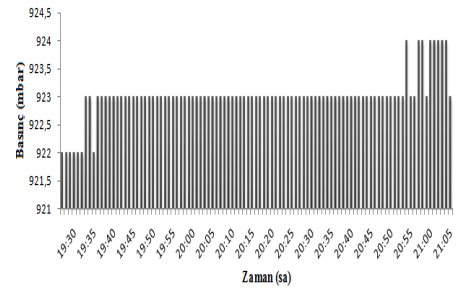
Şekil 4.15 Yaz ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



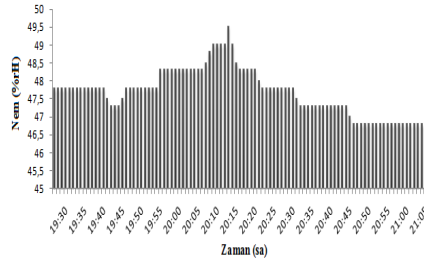
(a)



(b)



(c)

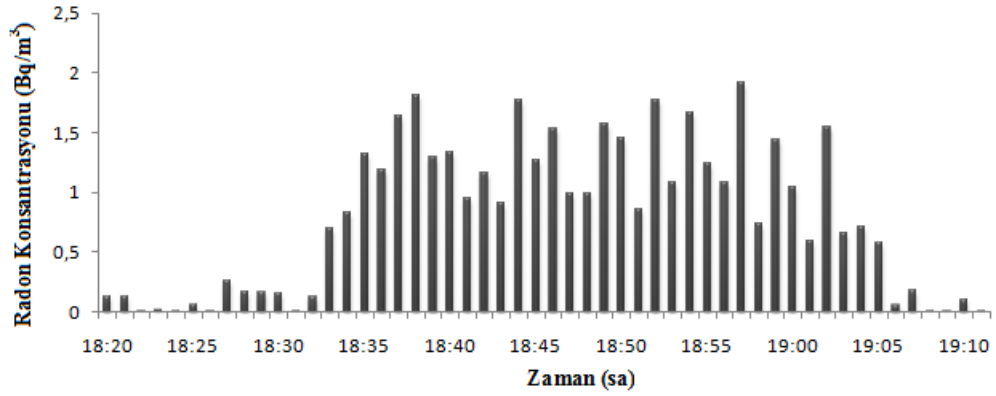


(d)

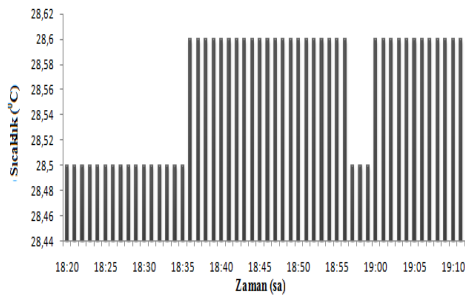
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C ₀) (Bq/m ³)	44,47
²²² Rn (Bq/m ³)	931,67
Sıcaklık (°C)	21,80
Basınç (mbar)	922
Bağıl Nem (%rH)	47,68

(e)

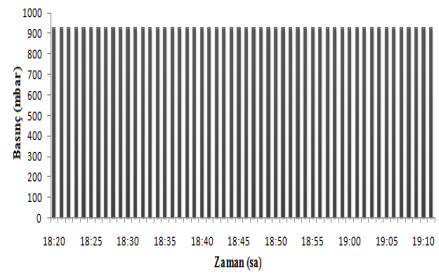
Şekil 4.16 İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



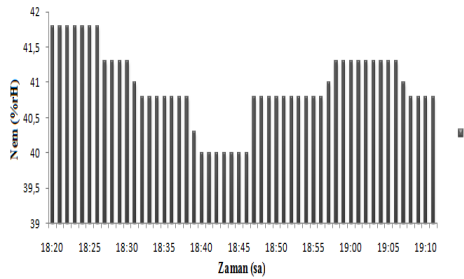
(a)



(b)



(c)

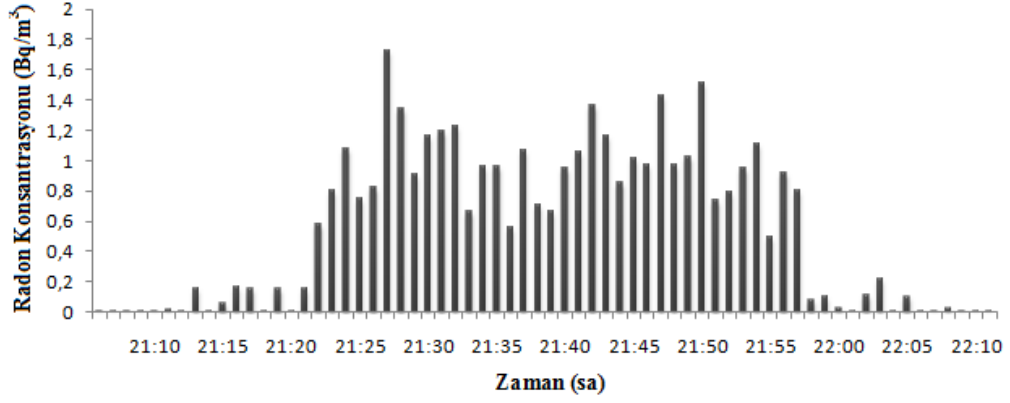


(d)

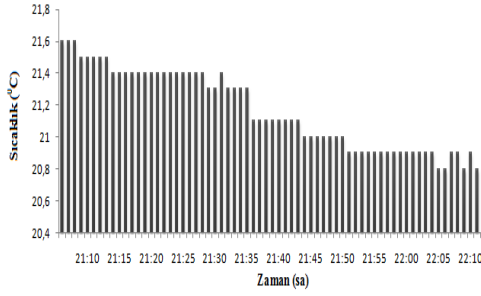
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	86,59
^{222}Rn (Bq/m^3)	1256,67
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	28,56
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	40,95

(e)

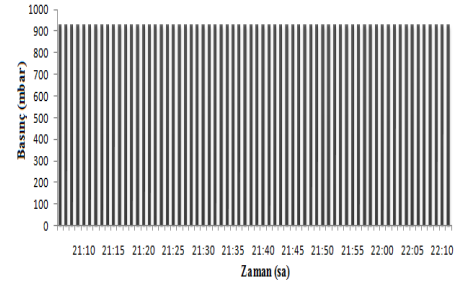
Şekil 4.17 Yaz ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



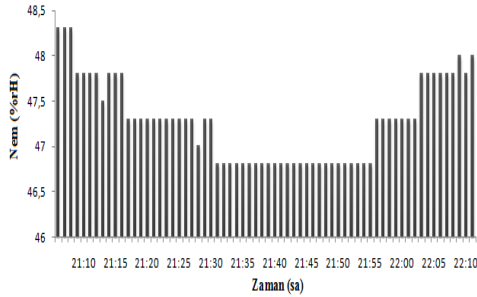
(a)



(b)



(c)

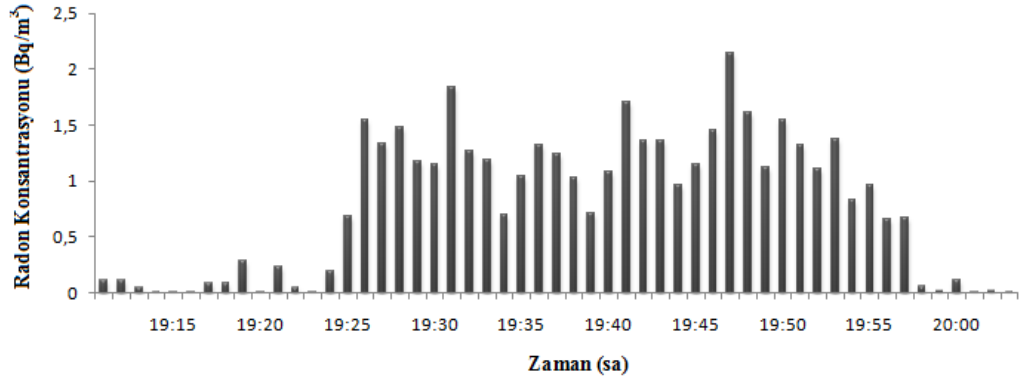


(d)

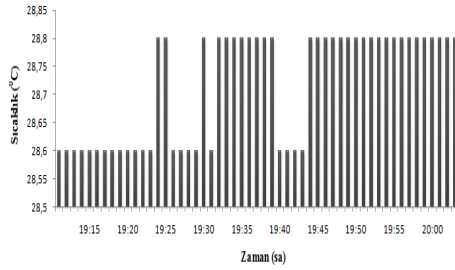
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	57,72
^{222}Rn (Bq/m^3)	984,8
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,16
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	47,28

(e)

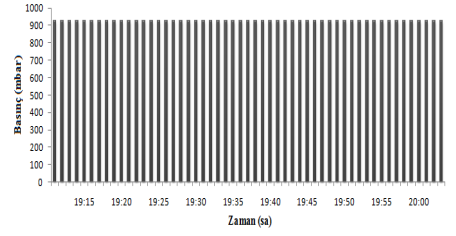
Şekil 4.18 İlkbahar ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



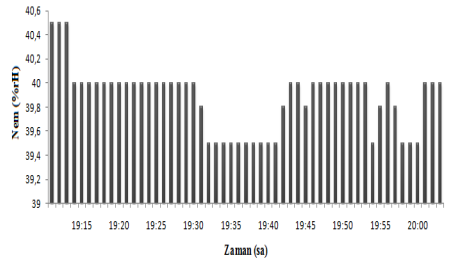
(a)



(b)



(c)

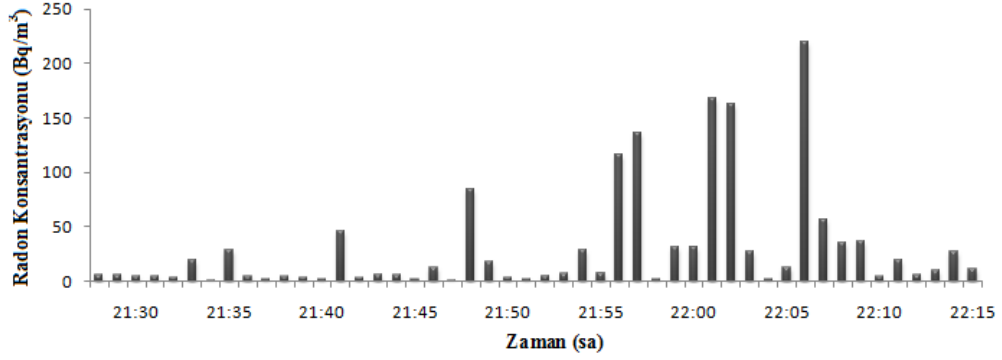


(d)

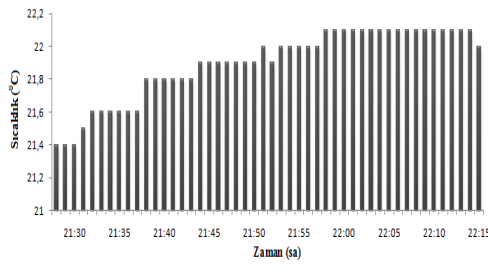
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	85,41
^{222}Rn (Bq/m^3)	1262,67
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	28,71
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	39,87

(e)

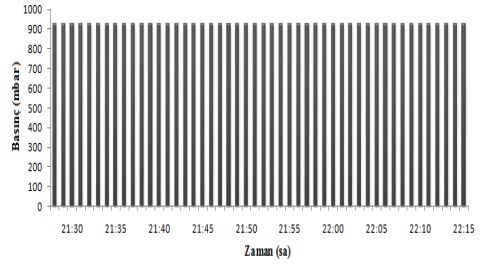
Şekil 4.19 Yaz ölçümü, Daday ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



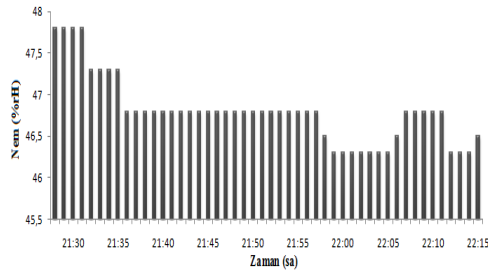
(a)



(b)



(c)

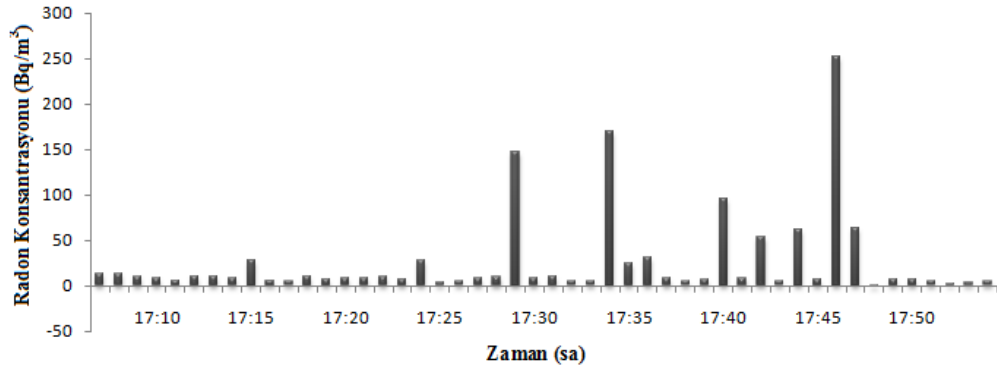


(d)

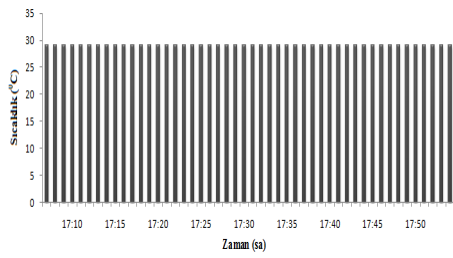
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m ³)	7,65
²²² Rn (Bq/m ³)	42,57
Sıcaklık (°C)	21,8
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	46,8

(e)

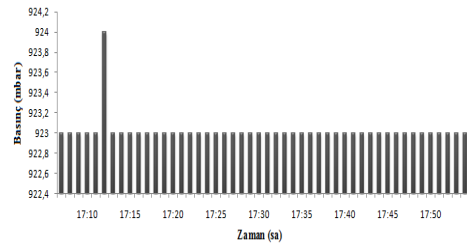
Şekil 4.20 İlkbahar ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



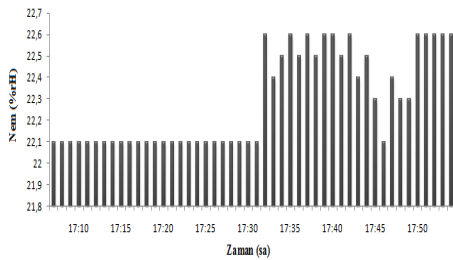
(a)



(b)



(c)

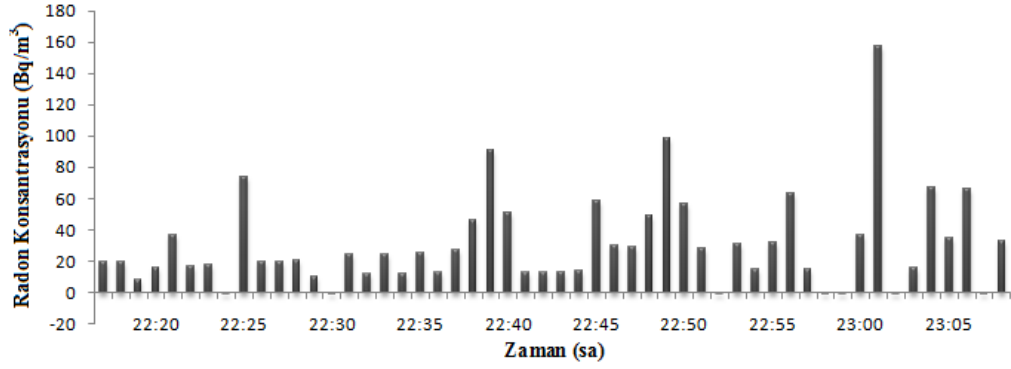


(d)

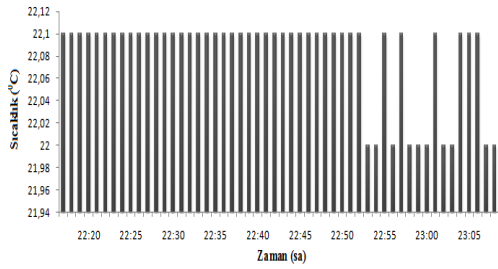
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	10,22
^{222}Rn (Bq/m^3)	35,14
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	29
Basınç (mbar)	923
Bağıl Nem (%rH)	22,28

(e)

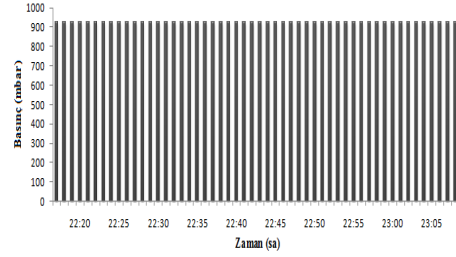
Şekil 4.21 Yaz ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



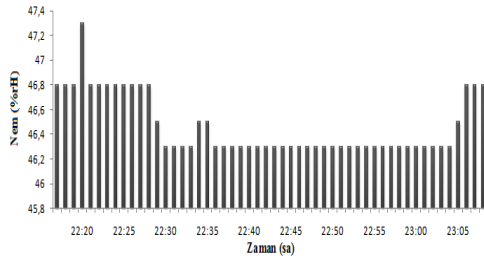
(a)



(b)



(c)

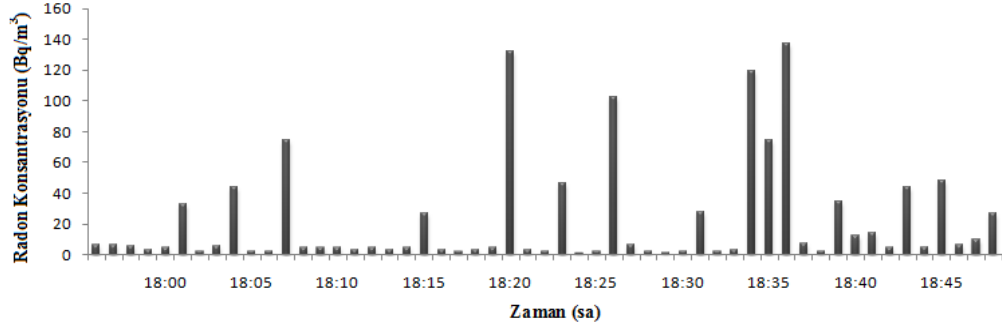


(d)

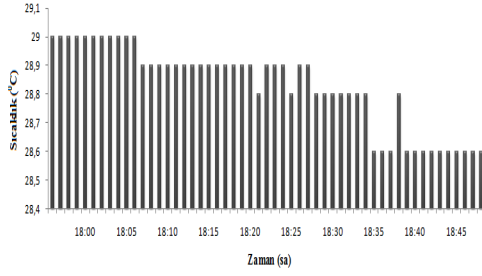
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	22,78
^{222}Rn (Bq/m^3)	30,57
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	20
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	46,46

(e)

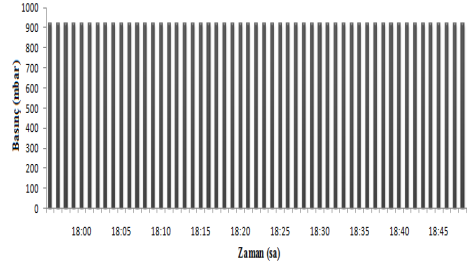
Şekil 4.22 İlkbahar ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



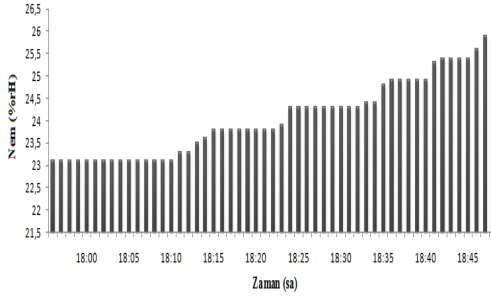
(a)



(b)



(c)

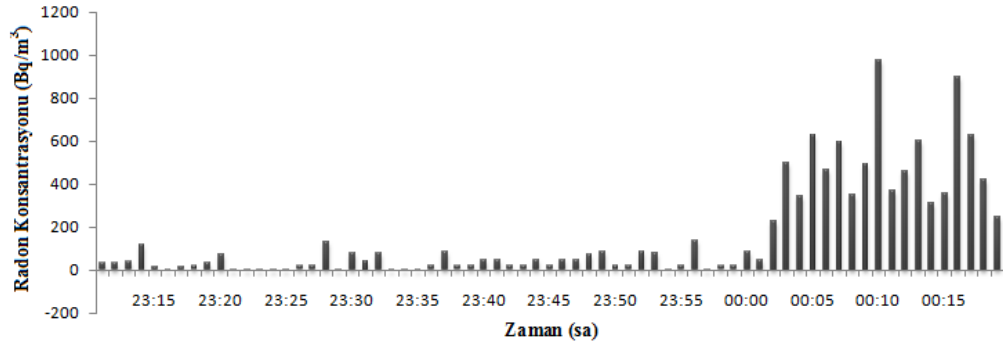


(d)

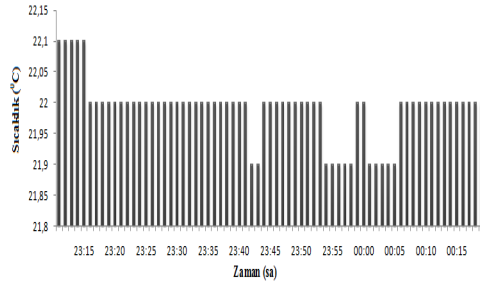
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	17,71
^{222}Rn (Bq/m^3)	25,68
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	28,82
Basınç (mbar)	923
Bağıl Nem (%rH)	24,06

(e)

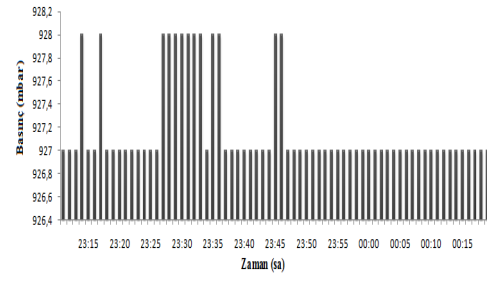
Şekil 4.23 Yaz ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



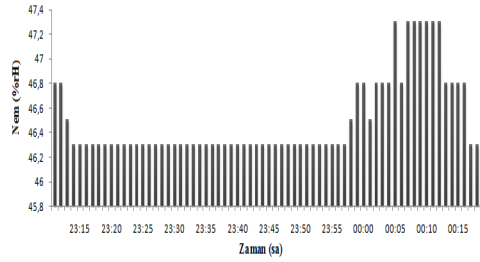
(a)



(b)



(c)

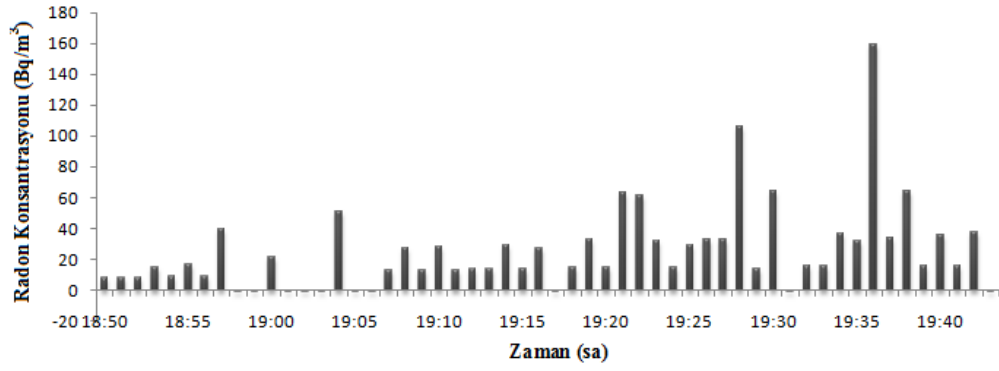


(d)

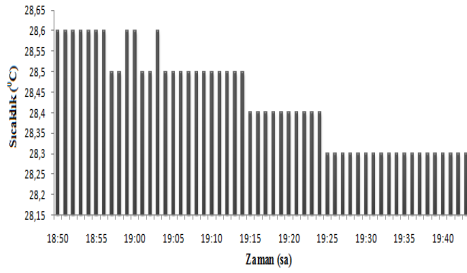
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	31,37
^{222}Rn (Bq/m^3)	39,07
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,9
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	46,49

(e)

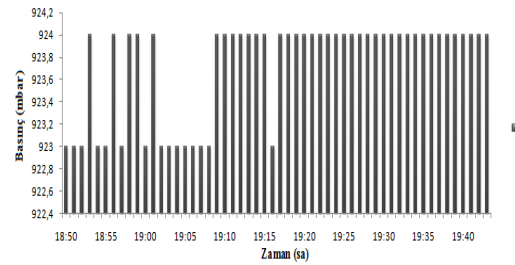
Şekil 4.24 İlkbahar ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



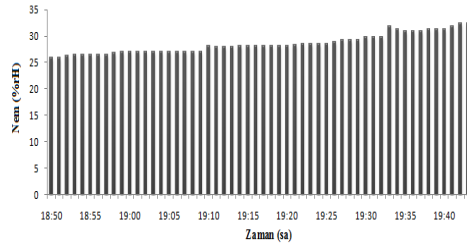
(a)



(b)



(c)

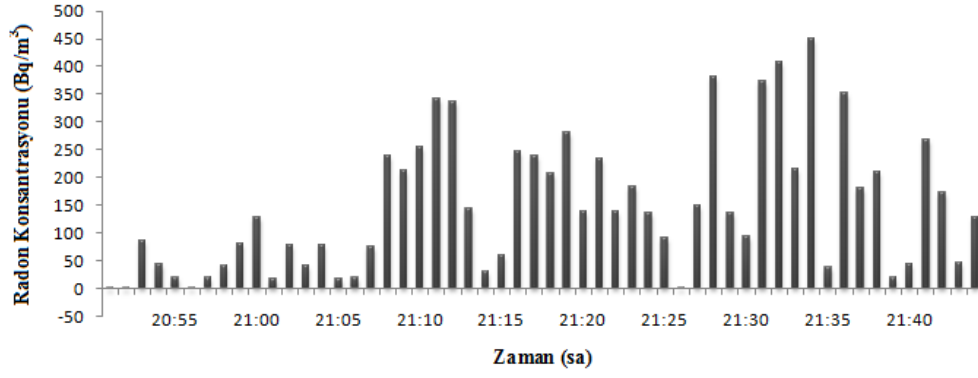


(d)

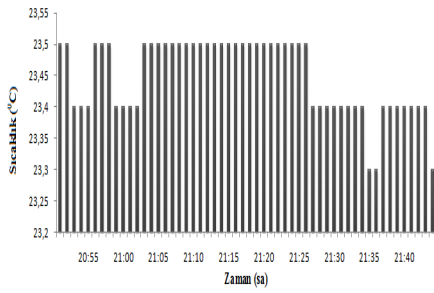
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	14,42
^{222}Rn (Bq/m^3)	35,23
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	28,42
Basınç (mbar)	923
Bağıl Nem (%rH)	28,51

(e)

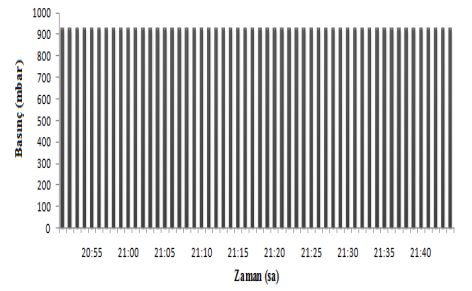
Şekil 4.25 Yaz ölçümü, Devrekani ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



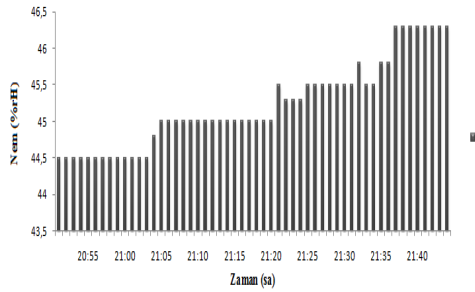
(a)



(b)



(c)

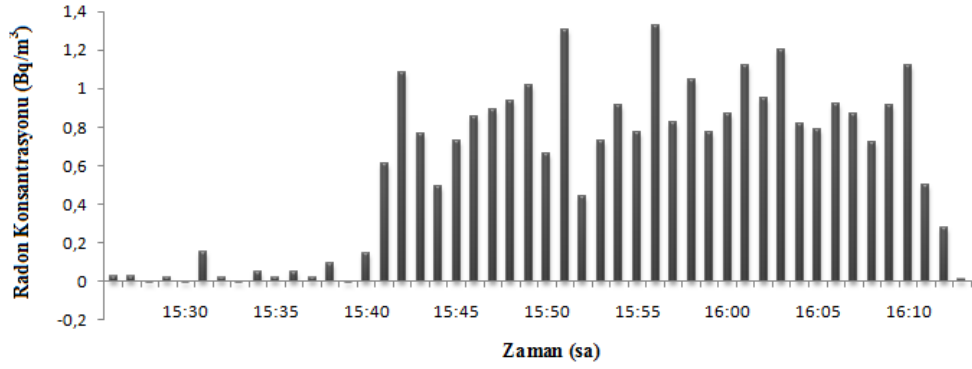


(d)

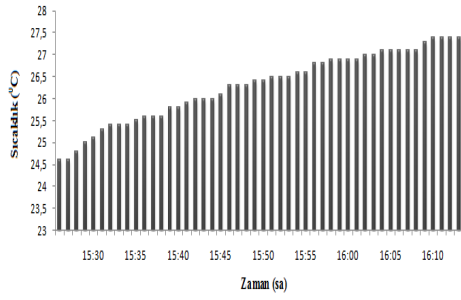
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	51,31
^{222}Rn (Bq/m^3)	209,61
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23,44
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	45,2

(e)

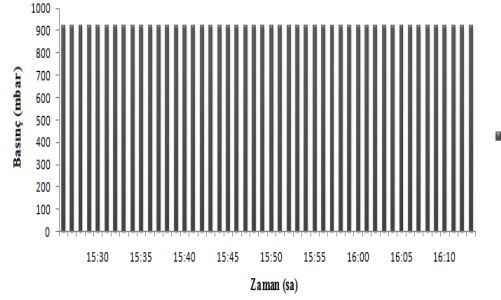
Şekil 4.26 İlbahar ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



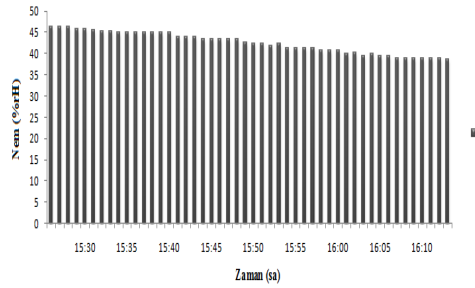
(a)



(b)



(c)

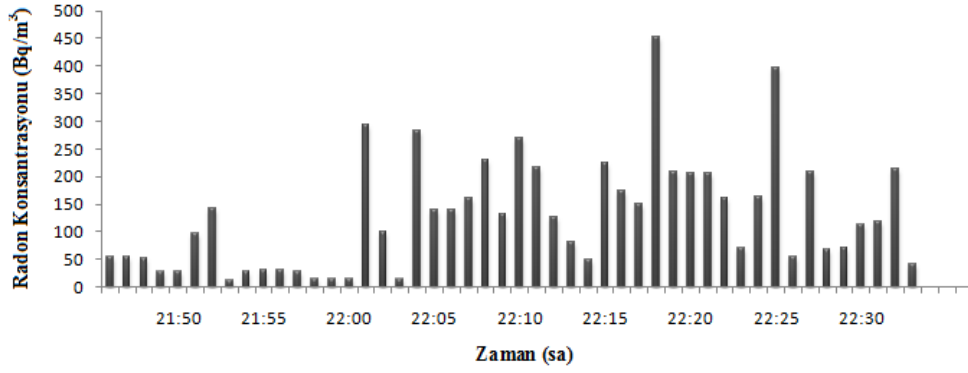


(d)

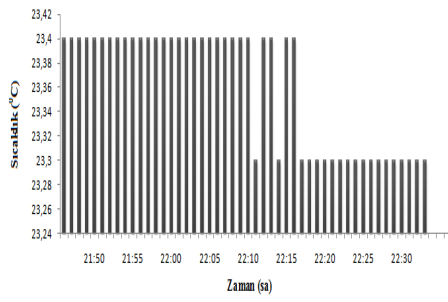
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C ₀) (Bq/m ³)	34,45
²²² Rn (Bq/m ³)	882,27
Sıcaklık (°C)	26,28
Basınç (mbar)	923
Bağıl Nem (%rH)	42,52

(e)

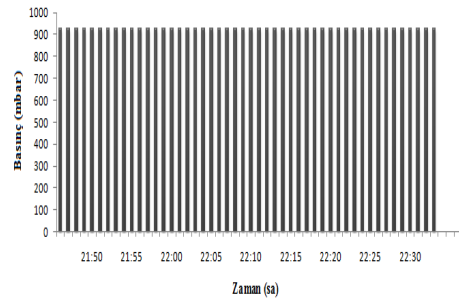
Şekil 4.27 Yaz ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



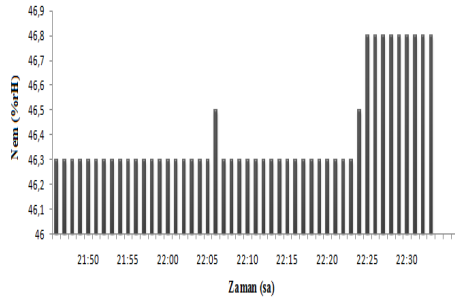
(a)



(b)



(c)

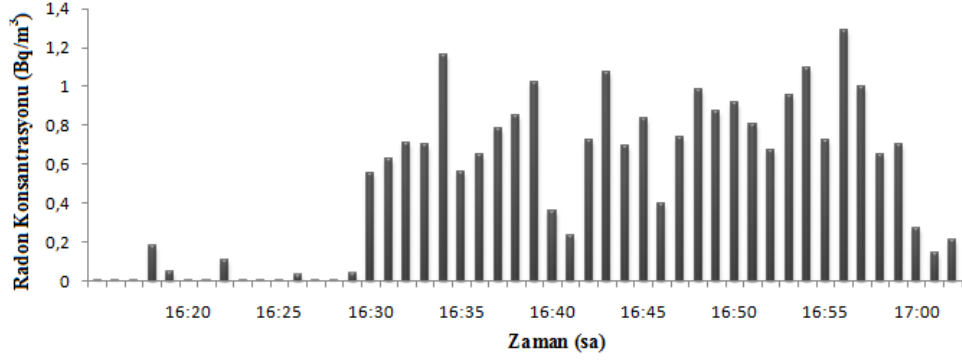


(d)

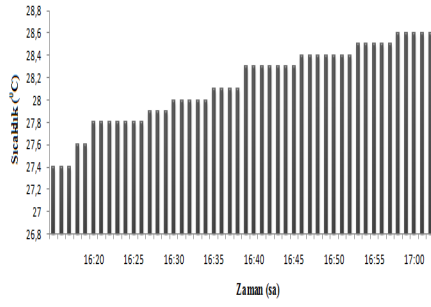
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	48,15
^{222}Rn (Bq/m^3)	172,15
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23,36
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	46,40

(e)

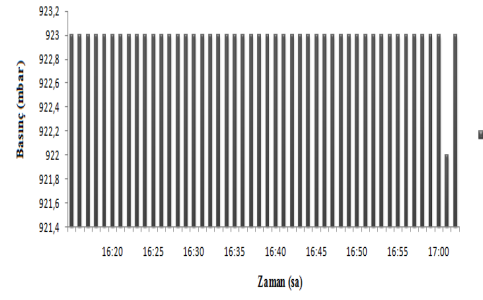
Şekil 4.28 İlkbahar ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



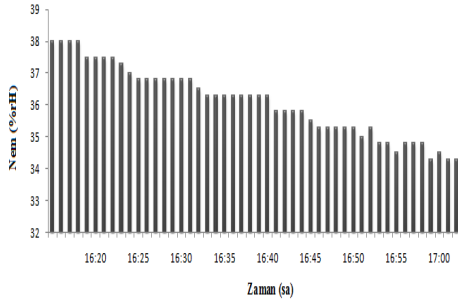
(a)



(b)



(c)

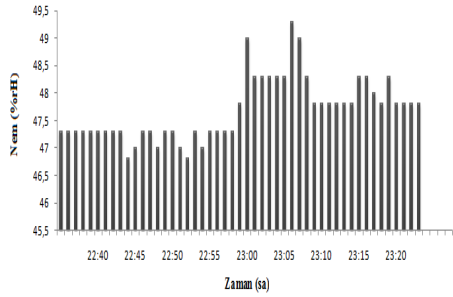
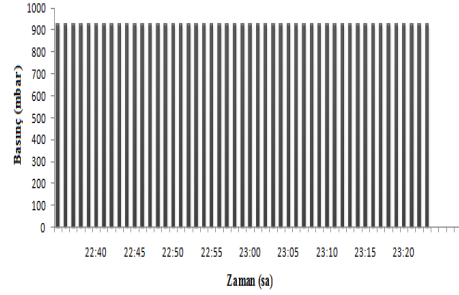
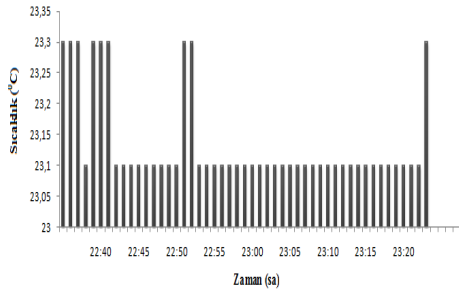
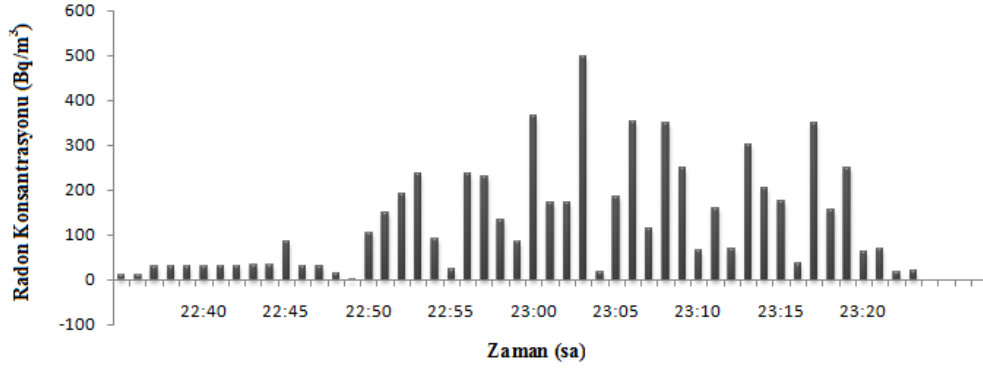


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m ³)	40,34
²²² Rn (Bq/m ³)	757,12
Sıcaklık (°C)	28,13
Basınç (mbar)	923
Bağıl Nem (%rH)	36,08

(e)

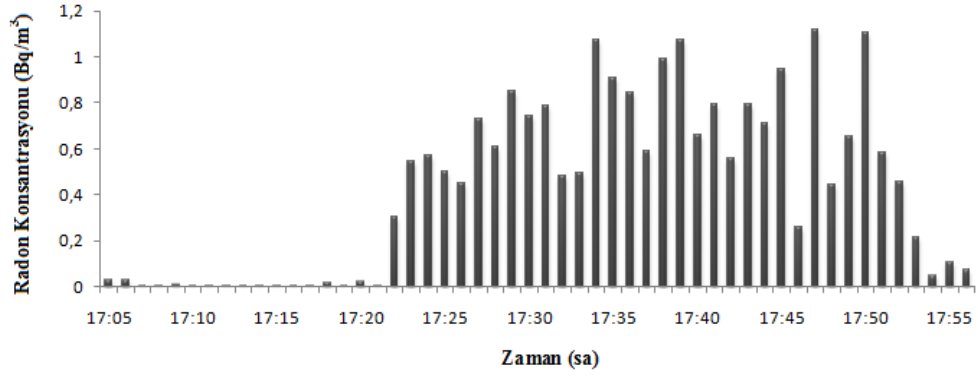
Şekil 4.29 Yaz ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



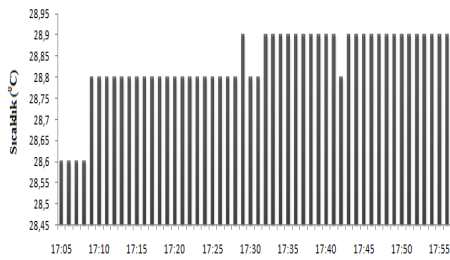
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	35,75
^{222}Rn (Bq/m^3)	189,97
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23,13
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	47,6

(e)

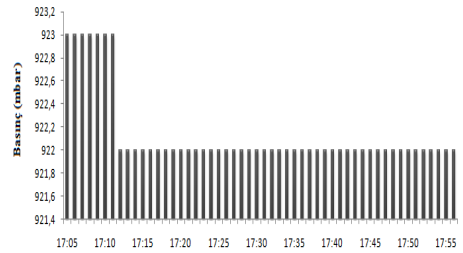
Şekil 4.30 İlkbahar ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



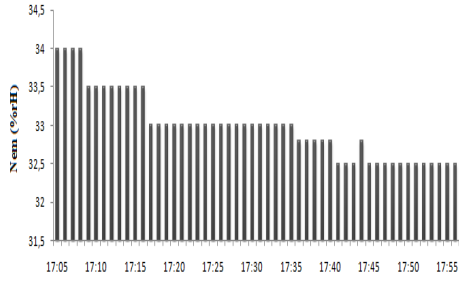
(a)



(b)



(c)

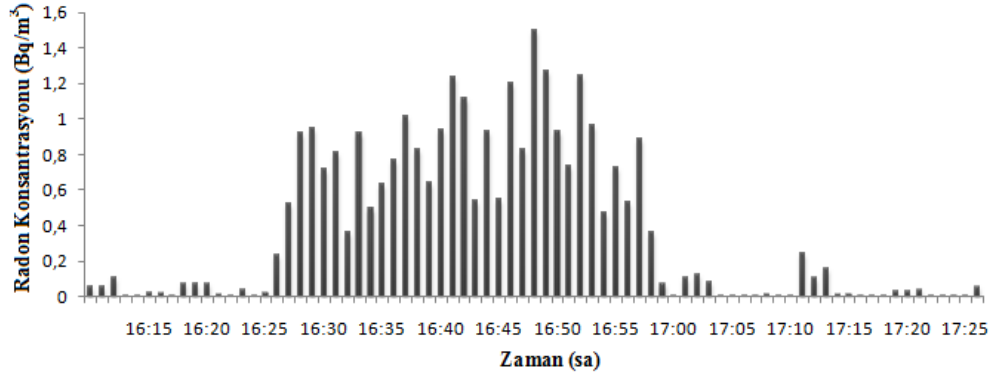


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	6,46
^{222}Rn (Bq/m^3)	705,53
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	28,83
Basınç (mbar)	922
Bağıl Nem (%rH)	32,98

(e)

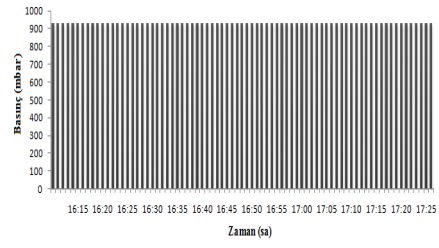
Şekil 4.31 Yaz ölçümü, Hanönü ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



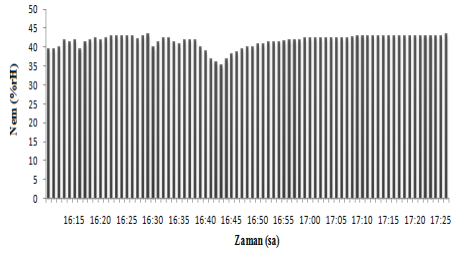
(a)



(b)



(c)

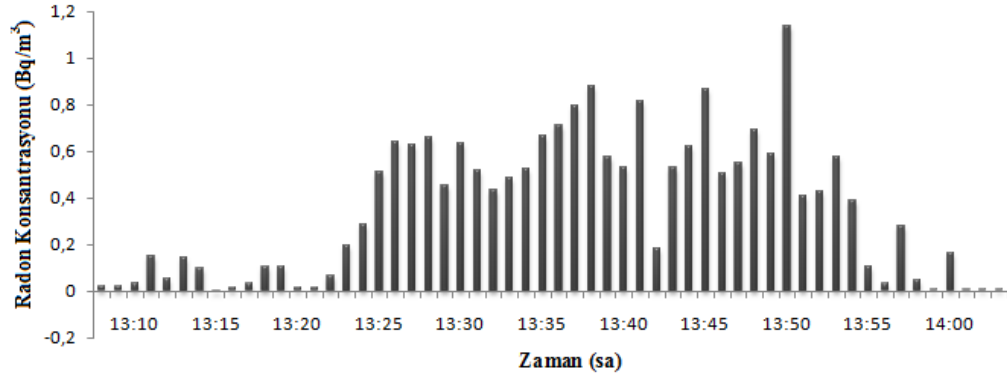


(d)

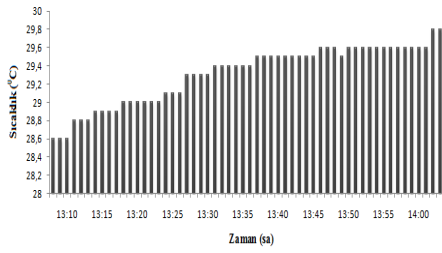
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m ³)	39,22
²²² Rn (Bq/m ³)	855,67
Sıcaklık (°C)	23,41
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	41,5

(e)

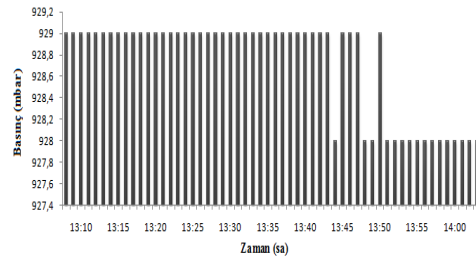
Şekil 4.32 İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



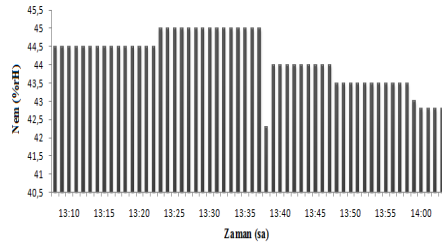
(a)



(b)



(c)

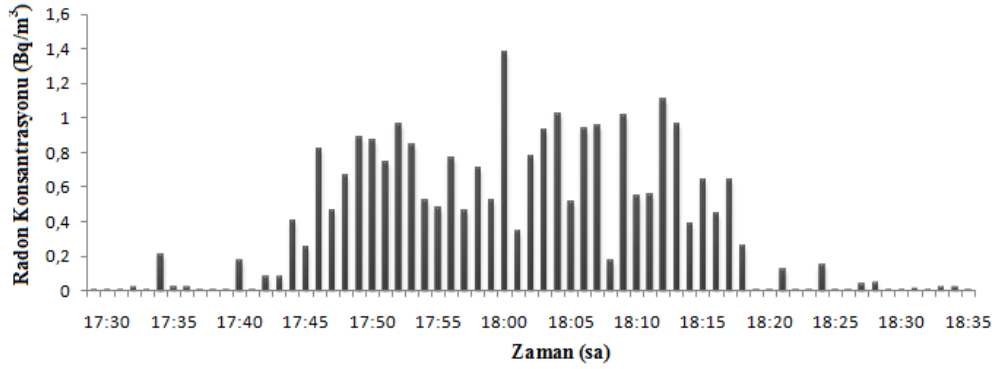


(d)

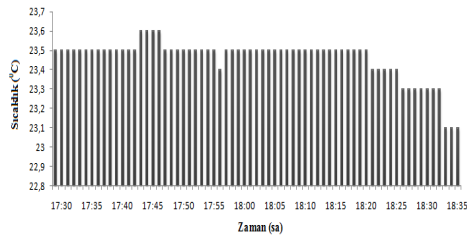
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	72,98
^{222}Rn (Bq/m^3)	597,17
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	29,30
Basınç (mbar)	929
Bağıl Nem (%rH)	44,16

(e)

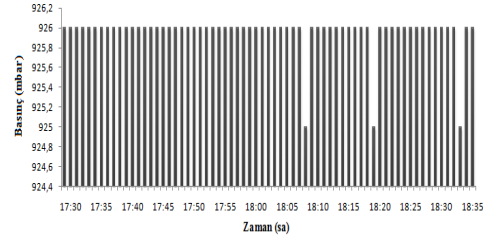
Şekil 4.33 Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



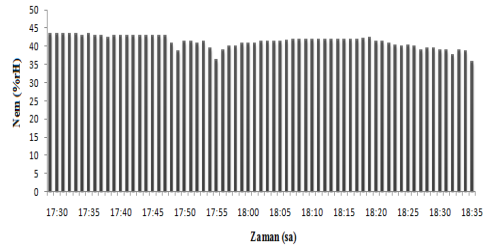
(a)



(b)



(c)

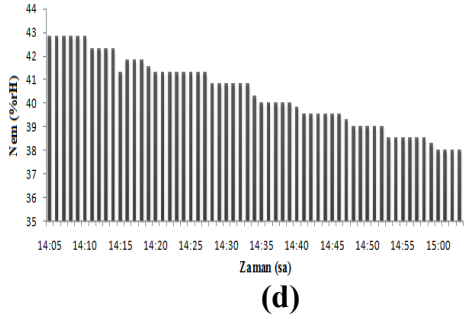
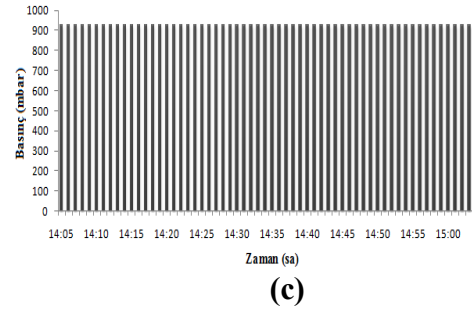
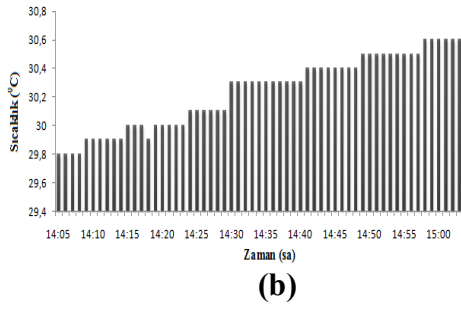
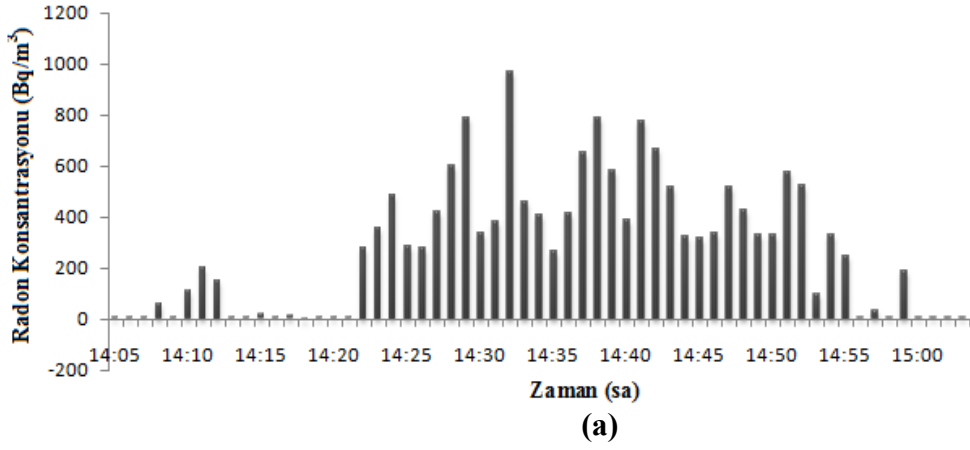


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m ³)	47,73
²²² Rn (Bq/m ³)	733,1
Sıcaklık (°C)	23,45
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	41,18

(e)

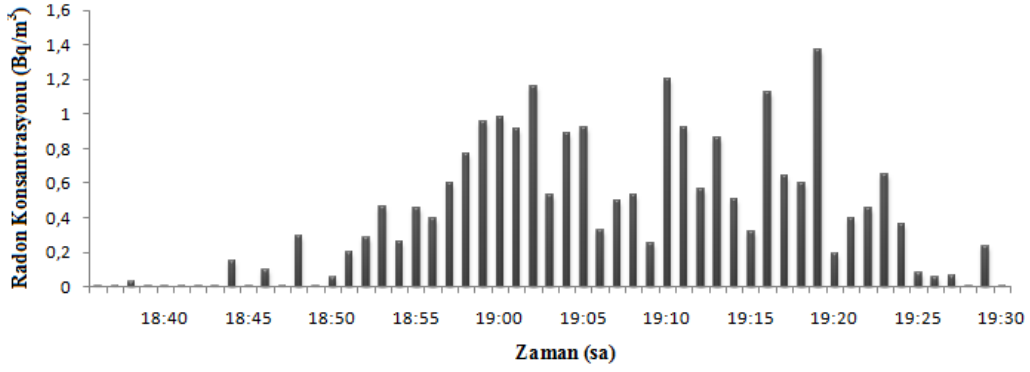
Şekil 4.34 İlbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



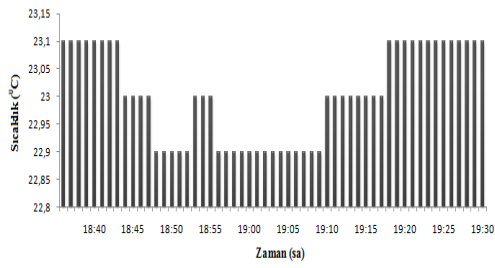
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	55,08
^{222}Rn (Bq/m^3)	475,33
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	30,23
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	40,37

(e)

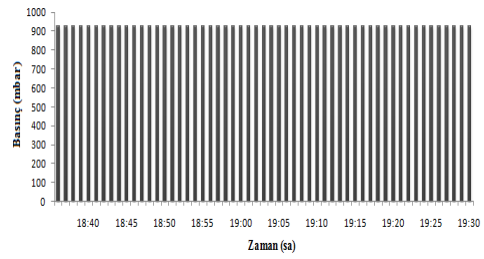
Şekil 4.35 Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



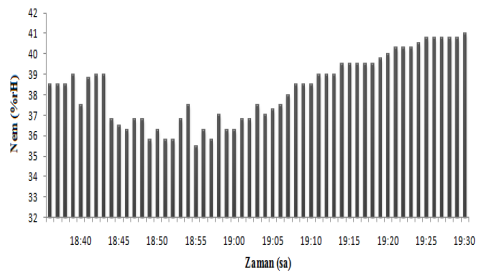
(a)



(b)



(c)

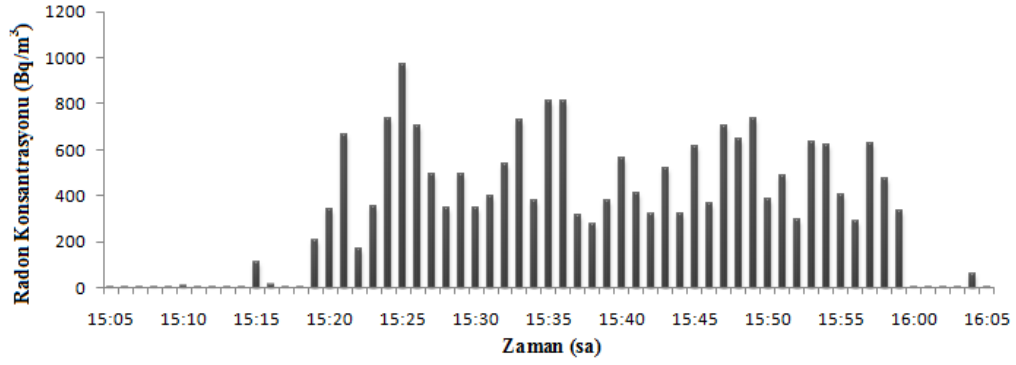


(d)

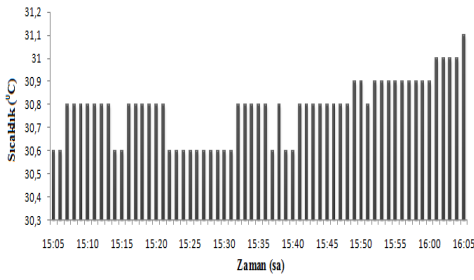
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m ³)	31,38
²²² Rn (Bq/m ³)	668,93
Sıcaklık (°C)	23
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	38,26

(e)

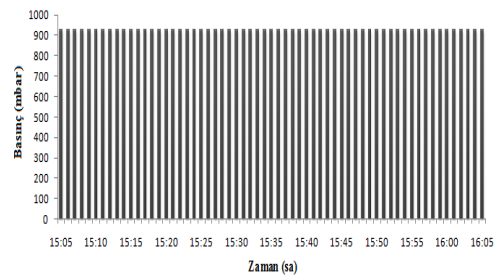
Şekil 4.36 İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



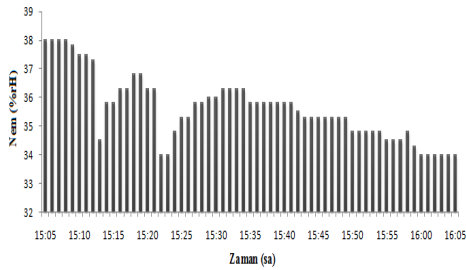
(a)



(b)



(c)

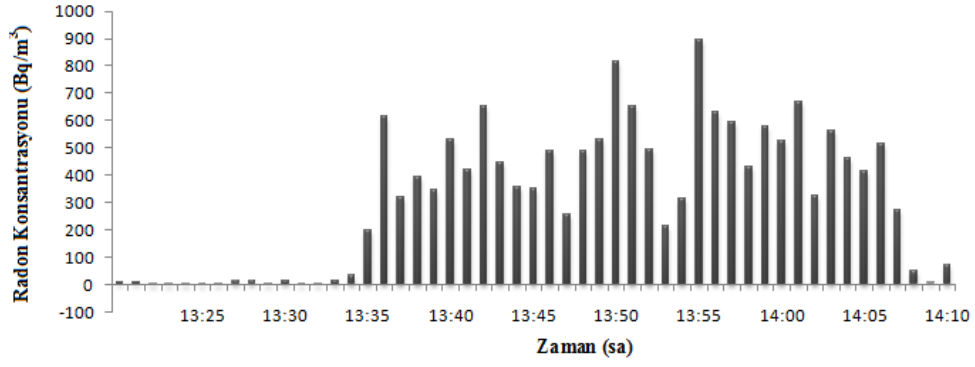


(d)

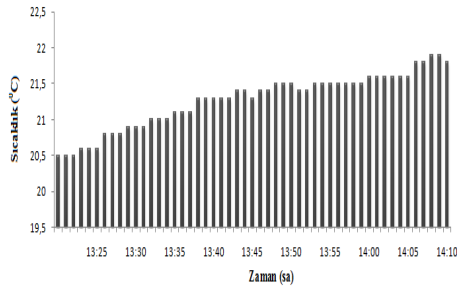
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m ³)	16,25
²²² Rn (Bq/m ³)	517,63
Sıcaklık (°C)	30,78
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	35,62

(e)

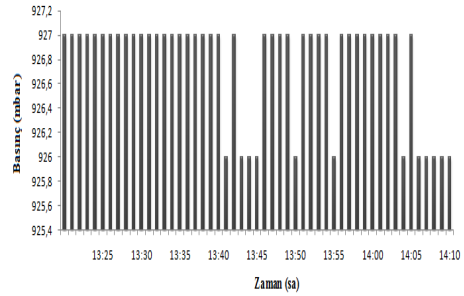
Şekil 4.37 Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



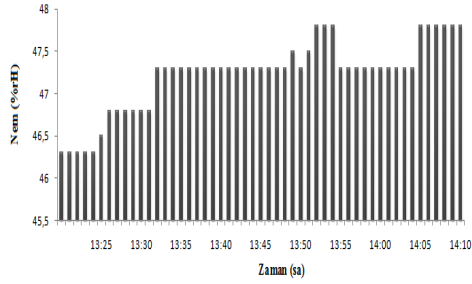
(a)



(b)



(c)

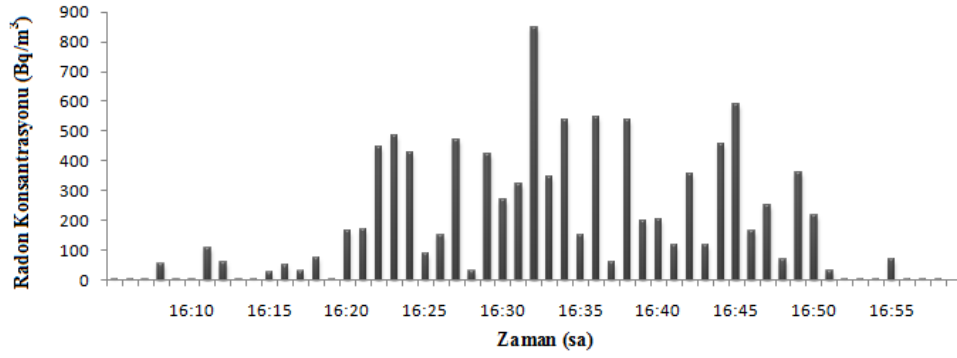


(d)

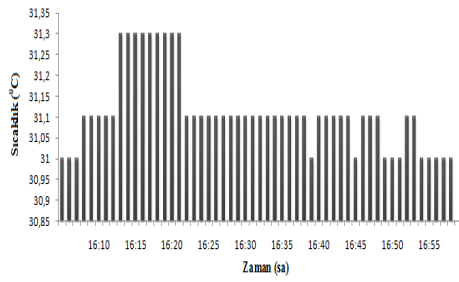
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	4,16
^{222}Rn (Bq/m^3)	491,77
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,26
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	47,22

(e)

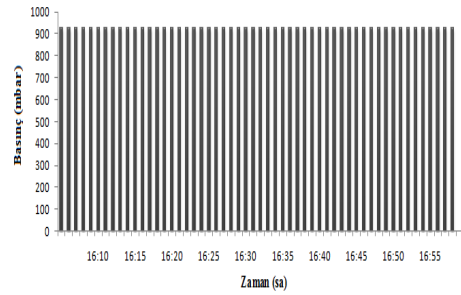
Şekil 4.38 İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



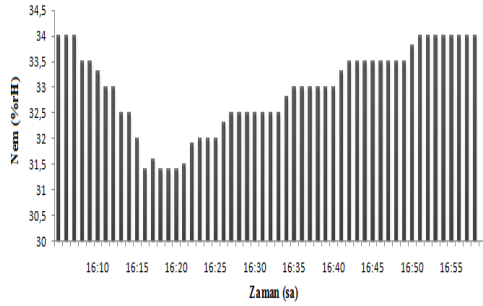
(a)



(b)



(c)

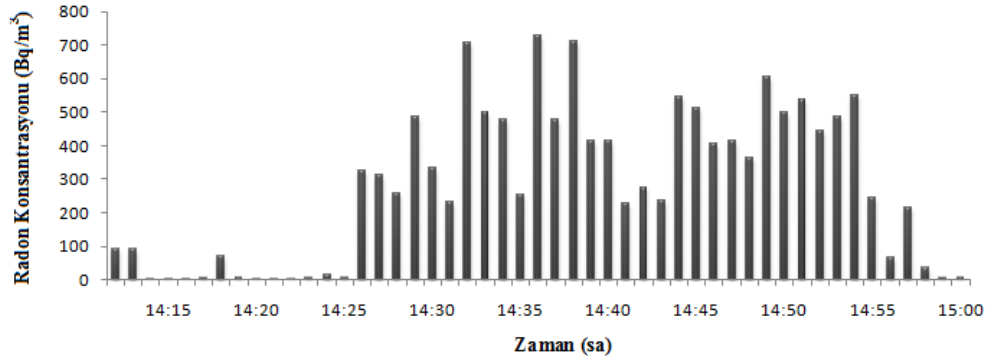


(d)

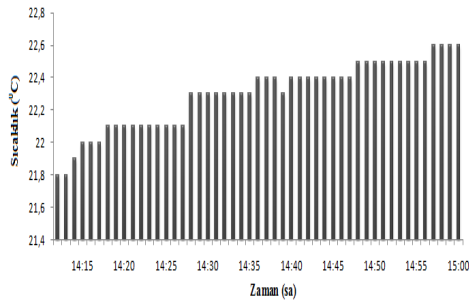
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	32,08
^{222}Rn (Bq/m^3)	314,14
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	31,10
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	32,95

(e)

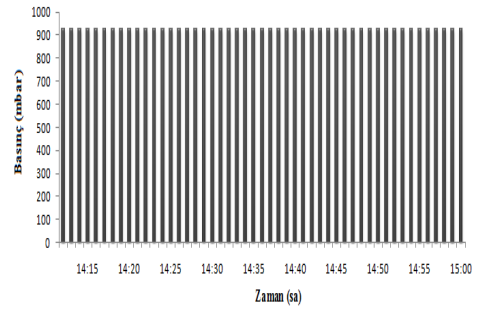
Şekil 4.39 Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri



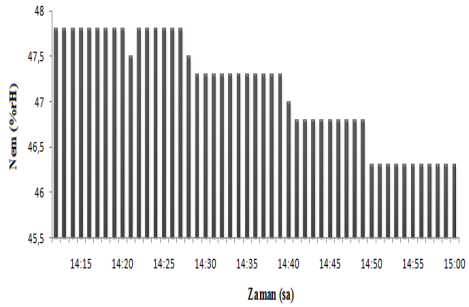
(a)



(b)



(c)

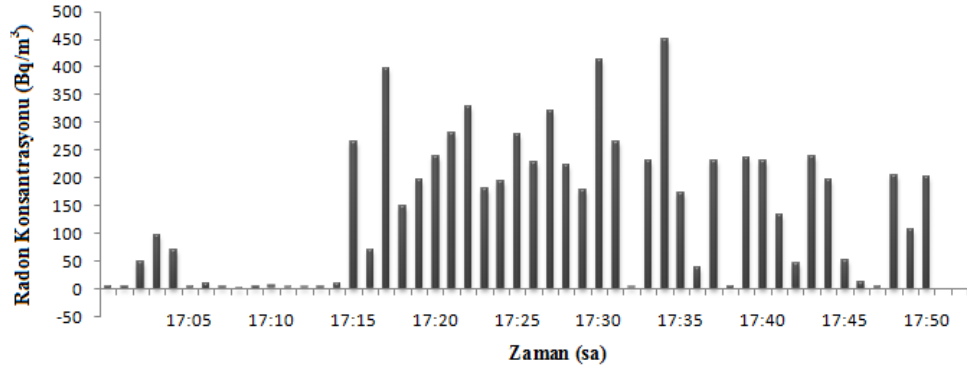


(d)

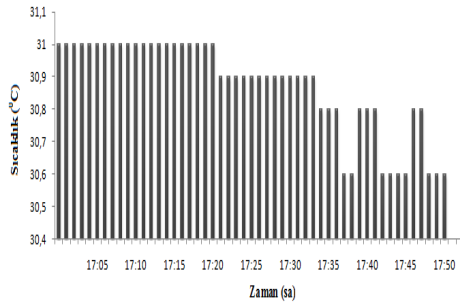
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	11,14
^{222}Rn (Bq/m^3)	432,47
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	22,29
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	47,13

(e)

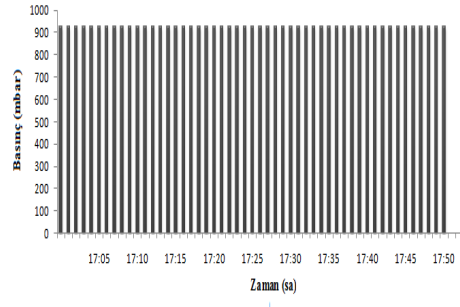
Şekil 4.40 İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



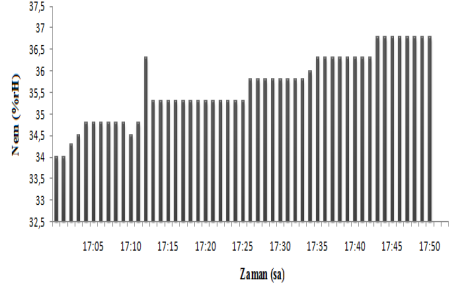
(a)



(b)



(c)

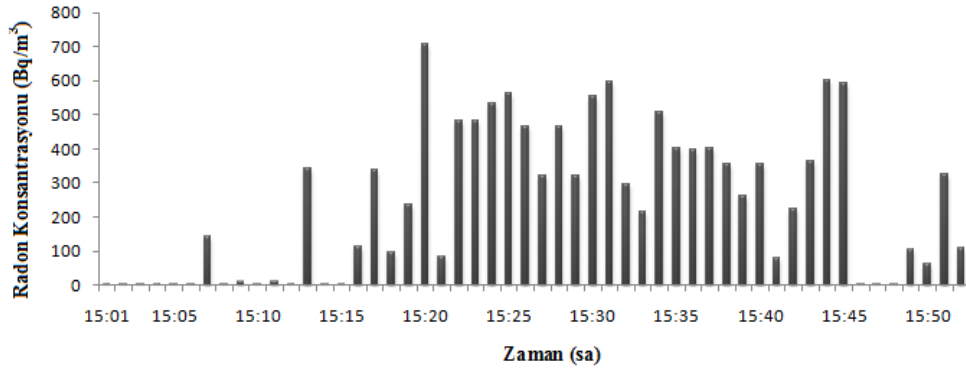


(d)

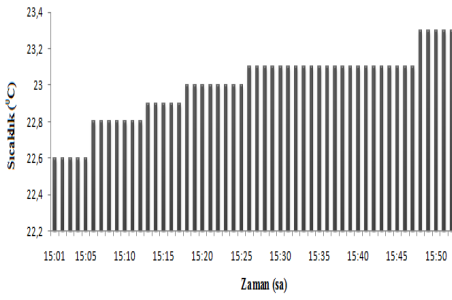
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	11,14
^{222}Rn (Bq/m^3)	432,47
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	22,29
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	47,13

(e)

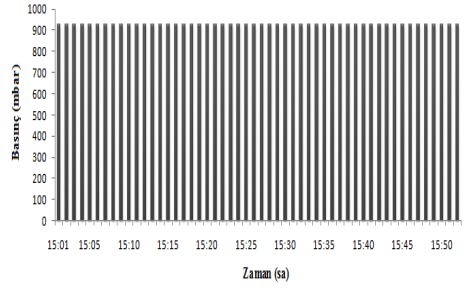
Şekil 4.41 Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



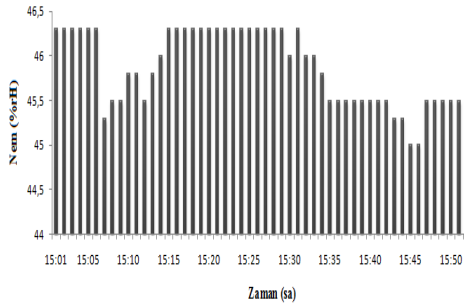
(a)



(b)



(c)

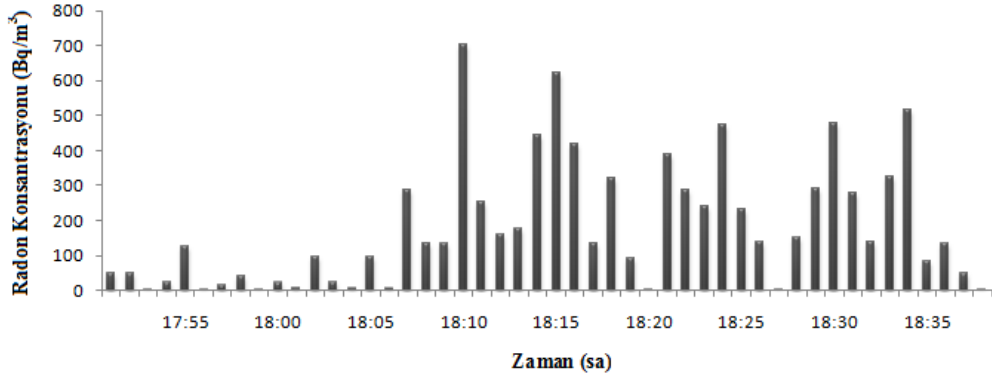


(d)

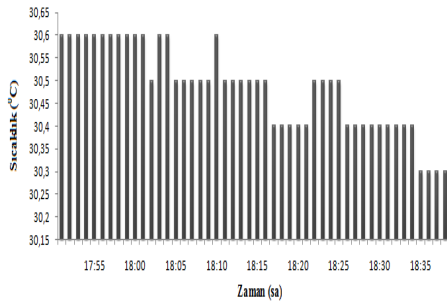
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	18,40
^{222}Rn (Bq/m^3)	380,10
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	45,8

(e)

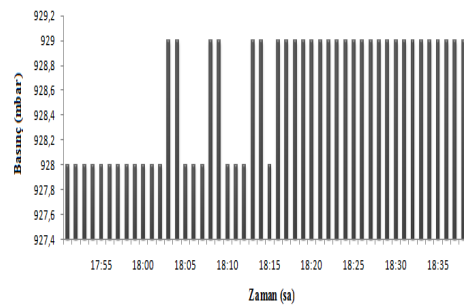
Şekil 4.42 İlkbahar ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



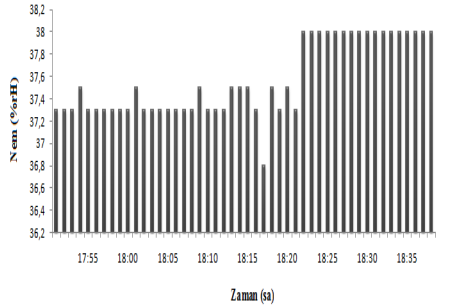
(a)



(b)



(c)

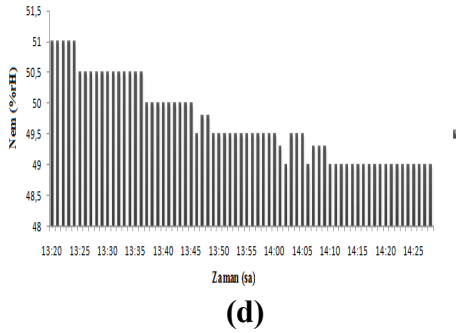
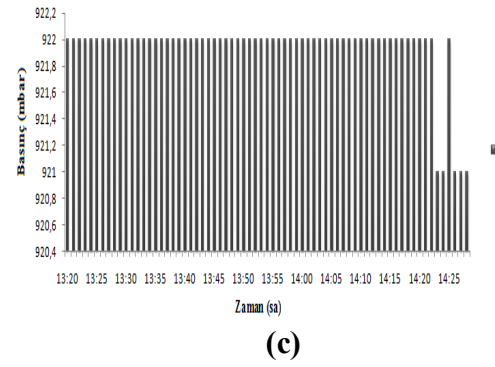
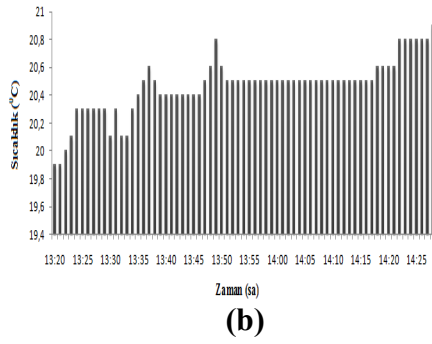
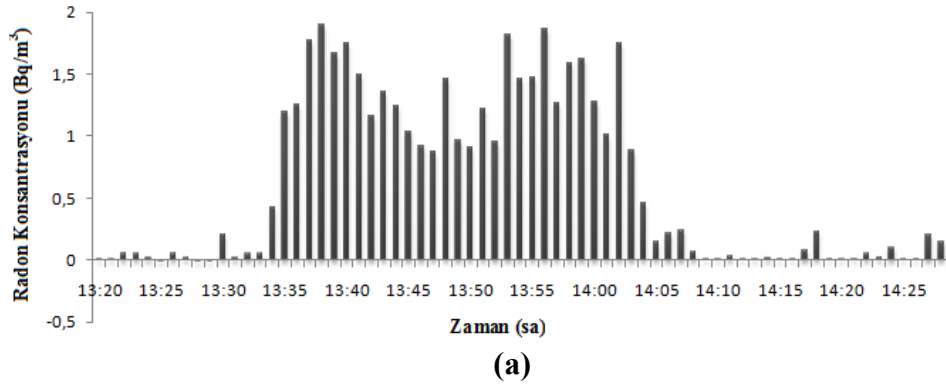


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	34,61
^{222}Rn (Bq/m^3)	264,68
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	30,48
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	37,57

(e)

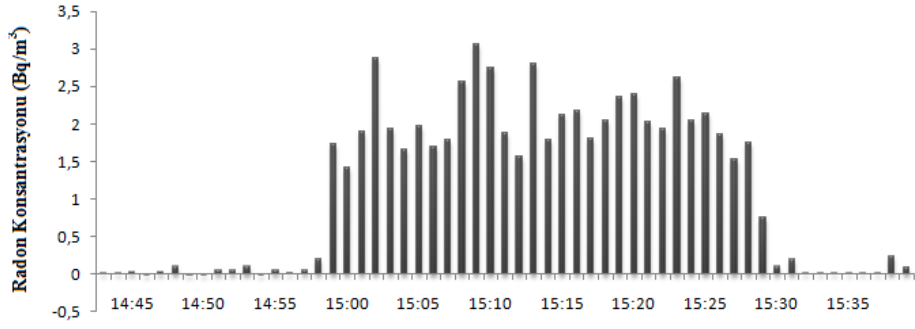
Şekil 4.43 Yaz ölçümü, Ilgaz ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



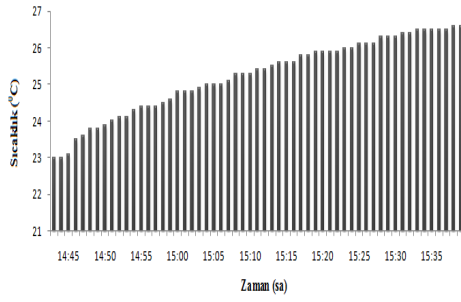
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	42,66
^{222}Rn (Bq/m^3)	1318,93
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	20,46
Basınç (mbar)	922
Bağıl Nem (%rH)	49,69

(e)

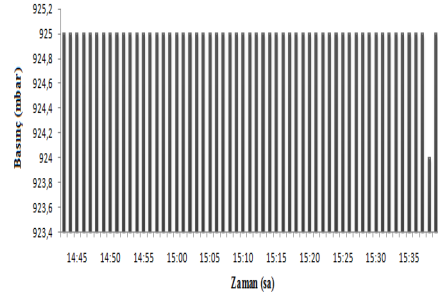
Şekil 4.44 İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



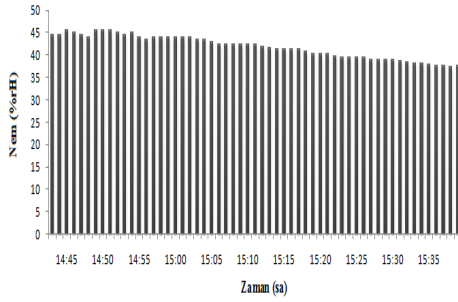
(a)



(b)



(c)

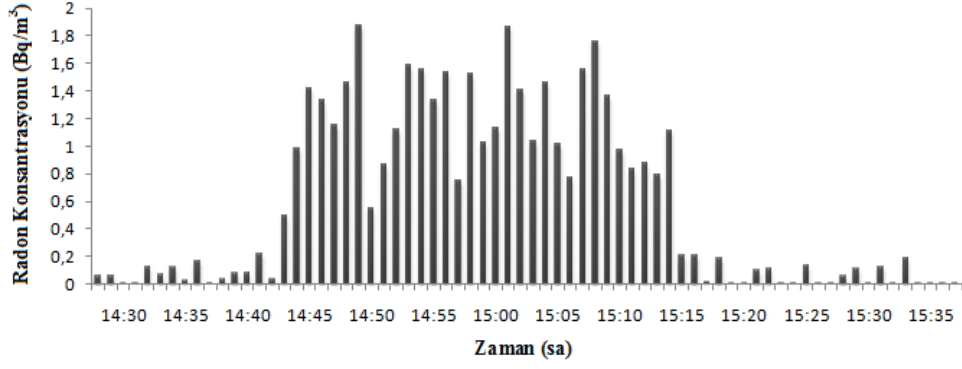


(d)

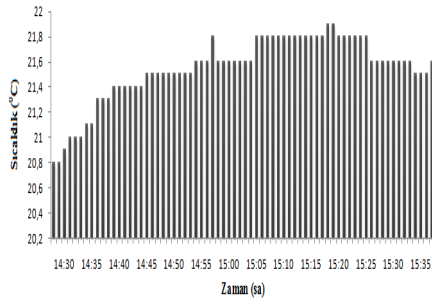
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	36,12
^{222}Rn (Bq/m^3)	2071,47
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,22
Basınç (mbar)	925
Bağıl Nem (%rH)	41,72

(e)

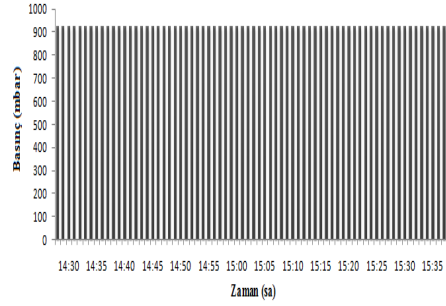
Şekil 4.45 Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



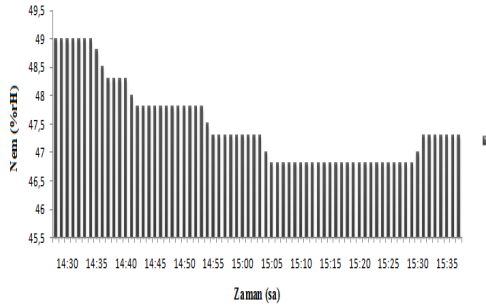
(a)



(b)



(c)

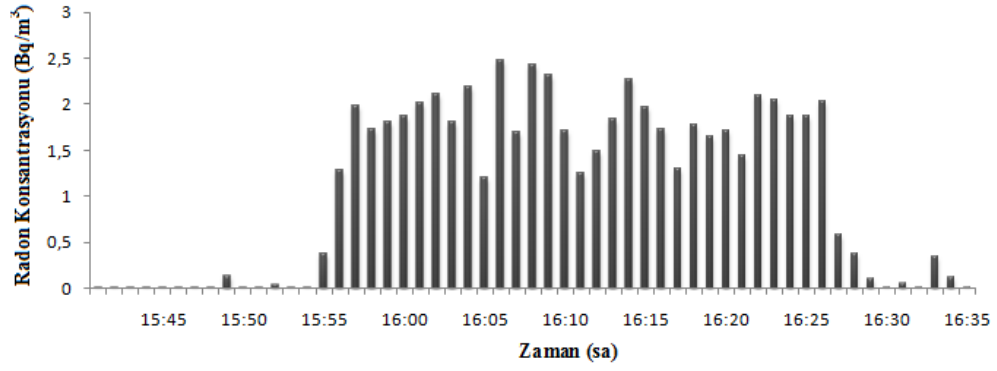


(d)

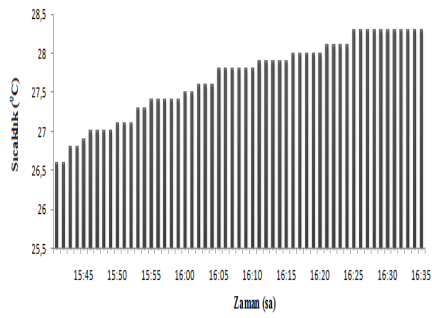
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	64,33
^{222}Rn (Bq/m^3)	1234,13
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,54
Basınç (mbar)	921
Bağıl Nem (%rH)	47,47

(e)

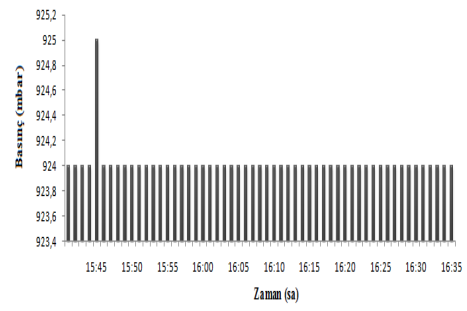
Şekil 4.46 İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



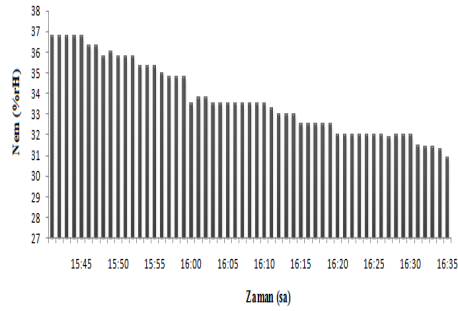
(a)



(b)



(c)

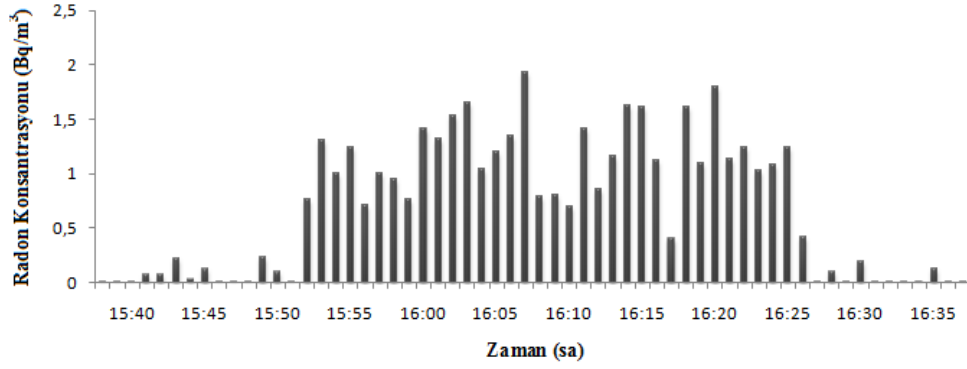


(d)

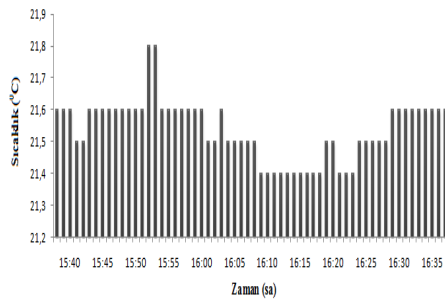
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m ³)	23,03
²²² Rn (Bq/m ³)	1833,6
Sıcaklık (°C)	27,68
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	33,69

(e)

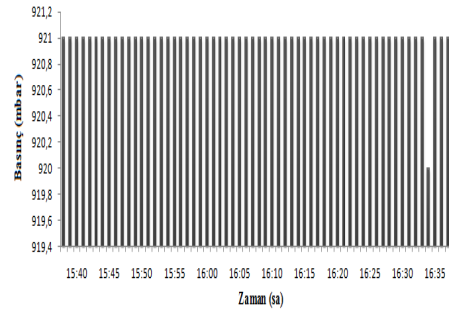
Şekil 4.47 Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu ilçesi 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



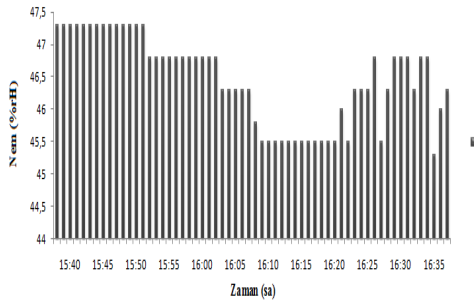
(a)



(b)



(c)

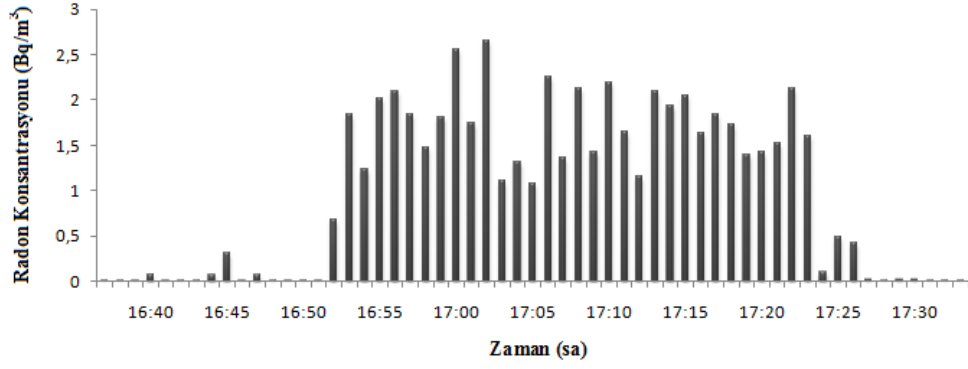


(d)

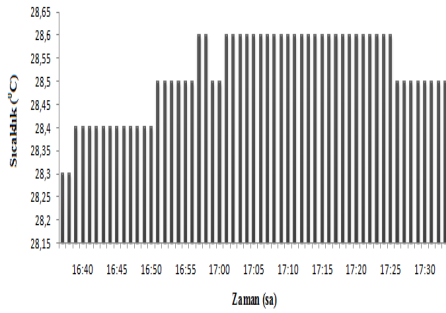
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	79,30
^{222}Rn (Bq/m^3)	1194,40
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,53
Basınç (mbar)	921
Bağıl Nem (%rH)	46,45

(e)

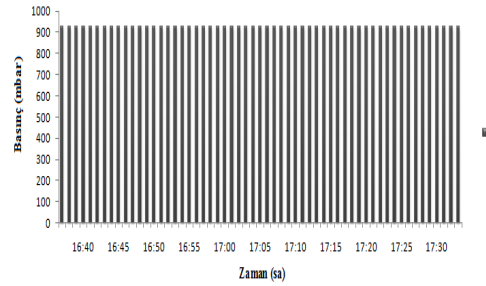
Şekil 4.48 İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



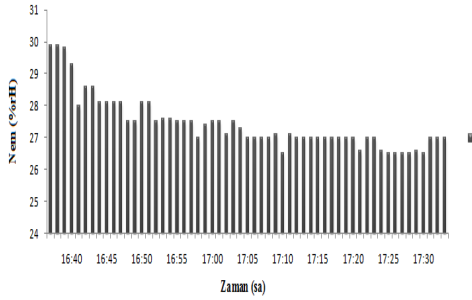
(a)



(b)



(c)

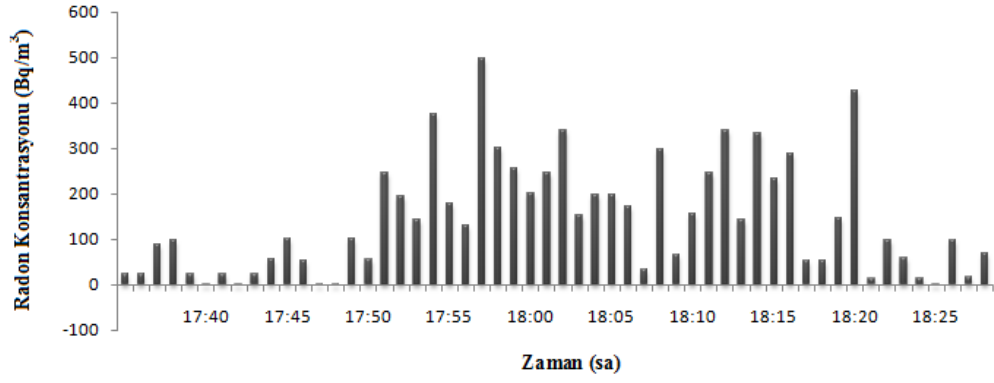


(d)

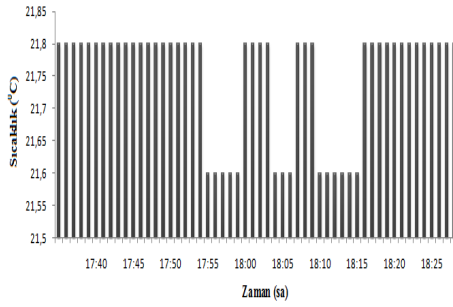
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	61,68
^{222}Rn (Bq/m^3)	1749,33
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	28,51
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	27,42

(e)

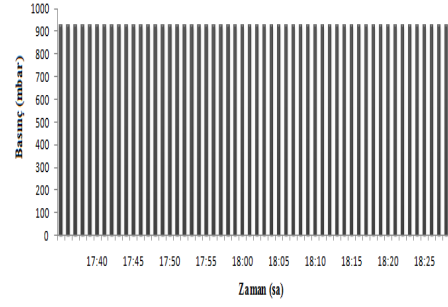
Şekil 4.49 Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



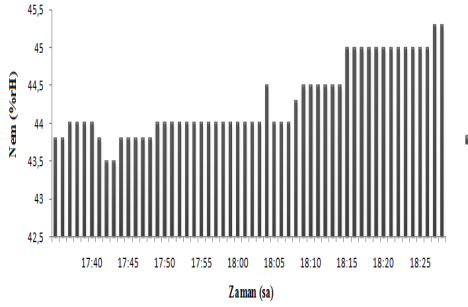
(a)



(b)



(c)

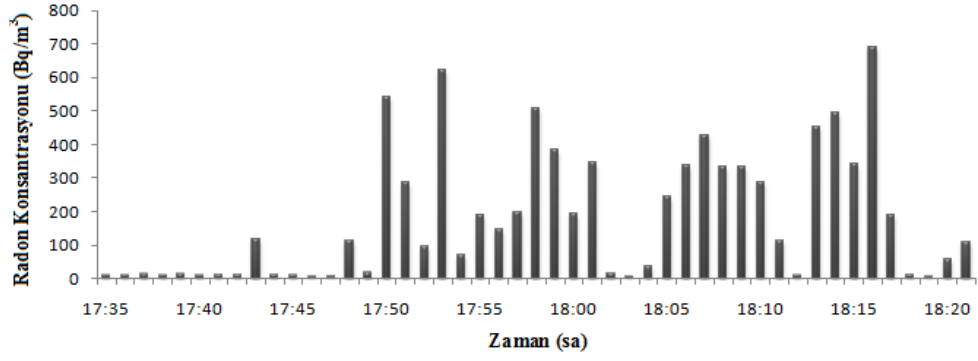


(d)

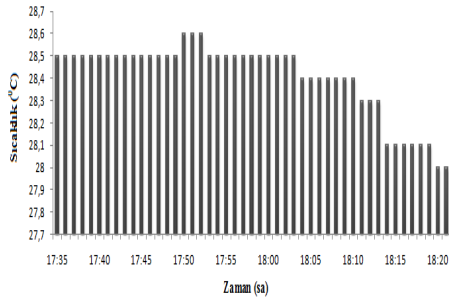
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	46,31
^{222}Rn (Bq/m^3)	220,93
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,74
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	44,29

(e)

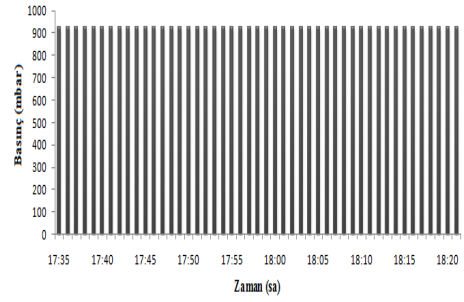
Şekil 4.50 İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



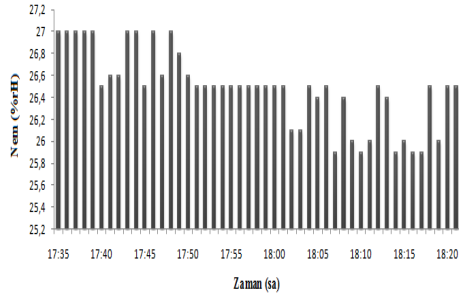
(a)



(b)



(c)

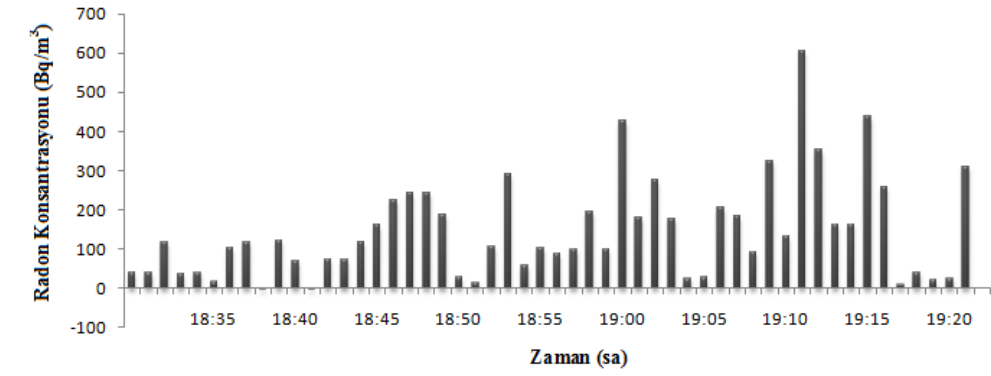


(d)

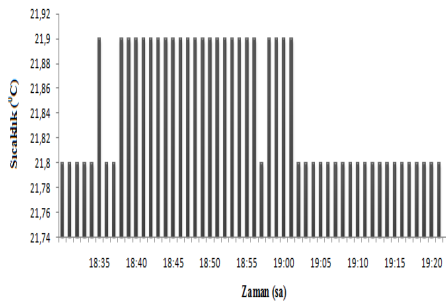
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	22,77
^{222}Rn (Bq/m^3)	267,84
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	28,40
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	26,48

(e)

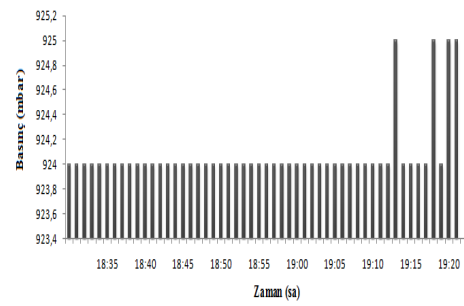
Şekil 4.51 Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



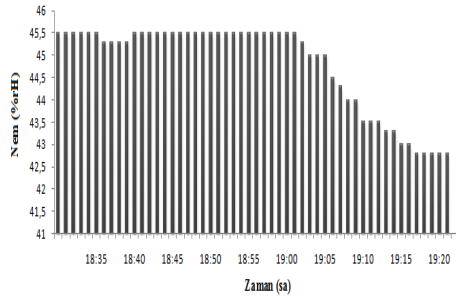
(a)



(b)



(c)

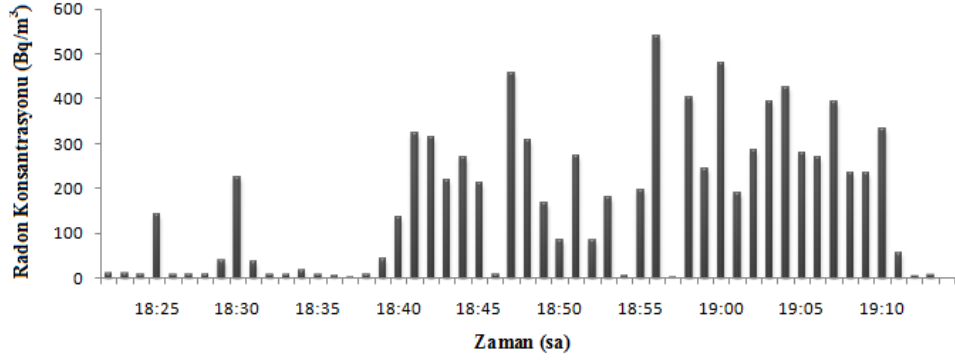


(d)

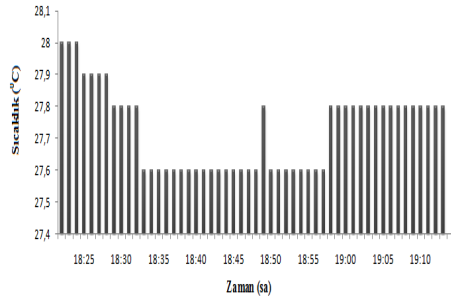
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	61,61
^{222}Rn (Bq/m^3)	180,47
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,84
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	44,79

(e)

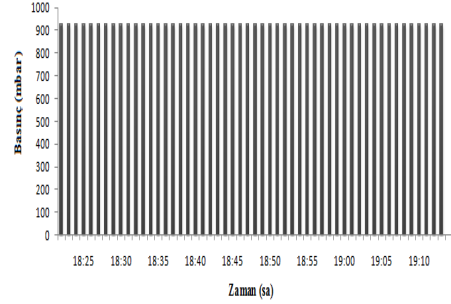
Şekil 4.52 İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



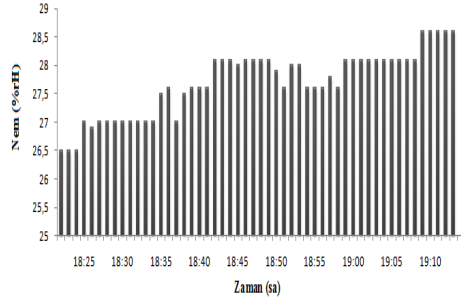
(a)



(b)



(c)

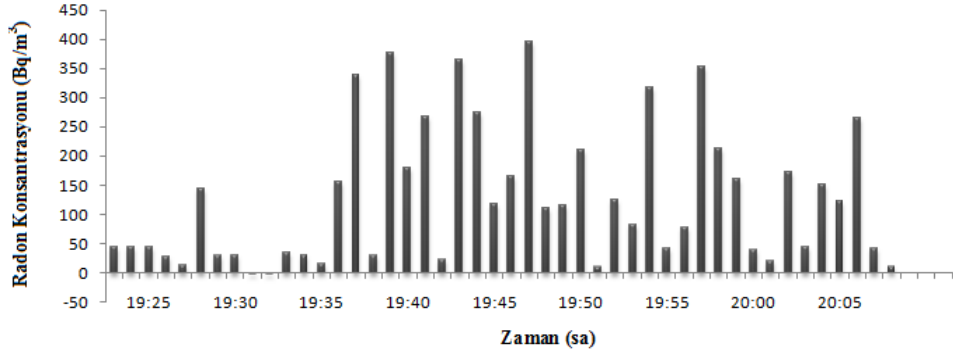


(d)

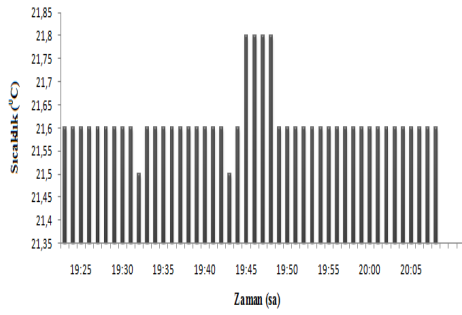
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m ³)	49,57
²²² Rn (Bq/m ³)	253,98
Sıcaklık (°C)	27,72
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	27,69

(e)

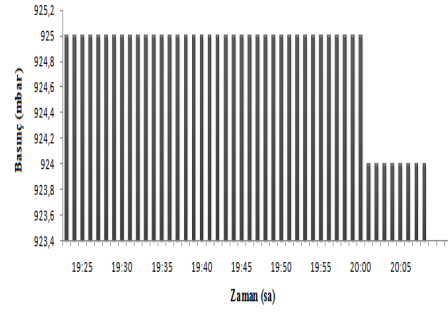
Şekil 4.53 Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



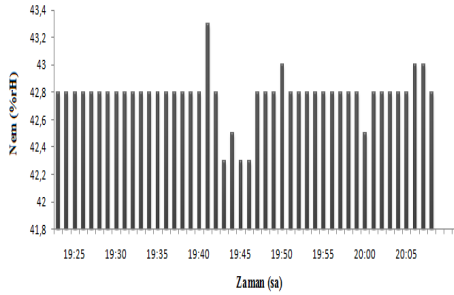
(a)



(b)



(c)

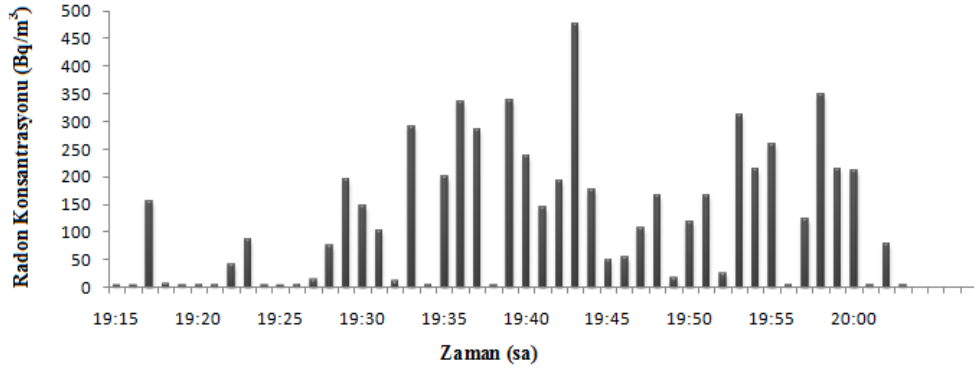


(d)

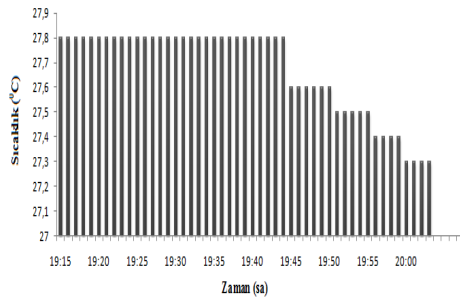
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	35,07
^{222}Rn (Bq/m^3)	168,27
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,61
Basınç (mbar)	925
Bağıl Nem (%rH)	42,77

(e)

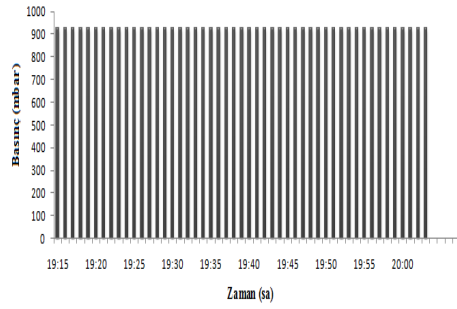
Şekil 4.54 İlkbahar ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



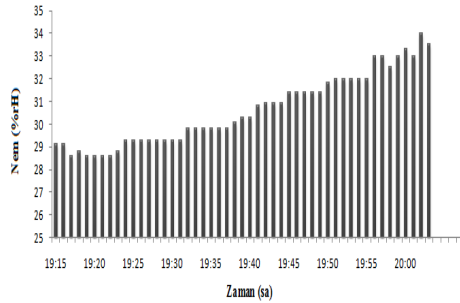
(a)



(b)



(c)

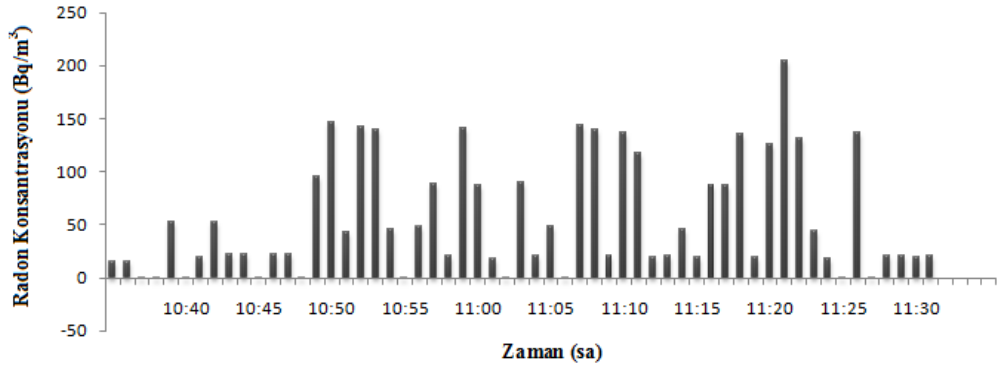


(d)

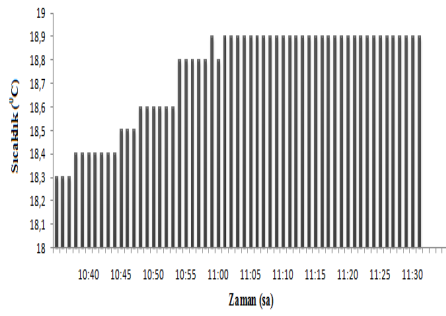
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	32,39
^{222}Rn (Bq/m^3)	161,66
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	27,67
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	30,61

(e)

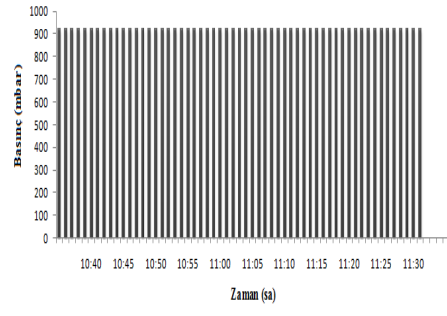
Şekil 4.55 Yaz ölçümü, İnebolu ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



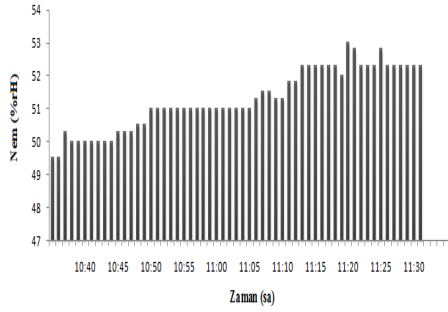
(a)



(b)



(c)

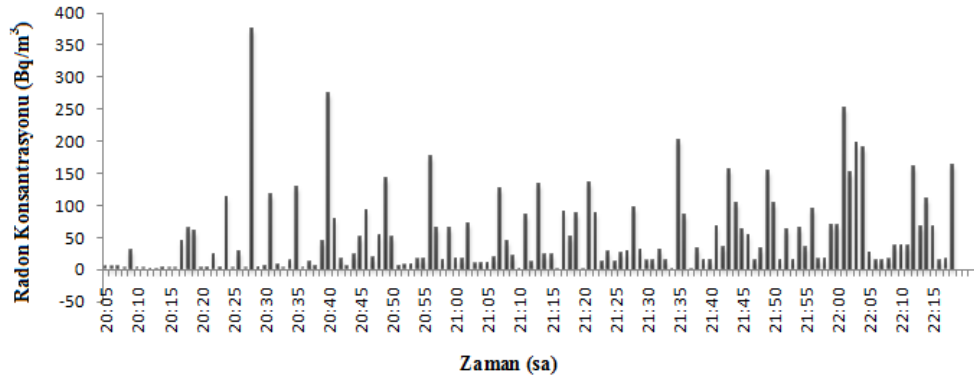


(d)

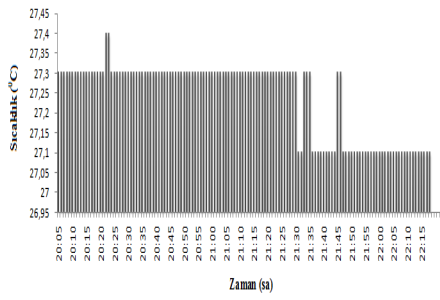
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	18,90
^{222}Rn (Bq/m^3)	71,65
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	18,74
Basınç (mbar)	922
Bağıl Nem (%rH)	51,27

(e)

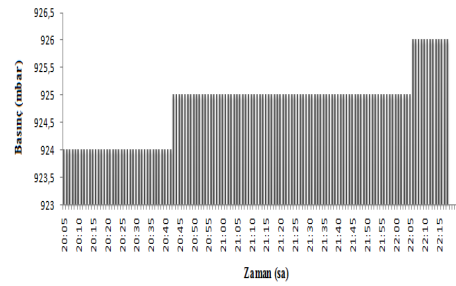
Şekil 4.56 İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



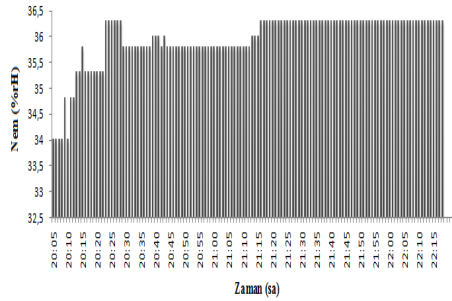
(a)



(b)



(c)

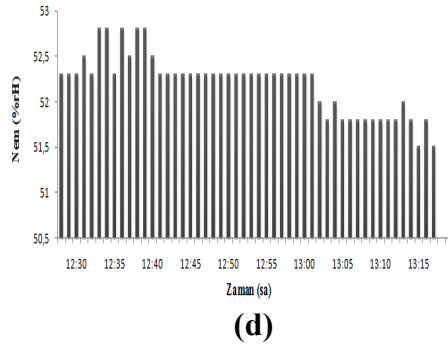
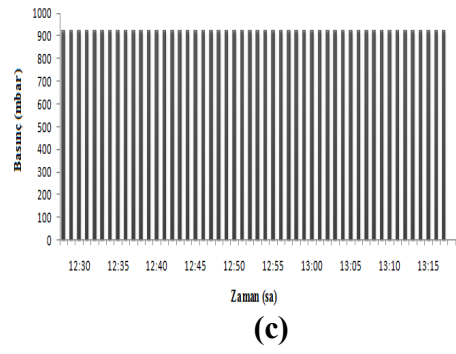
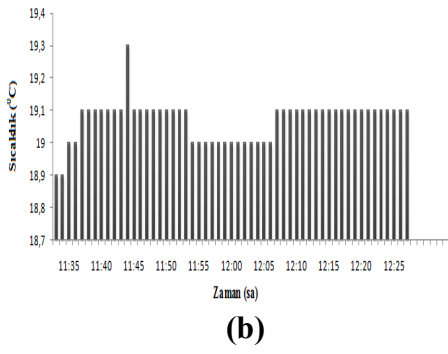
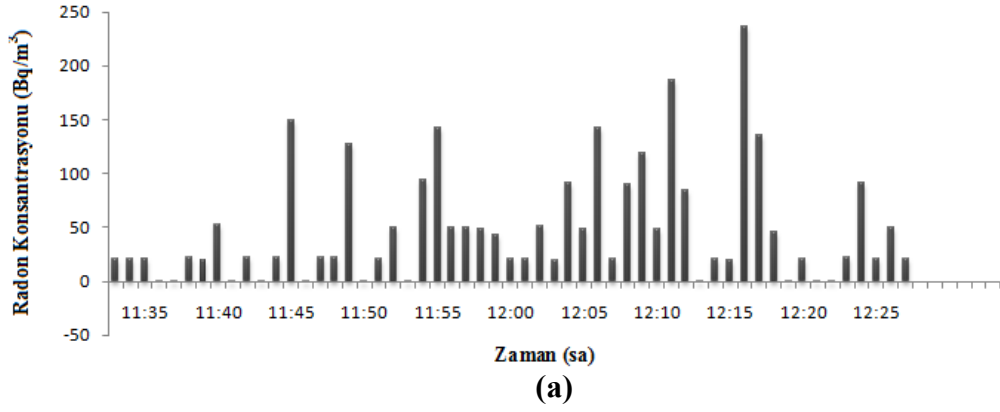


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	4,53
^{222}Rn (Bq/m^3)	52,59
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	27,23
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	35,94

(e)

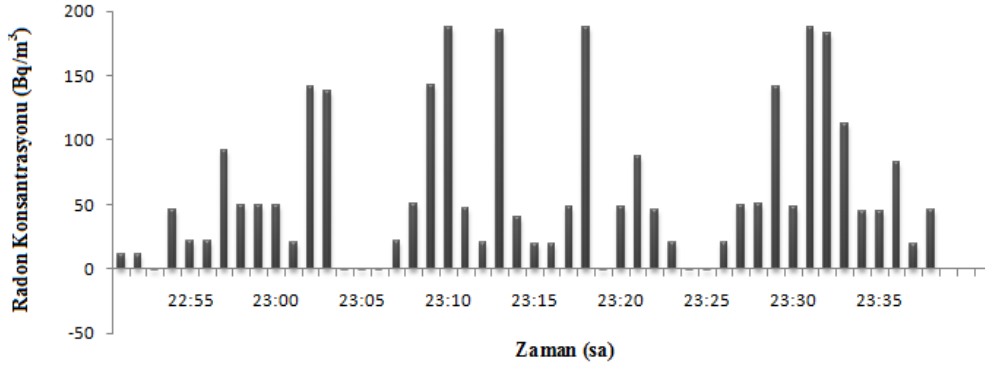
Şekil 4.57 Yaz ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



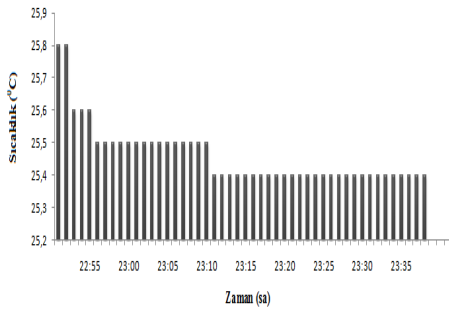
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	15,91
^{222}Rn (Bq/m^3)	62,90
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	19,06
Basınç (mbar)	922
Bağıl Nem (%rH)	52,28

(e)

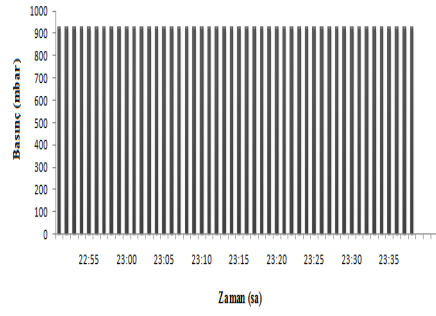
Şekil 4.58 İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



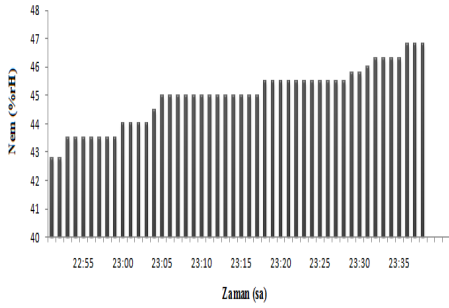
(a)



(b)



(c)

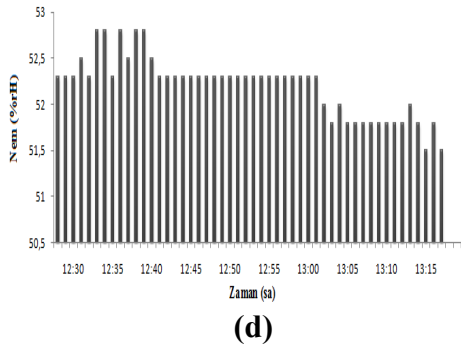
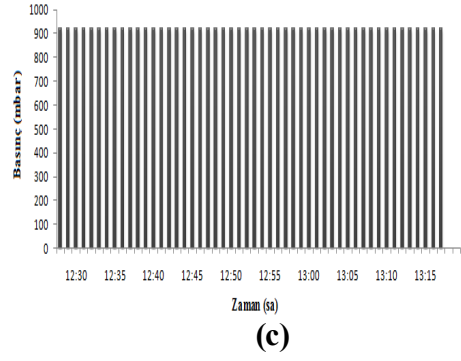
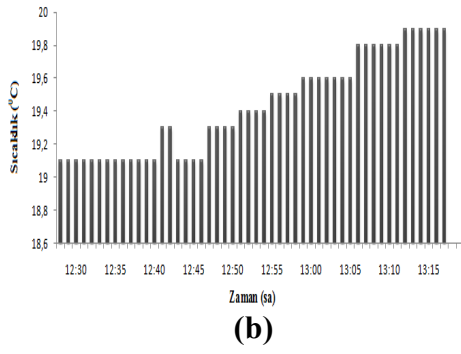
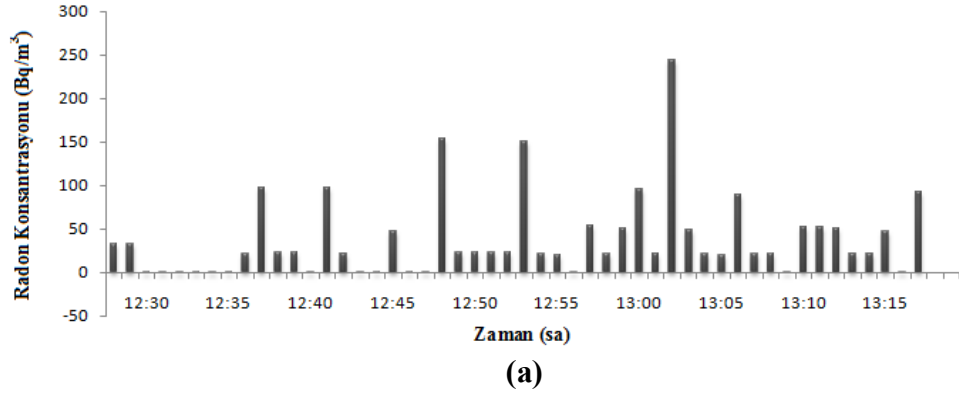


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	49,03
^{222}Rn (Bq/m^3)	71,10
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,46
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	44,98

(e)

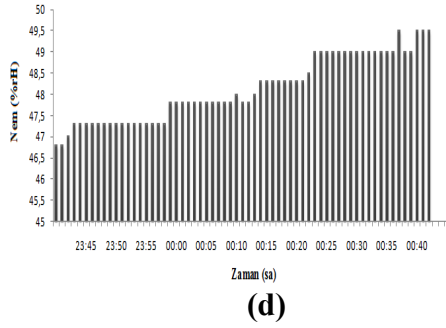
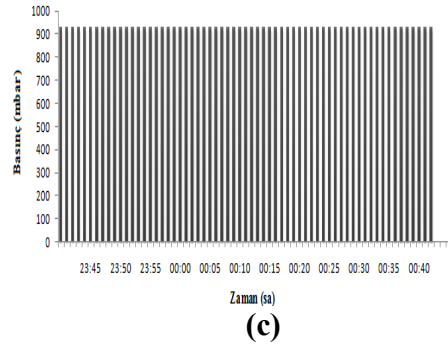
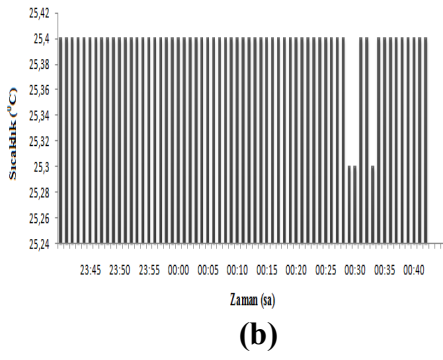
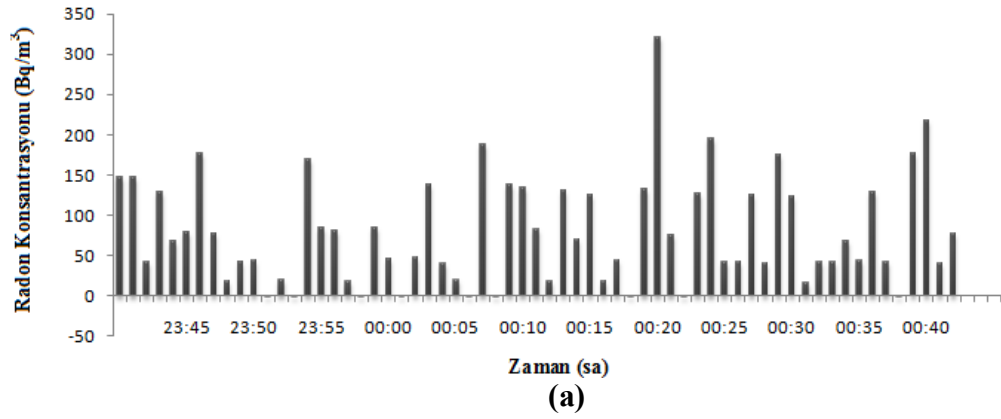
Şekil 4.59 Yaz ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	16,19
^{222}Rn (Bq/m^3)	45,20
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	19,43
Basınç (mbar)	922
Bağıl Nem (%rH)	52,20

(e)

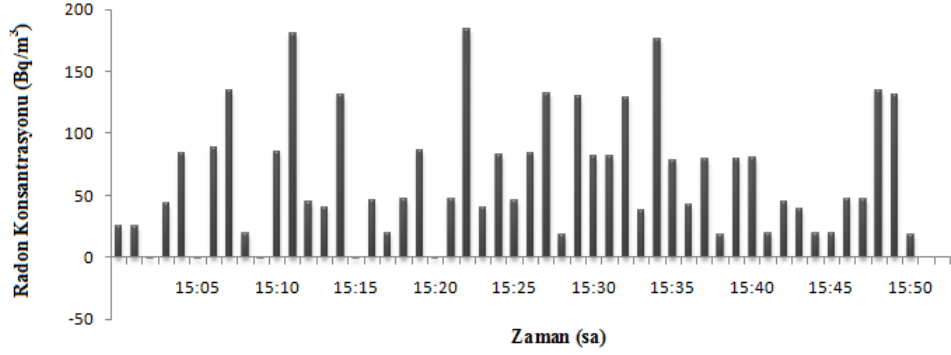
Şekil 4.60 İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



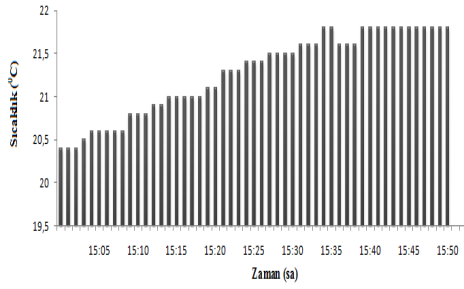
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	67,74
^{222}Rn (Bq/m^3)	77,66
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,39
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	48,12

(e)

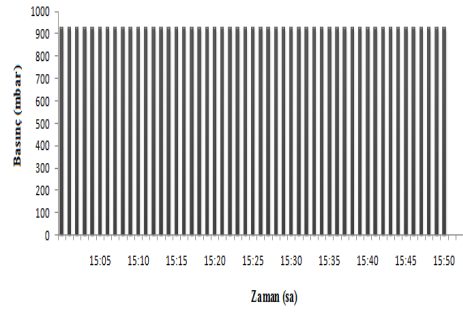
Şekil 4.61 Yaz ölçümü, Küre ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



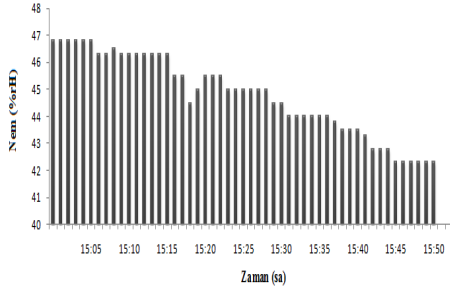
(a)



(b)



(c)

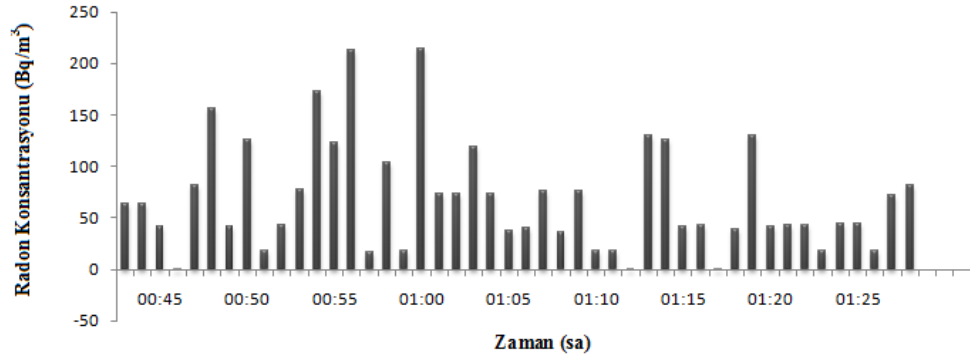


(d)

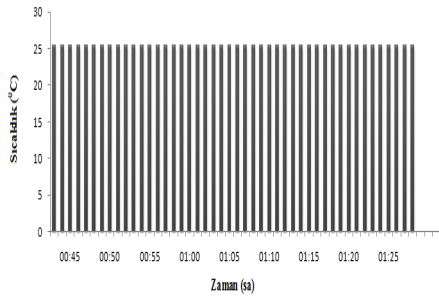
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	63,47
^{222}Rn (Bq/m^3)	69,29
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,27
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	44,78

(e)

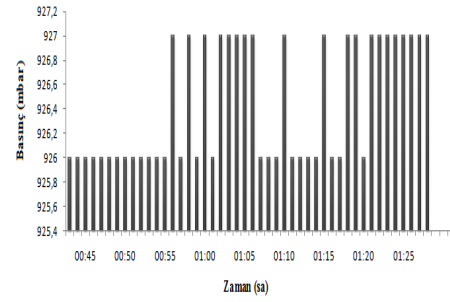
Şekil 4.62 İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



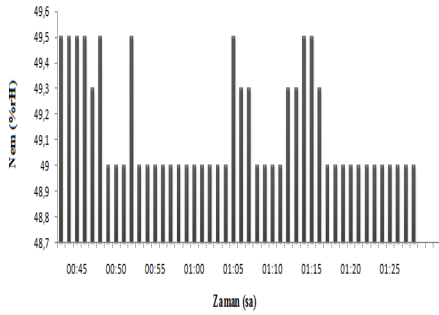
(a)



(b)



(c)

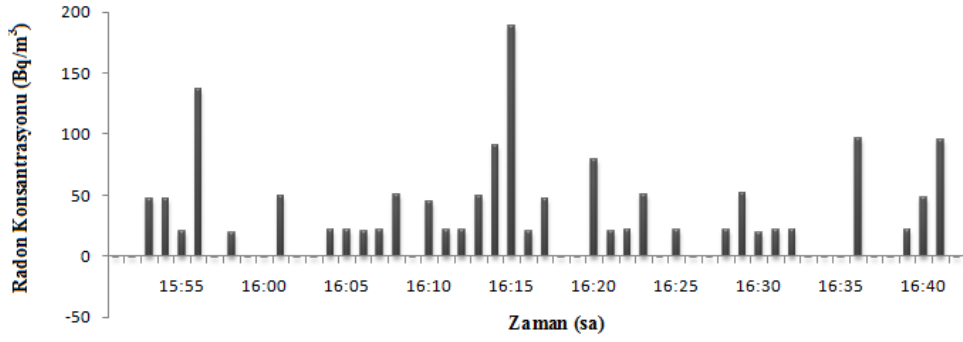


(d)

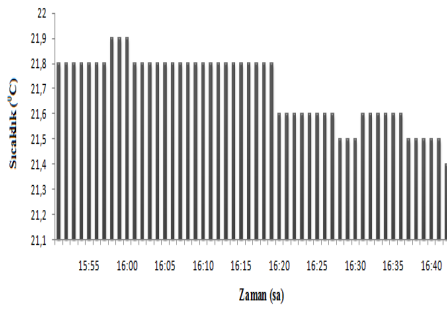
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	75,85
^{222}Rn (Bq/m^3)	64,94
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,4
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	49,13

(e)

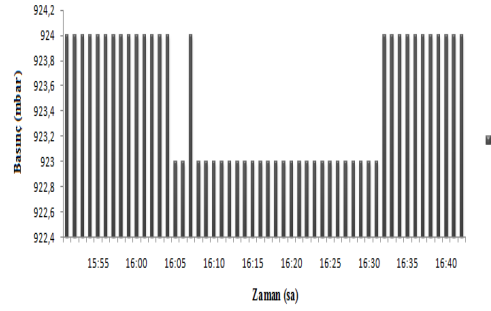
Şekil 4.63 Yaz ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu ilçesi 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



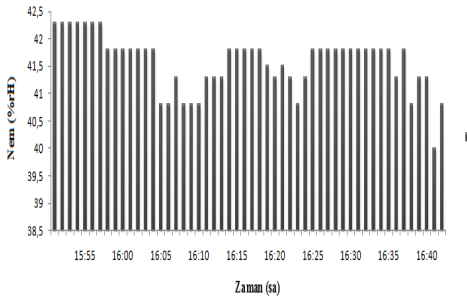
(a)



(b)



(c)

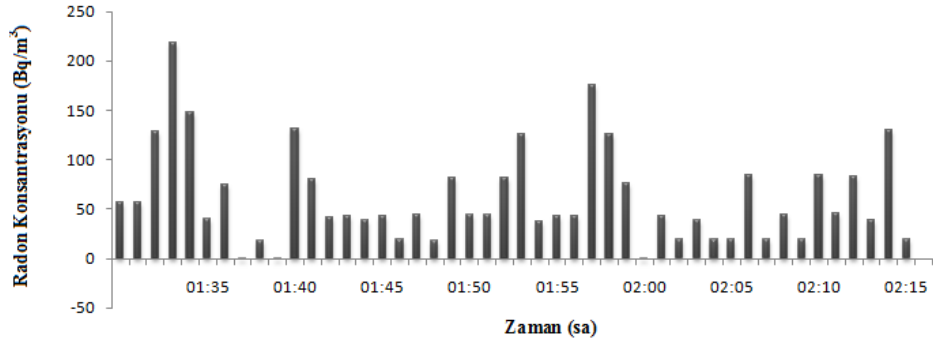


(d)

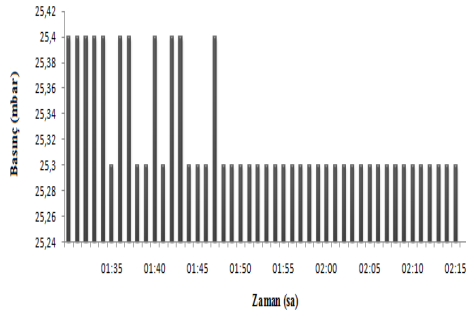
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	32,08
^{222}Rn (Bq/m^3)	31,67
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,69
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	41,57

(e)

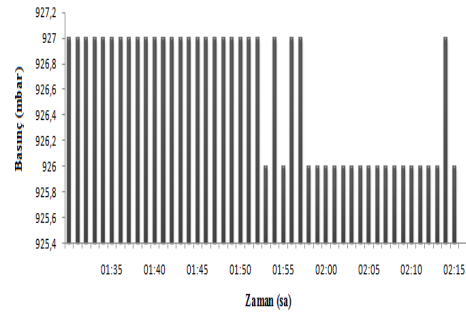
Şekil 4.64 İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



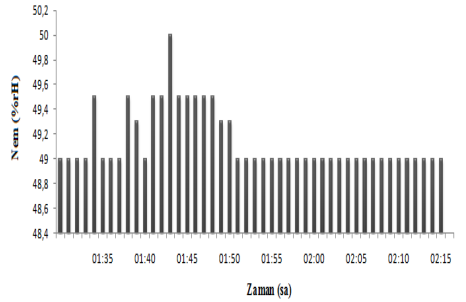
(a)



(b)



(c)

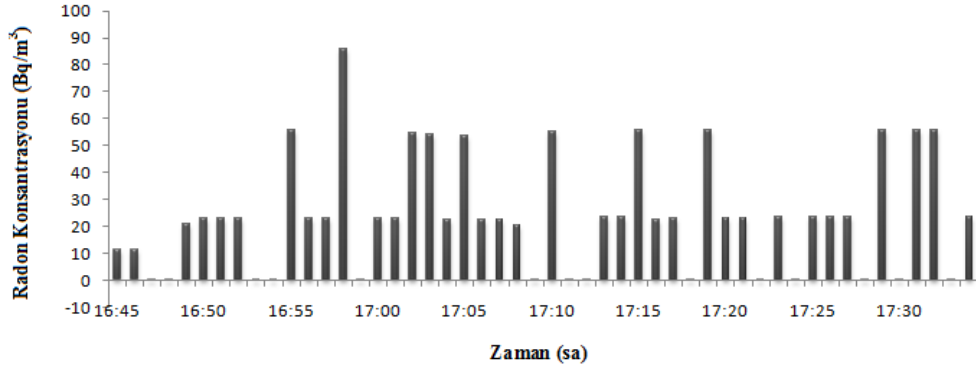


(d)

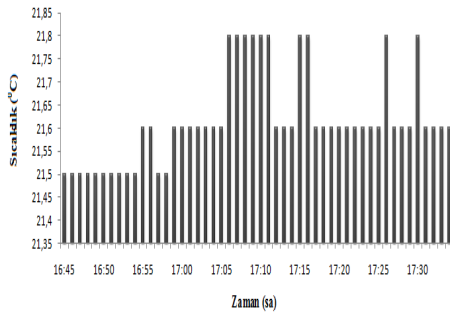
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	83,70
^{222}Rn (Bq/m^3)	52,14
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,32
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	49,13

(e)

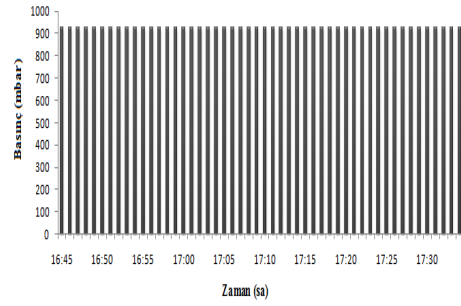
Şekil 4.65 Yaz ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



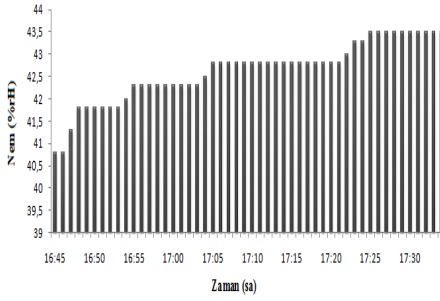
(a)



(b)



(c)

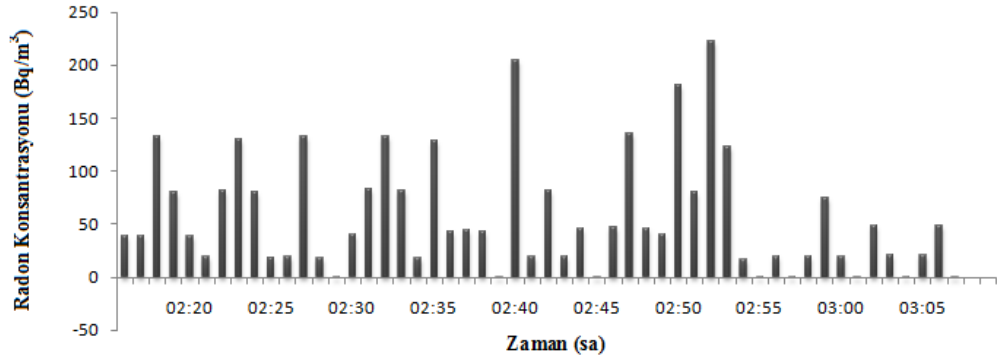


(d)

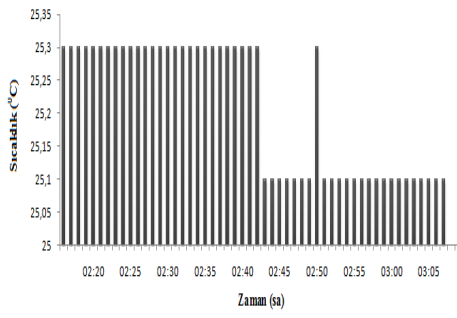
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	16,81
^{222}Rn (Bq/m^3)	25,98
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,61
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	42,62

(e)

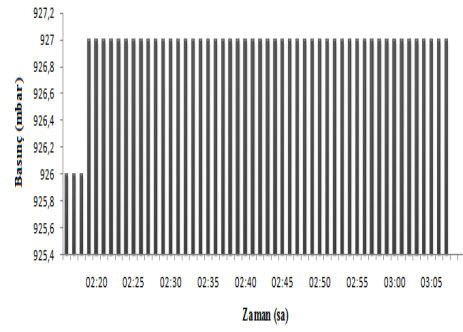
Şekil 4.66 İlkbahar ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



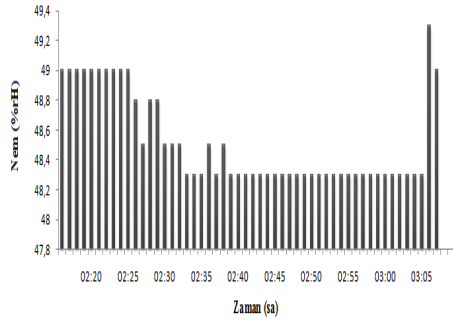
(a)



(b)



(c)

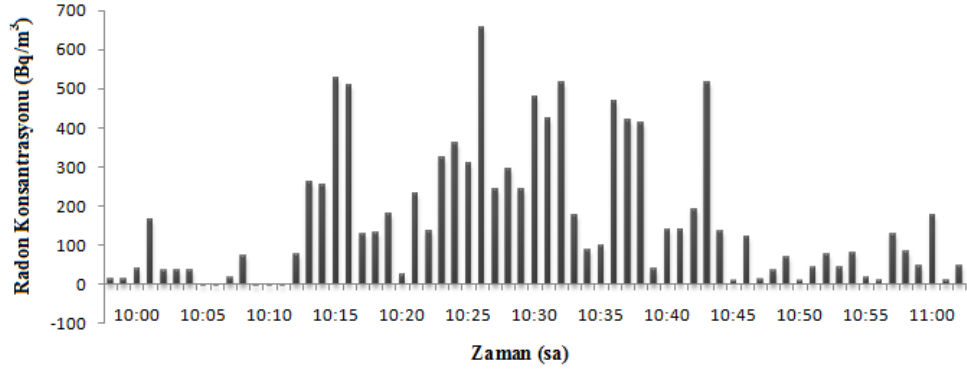


(d)

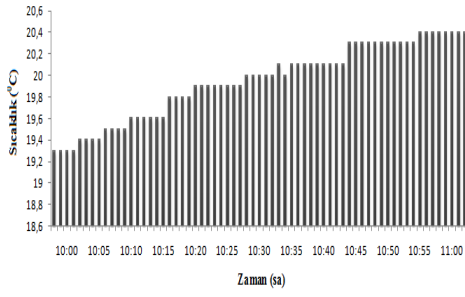
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	72,96
^{222}Rn (Bq/m^3)	66,19
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,20
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	48,51

(e)

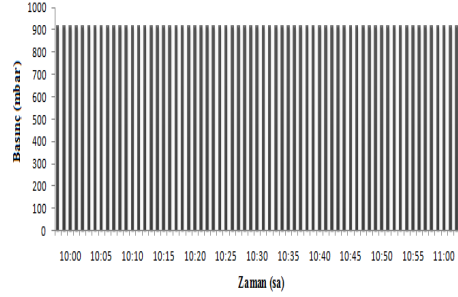
Şekil 4.67 Yaz ölçümü, Küre ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



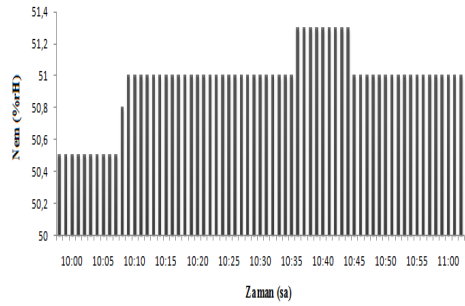
(a)



(b)



(c)

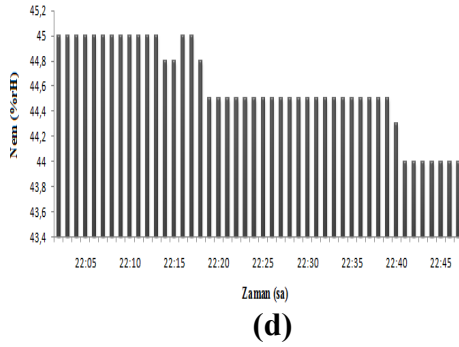
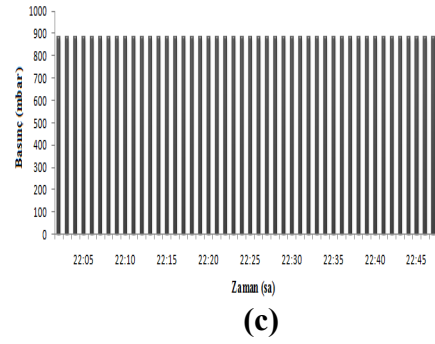
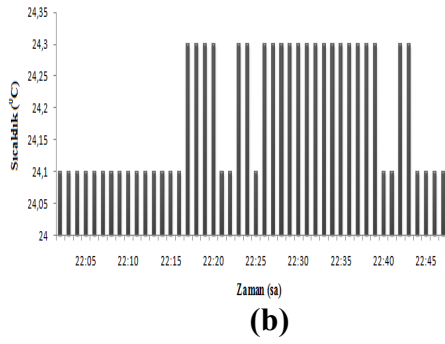
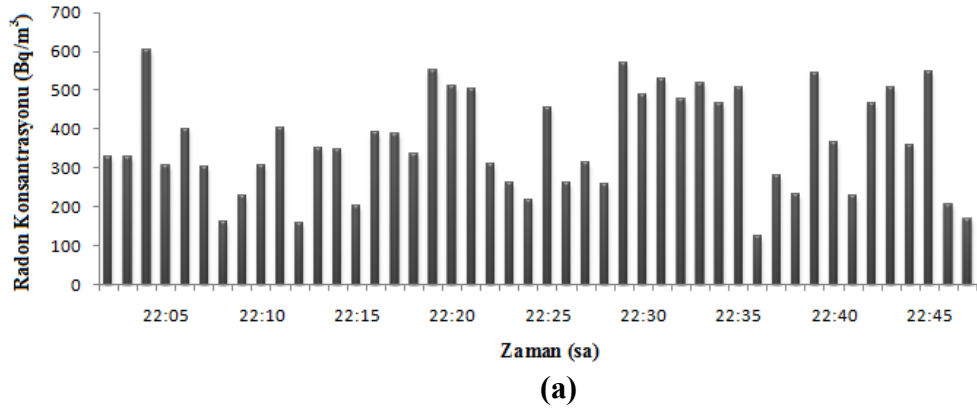


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	40,45
^{222}Rn (Bq/m^3)	279,78
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	19,94
Basınç (mbar)	918
Bağıl Nem (%rH)	50,96

(e)

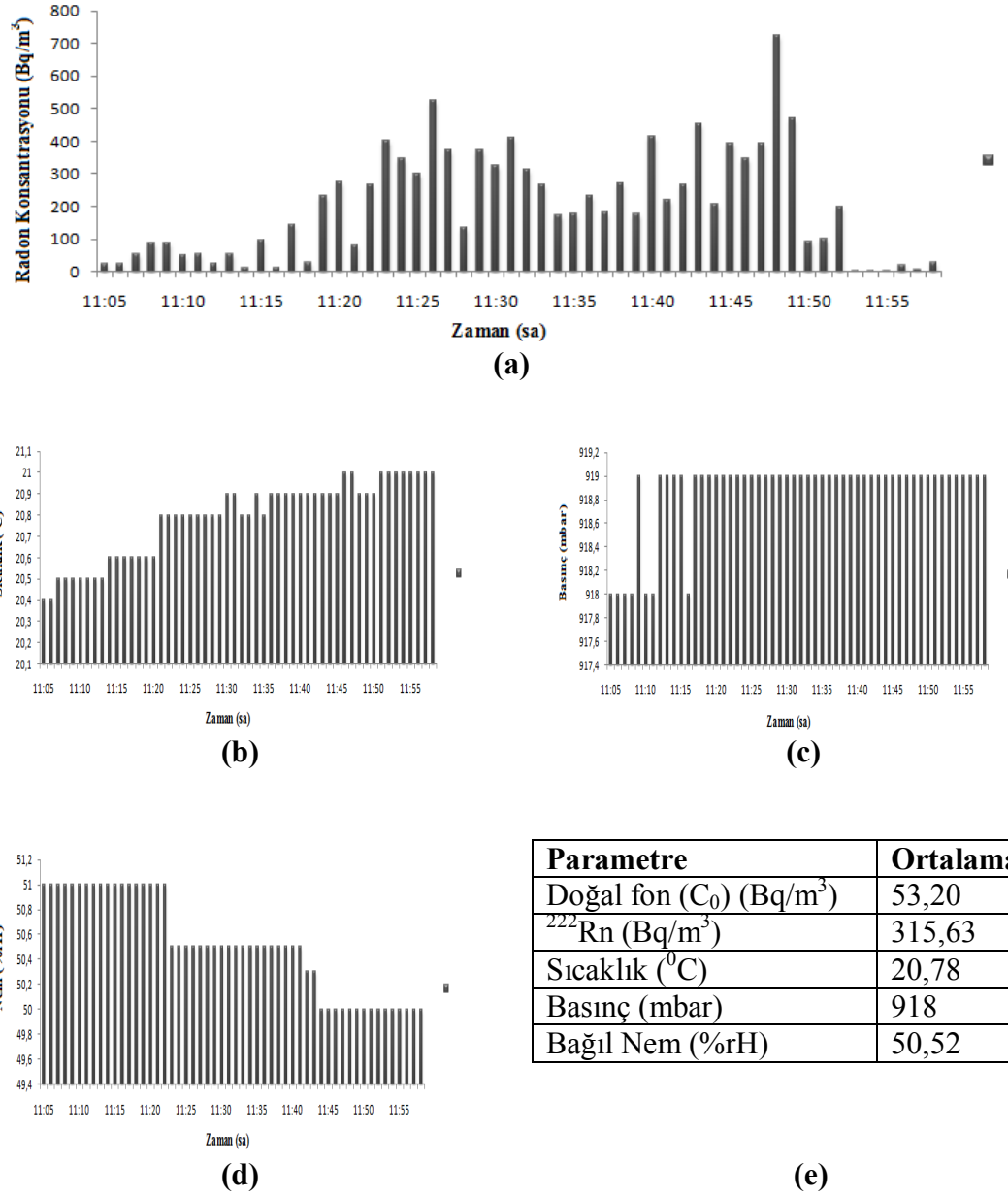
Şekil 4.68 İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



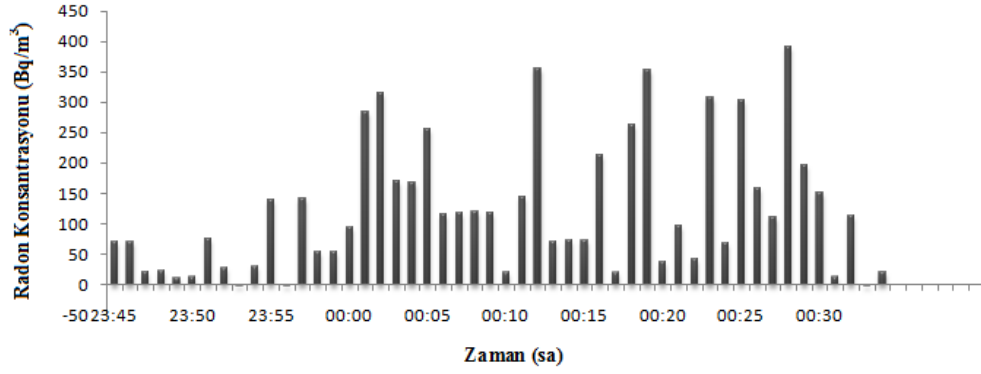
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	322,6
^{222}Rn (Bq/m^3)	388,15
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	24,19
Basınç (mbar)	883
Bağıl Nem (%rH)	44,59

(e)

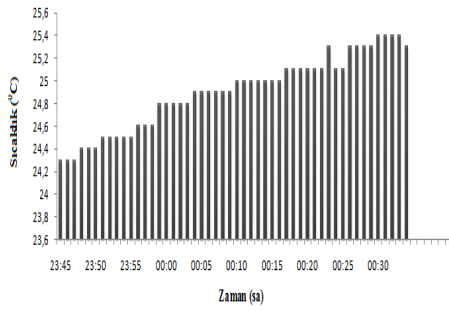
Şekil 4.69 Yaz ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



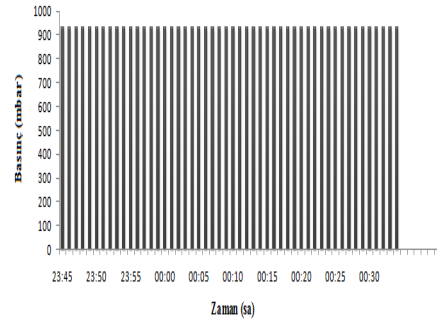
Şekil 4.70 İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



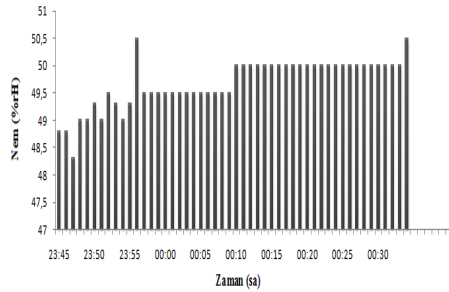
(a)



(b)



(c)

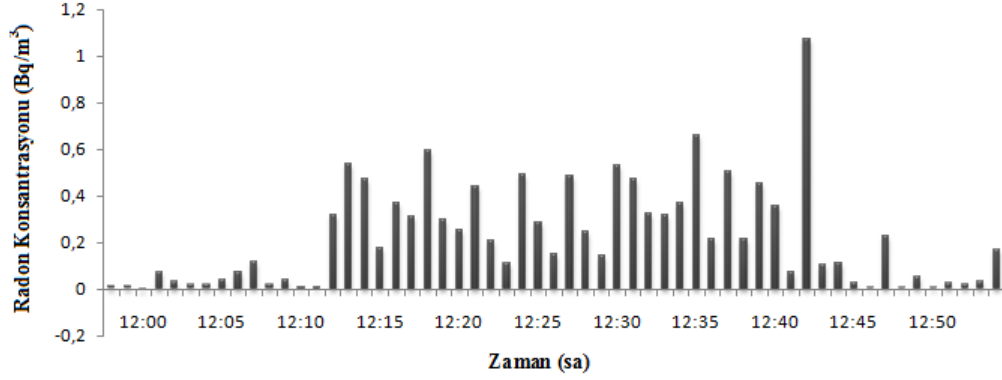


(d)

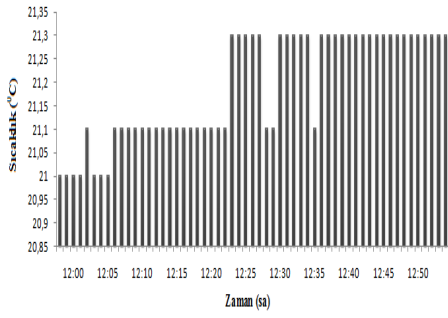
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	33,82
^{222}Rn (Bq/m^3)	168,15
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	24,9
Basınç (mbar)	933
Bağıl Nem (%rH)	49,67

(e)

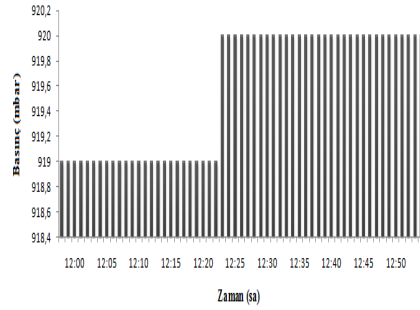
Şekil 4.71 Yaz ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



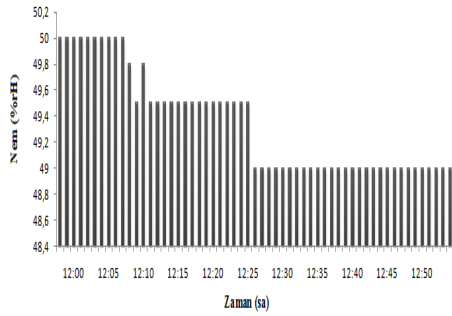
(a)



(b)



(c)

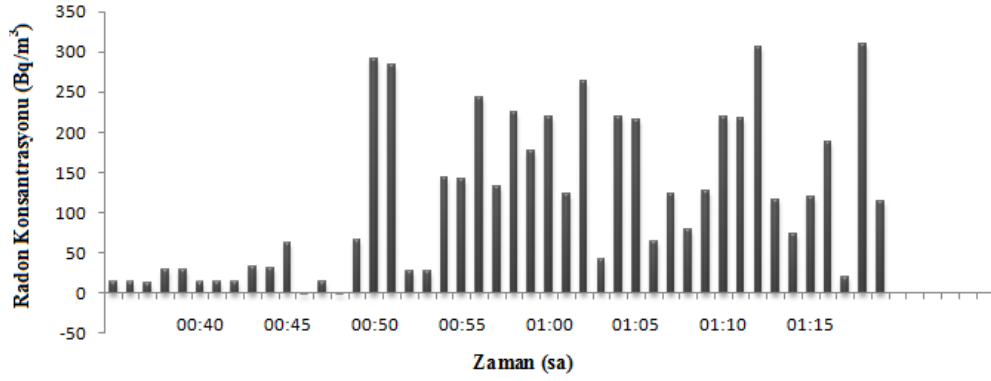


(d)

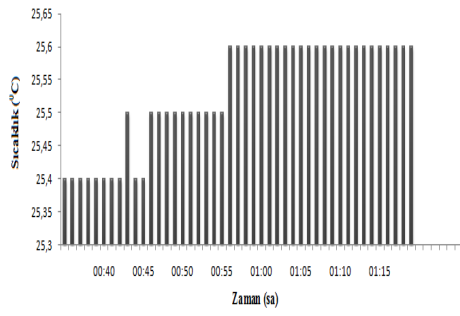
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	42,83
^{222}Rn (Bq/m^3)	370,88
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,18
Basınç (mbar)	919
Bağıl Nem (%rH)	49,34

(e)

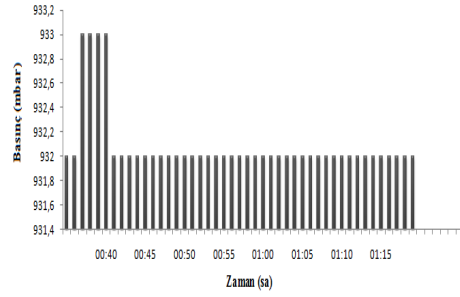
Şekil 4.72 İlbahar ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



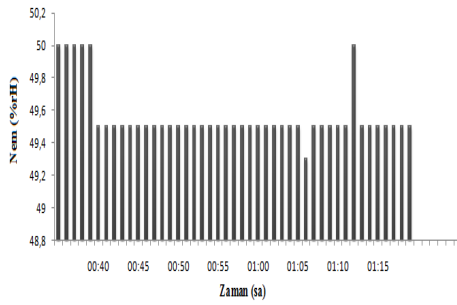
(a)



(b)



(c)

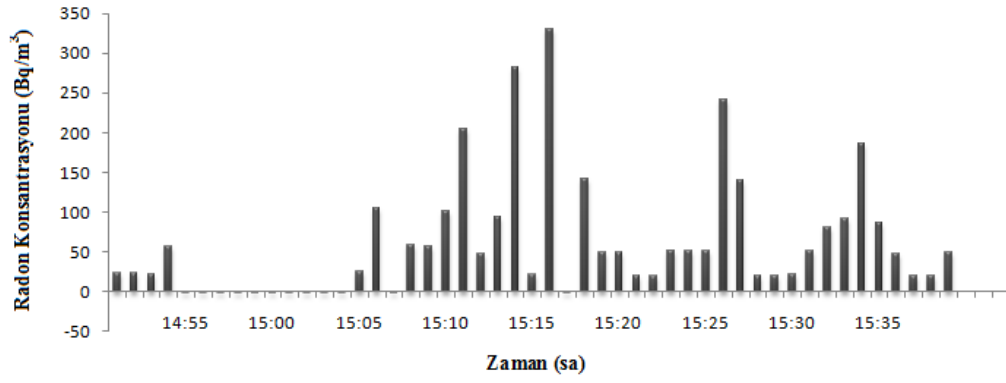


(d)

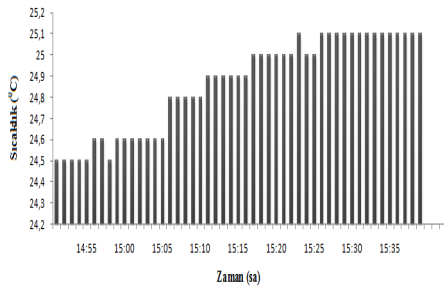
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	23,71
^{222}Rn (Bq/m^3)	161,66
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,53
Basınç (mbar)	932
Bağıl Nem (%rH)	49,56

(e)

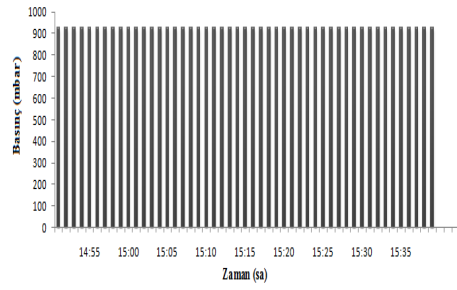
Şekil 4.73 Yaz ölçümü, Merkez ilçesi (Girdallı) musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



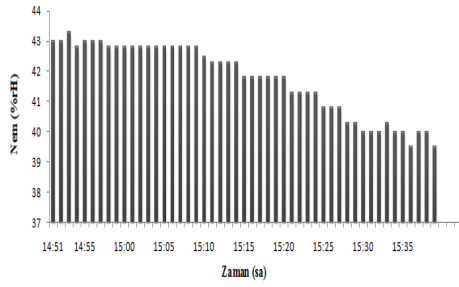
(a)



(b)



(c)

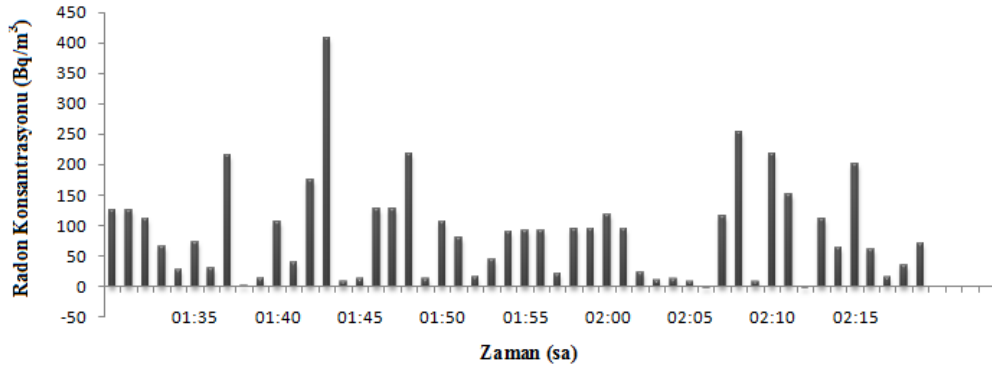


(d)

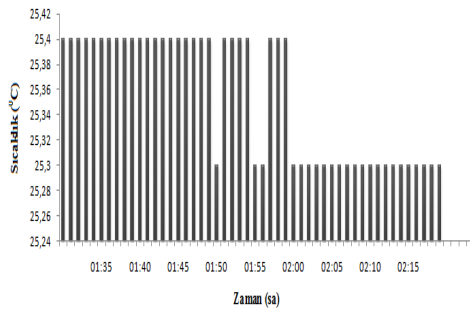
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	7,69
^{222}Rn (Bq/m^3)	84,49
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	24,8
Basınç (mbar)	925
Bağıl Nem (%rH)	41,72

(e)

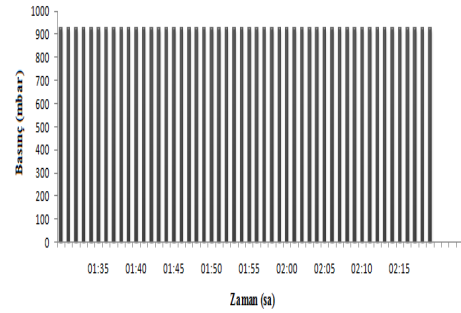
Şekil 4.74 İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



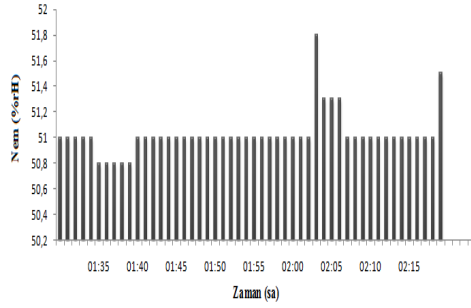
(a)



(b)



(c)

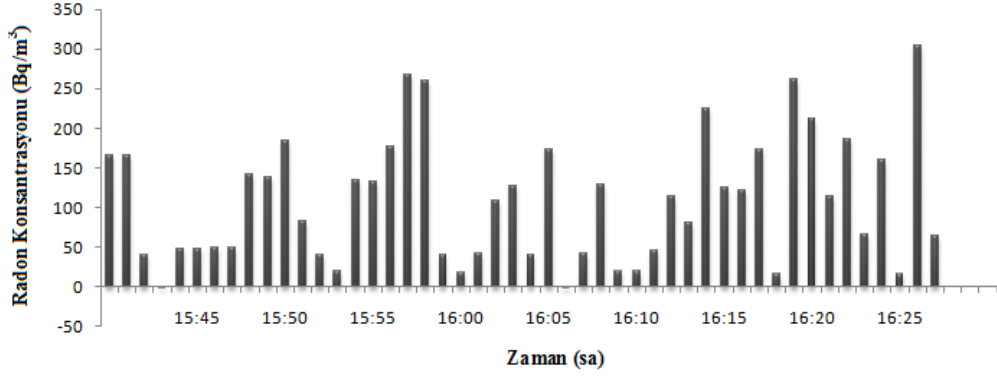


(d)

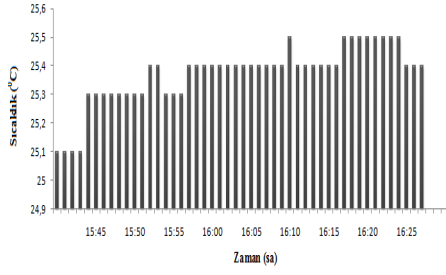
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	68,31
^{222}Rn (Bq/m^3)	88,2
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,84
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	51,02

(e)

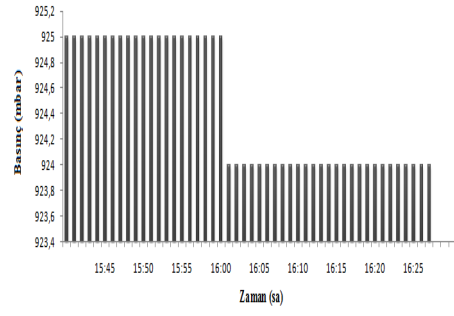
Şekil 4.75 Yaz ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



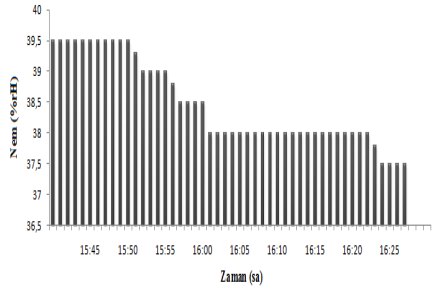
(a)



(b)



(c)

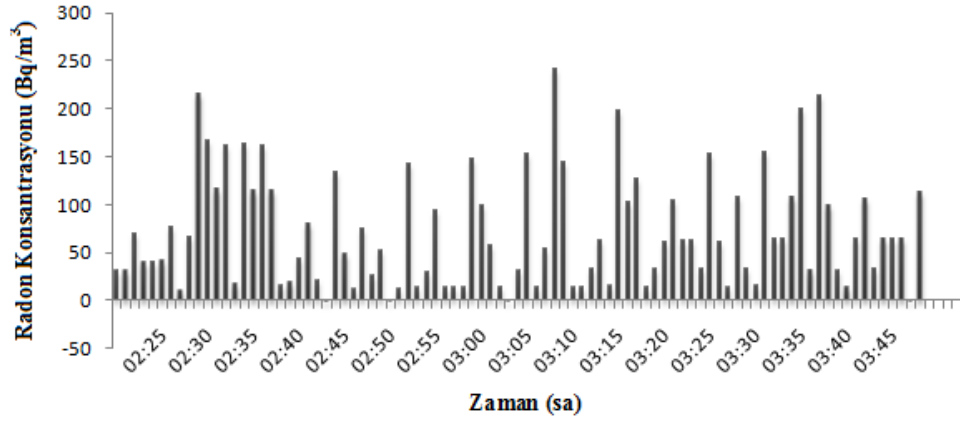


(d)

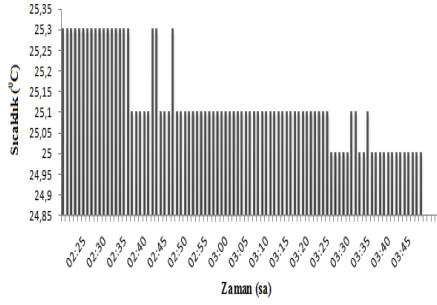
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	78,09
^{222}Rn (Bq/m^3)	115,49
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,3
Basınç (mbar)	925
Bağıl Nem (%rH)	38,46

(e)

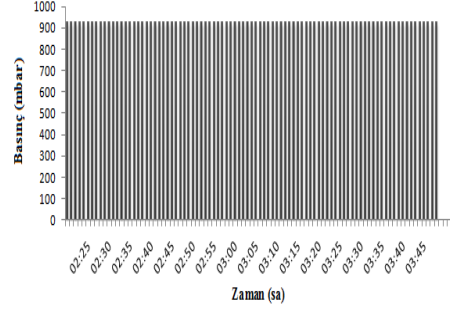
Şekil 4.76 İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



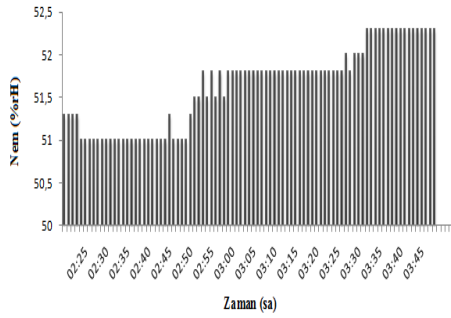
(a)



(b)



(c)

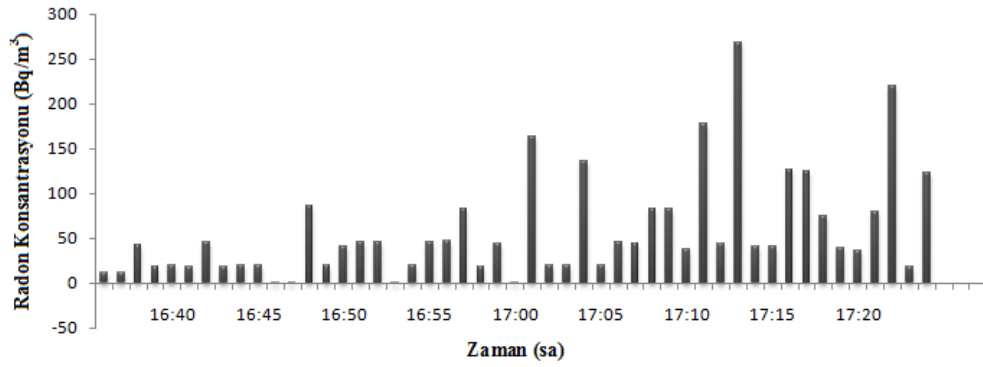


(d)

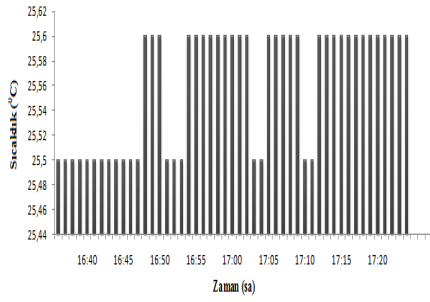
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	84,13
^{222}Rn (Bq/m^3)	58,13
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,12
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	51,62

(e)

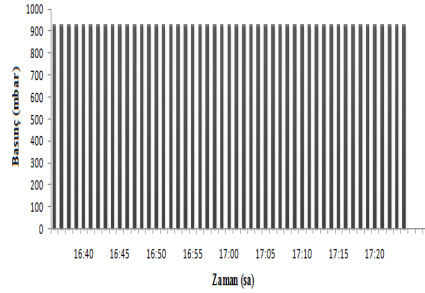
Şekil 4.77 Yaz ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



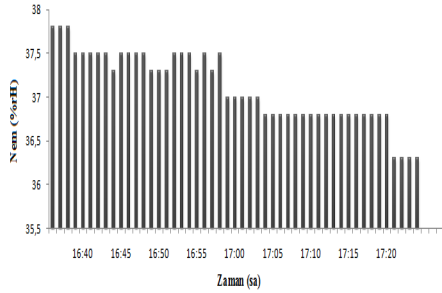
(a)



(b)



(c)

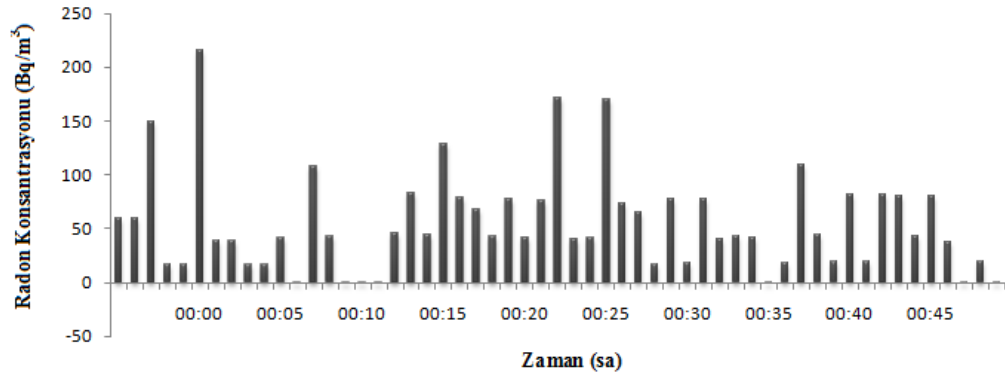


(d)

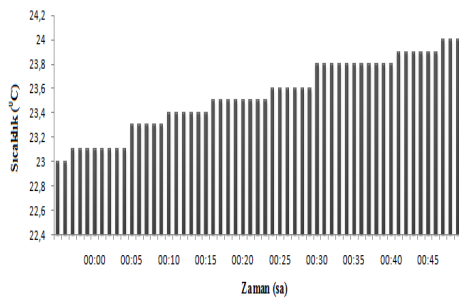
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	19,98
^{222}Rn (Bq/m^3)	65,44
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,5
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	37,10

(e)

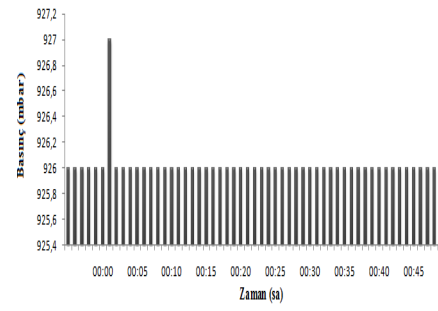
Şekil 4.78 İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



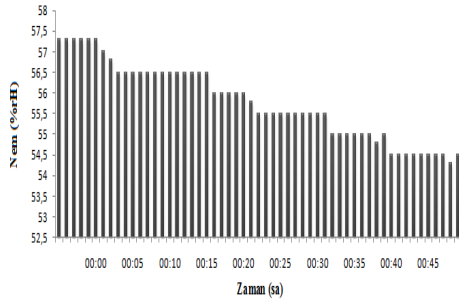
(a)



(b)



(c)

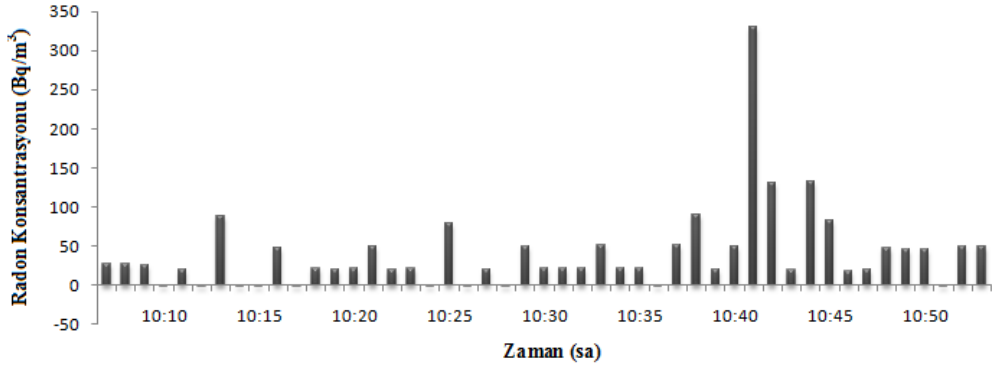


(d)

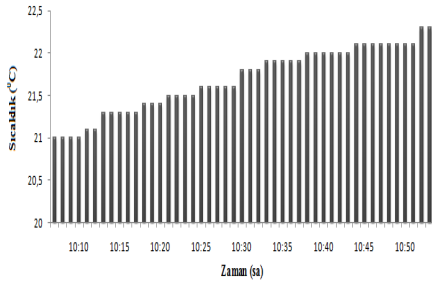
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	55,05
^{222}Rn (Bq/m^3)	61,7
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23,53
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	55,77

(e)

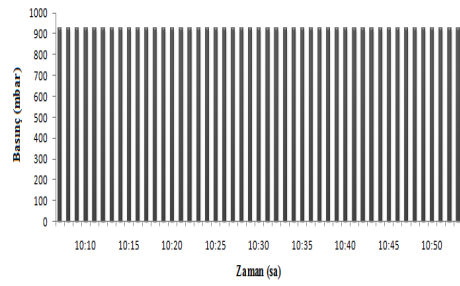
Şekil 4.79 Yaz ölçümü, Merkez ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



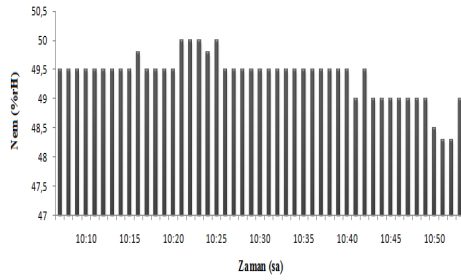
(a)



(b)



(c)

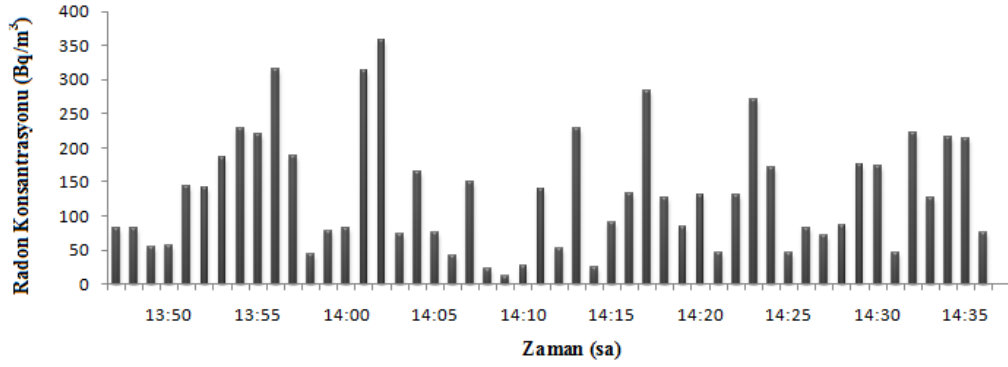


(d)

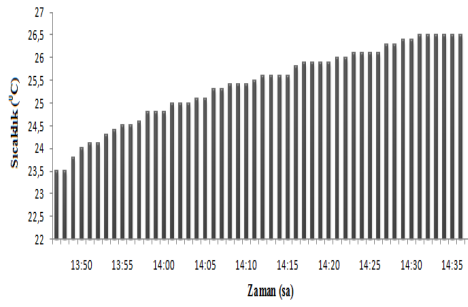
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	20,30
^{222}Rn (Bq/m^3)	49,27
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,6
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	49,38

(e)

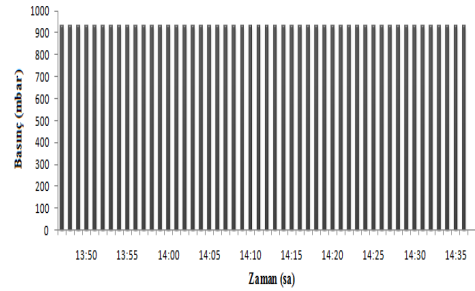
Şekil 4.80 İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



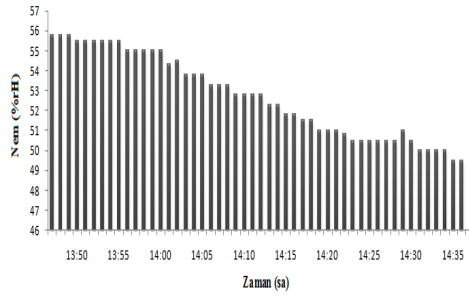
(a)



(b)



(c)

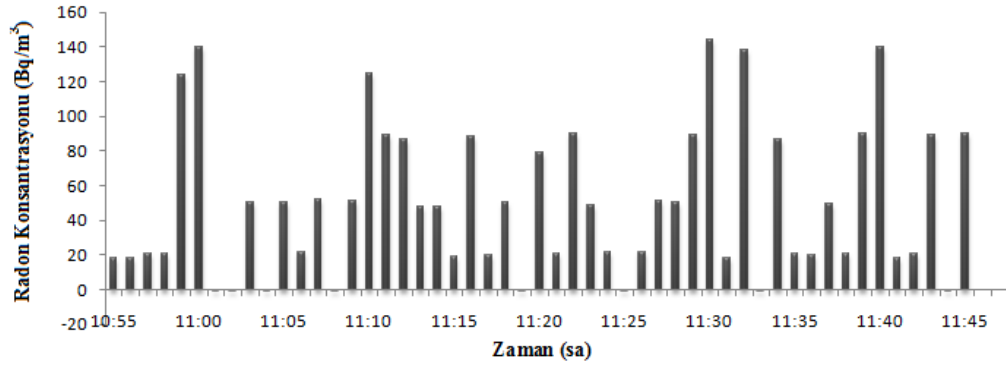


(d)

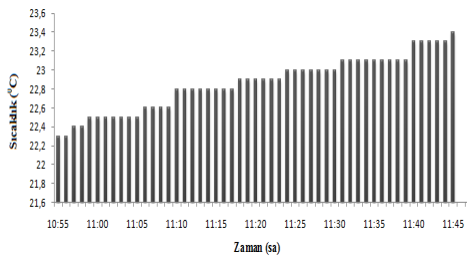
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	157,95
^{222}Rn (Bq/m^3)	126,21
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,39
Basınç (mbar)	929
Bağıl Nem (%rH)	52,70

(e)

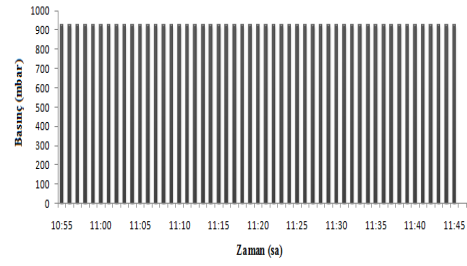
Şekil 4.81 Yaz ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



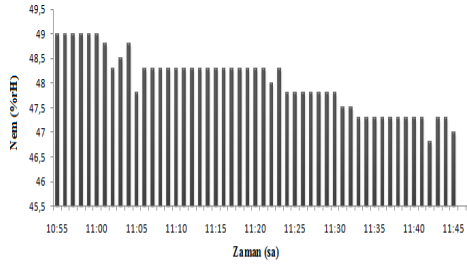
(a)



(b)



(c)

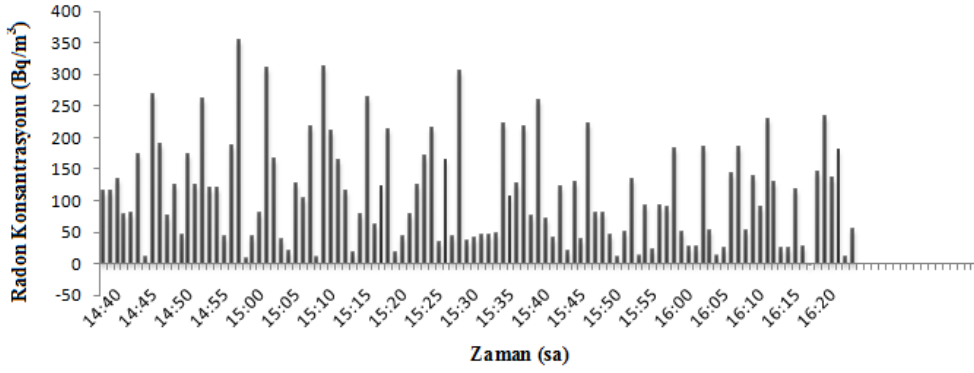


(d)

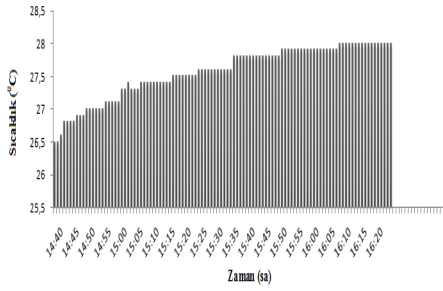
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	42,75
^{222}Rn (Bq/m^3)	54,40
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	22,86
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	48,01

(e)

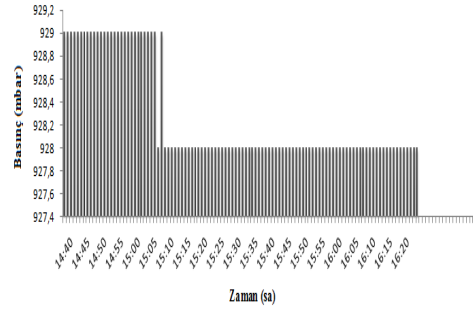
Şekil 4.82 İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



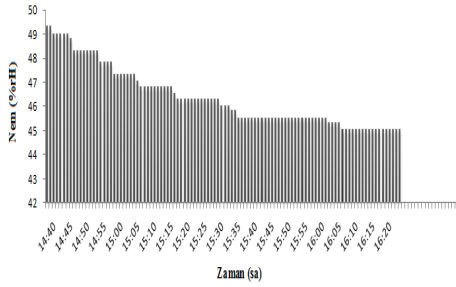
(a)



(b)



(c)

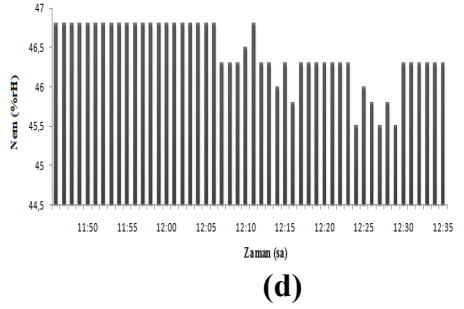
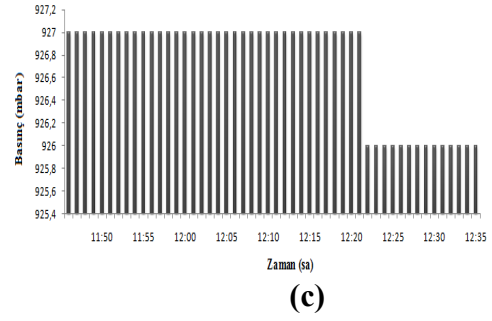
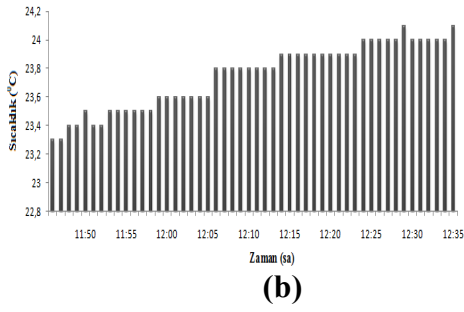
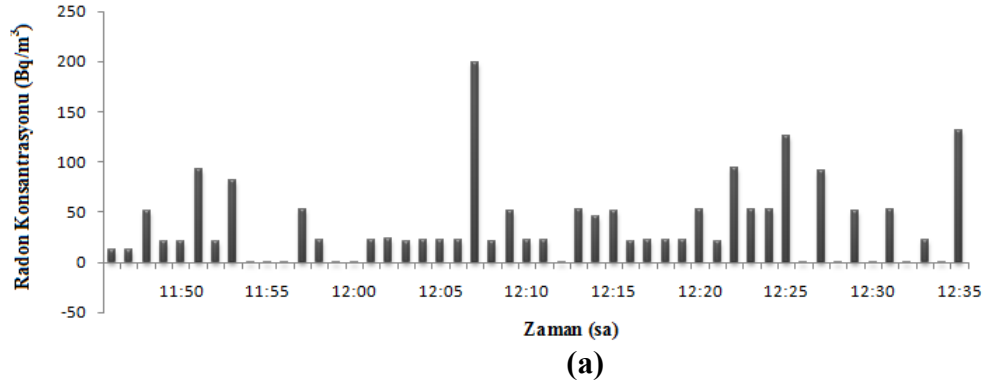


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	117,87
^{222}Rn (Bq/m^3)	132,06
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	27,56
Basınç (mbar)	929
Bağıl Nem (%rH)	46,35

(e)

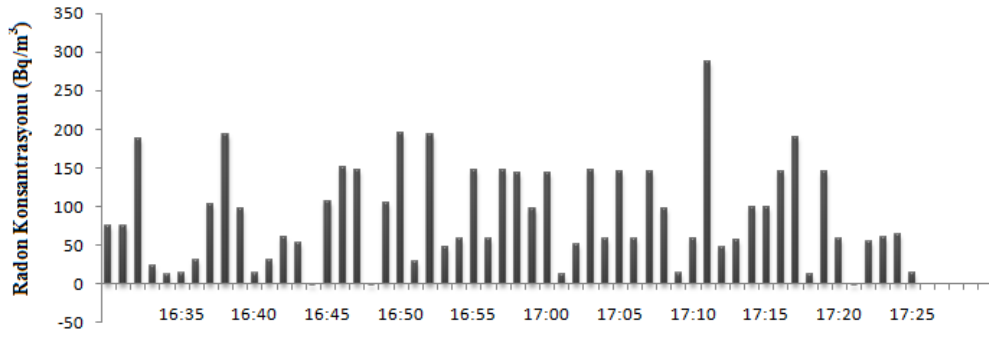
Şekil 4.83 Yaz ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



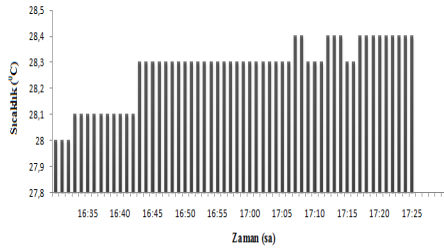
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	33,87
^{222}Rn (Bq/m^3)	40,78
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23,75
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	46,43

(e)

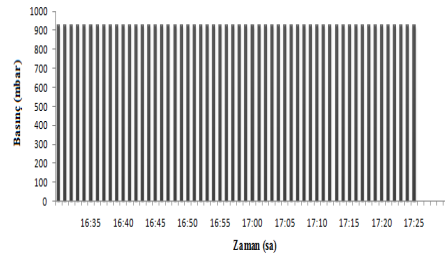
Şekil 4.84 İlkbahar ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



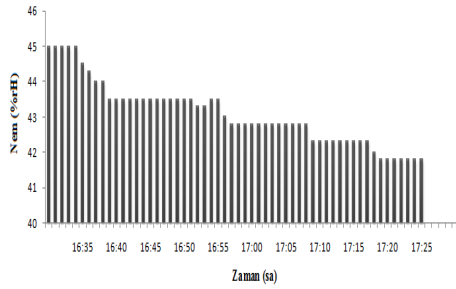
(a)



(b)



(c)

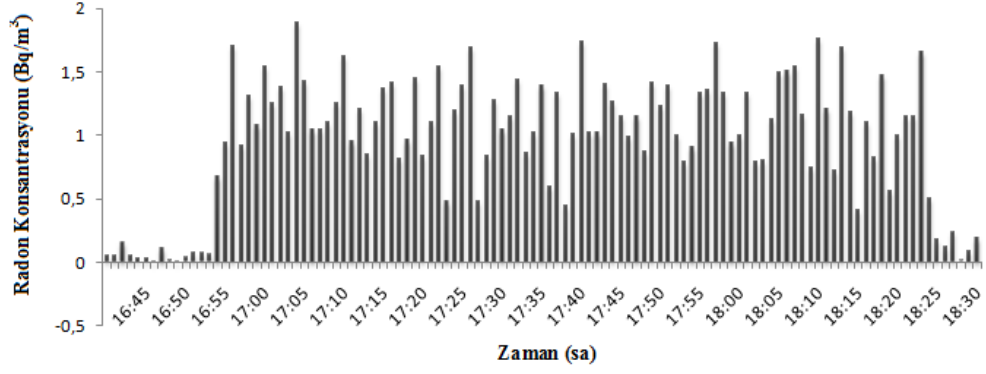


(d)

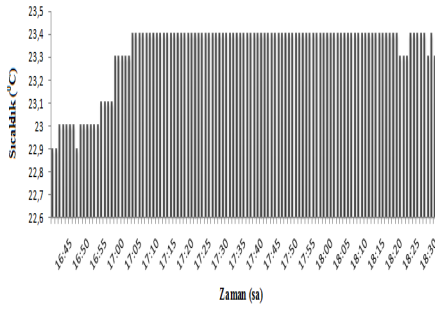
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	70,73
^{222}Rn (Bq/m^3)	101,67
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	28,27
Basınç (mbar)	928
Bağıl Nem (%rH)	43,08

(e)

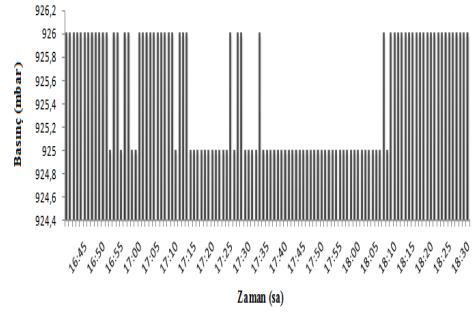
Şekil 4.85 Yaz ölçümü, Merkez ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



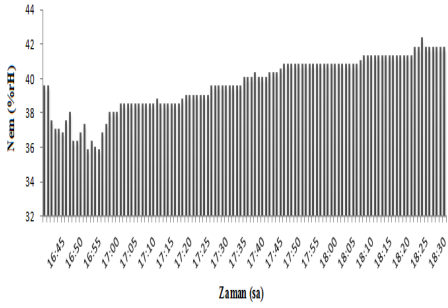
(a)



(b)



(c)

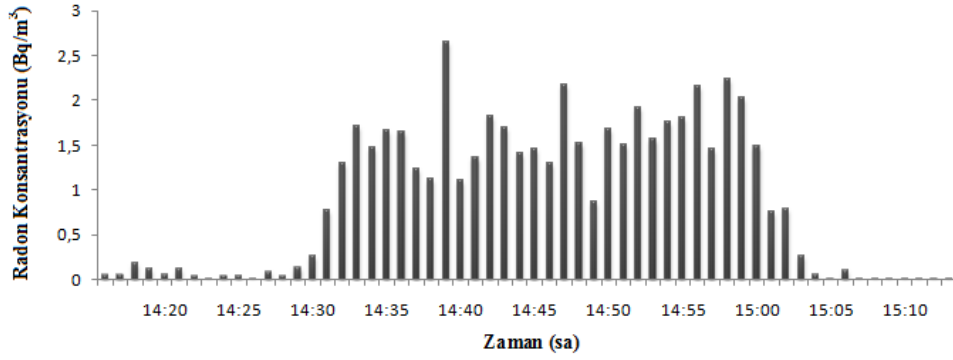


(d)

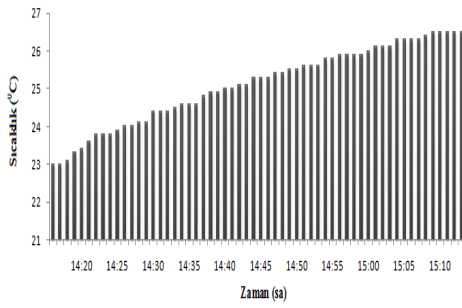
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	42,61
^{222}Rn (Bq/m^3)	1206,80
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23,32
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	39,62

(e)

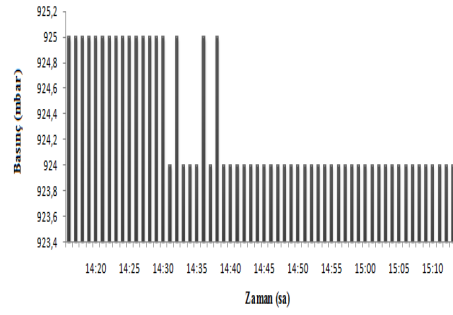
Şekil 4.86 İlkbahar ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



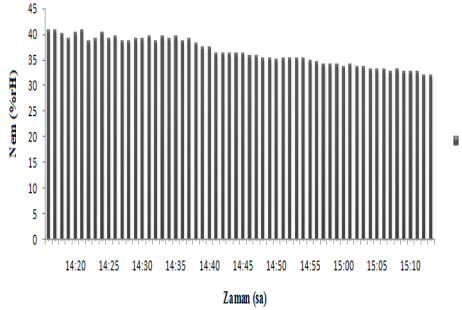
(a)



(b)



(c)

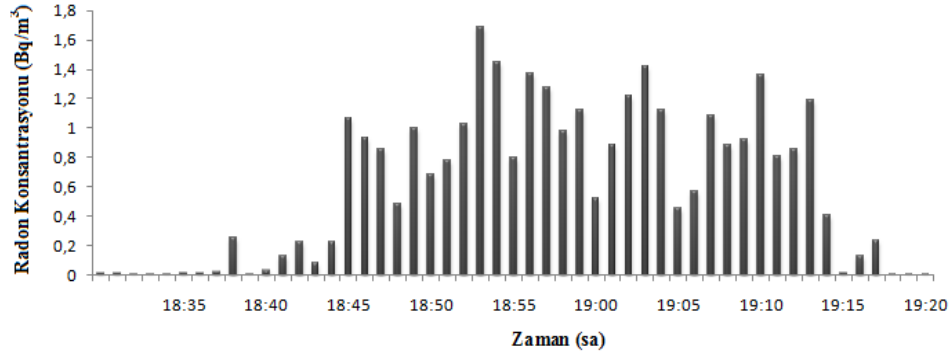


(d)

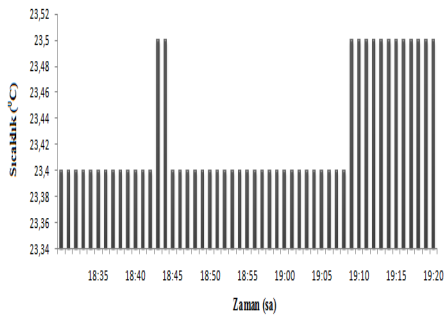
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	75,40
^{222}Rn (Bq/m^3)	1600,13
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,09
Basınç (mbar)	925
Bağıl Nem (%rH)	36,4

(e)

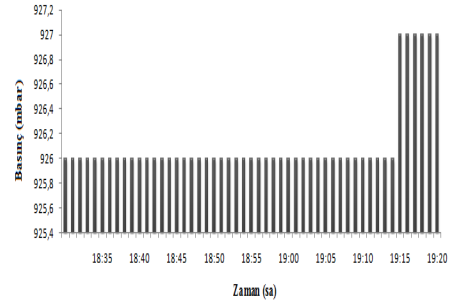
Şekil 4.87 Yaz ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



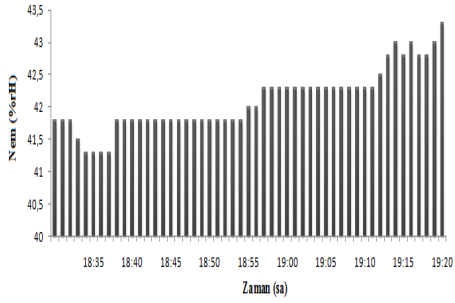
(a)



(b)



(c)

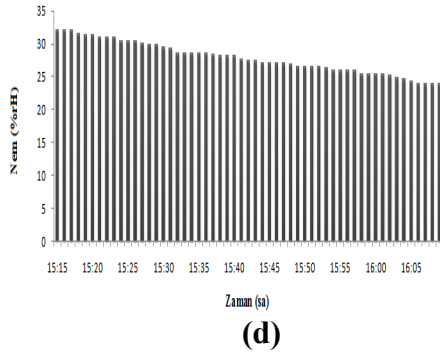
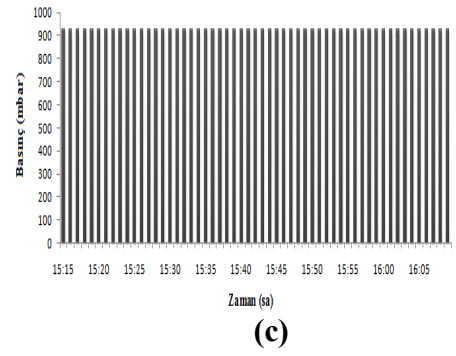
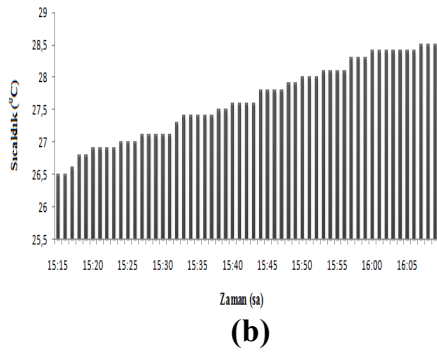
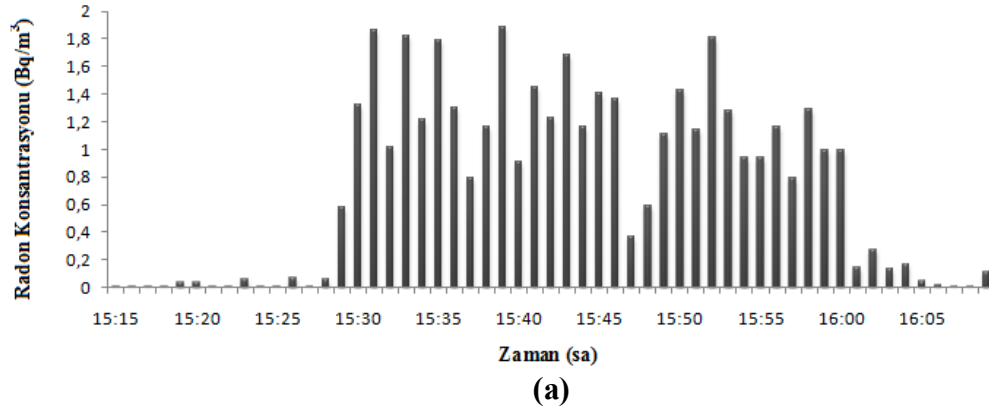


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	50,34
^{222}Rn (Bq/m^3)	974,60
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23,42
Basınç (mbar)	926
Bağıl Nem (%rH)	42,10

(e)

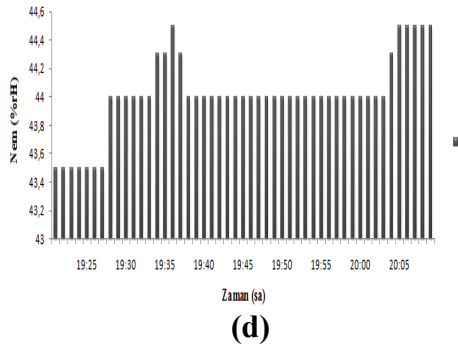
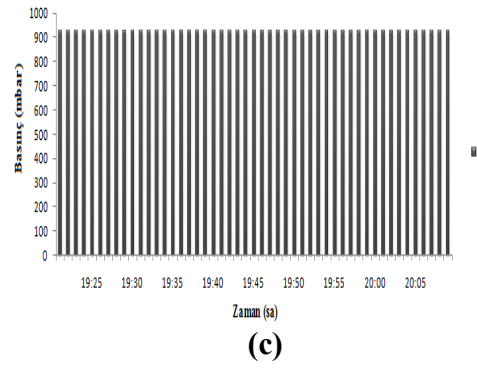
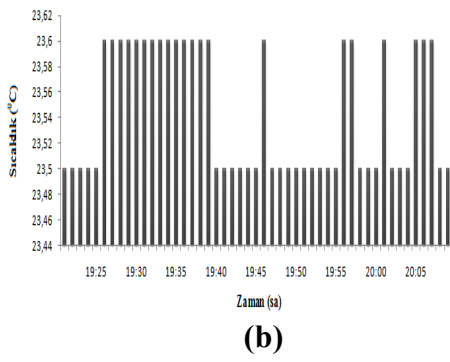
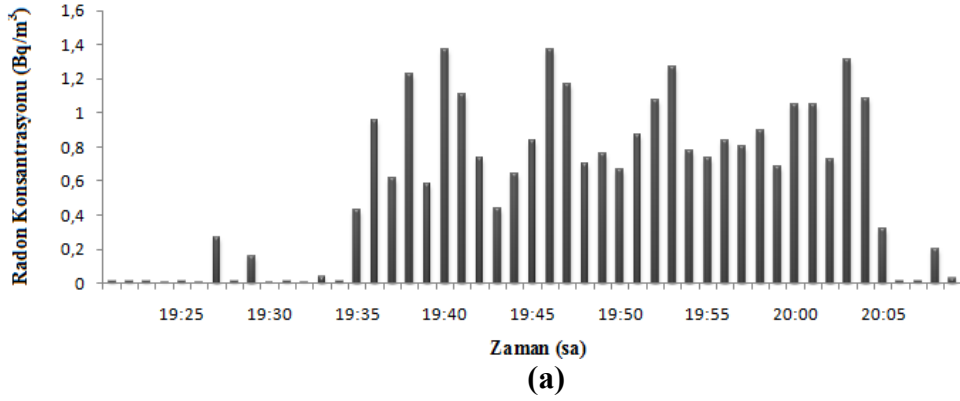
Şekil 4.88 İlkbahar ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	24,68
^{222}Rn (Bq/m^3)	1226,93
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	27,62
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	27,76

(e)

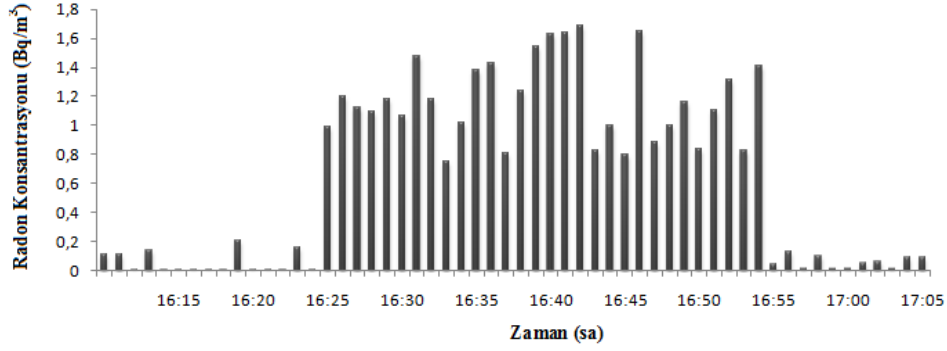
Şekil 4.89 Yaz ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



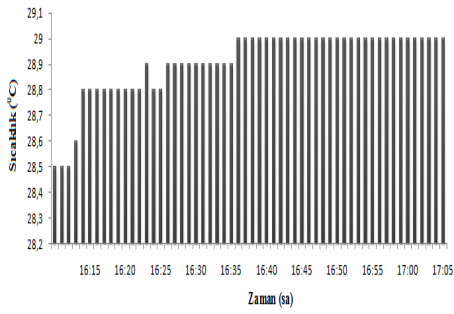
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m ³)	50,07
²²² Rn (Bq/m ³)	891,93
Sıcaklık (°C)	23,54
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	44,01

(e)

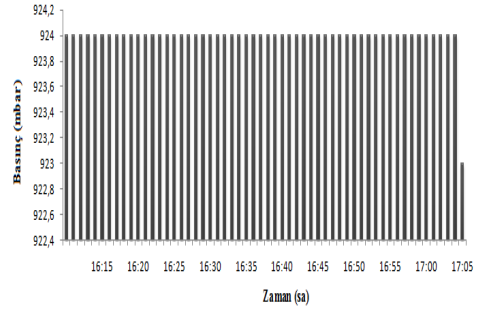
Şekil 4.90 İlkbahar ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



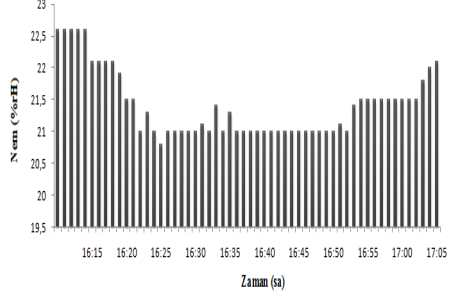
(a)



(b)



(c)

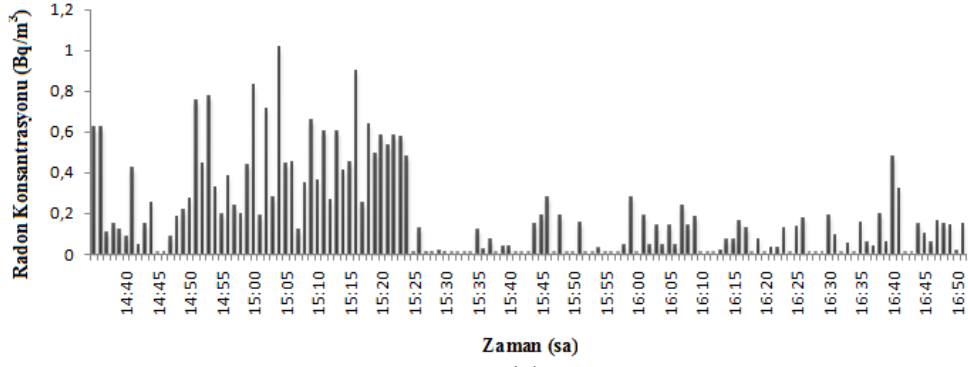


(d)

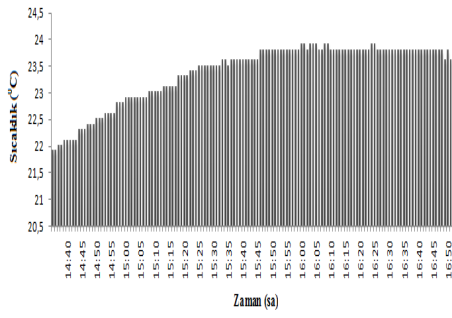
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	41,94
^{222}Rn (Bq/m^3)	1175,6
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	28,9
Basınç (mbar)	924
Bağıl Nem (%rH)	21,41

(e)

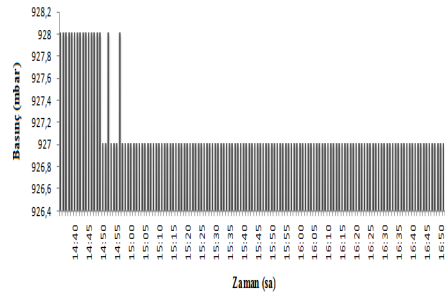
Şekil 4.91 Yaz ölçümü, Seydiler ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



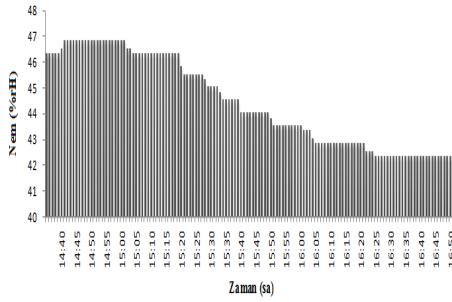
(a)



(b)



(c)

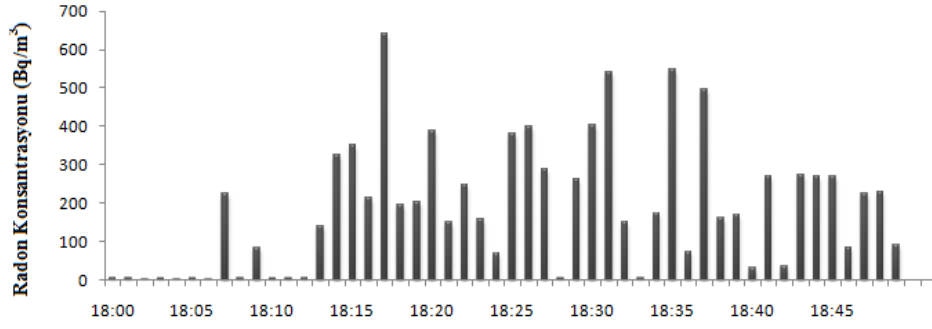


(d)

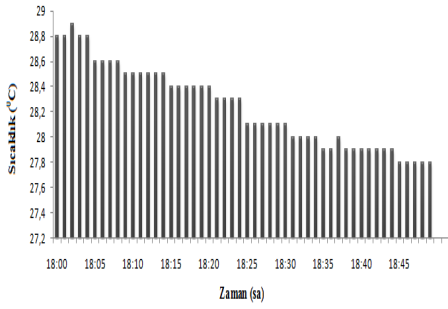
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	134,00
^{222}Rn (Bq/m^3)	477,15
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23,37
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	44,41

(e)

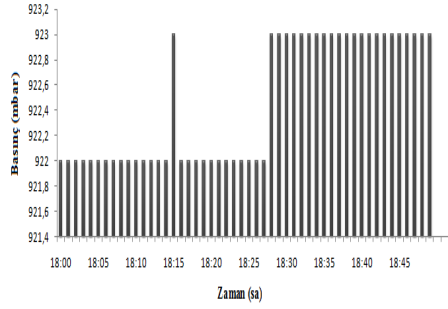
Şekil 4.92 İlkbahar ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



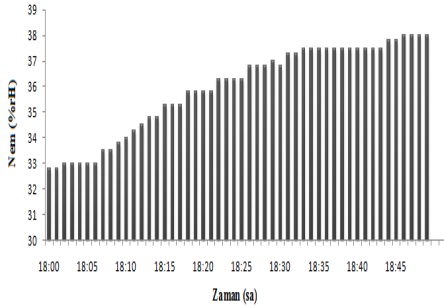
(a)



(b)



(c)

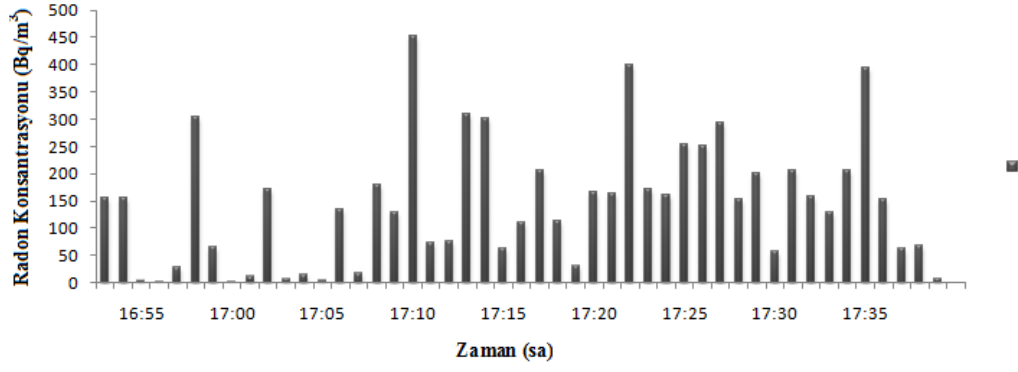


(d)

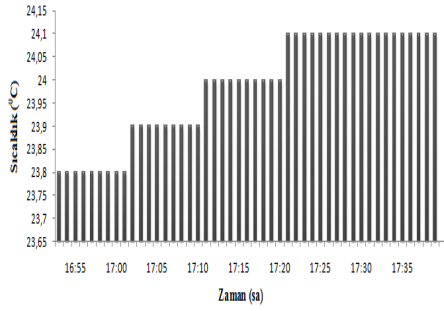
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	34,48
^{222}Rn (Bq/m^3)	253,78
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	28,23
Basınç (mbar)	922
Bağıl Nem (%rH)	35,94

(e)

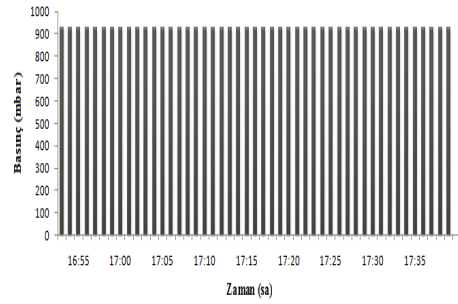
Şekil 4.93 Yaz ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



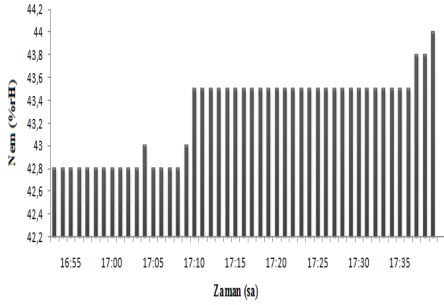
(a)



(b)



(c)

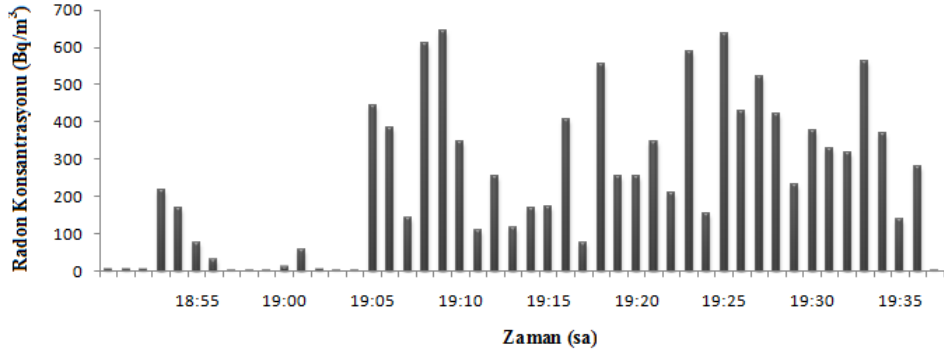


(d)

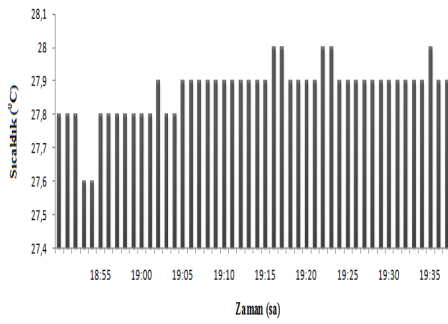
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	61,35
^{222}Rn (Bq/m^3)	187,28
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23,98
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	43,27

(e)

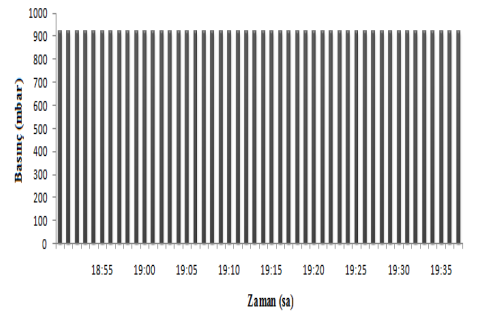
Şekil 4.94 İlkbahar ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



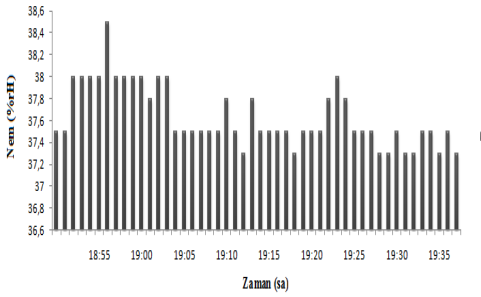
(a)



(b)



(c)

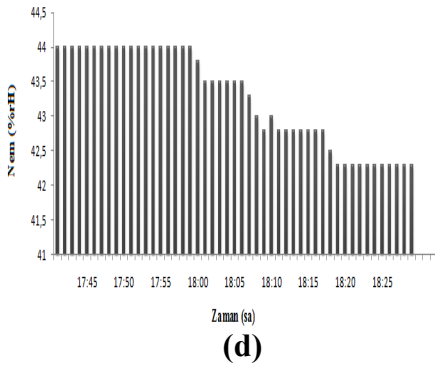
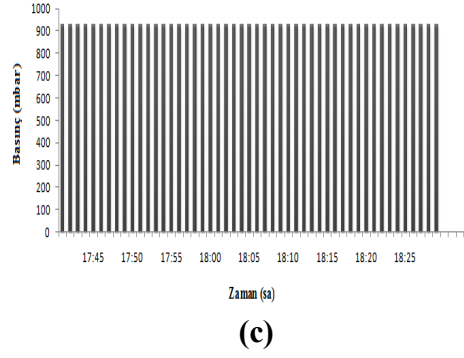
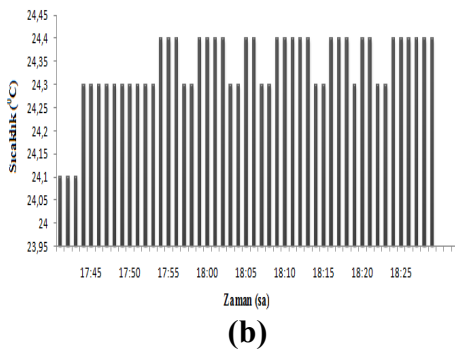
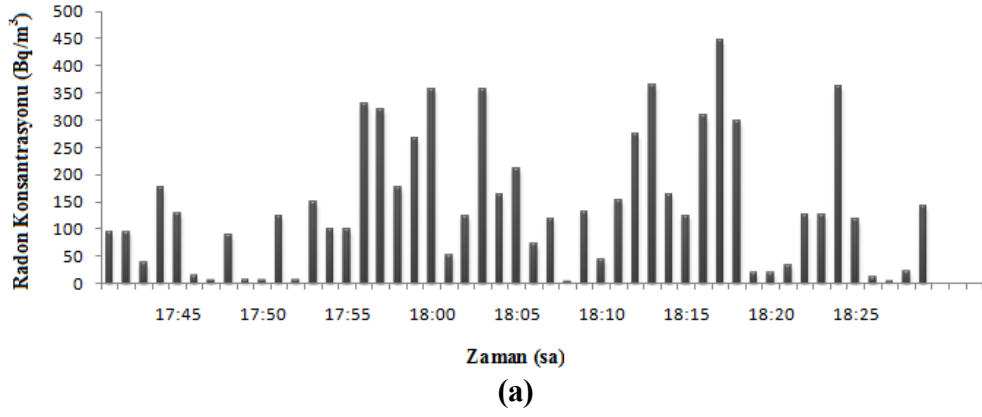


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	58,26
^{222}Rn (Bq/m^3)	348,63
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	27,87
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	37,63

(e)

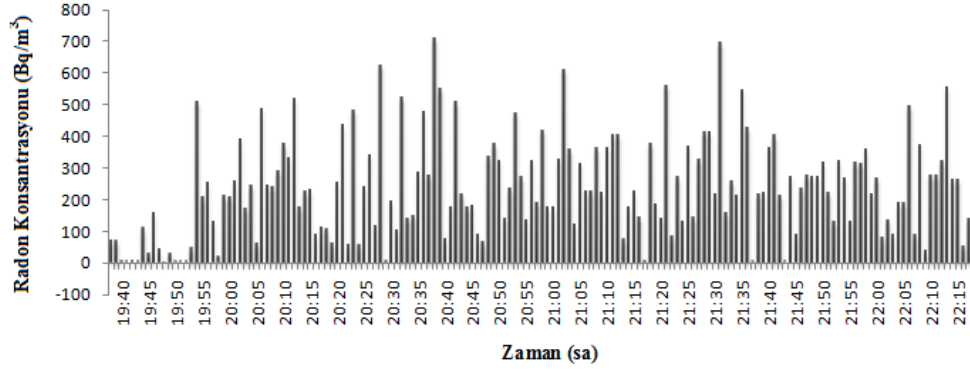
Şekil 4.95 Yaz ölçümü, Taşkoprü ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



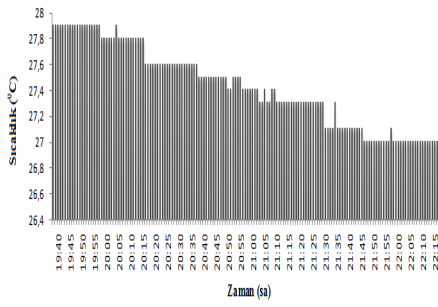
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	59,85
^{222}Rn (Bq/m^3)	179,86
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	24,33
Basınç (mbar)	927
Bağıl Nem (%rH)	43,27

(e)

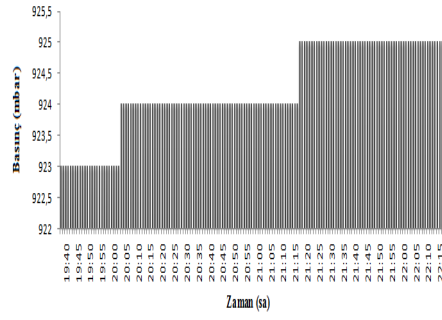
Şekil 4.96 İlkbahar ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



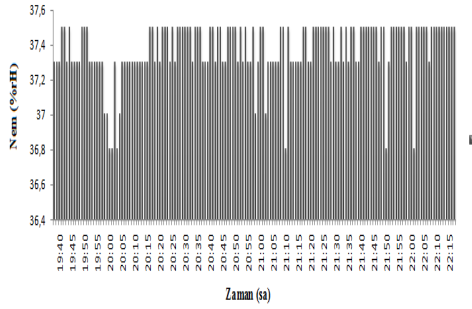
(a)



(b)



(c)

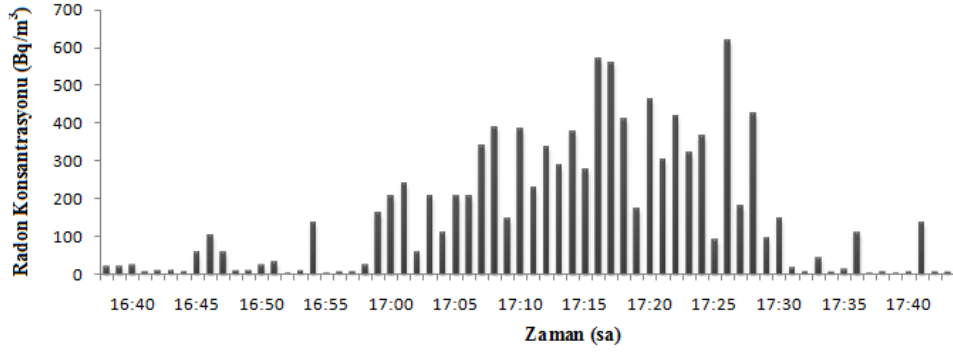


(d)

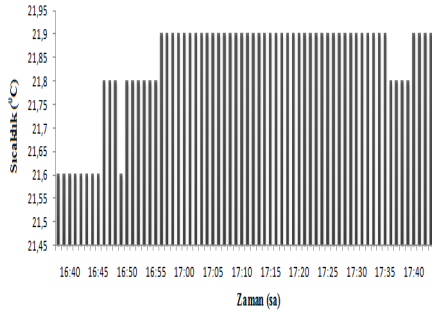
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	38,65
^{222}Rn (Bq/m^3)	245,03
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	27,42
Basınç (mbar)	923
Bağıl Nem (%rH)	37,37

(e)

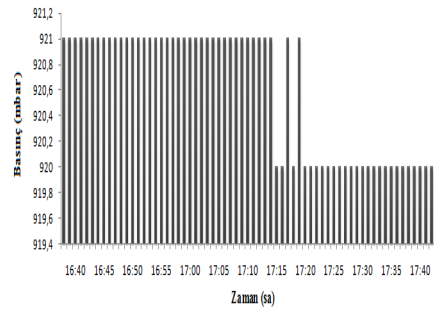
Şekil 4.97 Yaz ölçümü, Taşköprü ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



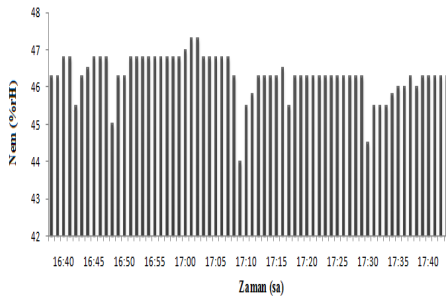
(a)



(b)



(c)

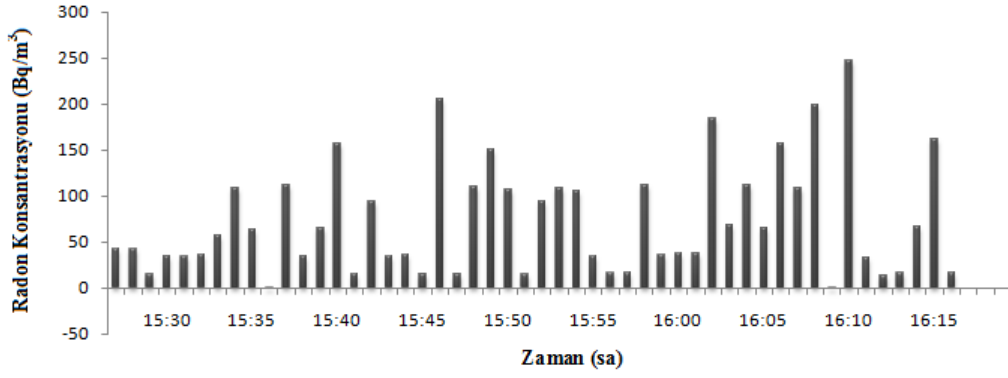


(d)

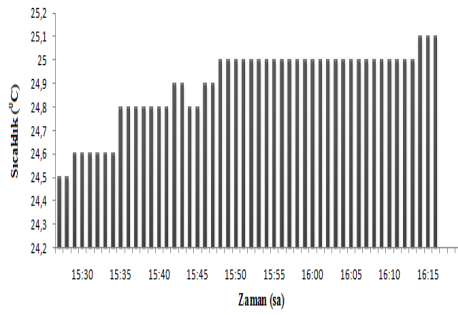
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C ₀) (Bq/m ³)	29,49
²²² Rn (Bq/m ³)	302,6
Sıcaklık (°C)	21,83
Basınç (mbar)	921
Bağıl Nem (%rH)	46,30

(e)

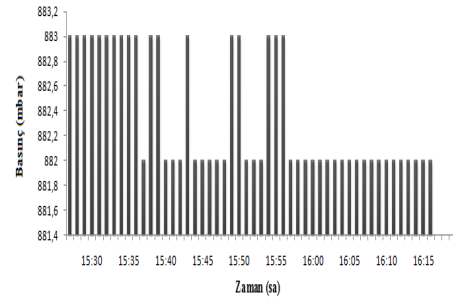
Şekil 4.98 İlkbahar ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



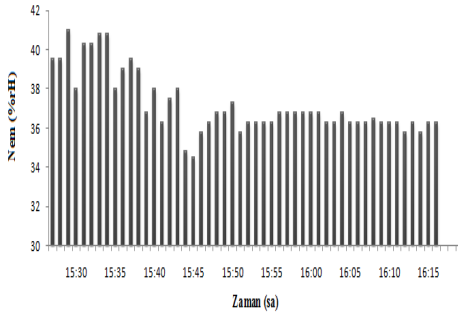
(a)



(b)



(c)

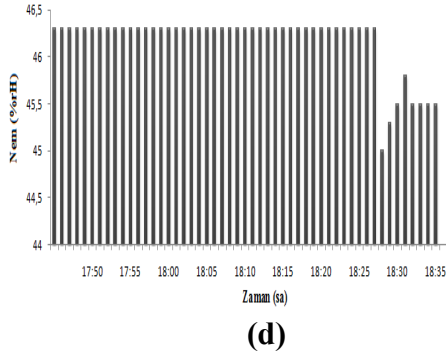
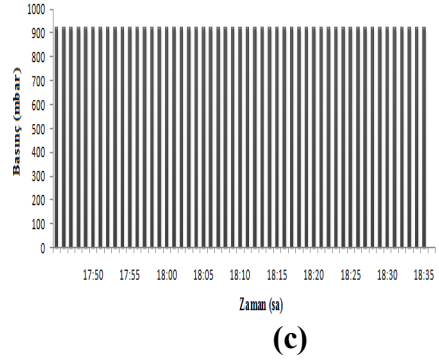
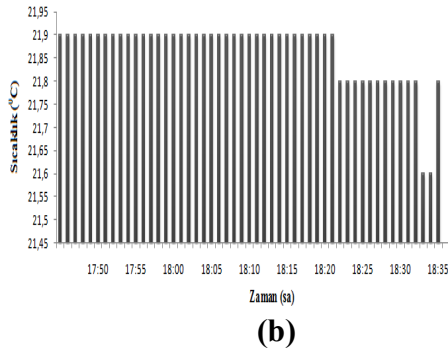
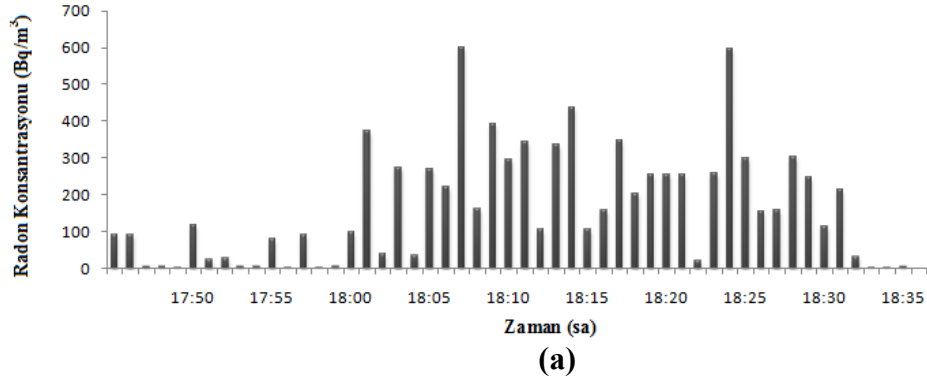


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	49,30
^{222}Rn (Bq/m^3)	81,22
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	24,89
Basınç (mbar)	883
Bağıl Nem (%rH)	37,21

(e)

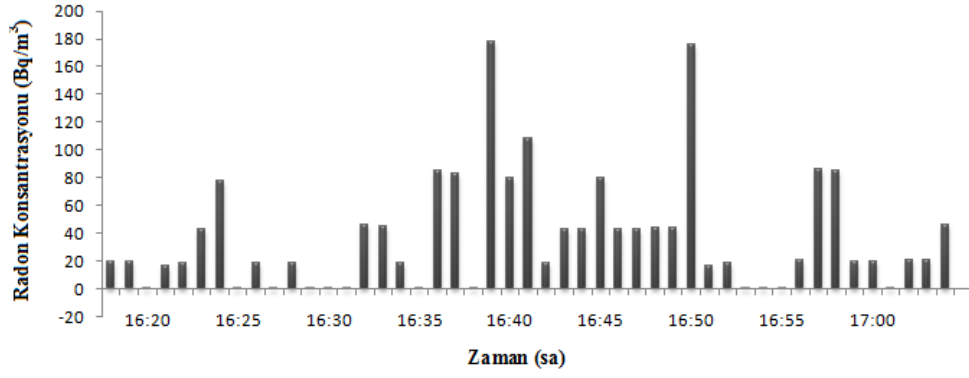
Şekil 4.99 Yaz ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



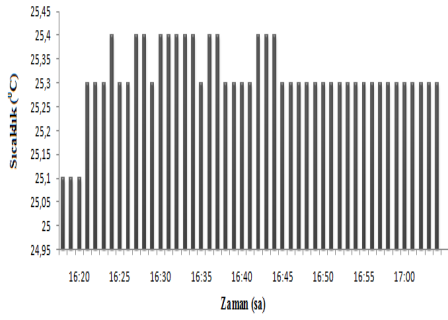
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	27,95
^{222}Rn (Bq/m^3)	254,29
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,86
Basınç (mbar)	920
Bağıl Nem (%rH)	46,16

(e)

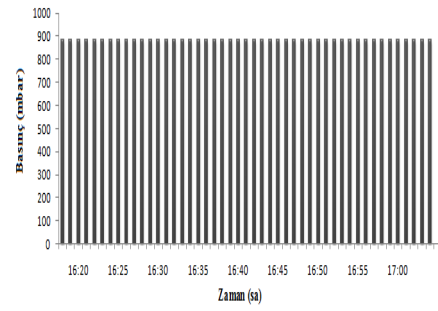
Şekil 4.100 İlbahar ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



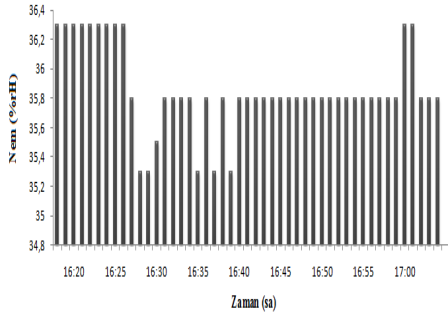
(a)



(b)



(c)

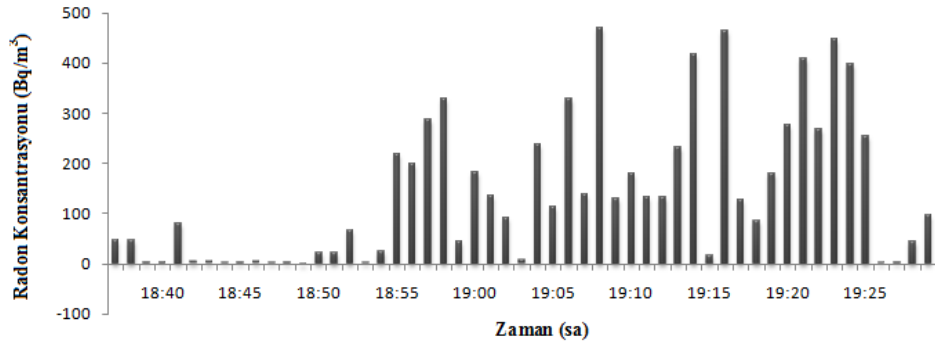


(d)

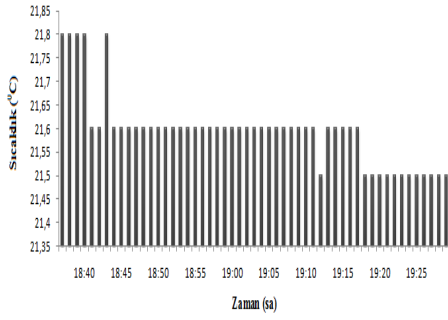
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	19,09
^{222}Rn (Bq/m^3)	47,96
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,31
Basınç (mbar)	882
Bağıl Nem (%rH)	35,85

(e)

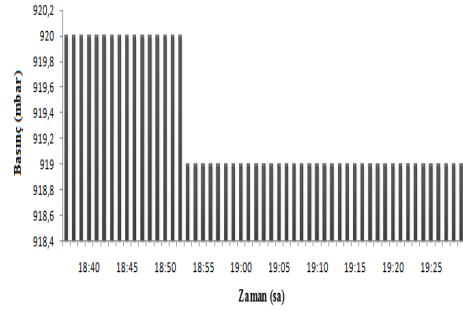
Şekil 4.101 Yaz ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



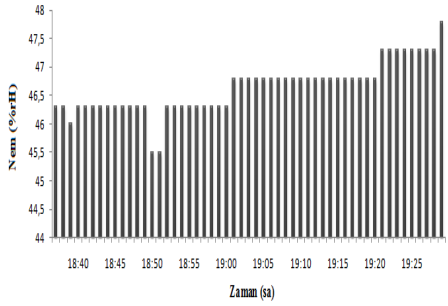
(a)



(b)



(c)

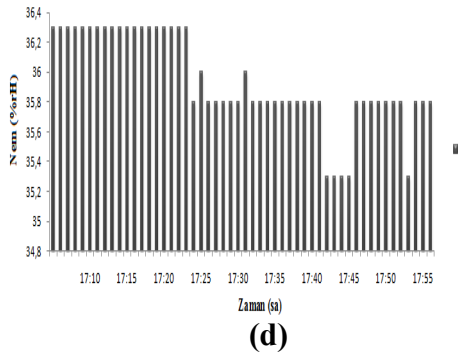
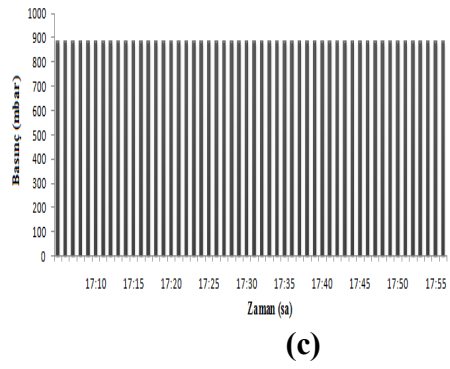
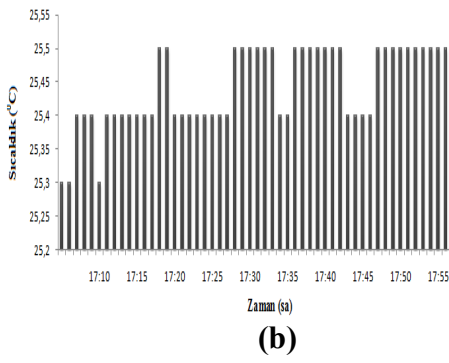
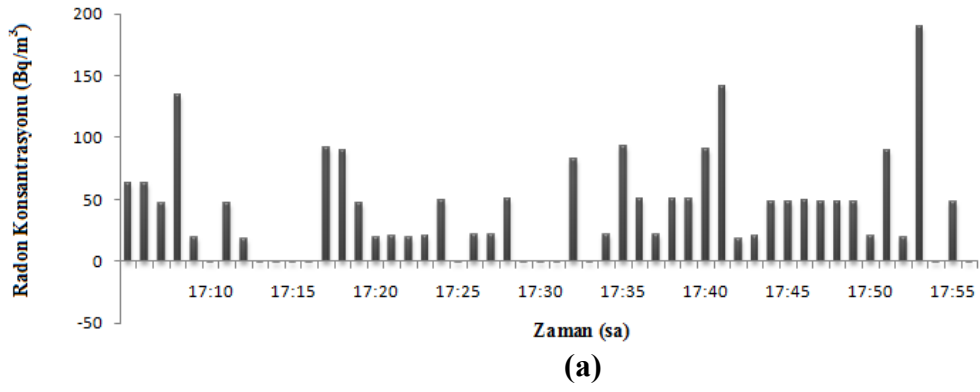


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	11
^{222}Rn (Bq/m^3)	224,03
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,59
Basınç (mbar)	920
Bağıl Nem (%rH)	46,63

(e)

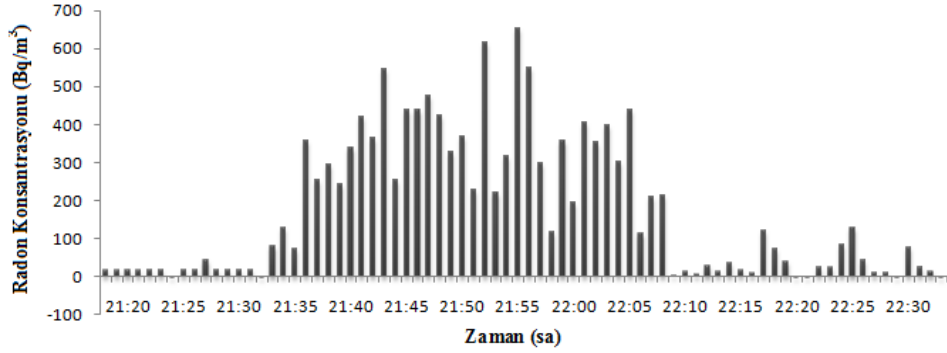
Şekil 4.102 İlbahar ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



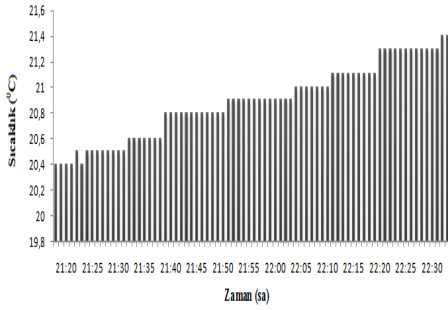
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	26,59
^{222}Rn (Bq/m^3)	39,81
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,44
Basınç (mbar)	882
Bağıl Nem (%rH)	35,94

(e)

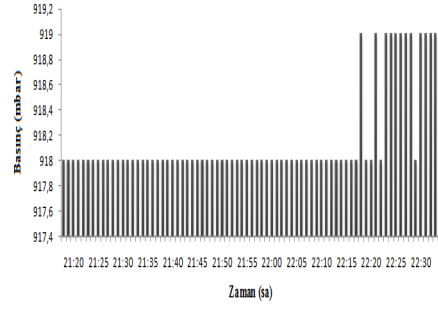
Şekil 4.103 Yaz ölçümü, Tosya ilçesi kaynak suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



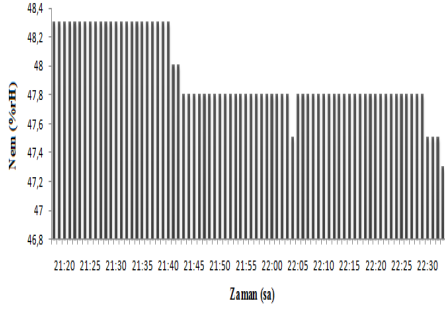
(a)



(b)



(c)

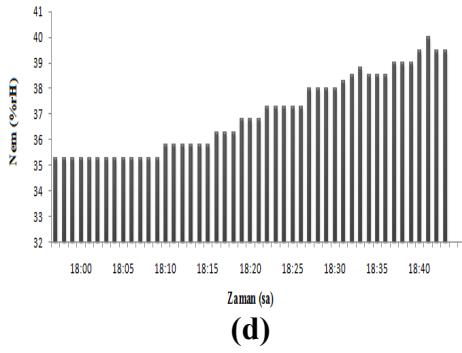
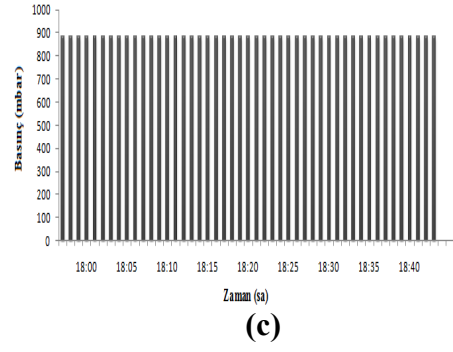
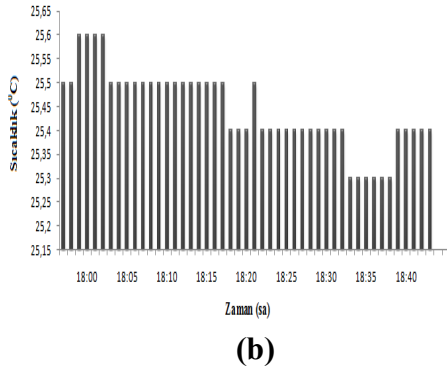
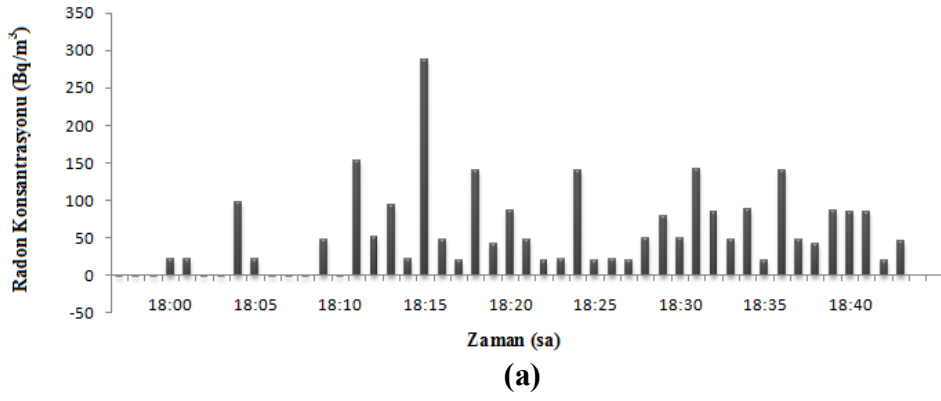


(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	18,99
^{222}Rn (Bq/m^3)	365,92
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	20,88
Basınç (mbar)	918
Bağıl Nem (%rH)	47,93

(e)

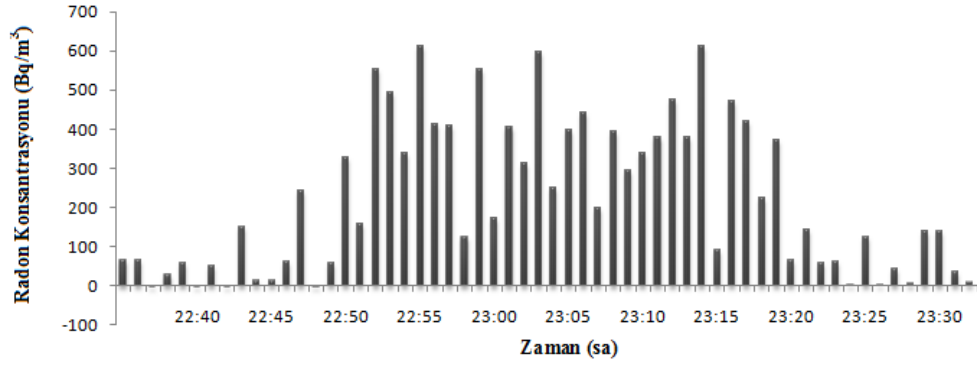
Şekil 4.104 İlkbahar ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 1. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



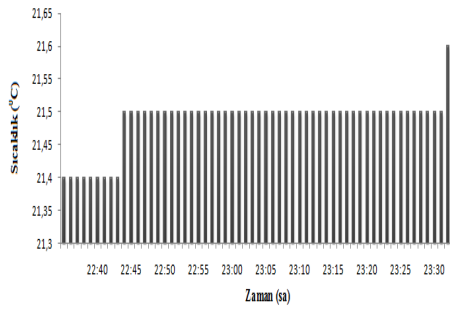
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	16,16
^{222}Rn (Bq/m^3)	73,01
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,44
Basınç (mbar)	882
Bağıl Nem (%rH)	36,98

(e)

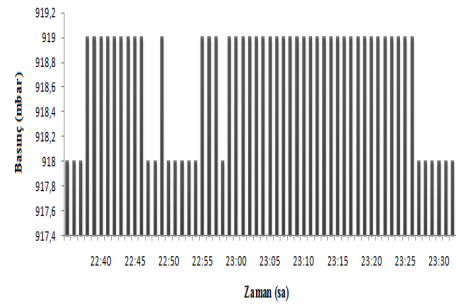
Şekil 4.105 Yaz ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



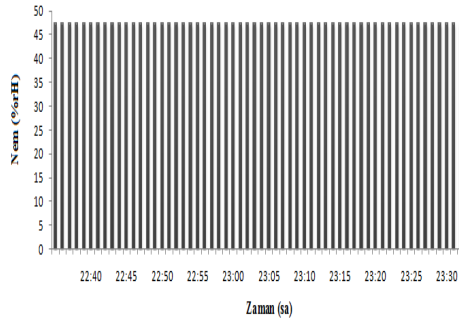
(a)



(b)



(c)

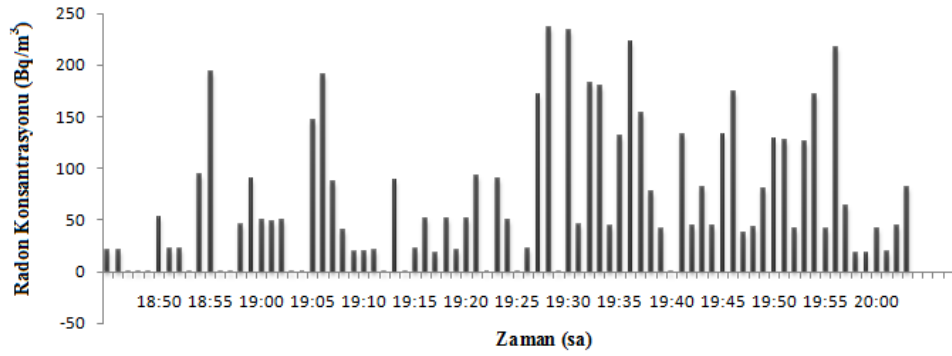


(d)

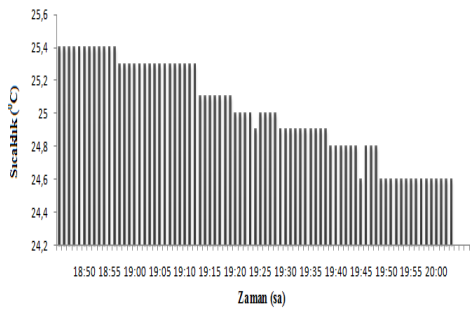
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	37,63
^{222}Rn (Bq/m^3)	373,28
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,48
Basınç (mbar)	918
Bağıl Nem (%rH)	47,3

(e)

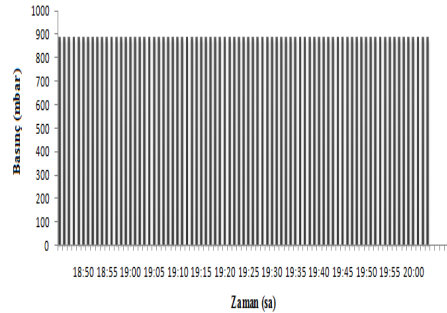
Şekil 4.106 İlkbahar ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



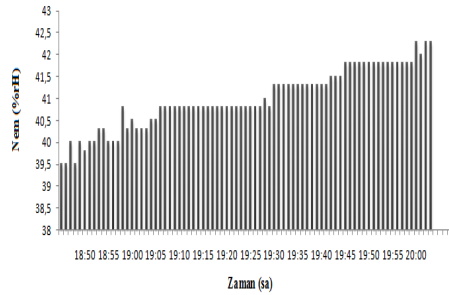
(a)



(b)



(c)

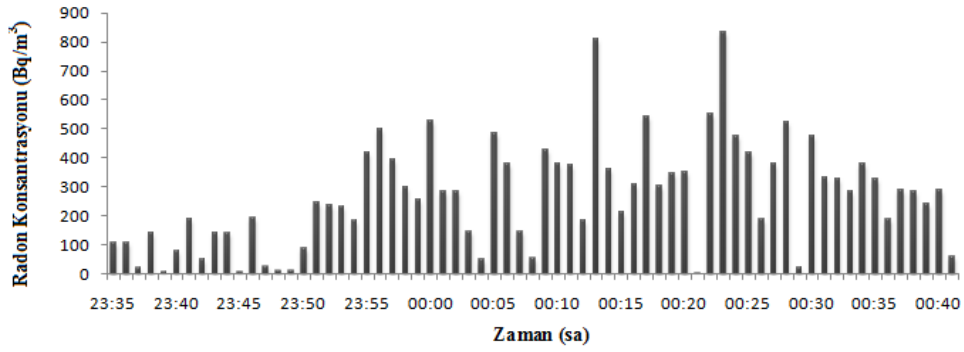


(d)

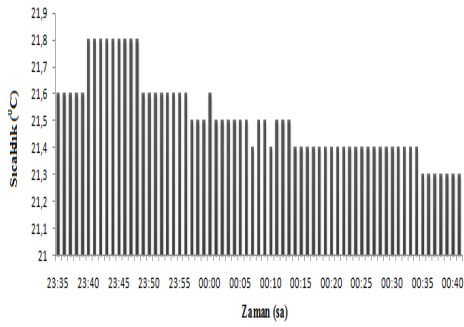
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	38,34
^{222}Rn (Bq/m^3)	51,23
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	25,01
Basınç (mbar)	882
Bağıl Nem (%rH)	40,98

(e)

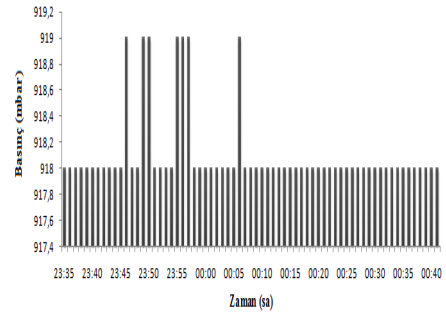
Şekil 4.107 Yaz ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 2. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



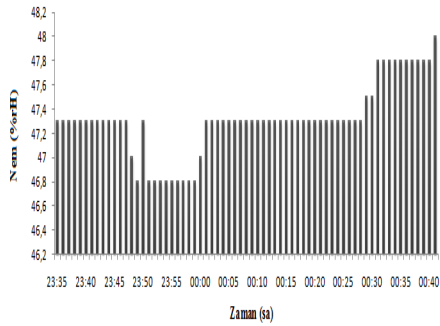
(a)



(b)



(c)

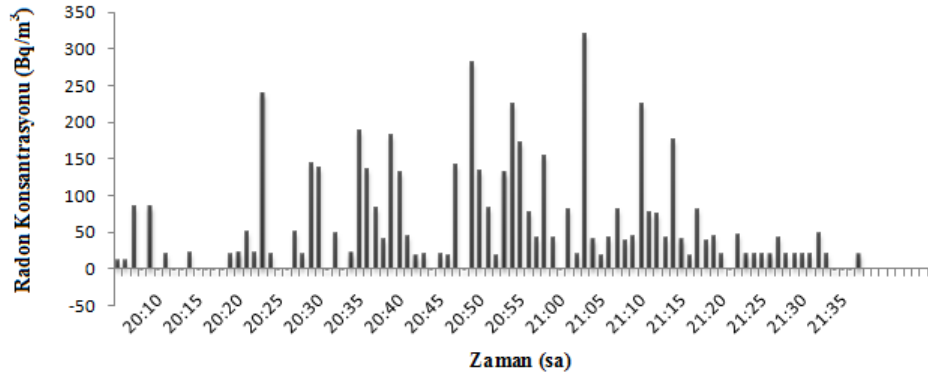


(d)

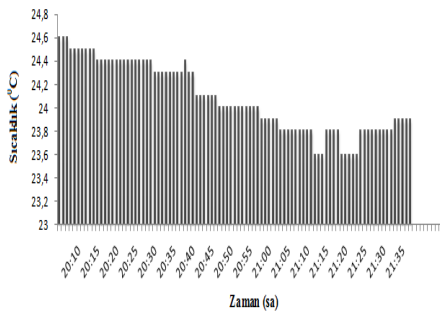
Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	98,73
^{222}Rn (Bq/m^3)	324,62
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	21,50
Basınç (mbar)	918
Bağıl Nem (%rH)	47,3

(e)

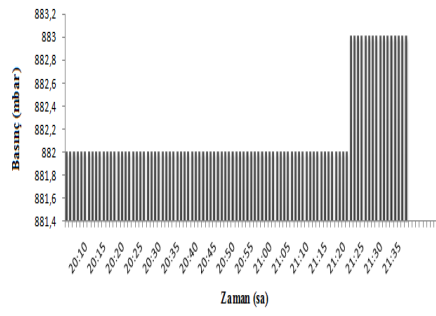
Şekil 4.108 İlkbahar ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.



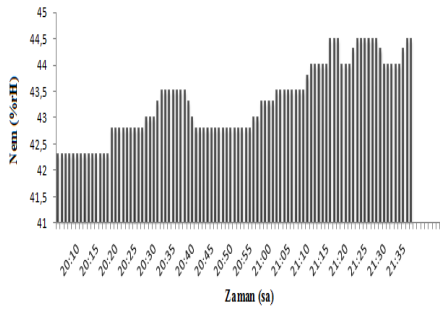
(a)



(b)



(c)



(d)

Parametre	Ortalama
Doğal fon (C_0) (Bq/m^3)	21,02
^{222}Rn (Bq/m^3)	60,47
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	24,07
Basınç (mbar)	882
Bağıl Nem (%rH)	43,31

(e)

Şekil 4.109 Yaz ölçümü, Tosya ilçesi musluk suyu 3. numunenin (a) Radon konsantrasyonu; (b) Sıcaklık; (c) Basınç; (d) Nem ölçümleri; (e) Ölçüm verilerinin ortalama değerleri.

4.2. Su Örneklerinin Ortalama Radon Konsantrasyonları

Su örnekleri için gerçekleştirilen 50 dakikalık ölçümler sonucu elde edilen ve Şekil 4.2-Şekil 4.109'da verilen ilkbahar ve yaz ölçümlerinin ^{222}Rn konsantrasyonu (C_{air}) ve doğal fon (C_0) değerleri ile sıcaklığa bağlı olarak değişen k radon yayılma katsayısı, ölçüm düzeneğine ait dahili hacim değeri ve su örneğine ait hacim değeri (3.1) eşitliğinde yerlerine yazılarak her bir kaynak için ölçümü yapılan her 3 numunenin radon konsantrasyonu hesaplanmış ve sudaki radon konsantrasyonları Bq/L cinsinden bulunmuştur. Elde edilen değerler kullanılarak her kaynak için radon konsantrasyonunun ortalama değeri (3.2) Denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçüm sonuçlarına ait standart hata (3.3) Denklemi kullanılarak bulunmuştur.

Radon konsantrasyonu, iklimsel parametrelere bağlı olarak değişim gösterdiğinden ölçüm süresince bu parametrelerdeki değişimler takip edilmiştir. Ölçümler kısa süreli olduğundan ölçüm süresi boyunca sıcaklık, basınç ve nem değerlerinde Şekil 4.2-Şekil 4.109'dan da görüldüğü gibi ihmal edilebilir değişimler gözlenmiştir.

Hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4,1'de ilkbahar dönemi ve Çizelge 4.2'de yaz dönemi olarak verilmiştir. Kaynak ve musluk sularının radon konsantrasyon değerleri ilkbahar dönemi ölçümleri $0,362 \pm 0,039$ Bq/L ile $12,734 \pm 0,391$ Bq/L aralığında, yaz dönemi ölçümleri ise $0,312 \pm 0,034$ Bq/L ile $19,213 \pm 1,000$ Bq/L aralığında değişim göstermiştir.

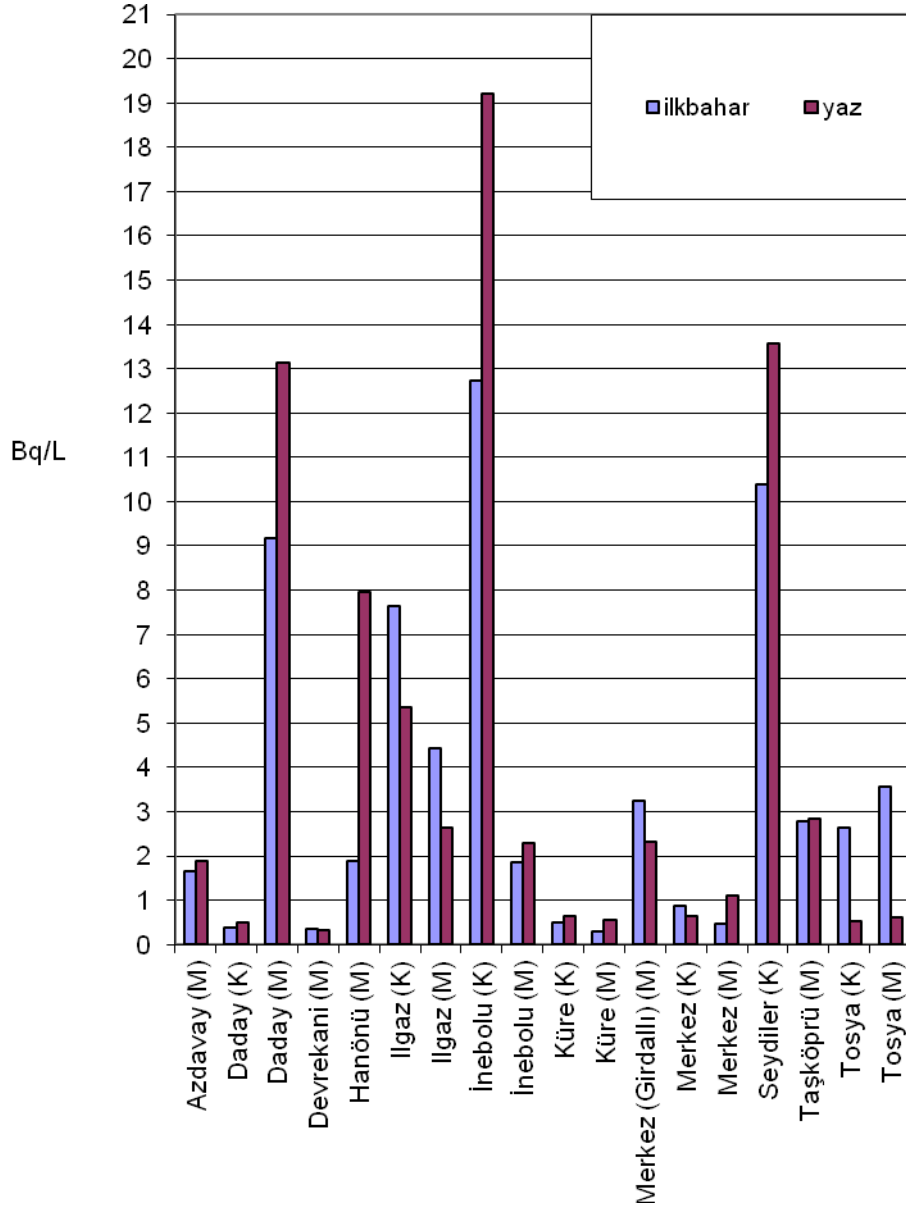
Çizelge 4.1 İlkbahar dönemi ölçümü yapılan suların kaynak yerleri ve ortalama radon konsantrasyonları.

Kaynak Yeri	Radon Konsantrasyonu ±Standart Hata (Bq/L)
Azdavay (Musluk)	1,652±0,223
Daday (Kaynak)	0,386±0,019
Daday (Musluk)	9,294±0,453
Devrekani (Musluk)	0,362±0,039
Hanönü (Musluk)	1,904±0,109
Ilgaz (Kaynak)	7,659±0,559
Ilgaz (Musluk)	4,440±0,336
İnebolu (Kaynak)	12,734±0,391
İnebolu (Musluk)	1,868±0,180
Küre (Kaynak)	0,597±0,079
Küre (Musluk)	0,395±0,125
Merkez (Girdallı) (Musluk)	3,255±0,271
Merkez (Kaynak)	0,868±0,131
Merkez (Musluk)	0,460±0,039
Seydiler (Kaynak)	10,418±0,971
Taşköprü (Musluk)	2,794±0,978
Tosya (Kaynak)	2,641±0,229
Tosya (Musluk)	3,580±0,178

Çizelge 4.2 Yaz dönemi ölçümü yapılan suların kaynak yerleri ve ortalama radon konsantrasyonları.

Kaynak Yeri	Radon Konsantrasyonu ±Standart Hata (Bq/L)
Azdavay (Musluk)	1,885±0,153
Daday (Kaynak)	0,503±0,085
Daday (Musluk)	13,136±0,375
Devrekani (Musluk)	0,312±0,034
Hanönü (Musluk)	7,950±0,532
Ilgaz (Kaynak)	5,355±0,357
Ilgaz (Musluk)	2,640±0,308
İnebolu (Kaynak)	19,213±1,000
İnebolu (Musluk)	2,290±0,340
Küre (Kaynak)	0,645±0,058
Küre (Musluk)	0,546±0,049
Merkez (Girdallı) (Musluk)	2,319±0,663
Merkez (Kaynak)	0,639±0,098
Merkez (Musluk)	1,109±0,076
Seydiler (Kaynak)	13,579±1,362
Taşköprü (Musluk)	2,839±0,331
Tosya (Kaynak)	0,543±0,121
Tosya (Musluk)	0,604±0,070

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilen ortalama radon konsantrasyonlarının numunenin alındığı yere ve mevsime göre değişimi çizilerek Şekil 4.110’da gösterilmiştir.



Şekil 4.110 Ortalama radon konsantrasyonlarının numunenin alındığı yere ve mevsime göre değişimi. (M: musluk suyu, K: Kaynak suyu)

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Kastamonu iline ait su örneklerinin ilkbahar ölçümü 21.05.2010 - 27.05.2010 tarihleri, yaz ölçümü ise 20.08.2010 - 25.08.2010 tarihleri arasında yapılmıştır. Ölçümler için 10 ayrı ilçeden ve Ilgaz dağından toplam 18 su örneği alınmıştır. Alınan su örneklerinde radon aktivitesi ölçümü yapılmıştır. Su numulerinin analizleri AlphaGuard cihazıyla Kastamonu Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir.

Kastamonu ilinin ilçelerinde yapılan bu çalışmada maksimum radon aktivitesi ilkbahar dönemi için 12,734 Bq/L, yaz dönemi için 19,213 Bq/L dir. Minimum radon aktivitesi ilkbahar dönemi için 0,362 Bq/L, yaz dönemi için 0,312 Bq/L olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlarda, ilkbahar dönemi ile yaz dönemi, radon aktivitesi değerleri arasındaki farklılığın sebeplerinden biri artan sıcaklıktır. Suyun sıcaklığı arttıkça ortama verilen radon gazı miktarı artacaktır. Diğer bir neden ise, bahar'da eriyen kar ve yağmur sularının kaynak sularına karışarak içinde ²²²Rn bulunduran suyun radon aktivitesini azaltmasıdır. Yazın ise bu eriyen kar ve yağmur sularının durmasıyla, kaynak sularının radon aktivitesi artacaktır.

Bu çalışmada olabilecek hatalar, numune hazırlama ve ölçüm sisteminden kaynaklanan hatalar olarak sınıflanabilir. Bunlar, kaynaklardan numune alımı sırasında şişelerin ağzının kapatılmasında geç kalınması, şişedeki suyun ölçümün yapılacağı hücreye aktarımı esnasındaki gaz kaçakları, ölçüm sırasındaki radon emilimi işlemlerinden kaynaklanan hatalar olarak belirtilebilir.

Elde edilen radon aktivitesi değerleri değişkenlik göstermekle birlikte, özellikle bazı kaynaklara ait aktivite değerlerinin USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) tarafından içme olarak kullanılan sular için izin verilen 11 Bq/L değerini geçtiği görülmektedir (USEPA 1991).

Suyun radyolojik yönden incelenmesi ve doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi insan sağlığını doğrudan ilgilendirdiği için önemlidir. Bilindiği gibi insanların maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık %87'si doğal ortamdan kaynaklanmakta ve bu doğal

radasyona %55'lik en önemli katkıyı radon gazı yapmaktadır. Bu durum dikkate alındığında, doğal radyasyona en önemli katkıyı yapan radon aktivitesinin ve hatta mümkünse bütün radyoaktif madde aktivitelerinin her bölgede belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda yaptığımız çalışma ile Kastamonu ilinin birçok ilçesinin incelenmesi ile Kastamonu'nun radon haritasının çıkarılmasına katkıda bulunulmuştur.

KAYNAKLAR

- Akar, Ü. 2010. Bursa-Çekirge bölgesi termal sularında radon konsantrasyonunun tayini. Yüksek lisans tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-2s.,43-46s., Bursa.
- Akkurt, A. 2006. Afyon jeotermal sularında radon (Rn^{222}) aktivitesi tayini. Yüksek lisans tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1s.,13s., Afyon.
- Akkurt, İ. Radyasyon ölçüm teknikleri ve korunma. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 6s., 11s.,Isparta.
<http://thm.ankara.edu.tr/tac/yazokulu/yazokulu4/dersnotlari/iakkurt.pdf>
Erişim Tarihi: 08.01.2011.
- Akyıldırım, H. 2005. Isparta İli'nde radon yoğunluğunun ölçülmesi ve haritalandırılması. Yüksek lisans tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1s., 10s., 60-63s., Isparta.
- Arya, A. P. 1983. Çekirdek fiziğinin esasları (Çeviri: Y. Şahin). Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü. Sayı 3. 28-30s., Erzurum.
- Atakan, Y. 2007. Bol radonlu içmeler ve halk sağlığı.
<http://www.ekolojistler.org/bol-radonlu-icmeler-ve-halk-sagligi-dr.yuksel-atakan.html>
Erişim Tarihi: 08.09.2010
- Barış, C. 2006. İzmir-Çeşme yeraltı-termal suları ve çevresindeki topraklarda radyoaktivite araştırmaları. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 11s., Manisa.
- Bayata, S. Şubat 2007. Çatalağzı termik santrali ve çevresinde radyoaktivite ölçümü. Bilim uzmanlığı tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Baykara, O. 2005. Kuzey anadolu ve doğu anadolu fay hatlarının kesişim bölgesindeki doğal radyoaktivite tayini. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bora, H. 2001. Radyasyon güvenliği. Ankara Üniversitesi dikimevi sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu yıllığı Cilt 2 Sayı 1, 92s.
- Çelebi, N. 2007. Konutlarda radon konsantrasyon değerlerinin yapı biyolojisi açısından incelenmesi. VIII. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, 400s., İzmir.
- Davutoğlu, H. Haziran 2008. Radon gazı ölçme metotları. Yüksek lisans tezi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 22s., Kütahya.

- Fişne, A., Ökten, G., Çelebi, N. 2004. Türkiye Taşköprü kurumu (TTK) yer altı maden ocaklarında radon gazı yayılımının incelenmesi. Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı. 195-196s., Zonguldak.
- GENITRON INSTRUMENTS, 2001. AlphaPUMP technical description. Genitron Instruments GmbH Heerstraße 149, 6-7s., Germany.
- GENITRON INSTRUMENTS, 2007. AquaKIT Accessory for radon in water measurement in combination with the radon monitor AlphaGUARD. Genitron Instruments GmbH Heerstraße 149, 15s., Germany.
- Genrich, V. 2006. GENITRON INSTRUMENTS AlphaGUARD PQ2000/MC50, Multiparameter radon monitor, Characterisation of its physical properties under normal climatic and severe environmental conditions, 3s. Germany.
- Günaydı, T. 2004. İzmir-Dikili jeotermal sahalarına yakın yerleşim alanlarında radon konsantrasyonlarının belirlenmesi. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 10s., İstanbul.
- Kam, E. 2004. Tekirdağ'ın çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2s., İstanbul.
- Kam, E., Bozkurt, A. 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. Applied Radiation and Isotopes, Vol.,65 (4); 440-444
- Kapdan, E. 2009. Adapazarı merkezi kış dönemi radon ölçüm ve analizleri. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul. 2s.,6s.,28s., 32-42s., 48-53s., İstanbul.
- Kıvacı, S. R. Radon²²². Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Bilimsel Raporlar Serisi. Rapor No:01., İzmir.
- Krane, K. S. 2001. Nükleer fizik 1. cilt (Çeviri Editörü: Başar Şarer). Palme Yayıncılık. No: 173. 161-162 s.,192s, 204-206 s., Ankara.
- Lapp and Andrews 1972. Nuclear Radiation Physics. SIR ISAAC PITMAN AND SONS LTD. 178-179 s. London.
- Lowenthal and Airey 2004. Practical Applications of Radioactivity and Nuclear Radiations. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. 35-35 s. Cambridge, UK.
- Özdemir, F. B. 2006. Afyon ve çevresindeki kuyu sularında radon (²²²Rn) aktivitesi tayini. Yüksek lisans tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1s., 25-32s., Afyonkarahisar.

Price, W.J. 1964. Nuclear Radiation Detection. McGraw-Hill Book Company, Inc. 160-168 s. U.S.A.

TAEK (Türkiye Atom Enerji Kurumu),
<http://www.taek.gov.tr/component/content/article/125-saglik-fizigi/473dunyada-ve-turkiyede-musaade-edilebilir-radon-konsantrasyonu-nedir.html>. Erişim Tarihi: 14.09.2009

Uluğ, A. ve Çelebi, N., 2005. Evimizdeki görünmeyen tehlike radon gazı: Türkiye değerleri ve diğer ülkelerle karşılaştırılması. 2-3s.,

UNSCEAR, 1977: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E.77.IX.1. New York.

UNSCEAR, 1982: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly.

UNSCEAR, 1982:United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Levels and Effects of Ionizing Radialion, New York, UN, UNSCEAR Report.

UNSCEAR, 1988: United Nations Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation; Sources,Effects, and Risks of Ionizing Radiation United Nations sales publication No:E.88.IX.7.New York.

UNSCEAR, 1993: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E. 94.IX.2. New York.

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

URL.1. http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.htm 11.04.2009

URL.2.http://www.rcs.k12.va.us/chemistrynhs/advanced/01_adv_atomic/advanced_atomic.htm 11.04.2009

Üzbey, S. 2009. Çorum ili genelinde faaliyet gösteren kömür ocaklarındaki radon gazının ölçülmesi. Yüksek lisans tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 4s., Ankara.

William, R.Leo.1987. Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. Springer-Verlag Heidelberg, Germany.

- Yalçın, S. 1992. Güney Marmara bölgesinde çeşitli ortamlarda radyoaktif kirliliğin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 10-13s., Bursa.
- Yalçın, S. 1999. İki inçlik $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ ve $\text{NaI}(\text{Tl})$ kristalli Phoswich sintilasyon dedektörünün α , β , γ sayma veriminin kuramsal ve deneysel olarak tayini. Doktora tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 14-15s., Bursa.
- Yaramış, B. 1985. Nükleer Fizik, Cilt I. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Yayın No:7, 27s., 35-36s., İstanbul.
- Yücel, B. ve ARIKAN, İ.H. Binalarda radon ve sağlık etkileri. 1s., 3s., <http://me.emu.edu.tr/haybar/Radon/BinalardaRadon.pdf>.
Erişim Tarihi: 12.07.2010
- Zorer, S. Ö. 2006. Bendimahi çay'ında ve çayın Van göl'üne döküldüğü noktada doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi. Doktora tezi Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-2s., 11-15s., Erzurum.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fulya İNCİRCİ
Doğum Yeri : Bakırköy / İSTANBUL
Doğum Tarihi : 01.10.1985
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Cibali Lisesi (YDA) / (1999-2003)
Lisans : Gazi Üniversitesi Kastamonu Fen Edebiyat Fakültesi Fizik
Bölümü / (2004-2008).