



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞU ANADOLU FAY ZONU UZANIMINDA
BULUNAN GÖLBAŞI (ADİYAMAN)-TÜRKOĞLU
(KAHRAMANMARAŞ) SEGMENTİ ÜZERİNDE
RADON GAZI DEĞİŞİMLERİNİN DEPREM İLE
İLİŞKİSİ VE DOĞAL RADYOAKTİVİTENİN
BELİRLENMESİ**

SERDAR GÜMBÜR

DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2022

**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞU ANADOLU FAY ZONU UZANIMINDA
BULUNAN GÖLBAŞI (ADİYAMAN)-
TÜRKOĞLU(KAHRAMANMARAŞ) SEGMENTİ
ÜZERİNDE RADON GAZI DEĞİŞİMLERİNİN
DEPREM İLE İLİŞKİSİ VE DOĞAL
RADYOAKTİVİTENİN BELİRLENMESİ**

SERDAR GÜMBÜR

DOKTORA TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serdar GÜMBÜR



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**DOĞU ANADOLU FAY ZONU UZANIMINDA BULUNAN GÖLBAŞI
(ADİYAMAN)- TÜRKÖĞLU(KAHRAMANMARAŞ) SEGMENTİ ÜZERİNDE
RADON GAZI DEĞİŞİMLERİNİN DEPREM İLE İLİŞKİSİ VE DOĞAL
RADYOAKTİVİTENİN BELİRLENMESİ
(DOKTORA TEZİ)**

SERDAR GÜMBÜR

ÖZET

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Fay Zonu segmenti olan Gölbaşı (Adıyaman)-Türkoğlu (Kahramanmaraş) üzerinde doğal radyoaktivitenin belirlenmesi ve radon gazı değişimlerinin deprem ile ilişkisinin incelenmesi amacıyla 4 (dört) farklı istasyon belirlenmiştir. Belirlenen bu dört istasyondan, mevsimsel değişimleri incelemek üzere, yaz ve kış mevsimleri için 4 (dört)'er adet olmak üzere toplam 8 (sekiz) adet toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örneklerinin radyonüklid, toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri uygun algılama sistemleri ile ölçülerek bölgenin doğal radyoaktivite seviyesi belirlenmiştir. Toprak örneklerindeki radyonüklid, toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri mevsimsel olarak karşılaştırılmış olup; aynı zamanda ulusal ve uluslararası kuruluşların tavsiye ettiği sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Bunlara ilaveten, ayda 1 (bir) kez olmak üzere, Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında, belirlenen her bir istasyonda Durrige Rad7 aktif radon dedektörü kullanılarak topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonlarının ölçüldüğü tarihlerde istasyonların yakın çevrelerindeki kuyu sularından da örnekler alınmış olup; bu sularda radon gazı aktivite konsantrasyonları da Durrige Rad7 dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Bu kuyu sularının radon aktivite konsantrasyonları, uluslararası kuruluşların belirlediği içme sularında limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Bunun yanında, her bir istasyonun çevresindeki 10 km yarı çaplı alanlarda, 1 ML'den büyük, Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında meydana gelmiş olan depremlerin kayıtları, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesinden alınmıştır. Bu tarih aralığında, SPSS programı vasıtasıyla her bir istasyon ve çevresinde meydana gelen aylık deprem sayıları ile aylara göre topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite ölçüm sonuçlarının korelasyonu incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, Çiğli, Öksüzlü ve Kuyumcular istasyonunda anlamlı bir ilişki bulunmakta olup; Kapıçam istasyonunda ise, topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlı bir ilişki var iken, sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Ayrıca, dört istasyondaki toprakta ve suda radon gazı ölçümleri ile kayıtlı depremlerin listesini birlikte veren grafikler incelendiğinde, radon gazı değişimlerinin depremin önceden tahmin edilmesinde önemli bir parametre olabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Radon, Deprem, Doğal Radyoaktivite

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Haziran / 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erdal KÜÇÜKÖNDER

Sayfa sayısı:132

**DETERMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY AND RELATION WITH
EARTHQUAKE OF RADON GAS CHANGES ON GÖLBAŞI (ADIYAMAN) -
TÜRKOĞLU (KAHRAMANMARAŞ) SEGMENTS IN EAST ANATOLIA FAULT
ZONE EXTENSION
(Ph.D. THESIS)**

SERDAR GÜMBÜR

ABSTRACT

In this study, 4 (four) different stations were determined to determine natural radioactivity and to examine the relationship between earthquake and radon gas changes on the Gölbaşı (Adıyaman)-Türkoglu (Kahramanmaraş), which is the Eastern Anatolian Fault Zone segment. A total of 8 (eight) soil samples were taken from these four designated stations, 4 (four) each for summer and winter seasons, to examine seasonal changes. The radionuclide, total alpha, and total beta activities of the soil prefixes received were measured with appropriate detection systems and the natural radioactivity level of the region was determined. The radionuclide, total alpha, and total beta activities in soil samples were seasonally compared; it is also compared with the limit values recommended by national and international organizations. In addition, radon gas activity concentrations in the soil were measured using the DurrIDGE Rad7 which is an active radon detector at each station designated 1 (once) per month between December 2019 and November 2020. Samples were also taken from well waters near the stations at the time of measuring radon gas activity configurations in the soil; radon gas activity configurations in these waters were also measured using the DurrIDGE Rad7 detector. Radon activity constructions of these well waters were compared with the limit values in drinking water determined by international organizations. In addition, records of earthquakes greater than 1 ML that occurred between December 2019 and November 2020 in 10 km semi-diameter areas around each station were obtained from the Boğaziçi University of Kandilli Observatory. During this date period, the correlation of the monthly earthquake counts occurring in and around each station and the radon gas activity measurement results in the soil and water according to the months was examined through the SPSS program. As a result of this investigation, there is a meaningful relationship at Çiğli, Öksüzlü, and Kuyumcular stations. In the Kapiçam station, while there is a significant correlation between radon gas activity concentrations in the soil and monthly earthquake numbers, there is no correlation between radon gas activity concentrations in water and monthly earthquake numbers. In addition, when the graphs that give the list of recorded earthquakes together with the radon gas measurements in the soil and water in the four stations are examined, it is predicted that radon gas changes can be an important parameter in predicting earthquakes.

Keywords: Radon, Earthquake, Natural Radioactivity

Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, June / 2022

Supervisor: Dr. Lecturer Member Erdal KUCUKONDER

Page number:132

TEŞEKKÜR

Öncelikle Yüksek lisansımı bitirmemde, Doktora eğitimime başlamamda ve bu eğitim süreçlerimde her alanda öğrettikleri için ve aynı zamanda bana her zaman tecrübesiyle yön veren, tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Erdal KÜÇÜKÖNDER'e,

Tez çalışmam boyunca yardımlarını benden esirgemeyen Tez İzleme Kurulu Üyeleri Sayın Prof. Dr. Ömer SÖĞÜT'e ve Sayın Doç. Dr. Muharrem KARABÖRK'e,

Ayrıca, tez çalışmalarındaki arazi çalışmalarında ve tezin hazırlanması süreçlerinde desteklerinden dolayı İstiklal Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Lale DÖNBAK'a,

Radon gazı değişimlerinin deprem ile ilişkisinin incelenmesi için SPSS programının kullanılması ve değerlendirilmesi aşamasında ki yardımlarından dolayı Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi'nde görev yapmakta olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yusuf İslam BOLAT'a,

Kilis Göç İdaresi İl Müdürlüğü ve Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi'ndeki bana destek olan tüm mesai arkadaşlarıma,

Bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan, Annem ve Babama,

Beni sürekli destekleyen, sabır gösteren ve her zaman yanımda olan Eşime,

En içten duygularıyla sonsuz teşekkürlerimi arz ederim...

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Radyasyon	4
1.1.1. İyonlaştırıcı radyasyon	4
1.1.1.1. Alfa parçacıkları	4
1.1.1.2. Beta parçacıkları	5
1.1.1.3. X ve Gama ışınları	5
1.1.1.4. Nötronlar	5
1.1.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon	6
1.1.3. Radyasyon birimleri	6
1.2. Radyoaktivite	7
1.3. Doğal Radyoaktif Seriler	8
1.3.1. Uranyum	12
1.3.2. Toryum	13
1.3.3. Potasyum-40	14
1.4. Topraktaki Doğal Radyoaktivite	14
1.5. Radyasyon Algılama Yöntemleri	17
1.5.1. Sintilasyon algılayıcıları	17
1.5.1.1. Talyum katkılı sodyum iyodür NaI(Tl) sintilatörleri	18
1.5.1.2. Gümüş katkılı çinko sülfür ZnS(Ag) sintilatörleri	19
1.5.1.3. Plastik sintilatörler	19
1.5.2. Algılayıcı verimi	19
1.6. Radon ve Özellikleri	20
1.6.1. Radon	20
1.6.2. Radonun sağlık üzerine etkileri	21
1.6.3. Topraklarda radon	22
1.6.4. Sularda radon	24
1.6.5. Radon gazı ölçümü	26
1.7. Radon-Deprem İlişkisi	26
1.7.1. Genel bilgiler	26
1.7.2. Radon-deprem ilişkisinin tarihçesi	27
1.7.3. Radon-deprem ilişkisinde öne sürülen modeller	28
1.8. Dünyanın Oluşumu ve İç Yapısı	29
1.9. Deprem ve Türleri	32
1.9.1. Depremler nasıl meydana gelir?	32
1.10. Fay ve Çeşitleri	33

1.11. Depremlerin Ölçülmesi, Şiddet ve Büyüklük Dereceleri	34
1.12. Türkiye'nin Tektoniği.....	35
1.12.1. Doğu Anadolu fay zone (DAFZ).....	37
1.12.1.1. Doğu Anadolu fay zone segmentleri.....	38
Gölbaşı-Türkoğlu segmenti.....	39
1.12.1.2. DAFZ'nin deprem potansiyeli	40
1.12.1.3. DAFZ üzerinde tarihsel ve aletsel dönemdeki depremler	41
1.13. Kahramanmaraş İli Konumu, Toprak ve Jeolojik Yapısı Hakkında Bilgiler	42
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	48
3. MATERYAL ve METOT	53
3.1. Örneklerin Toplanması ve Sayım İçin Hazırlanması	56
3.1.1. Su örneklerinin toplanması ve sayılması	57
3.1.2. Toprak örneklerinin toplanması ve sayılması.....	57
3.2. Kullanılan Sayım Sistemleri ve Algılayıcılar	58
3.2.1. Durrige Rad7 elektronik radon detektörü algılayıcısı ve yapısı	58
3.2.2. 7286 Düşük seviyeli alfa sayıcısı	60
3.2.3. Penceresiz sintilasyon sayacı	60
3.2.4. Gama hassas sintilasyon sayacı	61
3.3. Toprak Örneklerinin Aktivite Konsantrasyonları	61
3.3.1. Sayma hataları	61
3.3.2. Verim Düzeltmeleri	61
3.3.3. Toprak örneklerinin aktivite konsantrasyonlarının hesaplanması	62
3.4. Radon Gazı Ölçümleri	62
3.4.1. Topraktaki radon gazı ölçümü	62
3.4.2. Sulardaki radon gazı ölçümü	63
3.5. İstatistik Analizler	64
3.6. Kayıtlı Depremlerin Listesi	65
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	66
4.1. Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	66
4.1.1. Toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri	66
4.1.2. Toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları	71
4.2. Radon Gazı Ölçümleri ve Değişimleri	75
4.2.1. Topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları	75
4.2.1.1. Çiğli istasyonundaki toprak ve su örneklerindeki radon gazı	
aktivite konsantrasyonları.....	75
4.2.1.2. Kapiçam istasyonundaki toprak ve su örneklerindeki radon	
gazı aktivite konsantrasyonları	77
4.2.1.3. Öksüzlü istasyonundaki toprak ve su örneklerindeki radon	
gazı aktivite konsantrasyonları	78
4.2.1.4. Kuyumcular istasyonundaki toprak ve su örneklerindeki	
radon gazı aktivite konsantrasyonları.....	79
4.2.1.5. Topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite	
konsantrasyonlarının karşılaştırılması	81
4.2.2. Radon gazı aktivite değişimlerinin deprem ile ilişkisinin incelenmesi	85
4.2.2.1. Çiğli istasyonundaki radon gazı aktivite değişimlerinin	
deprem ile ilişkisinin incelenmesi	85
4.2.2.2. Kapiçam istasyonundaki radon gazı aktivite değişimlerinin	
deprem ile ilişkisinin incelenmesi	88

4.2.2.3. Öksüzlü istasyonundaki radon gazı aktivite değişimlerinin deprem ile ilişkisinin incelenmesi	91
4.2.2.4. Kuyumcular istasyonundaki radon gazı aktivite değişimlerinin deprem ile ilişkisinin incelenmesi	93
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	98
5.1. Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	98
5.2. Topraktaki ve Sudaki Radon Gazı Aktivite Konsantrasyonları	100
5.3. Radon Gazı Aktivite Değişimlerinin Deprem ile İlişkisi	103
KAYNAKLAR.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Sintilasyon sayacının şematik gösterimi	18
Şekil 1.2 Değişik toprak tiplerinde geçirgenlik kıyaslaması	23
Şekil 1.3 Dünyanın içi ve yer kabuğunun yapısı	30
Şekil 1.4 Dünyanın levhaları ve hareketleri	31
Şekil 1.5 Dünyadaki deprem kuşakları	33
Şekil 1.6 Faylar ve çeşitleri	34
Şekil 1.7 Türkiye ve çevresinin tektonik yapısı	36
Şekil 1.8 DAFZ'nun genel uzanımı	37
Şekil 1.9 Doğu Anadolu Fay Zonunun (DAFZ) segmentleri ve uzanımı haritası.....	39
Şekil 1.10 Gölbaşı ile Türkoğlu arasındaki fayın haritası	40
Şekil 1.11 Kahramanmaraş ili haritası.....	43
Şekil 1.12 Kahramanmaraş ili ve yakın çevresinin jeoloji haritası	44
Şekil 1.13 Kahramanmaraş ili toprak dağılımı haritası	47
Şekil 3.1 İstasyonların yer bulduru haritası	53
Şekil 3.2 Belirlenen istasyonların bulunduğu bölgeye ait jeolojik haritası	55
Şekil 3.3 İstasyon bölgelerinin toprak gruplarının haritası.....	55
Şekil 3.4 Durrige Rad7 radon dedektörünün genel görünümü.....	58
Şekil 3.5 Toprak gazı probu (sondası) standart konfigürasyonu	63
Şekil 3.6 Rad H ₂ O aksesuarı şematik gösterimi	64
Şekil 4.1 Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri	67
Şekil 4.2 Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri	68
Şekil 4.3 Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin ²¹⁸ U, ²³² Th ve ⁴⁰ K konsantrasyonları	72
Şekil 4.4 Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin ²¹⁸ U, ²³² Th ve ⁴⁰ K konsantrasyonları	73
Şekil 4.5 Çiğli istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları	76
Şekil 4.6 Kapiçam istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları	77
Şekil 4.7 Öksüzlü istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları	79
Şekil 4.8 Kuyumcular istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları	80
Şekil 4.9 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında Çiğli istasyonu ve çevresinde aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları.....	86
Şekil 4.10 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında; Çiğli istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları ile topraktaki ve sudaki radon gazı konsantrasyonu değişimleri	87
Şekil 4.11 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında Kapiçam istasyonu ve çevresinde aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları.....	88
Şekil 4.12 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında; Kapiçam istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları ile topraktaki ve sudaki radon gazı konsantrasyonu değişimleri	89

Şekil 4.13 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında Öksüzlü istasyonu ve çevresinde aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları.	91
Şekil 4.14 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında; Öksüzlü istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları ile topraktaki ve sudaki radon gazı konsantrasyonu değişimleri	92
Şekil 4.15 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında Kuyumcular istasyonu ve çevresinde aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları.	93
Şekil 4.16 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında; Kuyumcular istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları ile topraktaki ve sudaki radon gazı konsantrasyonu değişimleri	94



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1 Eski ve yeni radyasyon birimleri	6
Çizelge 1.2 Doğal radyoaktif seriler ve bazı parametreler	9
Çizelge 1.3 Tabiatta tek başına bulunabilen radyonüklidler	11
Çizelge 1.4 Bazı kaya ve topraklardaki ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U 'nun konsantrasyonları ...	15
Çizelge 1.5 Topraktaki doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları	16
Çizelge 1.6 Uluslararası kuruluşların sularda radon (^{222}Rn) konsantrasyonu için izin verilebilir üst sınırı.....	25
Çizelge 1.7 Fay Zonunun yaşı ile ilgili farklı görüşler.....	38
Çizelge 1.8 Fay Zonunun Segmentasyonu konusunda ileri sürülen farklı görüşler...	38
Çizelge 1.9 DAFZ civarında MS 17- 1900 yılları arasında meydana gelmiş tarihsel depremler	41
Çizelge 1.10 DAFZ üzerinde ve çevresinde son yüzyılda meydana gelmiş depremler	42
Çizelge 1.11 Kahramanmaraş ve ilçelerin toprak dağılımı	45
Çizelge 3.1 Durridge Rad7 dedektörüne ait bazı fiziksel, fonksiyonel ve teknik özellikler	59
Çizelge 4.1 Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri	67
Çizelge 4.2 Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	68
Çizelge 4.3 Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları.....	72
Çizelge 4.4 Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları.....	73
Çizelge 4.5 Çiğli istasyonunda ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları	76
Çizelge 4.6 Kapiçam istasyonunda ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları....	77
Çizelge 4.7 Öksüzlü istasyonunda ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları.....	78
Çizelge 4.8 Kuyumcular istasyonunda ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları.....	80
Çizelge 4.9 Çiğli istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremler	85
Çizelge 4.10 Kapiçam istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremler	88
Çizelge 4.11 Öksüzlü istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremler	91
Çizelge 4.12 Kuyumcular istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremler	93

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

^{219}Rn	: Aktinon
^{220}Rn	: Toron
^{222}Rn	: Radon
^{232}Th	: Toryum
^{235}U	: Aktinyum
^{238}U	: Uranyum
^{239}Pu	: Plütonyum
^{241}Pu	: Neptünyum
^3H	: Tiritiyum
^{40}K	: Potasyum
Bq	: Becquerel (Aktivite birimi, yeni sistem)
C/Kg	: (Işınlanma dozu, yeni sistem); $1\text{C/Kg}=3876\text{ R}$
Ci	: Curie (Aktivite birimi, eski sistem)
Ms	: Yüzey Dalgası büyüklüğü (Deprem Ölçü Birimi)
Mw	: Moment Büyüklüğü (Deprem Ölçü Birimi)
M_L	: Yerel Deprem Büyüklüğü
Gy	: Gray (Soğrulan doz, yeni sistem)
N/Z	: Nötron sayısı / proton sayısı
ppm	: Parts per million (milyonda bir birim)
Rad	: (Radiation Absorbed Dose) Soğrulan doz, eski sistem
Rem	: (Roentgen Equivalent Man) Eşdeğer Doz, eski sistem
Röntgen (R)	: Işınlanma dozu, eski sistem
SI	: Uluslararası birimler sistemi
Sv	: Sievert (Eşdeğer doz, yeni sistem)
α	: Alfa parçacığı
β	: Beta Parçacığı
γ	: Gama Işını
η	: Nano, alt birim
μ	: Mikro, alt birim
ρ	: Piko, alt birim
AERE	: Atom Enerjisi Araştırma Kurumu (Atomic Energy Research Establishment)
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi

ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DAFS	: Doğu Anadolu Fay sistemi
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
IAEA	: Uluslararası Atom Enerji Kurumu (International Atomic Energy Agency)
ICRP	: Uluslararası Radyolojiden Koruma Komisyonu (International Commission on Radiological Protection)
ICRU	: Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu (International Commission on Radiation Units and Measurements)
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KAFS	: Kuzey Anadolu Fay Sistemi
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KF	: Kalite Faktörü
LET	: Lineer Enerji Transferi
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NCRP	: Radyasyondan Koruma ve Radyasyon Ölçümü Ulusal Konsey (National Council on Radiation Protection and Measurements Radiation)
NTE	: Nadir toprak elementleri
ÖDF	: Ölü Deniz Fayı
ÖDFZ	: Ölü Deniz Fay Zonu
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Bilim Komitesi (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic)
USEPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (The United Stated Environmental Protection Agency)
VDF	: Verim Düzeltme Faktörü
TAEK	: Türkiye Atom Enerji Kurumu
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

1. GİRİŞ

İnsanlar, hayatları boyunca evrenin oluşumundan beri var olan, toprakta, kayalarda, havada, suda, bitkilerde, gıdalarda ve binaların yapı malzemelerinde bulunan uzun yarı ömürlü uranyum (^{238}U) ve toryum (^{232}Th) doğal radyoaktif serilerinin bozunumlarından oluşan radyonüklidler ve tabiatta tek başına bulunan radyonüklidler nedeniyle yersel yer küre kaynaklı doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Aynı zamanda, doğal bir şekilde insanların vücutlarında bulunan ve doz miktarları kişiden kişiye değişen potasyum (^{40}K) ve karbon (^{14}C) gibi izotoplar sebebiyle de içsel olarak doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Bütün bunlara ilaveten, insanlar, sürekli olarak derin uzaydan, güneşten ve diğer yıldızlardan gelen parçacıklar ve elektromanyetik ışınlar yoluyla yüksekliğe ve kutuplara olan uzaklığa bağlı olarak kozmik radyasyon yüzünden de doğal radyasyona maruz kalmaktadır (Aydın, 2016).

İnsanoğlunun yaklaşık olarak maruz kaldığı radyasyonun % 85'lik kısmı doğal kaynaklıdır. Bu doğal kaynaklı radyasyonun da neredeyse % 50'lik kısmı, uranyum (^{238}U) serisinin içerisinde yer alan radyum (^{226}Ra) elementinin bozunmasından oluşan radon gazı sebebiyledir (IAEA 1996). Böylelikle, doğal radyasyon düzeyini artıran en önemli nedenlerden biri radon gazı olduğu söylenilmektedir (URL~1). Doğal radyasyon düzeyini artıran bir diğer element ise tabiatta tek başına bulunan radyonüklidler arasında yer alan ^{40}K elementidir. Bu element, toprakta çok bol miktarda bulunmaktadır. Aynı zamanda, doğal gama radyasyon dozunu artıran en önemli sebepler arasında yer almaktadır (Küçükönder, 2009).

İnsanları korumak, sağlıklı, kaliteli ve güvenli bir yaşam amacıyla çevreye yayılan radyasyondan dolayı insanların maruz kaldığı dozu belirlemek için çevreye yayılan radyasyon dozunu ve bu radyasyon yayımına sebep olan radyonüklidlerin de aktivitelerinin ölçülmesi gerekmektedir. Ölçümler sonucunda; çevreye yayılan bu radyasyondan toplumun almış olduğu dozdan dolayı oluşabilecek klinik sağlık etkileri değerlendirilerek toplum için gerekli olan tedbirler alınmalıdır. Aynı zamanda, nükleer bir kaza yaşanması durumunda çevremizin ne kadar kirlendiğinin tespiti ve çevremiz için gerekli olan önlemleri alma açısından da çevresel doğal radyoaktivitenin bilinmesi bir hayli önem taşımaktadır (Değerlier, 2007; Küçükönder, 2009).

Yapılan birçok çalışmada, bir bölgenin doğal radyoaktivite temel seviyeleri, o bölgenin coğrafik ve jeolojik durumuna bağlı olarak değişiklik gösterdiği, aynı zamanda

coğrafi yükseklik ile birlikte bölgede ki toprak ve kayaçların yapılarının da bir bölgenin temel radyoaktivite miktarını, ölçüsünü etkileyen faktörler arasında yer aldığı ifade edilmektedir (Aydın, 2016; Baykara 2005; Canbazoglu, 2004; Çam, 2011; Değerlier, 2007; Küçükönder, 2009; Külahcı, 2005; Şahin, 2009).

Dünyanın değişik birçok yerlerinde tıpkı bizim ülkemizde olduğu gibi depremler meydana gelmektedir. Bu depremlerden yüksek şiddet de olanlar çok ağır hasarlara, yüzlerce insanın ölmesine ve büyük maddi kayıplara neden olmaktadır. Bu sebeple, toplumları en çok etkileyen ve korkutan tabii afetlerden bir tanesi olarak depremleri söyleyebiliriz. Bu tabii afet de meydana gelen ölüm, hasar, sosyal ve ekonomik kayıpları en aza düşürmek tüm insanları ilgilendiren bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sorunu çözmek için depreme dayanıklı yapılar yapmanın yanı sıra depremlerin önceden nerede, ne zaman, hangi şiddet ve büyüklükte olacağını bilmesi herkesin devamlı olarak düşündükleri bir konu olarak gündemdedir. Bu konu üzerine sistemli ve çok yönlü bilimsel çalışmaların geçmişi çok eski olmayıp bu yüzyılın yarısından sonra yani 1960'lerden sonra başlamıştır. Hem deprem problemi olan hem de ileri teknolojiye sahip olan Japonya, Rusya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde ilk ciddi çalışmalar başlamıştır. Daha sonra, Çin Halk Cumhuriyeti de bu devletlere 1966 yılından sonra katılmıştır. Alpler 'den başlayıp, Himalaya Dağlarından geçen dünyanın sayılı deprem kuşakları içerisinde yer alan ve büyük depremleri üreten iki önemli aktif fay sistemine sahip olan Türkiye'de, 1939 yılında meydana gelen büyük Erzincan depreminden sonra bazı çalışmalar yapılmıştır. Ancak, çok geçmeden bu çalışmalar yavaşlamış ve değerini giderek kaybetmiştir. 1966 Varto depreminden sonra ise deprem araştırmaları ve deprem zararlarının azaltılması konusundaki ülkemizde olumlu çalışmalara başlanılmıştır. 1970 yılı içerisinde ülkemizde deprem zararlarının azaltılması konusunda yapılacak çalışmalardan sorumlu olan kuruluş kurulabilmiştir. 17 Ağustos 1999 Gölcük ve 12 Kasım Düzce depremleri büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Bu depremlerden sonra, ülkemizde bulunan aktif fay hatlarından olan Kuzey Anadolu Fay Hattı ve Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde çalışmalara başlanılmıştır. Bu çalışmalar, depremlerin önceden tahmin edilmesi konusunda ülkemizde yapılan ilk çalışmalar olmasının yanı sıra elde edilen neticeler doğrultusunda diğer bölgelerde benzer sistemlerin kurulmasına öncülük edecek nitelikte sonuçlar ortaya çıkarmıştır (Şahin, 2009).

Depremlerin önceden tahmin edilebilmesi için hem depremin habercisi olarak düşünebileceğimiz bir takım sinyallerin gözlemlenmesine hem de bu sinyallerden elde

edilecek olan verilerin anlaşılmasına bağılı olarak depremin tahmin edilmesi doğrultusunda ilişki kurulabilmelidir. Depremlerin önceden tahmininde kullanılan belli başlı haberci sinyaller arasında; ayın gel-git periyotlarında depremlerin gözlenmesi, kuyulardaki su seviyelerinin değişmesi, yeryüzünün elektromanyetik özelliklerinin değişmesi, gravitasyonel ve manyetik çekim kuvvetinin alanındaki değişmeler, bazı hayvanlarda gözlenen garip davranışlar, yer altı gazlarının ve sıvılarının hareketleri bulunmaktadır. Ancak, bunlardan sadece birkaçı bilimsel temellere dayandırılabilir (Tabar, 2010).

Depremlerin önceden tahmin edilmesine yönelik yapılan birçok sistemli çalışmalar neticesinde, depremlerin meydana gelmesinin öncesinde veya sonrasında, depremin meydana geldiği bölge ve yakınlarında topraktan çıkan Rn, He, CO₂, CH₄, Ar, H₂, O₂, N₂, Na, Cl, Hg ve Rb gibi gaz olan elementlerin devamlı olarak izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu izlenim sonucunda bu gazların konsantrasyonlarında bir takım değişiklikler olduğu belirlenmiştir (Tabar, 2010). Bu gazlar arasında asal gaz olan ve atmosfere doğru göç ederken herhangi bir bileşik oluşturmeyen, yer altı sularında çözünebilen ve difüzyon yolu ile sulara geçerek taşınabilen, uranyumun bozunma serisinde yer alan radon (²²²Rn) gazı da bulunmaktadır. Radon gazının bu özellikleri sebebiyle, toprak havasında ve yer altı sularında bulunan radon gazı aktivite konsantrasyonlarının değişimlerinin izlenmesi, depremin önceden belirlenmesine yönelik çeşitli işaretler arasında kullanılabilecek en önemli jeokimyasal izleyici, en kullanışlı ve üzerinde en çok çalışılan gaz olarak sınıflandırılmasına sebep olmaktadır (Dubinchuk, 1993; İçhdef, 2011; King ve ark. 1996).

Bu çalışmanın amacı, Doğu Anadolu Fay Zonu uzanımında bulunan Gölbaşı (Adıyaman)-Türkoğlu (Kahramanmaraş) segmenti üzerinde radon gazı değişimlerinin depremle ilişkisini incelemek ve söz konusu fay zonu segmentinin bulunduğu bölgeyi radyolojik açıdan inceleyerek doğal radyoaktivite seviyesini belirlemektir.

Bu amaçla; mevsimsel olarak yaz ve kış mevsimlerinde toprak örnekleri toplanarak doğal radyoaktivite seviyeleri belirlenmiştir. Bu bölgede doğal radyasyon seviyesinde herhangi bir sebeple meydana gelebilecek değişikliklerin karşılaştırılabilmesi için bir temel seviye oluşturulmuştur. Aylık olarak Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında toprak ve kuyu sularından alınan örneklerin radon gazı aktivite ölçümleri yapılarak uluslararası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda, bu tarih aralığında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli rasathanesinden 1 ML'den büyük meydana gelmiş kayıtlı depremlerin listesi ile aylık olarak radon gazı değişimlerinin ilişkisi SPSS programı kullanılarak incelenmiştir.

1.1. Radyasyon

Enerjinin dalgalar veya tanecikler halindeki durumu veya ortamda bu şekilde yayılan enerji türleri radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Temel olarak radyasyonu, ortamda yayıldığı şekiller olan parçacık ve dalga tipi olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz (Çam, 2011). Gözle görülemeyecek kadar küçük olmakla birlikte, belli bir kütle ve enerjiye sahip olan hızla giden mermilere benzeyen radyasyon tipine parçacık radyasyonu denilmektedir. Bu parçacık tipi radyasyonlara alfa, beta parçacıkları, hızlı elektronları ve dolaylı iyonlaştırıcı nötron parçacıkları örnek olarak verilebilir. Dalga tipi radyasyon ise, belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Diğer bir deyişle bunlar, foton olarak bilinen kütsüz enerji yüklü paketlerdir. Bu dalga tipi radyasyonlara örnek olarak ise; X-ışınları, gama ışınları, radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışık, morötesi ışık ve görünür ışık verilebilir. Parçacık ve dalga tipli radyasyonları da madde ile etkileşime girme bakımından iki gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan madde ile etkileşime girebilenleri iyonlaştırıcı radyasyon, madde ile etkileşime giremeyenleri ise iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olarak tanımlanmaktadır (URL~2). İyonlaştırıcı olan ve olmayan radyasyonların daha ayrıntılı açıklamaları alt başlıklarda verilmektedir.

1.1.1. İyonlaştırıcı radyasyon

Alfa ve beta parçacıkları gibi maddenin daha küçük birimi olan atomla etkileşime girebilecek kadar enerjiye sahip olan yüklü parçacıkların oluşturdukları etki, iyonlaştırma (iyonizasyon) olarak adlandırılmaktadır. Bu şekilde, atomla etkileşime girebilen yüksek enerjiye sahip olan radyasyonun atoma uzak olmayan bir mesafeden geçmesi sırasında çekirdeğin çevresindeki yörüngede bulunan elektronda değişimler sağlayan veya bu elektronun çekirdeğin çevresindeki yörüngesinden çıkmasına sebep olan radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon denilmektedir (Çam, 2011; Küçükönder, 2009). Alfa, beta parçacıkları, hızlı elektronlar, dolaylı iyonlaştırıcı nötronlar, X-ışınları ve gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyona örnek olarak verilebilir.

1.1.1.1. Alfa parçacıkları

Pozitif yüklü helyum (He^{+2}) çekirdeği benzeridir. 2 proton ve 2 nötrondan oluşmaktadır. Atom numarası büyük olan kararsız atom çekirdeklerinde meydana gelmektedir. Enerjileri 9 MeV 'den küçük olup çoğunun enerjisi 3 ile 7 MeV arasında

değişmektedir. Menzilleri oldukça küçüktür; örneğin havada 3 cm, dokularda 0,004 mm'dir. Çok kalın olmayan kâğıt gibi maddeler ile durdurmak mümkündür. Madde ile etkileşimi esnasında pozitif yüklü olması sebebiyle üzerindeki enerjiyi karşılaştığı maddeye transferi (LET) oldukça yüksektir. Her ne kadar menzilleri kısa olmaları sebebiyle dış radyasyon tehlikeleri yaratmasalar da; sindirim, solunum veya yaralar yoluyla vücuda alınmaları çok ciddi sağlık sorunlarına yol açabilirler.

1.1.1.2. Beta parçacıkları

Bu parçacıklar çekirdek içerisindeki proton veya nötron fazlalığına göre salınan elektronlardır. Eğer ki nötron fazlalığı sebebiyle elektron salınıyor ise yükü negatiftir ve β^- ile gösterilir. Proton fazlalığı sebebiyle elektron salınıyor ise yükü pozitifdir ve β^+ ile gösterilerek pozitron adı verilir. Enerjileri 0,5 MeV ile 5 MeV arasında değişmektedir. Alfa parçacıklarına kıyasla kolayca durdurulamazlar. Menzilleri havada 3 m, dokularda 5 mm kadardır. Havadaki bu menzilleri sebebiyle bir dış radyasyon tehlikesi yaratabilmektedir.

1.1.1.3. X ve Gama ışınları

X ışınları hızlandırılmış bir elektronun aniden durdurulması sebebiyle veya bir atomun yörüngesinden elektronun koparılması yoluyla meydana gelmektedir.

Gama ışınları ise, kararsız atom çekirdeklerinin bir alfa veya beta parçacıkları yayınladıktan sonra uyarılmış durumda iken, hala kararlı hale geçemedikleri süreçte, üzerlerindeki fazla enerjiyi salmaları olayına gama ışıması denilmektedir.

Her iki ışımada elektromanyetik dalgadır. Hızları ışık hızına eşittir. Giricilikleri oldukça yüksektir, aynı zamanda menzilleri de çok yüksektir. Her ikisi de önemli bir dış ve iç ışınlama kaynaklarıdır. X ışınları orbitallerde meydana gelirken gama ışınları ise, çekirdek içerisinde meydana gelmektedir.

1.1.1.4. Nötronlar

Yükleri bulunmamaktadır. Bu nedenle madde içerisinde kolayca geçebilmektedir. Kütleleri protonunkine eşittir. Fisyon olayı sonucunda meydana gelir. Ağır bir çekirdeğin nötron bombardımanına uğratılarak ikiye bölünmesi sonucunda ortaya büyük bir enerji ve nötronların çıkması olayına fisyon denilmektedir.

1.1.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

Atomla etkileşmeye girebilecek kadar enerjiye sahip olmayan ve bu sebeple atoma uzak olmayan bir mesafen geçerken çekirdeğin çevresindeki yörüngede dolanan elektronda değişimler sağlamayan ya da elektronun çekirdeğin çevresinde yer alan yörüngesinden çıkmasına neden olmayan radyasyona iyonlaştırıcı olmayan radyasyon denilmektedir. Bu tür iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlara örnek olarak mikrodalga, kızılötesi ışık, morötesi ışık, görünür ışık, radyo ve televizyon dalgaları verilebilir (Çam, 2011; Küçükönder, 2009).

1.1.3. Radyasyon birimleri

Radyasyon birimleri için kullanılan eski ve yeni olarak iki farklı birim sistemi bulunmaktadır. Dünyada radyasyon birim sistemlerini tanımlayan organizasyonun ismi ICRU (International Commity of Radiation Units – Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi)'dur. Bu komite, eski birim sisteminde, aktivite için önce Curie (Ci), soğurulan doz için Rad, eşdeğer doz birimi için rem ve ışınlama dozu (poz) için de Röntgen birimlerini kabul etmiştir. Daha sonra bu komite yeni birim sitemini açıklamış ve 1986 senesinden itibaren bütün dünyada, eski birim sistemi terk edilmeye başlanmıştır. Yerine SI (Uluslararası birimler sistemi) kullanılmaya başlanmıştır. Yeni birim sisteminde; aktivite için Becquerel (Bq), soğurulan doz için Gray (Gy), eşdeğer doz için Sievert (Sv) ve ışınlama dozu için C/kg olarak kabul edilmiştir. Çizelge 1.1'de eski ve yeni radyasyon birimleri verilmiştir.

Çizelge 1. 1 Eski ve yeni radyasyon birimleri (Selçuk Zorer, 2006)

	Eski	Yeni	Dönüşüm
Aktivite	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1Ci=3,7x10 ¹⁰ Bq
Soğurulan Doz	Rad	Gray(Gy)	1 Gy=100 Rad 1 Sv=0.01 Gy
Eşdeğer Doz	Rem	Sievert (Sv)	1Sv=100 Rem 1 Rem=0.01 Sv
İşinlanma Dozu	Röntgen (R)	C/Kg	1C/Kg=3876 R

Aktivite; bir radyoaktif madde miktarının 1 saniyede bozunma miktarı olarak tanımlanmaktadır. Eski birim sisteminde 1 saniyede 3,7x10¹⁰ bozunma meydana getiriyorsa aktivitesi **1 Curie (Ci)** olarak tanımlanmaktadır. Yeni birim sisteminde ise, 1 saniyede 1 bozunma meydana getiriyorsa aktivitesi **1 Becquerel (Bq)** olarak tanımlanmaktadır.

Soğurulan doz; bir madenin ağırlığı başına herhangi bir radyasyon tarafından verilen enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Eski birim sisteminde herhangi bir maddenin parçacık veya dalga tipli radyasyonlardan gram başına 100 erg'lik enerji emilmesi **Rad (Radiation Absorbed Dose)** olarak tanımlanmaktadır. Yeni birim sisteminde ise kütlesi 1 kilogram olan herhangi bir maddenin parçacık veya dalga tipli radyasyonlardan 1 joule enerjiye maruz kalması sonucunda soğurulan radyasyon dozu **Gray (Gy)** olarak tanımlanmaktadır.

Eşdeğer doz; parçacık veya dalga tipi iyonlaştırıcı radyasyonların canlıdaki doku veya hücrelerdeki biyolojik etkisini tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Tüm vücudun aldığı radyasyon dozunun riskini ifade etmek için kullanılır. Doku ve hücrenin aldığı radyasyon türünün radyasyonun ağırlık faktörü ile çarpılması sonucunda eşdeğer doz bulunur. Genellikle H harfi ile gösterilir. $H = W_R \times D$ burada W_R , radyasyonun ağırlık faktörü (X ve gama için 1; n ve p için 10; alfa ve ağır çekirdekler için 20); D, alınan doz miktarıdır. Eski birim sisteminde eşdeğer doz birimi **Rem (Roentgen Equivalent Man)** olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde yeni birim sisteminde ise, eşdeğer doz birimi **Sievert (Sv)** ve boyutu da **Joule/kg** olarak tanımlanmaktadır (URL~23).

Aslında ışınlama dozuna yeni birim sisteminde yeni bir isim tanımlanmamış olup dozun sadece havadaki ölçümüne dayanan bir birim olan **Röntgendir** ve **R** sembolü ile gösterilir. Eski birim sisteminde 1 gr havada 87 erg değerinde enerji ile elektrostatik yük biriminde artı ve eksi yüklü iyonlar oluşturan X ışını ve Gama (γ) miktarı **1 Röntgen (R) olarak tanımlanır iken**; günümüzde yeni birim sisteminde ise, normal şartlarda yani 760 mmHg ve 0°C'de, havanın 1 kilogramında elektrostatik yük biriminde $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb değerinde artı ve eksi yüklü iyonlar oluşturan X ışını ve Gama (γ) miktarı **1 Röntgen (R) ve boyut C/Kg** olarak tanımlanmaktadır (Selçuk Zorer, 2006).

1.2. Radyoaktivite

Kararsız olan yani, çekirdeğindeki proton ve nötron sayıları dengeli bir orana sahip olmayan elementlerin, enerji yüklü çeşitli parçacık ya da dalgalar şeklinde ışımlar yaparak başlangıçtakinden fiziksel ve kimyasal olarak daha kararlı bir başka elemente dönüştüğü olaya radyoaktivite denilmektedir. Bu olay doğada mevcut bulunan kararsız elementlerde meydana geliyorsa doğal radyoaktivite; kararlı elementlerin, nötronlar, yüklü parçacıklar veya fotonlarla bombardıman edilerek kararsız hale getirilmesiyle meydana geliyorsa yapay radyoaktivite olarak tanımlanmaktadır (Aydın, 2016). Radyoaktivite olayı atom

çekirdeğinin kararsızlığıyla ilişkili olduğu için çekirdek fiziği açısından atom çekirdeğini incelemek gerekmektedir. Bu açıdan incelendiğinde, bir atomun çekirdeğinde ki nötronların varlığı protonların birbirini itmesi durumunda çekirdekteki dengeyi artırma açısından önemli atfedilmektedir. Bir çekirdeğin kararlılığı nötron ve proton sayılarının oranının küçük atom çekirdeklerinde yani atom numarası 20 veya daha küçük olanlarda 1 (bir), küçük olmayan yani büyük atom çekirdeklerinde ise nötron ve proton sayılarının oranları 1,5 civarında olmasıyla sağlanmaktadır. Doğada kararlı en ağır çekirdek Bizmut ($^{209}\text{Bi}_{83}$)'dur. Bizmut atomu için nötron ve proton oranı yaklaşık olarak 1,5'tir. Nötron ve proton oranları 1,5 ten büyük ($N/Z > 1,5$) olan diğer tüm çekirdekler ise kararsızdır yani radyoaktiftir (Özseven, 2019).

Çekirdek kararlılığını etkileyen etkenlerden bir diğeri de kararlı olan çekirdeklerin incelenmesi neticesinde nötron ve proton sayılarının tek veya çift oluşları dikkat çeken bir durum olarak ortaya koyulmaktadır. Örneğin, bilinen 264 kararlı çekirdek incelendiğinde, 102 tanesinde nötron veya proton sayılarının çift olduğu, 157 tanesinde hem nötron hem de proton sayılarının çift olduğu ve sadece 5 tanesinde nötron ve proton sayılarının tek olduğu anlaşılmaktadır. Yine kararlı çekirdekleri incelemelerden çıkan bir başka durum ise, "sihirli sayılar" olgusudur. Bu sihirli sayılar kuralına göre nötron ve/veya proton sayıları 2, 8, 20, 50, 82, 126 olan çekirdekler çok kararlı oldukları tespit edilmiştir. Bu sebeple tespit edilen söz konusu sayılara "sihirli sayılar" adı verilmektedir (URL~3).

1.3. Doğal Radyoaktif Seriler

Kararlı en ağır Bizmut ($^{209}\text{Bi}_{83}$) atomunun dışındaki ağır elementlerden oluşan doğal radyoaktif izotoplar üç seri altında toplanırlar. Bunlar; ^{238}U kaynaklı uranyum serisi, ^{232}Th kaynaklı toryum serisi ve ^{235}U kaynaklı aktinyum serisidir. Çizelge 1.2 'de bu doğal radyoaktif seriler ve bazı parametreleri verilmiştir (Küçükönder, 2009).

Çizelge 1. 2 Doğal radyoaktif seriler ve bazı parametreler (Küçükönder, 2009)

SERİLER	ÜYE	ATOM NUMARASI	YARI ÖMÜR	BOZUNMA TÜRÜ
URANYUM	²³⁸ U	92	4,5×10 ⁹ yıl	α
	²³⁴ T	90	24 gün	β
	^{234m} Pa	91	1,2 dakika	IT,β
	²³⁴ Pa	91	6,7saat	β
	²³⁴ U	92	2,5×10 ⁵ yıl	α
	²³⁰ Th	90	8×10 ⁴ yıl	α
	²²⁶ Ra	88	1600 yıl	α
	²²² Rn	86	3,8 gün	α
	²¹⁸ Po	84	3 dakika	α
	²¹⁴ Pb	82	27 dakika	β
	²¹⁴ Bi	83	20 dakika	β, α
	²¹⁴ Po	84	160 μs	α
	²¹⁰ Tl	81	1,3 dakika	β
	²¹⁰ Pb	82	22 yıl	β
TORYUM	²¹⁰ Bi	83	5 gün	β
	²¹⁰ Po	84	138 gün	α
	²⁰⁶ Pb	82	Kararlı	Kararlı
	²³² Th	90	1,4×10 ¹⁰ yıl	α
	²²⁸ Ra	88	5,8 yıl	β
	²²⁸ Ac	89	6,1 saat	β
	²²⁸ Th	90	1,9 yıl	α
	²²⁴ Ra	88	3,7 gün	α
	²²⁰ Rn	86	56 saniye	α
	²¹⁶ Po	84	0,15 saniye	α
	²¹² Pb	82	10,6 saat	β
	²¹² Bi	83	1 saat	B,α
	²¹² Po	84	0,3μs	α
	²⁰⁸ Tl	82	3,1 dakika	β
AKTİNYUM	²⁰⁸ Pb	82	Kararlı	Kararlı
	²³⁵ U	92	7,1×10 ⁸ yıl	α
	²³¹ Th	90	26 saat	β
	²³¹ Pa	91	3,3×10 ⁴ yıl	α
	²²⁷ Ac	89	22 yıl	B,α
	²²⁷ Th	90	19 gün	α
	²²³ Fr	87	22 dakika	B,α
	²²³ Ra	88	11 gün	α
	²¹⁹ At	85	0,9 dakika	α,β
	²¹⁹ Rn	86	4 saniye	α
	²¹⁵ Po	84	1,8 milisaniye	α
	²¹¹ Pb	82	36 dakika	β
	²¹¹ Bi	83	2,2 dakika	α,β
	²¹¹ Po	84	0,5 saniye	α
	²⁰⁷ Tl	81	4,8 dakika	β
	²⁰⁷ Pb	82	Kararlı	Kararlı

Çizelge 1.2' ye bakıldığında, uranyum bozunma zinciri içerisinde sadece 8 adet alfa parçacığı ve 6 adet beta parçacığı yayan ile birlikte hem alfa hem de beta parçacığı yayınlayan da 2 adet olmak üzere toplamda 16 adet radyonüklid bulunmaktadır. Bunlar arasında, yarılanma ömrü 1 yıldan fazla olan sadece 5 adet radyonüklid bulunmaktadır. Bunlardan; ^{238}U 'ın yarı ömrü $4,5 \times 10^9$ yıl, ^{234}U 'ün yarı ömrü $2,5 \times 10^5$ yıl, ^{230}Th 'un yarı ömrü 8×10^4 yıl, ^{226}Ra 'nın 1600 yıl ve ^{210}Pb 'un yarı ömrü 22 yıldır. Zincir içerisinde yayınlanan alfa parçacıklarının enerjileri 4,2 MeV ile 7,69 MeV arasında değişmektedir. Alfa parçacıklarının havada aldıkları mesafeler ise, 4 MeV 'lik enerji için 2.5 cm iken, 7 MeV 'lik enerji için yaklaşık olarak 6 cm'dir. Bu bozunma zinciri içerisinde yer alan ve doğal radyoaktivitenin neredeyse yarsına katkısı bulunan ^{222}Rn 'nin yayınladığı alfa enerjisi 5,49 MeV'dir. Diğer önemli bir element olan ^{226}Ra elementinin ise iki farklı enerji ve karakteristikte alfa enerjisi yayınlamaktadır. Bunlar, %95 oranında 4,78 MeV iken, %5 oranında 4,60 MeV'dir. Yine bu zincir içerisinde yayınlanan beta parçacıklarının enerjileri 0,02 MeV ile 3,2 MeV arasında değişmektedir. Bu zincir içerisinde beta parçacığı yayımlayan üç önemli grup bulunmaktadır. Bunlar, ^{234}Pa , ^{226}Ra 'nın bozunma ürünleri ve ^{214}Bi olarak söylenebilir (Rogers ve Adams, 1969).

Toryum bozunma zincirinde kararlı ^{208}Pb ve 11 adet radyonüklid olmak üzere toplam 12 element bulunmaktadır. Bunlar arasında ^{232}Th haricinde tamamının yarılanma ömrü 7 yıldan azdır. Bunlardan, 6 adet radyonüklid sadece alfa parçacığı, 4 adet radyonüklid sadece beta parçacığı ve 1 adet radyonüklid ise hem alfa hem de beta parçacığı yayınlamaktadır. Zincir içerisinde yayınlanan alfa parçacıklarının enerjileri 3,95 MeV ile 8,78 MeV arasında değişmektedir. Yine bu zincir içerisinde yayınlanan beta parçacıklarının enerjileri 0,06 MeV ile 2,26 MeV arasında değişmektedir (Rogers ve Adams, 1969).

Aktinyum bozunma zinciri içerisinde kararlı ^{207}Pb ve 14 radyonüklid olmak üzere toplam 15 adet element bulunmaktadır. Bu zincir içerisinde 7 adet radyonüklid sadece alfa parçacığı yayınlamakta iken, 3 adet radyonüklid sadece beta parçacığı yayınlamaktadır. 3 adet radyonüklid ise, hem alfa hem de beta parçacığı yayınlamaktadır. İlk 7 sıra dışındaki ^{223}Ra 'ün bozunma ürünlerinin oluşturduğu 6 radyonüklidin tamamının yarılanma ömürleri 1 saatten azdır.

Bunlara ilaveten dördüncü olarak bir zamanlar doğada mevcut olduğu düşünülen ^{241}Pu neptünyum serisi bulunmaktadır. Günümüzde yapay olarak nötronların rektörlerde uranyum-238 ile reaksiyona girmeleri sonucunda üretilmektedir. Bu serinin yarı ömrü

14 yıl olup; bu seride bulunan diğer elementlerin yarı ömürlerinin çok kısa olduğu bilinmektedir. Bu serinin halen bilinen tek elementi, yarı ömrü $2,7 \times 10^{17}$ yıl olan ^{209}Bi 'dir (Değerlier, 2007).

Bu radyoaktif ağır uranyum, toryum ve aktinyum element serilerinden farklı olarak herhangi bir seride yer almayan, tabiatta tek başına bulunabilen ve kendilerine has özelliklere sahip olan atom çekirdeklerindeki kararsızlık sebebiyle de alfa, beta ve gama radyasyonları yayan bazı doğal radyonüklidler de vardır. Bu radyonüklidlerden 10 tanesi, Çizelge 1.3' te tabiatta tek başına bulunabilen radyonüklidler başlığı altında, yarılanma ömürleri, yayınladıkları alfa, beta ve gama radyasyon türleri ile bu radyasyonların sahip oldukları enerjileri ve tabiatta ki bağıl bollukları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 1. 3 Tabiatta tek başına bulunabilen radyonüklidler (Lowder ve Sobon, 1956)

İZOTOP	$T_{1/2}$	YAYINLANAN RADYASYON	E (keV)	BAĞIL BOLLUK
^3H	12,4 yıl	β	180,0	100
^{14}C	5400 yıl	β	155,0	100
^{40}K	$1,3 \times 10^9$ yıl	B	1300	90
		γ	1460,8	10
^{87}Rb	$6,1 \times 10^{10}$ yıl	β	250	100
^{115}In	10^{14} yıl	β	630	100
^{138}La	7×10^{10} yıl	B	1210	7
		γ	1390	93
^{147}Sm	$6,7 \times 10^{11}$ yıl	α	2180	
^{176}Lu	$6,7 \times 10^{10}$ yıl	β	425	
^{209}Bi	$2,7 \times 10^{17}$ yıl	α	3150	
^{239}Pu	$2,4 \times 10^{14}$ yıl	α	5150	69
		γ	39	
		γ	384	

Çizelge 1.3' te tabiatta tek başına bulunan radyonüklidlere bakıldığında; bu gruptaki radyonüklidlerin en önemlileri arasında, 3. sırada yer alan yarılanma ömrü $1,3 \times 10^9$ yıl olan (^{40}K) potasyum-40 elementi bulunmaktadır. Çünkü söz konusu potasyum-40 elementinin tabiatta maruz kalınan temel doğal radyasyon seviyesine katkısının oldukça fazla olduğu bilinmektedir (Küçükönder, 2009). Aynı zamanda, bu çizelge de Kozmik ışınların ara etkileşimleri sonucu üretilen trityum (^3H) ve radyo karbon (^{14}C) gibi bazı radyonüklidler ile diğer yer kabuğu kökenli potasyum (^{40}K), rubidyum (^{87}Rb), lantan (^{138}La), samaryum (^{147}Sm) ve lütesyum (^{176}Lu) gibi radyonüklidler de birlikte verilmektedir.

1.3.1. Uranyum

Uranyum elementi ilk olarak Martin Heinrich Klaproth tarafından 1789'da keşfedilmiştir. Bu elementin radyoaktif özellikleri ise, 1896 yılında Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Eğilip bükülebilir, işlenebilir, hafif para manyetik, çok yüksek bir ağırlığa sahip gümüşü-beyaz bir metaldir. Doğal durumunda, kabuklu uranyum, radyumun kaynağı ve radyoaktif ısımanın kaynağıdır, ancak doğada metalik durumda bulunmaz. Hava ile teması sonucunda hemen alevlenen veya oksitlenen, uranyum metali bir darbe etkisiyle kıvılcımlar saçan ve havada kendiliğinden alevlenen özelliği nedeniyle, askeri uygulamalarda, özellikle zırh delici mermilerde kullanılır. Uranyumun ana uygulaması enerji üretimi ve askeri kullanım içindir. Uranyum-235 doğal olarak oluşan izotopudur. Uranyum, öncelikle çoğu nükleer santralde kullanılır. Çoğu reaktörde kullanımı, %0,72 oranında ^{235}U ağırlığındaki doğal uranyumun %2-5 oranında ^{235}U içeriğine zenginleştirilmesini gerektirir. Silahlarda % 90'dan fazla ^{235}U ile yüksek zenginleştirilmiş uranyum kullanılır. Bazı araştırma reaktörleri ve deniz reaktörlerin de, yüksek zenginleştirilmiş uranyum kullanılır. Tükenmiş uranyum, patlayıcı olmayan, ancak yüksek hızlarda çarparak hedefine zarar veren bir mermi silahı olan kinetik enerji penetratörlerinde kullanılır (UNSCEAR, 2016).

Yeryüzündeki bütün kaya ve topraklarda değişik miktarlarda bulunmakla birlikte, yerkabuğunun doğal maddelerinden yapılan materyallerde de değişik miktarlarda uranyum bulunmaktadır. Toprak ve kayaçlarda bulunan uranyum miktarları kayaç türlerine göre değişkenlik göstermektedir. Tabii bir şekilde oluşan radyoaktif uranyum elementinin; ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U gibi üç farklı izotopu bulunmaktadır. Ağırlığının en bol miktarını % 99,2745 ile yarı ömrü $4,47 \times 10^9$ ile neredeyse güneş sitemimizin yaşı kadar olan Uranyum-238 oluşturmaktadır. Yarı ömrü $7,04 \times 10^8$ olan Uranyum-235 ve yarı ömrü $2,45 \times 10^5$ ve aynı zamanda Uranyum -238'in bozunma üyesi olan Uranyum-234 ise sırasıyla ağırlığının % 0,7200 ve % 0,0055'ini oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2016).

Uranyum izotoplarının tamamının esas olarak yayınladıkları radyasyon, alfa parçacıklarıdır. Ancak, uranyumun tüm izotopları da, diğer radyoaktif izotoplara dönüşmesi sebebiyle, bazı zamanlarda alfa parçacıkları dışında beta parçacıkları ve gama ışınları gibi diğer radyasyon formlarını da yayınlatabilir. Tabiatta serbest olarak bulunmayan uranyum insanların tamamı tarafından hava, su ve yiyeceklerde az miktarlarda günlük olarak sindirim ve solunum yoluyla alınabilmektedir. Uranyumun sadece radyoaktif olması değil aynı zamanda zehirli bir metal olması da insanları olumsuz olarak

etkileyebilmektedir. İnsan vücuduna solunum yoluyla alınan uranyumun çok küçük bir yüzdesi uzunca bir zaman lenf düğümlerinde tutunur, diğer küçük bir oranı ise çözünerek kana karışır ve bunun da büyük bir kısmı bir müddet sonra vücuttan atılır. Kana karışarak vücuttan atılmayan uranyum ise, böbrekler, karaciğer, diğer organlar ve iskelette birikir. Uranyumun bozunumundan oluşan radyum ve radon atomlarının oluşumunda alfa parçacıklarının yayılımı zaman içerisinde akciğer kanserine sebep olabilir ve diğer organlara zarar verebilir (Değerlier, 2007).

1.3.2. Toryum

Her ne kadar toryum ilk kez 1828 yılında Norveçli mineralog Morten Thrane Esmark tarafından keşfedilmesine rağmen, aslında toryumun tanımlanması ilk kez İsveçli kimyager Jons Jacob Berzelius tarafından gerçekleştirilmiştir. Ülkemiz toryum rezervi bakımından oldukça zengindir. Toryum, atom numarası yani proton sayısı 90, atom ağırlığı yaklaşık olarak 232 g/mol, yoğunluğu ise 11,72 g/cm³ olan, havada bozulmayan, kendiliğinden bozuna bilme yeteneği olmayan, radyoaktif bir elementtir. Toryum, periyodik tabloda yedinci sırada yani atom numarası 89 ile 103 arasında 15 adet radyoaktif elementin yer aldığı aktinit serisinin içerisinde ikinci üye olarak yerini almaktadır. Bu aktinit serisinin üyesi toryum elementinin, ergime ve kaynama noktaları sırasıyla, 1750 °C ve 4785 °C'dir. Asıl rengi gümüş beyazı olan ve doğada uranyumdan 3 kat daha fazla bulunan radyoaktif toryum elementinin, oksitlendiğinde önce gri renge, sonrasında ise siyahlaşan bir renge dönüşme gibi bir özelliği bulunmaktadır. Toryum elementinin ²²⁷Th, ²²⁸Th, ²³⁰Th, ²³¹Th, ²³²Th ve ²³⁴Th olmak üzere toplam 6 izotopu vardır. Bunlar arasında doğal olarak bulunan izotopu (²³²Th) Toryum-232'dir. Tabiatta serbest bir şekilde bulunmayan toryum, yaklaşık olarak 60 civarında mineralin yapısı içinde yer almaktadır. Bu mineraller içerisinde yer alan sadece monazit, torit, torianit ve allanit toryum üretiminde kullanılır iken, diğer kalan 56 mineral toryum üretiminde kullanılmamaktadır. Toryum üretiminde kullanılan bu mineraller de diğer minerallerle karşılaştırıldığında genellikle yeryüzünde çok fazla bulunmayan nadir toprak elementleri (NTE) ile birlikte bulunmaktadır (MTA, 2017).

Toryum, nükleer santrallerde uranyuma kıyasla daha temiz bir yakıt kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Özellikle Fukuşima'da ki nükleer santraldeki sızıntıdan sonra dünyamızda birçok ülke yenilenebilir enerji kaynaklarına geçmeye ağırlık vermeye başlamıştır. Ancak yüksek enerji ihtiyaçları sebebiyle ABD ve Çin gibi ileri sanayi ülkeleri nükleer santrallerden vazgeçememekte ve uranyum yerine toryumdan elektrik enerjisi

üretebilmek için projeler geliştirmektedir. Toryumun diğer kullanım alanlarına bakıldığında; hava, otomotiv ve uzay sektöründe yaygın olarak kullanılan magnezyumun yüksek sıcaklıklarda direncini artırmak amacıyla alaşımlarda, birçok farklı elektronik cihazlarda, aydınlatmada kullanılan ince elektrik telinin ısınmasıyla ışık veren tungsten filamanlarının ömürlerini ve verimini artırmak için kaplanması, altın ve metal eritmek için kullanılan yüksek ısıya dayanıklı potaların yapımında, tıp ve daha birçok bilimde kullanılan yüksek kaliteli kamera merceklerinde ve daha birçok alanda toryum kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca, toryum, 1750 °C ile yüksek erime noktasına sahip olduğu için gaz lambalarında, kamp lambalarında ve sinemalarda yer alan projektörlerde de kullanılmaktadır. İlaveten, birçok kullanım alanlarının yanı sıra, toryum, yaş tayini metodlarında da kullanılmaktadır (URL~24).

Toryumun doğal izotopu olan ^{232}Th doğal radyoaktif bir seridir ve 12 radyonüklidin bulunduğu serinin başıdır. Toryum-232 doğal radyoaktif serisi ile Urayum-238 doğal radyoaktif serilerinde, radyum, radon, kurşun, bizmut, polonyum elementlerinin izotoplarını ve büyük oranda alfa parçacık radyasyonu yayıcılarını içermeleri bakımından birbirleri ile benzerlikler göstermektedir. ^{232}Th 'nin zincirdeki çok uzun ömürlü tek radyonüklid olması iki seri arasındaki temel farkı oluşturmaktadır (Değerlier, 2007).

1.3.3. Potasyum-40

Doğal olarak mevcut bulunan potasyumun üç adet izotopu vardır. Bunlardan, potasyumun %0.0118'ini oluşturan Potasyum-40 (^{40}K) kararsız bir radyonüklidtir. Yarı ömrü 1.28×10^9 yıldır. Dünya ortalaması yaklaşık olarak 370 Bq/kg olan bu izotop, özellikle toprağın derin olmayan yüzeylerinde çok fazla bulunmaktadır. Bu yüzden, doğaya yayılan gama radyasyonunun önemli bir miktarına sebep olmaktadır (Değerlier, 2007).

1.4. Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Topraktaki doğal radyoaktivitenin temel sebebi kayalardan kaynaklanmaktadır. uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th), gibi seriler ve bu serilerde yer alan radyonüklidler ile potasyum (^{40}K) gibi tabiatta tek başına bulunabilen doğal radyonüklidler, toprakta ve toprağın alt tabakasında yer alan kayalarda bulunarak topraktaki radyoaktiviteye sebep olmaktadır. Yüzey tabakasındaki yani derinliği 0-25 cm olan toprakta bulunan ^{40}K ' dan dolayı, gama radyasyonlarının önemli bir kısmına sebep olduğu bilinmektedir. Kaya türleri arasında farklı oranlarda radyoaktivite olmakla birlikte, daha çok volkanik, fosfat, granit ve

tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda radyoaktivite bulunmaktadır. Doğal ağır radyoaktif seriler ile bunların bozunumları olan radyonüklidleri içeren bu kayalar, doğa şartlarına bağlı olarak zamanla ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı suları ile toprağa karıştıkları bir süreç meydana gelir. Bu süreç içerisinde toprağa karışılan radyonüklidlerin miktarına ve cinsine bağlı olarak toprağın doğal radyoaktif elementler tarafından zenginleşmesini sağlamaktadır. Bu süreç de toprağın içermiş olduğu radyonüklidlerin konsantrasyonu; bölgenin hava koşullarına, topraktaki çökeltme miktarına, toprağın filtreleme emilme özeliğine göre, yer altı suyunun hareketi sonucu meydana gelen çökelmeler, gözenekler sebebiyle, diğer maddeler ile sulanma, mevsimsel olarak toprağın kuruyarak yüksek derecede çatlaklık, kırıklık oluşması gibi etkenler sebebiyle ve toprağın altındaki kayaç türlerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Hatta tarımda, topraktaki verimi artırmak için kullanılan suni tohumlama ve fosfat (^{32}P) gibi radyoaktif element içeren gübreleme yaparak gübrelerin hammaddesine ve üretim şartlarına bağlı şekilde toprağın yüzeyindeki radyoaktivite artmaktadır (Niewiadomski ve ark, 1982). 1985 yılında Liden ve Holm tarafından yapılan çalışmada, bazı kaya türlerinde ve topraklardaki ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U 'nun konsantrasyonları Çizelge 1.4'de verilmiştir.

Çizelge 1. 4 Bazı kaya ve topraklardaki ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U 'nun konsantrasyonları (Liden ve Holm, 1985)

Kaya Türü	^{40}K		^{232}Th		^{238}U	
	mg/kg	Bq/kg	mg/kg	Bq/kg	mg/kg	Bq/kg
TORTUL						
Killi Şist	3	700	12	45	4	50
Kireçtaşı	0,3	70	2	8	2	25
Kumtaşı	1,3	300	3	11	1,5	18
PÜSKÜRÜK						
Bazalt	0,9	230	4	15	1	12
Granit	5	1200	17	70	3	35
TOPRAK						
Dünya Ortalaması	1,4	370	6	25	2	25

Çizelge 1.4 incelendiğinde, kaya türlerine göre Uranyum-238, Toryum-232 ve Potasyum-40'ın aktivite konsantrasyon miktarlarında değişiklikler olduğu görülmektedir. En yüksek Potasyum-40 ve Toryum-232 aktivite konsantrasyon miktarının püskürük granit kaya türlerinde olduğu görülmekte iken, en yüksek Uranyum- 238 aktivite konsantrasyon miktarının ise, tortul killi şist' e olduğu görülmektedir. Buradan hareketle granit kayaların potasyum ve toryum bakımından zengin olduğunu, killi şist kayaların ise, uranyum bakımından zengin olduğu söylenebilir. Dolayısıyla yeryüzündeki toprakların altında bulunan kayaçların türlerine göre, toprağın içermiş olduğu radyoaktivite miktarı ve

türlerinde değişkenlikler görülebilir. Bir diğer kaya türü olan alkalik kayalarda da uranyum ve toryum bol miktarda bulunma eğilimi gösterebilmektedir (Gascoyne, 1982). Püskürük ve granit kayalar da kuvarsca zengin olması sebebiyle, uranyum ve toryum elementinin bu kayalar da yüksek konsantrasyonlara sahip olduğu söylenilmektedir (Rogers and Adams, 1969). UNSCEAR tarafından yayınlanan raporda; birçok yerde yapılan araştırmalarda, toryum bakımından zengin olan granit kayalarının bulunduğu yerlerde, gama radyasyon düzeylerinin de bir hayli fazla olduğu bildirilmektedir (UNSCEAR, 1993).

Yerkabuğunda daha önce var olan radyonüklidlerin ortalama konsantrasyonları oldukça düşüktür. Toprakta doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları Çizelge 1.5’de verilmiştir (Myrick ve ark., 1983).

Çizelge 1. 5 Topraktaki doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları (Myrick ve ark., 1983)

Radyonüklid	Konsantrasyon (Bq/kg)	
	Ortalama	Dağılım
^{40}K	370	100-700
^{232}Th Serisi	35	4-130
^{238}U Serisi	35	4-140
^{226}Ra Alt-Serisi	40	8-160

Çizelge 1.5’e bakıldığında, topraktaki ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonunun 370 Bq/kg, ^{232}Th ’nin ortalama aktivite konsantrasyonunun 35 Bq/kg, ^{238}U ’in ortalama aktivite konsantrasyonunun 35 Bq/kg ve ^{226}Ra ’nın ortalama aktivite konsantrasyonunun ise, 40 Bq/kg olduğu görülmektedir. Kiss ve ark. tarafından, yüksek ^{40}K aktivitesine sahip doğal otlakların altındaki toprakların genellikle daha yüksek ^{214}Bi ve ^{208}Tl aktivitelerine sahip oldukları söylenmektedir (Kiss ve ark., 1988). Talibudeen’e göre, topraktaki uranyum konsantrasyonlarının, toprağın muhteviyatında yer alan molekülleri karbon içeren organik bileşikler ile ilgili olduğu düşünülmektedir (Talibudeen, 1964). Hansen ve Huntington tarafından, topraktaki bağımsız toryum birikimlerinin yüksek organik madde içeriği ile çabucak aşağı tabakalara kaydığını rapor edilmiştir (Hansen ve Huntington, 1969). Toprağın içerdiği organik madde güçlü bir şekilde, 4 değerlikli toryum ile birleşir. Böylece topraktaki toryumun mobilitesi artar. Bilim adamları aynı zamanda radyumun toryumdan daha düzensiz olarak yayıldığını da bulmuşlardır (Hansen ve Huntington, 1969). Radyum yayılımlarını, topraktaki organik maddeler tarafından toryumun hareketi ve uranyum tutulumu ile açıklamışlardır. Toprağın üst kısmının toryumdan daha fazla uranyum konsantrasyonuna sahip olduğunu Hansen ve Stout tarafından rapor edilmiştir (Hansen ve Stout, 1968).

1.5. Radyasyon Algılama Yöntemleri

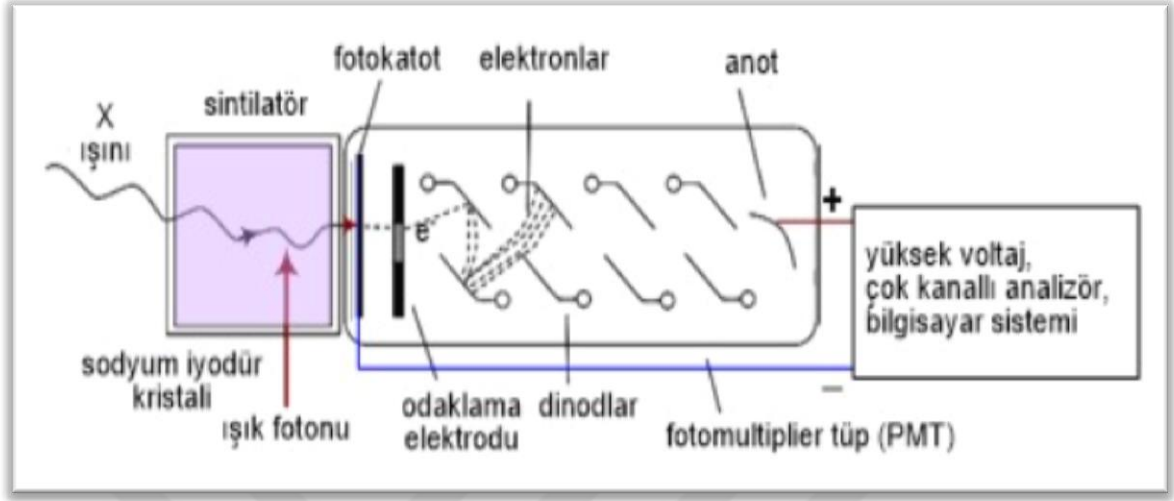
Parçacık ya da dalga tipi radyasyonların türünü ve enerjisi tespit etmek için çeşitli cihazlar kullanılmaktadır. Bunun için kullanılan cihazları dedektörler ve dozimetreler olarak tanımlanabilir. Algılanılması çok güç, çıplak gözle görülemeyen ve kokusu olmayan radyasyonları algılamak, tespit etmek ve ölçmek için kullanılan dedektörlerin çalışma ilkeleri birbirlerinden pek fark gözetmeyecek şekilde benzerdir. Dedektöre giren radyasyon dedektör içerisinde ki materyalin atomlarıyla etkileşerek uyarır ve atomun çekirdeğinin çevresindeki yörüngelerinden yüksek bir enerjiye sahip olmayan elektronların serbest kalarak salınmasına yol açmaktadır. Serbest kalarak salınan bu elektronlar toplanarak bir nevi tahlil etmek, incelemek ve araştırmak için elektrik devre eliyle akım pulsuna veya voltaj, gerilim formuna dönüştürülerek radyasyon tipi tespit edilmektedir (Şarer, 2001).

Gaz doldurulmuş tüp algılayıcılar, sintilasyon algılayıcıları ve yarı iletken algılayıcılar olmak üzere radyasyon algılanmasında kullanılan genel olarak üç çeşit algılayıcı bulunmaktadır. Bu algılayıcı seçimi yapılırken X veya gama ışınlarının enerji değerleri, kalibrasyonu, algılayıcının uygulama çözünürlüğü, verimi, amaca uygun olarak deneyi yapmaya uygunluğu gibi hususlar dikkate alınarak hareket edilmelidir (Küçükönder, 2009).

1.5.1. Sintilasyon algılayıcıları

Sintilasyon algılayıcılarının çalışma ilkesi, algılayıcı içerisindeki sintilasyon malzemesine, radyasyonun enerjisinin aktarılması ile bu maddenin yaklaşık olarak 400 ile 700 nm dalga boyuna sahip insan gözü tarafından görünen ışık veya insan gözü tarafından görünen bu ışıkla hemen hemen aynı frekans, dalga boyunda ve enerjisinde bir ışık radyasyonunu veya fotonu yayınlaması olayına dayanmaktadır. Bu sintilatörlerde yayınlanan ışık fotonunu kısa sürede, uygun şartlarda sağlamak ve ışık fotonu sayısını artırmak için bazı katı kristaller kullanılmaktadır. Elde edilen ışığın çoğaltılması, algılanması ve elektrik akım pulsuna dönüştürülmesi için foto çoğaltıcı tüp kullanılmaktadır (Aydın, 2016). Bu sintilasyon detektörleri sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır. Bu detektörlerde, foto çoğaltıcı tüp ve kullanılan fosforu değiştirmek suretiyle alfa ve beta parçacıklarını, X ve gama ışınları gibi farklı türde parçacık ve dalga tipi radyasyonları algılamak mümkün olabilmektedir. Eğer sintilatörde alfa parçacıklarını ölçmek isteniyorsa, kullanılan fosfor gümüşle aktive edilmiş ZnS fosforu olmalıdır. Eğer sintilatörde beta parçacıkları ölçmek isteniyorsa, kullanılan fosfor

naftalin ve stilben içermelidir. Eğer düşük enerjili X ve gama ışınını ölçmek isteniyorsa, talyumla aktive edilmiş NaI kristali kullanılmalıdır. Şekil 1.1’de sintilasyon sayacının şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.1 Sintilasyon sayacının şematik gösterimi (URL~4)

Şekil 1.1’ de bir sintilasyon sayacının şematik gösterimini incelendiğinde, bu sayacın genel olarak X ışını radyasyonunun sodyum iyodür kristali katılan fosforun bulunduğu ve bu radyasyonun ışık fotonuna dönüştüğü sintilatörü ve daha sonra bu ışık fotonunun bir fotokatot, bir elektron odaklayıcı ve çok miktarda dinot’tan oluşan foto çoğaltıcı tüp içerisinde, genliği radyasyon enerjisiyle orantılı elektrik pulslarına dönüştüğü ve çok kanallı analizör bilgisayar sistemlerinde sayıldığı görülmektedir. Burada sintilasyon sayacının, sintilatörden sonra ikinci kısmı diyebileceğimiz bölümde, ışık fotonunun giriş yaptığı foto çoğaltıcı tüp içerisinde foto duyarlı yüzeye çarparak oluşan elektronların miktarını artırmak için dinotlara gerilim uygulanmakta ve bu elektronlar anotta toplanmaktadır (Canberra Industries Inc., 1997; Knoll, 1979).

1.5.1.1. Talyum katkılı sodyum iyodür NaI(Tl) sintilatörleri

Radyasyonun dalga tipli olan ve iyonlaştırıcı özelliği bulunan X ve gamma ışınlarının algılanması ve sayılmasında bilhassa yüksek verimliliğinden dolayı talyum katkılı sodyum iyodür (NaI:TI) sintilatörü en yaygın şekilde kullanılan sintilatör durumundadır. Bu talyum katkılı sodyum iyodür (NaI) sintilatöründe, gama ışınlarının algılanmasında yüksek verim elde edilmesinin sebebi, sintilatöründe bulunan iyotun atom numarasının yüksek olmasıdır.

Yüksek aktiviteli ölçümler için kısa çözümleme zamanına ihtiyaç olması sebebiyle, NaI algılayıcıları bu tür ölçümler için plastik algılayıcılar kadar iyi değildir. (Anderson, 1989; Leo, 1987).

1.5.1.2. Gümüş katkılı çinko sülfür ZnS(Ag) sintilatörleri

Parçacık tipli iyonlaştırıcı radyasyon olan alfa parçacıklarını ölçmek için sintilatör içerisindeki fosforu gümüş (Ag) katkılı ZnS kullanılarak oluşturulan sintilatörlere gümüş katkılı çinko sülfür (ZnS) sintilatörler denilmektedir. Bunlar, en eski inorganik sintilatörlerden biri olup; bu sintilatörlerin verimi NaI(Tl) sintilatörlerden çok daha yüksektir (Knoll, 1979).

1.5.1.3 Plastik sintilatörler

Günümüz dünyasında en çok kullanılan, sağlam ve güvenilir bir organik sintilatör çeşididir. Bu plastik polistiren (PS) sintilatörler inorganik sintilatörlerle karşılaştırıldıklarında; tepkileri daha hızlı olmasına rağmen, verimleri daha düşüktür. Plastik sintilatörlerin kompozisyonları değiştirilerek ışık verimi, radyasyon direnci, bozunma süresi gibi birtakım özellikleri kontrol edilebilir (TAEK, 2011). Plastik sintilatörler genellikle yüksüz nötron parçacıklarının tespit edilmesinde, büyük hacimde bir radyasyon tespit cihazı gerekmesi durumunda, beta gibi yüklü parçacık algılamalarında, çevresel gama ölçümlerinde, hızlı zamanlama uygulamalarında, yüksek radyasyona maruz kalınabilen astrofiziksel amaçlı uygulamalarda kullanılırlar (Küçükönder, 2009).

1.5.2. Algılayıcı verimi

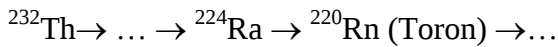
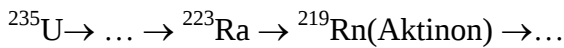
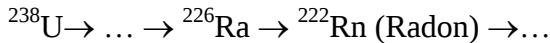
Algılayıcı verimim bütün radyasyon algılayıcılarının ortak özellikleri arasında yer almaktadır. Aktivitesi bilinen bir kaynaktan gelen parçacık ya da dalga tipli radyasyonun oluşturduğu pulsların ölçülmesiyle bir algılayıcının verimi elde edilir.

1.6. Radon ve Özellikleri

1.6.1. Radon

Radon elementinin keşfiyle ilgili literatürde iki tarih ve iki bilim insanları ön plana çıkmaktadır. Birisi ünlü fizikçi Ernst Rutherford iken, diğeri ise Alman kimyacı Friedrich Ernst Dorn'dur. 1899 yılında Rutherford, (^{220}R) toronu keşfederken, 1900 yılında Friedrich Ernst Dorn, (^{222}R) radon elementini keşfetmiştir. (Akyıldırım, 2005; URL~25).

Radon, kokusuz, tatsız, renksiz doğal şartlarda tamamı gaz olan elementtir ve aynı zamanda radyoaktiftir. Söz konusu elementin erime noktası, santigrat cinsinden -71 derece, kelvin cinsinden 202,15, fahrenheit cinsinden ise -95,8'dir. Yine aynı elementin kaynama noktası ise santigrat cinsinden -61,8, kelvin cinsinden 211,35 ve fahrenheit cinsinden ise -79,24'dür. Bu özelliklileri sebebiyle normal şartlar altında gaz olarak bulunmaktadır ve bu sebeple literatürde radon gazı olarak isimlendirilmektedir. Rn sembolü ile gösterilmektedir. Periyodik tabloda 86 atom numarasıyla 6. Periyotta asal gazlar grubu olan 8A grubunda yer almaktadır. Periyodik tabloda soy gazlar sınıfında yer alması sebebiyle herhangi bir element ile bileşik oluşturmamakta ve reaksiyona girememektedir. Havadan yedi buçuk kez, hidrojen'den ise 100 kez daha ağırdır. Soğuk suda çözünür, çözünürlüğü artan sıcaklıkla düşer. ^{119}Rn - ^{226}Rn arasında toplam 28 izotopu bulunmaktadır. Bunlar arasında 3 üç tanesi uranyum, toryum ve aktinyum serilerinin bozunması sonucunda doğal olarak oluşmaktadır. Bu doğal bozunma şeması aşağıdaki gibidir (Sandıkçioğlu, 2011).



Aktinon (^{219}Rn): Aktinyum serisinin bozunum ürünüdür. Yarı ömürleri 3,98 sn'dir. Seri başı elementinin doğadaki bolluğu(%0,70) çok düşük olduğundan doğal radyoaktif çevrede çok az bulunur.

Toron (^{220}Rn): Toryum-232 serisinin bozunum ürünüdür. Radyum-224 ün bozunması sonucunda oluşan bu elementin yarılanma ömrü yaklaşık olarak 56 sn'dir. Bu yarılanma ömrü sebebiyle çevrede oluşan doğal radyoaktiteye aktinona kıyasla daha fazla katkısı bulunmaktadır.

Radon (^{222}Rn): Uranyum-238 serisinin bozunum ürünüdür. ^{226}Ra 'nın bozunumu sonucu oluşur. Yarı ömrü 3,85 gün 'dür. Üç radon izotopu arasında en uzun yarı ömürlüsüdür.

Uranyum-238 serisinin doğada bol bir dağılımı olması ve yarılanma ömrü süresi sebebiyle çevredeki doğal radyoaktiviteye katkısı oldukça fazladır (Sandıkçioğlu, 2011). Hatta Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu tarafından açıklanana rapora göre doğal radyasyona yıllık 1,3 mSv'lik radon gazından katkı gelmektedir. Bu rakam da, doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun neredeyse % 50'lik bileşenini radon gazı oluşturduğunu söylemektedir (IAEA, 1996).

İki farklı bölge arasında radon konsantrasyonlarında farklılıklar olabildiği gibi aynı bölgede mevsimsel ve günlük olarak da atmosferik radon konsantrasyonlarında değişimler ortaya çıkabilir. Hatta gün içerisinde ölçülen radon konsantrasyonları da değişimler göstermektedir. Şöyle ki, sabahın erken saatlerinde en yüksek değerde, güneşin doğup ısı ve sıcaklığın yükselmesiyle ortamda bulunan radon gazı yükselir, yükseldikçe radon gazı daha büyük hacmi kaplar ve büyük hacimde bulunan radon miktarı aynı kaldığı için böylece büyük hacimde ölçülen radon aktivite konsantrasyonu azalır. Bu süreç öğleye kadar böyle devam eder. Öğleden sonra ise, rüzgarın hızlanması havadaki karışımı artırır ve radon konsantrasyonunu daha da azaltır. Güneş batımına doğru bu sefer süreç terse dönmeye başlar sıcaklığın azalmasıyla toprakta soğuduğu için ve aynı zamanda atmosferik kararlılık arttığı için radon konsantrasyonu da tekrardan artacaktır (UNSCEAR, 1977).

1.6.2. Radonun sağlık üzerine etkileri

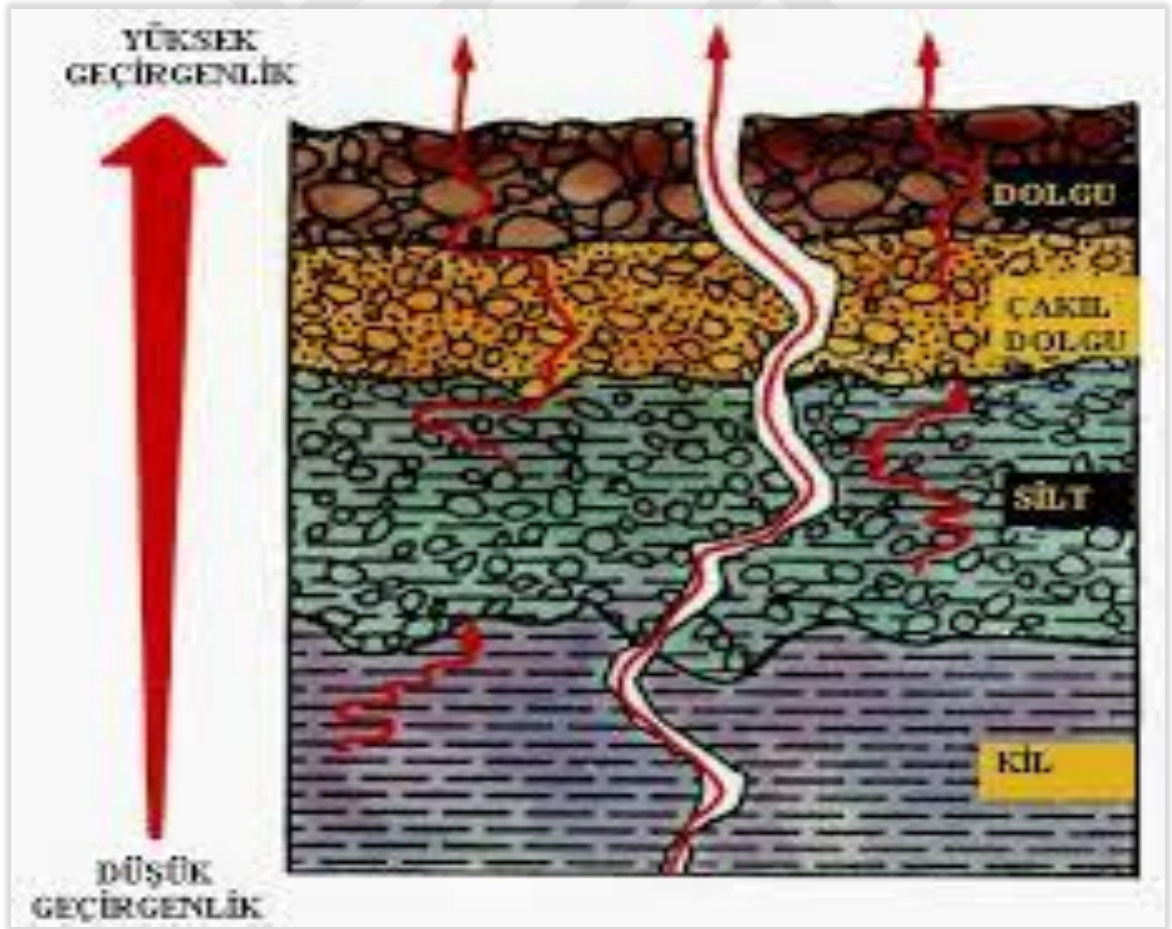
Radon gazının insan vücudunda aldığı yolu ve etkileri incelendiğinde; radon gazı koklandığında vücudumuzun içerisine alınır ve hem vücudumuzdaki dokulara soy gaz olması sebebiyle kimyasal olarak bağlanmaz hem de yarılanma ömrü 3,85 gün olması sebebiyle çok büyük bir yüzdesi bozunmadan tekrar vücudumuzdan dışarı atılır. Ancak, radonun gaz olmayan katı bozunma ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak katı veya sıvı ortamlarda dağılabilen radyoaktif aerosoller oluşturarak solunum yoluyla ya da içme sularında yutularak vücudumuza alınabilirler. Böylelikle vücuda alınan radyoaktif aerosoller ve yutularak alınan radon gazı bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunmaya devam ederek bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı meydana gelir. Bozunma ürünlerinin bazıları (LET) lineer enerji transferi diğer radyasyonlara kıyasla en yüksek olan alfa radyasyonu salımı yapmaktadır. Bozunmanın ve radyasyon salımının devam etmesi sonucunda akciğer dokusuna hasar vermeye başlayacaktır ve uzun zaman devam etmesi sonucunda da akciğer kanserine sebep olabilecektir. Epidemiyolojik çalışmalarda, yüksek miktarda radon solunması, akciğer kanseri riskinin artmasıyla

ilişkilendirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na (USEPA) göre, her yıl yaklaşık 21.000 kişinin akciğer kanserinden öldüğü Amerika Birleşik Devletleri'nde, akciğer kanserinden birincil ölüm nedeni sigara iken, ikinci en yaygın akciğer kanseri kaynağının radon olduğu bildiriliyor. Bu ölümlerin yaklaşık 2.900'ün de hiç sigara içmemiş kişiler bulunmakta iken, sorumlu olarak radon gazı gösterilmektedir. USEPA politika odaklı tahminlerine göre; radon, sigara içenler arasında ikinci en yaygın neden olmasına rağmen, sigara içmeyenlerde ise akciğer kanserinin en yaygın nedenidir (USEPA, 2012). Bir başka kuruluş olan Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) de toplam akciğer kanserleri vakalarının neredeyse %10'unu radona maruziyetle sorumlu tutmaktadır. Ancak burada şunu da belirtmek lazımdır ki, her yüksek dozda radona maruz kalmış kişi ya da kişiler akciğer kanserine yakalanacak diye bir şey yoktur. Bu durumda yüksek dozda radona maruz kalmış kişi ya da kişilerin nerde ve nasıl bir evde yaşadığı ve nasıl beslendiği gibi yaşam tarzı ile alakalı olarak akciğer kanseri hastalığının oluşması çok uzun yıllar sürebilmekte ya da akciğer kanseri hastalığına yakalanmayabilir (Değerlier, 2007). Akciğer kanserinden farklı olarak içilen suyla birlikte yutulan radonun sebep olduğu kanser vakaları içerisinde yaklaşık %11'ini mide kanserleri oluşturmaktadır (NASR, 1999). Halen, düşük doz da radona maruziyetlerin sağlık üzerindeki etkileri konusunda önemli belirsizlikler bulunmaktadır (Dobrzynski ve ark. 2018).

1.6.3. Topraklarda radon

Radon gazı bilindiği üzere uranyum serisindeki radyumun bozunması nedeniyle oluşmaktadır. Dolayısıyla, uranyum içeren tüm kayalarda ve toprakta radon gazı bulunması beklenen bir durumdur. Radonun normal şartlar altında gaz olması sebebiyle, toprak taneleri arasında oluşmuş gözeneklerden ve kayalarda oluşmuş çatlaklardan kolayca kaçabilme özelliği bulunmakla birlikte serbestçe hareket edebilme özelliği sayesinde de çok uzun mesafelerde hareket de edebilmektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı, jeolojik fay hatları, jeotermal kaynaklar, uranyum madenleri ve volkanlar gibi belirli bölgelerde topraktaki radon seviyeleri gözle görülür şekilde yükselmektedir. Peki, topraktan radon salınımı nelere bağlıdır? Bir bölgede topraktan salınan radon aktivite miktarı o bölgedeki toprak ve kayaç yapısına bağlı olarak eğer toprak ve kayaç yapısı uranyum ve radyum bakımından zengin ise, salınan radon miktarı da fazla olması beklenen bir durumdur. Aynı zamanda, toprağın gözenekli olması durumunda radon salınması daha kolay olacak ve ölçülen radon miktarı yüksek bulunacaktır. Toprağın geçirgenliği ve nem içeriği de salınan radon aktivite miktarını etkileyen faktörler arasındadır. Ayrıca toprağın kuruluk, suya

doyması ya da üzerinin karla kaplı olması da salınan radon aktivite miktarını etkilemektedir. Toprağın bol yağışla birlikte suya doyması, donması ya da üzerinin karla kaplı olması sonucunda topraktaki gözenekler iyice kapanır ve ölçülen radon aktivite miktarı da azalır. Suyun buharlaşarak toprağın kuruması ve çatlakların artmasıyla ise, topraktaki ölçülen radon miktarı artmaktadır. UNSCEAR tarafından yayınlanan raporda, genel olarak topraktaki radon konsantrasyonları mevsimsel olarak değişimleri incelendiğinde; kış başlangıcı ve sonbahar süresince toprağın kuruyarak gözenekliğinin ve geçirgenliğin artması sonucunda toprakta ölçülen radon aktivite miktarı maksimum, ilkbahar süresince toprağın suyla tıkanarak gözenekliğinin ve geçirgenliğinin azalması sonucunda toprakta ölçülen radon aktivite miktarı minimum olarak kabul edilmektedir (UNSCEAR, 1977). Ayrıca, toprak ve hava sıcaklığına, hava basıncına, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü gibi meteorolojik faktörler ile bölgenin yüksekliğine bağlı olarak topraktan salınan radon aktivite miktarı değişmektedir (Kaptan, 2009). Şekil 1.2’de değişik toprak tiplerinin geçirgenlik kıyaslamaları verilmiştir.



Şekil 1.2 Değişik toprak tiplerinde geçirgenlik kıyaslaması (URL~5)

Şekil 1.2 incelendiğinde, en yüksek geçirgenlik dolgu toprakta, en düşük geçirgenlik ise killi toprakta olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, toprakta radon salımı ölçümlerinde diğer değişkenler sabit kabul edildiğinde dolgu topraktaki radon miktarının yüksek çıkması beklenen bir durumdur.

İnsanların yaşadıkları ve genellikle çok uzun süreleri harcadıkları kapalı mekânlarda radonun çeşitli giriş yolları bulunmaktadır. Bunlar içerisinde, binaları oluşturmak için kullanılan yapı malzemeleri haricinde dışarıdan giriş yolları büyük oranda binanın altındaki toprak ve suyuyla gerçekleşmektedir. Bir bölgede ki topraktaki radon aktivite miktarını belirlemek insanların güvenli bir çevrede sağlıklı bir ömür geçirmeleri bakımından oldukça gereklidir. Bu yüzden insanların yaşamlarının uzun bir süresini geçirdikleri binalarda ve işyerlerinde radyasyon kaynağı olan radon miktarını belirlemek sağlık açısından önemlidir. Ulusal ve uluslararası radyasyonla ilgili kuruluşlar, kapalı ortamlarda radon gazı aktivite miktarları için güvenli sınır değerleri önermektedirler. Her ülkede önerilen sınır değerleri değişmekle birlikte ülkemizde TAEK tarafından önerilen evlerdeki güvenli sınır değeri 400 Bq/m^3 iken, iş yerlerinde ise 1000 Bq/m^3 'dür (TAEK, 2000). Aslında bir bölgedeki topraktaki radon aktivite miktarını belirlemek şehir planlaması açısından da oldukça önemlidir. Bölgedeki radon haritasını çıkartarak binaların nerelere, nasıl yapılmasını ve genel bir yapılaşma planlamasını sağlamakta önemli bir parametredir. Bunların yanında, radyoaktif radon gazının insanlık için olumlu bir yanı ise, topraktaki radonun özellikle aktif fay hatları üzerinde devamlı olarak takip ederek depremin önceden, nerde ve ne zaman olacağını tahin etme konusunda önemli bir haberci olarak kullanılabilmesidir.

1.6.4. Sularda radon

Yeryüzündeki sular sürekli bir döngü halindedir. Bu döngü içerisinde hareket eden sular yeraltındaki çeşitli özellikteki jeolojik oluşumlara rastlaması sonucunda radyoaktif maddelerin karışımına uğrayacaktır. Özellikle yeraltı suları uranyum yataklarından geçmesi sırasında radyumun bozunma ürünü olan radon gazı suda çözünerek karışır. Günlük hayatta içme ve temizlik için kullanılan kaynak, kuyu, musluk ve depo gibi her türlü sularda, sağlık ve eğlenme amacıyla gidilen kaplıcalardaki sularda, yine eğlenme amacıyla gidilen deniz sularında radonun doğal olarak oluşan iki izotopu da değişik oranlarda bulunabilmektedir. Bu iki izotop, uranyum bozunma serisinde Radyum-226'nın bozunmasıyla oluşan 3,82 günlük yarı ömre sahip olan ^{222}Rn ile gösterilen radon gazı ile

toryumun bozunma serisinde Radyum-224'ün bozunmasıyla oluşan yaklaşık 56 saniye yarı ömre sahip olan ^{220}Rn ile gösterilen toron' dur. Bu iki izotopun da yayınladıkları radyasyon, alfa parçacıklarıdır. Bu sularda radonun iki izotopu da değişik oranlarda bulunmasının sebepleri arasında suların geçtiği bölgelerde uranyum yatağının ya da toryum yatağının olması olabilir. Dolayısıyla bir bölgedeki sularda radon miktarını belirlemek o bölgenin jeolojik yapısı hakkında ipuçları verebilmektedir. Aslında suyun yerin ne kadar derinlerinden gelirse o kadar fazla miktarda radon aktivitesi bulunması beklenen bir durumdur. Çünkü bu durumda uranyum yataklarına rastlaması daha muhtemel bir haldir ve böylelikle bu yataklardaki minerallere karışarak radon aktivite miktarı yükselecektir (Akyıldırım, 2005).

Evlerde ve işyerlerinde bulunan radyoaktiviteye en büyük katkılarından birini sularda ki radon sebep olmaktadır. Bu ortamlara gelen sular, içilmeleri sonucunda radonu yutmayla insanlar tarafından alınabildiği gibi, temizlik ya da duş almak için açılan musluktan akan suda bulunan radonun ev ya da iş yerindeki havayla solunmasıyla da insanlar tarafından alınabilmektedir. Radonun insanlara ne gibi sağlık tehdidi içerdiğini üst başlıkta açıklamıştık. İşte bu yüzden sularda bulunan radon miktarının belirli sınırlar altında tutulması oldukça önemlidir. Türkiye'de veya dünyanın herhangi bir yerinde içme sularındaki radon konsantrasyonlarına ilişkin özel bir yönerge veya düzenleme bulunmaması insanların sağlığı açısından eksik kalmış ve en kısa sürede tamamlanması gereken bir konudur. Bununla birlikte, bazı uluslararası kurum ve kuruluşlar, radyolojik güvenlik açısından sudaki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu için farklı bir aktivite limiti (Max Kontaminasyon Limiti) önermiştir. Uluslararası kuruluşların değişik tipteki sularda ^{222}Rn konsantrasyonu için izin verilebilir üst sınırı Çizelge 1.6 'da verilmiştir.

Çizelge 1.6 Uluslararası kuruluşların sularda radon (^{222}Rn) konsantrasyonu için izin verilebilir üst sınırı

Uluslararası Kuruluş	Radon İçin Önerilen Sınır Değer (Bq/L)	Uluslararası Kuruluş	Radon İçin Önerilen Sınır Değer (Bq/L)
USEPA, 1991	11,1	USEPA, 1999	150
AB, 2001a	100	AB, 2001b	1000
WHO, 2001	100	UNCEAR, 2008	4-40

Çizelge 1.6 incelendiğinde, güvenli içme suyu yasası ile, USEPA 1991'de yeraltı suyundaki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu için maksimum kirlilik seviyesini (MCL) $11,1 \text{ Bql}^{-1}$ olarak önermekte iken; 1999'da su sebebiyle ev içindeki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonundaki artış dikkate alınarak su için alternatif bir maksimum kirlilik

seviyesini (MCL) 150 Bq l^{-1} olarak önermektedir. (USEPA, 1991; Zhuo ve ark., 2001). Avrupa Birliği (AB) Komisyonu, nüfusu radon maruziyetine karşı korumak amacıyla kamu içme suyu kaynaklarında 100 Bq l^{-1} ve özel su kaynaklarında ise 1000 Bq l^{-1} referans seviyesi önermektedir (EU, 2001a, 2001b). Dünya Sağlık Örgütü, içme suyundaki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonunun 100 Bq l^{-1} 'e ulaşması durumunda bazı düzeltici önlemlerin alınmasını tavsiye etmektedir (WHO, 2011). UNSCEAR, insanın tükettiği sudaki ^{222}Rn aktivite seviyesini $4\text{-}40 \text{ Bq l}^{-1}$ arasında bir seviyede olmasını önermektedir (UNSCEAR, 2008). Türkiye'nin düzenleyici otoriteleri ise, içme suyu kaynaklarında ^{222}Rn için bir maksimum bir kirlilik seviyesi veya referans değeri henüz belirlememiştir.

Bunlara ilaveten, özellikle yerin altındaki uzak mesafelerden gelen sulardaki radon aktivite miktarlarını devamlı olarak ölçmek ve meydana gelen değişikliklerde depremin habercisi olabilecek sinyaller arasında yer almaktadır. Bu sulara örnek olarak kuyu suları ve jeotermal sular örnek verilebilir.

1.6.5. Radon gazı ölçümü

Radonun doğal olarak bulunan iki izotopunu ölçmek için kullanılan aletlerde, cihazlarda elektrik enerjisi kullanılıyor ise aktif ölçüm tekniği, elektrik enerjisi kullanılmıyor ise, pasif ölçüm tekniği olarak sınıflandırılabilir. Hangi amaçla bir ölçüm yapılacak ise, buna göre kullanılacak ölçüm ve tekniği değişebilir. Anlık radon ölçümleri aktif ölçüm tekniğinde yapılabilmektedir. Bu ölçüm tekniğinde kullanılan aletlere örnek olarak iyon odaları, sintilasyon hücresi ve filtreler verilebilir. Aktif radon ölçen bir diğer dedektör ise Durrige Rad-7'dir. Uzun süreli radon ölçümlerini ise CR-39 ve LR-115 gibi katı hal nükleer iz dedektörleri kullanılarak pasif ölçüm tekniğinde yapılabilmektedir (Fişne, 2004).

1.7. Radon-Deprem İlişkisi

1.7.1. Genel bilgiler

Buraya kadar ki bölümlerde genel olarak radon gazının insanların sağlığı açısından nasıl bir tehdit oluşturduğundan bahsedilmiştir. Ancak bu radyoaktif ve soy gaz olan radon gazının insanlık için çok faydalı olabileceği düşünülen bir konu bulunmaktadır. İnsanların halen günümüzde karşılaşmaya ve acılarını yaşamaya devam ettiği konu depremdir. Bunun zararlarından, kayıplarından ve acılarından kurtulmak için binaların sağlam yapılmasının yanında depremin önceden tahminine yönelik çalışmalar da devam etmektedir. İşte bu

konuda bizlere yardımcı olabileceği düşünölen element, radyoaktif ve soy gaz olan radon gazıdır. Bilindiğı üzere, radon elementinin doğal olarak bulunan üç adet izotopu bulunmaktadır. Bunlar arasında, toron ve aktinonun yarılanma ömrü radona kıyasla oldukça küçüktür. Bundan dolayı, depremin önceden tahminine yönelik çalışmalarda daha kullanışlı olan (^{222}Rn) radon gazıdır. Bu konuyla alakalı olarak literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda, bilim insanları, aktif fay hatlarında, jeotermal kaynaklarda, uranyum depozitlerinde, topraktaki gazlarda ve yeraltı sularında radon aktivite miktarlarının belirli dönemlerde izlenmesi ve bu dönemlerde radon anomalilerin depremler meydana gelmeden önce oluştuğunu ve buradan hareketle depremin habercisi olarak radon anomalilerinin olabileceğini söylemişlerdir (King, 1978; Qureshi, 1994; King ve ark. 1996). Benzer bir çalışmada Asada tarafından 1982 yılında yapılmıştır. Bu çalışmada da kuyu ve kaynak sularındaki radon gazı izlenmiş ve depremlerin öncesinde radon gazı aktivite miktarlarında pozitif yönde yükseliş meydana geldiğini bildirmiştir (Asada, 1982).

1.7.2. Radon-deprem ilişkisinin tarihçesi

Radon ve deprem ilişkisinin tarihçesi incelendiğinde, 1950'lerden sonra bilimsel temele dayalı ciddi çalışmalar yapılmaya başlandığı görölmektedir. Tabi bu çalışmaların genelde deprem ile yaşamakta ve çok ciddi zararlar gören ekonomik olarak sistematik bilimsel çalışmaları yapabilen ölkelerin ön plana çıktığı görölmektedir. Bu ölkeler, Japonya, Rusya, Çin ve A.B.D 'dir. Literatürde radon ve deprem ilişkisini açıklayan ilk çalışma, Japon bilim adamı Okobe tarafından 1956 yılında yapılmıştır. Bu çalışmada, toprağı yakın yerlerdeki havada ölçölen radon miktarının yeraltı hareketleri meydana geldiğinde arttığını ve radonun değişimlerinin izlenmesinin depremi önceden tahmin edebilmek için kullanılabilecek bir parametre olduğunu söylemiştir (Sandıkciöglü, 2011). Daha sonra, Rus bilim insanları Taşkent' te bulunan kuyu sularındaki radon gazı miktarlarını 1966 yılı boyunca izleyerek kayıtları tutmuşlardır. Bu kayıtların incelenmesi neticesinde, depremin öncesinde kuyu sularındaki radon aktivite miktarının arttığını ve depremin sonrasında hızlı bir şekilde tekrar düştüğünü tespit etmişlerdir (Ulomov ve Mavashev 1971; Press, 1975). Benzer bir çalışma da 1976 yılında Çin de yapılmıştır. Bu çalışmada da, deprem öncesinde kuyu sularında ölçölen radon gazı aktivite miktarının arttığını bildirmiştir (Asada, 1982). Literatüre bir zenginlik de 1974 yılında eklenmiştir. Kuyu sularındaki radon gazı aktivite miktarını incelemenin yanında, toprak havasındaki radon gazı aktivite miktarları da incelenmiştir (Bichard ve Libby 1980). Peki, bu kadar çalışma sonunda somut olarak yaşanan bir durum var mı? Bu sorunun cevabı evet. Çin'de

meydana gelen 7,3 büyüklüğündeki Haichheng depremi öncesinde, yeraltı sularındaki radon anomalilerinin tespit edilmesi üzerine, birkaç saat öncesinde deprem olabileceği konusunda insanlar uyarılarak milyonlarca insanın hayatı kurtarılmıştır (Tanner 1980). 1989 yılına gelindiğinde Japonya da yeni bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem de 60 kuyu vardır ve bu kuyuların derinliği 17 metredir. Bu sistemin yaptığı iş, bu derinlikteki kuyu sularının radon değişimlerini tespit edip kaydetmektir (Igarash ve ark., 1995).

Ülkemiz için ise, 1939 büyük Erzincan depreminden sonra bazı çalışmalar yapılmıştır. Ancak, zaman içerisinde bu çalışmalar yavaşlamış ve önemini büyük oranda kaybetmiştir. Varto'da yaşanan 1966 yılındaki depremden sonra deprem araştırmaları ve deprem zararlarının azaltılmasıyla ilgili çalışmalara başlanılmıştır. Deprem zararlarının azaltılmasına yönelik çalışmalardan sorumlu olan kuruluş 1970 yılı içerisinde kurulabilmiştir (Özmen, 1995). 1999 yılında büyük can ve mal kayıplarının yaşandığı ve ülke ekonomisinin çok büyük yaralar aldığı iki büyük deprem yaşanmıştır. Bu depremlerden birincisi 17 Ağustos tarihinde yerel saat ile 03.02'te 7.4 büyüklüğünde Gölcük'te, ikincisi ise, 12 Kasım tarihinde yerel saatle 18.57 de 7.2 büyüklüğünde Düzce de meydana gelmiştir. Bu büyük depremlerden sonra, bir daha böylesi acı kayıplar yaşanmaması için depremin önceden tahmin edilmesine yönelik ilk çalışmalara başlanılmıştır (İnan, 2008).

1.7.3. Radon-deprem ilişkisinde öne sürülen modeller

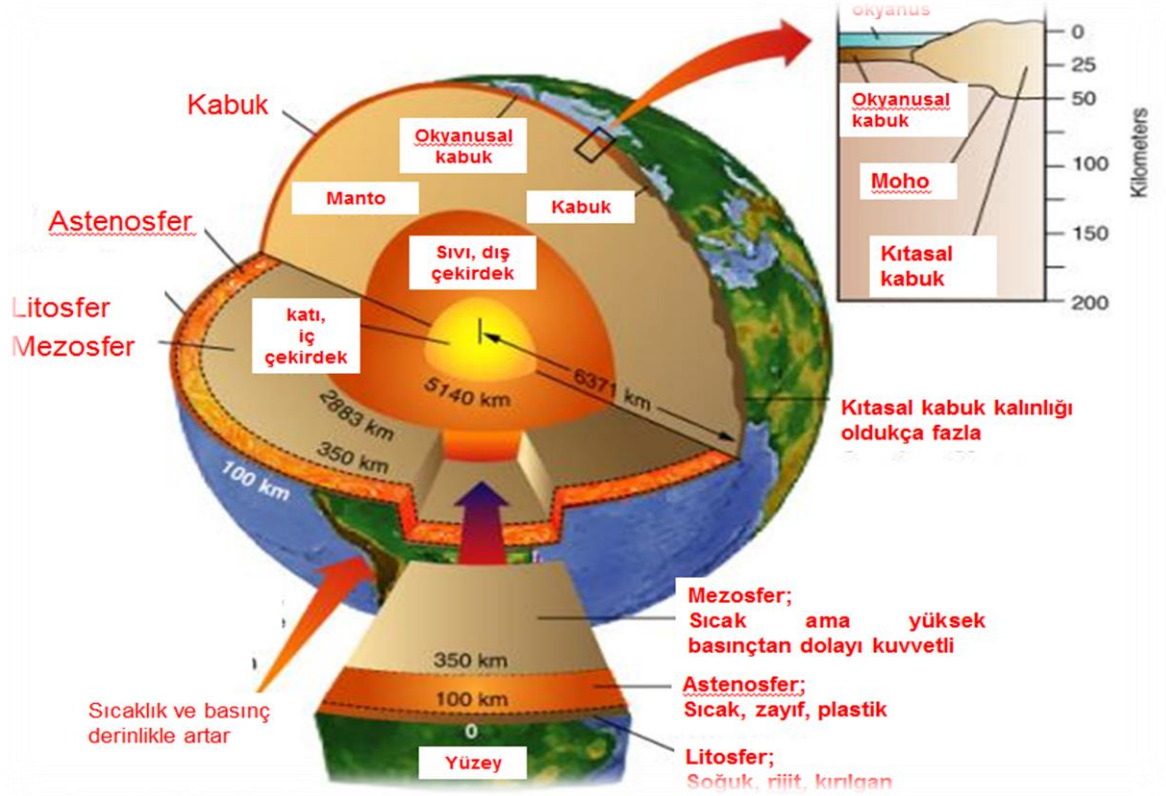
Depremler öncesinde meydana gelen radon gazı aktivite konsantrasyonundaki değişimlerin neden olduğunun anlaşılabilmesi için, bilim insanları tarafından modeller öne sürülmüştür. Bunlar, kronolojik olarak öncelikle sıkışma modeli (King 1978; King ve ark. 1996), daha sonrasında genişleme-difüzyon modeli (Press, 1975) ve en sonunda da gerginlik-korozyon modeli (Bichard, 1980) olmak üzere üç model öne sürülmüştür. Burada sıkışma modeli ile toprakta ölçülen radon anomalileri açıklanmaktadır. Aynı zamanda, toprak gazında ve yer altı sularında radon gazının yanında karbondioksit ve helyum gazlarının birlikte gözlenilebileceği ve böylelikle deprem sırasında ya da öncesinde bir takım sis, pis koku, kuyu sularında oluşan kabarcıkları ya da oluşan garip durumları bu model ile açıklanabilmektedir (Reimer, 1980). Ayrıca, bu modelin açıkladığı diğer durumlar ise, birinci olarak, deprem sırasında oksijen bakımından fakir olan yerin altından gelen gazlar yukarılarda yuva yapmış olan karıncalara ulaştıkları zaman, karıncalar oksijeni azalan yuvalarda kalarak hayatta kalamayacakları için, yuvalarını terk etmek

zorunda kalmaları; ikinci olarak, yukarı çıkan radon gazı ve izotoplarının havada iyonlar oluşturmasının etkisiyle bazı hayvanların garip davranışlar sergileye başlamalarıdır (Kulalı 2009). Bir diğer model ise, 1975 yılında Frank Pres tarafından açıklanan genişleme difüzyon modelidir. Bu modele göre, fayda biriken enerjiler arttıkça kayalar ya kırılacak ya da yüzeyleyi genişleyecektir. Her iki durumda da kayaların içerisinde yer alan suların akış hızları artacaktır. Böylelikle, deprem öncesinde yer altı sularında meydana gelen radon artışı ve sonrasındaki azalışı açıklanabilmektedir. Bu model ile aynı zamanda, sismik hızların oranı, yöresel manyetik alanın uzunluğundaki ve dünyanın elektriksel resistivitesindeki değişimler de açıklanabilmektedir (Yaprak ve ark. 2003). Son olarak gerginlik korozyon modeli; bu model yer altı sularıyla büyük kaya parçaları doğunluğa ulaştığında, kayalar hem aşınmaya başlar hem de aşırı doğunlukla gerginliğe başlar ve sonunda hem aşınma hem de gerginliğe dayalı olarak yavaş kırık büyümesiyle radon anomalileri oluştuğunu söylemektedir. Bu süreç dikkate alındığında radon değişimleri suyun doğunluk derecesine bağlı olarak, gerilmenin yavaş ya da hızlı olmasına bağlı olarak, kayanın tipine ve gerginliğin şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda, radon değişimlerinin gerilme ile oluşan kayanın elastik çapına, tektonik, volkanik ya da çöküntü deprem şeklinden hangisi olduğuna bağlı olduğunu ve bunun yanında suyun hidrolik özelliklerine de bağlı olduğunu bu model söylenmektedir (Bichard, 1980).

1.8. Dünyanın Oluşumu ve İç Yapısı

Dünyanın oluşumunu anlatabilmek için, öncelikle evrenin oluşumundan başlamak daha doğru olacaktır. Dnn olmadığı bir zamanda, bugünden yaklaşık 13,8 milyar yıl önce, her şey bir arada durmakta iken, (Bing bang) büyük bir patlama meydana geliyor ve bunun sonucunda ilk yapı taşları olan kuarklar, nötronları ve protonları oluşturuyor. Sonrasında ilk çekirdek, hidrojen, helyum atomu ve çok yoğun bir parçacık sisleri oluşuyor. Bundan sonra, atomlar oluşuyor ve başlangıçtan yaklaşık 380 milyon yıl sonra kozmik arka plan denilen ilk ışık ortaya çıkıyor ve yayılıyor. Daha sonrasında, yaklaşık 300 milyon yıllık karanlık dönem içerinde yoğun toz ve gaz bulutlarıyla galaksiler ortaya çıkıyor kütle çekim kuvvetinin ortaya çıkmasıyla yıldızlar oluşuyor. Bu süreçler sonunda, bu günden yaklaşık 4,5 milyar yıl öncesinde büyük gaz ve toz bulutları bir araya gelerek bugün üzerinde yaşadığımız 6371 km yarıçapa sahip ve şekli tam olarak küre olmayan hafif şekilde kutuplarda basık dünyamızı oluşturuyor. Başlangıçta çok sıcak olan dünyamız, eksenini etrafında dönerek soğumaya başlıyor ve çeşitli katmanlar oluşuyor. Bu

katmanları üç ana başlık altında sınıflandırılabilir. Bunlar yer kabuğu, manto ve çekirdekten oluşmaktadır. Bu katmanlar yoğunluğuna göre dışardan içeriye doğru konumlanmıştır. Dünyamızın en dışında yer kabuğu, iç tarafında çekirdek ve ikisinin arasında manto bulunmaktadır. Dünyanın içi ve yer kabuğunun yapısı Şekil 1.3 gösterilmektedir.

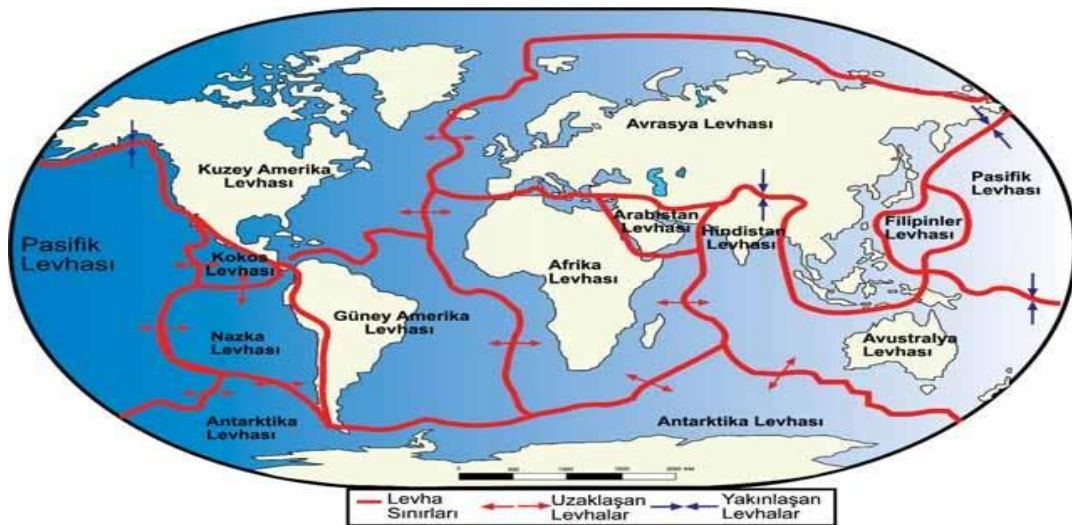


Şekil 1.3 Dünyanın içi ve yer kabuğunun yapısı (URL~6)

Şekil 1.3' te dünyanın içi ve yer kabuğunun yapısı incelendiğinde; basınç, sıcaklık ve yer çekimi derinlikle arttığını söylenebilir. Çekirdeğin iç çekirdek ve dış çekirdek olarak ikiye ayrılabilir. İç çekirdek katı halde iken dış çekirdek sıvı haldedir. Yoğunluğu ve kalınlığı en fazla olan tabaka çekirdektir. Çekirdeğin bünyesinde bol miktarda demir ve nikel bulunmaktadır. Dünyamızın en dışında bulunan kabuğa litosfer taş küre denilmektedir. Bunun ortalama kalınlığı 35 km olup kıtasal olan yerlerde kalınlığı 70 km'ye kadar yükselmekte; okyanussal olan yerlerde ise, 5 km ye kadar kalınlığı düşmektedir. Karasal olan kabukta granatik kabuk bulunur iken, okyanussal kabukta bazaltik tabaka bulunmaktadır. Manto dünyanın yaklaşık %85'lik hacmini oluşturmaktadır. Manto ile litosfer arasında astenosfer denilen bir tabaka bulunmaktadır. Manto bizim için çok önemlidir. İçerisinde sıvı akışkan magma denilen malzeme bulunmaktadır. Bu magma ısınarak mantonun üzerinde denge de duran litosfere doğru hareket ederek litosfere

çarpmakta ve bazı alanlarda yer kabuğu birbirinden ayrılmaktadır ve magma yer yüzeyine çıkmaktadır. Böylelikle volkanizma meydana gelebilmektedir. Genel olarak manto içerisinde meydana gelen benzeri konveksiyonel hareketler sonucunda, iç kuvvetler ortaya çıkmaktadır. Nedir bu iç kuvvetler? Volkanizma, deprem, kıtasal hareketler ve dağ oluşumlarıdır (MTA, 2000).

Dünyamızın tektonik oluşumu ile alakalı olarak birçok görüş ortaya atılmıştır. Bunlar arasında hâkim olan görüş 1915 yılında Alfred Wegener tarafından ortaya atılan kıtaların kayması kuramı en çok rağbet gören görüş durumundadır. Bu kurama göre, başlangıçta kara kütleleri bir arada durmakta olup bu kara kütlesi Pangea, çevresindeki okyanus ise Patalassa olarak isimlendirilmektedir. Bu kara parçasının ikiye bölünmesi neticesinde aralarından Tethys denizinin geçmesine sebep olmuştur. Bu kara parçalarının isimleri Lavrasya ve Godvana'dır. Bu kuram ile kıtalar birbirinden ayrıldı ama daha net anlamda kıtaların neden hareket ettiği açıklanamamıştır. Bunun üzerine, yarım kalan bu kuram 1950 yılında bilim insanları tarafından geliştirilerek Levha Tektoniği Kuramı adını almıştır. Bu kurama göre litosfer ile manto arasında astenosfer katmanında çıplak gözle görülmeyen karasal ya da okyanussal olan levhalar bulunmaktadır. Bunlar tıpkı bir pazılın parçaları gibi dünyamızı oluşturan parçalardır. Mantodaki ısınan sıvıların yükselmesi soğuyan aşağıya yönelmesi sebebiyle oluşan konveksiyonel hareketler sonucunda, levhaların bazıları birbirlerine yaklaşmış, bazıları birbirlerinden uzaklaşmış ve bir takım levhalar ise yanıl yer değiştirmelere uğrayarak dünyamızın bu günkü görünümünün oluşmasını sağlamıştır. Levhaların bu hareketleri sonlanmış değil hala hareketlerine devam etmektedir. Şekil 1.4'te levhalar ve hareketleri gösterilmektedir.



Şekil 1.4 Dünyanın levhaları ve hareketleri (URL~26)

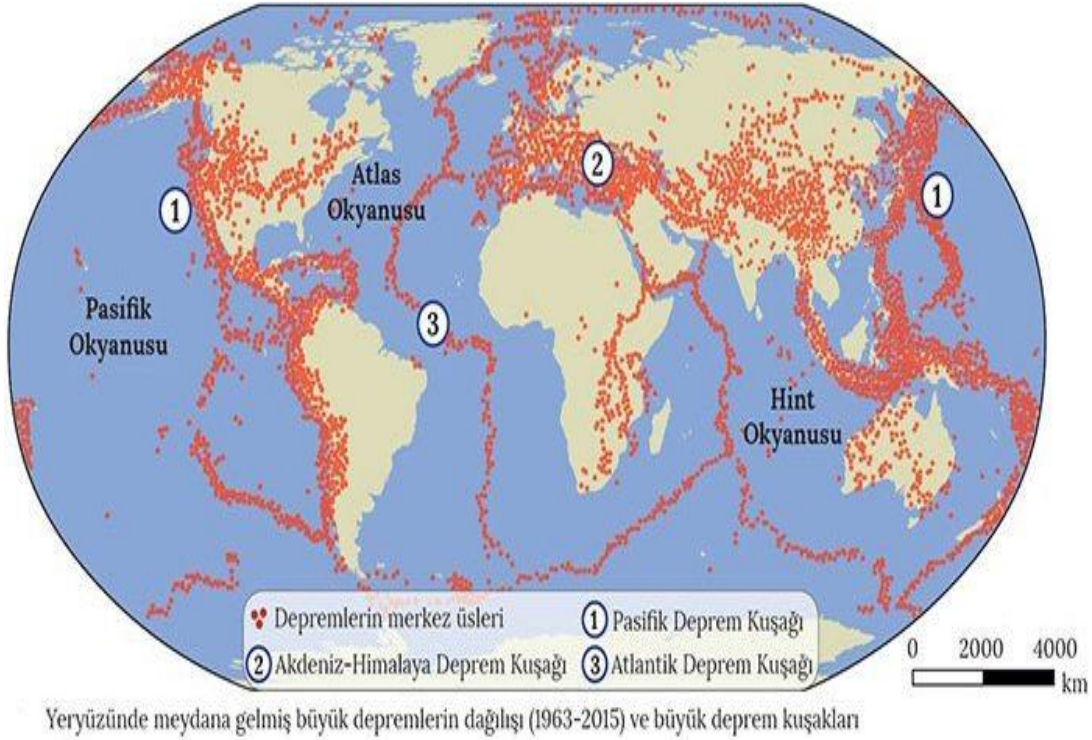
1.9. Deprem ve Türleri

Her ne kadar ani olarak gelişse de yerin altındaki belirli olayların sonucunda ortaya çıkan enerji sebebiyle dünyanın en dış katmanı olan yer kabuğunun sarsılması olayı deprem olarak tanımlanabilir. Meydana gelen ani sarsıntı artçı deprem olarak devam ederek enerji boşalması tamamlanıncaya kadar devam eder. Bazı durumlarda büyük deprem öncesinde de öncü depremler yaşanabilir. Deprem, büyüklüğü ve şiddeti oranında büyük can ve mal kayıplarına sebep olabilen bir doğa olayıdır. Burada olayın başladığı merkez, derinlerde bulunan bir nokta olup bu nokta hiposantr olarak isimlendirilmektedir. Bu noktadan tıpkı bir havuzdaki durgun bir suya taş atılması ile su yüzeyinde meydana gelen dalgaların hareketi gibi deprem dalgaları da meydana geldiği merkezden dışa doğru tüm yönde hareket etmektedir. Bunun da yeryüzünde en çok hissedildiği ve hasar verdiği yer ise, merkez üssü (episantr) ya da dış merkezi olarak isimlendirilmektedir (Bolt, 1993). Yeryüzünde meydana gelen deprem türleri üç grupta toplanabilir. Bunlar, oluşma sıklıklarına göre tektonik, volkanik ve çöküntü depremleri olarak sıralanabilir. Yer kabuğunun kırılması kayması gibi sebepler nedeniyle oluşan depremlere tektonik depremler denilmektedir ve meydana gelen depremler içerisinde neredeyse %80 oranında bu deprem türleri görülmektedir. Bu deprem türleri, ülkemizde de benzer oranda en çok yaşanan deprem türleridir. Diğer bir deprem türü olan volkanik depremler ise, mantodan oluşan konveksiyonel hareketler sonucunda baskılara dayanamayan litosferin kırılmasıyla mantodan sıcak lavların yeryüzüne çok büyük bir gürültü ile püskürmesiyle yer yüzeyinde sarsıntılara sebep olan deprem türleri olarak tanımlanabilir. Meydana gelen depremlerin yaklaşık %14'ünü bu türü oluşturmaktadır. Bu tanımlamadan anlaşılacağı üzere, ülkemizde bu deprem türleri görülmesi şu an için söz konusu değildir. Ancak, bu depremler volkanik faaliyetlerin yaşandığı Japonya ve İtalya da görülebilmektedir. En son olarak çöküntü depremlerini ise, yerin altındaki kayaçların erimesi sonucunda ya da maden işletmeleri sonucunda altı boşalan yer yüzeyinin çökmesi olarak tanımlanabilir. Ülkemizde bu deprem türleri, İç Anadolu bölgesinde ve kömür havzalarının bulunduğu bölgelerde zaman zaman yaşanmaktadır (Şimşek, 1999).

1.9.1. Depremler nasıl meydana gelir?

Dünyamız gözle görülemeyen 12 büyük ve irili ufaklı birçok levhalardan oluşmaktadır. Dünyamızın manto katmanı içerisinde yer alan sıvıların konveksiyonel hareketleri sonucunda bu levhalar devamlı olarak baskıya maruz kalmaktadır. Bu baskılar

sonucunda, levha sınırlarında gerilmeler ve sıkışmalar meydana gelebiliyor. En sonunda bu baskılara dayanamayan levha sınırındaki kıtasal kabukta kırılmalara neden olabilir. Bu kırılmalar neticesinde, ortaya çıkan enerjinin dalgalar halinde dağılarak yeryüzünde hissedilmesiyle depremler meydana geliyor. Depremler çoğunlukla bu levha sınırlarında meydana gelmektedir (Şahin, 2009). Şekil 1.5'te Dünyadaki deprem kuşakları gösterilmektedir.



Yeryüzünde meydana gelmiş büyük depremlerin dağılışı (1963-2015) ve büyük deprem kuşakları

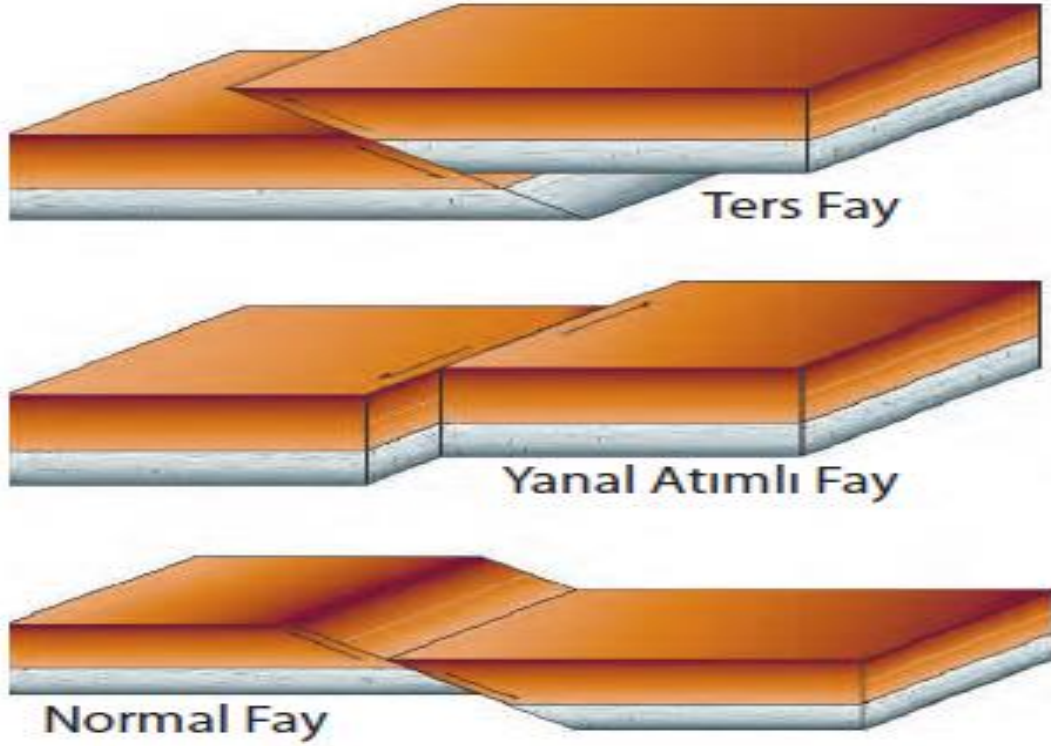
Şekil 1.5 Dünyadaki deprem kuşakları (URL~27)

Şekil 1.5 incelendiğinde, 1963 yılından 2015 yılına kadar dünyada meydana gelen depremlerin nerelerde meydana geldiğini, yukarıda anlatıldığı gibi levha sınırlarında yoğun depremlerin yaşandığını ve özellikle depremlerin yoğun yaşandığı 3 adet bölge olduğu görülmektedir. Bu depremlerin yoğun şekilde yaşandığı bölgeler deprem kuşakları olarak tanımlanmaktadır. Bunlar, en yoğun depremlerin yaşandığı ve 1. sırada yer alan Pasifik Okyanusundan ismini alan Pasifik deprem kuşağı, 2. olarak Türkiye'nin de içinde bulunduğu Alp Himalaya deprem kuşağı ve son olarak 3. Sırada Atlas okyanusundan ismini alan Atlantik deprem kuşağıdır.

1.10. Fay ve Çeşitleri

Levhaların sınırlarında kalan baskılara dayanamayıp kırılan bölgelere fay denilmektedir. Fay hatları sınırı olduğu plakaların hareketlerine göre 3 grupta incelenebilir.

Birbirinden uzaklaşan plakaların sınırını oluşturan fay, normal fay; birbirine yaklaşan plakaların sınırını oluşturan fay ise, ters faydır. Bir diğer fay ise, yanıl atımlı faydır. Plakalar fay doğrultusunda birbirine zıt yönde hareket ederler. (Şahin, 2009; URL~7). Şekil 1.6 da, faylar ve çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 1.6 Faylar ve çeşitleri (URL~8)

1.11. Depremlerin Ölçülmesi, Şiddet ve Büyüklük Dereceleri

Depremlerin ölçülmesi olayı, yer altındaki kayaların kırılması sonucunda ortaya çıkan enerjinin yer yüzeyinde sarsıntı olarak hissedilmesini sağlayan dalgaların tespitine dayanmaktadır. Depremleri ölçmek için, belirli noktalara istasyonlar oluşturulur. Bu istasyonlara, yer altından gelen dalgaları ölçmek için sismogramlar yerleştirilir. Bunlar analog olan sinyalleri dijital ortamlara atan sistemlere entegre edilmiştir. Yerin altında oluşan kırık sonucunda ortaya çıkan enerji dalgalar halinde her yöne yayılarak ilerlemeye devam eder. Bu dalgalar, yüzey dalgaları ve hacim dalgaları olarak ikiye ayrılır. Yer kürenin yüzeyine yakın yerlerde etkiye sebep olan dalgalara yüzey dalgaları, geçtikleri kayalarda hacim değişikliğine sebep olan dalgalara ise hacim dalgaları denir. Hacim dalgaları da P ve S dalgaları olarak ikiye ayrılır. P dalgaları kayaç içerisinde itme ve çekme şeklinde etkiye sebep olarak yayılır ve bu dalga S dalgasından daha hızlı yayılarak istasyona ulaşan ilk dalgadır. S dalgası geçtikleri kayaları hem yatay hem de düşey hareket

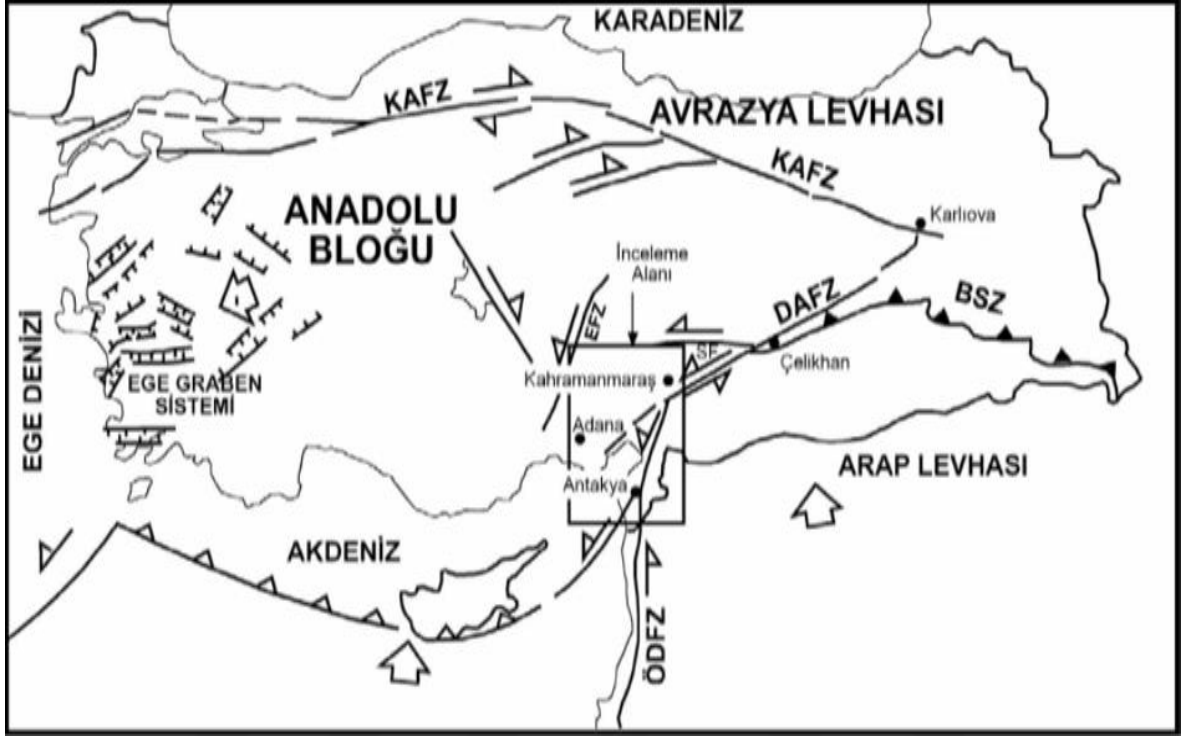
ettirebilir. Bu dalga tipleri yıkıcı etkiye sahip olabilir (Özmen, 1995). Aynı merkezden gelen bu dalgaları, birlikte aynı anda yarışa başlamış arabalar gibi düşünerek aldıkları mesafeler arttıkça aralarındaki mesafelerin arttığı bir matematik problemi çözer gibi bunların yarışa başladıkları nokta bulunur. Böylelikle, istasyona olan uzaklık tespit edilir. Bu mesafe yarıçap kabul edilerek bir çember çizilir. Tam olarak neresi olduğunu tespit etmek için, üç istasyondan bu yöntemle çemberler çizilir ve sonuç olarak çemberlerin kesiştiği nokta depremin merkez üssü olarak tespit edilir.

Depremlerin ölçülmesi için kullanılan iki farklı ölçek mevcuttur. Bunlar depremin büyüklüğü ve şiddeti olup çoğunlukla bu kavramlar birbirlerine karıştırılmaktadır. Bu kavramlar birbirinden farklıdır. Depremin büyüklüğü açığa çıkan enerjinin miktarını göstermekte iken depremin şiddeti ise yıkıcılığının bir göstergesidir. Depremin büyüklüğü aletsel olarak ölçülüp hesaplanırken, depremin şiddeti ise, gözlemsel ve istatistiklere bağlı olarak ölçülmektedir. En yaygın olarak kullanılan deprem büyüklük ölçeği Richter ölçeği iken, en yaygın olarak kullanılan şiddet ölçü birimi ise, Mercalli şiddet ölçü birimidir. Richter ölçeği logaritmik bir ölçü birimidir ve üstel olarak katlanarak artmaktadır. Şiddet ölçeği ise depremde oluşan tahribata göre belirlenir (FEMA, 1999; MTA, 2000). Günümüzde, özellikle büyük depremleri ölçmek için Richter ölçeği yerine 3,5 değerinden düşük depremleri ölçmeyen moment magnitud ölçeği kullanılmaktadır (URL~9). Deprem büyüklüğü ve şiddeti arasında yaklaşık bir dönüşüm uygulanabilir (URL~10). Ancak büyüklüğü fazla olan bir depremin yerleşim yerine uzak olması durumunda ya da yapı türlerine ve sağlamlığına bağlı olarak şiddeti düşük olabilir (Levy ve Salvadori, 1995).

1.12.Türkiye'nin Tektoniği

Türkiye'de geçmişte birçok yıkıcı depremler meydana gelmiştir ve gelecekte de bu depremler olmaya devam edecektir. Bunun sebebi, hem Türkiye'nin jeolojik olarak 3. ve 4. jeolojik zamanlarda bugünkü görünümünü almış genç oluşumlu bir ülke olması, hem de Türkiye ve çevresinin dünya üzerindeki en yoğun deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağının uzanımı üzerinde yer alan bir ülke olmasıdır. Pasifik deprem kuşağından sonra dünya üzerindeki en aktif deprem bölgelerinden biri olan bu kuşak üzerinde yer alan Türkiye ve çevresinde, kırık hatları ile ayrılmış kabuk levhalarından birisi olan Anadolu Levhası, Anadolu Levhasının güneyinde Arabistan Levhası ve kuzeyinde ise, büyük Avrasya Levhası yer almaktadır (Günay, 2016). Türkiye'nin bulunduğu bölgenin en önemli tektonik yapıları, Akdeniz içerisindeki dalma-batma zonu,

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) dur. Şekil 1.7’de Türkiye ve çevresinin tektonik yapısı gösterilmektedir (Över ve ark., 2002).

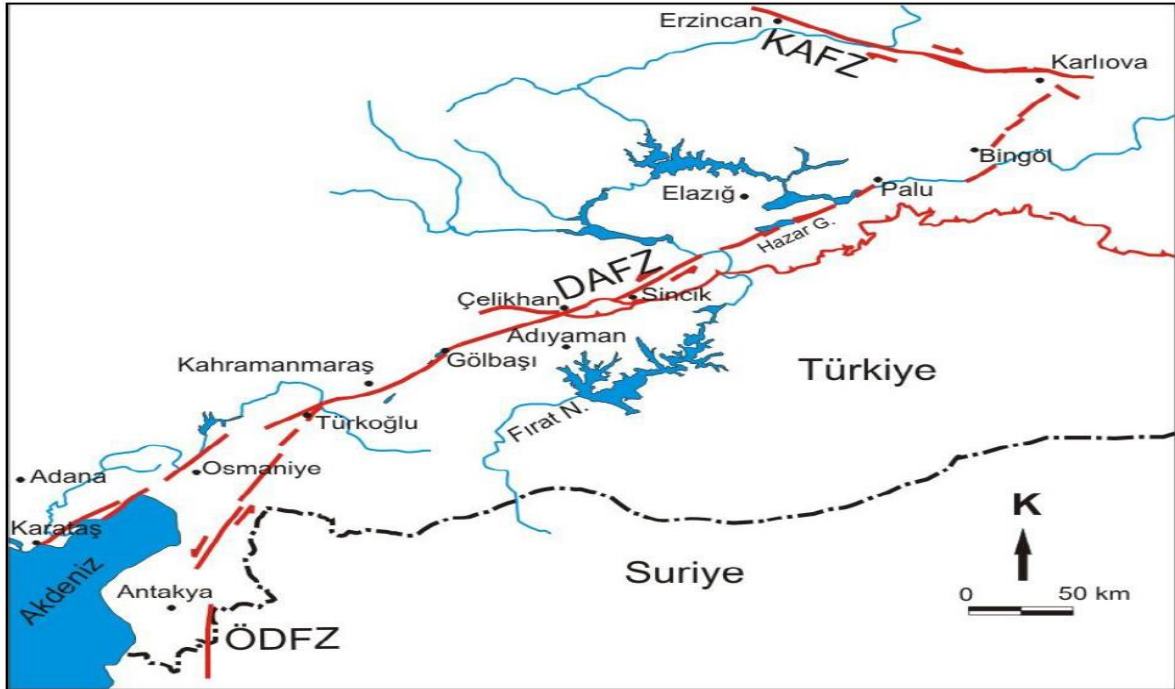


Şekil 1.7 Türkiye ve çevresinin tektonik yapısı (Över ve ark., 2002)

Türkiye ve çevresindeki levhalar tıpkı dünyadaki diğer levhalar gibi birbirlerine göre göreceli olarak hareket etmektedir. Afrika- Arabistan levhaları, Atlantik Okyanus ortası sırtının iki tarafa doğru yayılması sonucunda kuzey-kuzeydoğuya doğru hareket etmektedir (Arpat ve Şaroğlu, 1972). Kızıldeniz’in günümüzde de sürmekte olan deniz tabanına doğru kuzeydoğu-güneybatı yönünde hareketi sebebiyle Arabistan levhası Türkiye’nin güneyinde kuzeyine doğru itilerek Şekil 1.5’te görüldüğü gibi Büyük Avrasya levhasının altına doğru dalmaktadır. Arabistan levhasının Avrasya levhasının altına doğru hareketi sonucunda da, Doğu Anadolu Bölgesinde yoğun sıkışma ortaya çıkmaktadır. Bu sıkışmaya bağlı olarak ortaya çıkan önemli tektonik olaylardan biri de KAF ile DAF arasında kalan Anadolu Bloğunun batıya doğru hareket etmesidir. Bu hareket, günümüzde de devam ederek Türkiye’nin en batı ucundaki bölgeyi güneybatıya doğru yönlendirmekte ve bunun sonucu olarak batı kesimler genişlemektedir. Bu genişleme sonucunda da Anadolu’nun batısında graben ve horst olarak tanımlanan ova ve dağlar ortaya çıkmaktadır (İnce, 2016).

1.12.1.Doğu Anadolu fay zone (DAFZ)

Ülkemizin kuzeydoğusunda bulunan Bingöl iline bağlı Karlıova ilçesinden başlayarak Hatay'a kadar uzanır. Fayın karadaki uzunluğu yaklaşık olarak 550 km olup Anadolu ve Avrasya plakalarını birbirinden ayıran sol yönlü doğrultu atılımlı bir faydır. Söz konusu fay zone, Karlıova'da Kuzey Anadolu fay zone ile Kahramanmaraş'ta ise Ölü deniz Fay zone ile karşılaşmaktadır. Böylelikle, bu iki önemli fay zone ile karşılaştığı bu bölgede üçlü eklem noktası meydana gelmektedir.(Arpat ve Şaroğlu, 1972; Jackson ve McKenzie, 1984; Şengör ve ark., 1985; Muehlberger ve Gordon, 1987; Lyberis ve ark., 1992; Gülen ve ark., 1987; Şaroğlu ve ark., 1992). Şekil 1.8'de DAFZ'nun genel uzanımı gösterilmektedir.



Şekil 1.8 DAFZ'nun genel uzanımı (Şaroğlu ve ark. 1992'den değiştirilerek çizilmiştir)

Fay zonunun varlığı hakkında ilk olarak, 1969 yılında Allen tarafından Karlıova ile Hazar Gölü arasında uzanan bir fay olduğu yönünde fikir ortaya koymuş olsa da, 1972 yılında Arpat ve Şaroğlu tarafından Doğu Anadolu Fay Zonu ismi ilk olarak kullanılmıştır. DAFZ üzerindeki kayma hızının Jeolojik, jeomorfolojik ve GPS verilerine göre yaklaşık olarak 8-10 mm/yıl olduğu söylenmektedir.

DAFZ, tektonik aktivitesi diğer KAFZ ve Batı Anadolu Graben Sistemi kadar iyi bilinen ve Kuvaterner aktivitesi detaylı şekilde çalışılmış bir fay zone konumunda değildir. Günümüze kadar gerçekleştirilmiş çalışmalarda, DAFZ genel özellikleri ile ilgili ortak bir görüş hâkim olmasına rağmen, söz konusu fay zone hakkında ileri sürülen birtakım farklı

görüşler de vardır. Bu farklı görüşler: a) Fay zonunun Türkoğlu'ndan güneybatıya Osmaniye ve Karataş 'a doğru devam edip etmediği, b) Fay üzerindeki yer değiştirme miktarı, c) Kayma hızı, d) Tarihsel olarak deprem aktivitesi, e) Fay zonunun yaşı ve f) Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ile olan ilişkisi hakkındadır. Bununla birlikte, fay zonunun Gölbaşından güneybatıya doğru uzanımı hakkında farklı görüşler ve DAFZ uzanımı boyunca farklı araştırmacılar tarafından ileri sürülen kayma hızı değerleri bulunmaktadır (Yönlü, 2012). Çizelge 1.7 'de ise, Fay zonunun yaşı ile ilgili farklı görüşler verilmektedir.

Çizelge 1.7 Fay Zonunun yaşı ile ilgili farklı görüşler

İleri sürülen Görüş	Kaynak
Geç Miyosen-Erken Pliyosen aralığında oluşmuştur	(Şengör ve ark., 1985, Arpat ve Şaroğlu, 1972; Lyberis ve ark., (1992), Perinçek ve Çemen (1990)).
Geç Pliyosen-Kuvaterner aralığında oluşmuştur	(Arpat ve Şaroğlu, 1975; Herece ve Akay, 1992)
Geç Pliyosen'de oluşmuştur	(Şaroğlu ve ark., 1987, 1992)
Fay zonu yaklaşık 3 My önce Malatya-Ovacık fayının aktivitesini yitirmesi sonucu aktifleşmiştir	(Westaway ve Arger, 1998)

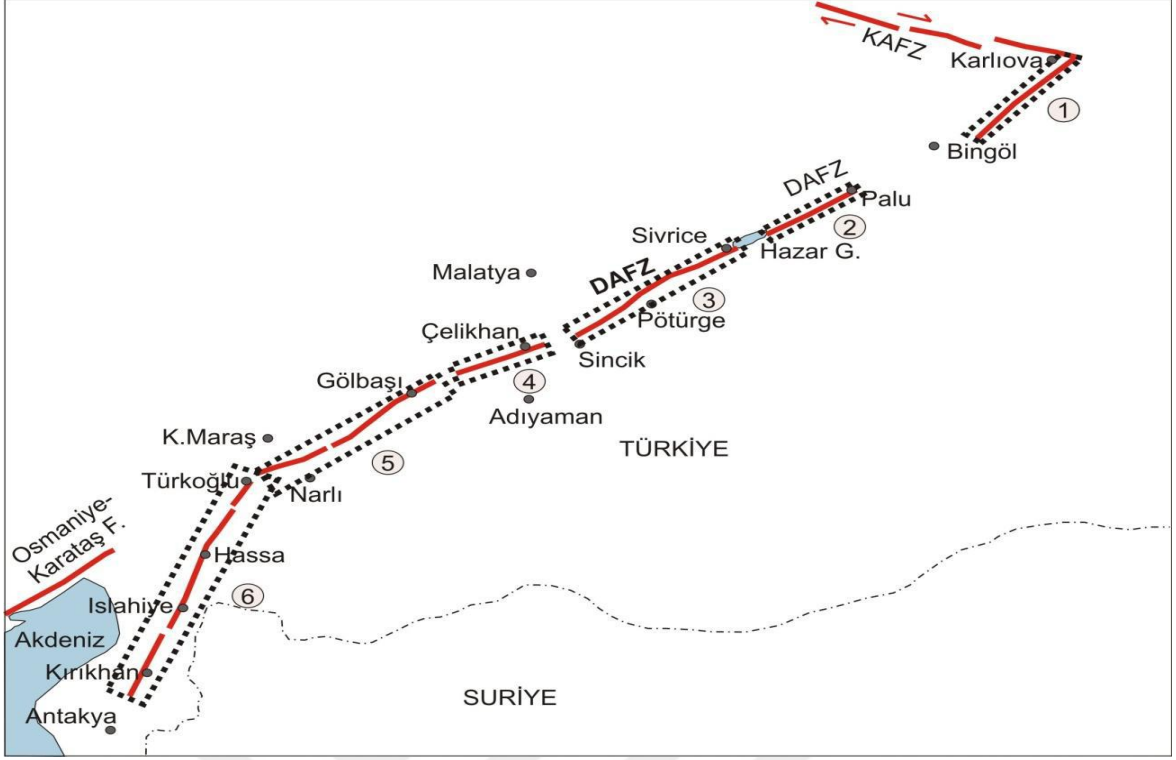
1.12.1.1. Doğu Anadolu fay zonu segmentleri

Doğu Anadolu Fay zonu için birçok araştırmacı tarafından farklı segmentasyon önerileri bulunmaktadır. Bu öneriler arasında Şaroğlu ve ark. tarafından önerilen Karlıova ile Türkoğlu arasında segmentasyon yaygın olarak kabul görmektedir. Fakat Türkoğlu'ndan sonra fayın uzanımı hakkında değişik fikirler ileri sürülmektedir (Yönlü, 2012). Fay zonunun segmentasyonu konusunda ileri sürülen farklı görüşler Çizelge 1.8'de verilmektedir.

Çizelge 1.8 Fay Zonunun Segmentasyonu konusunda ileri sürülen farklı görüşler

İleri sürülen görüş	Kaynak
Dafz 14 segmente ayırmıştır.	Barka ve Kadinsky-Cade (1988)
Dafz 3 segmente ayırmıştır.	Perinçek ve Çemen (1990)
Dafz 6 segmente ayırmıştır.	Şaroğlu ve ark. (1992)
Dafz 5 segmente ayırmıştır.	Hempton ve Dewey (1981); Muehlberger ve Gordon (1987); Westaway (1994)

Şaroğlu ve ark., (1992), Doğu Anadolu fayının doğrultusunda oluşan değişimlere veya fayın sıçrama gerçekleştirdiği bölgelerde söz konusu fayı kuzeyden güneye 45 km ile 145 km arasında değişen uzunlukta 6 segmente bölmüştür. Şekil 1.9'da Doğu Anadolu Fay zonunu segmentleri ve uzanımı gösterilmektedir.



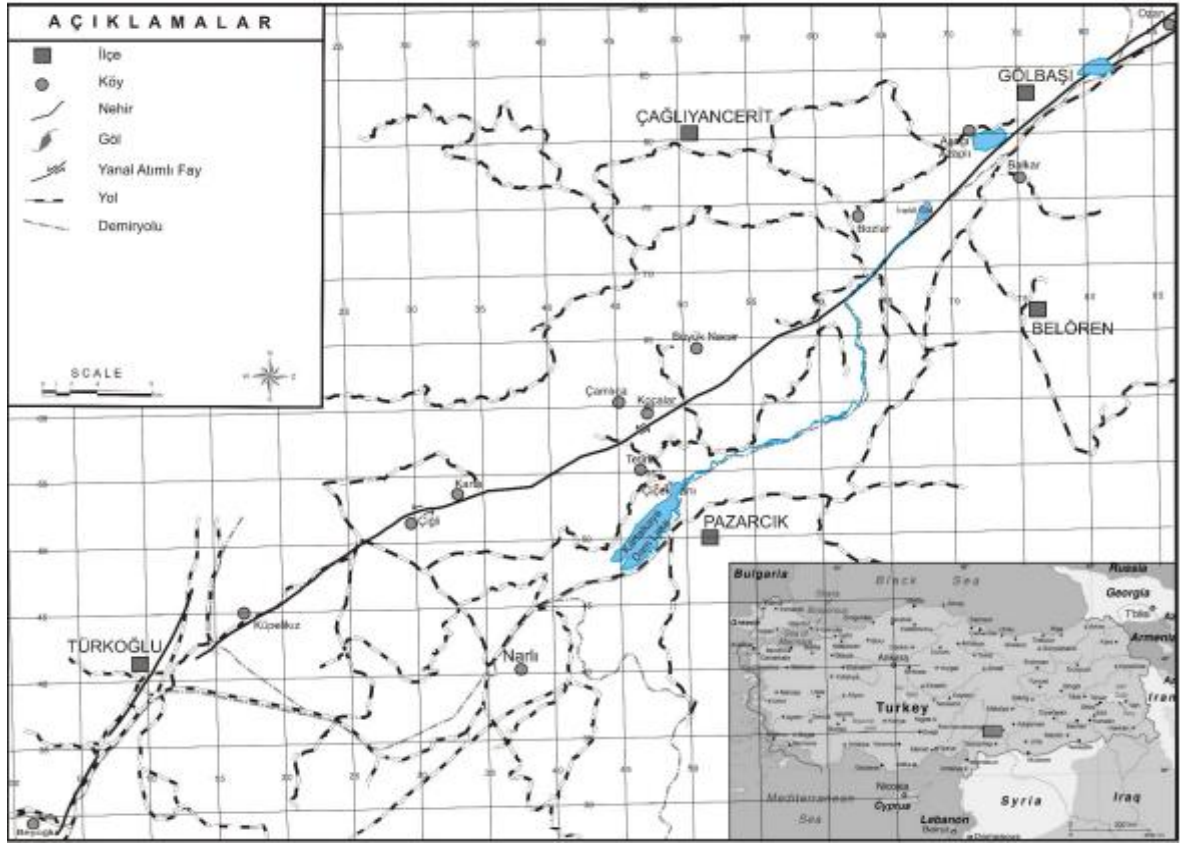
Şekil 1.9 Doğu Anadolu Fay Zonunun (DAFZ) segmentleri ve uzanımı haritası (Şaroğlu ve ark., 1992'den değiştirilmiştir)

DAFZ'nun Şaroğlu ve ark., (1992)'ye göre uzanımı ve segmentasyonu. 1)Karlıova-Bingöl segmenti, 2)Palu-Hazar Gölü segmenti, 3) Hazar Gölü-Sincik segmenti, 4) Çelikhan-Erkenek segmenti, 5)Gölbaşı-Türkoğlu segmenti, 6)Türkoğlu-Antakya segmenti' dir.

Şaroğlu ve ark. (1992) tarafından Karasu Fayı DAFZ'nun güneybatı ucu olarak kabul edilmektedir, ancak bu halen tartışmalı bir konudur. Özellikle, son yıllarda yapılan çalışmalar da, Karasu Fayı'nın ÖDFZ üzerindeki hareketi DAFZ'na aktaran bir fay olarak tanımlamaktadır (Karabacak, 2007; Karabacak ve ark., 2007, Karabacak ve ark., 2010). Aynı çalışmalar da Karasu Fayı düşey atım bileşenli sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak belirtilmektedir ve üzerinde 4 mm/yıl civarında kayma hızı olduğu önerilmektedir.

Gölbaşı-Türkoğlu segmenti

90 km uzunluğunda ve genel olarak K55D doğrultuludur. Genel olarak doğrultu atımın yanında sıkışma bileşeni de içermektedir. Pervari ve Karaağaç arasında fay çizgiseldir, Kartal Köyü kuzeydoğusundan itibaren kuzeye doğru bükülüm yapmaktadır. Şekil 1.10'da Gölbaşı ile Türkoğlu arasındaki fayın haritası gösterilmektedir.



Şekil 1.10 Gölbaşı ile Türkoğlu arasındaki fayın haritası (Bingöl, 2009)

1.12.1.2. DAFZ'nin deprem potansiyeli

Kuvaterner (1 milyon yıl)'den beri hareket etmiş veya hareket ettiği olası olan faylar diri olarak tanımlanmaktadır. Haritalanmış olan diri faylar üzerinde M:7 ve üzeri deprem olabilir iken, yakın çevresinde 5-6 büyüklüğünde depremler olabilir. M:4 ve daha küçük depremler ise ülkenin her yerinde meydana gelebilir. Ülkemizdeki Diri Fay haritasının doğru bir şekilde çizmek oldukça önemlidir.

Türkiye için yapılan bir genellemeye göre yıkıcı depremlerin büyüklükleri M:6 ve üzeri olanlardır. Meydana gelen depremlerin büyüklüğü ile tekrarlanma periyodu arasında ters bir orantı vardır. 5-6 büyüklüğündeki depremin tekrarlanma periyodu 10 yıl iken 7 den büyük bir depremin tekrarlanma periyodu 300-400 yıldır. Doğu Anadolu Fayının birçok bölümünde son yüzyılda M:6' dan büyük depremler olmamıştır. Bu nedenle, Doğu Anadolu Fayının bazı bölümlerinde 6'dan büyük yıkıcı depremler her an meydana gelebilir (MTA, 2021).

Tarihsel kayıtlar; KAFZ 'nin aktif olduğu yani deprem ürettiği dönemlerde, DAFZ'nin suskun yani deprem üretmediğini; DAFZ'nin aktif yani deprem ürettiği dönemlerde ise KAFZ'nin suskun yani deprem üretmediğini söylemektedir. Son yüzyıl

içerisinde KAFZ'nin 1939 Erzincan depreminden başlayarak 1999 Marmara depremine kadar bir hayli aktif olduğu ve birçok segmentinde kırılmalar yaşayarak önemli depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Netice olarak, bu durum, DAFZ'nin bir enerji birikmesi yaşadığını ve periyodik olarak KAFZ'nin suskunlaşmasına müteakip, DAFZ üzerinde büyük depremler serisinin meydana gelebileceği şeklinde bilim insanları tarafından yorumlanmaktadır.

1.12.1.3. DAFZ üzerinde tarihsel ve aletsel dönemdeki depremler

Tarihsel ve aletsel döneme ait Doğu Anadolu Fayı (DAF) üzerindeki deprem kayıtları incelendiğinde; Doğu Anadolu Fayı'nın oldukça aktif olduğu söylenebilir. Ancak son yüzyıl içerisinde ise bir deprem serisi henüz meydana gelmemiştir. DAFZ civarında MS 17- 1900 yılları arasında meydana gelmiş tarihsel depremler Çizelge 1.9'da verilmektedir (Ambraseys, 1989).

Aletsel döneme ilişkin kayıtlar 1900'lü yıllardan sonra Türkiye'de deprem istasyonlarının kurulması ile başlamış olsa da, modern olarak aletsel çalışmaların başlaması deprem istasyonlarının sayısının artması ile 1970'li yıllardan sonrayı bulmaktadır.

Çizelge 1.9 DAFZ civarında MS 17- 1900 yılları arasında meydana gelmiş tarihsel depremler (Ambraseys, 1989)

Sıra No	Tarih	Büyüklik (Ms)	Lokasyon
1	37	6 ila 7 arası	Antakya
2		6 ila 7 arası	D. Anadolu
3	4601		D. Anadolu
4	995	7 ila 7,8 arası	Palu
5	29/11/1114	7,8 den büyük	Maraş
6	1513	7,4	Tarsus-Malatya
7	22/03/1544	6,7	Zitun-Malatya
8	22/11/1685	6,7	Gönek
9	29/05/1789	7	Palu
10	13/08/1822	7,4	Afrin
11	02/03/1893	7,1	Malatya

Tarihsel ve aletsel dönemlerde Doğu Anadolu Fay zonu üzerinde meydana gelmiş olan depremler incelendiğinde; Kahramanmaraş ve yakın çevresinde meydana gelmiş ve birinci dereceden etkilemiş olan 1114 ve 1513'te yaşanan iki büyük deprem olduğu görülmektedir. Büyüklüğü 7' den büyük olan bu depremlerin tekrarlanma periyodunun 300 ila 400 yıl olduğu ve Doğu Anadolu Fay Zonunun Gölbaşı-Türkoğlu segmentinin uzun

süreden beri sükunluğu, Kahramanmaraş ve yakın çevresinde bir büyük deprem olabileceğini düşünmektedir (Yönlü, 2012).

Son yüzyılda fay zonu üzerinde büyüklüğü 5 ve üzerinde çok sayıda deprem kaydedilmiştir. Fay zonu üzerinde ve çevresinde meydana gelmiş bazı depremlerin yerleri ve parametreleri aşağıdaki Çizelge 1.10’da verilmektedir.

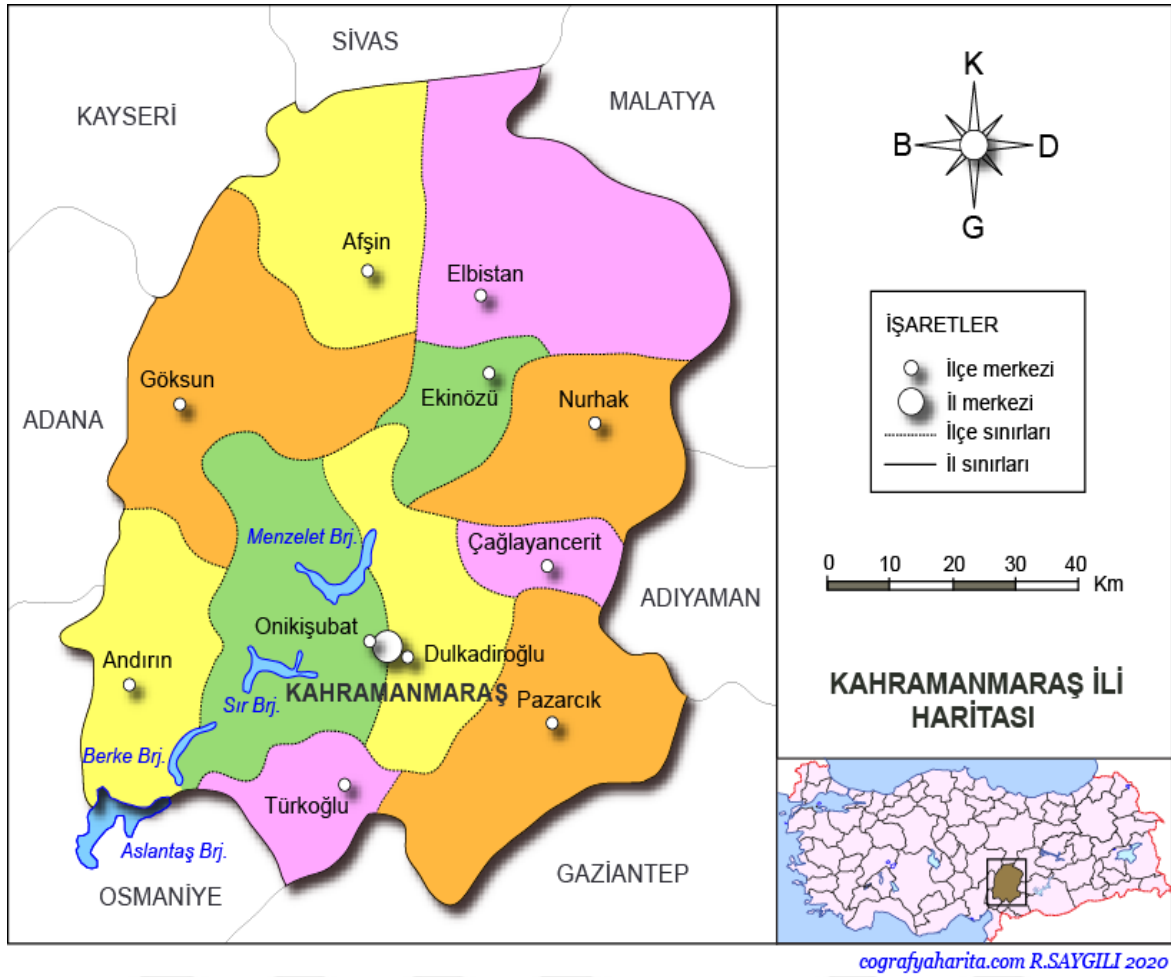
Çizelge 1.10 DAFZ üzerinde ve çevresinde son yüzyılda meydana gelmiş depremler

Sıra No	Tarih	Büyüklük	Lokasyon
1	12/04/1905	6,8Ms	Pütürge-Malatya
2	21/11/1939	5,9Ms	Tercan-Erzincan
3	26/12/1939	7,9Ms	Erzincan
4	11/12/1941	5,9Ms	Erzincan
5	20/03/1945	6,0Ms	Ceyhan-Adana
6	17/08/1949	7,0Ms	Karlıova-Bingöl
7	04/08/1951	5,7Ms	İskenderun-Hatay
8	22/10/1952	5,5Ms	Misis-Adana
9	07/07/1957	5,1Ms	Başköy-Erzincan
10	14/07/1964	6 Ms	Malatya
11	22/05/1971	6,8Ms	Bingöl
12	05/05/1986	5,8Ms	Doğanşehir(Malatya)
13	06/06/1986	5,6Ms	Doğanşehir(Malatya)
14	13/03/1992	6,8Ms	Erzincan-Tunceli
15	27/06/1998	5,9Ms	Ceyhan-Adana
16	01/05/2003	6,1Ms	Bingöl-Merkez
17	27/01/2003	5,8Ms	Pülümür(Tunceli)
18	01/05/2003	6,4Ms	Bingöl
19	08/03/2010	6,0Ms	Elazığ-Karakoçan
20	24/01/2020	6,8Mw	Elazığ-Sivrice
21	14/06/2020	5,9Mw	Kaynarpınar-Karlıova
22	04/08/2020	5,7Mw	Malatya Pütürge
23	27/12/2020	5,5Mw	Malatya Kavakdere

Ms: Yüzey dalgası büyüklüğü, **Mw:** Moment Büyüklüğü

1.13. Kahramanmaraş İli Konumu, Toprak ve Jeolojik Yapısı Hakkında Bilgiler

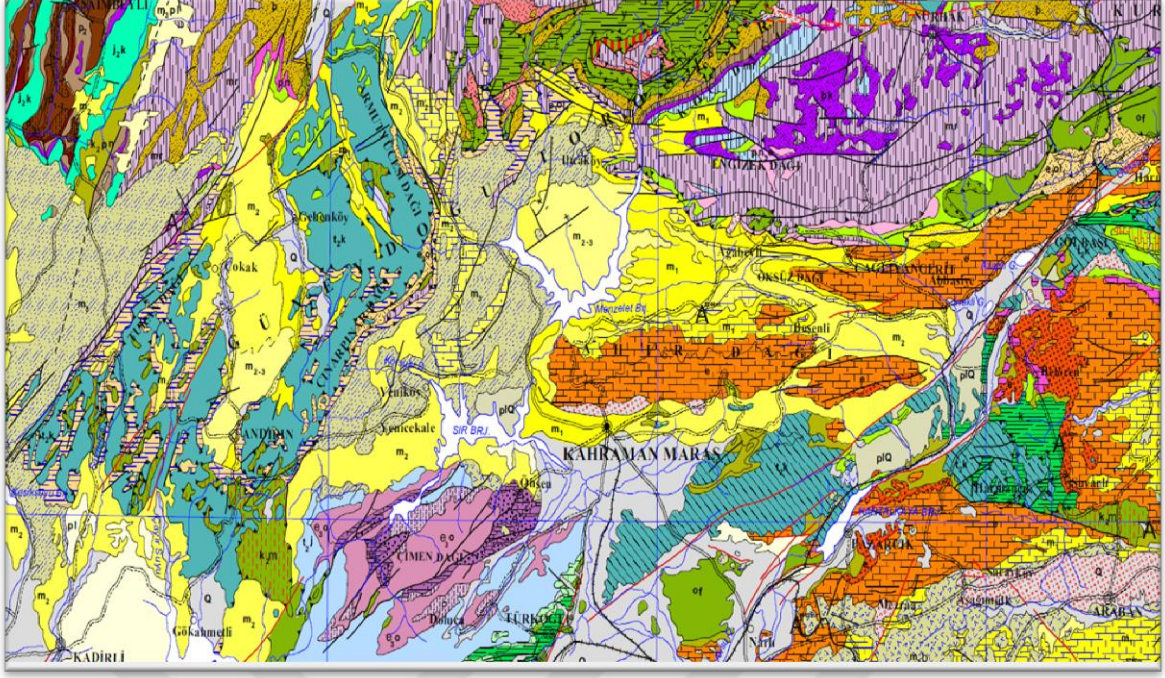
Kahramanmaraş, sahip olduğu 14,346 km²'lik yüz ölçümü ile Türkiye’nin 11. büyük vilayettir. 2020 yılı TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) rakamlarına göre 1.168.163 nüfusu ile Türkiye’nin 18. büyük vilayeti durumundadır. Kahramanmaraş 2012 yılında Büyükşehir unvanı almıştır. Arazi yüksekliği 350 metreden 3000 metreye kadar çıkmaktadır. Şehir merkezi, deniz seviyesinden 568 m yüksekliktedir. İlin kuzey kesimleri oldukça dağlıktır. Şekil 1.11’de Kahramanmaraş İli haritası gösterilmektedir.



Şekil 1.11 Kahramanmaraş ili haritası (URL~11)

Şekil 1.11 incelendiğinde, Kahramanmaraş'ın üç bölge içerisindeki iller ile komşu olan bir konumu vardır. Şehrin merkezi Akdeniz bölgesi içerisinde ve şehrin kuzey batı kısmının Akdeniz bölgesinde yer alan Adana ve Osmaniye illerine komşu olduğunu, şehrin kuzey doğu ilçeleri olan Elbistan ve Nurhak'ın Doğu Anadolu bölgesine çok yakın olduğunu ve diğer şehrin güney doğu bölümünde Pazarcık ve Çağlayancerit gibi ilçelerin ise Güneydoğu Anadolu bölgesine komşu olarak bulunduğu görülmektedir. Bu coğrafi konum özellikleri sebebiyle şehirde Akdeniz iklimi de karasal iklimde görülmektedir. Bozulmuş Akdeniz üç farklı iklim tipi görülmektedir (URL~12).

Bilindiği üzere, Doğu Anadolu Fay Zonu, Arabistan ve Anadolu levhalarının birbirlerine yaklaşmaları neticesinde oluşan ters fay zonu olup, Kahramanmaraş ve civarının büyük bir kısmının da bu zon içerisinde bulunması sebebiyle de bölgesel anlamda çok önemli ve kompleks bir jeolojik yapıya sahip bulunmaktadır. Şekil 1.12 de Kahramanmaraş ili ve yakın çevresinin jeoloji haritası verilmektedir (MTA, 2002).



Şekil 1.12 Kahramanmaraş ili ve yakın çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2002)

Şekil 1.12’de Kahramanmaraş ili ve yakın civarının jeolojik haritası, Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından yayımlanan Türkiye Jeoloji Harita Serisinin Hatay paftalı 1/500.000 ölçekli haritanın bir bölümüdür. Bu haritadaki bilgiler incelendiğinde, Doğu Anadolu Fayı’nın kontrolü ile oluşan alüvyonların doldurduğu Kahramanmaraş ovası ile Ahır Dağı güneyindeki Miyosen yaşlı birimler üzerine Kahramanmaraş kentinin kurulduğu görülmektedir. Amanoslar ve Arabistan levhasına ait kayaç grupları ile bunları tektonik olarak üzerleyen Karadut ve Koçalı Karmaşığı’na ait kayaç grupları kentin güney kesiminde yüzeylemektedir. Kentin güneybatısında yer alan Türkoğlu ilçesine kadar Amanoslar ve bu kütleyle ait uzantılar bulunmaktadır. Arabistan levhasına ait kayaç grupları ise Güneydoğuda bulunmaktadır.

Miyosen yaşlı birimler ile bunları tektonik olarak üzerleyen Esosen yaşlı birimlerden oluşan Ahır Dağı kentin kuzeyinde yer almaktadır. Kentin daha uzak kuzeyinde ise Engizek ve Nurhak asbirlüklerine ait litolojiler yer almaktadır.

Kentin yakın batısını ve doğusunu incelediğimizde, Miyosen ve Kuvaterner örtü altında Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler ile bunları tektonik olarak üzerleyen ofiyolit naplarına ait mostralar yakın batısında, Mesozoyik yaşlı neritik karbonatlar yakın doğusunda yüzeylemektedir.

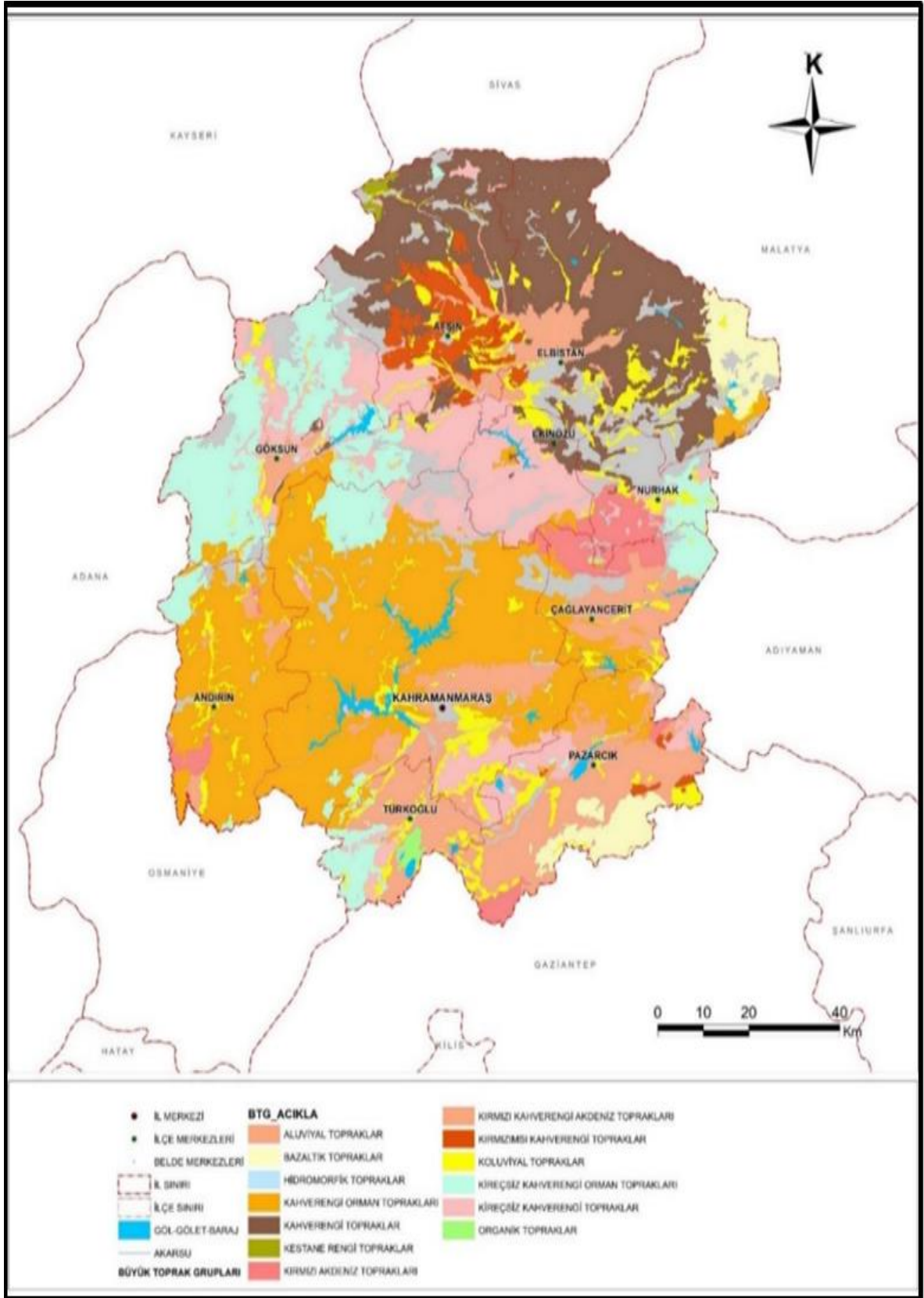
Kahramanmaraş ve civarını içeren bölgede, Üst Kretase'den başlayarak farklı dönemlerde sürekli olarak tekrarlanan birçok deformasyon evresi sebebiyle yukarıda söz edilen birimler arasındaki ilişkilerinde bazı değişimler olduğu bilinmektedir. Bu duruma örnek olarak Ahır Dağı bindirmesi olarak çok iyi bilinen kuşak boyunca Eosen yaşlı birimlerin Miyosen yaşlı birimler üzerine tektonik olarak yerleşmesi verilebilir. Bunun gibi büyük ölçekli tektonik olaylar Kahramanmaraş ve civarında, çok net ve detaylı olarak gözlenebilmektedir. Aynı zamanda, farklı dönemlerde süregelen birçok deformasyon evresi sebebiyle bölge oldukça karmaşık ve anlaşılması güç bir yapısal konum meydana gelmiştir. Yapısal konum içerisinde fay, bindirme, kıvrım, blok rotasyon ve doğrultu atımlı faylar ve ilişkili yapılardan oluşan çok önemli yapısal unsurlar bulunmaktadır. Doğu Anadolu Fayı bu yapılardan en önemlilerindendir (Bingöl, 2009).

Kahramanmaraş'ta farklı toprak tipleri vardır. Bunun sebebi ilin farklı ana materyal, iklim ve topografik şekilleri sebebiyledir. Eski toprak sınıflandırma sistemine göre 13 büyük toprak grubu Kahramanmaraş ve ilçelerinde bulunmaktadır. Bunlar; kırmızı Akdeniz toprakları, kırmızı kahverengi Akdeniz toprakları, aluviyal topraklar, bazaltik topraklar, Kestane rengi topraklar, kireçsiz kahverengi orman topraklar, kireçsiz kahverengi topraklar, koluvial topraklar, kahverengi topraklar, kırmızı kahverengi topraklar, kahverengi orman toprakları, hidromorfik ve organik topraklar olarak sıralanabilir. Kahramanmaraş ve ilçelerinin toprak dağılımı Çizelge 1.11'de, Kahramanmaraş ili toprak dağılımı haritası ise, Şekil 1.13'de verilmiştir (Kara, 2019).

Çizelge 1.11 Kahramanmaraş ve ilçelerin toprak dağılımı (ÇED, 2013)

Toprak Grupları	Alan (Ha)	Yüzdesi (%)
Aluviyal Topraklar	73018,05	5,62
Bazaltik Topraklar	42663,57	3,28
Hidromorfik Topraklar	151,17	0,001
Kahverengi Orman Toprakları	363746,50	27,99
Kahverengi Topraklar	213690,30	16,44
Kestane Rengi Topraklar	2792,10	0,21
Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklar	148091,30	11,40
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	154025,30	11,85
Kırmızı Akdeniz Toprakları	40857,15	3,14
Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları	125577,80	9,66
Kırmızımsı Kahverengi Topraklar	39977,72	3,08
Koluvial Topraklar	91943,81	7,08
Organik Topraklar	3013,44	0,23
Toplam	1299548	100

Çizelge 1.11 ve Şekil 1.13 birlikte incelendiğinde, şehrin merkezinin kuzey kısmı ile batısında ve Göksun'a kadar olmak üzere il arazisinin % 27,99'luk büyük bir kısmının kahverengi orman topraklarından oluştuğu görülmektedir. Şehrin kuzeyinde yer alan Malatya, Sivas ve Kayseri'ye komşu olan Elbistan ve Afşin çevrelerinin ise, kahverengi topraklardan oluştuğu görülmektedir. Bu toprakların toplam arazi içerisindeki oranı ise, % 16,44'dür. Şehrin yoğun yağış alan bölgeleri ise, % 11,85' i kireçsiz kahverengi topraklardan ve % 11,40'ı kireçsiz kahverengi orman topraklarından oluşmaktadır. Kırmızı kahverengi topraklar genellikle Afşin ve çevresinde bulunmaktadır. %7,08 orana sahip koluvial toprakları şehrin birçok bölgesinde rastlanabilir. % 0,21'lik orana sahip kestane rengi topraklara Afşin'le Kayseri'nin sınırında görülebilir. %3,28 orana sahip bazaltik topraklara Elbistan ile Malatya sınırında karşılaşmak mümkündür. Ovaların bulunduğu yerlerde özellikle büyük Kahramanmaraş, Türkoğlu, Narlı ve Elbistan ovalarında aluvial toprakları bulunmakta olup diğer yerlerinde de bu toprak gruplarına azda olsa rastlamak mümkündür. En az bulunan toprak grupları ise hidromorfik topraklardır. (ÇED, 2006, 2013).



Şekil 1.13 Kahramanmaraş ili toprak dağılımı haritası (ÇED, 2006)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Depremi önceden tahmine yönelik radon gazı değişimleri ile deprem arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalardan birisi King tarafından yapılan çalışmadır, bu çalışmada Kaliforniya'nın merkezinde bulunan San Andreas fayındaki aktif bölümü üzerinde yeraltı radon yayılımı izlenmesi neticesinde yer altı radon gazı yayılımındaki büyük geçici değişkenliklerin yerel sismik faaliyetlerle ilişkili olduğu görülmüştür (King, 1978).

Bu incelemeye benzer bir başka çalışma ise Igarashi ve ark. tarafından Japonyada yapılan çalışmadır, 17 Ocak 1995 tarihinde Kobe depreminden bir süre önce yeraltı sularında ölçülen radon konsantrasyon değerlerinde artış gözlemlendiği ve deprem sonrasında tekrardan başlangıç seviyesine gerilediği vurgulanmıştır (Igarashi ve ark. 1995).

Benzer bir çalışmada, Wakita ve arkadaşları tarafından yapılan 1998 yılındaki çalışmadır, bazen depremle birlikte radon değişimleri görülebildiği ve bu değişimlerin depremin büyüklüğü ile ilişkilendirilebileceği ve tıpkı Haichheng depreminden önce nasıl doğru tahmin yürütüldüyse devamlı olarak radonu izleyerek doğru tahminlere ulaşılabileceği bildirilmiştir. Bunlarla birlikte, yine bu çalışmada radon değişimlerinin atmosferik parametrelere de bağlı olduğu da söylenmektedir. (Wakita ve ark. 1998).

Yine bir başka çalışmada, 1997 yılında yapılarak 1999 yılında makalesi yazılan çalışmadır. Singh ve ark. tarafından Kuzey Hindistan'da yapılmıştır. Bu çalışmada yer altı kuyu sularındaki radon gazı aktiviteleri, kuyu sularının derinliği ve sıcaklığı günlük olarak izlenmiştir. 1997 yılı içerisinde Hindistan da Sunder Nagar ve Himachal Pradesh de temmuz ve ağustos aylarında meydana gelen 5.2 ve 3.2 büyüklüğündeki depremler öncesinde ve yine aynı yılın kasım ayı içerisinde meydana gelen 5.4 büyüklüğündeki deprem öncesinde radon anomalileri ve su derinliklerinde değişimler gözlemlendiği, suyun sıcaklığı ile deprem arasında bir korelasyon görülmediği bildirilmiştir. (Singh ve ark. 1999).

Benzer başka bir çalışmada da LR-115 nükleer iz filmleri ile topraktaki radon konsantrasyonu ölçümleri yapılmıştır. Zamansal radon değişimlerinin yanı sıra barometrik basınç, yağış ve sıcaklık iki yıl boyunca ölçülmüştür. Topraktaki radon konsantrasyonu ile barometrik basınç arasında negatif korelasyon bulunmuştur. Gözlem süresi boyunca meydana gelen kayıtlı depremlerin bazıları için, depremlerden bir ay önce toprak radon anomalileri fark edilebildiği Planinic ve ark. tarafından raporlanmıştır.(Planinic ve ark. 2001).

Bir bölgedeki doğal radyoaktiviteyi belirlemek açısından Canbazoğlu tarafından yapılan Elazığ yöresinde doğal radyoaktivite tayini başlık Doktora tezinde, Elazığ yöresinin doğal radyoaktivite seviyesini tespit etmek amacıyla Elazığ'ın il ve ilçelerinden su, toprak, hava ve gıda örnekleri alınarak uygun algılama sistemleri ile toplam alfa ve toplam beta seviyeleri tespit edilmiştir. Aynı zamanda toplanılan gıda örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K , ^{137}Cs radyonüklid konsantrasyonları belirlenmiştir. Bunlara ilaveten havada gama doz ölçümleri ve CR-39 pasif iz dedektörleri kullanılarak bazı evlerin içlerinde radon konsantrasyon ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası belirlenen sınır değerleri ile mukayese edilmiştir (Canbazoğlu, 2004).

Baykara'ya ait Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay hatlarının kesişim bölgesindeki doğal radyoaktivite tayini başlıklı Doktora tezinde ise, Kuzey Anadolu Fay Sistemi ile Doğu Anadolu Fay Sisteminin kesişim bölgesi olan Bingöl-Karlıova ve çevresinin doğal radyoaktivite seviyesi belirlenmesi amacıyla; Bingöl-Karlıova ve çevresinden su ve toprak örnekleri uygun sayım sistemleri ile toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri tespit edilmiştir. Aynı zamanda, toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonları ve (Fe, Pb, Cu, K, Mn, Cr ve Zn) gibi ağır metal miktarları belirlenmiştir. Bunlara ilaveten, Karlıova ve çevresinde fay zone üzerinde belirlenen yerlere, toprak altına 30-40 cm kazılarak CR-39 pasif iz dedektörleri yerleştirilerek topraktaki radon gazı konsantrasyonu ve havadaki karasal kaynaklı gama radyasyon dozu ölçülmüştür (Baykara, 2005).

Külahçıya ait Keban baraj gölü Uluova kesiminin doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi başlıklı Doktora tezinde de; Keban baraj gölü Uluova kesiminde 250 km^2 'lık bir alanda toplam 59 istasyondan su ve dip sediment örnekleri İlkbahar (Nisan-Mayıs) ve son bahar (Eylül-Ekim) dönemlerinde toplanmıştır. Toplanan su örneklerinin de toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri, Mg, Ca, K, Na, Zn elementleri ile toplam sertlik, elektriksel iletkenlik ve pH değişkenleri belirlenmiştir. Aynı zamanda toplanan dip sedimentlerin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyesi ile Fe, Mg, Ca, K, Na, Zn, Cu, Cr, Co, Ni, Mn elementlerinin miktarları tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten baraj göl havzasında yüzeysel gama radyasyonu ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Külahçı, 2005).

Bir başka Doğal radyoaktivite belirleme çalışması da Van'da Selçuk Zorer tarafından yapılarak doktora tezi olarak sunulmuştur. Bu çalışmada, su, toprak ve sedimentlerde ölçülen radyoaktivite değerlerinin mevsimsel kıyaslamaları ile su örneklerinin

radioaktivite değerleri ile ağır metal konsantrasyonları, pH değeri ve ayrıca iletkenlik ve sertlik parametreleri karşılaştırılmıştır (Selçuk Zorer, 2006).

Değerlier tarafından yapılan benzer bir doğal radioaktiviteyi belirlenme Doktora tezinde; Adana ili ve çevresinde yüzeye yakın atmosferde taşınabilir gama dedektörü ile 158 noktada gama ölçümleri yapılmış ve ölçüm alınan 36 değişik yerleşim biriminden alınan toprak örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktif serilerinin elemanlarının, ^{40}K radyoizotopunun ve ^{137}Cs radyoizotopunun konsantrasyonları tespit edilmiştir. Aynı zamanda, içme, deniz, göl ve nehir sularından alınan örneklerin toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, Adana ili şehir merkezinde her biri farklı malzemelerden yapılmış toplam 52 evde (Ocak – Şubat) iki ayda ve (Haziran-Temmuz) aylarında toplam 57 evde radon gazı konsantrasyonları ölçülerek bu ölçümlerden 43 ev seçilerek yaz ve kış aylarında ölçülen radon konsantrasyonlarının değerleri kıyaslanmıştır. Ayrıca, ölçümlerin tamamından elde edilen sonuçlar doğrultusunda efektif doz miktarları hesaplanmıştır (Değerlier, 2007).

Şahin tarafından yapılan Doktora tezinde de doğal radyoaktif belirlenmiş olup ayrıca radon değişimleri ile deprem ilişkisi de incelenmiştir. Bu çalışmada fay zone üzerinden alınan toprak ve su örneklerinin radyoaktivite miktarları ölçülerek mevsimsel olarak kıyaslanmıştır. Ayrıca radon gazı değişimleri ile deprem arasındaki ilişki incelenmiştir. Bunlara ilaveten Sivrice Fay Zonu üzerinde 10 noktada aylık çevresel gama ölçümleri yapılmıştır (Şahin, 2009).

Küçükönder tarafından yapılan Kahramanmaraş yöresinde doğal radyoaktivitenin tayini başlıklı Doktora tezinde; Kahramanmaraş il merkezinden toplamda 29 mahallede belirlenen noktalarda bina içi, bina dışı toprak ve asfalt zeminlerde, yerde ve yerden 1 m yükseklikte ölçümler yapılarak gama radyasyon doz hızı değerleri tespit edilmiştir. Aynı zamanda, Kahramanmaraş il merkezini içme suyu olarak besleyen iki su kaynağı ile, bu su kaynaklarının beslediğı su depolarındaki sularda ve bu depolar tarafından beslenen mahallelerdeki ev ve iş yerlerinden alınan su örneklerinde toplam alfa ve beta ile ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite seviyesi belirlenmiştir. Bunlara ilaveten, Kahramanmaraş il merkezinden toplanan 14 toprak örneklerinin, toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ile birlikte, içtikleri doğal radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarının belirlenmesi yapılarak toprak örneklerinin alındığı yerlerde yetişen toplam 41 tane meyve ve sebze gıda örneklerinde toplam alfa ve toplam beta ile ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite seviyeleri tespit edilmiştir (Küçükönder, 2009).

Bingöl tarafından yapılan çalışmada Doğu Anadolu Fayı'nın Gölbaşı-Türkoğlu ve Türkoğlu-Antakya segmentleri üzerinde topraktaki radon gazı değişimleri gözleyebilmek üç adet sürekli gözlem istasyonu kurulmuştur. Topraktaki radon gazı değişimlerinin gözlemlemek için Gölbaşı-Türkoğlu segmenti üzerinde kurulan istasyonlar sırasıyla, Çelik (Adıyaman), Çiğli köyü (Kahramanmaraş) ve Türkoğlu-Antakya segmentini karakterize eden üçüncü istasyon ise Beyoğlu (Kahramanmaraş)'dır. Bu istasyonlardan 15 dakikada bir topraktaki radon değeri ölçülmüştür. Bunlardan Çelik sürekli radon gözlem istasyonu 22.02.2007, Çiğli'deki istasyon 23.02.2007 ve Beyoğlu'ndaki istasyon ise 05.09.2007 tarihinde kurulmuş olup bu tarihlerden itibaren düzenli olarak topraktan sürekli radon gazı verileri alınabilmektedir. Aynı süreç içerisinde, istasyonların yakınlarında meydana gelen depremler kayıt altına alınmıştır.. Topraktan sürekli radon gazı ölçüm istasyonundan elde edilen veriler ışığında bölgedeki mevsimsel radon gazı değeri değişimlerine ilişkin olarak bir altlık oluşturulmuştur. Tez süresi boyunca büyüklükleri 3-4.2 arasında değişen ve kurulan istasyonlara yakın konumda olmaları nedeni ile bu istasyondaki değerleri etkileyebilecekleri düşünülen toplam 43 adet depremin meydana geldiği belirlenmiştir. Bölgede oluşan sarsıntıların küçük ölçekli depremler olmasına rağmen, bu depremlerin oluş zamanlarının, istasyonlardaki radon değerlerinde gözlenen çeşitli salınım ve sapmalarla büyük oranda uyumluluk gösterdiği saptanmıştır (Bingöl, 2009).

Papastefanou tarafından Kuzey Yunanistan'ın Langadas bölgesinde yapılan bir başka çalışmada ise, radon gazı ölçümü gerçekleştirilmiştir ve aynı zamanda bölgede meydana gelen meteorolojik değişimler gözlemlenmiştir. Bütün bunlar neticesinde, büyüklüğü 4 ve üzerinde olan depremler öncesinde ölçülen radon gazı aktivite miktarlarında ani artışlar meydana geldiği rapor edilmiştir (Papastefanou, 2010).

Çam tarafından yapılan Doktora tezinde; Kahramanmaraş ili sır Baraj göletinde toprak ve kayaç yapısına göre belirlenen ilkbaharda 6 ve sonbaharda 8 farklı istasyondan mevsimsel olarak Mayıs ve Ekim aylarında yüzey, orta ve tabandan su ve sediment örnekleri alınmıştır. Ayrıca Sır baraj göletini besleyen Aksu, Körsulu ve Ceyhan nehrinden de baraj göletine dökülen kısımlarından birer su numunesi ile sediment örnekleri alınmıştır. Bu alınan örneklerin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ve ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{90}Sr gibi bazı radyoizotopların radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Buna ilave olarak, alınan su ve dip sediment örneklerinde EDXRF ve ICP-OES cihazlarıyla Al, P, S, Cl, Ca, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Sr, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg ve Pb elementlerinin elemental analizi yapılmıştır (Çam, 2011).

Sandıkçıoğlu'na ait, Doktora tezi de; deprem ile radon arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalara bir örnektir. Bu çalışmada, Akşehir fay hattı üzerinde bulunan 15 farklı derin su kaynağından hafta aşırı periyotlarda toplam 27 kez numune alınmıştır. Alınan numunelerin radon konsantrasyonları AlphaGUARD PQ2000 PRO radon detektörü ile ölçülerek radon konsantrasyonu seviyelerinin deprem ile ilişkileri incelenmiştir. (Sandıkçıoğlu, 2011).

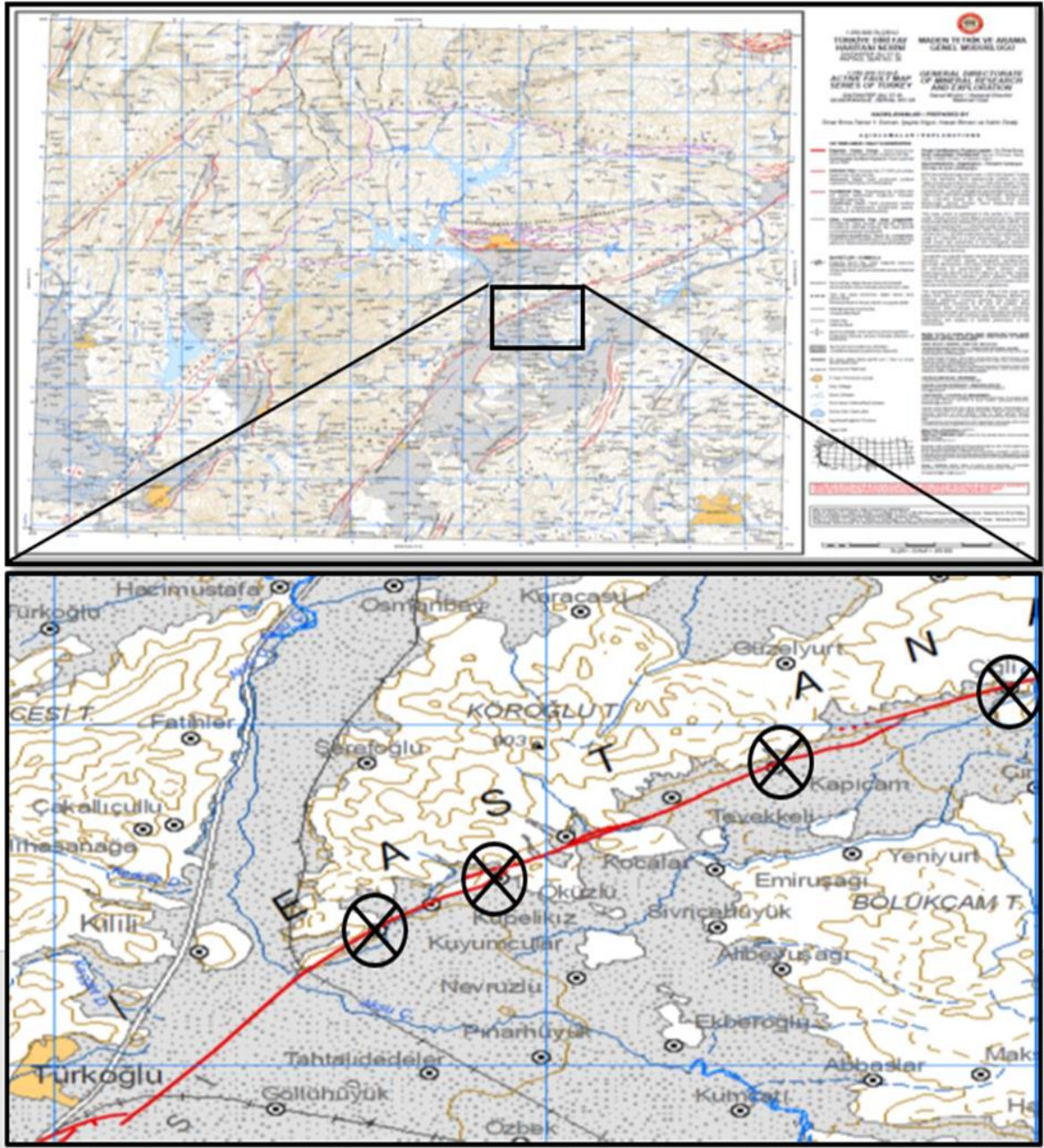
Aydın tarafından yapılan Adıyaman şehir merkezinin doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi başlıklı Doktora tezinde; Adıyaman şehir merkezinden 14 adet toprak, 25 adet su ve 65 adet bitki örnekleri toplanmıştır. Toplanan bu örneklerin doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Aynı zamanda, Adıyaman'da 27 mahallede belirlenen noktalarda bina içi-bina dışı toprak ve asfalt zeminlerde, yerde ve yerden 1 m yükseklikte ölçümler yapılarak gama doz hızı değerleri ölçülmüştür. Bunlara ilaveten Adıyaman şehir merkezinden çeşitli mahallelerden alınan 16 adet su örneğindeki ^{222}Rn gazı aktivite konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Bu ölçümler sonucunda elde edilen değerler ulusal ve uluslararası kurumlarca önerilen değerler ile karşılaştırılmıştır (Aydın, 2016).

Kulalı'ya ait Pamukkale jeotermal alanlarında radon konsantrasyonu ölçümü ve depremle ilişkisinin araştırılması başlıklı Doktora tezinde; Bölgede öncelikle havada suda ve toprakta AlphaGUARD PQ2000 PRO taşınabilir radon dedektörü kullanılarak radon gazı konsantrasyonları ve jeotermal sulara ait jeokimyasal parametreler belirlenmiştir. Aynı zamanda bölgeye ait toprak numuneleri alınarak gama spektrometrik yöntemle topraktaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak radon konsantrasyonlarındaki değişimlerin depremin habercisi olabileceği vurgulanmıştır (Kulalı, 2016).

Özseven tarafından yapılan Isparta – Eğirdir Gölü'nde doğal radyoaktivite tayini ve yaşam boyu kanser riski açısından değerlendirilmesi başlıklı Doktora tezinde; Eğirdir gölünden Haziran ve Kasım aylarında sediment ve su örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları ve ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlerde mevsimsel olarak kıyaslama yapılmıştır. Aynı zamanda Haziran ve Kasım aylarında ölçülen değerler ışığında uygun dönüşüm faktörleri kullanılarak bina içi ve dışı soğrulan doz hızı, etkin doz hızı ve bireyler arasında yaşam boyu kanser oluşturma risk değerleri hesaplanmıştır (Özseven, 2019).

3. MATERYAL ve METOT

Doğu Anadolu fay zoneu uzanımında bulunan Gölbaşı (Adıyaman) - Türkoğlu (Kahramanmaraş) segmenti üzerinden Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından yayımlanan Türkiye'nin Diri Fay Harita Serisinin Gaziantep (NJ 37-9) paftası, 38 seri numaralı ve 1/250.000 ölçekli haritadan 4 (dört) istasyon belirlenmiştir. Belirlenen 4 (dört) istasyon; Kuyumcular, Öksüzlü, Kapıçam ve Çiğli'dir. Bu istasyonların yer bulduru haritası Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 İstasyonların yer bulduru haritası (MTA, 2012)

Belirlenen bu dört istasyonla ilgili aşağıda bilgi verilmektedir.

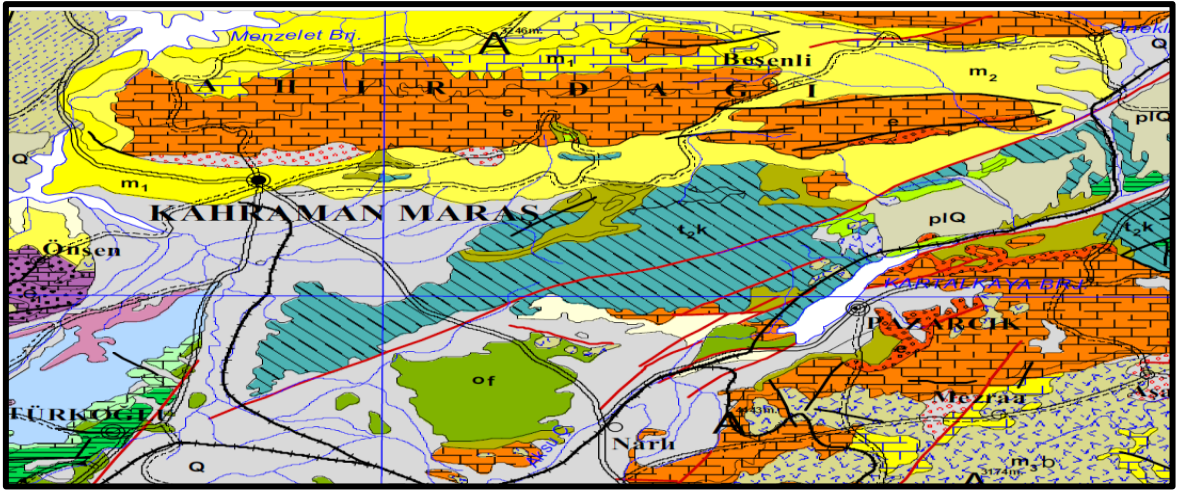
Kuyumcular: Kahramanmaraş ili Türkoğlu ilçesine bağlı bir köydür. Bağlı olduğu Türkoğlu ilçe merkezine 10 kilometre mesafe uzaklıktadır. Kahramanmaraş şehir merkezine mesafesi ise yaklaşık 17 kilometredir. 2020 yılı TÜİK rakamlarına göre nüfusu 304'dür. Akdeniz bölgesinde yer almaktadır. Google haritalarda 37.425054 enlem ve 36.926297 boylamda yer almaktadır (URL~13).

Öksüzlü: Kahramanmaraş ili Dulkadiroğlu ilçesine bağlı bir mahalledir. Kahramanmaraş il merkezine yaklaşık 15 kilometre mesafe uzaklıktadır. Akdeniz bölgesinde yer almaktadır. 2020 yılı TÜİK rakamlarına göre nüfusu 221'dir. Google haritalarda 37.438824 enlem ve 36.956005 boylamda yer almaktadır (URL~14).

Kapıçam: Kahramanmaraş ili Dulkadiroğlu ilçesine bağlı bir mahalledir. Kahramanmaraş şehir merkezine yaklaşık 14 km uzaklıktadır. Akdeniz bölgesinde yer almaktadır. 2020 yılı TÜİK rakamlarına göre nüfusu 323'dür. Google haritalarda 37.469926 enlem ve 37.016532 boylamda yer almaktadır (URL~15).

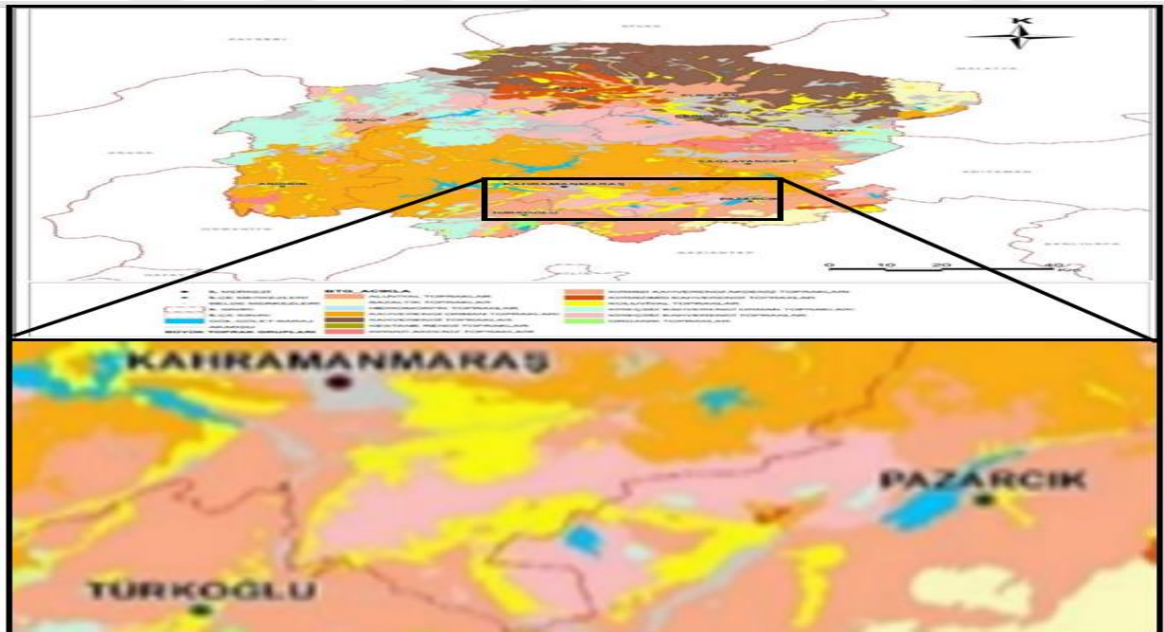
Çiğli: Kahramanmaraş ilinin Dulkadiroğlu ilçesine bağlı Kahramanmaraş - Gaziantep karayolu üzerinde kurulmuş bir mahalledir. Kahramanmaraş il merkezine 18 km mesafede olup 2020 yılı TÜİK rakamlarına göre nüfusu 494'dür. Akdeniz bölgesinde yer almaktadır Google haritalarda 37.490253 enlem ve 37.077316 boylamda yer almaktadır. (URL~16).

Belirlenen istasyonların bulunduğu bölgeye ait jeolojik yapısını, Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından yayımlanan Türkiye Jeoloji Harita Serisinin Hatay paftalı 1/500.000 ölçekli haritasından incelediğimizde, Kuvaterner dönemine ait ayrılmamış Kuvaterner ve Orta Triyas-Kretase dönemlerine ait pelajik kireç taşı, radyolarit, çorit, kırıntılar, volkanit vb. yer yer ofiyolit dilimler içeren sediment kayalardan oluştuğu görülmektedir. Şekil 3.2'de belirlenen istasyonların bulunduğu bölgeye ait jeolojik haritası verilmektedir.



Şekil 3.2 Belirlenen istasyonların bulunduğu bölgeye ait jeolojik haritası (MTA, 2002'den alınmıştır)

Belirlenen istasyonların bölgelerindeki toprak gruplarını 2006 yılı ÇED raporunda sunulmakta olan Kahramanmaraş ve ilçelerinin büyük toprak gruplarının haritada dağılımlarından incelediğimizde, çalışma bölgesindeki bulunan toprak gruplarının kırmızı kahverengi Akdeniz toprakları, kireçsiz kahverengi topraklar, alüviyal ve koluviyal topraklar olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3.3'te istasyon bölgelerinin toprak gruplarının haritadaki dağılımı gösterilmektedir (ÇED, 2006).



Şekil 3.3 İstasyon bölgelerinin toprak gruplarının haritası (ÇED, 2006'dan alınmıştır)

Belirlenen bu dört istasyon bilgilerinden anlaşılabileceği üzere, bu dört istasyon Kahramanmaraş il sınırları içerisinde ve şehir merkezine çok yakın, aynı zamanda yerleşim yerleri olmaları, ortak noktalarıdır. Her ne kadar tez çalışmamızın isminde Gölbaşı

(Adıyaman)-Türkoğlu (Kahramanmaraş) segmenti üzerinde doğal radyoaktivitenin belirlenmesi diye geçmiş olsa da, bu fay zone segmentinin tamamını kapsayacak bir çalışma değil, Kahramanmaraş şehir merkezine yakın olan bölümüyle alakalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde seçilmesinin sebebi ise; birinci olarak, bu fay zone üzerinde herhangi bir deprem olması durumunda Kahramanmaraş'a olan etkisi ile alakalı veriler elde etmektir. İkinci olarak, büyük bir yerleşime sahip Kahramanmaraş'a yakın yerlerin doğal radyoaktivitesini belirlemektir. Üçüncü olarak çalışma alanında yerleşim yeri olması özellikle seçilerek herhangi bir hava muhalefeti ile karşılaşılması durumunda çalışmanın aksamadan yapılabilmesi, her ne kadar dedektör taşınabilir olsa da pillerinin şarjlarının bitmesi ve elektrik ihtiyacının doğması ya da insani olarak birtakım ihtiyaçların doğması durumunda bu ihtiyaçların hızlı bir şekilde karşılanılabilecek olmasıdır.

Belirlenen bu dört istasyonlardan yaz ve kış mevsimlerinde toprak örnekleri alınmıştır. Bu numuneler vakit kaybetmeden sayıma hazır hale getirilip uygun algılama sistemleri ile toplam alfa, toplam beta ve radyonüklid değerleri ölçülmüştür. Bununla birlikte, belirlenen bu istasyonlarda (Aralık 2019–Kasım 2020) tarihleri arasında ayda 1 (bir) kez olmak üzere topraktaki radon aktivite konsantrasyonları ve söz konusu istasyon yakınlarındaki kuyu sularından aylık olarak alınan numunelerin radon aktivite konsantrasyonları Durrige Rad7 aktif radon dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Aynı zamanda topraktan radon gazı aktivite konsantrasyonlarının ölçüm tarihlerinde kandilli rasathanesindeki değerlerde kaydedilmiştir. Aylık olarak meydana gelen depremler ile radon aktivite konsantrasyonları arasındaki ilişki incelenmiştir.

3.1. Örneklerin Toplanması ve Sayım İçin Hazırlanması

Doğu Anadolu fay zone uzanımında bulunan Gölbaşı (Adıyaman)- Türkoğlu (Kahramanmaraş) segmenti üzerinde doğal radyoaktiviteyi tespit etmek amacıyla fay zone üzerinde belirlenen istasyonlardan alınan su örneklerinin radon aktivite konsantrasyonlarının ve toprak örneklerinin uygun algılama sistemleri ile radyoaktivite ölçümlerinin yapılmadan önce, bu örneklerin çeşitli ön işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Bu örneklerin toplanması ve yapılan ön işlemler aşağıdaki alt başlıklarda anlatılmaktadır.

3.1.1. Su örneklerinin toplanması ve sayılması

Su örnekleri; istasyon olarak belirlenen bölgelerde bulunan artezyen kuyularından 3-5 dakika akıttıldıktan sonra tek kullanımlık steril 1 L'lik polietilen şişelerle alınmıştır. Su örneklerinin alındığı şişeler etiketlenerek hangi istasyondan ve ne zaman alındığı yazılmıştır. Daha sonra sayım yapılmak için laboratuvara getirilmiştir. Su örneklerinin radon aktivite konsantrasyonları Durrige Rad7 dedektörü kullanılarak ölçülmüştür.

3.1.2. Toprak örneklerinin toplanması ve sayılması

Toprak örnekleri alınırken, numunelerin alınacağı alanda (seçilen istasyon alanında) gübreleme veya kireçleme yapıp-yapılmadığına, sap, kök, gibi yabancı otların yakılıp yakılmadığına dikkat edilmiştir. Tüm örnekler, numune toplama kriterlerine uygun olarak yaz ve kış mevsimlerinde alınmıştır. Bir istasyonda örnekler alınır iken sadece bir yerden değil istasyon içerisinde birkaç noktadan örnekler alınmıştır. Bu yerlerde toprak, bahçe küreği ile 20 cm kadar kazılarak öncelikle ot, odun gibi yabancı maddeler ayıklanıp sadece toprak örneği almaya özen gösterilmiştir. İstasyon içerisinden birden fazla yerlerde bu şekilde 1'er kürek örnek alınarak steril poşetler içerisine konularak etiketlenip laboratuvar ortamına getirilmiştir. Daha sonra laboratuvara getirilen toprak örnekleri her bir istasyon için toplanılan örnekler homojen şekilde karıştırılarak 10 gün süreyle poşetlerin üzerinde kuruyarak nem oranını azaltmak için serilerek oda sıcaklığında bırakılmıştır. Daha sonra, bu toprak örnekleri alüminyum folyolara sarılarak 105 derece sıcaklıktaki bir fırında kurutma işlemine devam edilmiştir. Burada buharlaşma ile kaybolan radyoaktivite miktarı hesaplamalara dâhil edilmemiştir. Çünkü ihmal edilebilecek düzeyde olduğu düşünülmüştür. Kurutulması tamamlanan örnekler toz haline getirilerek 100 mesh' lik bir eleklerde elenmiştir. Elenme işlemi biten toprak örnekleri, öz soğurmaya sebebiyet vermeyecek miktarda darası alınmış planşet içerisine homojen bir dağılım sergileyecek şekilde aktarılıp, üzerine örnek kaybını engellemeyecek miktarda saf su eklenerek elektrik ocağı üzerinde kuruması sağlanmıştır. Planşetlerdeki örnekler daha sonra 2 saat kadar 105 °C'deki bir fırında kurutma işlemine tabi tutularak sayıma kadar uygun bir ortamda muhafaza edilmiştir. Bu süreç sonunda uygun algılama sistemleri kullanılarak radyonüklid konsantrasyonları ile toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarının ölçümleri yapılmıştır.

3.2. Kullanılan Sayım Sistemleri ve Algılayıcılar

Bu çalışmada kullanılan uygun algılama sistemleri ve algılayıcılar şunlardır. Toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite ölçümleri için 7286 düşük seviyeli alfa sayıcısı, kullanılmıştır. Yine toprak örneklerinin toplam beta radyoaktivite ölçümleri için penceresiz sintilasyon sayacı kullanılmıştır. Toprak örneklerindeki Uranyum-238, Toryum-232 ve Potasyum-40 radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonunu ölçmek için ise gama hassas sintilasyon sayacı kullanılmıştır. Topraktaki ve su örneklerindeki radon gazı ölçümleri için ise DurrIDGE Rad7 dedektörü kullanılmıştır. Kullanılan sayım sistemleri, algılayıcılar ve DurrIDGE Rad7 dedektörü hakkında detaylı bilgiler aşağıda verilmektedir.

3.2.1 DurrIDGE Rad7 elektronik radon dedektörü algılayıcısı ve yapısı

Elektronik radon monitörlerinde şu anda kullanılan üç tip alfa parçacık dedektörü vardır. Bunlar; 1. Sintilasyon hücreleri veya "Lucas hücreleri" 2. İyon odaları 3. Katı hal alfa dedektörleri 'dir. Bu türlerin her birinin avantajları ve diğerlerine göre dezavantajlar vardır. Şekil 3.4' de genel bir görünümü verilen DurrIDGE Rad7, katı hal alfa iz dedektörü kullanan bir cihazdır. Katı hal iz dedektörü, alfa radyasyonunu doğrudan elektrik sinyallerine dönüştüren bir yarı iletken malzemedir. Bir katı hal cihazlarının önemli bir avantajı sağlamaktır. Diğer bir avantaj ise, her alfa parçacığının enerjisini elektronik olarak belirleyebilmesidir. Bu tam olarak hangi izotopun radyasyon ürettiğini söylemeyi mümkün kılmaktadır. Alfa spektrometresi olarak bilinen bu teknik, hızlı bir şekilde radon ölçümü yapmak veya örnekleme uygulamalarında bir avantaj sağlamaktadır.



Şekil 3. 4 DurrIDGE Rad7 radon dedektörünün genel görünümü (URL~18)

Durridge Rad7 cihazı, radon ve torunu ölçmekte kullanılan taşınabilir bir radyasyon detektörüdür. Cihaz; yerleşik bir hava pompası, şarj edilebilir piller ve çıkarılabilir bir kablolu yazıcı ile birlikte çalışmaktadır. Çizelge 3.1’de Durridge Rad7 dedektörüne ait fiziksel, fonksiyonel ve teknik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3. 1 Durridge Rad7 dedektörüne ait bazı fiziksel, fonksiyonel ve teknik özellikler (URL~17)

Cihazın boyutu	Boyutu:29,5cm, Eni:21,5cm ve Yerden yükseliği:27,9cm)
Cihazın ağırlığı	4,35 kg
Nakliye Boyutları	Boyutu:43 cm, Eni: 43 cm ve Yüksekliği:43 cm
Nakliye ağırlığı	15 kg
LCD Ekran Çıkışı	2 satır x 16 karakter alfa sayısal ekran
Kılıf malzemesi	Petrolde elde edilen yüksek yoğunluklu polietilendir. Son derece dayanıklı ve sağlamdır.
Pil ömrü	Monitor modunda 72 saat, Sniff modunda 24 saat
Çalışma Modları	• SNIFF: Hızlı tepki ve toparlanma radon ölçümü • NORMAL: Yüksek hassasiyetli radon ölçümü • AUTO: Üç saatlik çalışmadan sonra SNIFF'den NORMAL'e otomatik geçiş • THORON: Radon ve Toron aynı anda ve bağımsız olarak ölçülür • GRAB: Ayrı bir numuneden "yakalanan" havanın analizi • WAT: İsteğe bağlı RAD H₂O aksesuarı ile su numunelerinin otomatik analizi
Ölçümler	• Hızlı, nokta okuma için Sniff protokolü ile havada radon • Radon giriş noktalarını aramak için havada Thoron • Uzun süreli ölçüm için havada 1 günlük, 2 günlük veya haftalık protokol • İsteğe bağlı RAD H₂O ile toplu su numunelerinde radon ve Büyük Şişe Sistemi aksesuarları • Opsiyonel RAD AQUA ve Radon-in-Water Probe aksesuarlarıyla suda sürekli radon • Opsiyonel Toprak Gazı Probu ve DRYSTIK aksesuarları ile toprak gazında radon • İsteğe bağlı Yüzey Emisyon Odası aksesuarı ile topraktan ve sert yüzeylerden radon emisyonu • İsteğe bağlı Toplu Emisyon Odası aksesuarı ile dökme malzemelerden ve nesnelerden toplu radon emisyonu

Bu cihaza dâhil edilen aparatlarla (aksesuarlarla) birlikte hava, toprak gazı ve sulardaki radon ölçümleri uygun modlarla yapılabilir. Yapılan ölçüm sonuçlarını yeni (Bq/m^3) ve eski (pCi/L) aktivite birim cinsinden veren bir cihaz olup; aktivite miktarının yanında ölçüm yapılan ortamın sıcaklığını $^{\circ}\text{C}$ santigrat cinsinden, atmosfer basıncını (mbar) ve nem oranını (% RH) da belirlemektedir. DurrIDGE Rad7 cihazı her bir ölçüm sonucunda LCD ekranında bir ara rapor verir ve ölçüm işleminde bütün döngüler tamamlandıktan sonra bütün ölçümleri içeren grafiklerle beraber yazıcıdan ölçüm sonuçlarının çıktısını vermektedir (URL~17).

3.2.2. 7286 Düşük seviyeli alfa sayıcısı

Toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite ölçümleri için kullanılan bu sayım sistemi 3 bölümden oluşmaktadır. Bunlar; ilk olarak, gümüşle aktivite edilmiş 44 mm çapında ZnS katmanlı katı bir inorganik sintilatör ile 2.inci olarak, içerisinde genliği radyasyon enerjisiyle orantılı elektrik pulslarına dönüştüğü EMI 6097B markalı bir tür foto çoğaltıcı tüp ve son olarak, sayıcıdan meydana gelen bir sayım sistemidir. Birbirinden bağımsız 4 adet foto çoğaltıcı tüp sayıcı kısmına bağlanabilmektedir. Foto çoğaltıcı tüplerin her biri için kendine özgü ayarlanabilir yüksek voltaj kaynağı ve diskriminatör devresi mevcuttur. Söz konusu sayım sistemi çok zayıf temel radyasyon ölçümlerinde ve düşük sayım hızlı uygulamalarda kullanılmak üzere oluşturulmuştur. Bu sistemde örneklerin toplam alfa radyoaktivite ölçümleri için öncelikle kullanma kılavuzu temel alınarak kalibrasyonu yapıldıktan sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir (Littlemore Scientific Engineering (ELSEC, 1994a).

3.2.3. Penceresiz sintilasyon sayacı

Penceresiz sintilasyon sayacı, radyasyon enerjisinin ışık fotonuna dönüştüğü sintilatör ve bu fotonların çoğaltıldığı bir foto çoğaltıcı tüpten oluşmaktadır. Bu sayaç ile katı örneklerden zayıf enerjili beta radyasyonu ölçülebildiği gibi aynı şekilde alfa radyasyonu ölçümleri de yapılabilir. Bu sintilasyon sayacı oldukça verimli olup bunu sağlayan neden ise sintilatör ile örnek arasındaki mesafenin 1,6 mm'den daha küçük ve penceresiz olmasıdır. SR7, SR8 ve ST7 gibi uygun sayım donanımları ile penceresiz sintilasyon sayacı kullanılabilir. Örneklerin toplam beta radyoaktivite ölçümleri için öncelikle 2059 plastik sintilatöre sahip olan bu sistemin kalibrasyonu yapılmıştır. Daha sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir (NE Technology Limited, 1994b).

3.2.4. Gama hassas sintilasyon sayacı

Foto çoğaltıcı bir tüp ve NaI kuyu tipi bir sintilatörden oluşan gama radyasyonuna hassas bir sistemdir. NaI kuyu tipi sintilatörün boyutları 50,8 mm x 50,8 mm ‘den oluşmaktadır. Sintilatör ve foto çoğaltıcı tüp optik kontak şekilde monte edilerek kurşun blok içerisine konulmuştur. SR7 SR8 ST7 gibi uygun sayım sistemleri ile kullanılabilen sistem 1 MeV ile 1 keV arasında gama enerjisini algılayabilmektedir. Örneklerin sayımları yapılmadan önce kullanım kılavuzuna göre kalibrasyon işlemleri yapılmıştır.

3.3. Toprak Örneklerinin Aktivite Konsantrasyonları

3.3.1. Sayma hataları

Aşağıdaki (3.1) denklem ile standart sapma %95 güvenirlik seviyesinde verilir.

$$E_s = \pm 1,96 (N_s / t^s + N_b / t_b)^{1/2} \quad (3.1)$$

N: Örneğin veya temel saymanın sayma hızı cpm cinsinden,

t: Örnek veya temel saymanın dakika cinsinden numune sayma zamanı,

E_s: Net sayma hızının (cpm) %95 güvenirlik seviyesindeki hatasıdır.

Sayma hızlarının toplama ve çıkarılması hallerinde ise toplam veya farkın hatası ise aşağıdaki (3.2) denklem ile verilir,

$$E = \pm (E_a^2 + E_b^2)^{1/2} \quad (3.2)$$

Burada, E_a ve E_b toplanan veya çıkarılan değerlerin hatasıdır.

3.3.2. Verim Düzeltmeleri

Sayma hızını bozunumlara dönüştürmek için aşağıdaki (3.3) denklem kullanılır,

$$dpm = cpm / \text{verim} = cpm / G B T = cpm \times (VDF) \quad (3.3)$$

Burada;

G:Geometri için düzeltme faktörü,

B: Geri saçılma düzeltme faktörü,

T: Öz soğurma düzeltme faktörüdür.

1/GBT ise verim düzeltme faktörü olup kısaca VDF’dir.

Kalınlık, örneğin kütlesi ile etkin alana göre değişme gösterir ve denklem (3.4) ile ifade edilir,

$$\text{Kalınlık (mg/cm}^2\text{)} = (\text{Örneğin mg cinsinden kütlesi}) / (\text{Etkin alan}) \quad (3.4)$$

Alüminyum planşet üzerinde sayılan aktivite için verim düzeltme faktörü (3.5) denklemi ile verilir,

$$\text{VDF} = 1 / V \times (T) \quad (3.5)$$

Bu denklemdeki T'nin değeri, mg/cm² cinsinden kalınlığın fonksiyonu olarak daha önceden belirli standartlara göre çizilmiş U₃O₈ ve KCl için öz soğurma eğrilerden bulunur (Karahan, 1997; Tuncer, 1991). (3.5) denklemindeki V parametresi verimdir ve denklem (3.3) ile hesaplanır.

3.3.3. Toprak örneklerinin aktivite konsantrasyonlarının hesaplanması

Toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta ile Uranyum-238, Toryum-232 ve Potasyum-40 radyonüklidlerinin konsantrasyonları hesaplamak için aşağıdaki (3.6)'da ki denklem kullanılmıştır.

$$A = [(N_S \pm S_S) \times \text{VDF}] / 2,22 \quad (3.6)$$

Bu denklemde;

A: Aktivite miktarı olup birimi pCi cinsindendir,

N_S: Bir dakikada net sayım sayısıdır,

S_S: Standart sapma,

VDF: verim düzeltme faktörüdür (Karahan, 1997; Alkan, 1989; Doğru ve Canbazoglu, 2002; Canbazoglu ve ark., 2000; Doğru ve ark., 2002).

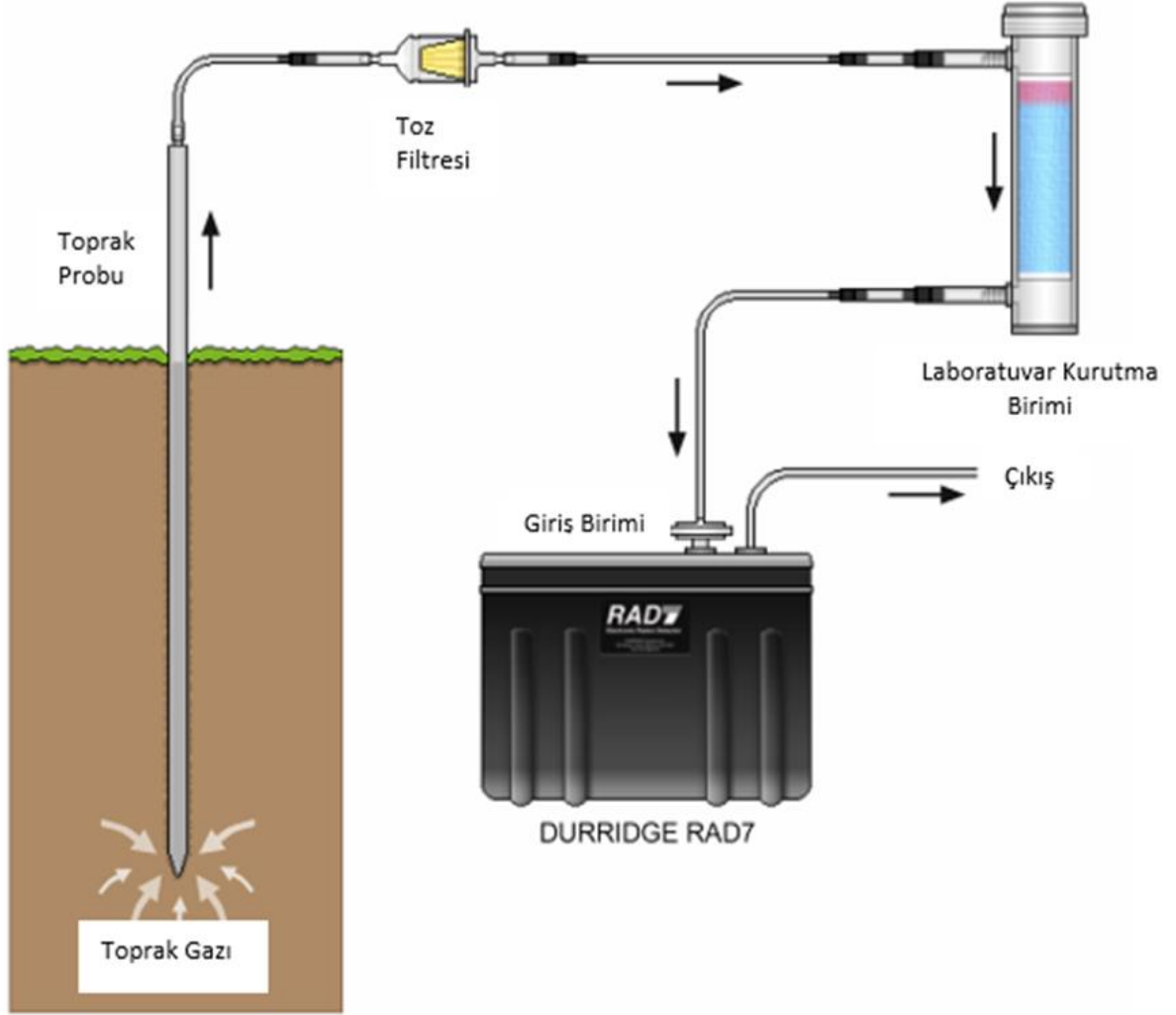
3.4. Radon Gazı Ölçümleri

3.4.1. Topraktaki radon gazı ölçümü

Kuyumcular, Öksüzlü, Kapıçam ve Çiğli'de belirlenen toplam 4(dört) istasyon üzerinde (Aralık 2019–Temmuz 2020) tarihleri arasında ayda 1 (bir) kez olmak üzere aylık olarak topraktan radon gazı aktivite ölçümleri radon ölçüm dedektörü DurrIDGE Rad7 kullanılarak yapılmıştır.

DurrIDGE Rad7 dedektörü ile topraktaki radon gazını ölçebilmek için detektöre toprak gazı Probu (sondası) aparatı montajlanmıştır. Çelik paslanmaz bu prob (sonda) toprağa 20 cm derinlikte çakılmıştır. DurrIDGE Rad7 dedektöründe GRAB protokolü modu seçilmiştir. Ölçümler 10 dakikada bir alınarak toplam 3 (üç) döngüde gerçekleştirilmiştir. Bu 3 (üç) döngünün ortalaması alınarak Bq/m³ cinsinden sonuçlar kaydedilmiştir. Aynı zamanda

topraktan radon gazı aktivite ölçümleri tarihlerinde, Boğaziçi Üniversitesi kandilli rasathanesinden belirlenen istasyon çevrelerindeki 10 km yarıçaplı alanlarda meydana gelmiş 1ML'den büyük depremlerin kayıtları alınmıştır. Şekil 3.5'te toprak gazı Probu (sondası) standart konfigürasyonu gösterilmektedir.

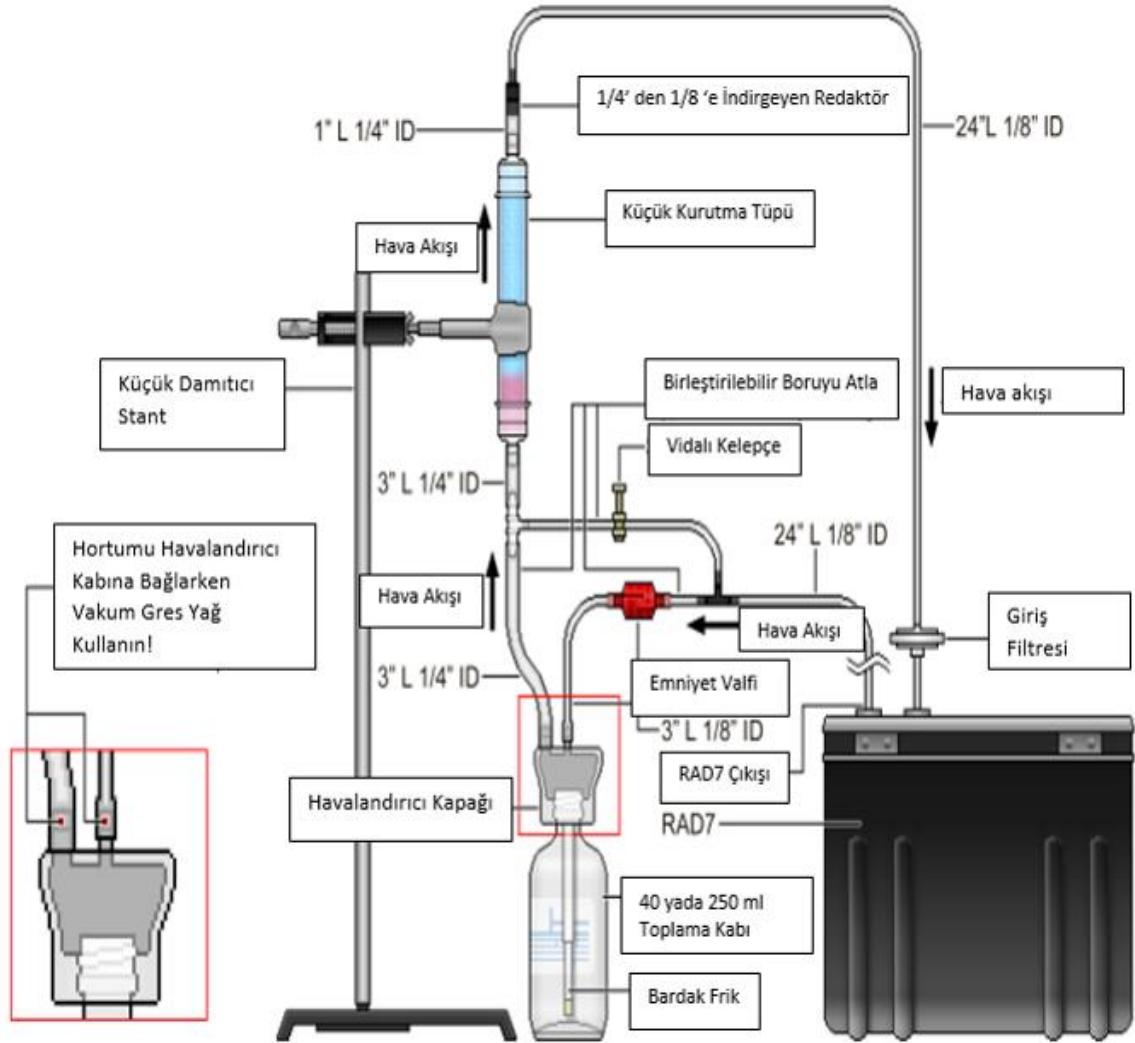


Şekil 3. 5 Toprak gazı probu (sondası) standart konfigürasyonu (URL~19)

3.4.2. Sulardaki radon gazı ölçümü

Belirlenen istasyonlarda bulunan kuyulardan toplanıp laboratuvar ortamına getirilerek sayıma hazır hale gelen su örneklerinin radon gazı ölçümleri için DurrIDGE Rad7 dedektörüne Rad H₂O aparatı montajlanmıştır. Bu montaj işleminden sonra DurrIDGE Rad7 dedektörü, Wat 40 protokol modunda, ölçüm sayısı 3 (üç) ve periyot süresi 10 dakika olarak aktivite birimi ise Bq/m³ olarak ayarlanmıştır. Bu ayarlama işleminden sonra 40 ml su, numune kabına konularak dedektör çalıştırılmıştır. Dedektör çalışmaya başladıktan kısa bir süre sonra numune kabı içerisindeki su köpürmeye başlamıştır ve böylece yüzde 94 den

fazla radonun sudan ayrışması sağlanarak 10. dakikada dedektör bir ara rapor verip 3 üç periyottan oluşan sayıma başlamıştır. Her 10 dakikada bir dedektör aktivite miktarı sonucunu hem led ekranında hem de bluetooht yoluyla ona bağlı yazıcıyla çıktı vererek bildirimde bulunmuştur. Başlangıçtan 40 dakika sonra bütün döngüler tamamlanmasıyla dedektör yine aynı şekilde son bir rapor vermektedir. Bu raporda, bütün periyotlardaki sayımlardaki sonuçları ve üç sayımın ortalama sonucunu vermektedir. Aynı zamanda, bir grafik ile sonuçları göstermektedir. Şekil 3.6'da Rad H₂O aparatı şematik diyagramı gösterilmektedir (URL~20).



Şekil 3. 6 Rad H₂O aksesuarı şematik gösterimi (URL~21)

3.5. İstatistikî Analizler

SPSS programı vasıtasıyla her bir istasyon ve çevresinde meydana gelen aylık deprem sayıları ile aylara göre topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite ölçüm sonuçlarının korelasyonu incelenmiştir. Bu incelemede; deprem ve radon gazı aktivite ölçüm verilerinin

30'un altında olması sebebiyle, non-parametrik testlerden olan spearman korelasyon testi uygulanmıştır. Korelasyon testi sonucunda +1 ile -1 arasında değişen bir korelasyon katsayısı sonucu bulunmaktadır. Burada sonuç mutlak değer anlamında 1'e ne kadar yaklaşırsa değişkenler arasında o kadar güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Sonucun pozitif olması iki değişken arasında biri artarken diğerinin de arttığını ya da biri azalırken diğerinin de azaldığını göstermektedir. Sonucun negatif olması ise biri artarken diğerinin azaldığını göstermektedir. Burada şunu belirtmek gerekir ki, korelasyon sonucu bir neden sonuç ilişkisini ifade etmemektedir. Korelasyon sadece değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Yani değişkenlerin birindeki artış ya da azalış diğerinin nedeniyle olmaktadır demek değildir. Burada bir başka ifade ise, p değeridir. İstatistiki olarak anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını ifade eden bir değerdir. Eğer ($p < 0,05$) p değeri 0,05'in altında bir değer ise iki değişken arasında anlamlı bir ilişki bulunduğu anlamına gelmektedir. (Can, 2018).

3.6. Kayıtlı Depremlerin Listesi

Bu çalışmada, belirlenen istasyonları çevreleyen 10 km yarıçaplı alanlarda, Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında, büyüklükleri $1 \leq ML \leq 9$ arasında olmak üzere meydana gelmiş kayıtlı depremlerin listesi Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi'nden temin edilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, çalışmanın amacı doğrultusunda, Doğu Anadolu fay zone uzanımında bulunan Gölbaşı (Adıyaman)-Türkoğlu (Kahramanmaraş) kesiminde belirlenen 4 istasyondan alınan toprak örneklerindeki radyoaktivite seviyeleri ile topraktaki ve kuyu sularındaki radon gazı aktivite miktarları ve değişimlerinin incelenmesi alt başlıklarda verilmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada bulunan değerlerin ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen değerler ve benzer çalışmalardaki değerler arasındaki karşılaştırılmalar da bu bölümde verilmektedir.

4.1.Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

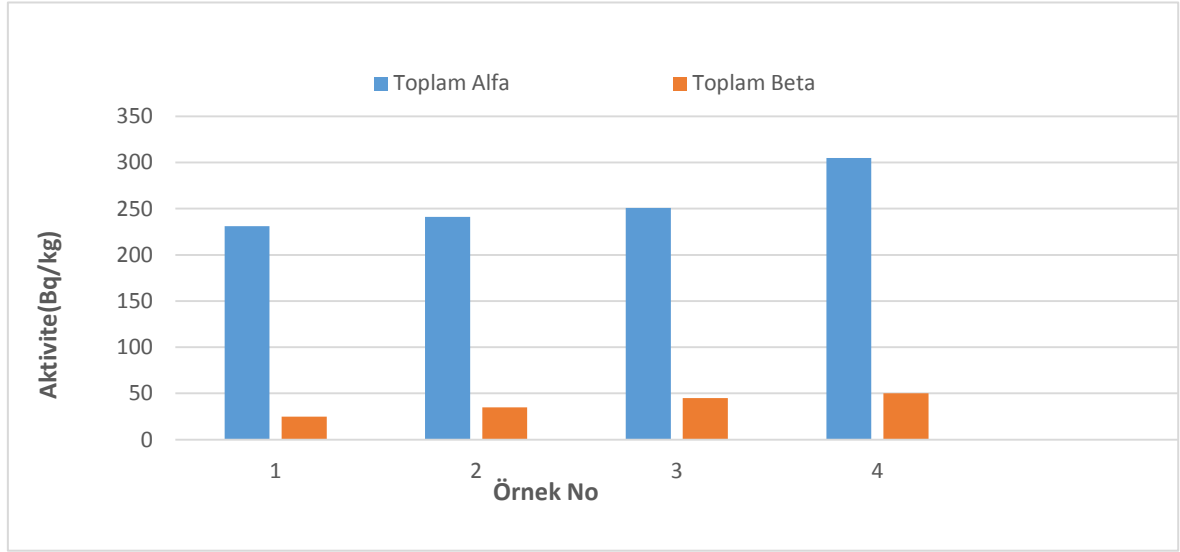
Bu bölümde, Doğu Anadolu fay zone uzanımında bulunan Gölbaşı (Adıyaman)-Türkoğlu (Kahramanmaraş) üzerinde belirlenen 4 (dört) istasyondan yaz ve kış mevsimlerinde 4 (dört)'er adet olmak üzere alınan toplam 8 (sekiz) adet toprak örneğinin, toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ile birlikte, içerdikleri doğal radyoaktif çekirdek konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu ölçümlerde ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktif serilerinin doğada en çok bulunan elemanlarının ve ^{40}K radyoizotopunun aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür.

4.1.1.Toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri

Doğu Anadolu fay zone uzanımında bulunan Gölbaşı (Adıyaman)-Türkoğlu (Kahramanmaraş) üzerinde belirlenen 4 (dört) istasyondan yaz ve kış mevsiminde 4 (dört)'er adet olmak üzere alınan toplam 8 (sekiz) adet toprak örneğinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri belirlenmiştir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1 de yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite miktarları verilmektedir. Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2 de ise kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite miktarları verilmektedir.

Çizelge 4.1 Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri

Örnek No	Örnek Alınan Yer	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/kg)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/kg)
1	Çiğli Mah.	231±16	25±3
2	Kapıçam Mah.	241±15	35±3
3	Öksüzlü Mah.	251±17	45±6
4	Kuyumcular Köyü	305±15	50±4

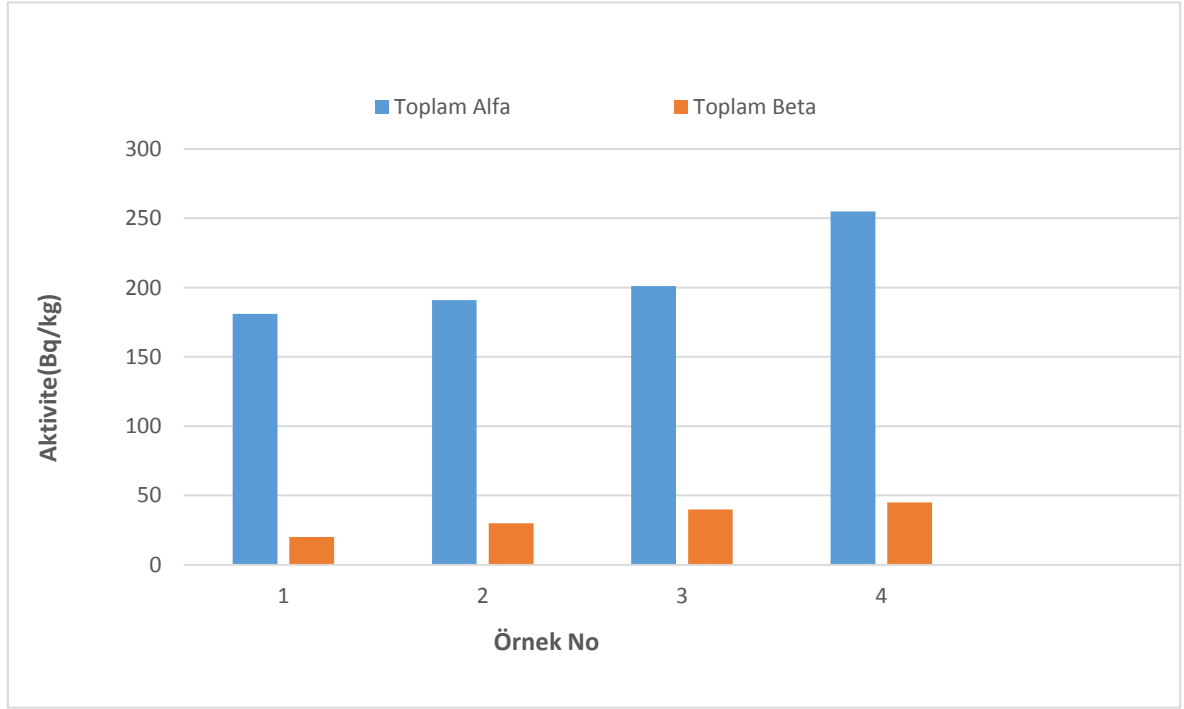


Şekil 4.1 Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri birlikte incelendiğinde; örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri 231±16 Bq/kg ile 305±15 Bq/kg değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise 25±3 Bq/kg ile 50±4 Bq/kg değerleri arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin 305±15 Bq/kg değeri ile Kuyumcular Köyü örneğinde, en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise 231±16 Bq/kg değeri ile Çiğli Mah. örneğinde ölçülmüştür. Bunların yanı sıra; en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi 50±4 Bq/kg değeri ile Kuyumcular köyü örneğinde, en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi ise 25±3 Bq/kg değeri ile Çiğli mahallesi örneğinde ölçülmüştür.

Çizelge 4.2 Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri

Örnek No	Örnek Alınan Yer	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/kg)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/kg)
1	Çiğli Mah.	181±15	20±3
2	Kapıçam Mah.	191±15	30±3
3	Öksüzlü Mah.	201±17	40±5
4	Kuyumcular Köyü	255±15	45±4



Şekil 4.2 Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2’de kış mevsiminde toprak örneklerinin, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri birlikte incelendiğinde, örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri 181±15 Bq/kg ile 255±15 Bq/kg değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise 20±3 Bq/kg ile 45±4 Bq/kg değerleri arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin 255±15 Bq/kg değeri ile Kuyumcular Köyü örneğinde, en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise 181±16 Bq/kg değeri ile Çiğli Mah. örneğinde olduğu görülmektedir. Bunların yanı sıra; en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi 45±4 Bq/kg değeri ile Kuyumcular köyü örneğinde, en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi ise 20±3 Bq/kg değeri ile Çiğli mahallesi örneğinde olduğu görülmektedir.

Toprağın içermiş olduğu radyonüklidlerin konsantrasyonu; bölgenin hava koşullarına, topraktaki çökeltme miktarına, toprağın filtreleme emilme özeliğine göre, yer altı suyunun hareketi sonucu meydana gelen çökelmeler, gözenekler sebebiyle, diğer maddeler ile sulanma, mevsimsel olarak toprağın kuruyarak yüksek derecede çatlaklık, kırıklık oluşması gibi etkenler sebebiyle değişkenlik gösterebilir. Hatta tarımda topraktaki verimi artırmak için kullanılan suni tohumlama ve Fosfatlı (^{32}P) radyoaktif element içeren gübreleme yaparak gübrelerin hammaddesine ve üretim şartlarına bağlı şekilde toprağın yüzeyindeki radyoaktivitesini artırmaktadır (Niewiadomski ve ark, 1982). Bununla birlikte, toprak yapılarının ve toprağı oluşturan kayaç yapılarının farklı olması da toprağın radyoaktivitesini değiştirir unsurlardandır. Bu sebeple, çalışma alanının jeolojik yapısı ve toprak yapıları hakkında aşağıda bilgi verilmektedir.

Belirlenen istasyonların bulunduğu bölgeye ait jeolojik yapısını, Şekil 3.2’de ki haritadan incelendiğinde, Kuvaterner dönemine ait ayrılmamış Kuvaterner ve Orta Triyas-Kretase dönemlerine ait pelajik kireç taşı, radyolarit, çörit, kırıntılar, volkanit vb. yer yer ofiyolit dilimler içeren sediment kayalardan oluştuğu görülmektedir.

Belirlenen istasyonlarda toprak yapısını Şekil 3.3’te ki haritadan yararlanılarak incelendiğinde;

1. Çiğli Mahallesinin toprak yapısının Kırmızı kahverengi Akdeniz toprağı
2. Kapıçam mahallesinin toprak yapısının Koluviyal toprak, Kırmızı kahverengi Akdeniz toprağı ve kahverengi orman topraklarının karşımı
3. Öksüzler mahallesinde Koluviyal toprak ve kırmızı kahverengi Akdeniz toprağı
4. Kuyumcular köyü koluviyal, Aluviyal ve kırmızı kahverengi Akdeniz toprağı olduğu anlaşılmaktadır. Bu topraklar hakkında genel bilgiler aşağıda verilmektedir.

Kahverengi orman toprakları; içeriğı kireççe zengin kil taşları, mikaşistler ve gnaistan oluşur, potasyumca zengindir.

Aluviyal toprakları; kil ve taşındığı format içeriklidir, fosfor ve potasyumca zengindir.

Kırmızı kahverengi Akdeniz toprakları; içeriğı granit, muhtelif metamorfikler, kil taşı, kum taşı, kireç taşı ve konglomeradan oluşmaktadır.

Koluvyal topraklar; kireç taşı alanından yıkanmış kil içerikli bir topraktır ve potasyumca zengindir.

Çizelgeler 4.1 ve 4.2'den ve Şekiller 4.1 ve 4.2'den örneklerin tamamı birbirleri ile karşılaştırıldığında, 1 numaralı örnek Çiğli Mah., 2 numaralı örnek Kapıçam Mah. ve 3 numaralı örnek Öksüzlü Mahallelerinden alınan toprak örneklerinin radyoaktivite seviyeleri birbirlerine çok yakındır. 4 numaralı örnek olan Kuyumcular köyü toprak örneğinin radyoaktivite seviyesi diğer üçünden çok fazla olmasa da biraz farklı ve diğerlerinden yüksektir. Bütün örneklerdeki toplam alfa değerleri toplam beta değerlerinde yüksektir. İstasyonların fay hattı üzerinde olması sebebiyle ve bölgenin jeolojik durumu birlikte değerlendirildiğinde, toplam alfa radyoaktivitesinin yüksek olması beklenen bir durumdur. Çünkü çalışma alanı jeolojik yapısı Kuvaterner dönemine ait ayrılmamış Kuvaterner ve Orta Triyas-Kretase dönemlerine ait pelajik kireç taşı, radyolarit, çörit, kırıntılar, volkanit vb. yer yer ofiyolit dilimler içeren sediment kayalardan oluşmaktadır. Bu kayaç türleri alfa parçacıklarını absorbe özelliğine sahiptir (Şahin, 2009). Mevsimsel olarak toprak örneklerinin radyoaktivite değerleri incelendiğinde; yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin radyoaktivite seviyeleri, kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin radyoaktivite seviyelerinden daha yüksektir. Bunun sebebi; kışın yağış ile birlikte toprağın suya doyması ve topraktaki kireç oranının azalması olabilir.

Küçükönder tarafından yapılan benzer çalışmada (Küçükönder, 2009); Kahramanmaraş il merkezi toprak örneklerinin, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri incelendiğinde, örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri, $0,063 \pm 0,059$ Bq/kg ile $0,453 \pm 0,061$ Bq/kg değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise, $0,136 \pm 0,035$ Bq/kg ile $0,950 \pm 0,072$ Bq/kg değerleri arasında değişmektedir. Bu değerleri çalışmamızla karşılaştırdığımızda; çalışmamızda ölçülen toplam alfa ve toplam beta değerleri çok daha yüksektir. Bunun nedeni, çalışma bölgemiz ana faydan oluşan tektonik bir bölge olması ve böylelikle fay zonlarındaki ana kayalardaki çatlaklar yardımıyla uranyum ve toryumun yeryüzüne taşınması daha da kolaylaştırır ve bu da toplam alfa ve beta radyoaktivite değerlerinin yüksek olmasına sebep olabilir.

Şahin tarafından yapılan bir başka benzer çalışmada Sivrice Fay zonu üzerinde yapılmıştır (Şahin, 2009). Bu çalışmada da yaz ve kış mevsimlerinde topraktaki toplam alfa ve toplam beta değerleri tespit edilmiştir. Kış mevsiminde topraklarda ölçülen toplam alfa radyoaktivite değerlerinin 103 Bq/kg ile 412 Bq/kg arasında değiştiği, ölçülen toplam beta radyoaktivite miktarlarının ise 49 Bq/kg ile 353 Bq/kg arasında değiştiği

bildirilmektedir. Yaz mevsimindeki topraklarda ölçülen toplam alfa radyoaktivite miktarı ise, 64 Bq/kg ile 315 Bq/kg ve ölçülen toplam beta radyoaktivite miktarı ise, 35 Bq/kg ile 137 Bq/kg arasında değiştiği bildirilmektedir. Şahin tarafından yapılan çalışma ile çalışmamızdaki sonuçların uyum olduğunu ve benzer şekilde, toplam alfa değerleri toplam beta değerlerinden genel olarak yüksek olduğu görülmektedir. Bu da çalışma alanlarının benzer şeklide fay zone üzerinde olmasından kaynaklanabilir. Şahin tarafından yapılan çalışmadaki toplam beta değerleri çalışmamıza kıyasla yüksek görülmektedir. Bunun sebebi de, çalışma alanlarının toprak ve kayaçlarının jeolojik yapısından ve atmosferik (Sıcaklık, basınç vb.) parametrelerden kaynaklanmış olabilir.

Yine benzer olarak Baykara tarafından Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonu Kesişim bölgelerinde yapılan çalışmada (Baykara,2005); Doğu Anadolu Fay zonunda alınan toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite değerleri $17,3 \pm 4,7$ Bq/kg ile $888,3 \pm 23,8$ Bq/kg, toplam beta radyoaktivite değerleri ise temel seviye ile $121,6 \pm 4,2$ Bq/kg arasında; Kuzey Anadolu Fay Zonundan alınan toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite değerleri $52,3 \pm 18,8$ Bq/kg ile $752,2 \pm 19,0$ Bq/kg arasında, toplam beta radyoaktivite değerleri $1,3 \pm 0,6$ Bq/kg ile $65,4 \pm 16,5$ Bq/kg arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerleri çalışmamızla karşılaştırdığımızda genel olarak sonuçlar uyumlu olmakla birlikte, toplam alfa ve beta radyoaktivite değerlerinin bazıları çalışmamızdan yüksek bazıların değerleri düşüktür. Bunun nedeni çalışılan bölgelerdeki hava koşulları, sedimantasyon, filtreleme, emilme, yeraltı sularının hareketi sonucu oluşan çökelmeler ve yüksek derecedeki toprak gözenekliliği gibi pek çok etkiye bağlı olabilir.

4.1.2. Toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları

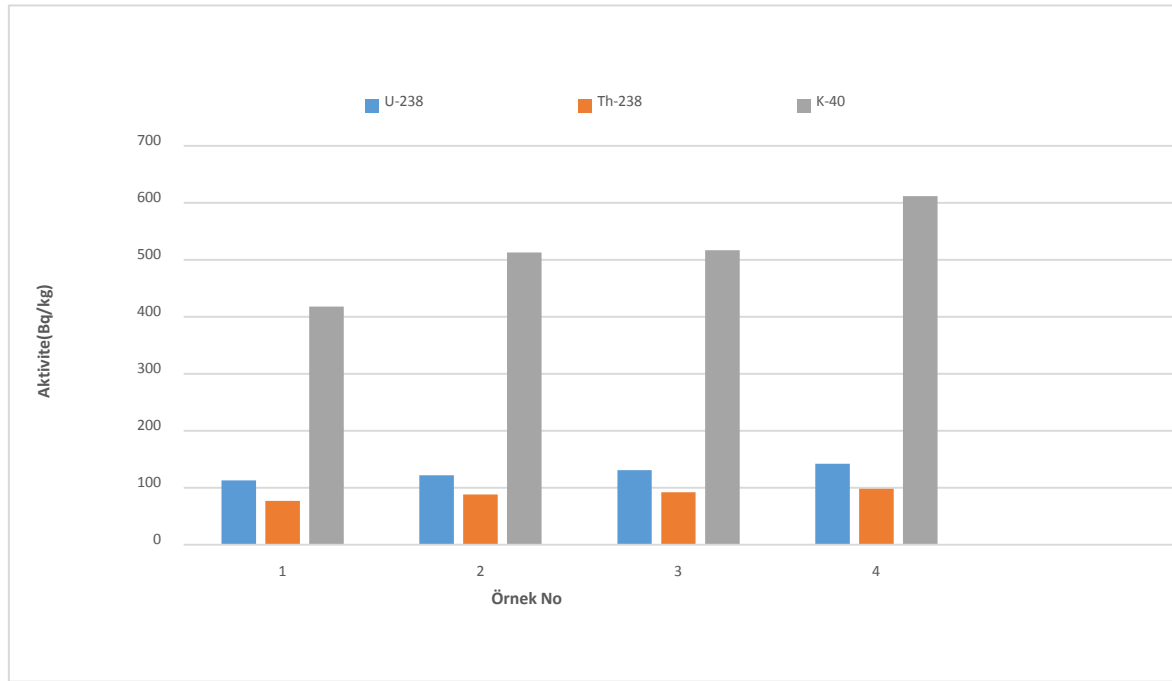
Örnekler içerisindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonu ölçülürken uranyum ve toryum serileri içerisinde doğada en çok hangisi veya hangileri var ise, onun enerjisinde ölçüm yapılır. Bu doğrultuda, ^{238}U için, ^{238}U 'in bir bozunma ürünü olan ve doğada %45 bollukta bulunan ^{214}Bi 609 keV enerjisi, ^{232}Th için ise, ^{232}Th serisinin bir bozunma ürünü olan ve doğada %30,7 ile en yüksek bolluğa sahip ^{208}Tl ' in 583 keV enerjisi ve ^{40}K için ise, kendisinin 1460 keV enerjili gama ışınları kullanılmıştır.

Doğu Anadolu fay zone uzanımında bulunan Gölbaşı (Adıyaman)-Türkoğlu (Kahramanmaraş) üzerinde belirlenen 4 (dört) istasyondan yaz ve kış mevsimlerinde 4 (dört)'er adet olmak üzere toplam 8 (sekiz) adet toprak örneği alınmış olup; Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3'te yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin içerdiği ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K

konsantrasyonları, Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4'te ise kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin içerdiği ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları verilmektedir.

Çizelge 4.3 Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları

Örnek No	Örnek Alınan Yer	Radyonüklid Konsantrasyonu(Bq/kg)		
		^{238}U	^{232}Th	^{40}K
1	Çiğli Mah.	113±15	77±9	418±38
2	Kapıçam Mah.	122±18	88±11	513±43
3	Öksüzlü Mah.	131±25	92±13	517±45
4	Kuyumcular Köyü	142±30	98±15	612±52

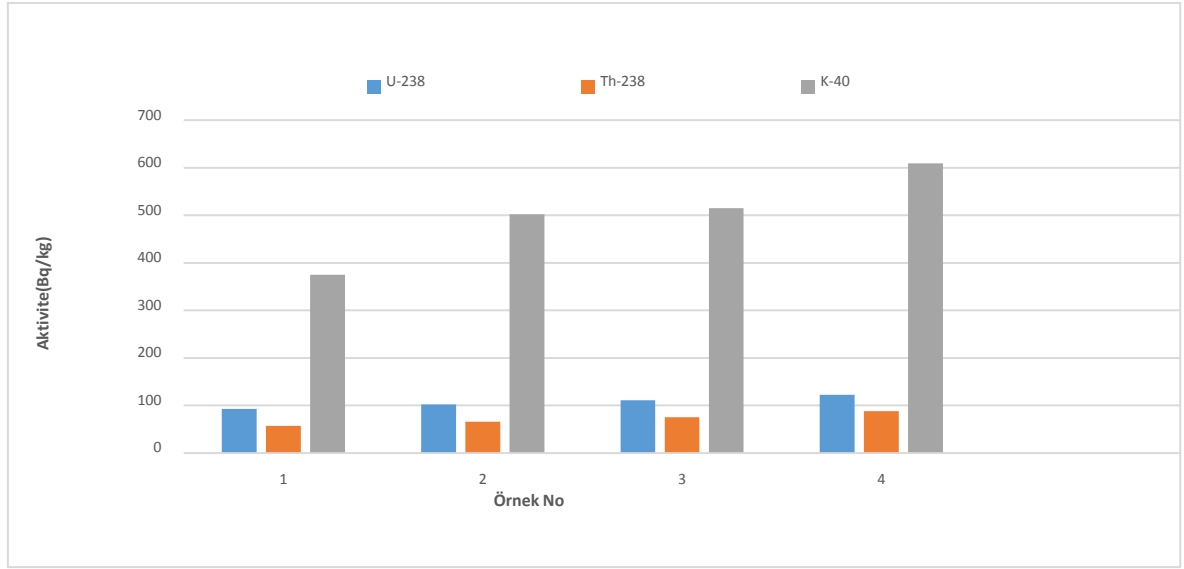


Şekil 4.3 Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları

Çizelge 4.3'te yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları incelendiğinde; en düşük ^{238}U konsantrasyonunun 113±15 Bq/kg değeri ile Çiğli Mah. örneğinde, en yüksek ^{238}U konsantrasyonunun ise 142±30 Bq/kg değeri ile Kuyumcular Köyü örneğinde; en düşük ^{232}Th konsantrasyonu 77±9 Bq/kg ile Çiğli Mahallesi örneğinde, en yüksek ^{232}Th konsantrasyonu 98±15 Bq/kg ile Kuyumcular köyü örneğinde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, en düşük ^{40}K konsantrasyon değeri 418,0±38 Bq/kg ile Çiğli Mah. Örneğinde, en yüksek ^{40}K konsantrasyon değeri 612±52 Bq/kg ile Kuyumcular köyü örneğindedir.

Çizelge 4.4 Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları

Örnek No	Örnek Alınan Yer	Radyonüklid Konsantrasyonu(Bq/kg)		
		^{238}U	^{232}Th	^{40}K
1	Çiğli Mah.	93±13	57±5	375±25
2	Kapıçam Mah.	102±15	66±6	502±27
3	Öksüzlü Mah.	111±16	75±7	515±29
4	Kuyumcular Köyü	122±17	88±8	609±35



Şekil 4.4 Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları

Çizelge 4.4'te kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları incelendiğinde; en düşük ^{238}U konsantrasyonunun 93±13 Bq/kg değeri ile Çiğli Mah. örneğinde, en yüksek ^{238}U konsantrasyonunun ise 122±17 Bq/kg değeri ile Kuyumcular Köyü örneğinde; en düşük ^{232}Th konsantrasyonu 57±5 Bq/kg ile Çiğli Mahallesi örneğinde, en yüksek ^{232}Th konsantrasyonu 88±8 Bq/kg ile Kuyumcular köyü örneğinde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, en düşük ^{40}K konsantrasyon değeri 375±25 Bq/kg ile Çiğli Mah. Örneğinde, en yüksek ^{40}K konsantrasyon değeri 609±35 Bq/kg ile Kuyumcular köyü örneğindedir.

Literatürde; topraktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması sırası ile; 25 Bq/kg, 25 Bq/kg ve 370 Bq/kg olarak verilmektedir (Liden ve Holm, 1985). Toprak örneklerindeki yaz ve kış mevsiminde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları bu değerler ile karşılaştırıldığında; dünya ortalamasının üzerinde olduğu

anlaşılmaktadır. Bunun sebebi, çalışma alanının ana fay hattı üzerinde olması ve toprak yapısından kaynaklanmış olabilir. Toprak örneklerinin ^{238}U konsantrasyon değerlerinin ^{232}Th konsantrasyonuna nazaran daha yüksek değere sahip olmasının temel sebebi, örneklerin çok derinliklerden alınamamasından olabilir. Yapılan bilimsel çalışmalarda, toprağın üst kısmının toryumdan ziyade daha fazla uranyum konsantrasyonuna sahip olduğu rapor edilmiştir (Hansen ve Stout, 1968). Mevsimsel olarak değişimler incelendiğinde; kış mevsiminde, yaz mevsimine oranla bir miktar ölçülen değerlerde azalma görülmektedir. Bunun sebebi, kışın yağmur ve diğer hava olayları ile birlikte toprağın kireç bakımından bir miktar arınması olabilir.

Küçükönder tarafından yapılan benzer çalışmada (Küçükönder, 2009); Kahramanmaraş il merkezinden alınan toprak örneklerinde en düşük ^{238}U konsantrasyonunun 2,320 Bq/kg değeri ile Pınarbaşı Köyü örneğinde, en yüksek ^{238}U konsantrasyonunun ise 40,096 Bq/kg değeri ile Gaffarlı Köyü örneğinde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra; en düşük ^{232}Th konsantrasyonu 0,601 Bq/kg ile Hürriyet Mahallesi örneğinde, en yüksek ^{232}Th konsantrasyonu ise 10,471 Bq/kg ile Göllü Köyü örneğindedir. Bunlara ek olarak; 11,655 Bq/kg değeri ile Oruç Reis Mahallesi örneği en düşük ^{40}K konsantrasyonuna, 160,839 Bq/kg değeri ile Pınarbaşı Köyü örneği ise en yüksek ^{40}K konsantrasyonuna sahip olduğu görülmektedir. Çalışmamızla ölçülen aktivite değerlerini karşılaştırdığımızda; radyonüklidlerin değerlerinin çalışmamızdaki değerlerden çok daha küçük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, çalışma alanımızın ana fay üzerinde gerçekleşmiş olmasından kaynaklanmış olabilir. Çünkü ana fay üzerinde; uranyum ve toryumun yeryüzüne taşınması kayalardaki çatlaklar yardımıyla daha da kolaylaşabiliyor.

Yine benzer olarak Baykara tarafından Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonu kesişim bölgelerinde yapılan çalışmada (Baykara, 2005); ^{238}U aktivitesi $251,1 \pm 47,5$ Bq/kg ile $12,4 \pm 2,2$ Bq/kg arasında, ^{232}Th aktivitesi $195,5 \pm 28,5$ Bq/kg ile $14,1 \pm 1,4$ Bq/kg arasında ve ^{40}K aktivitesi ise $963,1 \pm 62,6$ Bq/kg ile $183,3 \pm 16,4$ Bq/kg arasında değiştiği görülmektedir. Çalışmamızdaki değerler ile karşılaştırdığımızda, sonuçlar genel olarak uyumlu olmakla birlikte, bazı değerlerin yüksek bazı değerlerin ise çalışmamızdan düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi jeolojik ve toprak yapısının farklılıklarından olabilir. Aynı zamanda, çalışılan bölgelerdeki hava koşulları, sedimantasyon, filtreleme, emilme atmosferik parametrelerden kaynaklanmış olabilir. Baykara tarafından yapılan çalışmada da, bizim çalışmamızla benzer olarak radyonüklidlerin ortalama aktivite değerleri dünya ortalamasının üzerinde çıkmıştır. Bu durum, çalışma alanlarının ana

faydan oluşan tektonik bir bölge olması ve böylelikle fay zonlarındaki ana kayalardaki çatlaklar yardımıyla uranyum ve toryumun yeryüzüne taşınması daha da kolaylaşması sebebiyle olmuş olabilir.

4.2. Radon Gazı lmleri ve Değişimleri

Bu bölümde, (Aralık 2019–Kasım 2020) tarihleri arasında ayda 1 (bir) kez olmak üzere topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ve söz konusu istasyon yakınlarındaki kuyu sularından alınan numunelerin radon gazı aktivite konsantrasyonları aktif radon dedektörü Durrige Rad7 kullanılarak ölçülmüştür. Su numunelerindeki ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları uluslararası kuruluşlar tarafından üst sınır olarak tavsiye edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda, toprak ve sudaki radon gazı ölçüm tarihlerinde Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesinden her bir istasyon çevresindeki 10 km yarıçaplı alanlarda meydana gelmiş 1 ML’den büyük kayıtlı depremlerin listesi alınmıştır. Her bir istasyon çevrelerinde meydana gelmiş depremler ile her bir istasyondaki toprak ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonunun aylık olarak değişimlerinin ilişkisi incelenmiştir.

4.2.1. Topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları

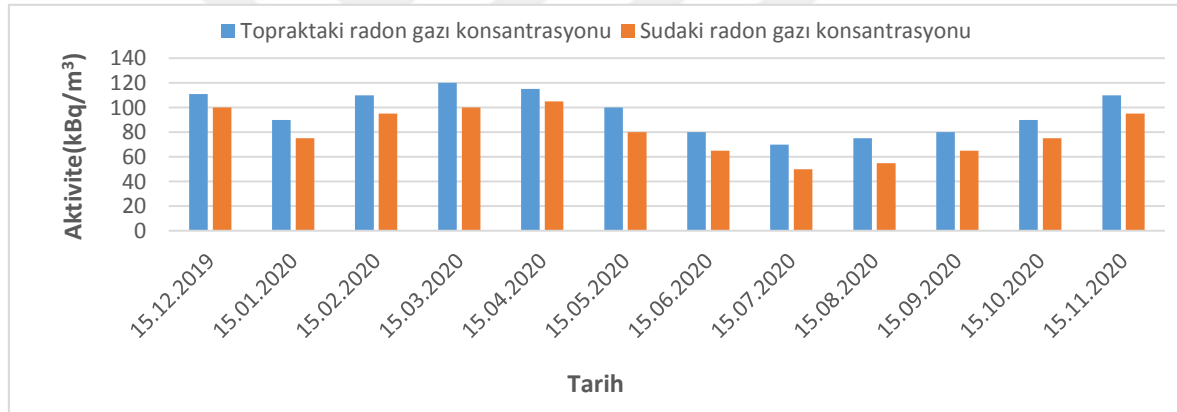
Belirlenen dört istasyon olan; Çiğli, Kapıçam, kszl ve Kuyumcular’dan Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihlerinde aylık olarak bir yıl boyunca ölçülen toraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ve bu istasyonların yakınlarındaki kuyu sularının da radon gazı aktivite konsantrasyonları bu bölümde verilmektedir.

4.2.1.1. iğli istasyonundaki toprak ve su örneklerindeki radon gazı aktivite konsantrasyonları

iğli istasyonundan Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihlerinde aylık olarak bir yıl boyunca ölçülen toraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ve bu istasyonların yakınlarındaki kuyu sularının radon gazı aktivite konsantrasyonları izelge 4.5 ve şekil 4.5’te verilmektedir.

Çizelge 4.5 Çiğli istasyonunda ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları

Tarih	Topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonu (kBq/m ³)	Sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonu (kBq/m ³)
15/12/2019	122±12	100±10
15/01/2020	90±3	75±7
15/02/2020	110±11	95±9
15/03/2020	120±12	100±10
15/04/2020	115±11	105±10
15/05/2020	100±10	80±8
15/06/2020	80±8	65±7
15/07/2020	70±7	50±5
15/08/2020	75±6	55±5
15/09/2020	80±8	65±6
15/10/2020	90±9	75±7
15/11/2020	110±11	95±9



Şekil 4.5 Çiğli istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları

Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5'te, Çiğli istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları incelendiğinde, toprak örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları 122±12 kBq/m³ ile 70±7 kBq/m³ değerleri arasında değişmekte olduğu, su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonlarının ise 50±5 kBq/m³ ile 105±10 kBq/m³ arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Topraktaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 122±12 kBq/m³ ile 15/12/2019 tarihinde ölçüldüğü, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonu ise 70±7 kBq/m³ değeri ile 15/07/2020 tarihinde ölçüldüğü görülmektedir. Sudaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 105±10 kBq/m³ ile 15/04/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçüldüğü, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise 50±5 kBq/m³ ile 15/07/2020 tarihinde alınan su örneğinde

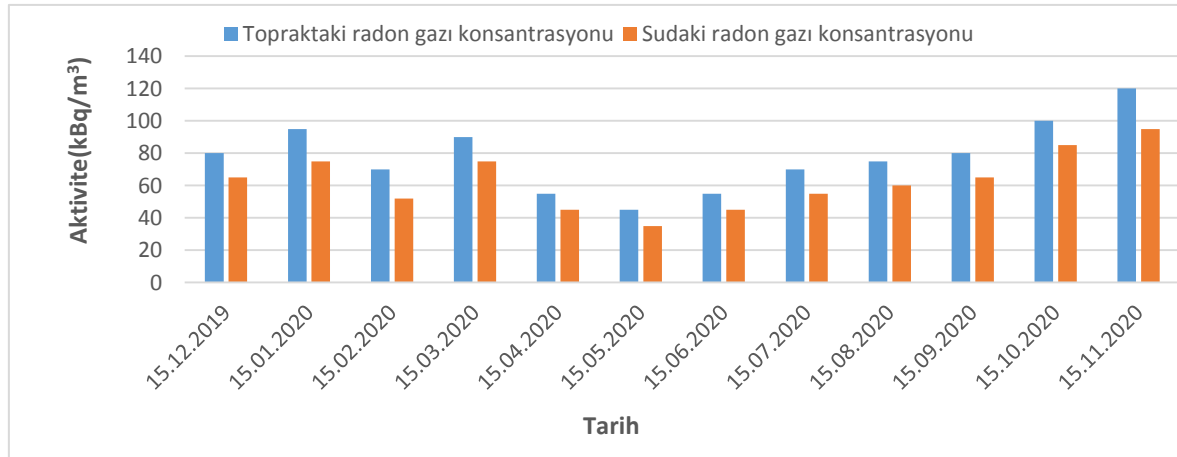
ölçüldüğü görülmektedir. Toprak örneklerindeki ortalama radon aktivite değeri 96,83 kBqm³ iken, su örneklerinde ortalama radon aktivite değeri 80 kBq/m³’dür.

4.2.1.2. Kapiçam istasyonundaki toprak ve su örneklerindeki radon gazı aktivite konsantrasyonları

Kapiçam istasyonundan Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihlerinde aylık olarak bir yıl boyunca ölçülen topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ve bu istasyonların yakınlarındaki kuyu sularının radon gazı aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6’da verilmektedir.

Çizelge 4.6 Kapiçam istasyonunda ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları

Tarih	Topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonu (kBq/m ³)	Sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonu (kBq/m ³)
15/12/2019	80±8	65±6
15/01/2020	95±10	75±7
15/02/2020	70±7	52±5
15/03/2020	90±9	75±7
15/04/2020	55±4	45±4
15/05/2020	45±4	35±3
15/06/2020	55±5	45±4
15/07/2020	70±8	55±5
15/08/2020	75±9	60±6
15/09/2020	80±8	65±7
15/10/2020	100±10	85±9
15/11/2020	120±11	95±9



Şekil 4.6 Kapiçam istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları

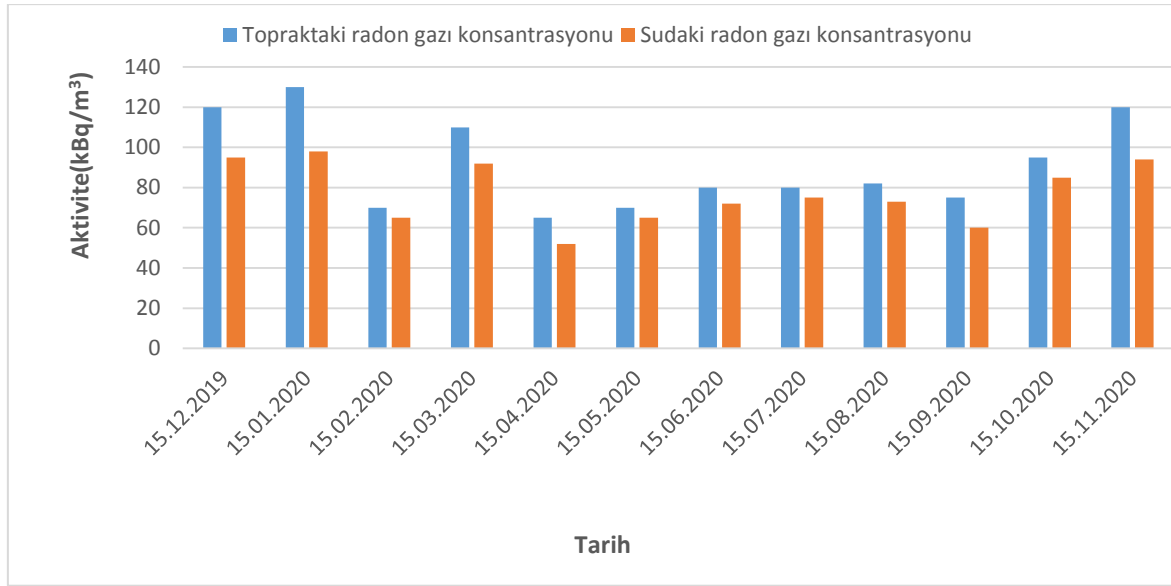
Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6' da, Kapıçam istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları birlikte incelendiğinde, toprak örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları, 120 ± 11 kBq/m³ ile 45 ± 4 kBq/m³ değerleri arasında değişmekte olduğu, su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise, 95 ± 9 kBq/m³ ile 35 ± 3 kBq/m³ arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Topraktaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 120 ± 11 kBq/m³ ile 15/11/2020 tarihinde ölçüldüğü, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonu ise, 45 ± 4 kBq/m³ değeri ile 15/05/2020 tarihinde ölçüldüğü görülmektedir. Sudaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 95 ± 9 kBq/m³ ile 15/11/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçüldüğü, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise, 35 ± 3 kBq/m³ ile 15/05/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçüldüğü görülmektedir. Toprak örneklerindeki ortalama radon aktivite değeri 77,92 kBq/m³ iken, su örneklerindeki ortalama radon aktivite değeri 62,67 kBq/m³ dür.

4.2.1.3. Öksüzlü istasyonundaki toprak ve su örneklerindeki radon gazı aktivite konsantrasyonları

Öksüzlü istasyonundan Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihlerinde aylık olarak bir yıl boyunca ölçülen toraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ve bu istasyonların yakınlarındaki kuyu sularının radon gazı aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7'de verilmektedir.

Çizelge 4.7 Öksüzlü istasyonunda ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları

Tarih	Topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonu (kBq/m ³)	Sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonu (kBq/m ³)
15/12/2019	120±12	95±9
15/01/2020	130±13	98±10
15/02/2020	70±7	65±6
15/03/2020	110±11	92±9
15/04/2020	65±6	52±5
15/05/2020	70±7	65±6
15/06/2020	80±8	72±7
15/07/2020	80±8	75±7
15/08/2020	82±8	73±7
15/09/2020	75±7	60±6
15/10/2020	95±9	85±9
15/11/2020	120±12	94±9



Şekil 4.7 Öksüzlü istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları

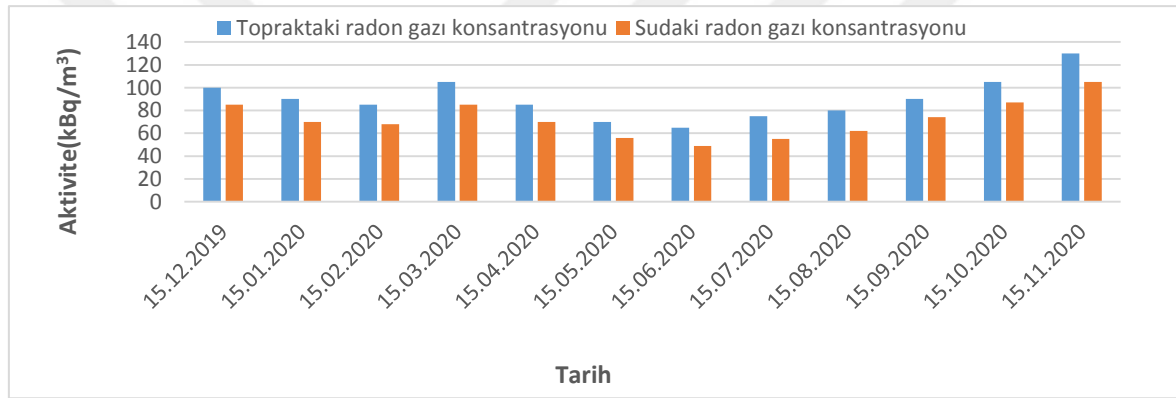
Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7’ de, Öksüzlü istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları birlikte incelendiğinde, toprak örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları 130 ± 13 kBq/m³ ile 65 ± 6 kBq/m³ değerleri arasında değişmekte olduğu, su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise 98 ± 10 kBq/m³ ile 52 ± 5 kBq/m³ arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Topraktaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 130 ± 13 kBq/m³ ile 15/01/2020 tarihinde ölçüldüğü, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonu ise, 65 ± 6 kBq/m³ değeri ile 15/04/2020 tarihinde ölçüldüğü görülmektedir. Sudaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonunun 98 ± 10 kBq/m³ ile 15/01/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçüldüğü, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise, 52 ± 5 kBq/m³ ile 15/04/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçüldüğü görülmektedir. Toprak örneklerindeki ortalama radon aktivite değeri 91,42 kBq/m³ iken su örneklerindeki ortalama radon aktivite değeri 77,17 kBq/m³ dür.

4.2.1.4. Kuyumcular istasyonundaki toprak ve su örneklerindeki radon gazı aktivite konsantrasyonları

Kuyumcular istasyonundan Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihlerinde aylık olarak bir yıl boyunca ölçülen toraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ve bu istasyonların yakınlarındaki kuyu sularının radon gazı aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.8 ve Şekil 4.8’de verilmektedir.

Çizelge 4.8 Kuyumcular istasyonunda ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları

Tarih	Topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonu (kBq/m ³)	Sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonu (kBq/m ³)
15/12/2019	100±10	85±8
15/01/2020	90±9	70±7
15/02/2020	85±8	68±7
15/03/2020	105±10	85±8
15/04/2020	85±8	70±7
15/05/2020	70±7	56±6
15/06/2020	65±6	49±5
15/07/2020	75±7	55±5
15/08/2020	80±8	62±6
15/09/2020	90±9	74±7
15/10/2020	105±10	87±9
15/11/2020	130±13	105±10



Şekil 4.8 Kuyumcular istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları

Çizelge 4.8 ve Şekil 4.8’de, Kuyumcular istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları birlikte incelendiğinde, toprak örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları 65±6 kBq/m³ ile 130±13 kBq/m³ değerleri arasında değişmekte olduğu, su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise, 55±5 kBq/m³ ile 105±10 kBq/m³ arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Topraktaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 130±13 kBq/m³ ile 15/11/2020 tarihinde ölçüldüğü, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonu ise, 65±6 kBq/m³ değeri ile 15/06/2020 tarihinde ölçüldüğü görülmektedir. Sudaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 105±10 kBq/m³ ile 15/11/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçüldüğü, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise, 55±5 kBq/m³ ile 15/07/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçüldüğü görülmektedir. Toprak örneklerindeki ortalama radon aktivite değeri 90 kBq/m³ iken, su örneklerindeki ortalama radon aktivite değeri 72,17 kBq/m³’dür.

4.2.1.5. Topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Türkiye'de veya dünyanın herhangi bir yerinde içme sularındaki radon konsantrasyonlarına ilişkin özel bir yönerge veya düzenleme bulunmamaktadır. Bazı uluslararası kurum ve kuruluşlar, radyolojik güvenlik açısından sudaki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu için farklı bir aktivite limiti (Max Kontaminasyon Limiti) önermiştir. Güvenli içme suyu yasası ile USEPA 1991'de yeraltı suyundaki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu için maksimum kirlilik seviyesini (MCL) $11,1 \text{ BqL}^{-1}$ olarak önermekte iken; 1999' da su sebebiyle, ev içindeki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonundaki artış dikkate alınarak su için alternatif bir maksimum kirlilik seviyesini (MCL) 150 BqL^{-1} olarak önermektedir. (USEPA, 1991; Zhuo ve ark., 2001). Avrupa Birliği (AB) Komisyonu, nüfusu radon maruziyetine karşı korumak amacıyla, kamu içme suyu kaynaklarında 100 BqL^{-1} ve özel su kaynaklarında 1000 BqL^{-1} referans seviyesi önermektedir (EU, 2001a, 2001b). Dünya Sağlık Örgütü, içme suyundaki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonunun 100 BqL^{-1} 'e ulaşması durumunda bazı düzeltici önlemlerin alınmasını tavsiye etmektedir (WHO, 2011). UNSCEAR, insanın tüketmesi için, sudaki ^{222}Rn aktivite seviyesini $4\text{-}40 \text{ BqL}^{-1}$ arasında bir seviye önermektedir (UNSCEAR, 2008). Türkiye'nin düzenleyici otoriteleri ise, içme suyu kaynaklarında ^{222}Rn için bir maksimum bir kirlilik seviyesi veya referans değeri henüz belirlememiştir.

Uluslararası kuruluşların sularda Radon (^{222}Rn) aktivite konsantrasyonu için izin verilebilir üst sınırı (Bkz. Çizelge 1.6) özet olarak verilmiştir.

Dört istasyondan alınan aylık su örneklerinde radon gazı aktivite konsantrasyon değerleri, U.S Environmental Protection Agency (EPA)'nın 1991'de içme sularında izin verilebilir üst sınırı olan 11 Bq/L 'nin üzerinde olduğu görülmekte iken, yine USEPA tarafından 1999 yılından önerilen 150 Bq/L 'nin altında olduğu görülmektedir. Dört istasyondan alınan aylık su örneklerinin tamamının (EU, 2001b) önerilen 1000 Bq/L 'den de aşağıda olduğu görülmektedir. Aylık alınan su örneklerinin radon aktivite konsantrasyonunu (EU, 2001a) ve (WHO, 2011) tarafından önerilen 100 Bq/L ile karşılaştırdığımızda, 15/04/2020 tarihinde Çiğli istasyonunda ölçülen $105 \pm 10 \text{ kBq/m}^3$ değeri ve 15/11/2020 tarihinde Kuyumcular istasyonunda ölçülen $105 \pm 10 \text{ kBq/m}^3$ değeri dışında, diğer ölçülen tüm değerlerin tamamı 100 Bq/L 'nin altında olduğu görülmektedir. Bir başka kuruluş olan UNSCEAR tarafından 2008'de önerilen $4\text{-}40 \text{ Bq/L}$ ile aylık alınan su örneklerinin radon aktivite konsantrasyonlarını karşılaştırdığımızda ise, 15/05/2020

tarihinde Kapıçam istasyonunda ölçülen 35 ± 3 kBq/m³ değeri dışındaki tüm sonuçlar, önerilen sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, su örneklerinde ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerlerinin özellikle 11 Bq/L den büyük olmasının sebebi, su örneklerinin alındığı kuyuların jeolojik olarak bulunduğu bölgelerin fay hattı üzerinde olması nedeniyle olabilir.

İstasyonlarda sudaki ortalama radon aktivite konsantrasyonlarına bakıldığında, Çiğli’de 80 kBq/m³, Kapıçam ’da 62,67 kBq/m³, Öksüzlerde 77,17 kBq/m³ ve Kuyumcularda ise, 72,17 kBq/m³ olarak tespit edilmiştir. Burada en yüksek sularda ortalama radon aktivite değeri Çiğli istasyonunda belirlenirken, en düşük Kapıçam istasyonunda belirlenmiştir. Bu değerler uluslararası kuruluşların belirlendiği sınırlarla karşılaştırdığımızda, istasyonların tamamındaki sularda ortalama radon aktivite değeri, USEPA’nın 1991 de tavsiye ettiği 11 Bq/L ve UNSCEAR’ın 2008 de önerdiği 4-40 Bq/L’nin üzerinde olduğu görülmekte iken, USEPA’nın 1999 yılında önerdiği 150 Bq/L’nin altında olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, istasyonların tamamındaki sularda ortalama radon aktivite değeri, (EU, 2001a), (EU, 2001b) ve (WHO, 2011) tarafından önerilen 100 Bq/L ve 1000Bq/L’den aşağıda olduğu görülmektedir.

İnsanların yaşadıkları ve genellikle çok uzun sürelerini harcadıkları kapalı mekânlarda radonun giriş yolları binaları oluşturmak için kullanılan yapı malzemeleri haricinde dışarıdan giriş yolları büyük oranda binanın altındaki toprak ve suyuyla gerçekleşmektedir. Bir bölgedeki toprakta radon aktivite miktarını belirlemek, insanların güvenli bir çevrede sağlıklı bir ömür geçirmeleri bakımından oldukça gereklidir. Bu yüzden insanların yaşamlarını geçirdikleri binalarda ve işyerlerinde radyasyon kaynağı olan radon miktarını belirlemek sağlık açısından önemlidir. Ulusal ve uluslararası radyasyonla ilgili kuruluşlar, kapalı ortamlarda radon gazı aktivite miktarları için güvenli sınır değerleri önermektedir. Her ülkede önerilen sınır değerleri değişmekle birlikte, ülkemizde TAEK tarafından önerilen, evlerdeki güvenli sınır değeri 400 Bq/m³, iken iş yerlerinde 1000 Bq/m³’ dür (TAEK, 2000). Aslında bir bölgedeki toprakta radon aktivite miktarını belirlemek, şehir planlaması açısından da oldukça önemlidir. Bölgedeki radon haritasını çıkartarak binaların nerelere, nasıl yapılmasını ve genel bir yapılaşma planlamasını sağlamakta önemli bir parametredir. Dört istasyonda aylık olarak ölçülen topraktaki radon aktivite konsantrasyon değerleri kapalı ortamlarda TAEK tarafından önerilen 400 Bq/m³ ve 1000 Bq/m³ ile karşılaştırdığımızda, aylık ölçülen radon aktivite konsantrasyonlarının tavsiye edilen değerlerin çok üstünde olduğu görülmektedir.

İstasyonlarda topraktaki ortalama radon aktivite konsantrasyonlarına bakıldığında, Çiğli’de $96,83 \text{ kBq/m}^3$, Kapiçam ’da $77,92 \text{ kBq/m}^3$, Öksüzler ’de $91,42 \text{ kBq/m}^3$ ve Kuyumcular ’da ise, 90 kBq/m^3 olarak tespit edilmiştir. Burada, toprakta en yüksek ortalama radon aktivite değeri, Çiğli istasyonunda belirlenirken, en düşük Kapiçam istasyonunda belirlenmiştir. Bu ortalama radon aktivite değerleri de, TAEK tarafından önerilen değerlerin çok üstündedir. Bu durum, çalışma alanın fay hattı üzerinde olması sebebiyle olabileceği yüksek ihtimaldir.

Dört istasyondaki toprak ve su örneklerinde radon yayılımlarının aylık olarak değişimlerinin genelde paralel olduğu görülmektedir. Bu durum, toprak ve su örneklerinin alındığı bölgenin jeolojik oluşumlarının aynı olması sebebiyle olduğunu düşündürmektedir.

İstasyonların tamamındaki toprak ve su örneklerinde aylık olarak ölçülen değerleri incelendiğinde; yağışların yoğun bir şekilde oluşması ve bunun sonucunda toprağın suya doyması durumunda ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları düşmektedir. Ancak, havaların ısınması, toprağın kuruyarak çatlaması ve gözeneklerinin açılması sonucunda da, ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonu artmaktadır. Bu durum, sonuçların literatür ile uyumlu olduğunu ve sonuçların doğru olduğunu söylemektedir. Çünkü, toprakta depo edilen suyun miktarı azaldıkça ölçülen radon aktivite konsantrasyonu artmaktadır (Turk ve ark, 1996).

Gümbür tarafından yapılan çalışmada; Kahramanmaraş il merkezinden alınan 42 su örneğinin radon aktivite konsantrasyonu belirlenmiştir (Gümbür, 2014). Bu çalışmada, Kahramanmaraş il merkezi su örneklerinin, radon aktivite konsantrasyonları incelendiğinde, örneklerin radon aktivite konsantrasyonları $305,8 \pm 10,7 \text{ Bq/m}^3$ ile $80,6 \pm 3,9 \text{ Bq/m}^3$ değerleri arasında değişmekte olduğu görülmektedir. En yüksek radon aktivite konsantrasyonu $305,8 \pm 10,7 \text{ Bq/m}^3$ değeri ile Kayabaşı Mahallesi örneğinde, en düşük radon konsantrasyonu ise $80,6 \pm 3,9 \text{ Bq/m}^3$ değeri ile D-13 (Pınarbaşı Mahallesi) örneğinde olduğu görülmekte olup; ölçülen değerler, USEPA tarafından tavsiye edilen 11 Bq/L ’nin altında olduğu görülmektedir. Çalışmamızdaki değerler ile karşılaştırdığımızda, bu değerlerin çok düşük olduğu görülmektedir. Sulardaki aktivite konsantrasyonlarının farklı olmasının sebepleri, suların depolarda beklemesi, beklediği depoların temizliği ve havalandırılması, evlere taşınırken isale hatlarının ve depoların bulunduğu yerlerin jeolojik yapılarından dolayı kaynaklanmakla beraber, çalışmamızda alınan su örneklerinin fay zone

üzerindeki bölgedeki kuyu sularından alınması sebebiyle radon aktivite konsantrasyonlarının yüksek olması beklenen bir durumdur.

Alıç tarafından yapılan çalışmada, Kahramanmaraş ilinin belirli bölgelerinden alınan toprak, sebze ve meyve örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları nükleer pasif iz dedektörü CR-39 kullanılarak analiz edilmiştir. Kahramanmaraş il merkezinden alınan 13 toprak örneğinin, radon aktivite konsantrasyonları incelendiğinde, örneklerin radon aktivite konsantrasyonları $421,89 \pm 40,83$ Bq/m³ ile $62,87 \pm 5,81$ Bq/m³ değerleri arasında değişmektedir. En yüksek radon aktivite konsantrasyonu $421,89 \pm 40,83$ Bq/m³ değeri ile Akif İnan Mahallesi örneğinde, en düşük radon konsantrasyonu ise $62,87 \pm 5,81$ Bq/m³ değeri ile Pınarbaşı Mahallesi örneğinde olduğu görülmektedir (Alıç, 2014). Bu değerler ile, çalışmamızdaki değerleri karşılaştırdığımızda; çalışmamızdaki toprak örneklerinin radon gazı aktivite değerleri çok daha yüksektir. Bunun sebebi toprak yapısındaki farklılık ya da benzerliğe, toprak tipine, nem içeriğine ve maruz kaldığı rüzgâr ile ilişkili olabilmekle beraber, yüksek olasılıkla, çalışma bölgelerinin jeolojik yapılarındaki farklılıktan kaynaklanmış olabilir. Çalışmamız da fay zonu üzerindeki toprakta ölçümler alınması sebebiyle, bu bölgelerde radon gazı aktivite seviyelerinin çok daha yüksek çıkması beklenen bir durumdur.

Baykara tarafından yapılan çalışmada (Baykara, 2005); DAFZ üzerinde ve KAFZ üzerinde CR-39 pasif pasif radon algılayıcılar kullanılarak toprak havasındaki radon aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. DAFZ üzerindeki radon gazı aktivitesi $9,5$ kBq/m³ ile $4,3$ kBq/m³ arasında değiştiği ve KAFZ üzerindeki radon aktivitesinin ise $9,8$ kBq/m³ ile $4,2$ kBq/m³ arasında değiştiği görülmektedir. Bu çalışmadaki en yüksek değerler ile çalışmamızdaki değerleri karşılaştırdığımızda, çalışmamızdaki toprak örneklerinin radon gazı aktivite değerleri, yaklaşık olarak 10 kat daha yüksektir. Bunun sebebi; iki çalışma da fay zonu üzerinde yapılması sebebiyle, çalışma bölgelerinin ortak noktaları gibi görünmekle birlikte, jeolojik ve toprak yapılarındaki farklılık, toprak tipine, nem içeriğine ve maruz kaldığı rüzgâr ile ilişkili olarak radon aktivite değerleri farklılık göstermiş olabilir. Aynı zamanda, ölçme yöntemlerindeki farklılık sebebiyle de radon aktivite değerlerinin sonuçları farklı bulunmuş olabilir; ölçüm tarihlerinin farklı zamanlarda ve mevsimsel olarak farklı dönemlerde olması da bu farklılığa sebep olmuş olabilir. Baykara tarafından yapılan çalışma bölgesindeki fay zonuna kıyasla, çalışma bölgemizdeki fay zonu segmentinin daha aktif bir dönemde olabilmesi sebebiyle de, böyle sonuçlara ulaşılmış olabilir.

4.2.2. Radon gazı aktivite değişimlerinin deprem ile ilişkisinin incelenmesi

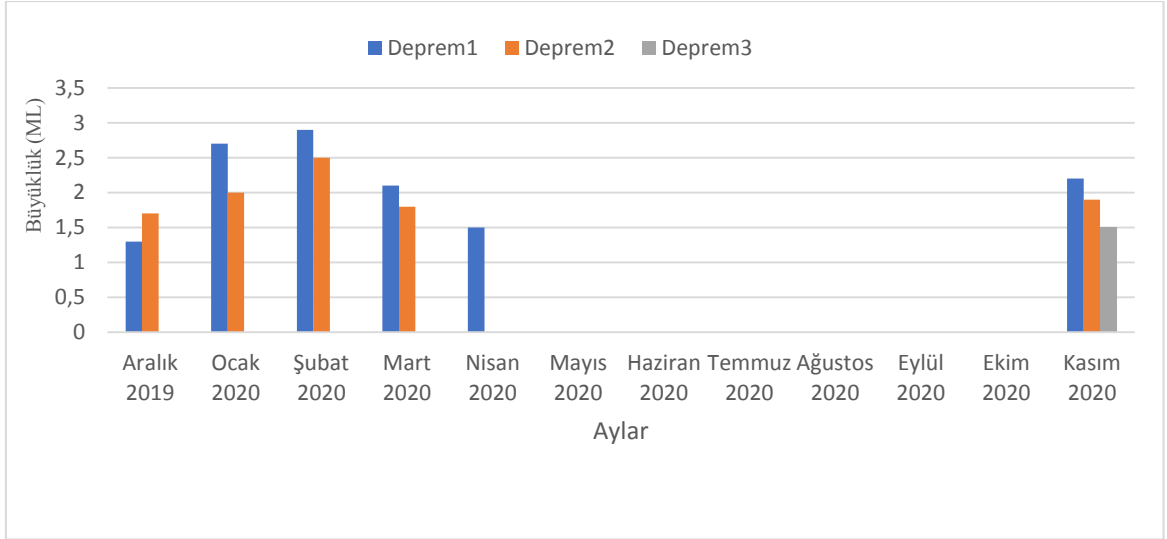
Bu bölümde; öncelikle, belirlenen istasyonları çevreleyen 10 km yarıçaplı alanlarda, Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında, büyüklükleri $1 \leq ML \leq 9$ arasında olmak üzere meydana gelmiş kayıtlı depremlerin listesi kandilli rasathanesinden alınmıştır. Daha sonra, SPSS programı vasıtasıyla her bir istasyon ve çevresinde meydana gelen aylık deprem sayıları ile aylara göre topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite ölçüm sonuçlarının korelasyonu incelenmiştir. Bu incelemede; deprem ve radon gazı aktivite ölçüm verilerinin 30'un altında olması sebebiyle non-parametrik testlerden olan spearman korelasyon testi uygulanmıştır (Can, 2018).

4.2.2.1. Çiğli istasyonundaki radon gazı aktivite değişimlerinin deprem ile ilişkisinin incelenmesi

Çiğli istasyonu çevresinde Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında, meydana gelen kayıtlı depremlerin listesi Çizelge 4.9' da verilmektedir. Şekil 4.9'da ise, Çiğli istasyonu ve çevresinde Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklükleri ve sayıları verilmektedir.

Çizelge 4.9 Çiğli istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremler (URL~22)

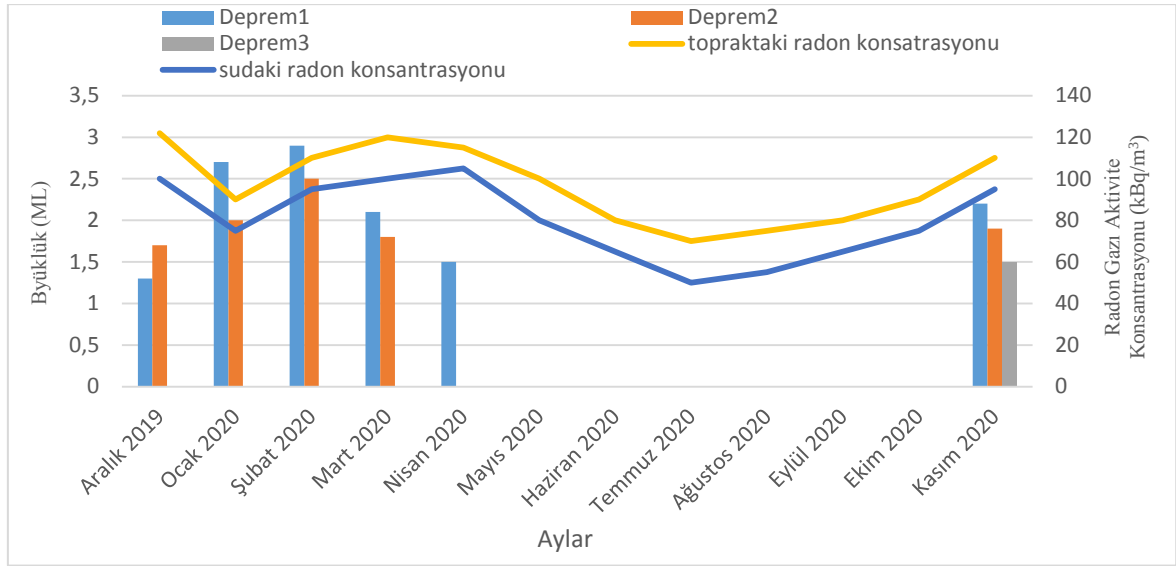
No	Oluş tarihi	Oluş zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklük	Tip	Yer
1	10/12/2019	11:03	37,4678	36,9658	3,3	1,3	ML	KOCALAR (KAHRAMANMARAŞ)
2	30/12/2019	11:10	37,5452	37,0247	9,7	1,7	ML	ÇOKYAŞAR (KAHRAMANMARAŞ)
3	24/01/2020	23:12	37,4253	37,0550	5,0	2,7	ML	YENİYURT (KAHRAMANMARAŞ)
4	25/01/2020	21:36	37,4980	37,0230	6,6	2,0	ML	GÜZELYURT (KAHRAMANMARAŞ)
5	12/02/2020	15:52	37,4222	37,0933	3,3	2,9	ML	DENİZLİ-PAZARCIK (KAHRAMANMARAŞ)
6	22/02/2020	16:37	37,4177	37,1348	7,9	2,5	ML	DOĞANLI-PAZARCIK (KAHRAMANMARAŞ)
7	07/03/2020	17:25	37,4197	37,0893	13,0	2,1	ML	DENİZLİ-PAZARCIK (KAHRAMANMARAŞ)
8	28/03/2020	08:43	37,4168	37,0968	3,9	1,8	ML	DENİZLİ-PAZARCIK (KAHRAMANMARAŞ)
9	04/04/2020	20:01	37,4338	37,1638	5,4	1,5	ML	ESKİARLI-PAZARCIK (KAHRAMANMARAŞ)
10	06/11/2020	06:43	37,4340	37,0052	6,9	2,2	ML	SİVRİCEHÜYÜK (KAHRAMANMARAŞ)
11	24/11/2020	06:11	37,4880	37,1548	6,5	1,9	ML	DOĞANLIKARAHASAN-PAZARCIK (KAHRAMANMARAŞ)
12	30/11/2020	08:00	37,5517	37,0992	4,1	1,5	ML	ELMALAR (KAHRAMANMARAŞ)



Şekil 4.9 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında Çiğli istasyonu ve çevresinde aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları

Çizelge 4.9 ve Şekil 4.9 incelendiğinde; Çiğli istasyonu ve 10 km yarıçaplı alanda Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında 12 adet deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyüklükleri 1,3 ML ile 2,9 ML arasında değişmektedir. 2,9 ML büyüklüğündeki deprem, 12/02/2020 tarihinde Denizli-Pazarcık (Kahramanmaraş)’ta saat 15:52’te, 1,3 ML büyüklüğündeki deprem, 10/12/2019 tarihinde Kocalar (Kahramanmaraş) ‘ta saat 11:03’te meydana gelmiştir.

Aylara göre depremlerin sayılarına bakıldığında; Aralık 2019’da 2 adet, Ocak 2020’ de 2 adet, Şubat 2020’ de 3 adet, Mart 2020’ de 2 adet, Nisan 2020’de 1 adet, 2020’ nin Mayıs, ile Ekim ayları arasında 1 ML’ den büyük kayıtlı deprem bulunmamakta olup, Kasım 2020’de 3 adet deprem bulunmaktadır. Bu kayıtlar, Aralık 2019 ile Nisan 2020 arasında ve Çiğli istasyonu ve çevresinde sismik olarak aktif olduğunu, Mayıs 2020 ile Ekim 2020 arasında istasyon çevresinde 1 ML’ den büyük deprem kaydının olmaması bu tarihler arasında Çiğli istasyon ve çevresinin sismik olarak faal olmadığını ve 2020 nin Kasım ayında Çiğli istasyonu ve çevresinin sismik olarak aktif olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.10 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında; Çiğli istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları ile topraktaki ve sudaki radon gazı konsantrasyonu değişimleri

Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında aylara göre, Çiğli istasyonundaki toprakta ve suda radon gazı ölçümleri ile Çiğli istasyonu çevresindeki kayıtlı depremlerin listesini birlikte veren Şekil 4. 10’ da ki grafik incelendiğinde; Aralık 2019, Ocak 2020, Şubat 2020, Mart 2020, Nisan ve Kasım 2020 tarihlerinde radon gazı ölçümlerinde ani düşüş veya artışların meydana geldiği ve bu tarihlerde depremlerin meydana geldiği görülmektedir.

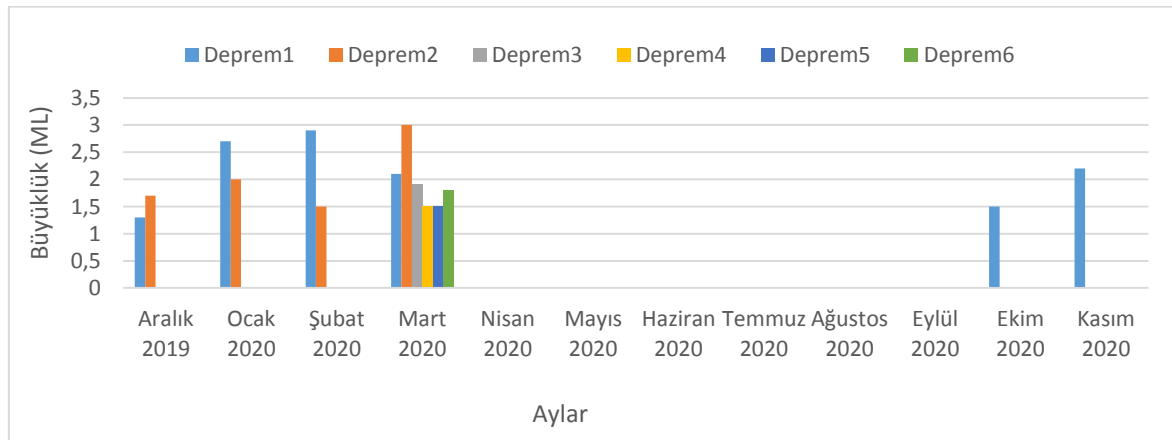
SPSS programı vasıtasıyla Çiğli istasyonunu çevreleyen 10 km yarıçaplı alanlarda Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında meydana gelen aylık deprem sayıları ile aylara göre topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite ölçüm sonuçlarının korelasyonu incelenmiştir. Bu incelemede; deprem ve radon gazı aktivite ölçüm verilerinin 30’un altında olması sebebiyle non-parametrik testlerden olan spearman korelasyon testi uygulanmıştır. Bu test sonucunda, Çiğli istasyonundaki toprak ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonlarının aylık olarak deprem sayıları ile olan korelasyon sonuçları elde edilmiştir. Buna göre, Çiğli istasyonundaki toprak ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($r_{\text{toprak}}=0,73$, $p<0,05$; $r_{\text{su}}=0,69$, $p<0,05$).

4.2.2.2. Kıpıçam istasyonundaki radon gazı aktivite değışimlerinin deprem ile ilişkisinin incelenmesi

Kıpıçam istasyonu çevresinde Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında, meydana gelen kayıtlı depremlerin listesi Çizelge 4.10’ da verilmektedir. Şekil 4.11’de ise, Kıpıçam istasyonu ve çevresinde Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklükleri ve sayıları verilmektedir.

Çizelge 4.10 Kıpıçam istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremler (URL~22)

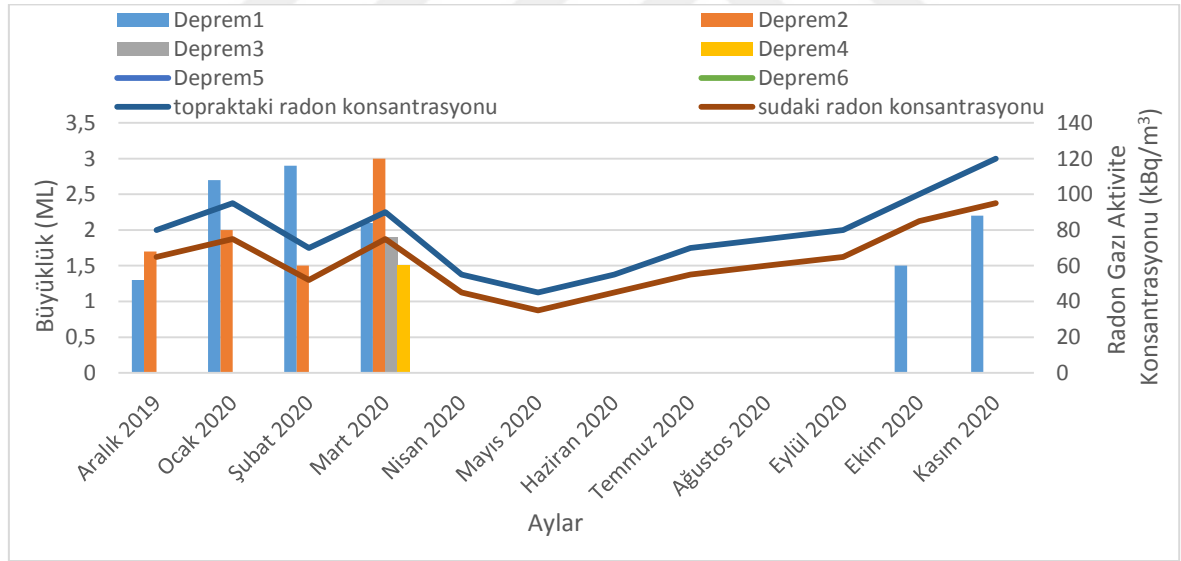
No	Oluş tarihi	Oluş zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyükük	Tip	Yer
1	10/12/2019	11:03	37,4678	36,9658	3,3	1,3	ML	KOCALAR (KAHRAMANMARAS)
2	30/12/2019	11:10	37,5452	37,0247	9,7	1,7	ML	ÇOKYAŞAR (KAHRAMANMARAS)
3	24/01/2020	23:12	37,5452	37,0555	5,0	2,7	ML	YENİYURT (KAHRAMANMARAS)
4	25/01/2020	21:36	37,4980	37,0230	6,6	2,0	ML	GÜZELYURT (KAHRAMANMARAS)
5	12/02/2020	15:52	37,4222	37,0933	3,3	2,9	ML	DENİZLİ-PAZARCIK (KAHRAMANMARAS)
6	15/02/2020	23:42	37,3933	37,0812	3,5	1,5	ML	MAKSUTUŞAĞI-PAZARCIK (KAHRAMANMARAS)
7	07/03/2020	17:25	37,4197	37,0893	13,0	2,1	ML	DENİZLİ-PAZARCIK (KAHRAMANMARAS)
8	16/03/2020	01:24	37,3960	37,0393	9,9	3,0	ML	ABBASLAR (KAHRAMANMARAS)
9	19/03/2020	02:36	37,3915	37,0268	9,7	1,9	ML	ABBASLAR (KAHRAMANMARAS)
10	19/03/2020	11:32	37,4003	37,0375	8,4	1,5	ML	ABBASLAR (KAHRAMANMARAS)
11	22/03/2020	23:05	37,3893	37,0370	5,2	1,5	ML	ABBASLAR (KAHRAMANMARAS)
12	28/03/2020	08:43	37,4168	37,0968	3,9	1,8	ML	DENİZLİ-PAZARCIK (KAHRAMANMARAS)
13	27/10/2020	06:38	37,4300	36,9673	2,0	1,5	ML	ÖKSÜZLÜ (KAHRAMANMARAS)
14	06/11/2020	06:43	37,4340	37,0052	6,9	2,2	ML	SİVRİCEHÜYÜK (KAHRAMANMARAS)



Şekil 4.11 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında Kıpıçam istasyonu ve çevresinde aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları

Çizelge 4.10 ve Şekil 4.11 incelendiğinde; Kapıçam istasyonunu çevreleyen 10 km yarıçaplı alanda Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında 14 adet deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyüklükleri 1,3 ML ile 3,0 ML arasında değişmektedir. 3,0 ML büyüklüğündeki deprem, 16/03/2020 tarihinde Abbaslar (Kahramanmaraş)’ta saat 01:24’te, 1,3 ML büyüklüğündeki deprem, 10/12/2019 tarihinde Kocalar (Kahramanmaraş) ‘ta saat 11:03’te meydana gelmiştir.

Aylara göre depremlerin sayılarına baktığımızda; Aralık 2019’da 2 adet, Ocak 2020’de 1 adet, Şubat 2020’de 1 adet, Mart 2020’de 6 adet, 2020 ‘nin Nisan ile Ekim aylarında 1 den büyük kayıtlı deprem bulunmamakta olup, Kasım 2020’de 1 adet deprem bulunmaktadır. Bu kayıtlar, Aralık 2019 ile Mart 2020 arasında Kapıçam istasyonu ve çevresinde sismik olarak aktif olduğunu, Nisan 2020 ile Ekim 2020 arasında istasyon çevresinde 1 den büyük deprem kaydının olmaması bu tarihler arasında Kapıçam istasyon ve çevresinin sismik olarak faal olmadığını ve 2020 nin Kasım ayında Kapıçam istasyonu ve çevresinin sismik olarak aktif olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.12 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında; Kapıçam istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları ile topraktaki ve sudaki radon gazı konsantrasyonu değişimleri

Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında aylara göre, Kapıçam istasyonundaki topraktaki ve sudaki radon gazı ölçümleri ile Kapıçam istasyonu çevresindeki kayıtlı depremlerin listesini birlikte veren Şekil 4.12’ de ki grafik incelendiğinde; Aralık 2019 ile Nisan 2020 arasında, ani düşüş ve artışların meydana geldiği; Ekim 2020 ve Kasım 2020

tarikhlerinde radon gazı ölçümlelerinde artışların önceki aylara göre devam ettiğı ve bu tarihlerde depremlerin meydana geldiğı görölmektedir.

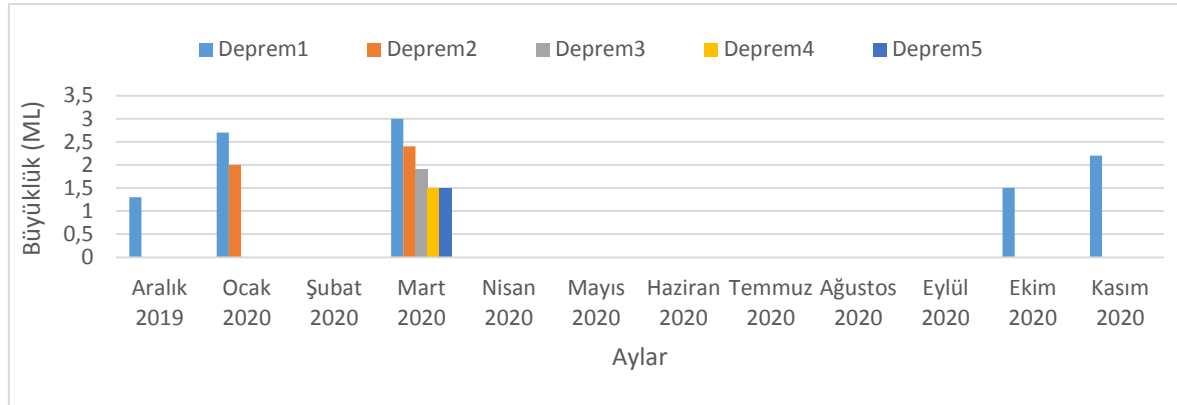
SPSS programı vasıtasıyla Kapıçam istasyonunu çevreleyen 10 km yarıçaplı alanlarda Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında meydana gelen aylık deprem sayıları ile aylara göre topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite ölçüm sonuçlarının korelasyonu incelenmiştir. Bu incelemede; deprem ve radon gazı aktivite ölçüm verilerinin 30'un altında olması sebebiyle non-parametrik testlerden olan spearman korelasyon testi uygulanmıştır. Bu test sonucunda, Kapıçam istasyonundaki toprak ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonlarının aylık olarak deprem sayıları ile olan korelasyon sonuçları elde edilmiştir. Buna göre, aylık deprem sayıları ile topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmakta iken sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Ancak, p değerinin anlamlı ilişki aralığına çok yakın bir değere sahip olması sebebiyle sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlıya yakın bir ilişki olduğu söylenebilir. ($r_{\text{toprak}}=0,58$, $p<0,05$; $r_{\text{su}}=0,57$, $p=0,053>0,05$) .

4.2.2.3. Öksüzlü istasyonundaki radon gazı aktivite değişimlerinin deprem ile ilişkisinin incelenmesi

Öksüzlü istasyonu çevresinde Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında, meydana gelen kayıtlı depremlerin listesi çizelge 4.11’ de verilmektedir. Şekil 4.13’de ise, Öksüzlü istasyonu ve çevresinde Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklükleri ve sayıları verilmektedir.

Çizelge 4.11 Öksüzlü istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremler (URL~22)

No	Oluş tarihi	Oluş zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklik	Tip	Yer
1	10/12/2019	11:03	37,4678	36,9658	3,3	1,3	ML	Kocalar (Kahramanmaraş)
2	24/01/2020	23:12	37,5452	37,0555	5,0	2,7	ML	Yeniyurt (Kahramanmaraş)
3	25/01/2020	21:36	37,4980	37,0230	6,6	2,0	ML	Güzelyurt (kahramanmaraş)
4	16/03/2020	01:24	37,3960	37,0393	9,9	3,0	ML	Abbaslar (Kahramanmaraş)
5	16/03/2020	03:29	37,3748	37,0137	5,4	2,4	ML	Kumçatı-Türkoğlu (Kahramanmaraş)
6	19/03/2020	02:36	37,3915	37,0268	9,7	1,9	ML	Abbaslar (Kahramanmaraş)
7	19/03/2020	11:32	37,4003	37,0375	8,4	1,5	ML	Abbaslar (kahramanmaraş)
8	22/03/2020	23:05	37,3893	37,0370	5,2	1,5	ML	Abbaslar (Kahramanmaraş)
9	27/10/2020	06:38	37,4300	36,9673	2,0	1,5	ML	Öksüzlü (Kahramanmaraş)
10	06/11/2020	06:43	37,4340	37,0052	6,9	2,2	ML	Sivricehüyük (Kahramanmaraş)

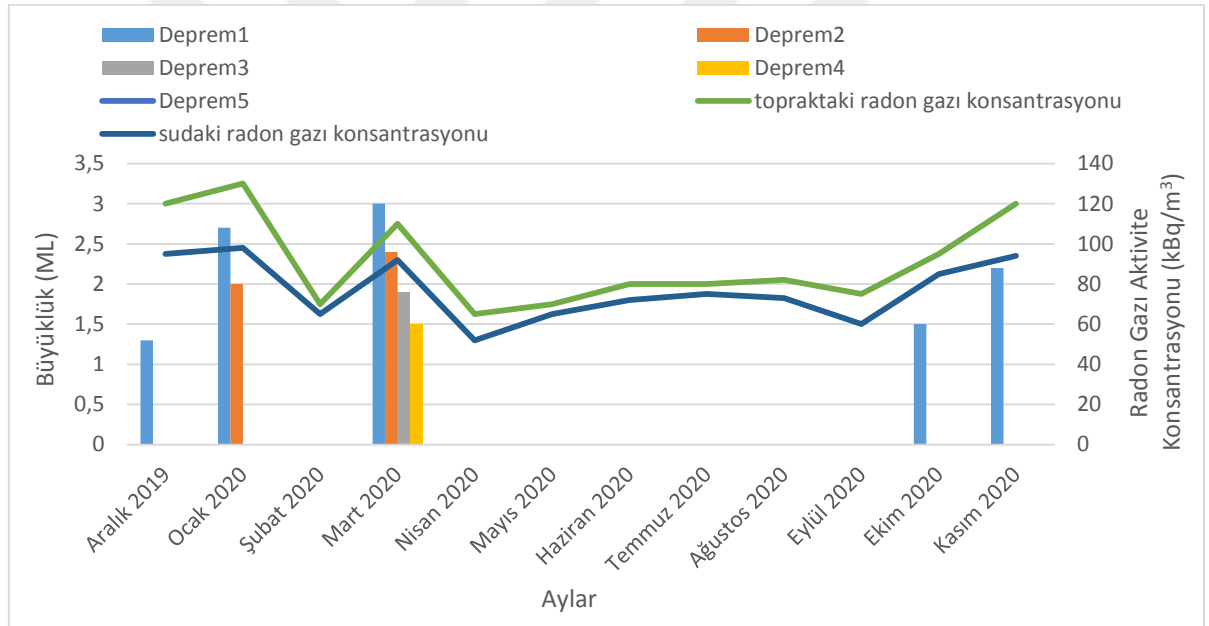


Şekil 4.13 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında Öksüzlü istasyonu ve çevresinde aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları

Çizelge 4.11 ve Şekil 4.15 incelendiğinde; Öksüzlü istasyonunu çevreleyen 10 km yarıçaplı alanda Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında 10 adet deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyüklükleri 1,3 ML ile 3,0 ML arasında değişmektedir. 3,0 ML büyüklüğündeki deprem, 16/03/2020 tarihinde Abbaslar (Kahramanmaraş)’ta saat

01:24'te, 1,3 ML büyüklüğündeki deprem, 10/12/2019 tarihinde Kocalar (Kahramanmaraş) 'ta saat 11:03'te meydana gelmiştir.

Aylara göre depremlerin sayılarına baktığımızda; Aralık 2019'da 1 adet, Ocak 2020'de 1 adet, Şubat 2020'de 1'den büyük kayıtlı bulunmamaktadır, Mart 2020'de 5 adet, 2020 'nin Nisan ve Ekim ayları arasında 1 den büyük kayıtlı deprem bulunmamakta olup, Kasım 2020'de 1 adet deprem bulunmaktadır. Bu kayıtlar, Aralık 2019 ile Ocak 2020 arasında Kapıçam istasyonu ve çevresinde sismik olarak aktif olduğunu, Şubat 2020 'de sismik olarak suskun olduğunu, Bu suskunluk sonrasında Mart 2020'de aktif hale geldiğini ve sonrasında Nisan 2020 ile Ekim 2020 arasında istasyon çevresinde 1 den büyük deprem kaydının olmaması bu tarihler arasında Kapıçam istasyon ve çevresinin sismik olarak faal olmadığını ve 2020 nin Kasım ayında Kapıçam istasyonu ve çevresinin sismik olarak aktif olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.14 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında; Öksüzlü istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları ile topraktaki ve sudaki radon gazı konsantrasyonu değişimleri

Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında aylara göre, Öksüzlü istasyonundaki topraktaki ve sudaki radon gazı ölçümleri ile Öksüzlü istasyonu çevresindeki kayıtlı depremlerin listesini birlikte veren Şekil 4. 14' de ki grafik incelendiğinde; Aralık 2019, Ocak 2020, Mart 2020, Ekim 2020 ve Kasım 2020 tarihlerinde radon gazı ölçümlerinde ani düşüş veya artışların meydana geldiği ve bu tarihlerde depremlerin meydana geldiği görülmektedir.

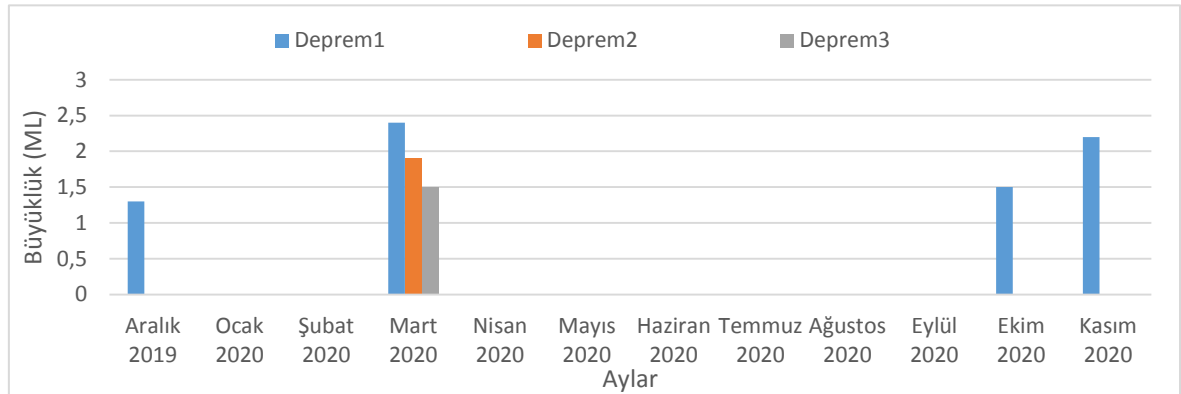
SPSS programı vasıtasıyla Öksüzlü istasyonunu çevreleyen 10 km yarıçaplı alanlarda Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında meydana gelen aylık deprem sayıları ile aylara göre topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite ölçüm sonuçlarının korelasyonu incelenmiştir. Bu incelemede; deprem ve radon gazı aktivite ölçüm verilerinin 30'un altında olması sebebiyle non-parametrik testlerden olan spearman korelasyon testi uygulanmıştır. Bu test sonucunda, Öksüzlü istasyonundaki toprak ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonlarının aylık olarak deprem sayıları ile olan korelasyon sonuçları elde edilmiştir. Buna göre, aylık deprem sayıları ile radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($r_{\text{toprak}}=0,84$, $p<0,05$; $r_{\text{su}}=0,83$, $p<0,05$).

4.2.2.4. Kuyumcular istasyonundaki radon gazı aktivite değişimlerinin deprem ile ilişkisinin incelenmesi

Kuyumcular istasyonu çevresinde Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında, meydana gelen kayıtlı depremlerin listesi çizelge 4.12' de verilmektedir. Şekil 4.15'de ise, Kuyumcular istasyonu ve çevresinde Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklükleri ve sayıları verilmektedir.

Çizelge 4.12 Kuyumcular istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremler (URL~22)

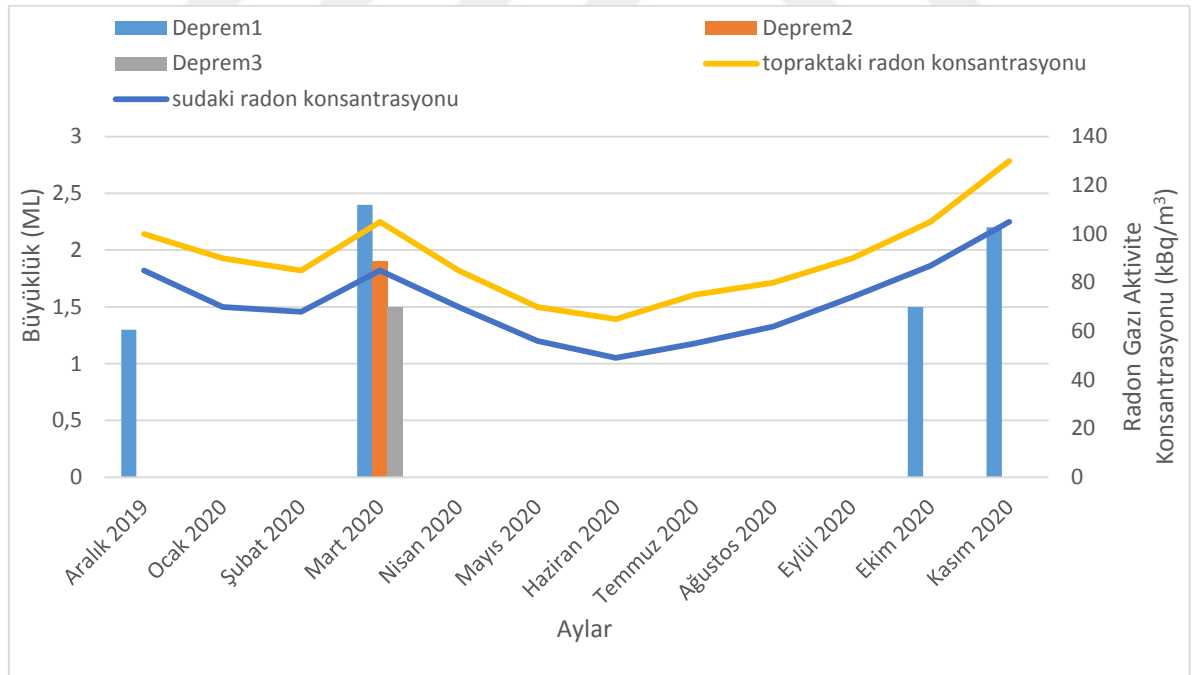
No	Oluş tarihi	Oluş zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklik	Tip	Yer
1	10/12/2019	11:03	37,4678	36,9658	3,3	1,3	ML	KOCALAR (KAHRAMANMARAŞ)
2	16/03/2020	03:29	37,3748	37,0137	5,4	2,4	ML	KUMÇATI-TÜRKOĞLU (KAHRAMANMARAŞ)
3	19/03/2020	11:32	37,4003	37,0375	8,4	1,5	ML	ABBASLAR (KAHRAMANMARAŞ)
4	19/03/2020	02:36	37,3915	37,0268	9,7	1,9	ML	ABBASLAR (KAHRAMANMARAŞ)
5	27/10/2020	06:38	37,4300	36,9673	2,0	1,5	ML	ÖKSÜZLÜ (KAHRAMANMARAŞ)
6	06/11/2020	06:43	37,4340	37,0052	6,9	2,2	ML	SİVRİCEHÜYÜK (KAHRAMANMARAŞ)



Şekil 4.15 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında Kuyumcular istasyonu ve çevresinde aylara göre meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.15 incelendiğinde; Kuyumcular istasyonunu çevreleyen 10 km yarıçaplı alanda Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında 6 adet deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyüklükleri 1,3 ML ile 2,4 ML arasında değişmektedir. 2,4 ML büyüklüğündeki deprem, 16/03/2020 tarihinde Kumçatı-Türkoğlu (Kahramanmaraş)’ta saat 03:29’da, 1,3 ML büyüklüğündeki deprem, 10/12/2019 tarihinde Kocalar (Kahramanmaraş) ‘ta saat 11:03’te meydana gelmiştir.

Aylara göre depremlerin sayılarına baktığımızda; Aralık 2019’da 1 adet, Ocak 2020’de 1 adet, Ocak ve Şubat 2020’de 1’den büyük kayıtlı bulunmamaktadır, Mart 2020’de 3 adet, 2020 ‘nin Nisan ve Ekim ayları arasında 1 den büyük kayıtlı deprem bulunmamakta olup, Kasım 2020’de 1 adet deprem bulunmaktadır. Bu kayıtlar, Aralık 2019’da Kuyumcular istasyonu ve çevresinin sismik olarak aktif olduğunu, Ocak ve Şubat 2020 ‘de sismik olarak suskun olduğunu, bu suskunluk sonrasında Mart 2020’de aktif hale geldiğini ve sonrasında Nisan 2020 ile Ekim 2020 arasında istasyon çevresinde 1 ML’ den büyük deprem kaydının olmaması bu tarihler arasında Kuyumcular istasyonu ve çevresinin sismik olarak faal olmadığını ve 2020 nin Kasım ayında Kuyumcular istasyonu ve çevresinin sismik olarak aktif olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.16 Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında; Kuyumcular istasyonu ve çevresinde meydana gelen depremlerin büyüklük ve sayıları ile topraktaki ve sudaki radon gazı konsantrasyonu değişimleri

Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında aylara göre, Kuyumcular istasyonundaki topraktaki ve sudaki radon gazı ölçümleri ile Kuyumcular istasyonu ve çevresindeki kayıtlı depremlerin listesini birlikte veren Şekil 4. 16'da ki grafik incelendiğinde; Aralık 2019, Mart 2020, Ekim 2020 ve Kasım 2020 tarihlerinde radon gazı ölçümlerinde ani düşüş veya artışların meydana geldiği ve bu tarihlerde depremlerin meydana geldiği görülmektedir.

SPSS programı vasıtasıyla Kuyumcular istasyonunu çevreleyen 10 km yarıçaplı alanlarda Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında meydana gelen aylık deprem sayıları ile aylara göre topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite ölçüm sonuçlarının korelasyonu incelenmiştir. Bu incelemede; deprem ve radon gazı aktivite ölçüm verilerinin 30'un altında olması sebebiyle non-parametrik testlerden olan spearman korelasyon testi uygulanmıştır. Bu test sonucunda, Kuyumcular istasyonundaki toprak ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonlarının aylık olarak deprem sayıları ile olan korelasyon sonuçları elde edilmiştir. Buna göre, aylık deprem sayıları ile radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($r_{\text{toprak}}=0,81$, $p<0,05$; $r_{\text{su}}=0,79$, $p<0,05$).

Dört istasyondaki Aralık 2019 - Kasım 2020 tarihlerini kapsayan bir yıllık topraktaki ve sudaki radon gazı ölçümleri ile kayıtlı depremlerin listesini birlikte veren grafikler incelendiğinde; radon gazı ölçümlerinde bir önceki aya göre ani düşüş veya artışların meydana geldiği tarihlerde genel olarak depremlerin de olduğu söylenebilir. Buradan hareketle, fay hattının aktif olduğu dönemlerde; yer kabuğunda deformasyonlara ve yer kabuğunu oluşturan kayaçlarda kırık ve çatlaklar artmakta difüzyon yoluyla hareket eden radonun bu kırık ve çatlaklardan çıkışını artırdığını düşündürmektedir. Sonuç olarak, radon gazı değişimlerinin depremin önceden tahmin edilmesinde önemli bir parametre olarak değerlendirilebilir.

Ayrıca, her bir istasyondaki radon değişimlerinin birbirinden farklı olmadığı görülmektedir. Değişimlerin farklı olmaması, aynı fay zonunun üzerinde ve sismik aktivitelerinin de aynı olduğu fay zonu segmenti üzerinde istasyonların belirlenmesinden kaynaklanmaktadır (Doğru, 2008).

Dört istasyondaki radon gazının toprak ve sudaki aktivite konsantrasyonlarının aylık olarak deprem sayıları ile olan korelasyon sonuçları incelendiğinde; Çiğli, Öksüzlü ve Kuyumcular istasyonunda aylık deprem sayıları ile radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Kapıçam istasyonda ise, topraktaki radon gazı

aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlı bir ilişki var iken, sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Ancak, her ne kadar sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlı bir ilişki bulunmasa da, p değerinin anlamlı ilişki aralığına çok yakın bir değere sahip olması sebebiyle, sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlıya yakın bir ilişki olduğu söylenebilir.

Bingöl tarafından yapılan benzer çalışmada (Bingöl, 2009); Doğu Anadolu Fayı'nın Gölbaşı-Türkoğlu ve Türkoğlu-Antakya segmentleri üzerinde topraktaki radon gazı değişimleri gözleyebilmek ve sürekli kaynak suyu analizi (Sıcaklık, ph ve iletkenlik) yapmak için üçer adet sürekli sürekli gözlem istasyonu kurulmuştur. Tez süresi boyunca, büyüklükleri 3-4.2 arasında değişen ve kurulan istasyonlara yakın konumda olmaları nedeni ile bu istasyondaki değerleri etkileyebilecekleri düşünülen toplam 43 adet depremin meydana geldiği belirlenmiştir. Bölgede oluşan sarsıntıların küçük ölçekli depremler olmasına rağmen, bu depremlerin oluş zamanlarının, istasyonlardaki radon değerlerinde gözlenen çeşitli salınım ve sapmalarla büyük oranda uyumluluk gösterdiği saptanmıştır. Çalışmamızdaki bulunan sonuçlarla karşılaştırdığımızdan radon gazı değişimleri ile meydana gelen depremler arasındaki ilişkilerde benzer sonuçlar verildiği görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü her ne kadar farklı zamanlarda çalışılmış olursa da, çalışma alanları incelediğinde aynı fay zonunun aynı segmenti üzerinde çalışıldığı görülmektedir.

Şahin tarafından yapılan Sivrice fay zonu üzerinde yapılan bir başka benzer çalışmada (Şahin 2009); toprak radon gazı çıkışlarındaki ani düşüş ve artışların meydana geldiği tarihlerde depremlerin meydana geldiği rapor edilmiştir. Çalışmamızla karşılaştırdığımızda, benzer sonuçlar olduğu görülmektedir. Radon gazının aktivite konsantrasyonlarında meydana gelen değişimler literatürde söylendiği gibi depremin ön habercisi olabilir.

Günay tarafından yapılan benzer çalışmada (Günay, 2016); Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde bazı illerde yapılan bir çalışmadır. Bu çalışmada 21 tane istasyon belirlenerek 1 yıllık dönemde aylık olarak ölçümler alınmıştır. Bazı depremler öncesinde radon gazlarında değişimler olduğu bildirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, fay hattına uzaklık azaldıkça ölçülen radon konsantrasyonunun arttığı bildirilmiştir. Sürekli ölçüm yöntemi ile yapılmayan bir çalışma olduğu için depremin önceden tahmin edilmesi doğru olmayacağı

söylenmektedir. Çalışmamızla bu çalışmayı karşılaştırdığımızda, benzer olarak depremlerin meydana geldiği aylarda radon aktivite konsantrasyonların da artış meydana geldiği söylenebilir. Bu çalışmadaki zenginlik olarak meteorolojik faktörlerin radon aktivite ölçüm sonuçları arasındaki korelasyonu söyleyebiliriz. Bizim çalışmamızda ki zenginlik olarak ise, 15 dakikada bir Durrige Rad7 dedektörü ile aylık olarak ölçüm almamızı söyleyebiliriz. Her ne kadar sürekli olarak bir ölçüm olmasa da deprem ile ilişkisinin incelenmesi açısından bu çalışmaya kıyasla daha anlamlı sonuçlar verdiği söylenebilir.

Sandıkçioğlu tarafından yapılan çalışmada (Sandıkçioğlu, 2011); Akşehir fay hattı üzerinde bulunan 15 farklı derin su kaynağından hafta aşırı periyotlarla toplam 27 kez numune alınmıştır. Alınan numunelerin radon konsantrasyonları ile deprem arasındaki ilişki incelenerek doğrusal uyum içerisinde bulunan örnekler tespit edilmiştir. Bu çalışma ile çalışmamızı karşılaştırdığımızda; benzer bir sonuç olarak kaynak sularındaki ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerlerinin deprem hareketleri ile ilişkili olarak değişebileceği görülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu bölümde, tez çalışmasında elde edilen sonuçlar olabildiğince öz açık bir şekilde verilmiştir. Aynı zamanda çalışma ile ilgili olduğu düşünülen konuları da dikkate alarak sonraki çalışmalara yol gösterici olması açısından “öneriler” bu bölüme yazılmıştır.

5.1. Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

Doğu Anadolu Fay Zonu uzanımında bulunan Gölbaşı (Adıyaman)-Türkoğlu (Kahramanmaraş) segmenti üzerinde belirlenen istasyonlardan yaz ve kış mevsiminde 4'er adet olmak üzere toplam 8 adet toprak örneği alınmıştır. Bu toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite değerleri ile birlikte, toprak örneklerinin içerdikleri doğal radyoaktif çekirdek konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu ölçümlerde ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktif serilerinin doğada en çok bulunan elemanlarının ve ^{40}K radyoizotopunun aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

Yaz mevsiminde toprak örneklerinin, toplam alfa radyoaktivite seviyeleri 231 ± 16 Bq/kg ile 305 ± 15 Bq/kg değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise 25 ± 3 Bq/kg ile 50 ± 4 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir. En yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin 305 ± 15 Bq/kg değeri ile Kuyumcular Köyü örneğinde, en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise 231 ± 16 Bq/kg değeri ile Çiğli Mah. örneğinde tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra; en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi 50 ± 4 Bq/kg değeri ile Kuyumcular köyü örneğinde, en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi ise 25 ± 3 Bq/kg değeri ile Çiğli mahallesi örneğinde tespit edilmiştir.

Kış mevsiminde toprak örneklerinin, toplam alfa radyoaktivite seviyeleri 181 ± 15 Bq/kg ile 255 ± 15 Bq/kg değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise 20 ± 3 Bq/kg ile 45 ± 4 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir. En yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin 255 ± 15 Bq/kg değeri ile Kuyumcular Köyü örneğinde, en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise 181 ± 16 Bq/kg değeri ile Çiğli Mah. örneğinde tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra; en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi 45 ± 4 Bq/kg değeri ile Kuyumcular köyü örneğinde, en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi ise 20 ± 3 Bq/kg değeri ile Çiğli mahallesi örneğinde tespit edilmiştir.

Örneklerin tamamı birbirleri ile karşılaştırıldığında, Çiğli Mah., Kapıçam Mah. ve Öksüzlü Mah. toprak örneklerinin radyoaktivite seviyeleri birbirlerine çok yakındır. 4 numaralı örnek olan Kuyumcular köyü toprak örneğinin radyoaktivite seviyesi diğer üçünden çok fazla olmasa da biraz farklı ve diğerlerinden yüksektir. Bütün örneklerdeki toplam alfa değerleri toplam beta değerlerinde yüksektir. İstasyonların fay hattı üzerinde olması sebebiyle ve bölgenin jeolojik durumu birlikte değerlendirildiğinde, toplam alfa radyoaktivitesinin yüksek olması beklenen bir durumdur. Çünkü çalışma alanı jeolojik yapısı Kuvaterner dönemine ait ayrılmamış Kuvaterner ve Orta Triyas-Kretase dönemlerine ait pelajik kireç taşı, radyolarit, çorit, kırıntılar, volkanit vb. yer yer ofiyolit dilimler içeren sediment kayalardan oluşur. Bu kayaç türleri alfa parçacıklarını absorbe özelliğine sahiptir (Şahin, 2009). Mevsimsel olarak toprak örneklerinin radyoaktivite değerleri incelendiğinde; yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin radyoaktivite seviyeleri kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin radyoaktivite seviyelerinden daha yüksektir. Bunun sebebi; kışın yağış ile birlikte toprağın suya doyması ve topraktaki kireç oranının azalması olabilir.

Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin ^{218}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları incelendiğinde; en düşük ^{238}U konsantrasyonunun 113 ± 15 Bq/kg değeri ile Çiğli Mah. örneğinde, en yüksek ^{238}U konsantrasyonunun ise 142 ± 30 Bq/kg değeri ile Kuyumcular Köyü örneğinde; en düşük ^{232}Th konsantrasyonu 77 ± 9 Bq/kg ile Çiğli Mahallesi örneğinde, en yüksek ^{232}Th konsantrasyonunun 98 ± 15 Bq/kg ile Kuyumcular köyü örneğinde olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, en düşük ^{40}K konsantrasyon değeri $418,0\pm 38$ Bq/kg ile Çiğli mahalleleri örneğinde, en yüksek ^{40}K konsantrasyon değeri 612 ± 52 Bq/kg ile Kuyumcular köyü örneğindedir.

Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin ^{218}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları incelendiğinde; en düşük ^{238}U konsantrasyonunun 93 ± 13 Bq/kg değeri ile Çiğli Mah. örneğinde, en yüksek ^{238}U konsantrasyonunun ise 122 ± 17 Bq/kg değeri ile Kuyumcular Köyü örneğinde; en düşük ^{232}Th konsantrasyonu 57 ± 5 Bq/kg ile Çiğli mahallesi örneğinde, en yüksek ^{232}Th konsantrasyonu 88 ± 8 Bq/kg ile Kuyumcular köyü örneğinde olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, en düşük ^{40}K konsantrasyon değeri 375 ± 25 Bq/kg ile Çiğli mahallesi örneğinde, en yüksek ^{40}K konsantrasyon değeri 609 ± 35 Bq/kg ile Kuyumcular köyü örneğindedir.

Topraktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması sırası ile 25 Bq/kg, 25 Bq/kg ve 370 Bq/kg olarak verilmektedir (Liden ve Holm, 1985).

Toprak örneklerinde yaz ve kış mevsiminde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları bu değerler ile karşılaştırıldığında; dünya ortalamasının üzerinde olduğu anlaşılmıştır. Bunun sebebi olarak belirlenen istasyonların ana fay hattı üzerinde olması ve toprak yapısından kaynaklanabileceği sunucuna ulaşılmıştır.

Toprak örneklerinin ^{238}U konsantrasyon değerlerinin ^{232}Th konsantrasyonuna nazaran daha yüksek değere sahip olmasının temel sebebi, örneklerin çok derinliklerden alınamamasından olabileceği ve yapılan bilimsel çalışmalarda toprağın üst kısmının toryumdan ziyade daha fazla uranyum konsantrasyonuna sahip olduğu rapor edilmiştir (Hansen ve Stout, 1968). Mevsimsel olarak değişimler incelendiğinde; kış mevsiminde yaz mevsimine oranla bir miktar ölçülen değerlerde azalma görülmektedir. Bunun sebebi kışın yağmur ve diğer hava olayları ile birlikte toprağın kireç bakımından bir miktar arınması olabilir.

5.2. Topraktaki ve Sudaki Radon Gazı Aktivite Konsantrasyonları

Belirlenen dört istasyondan aylık olarak Aralık 2019 ile Kasım 2020 tarihleri arasında bir yıl boyunca topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ve yine bu istasyonların yakınlardaki kuyu sularından aylık olarak alınan su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

Çiğli istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları incelendiğinde, toprak örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları $122\pm 12 \text{ kBq/m}^3$ ile $70\pm 7 \text{ kBq/m}^3$ değerleri arasında değişmekte olduğu; su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise $50\pm 5 \text{ kBq/m}^3$ ile $105\pm 10 \text{ kBq/m}^3$ arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Topraktaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu $122\pm 12 \text{ kBq/m}^3$ ile 15/12/2019 tarihinde ölçülür iken, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonu ise $70\pm 7 \text{ kBq/m}^3$ değeri ile 15/07/2020 tarihinde ölçülmüştür. Sudaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu $105\pm 10 \text{ kBq/m}^3$ ile 15/04/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçülür iken, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonu ise $50\pm 5 \text{ kBq/m}^3$ ile 15/07/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçülmüştür.

Kapıçam istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları incelendiğinde, toprak örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları $120\pm 11 \text{ kBq/m}^3$ ile $45\pm 4 \text{ kBq/m}^3$ değerleri arasında değişmekte olduğu, su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise $95\pm 9 \text{ kBq/m}^3$ ile $35\pm 3 \text{ kBq/m}^3$ arasında

değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Topraktaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 120 ± 11 kBq/m³ ile 15/11/2020 tarihinde ölçülür iken, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonu ise 45 ± 4 kBq/m³ değeri ile 15/05/2020 tarihinde ölçülmüştür. Sudaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 95 ± 9 kBq/m³ ile 15/11/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçülür iken, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise 35 ± 3 kBq/m³ ile 15/05/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçülmüştür.

Öksüzlü istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları incelendiğinde, toprak örneklerin radon gazı aktivite konsantrasyonları 130 ± 13 kBq/m³ ile 65 ± 6 kBq/m³ değerleri arasında değişmekte olduğu, su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise 98 ± 10 kBq/m³ ile 52 ± 5 kBq/m³ arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Topraktaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 130 ± 13 kBq/m³ ile 15/01/2020 tarihinde ölçülür iken, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonu ise 65 ± 6 kBq/m³ değeri ile 15/04/2020 tarihinde ölçülmüştür. Sudaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 98 ± 10 kBq/m³ ile 15/01/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçülür iken, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise 52 ± 5 kBq/m³ ile 15/04/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçülmüştür.

Kuyumcular istasyonundaki toprak ve su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonları incelendiğinde, toprak örneklerin radon gazı aktivite konsantrasyonları 65 ± 6 kBq/m³ ile 130 ± 13 kBq/m³ değerleri arasında değişmekte olduğu, su örneklerinin radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise 55 ± 5 kBq/m³ ile 105 ± 10 kBq/m³ arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Topraktaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 130 ± 13 kBq/m³ ile 15/11/2020 tarihinde ölçülür iken, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonu ise 65 ± 6 kBq/m³ değeri ile 15/06/2020 tarihinde ölçülmüştür. Sudaki en yüksek radon gazı aktivite konsantrasyonu 105 ± 10 kBq/m³ ile 15/11/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçülür iken, en düşük radon gazı aktivite konsantrasyonunun ise 55 ± 5 kBq/m³ ile 15/07/2020 tarihinde alınan su örneğinde ölçülmüştür.

Dört istasyondan alınan aylık su örneklerinde radon gazı aktivite konsantrasyon değerleri, U.S Environmental Protection Agency (EPA)'nın 1991'de içme sularında izin verilebilir üst sınırı olan 11 Bq/L'nin üzerinde olduğu görülmekte iken, yine USEPA tarafından 1999 yılından önerilen 150 Bq/L'nin altında olduğu görülmektedir. Dört istasyondan alınan aylık su örneklerinin tamamının (EU, 2001b) de önerilen 1000 Bq/L'den de aşağıda olduğu görülmektedir. Aylık alınan su örneklerinin radon aktivite konsantrasyonunu (EU, 2001a) ve (WHO, 2011) tarafından önerilen 100 Bq/L ile

karşılaştırdığımızda, 15/04/2020 tarihinde Çiğli istasyonunda ölçülen 105 ± 10 kBq/m³ değeri ve 15/11/2020 tarihinde Kuyumcular istasyonunda ölçülen 105 ± 10 kBq/m³ değeri dışında diğer ölçülen tüm değerlerin tamamı 100Bq/L'nin altında olduğu görülmektedir. Bir başka kuruluş olan UNSCEAR tarafından 2008'de önerilen 4-40 Bq/L ile aylık alınan su örneklerinin radon aktivite konsantrasyonları karşılaştırıldığında ise, 15/05/2020 tarihinde Kapıçam istasyonunda ölçülen 35 ± 3 kBq/m³ değer dışındaki tüm sonuçlar önerilen sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, su örneklerinde ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerlerinin özellikle 11 Bq/L den büyük olmasının sebebi, su örneklerinin alındığı kuyuların jeolojik olarak bulunduğu bölgelerin fay hattı üzerinde olması nedeniyle olabilir.

İstasyonlarda suda ki ortalama radon aktivite konsantrasyonlarına bakıldığında, Çiğli'de 80 kBq/m³, Kapıçam 'da 62,67 kBq/m³, Öksüzlerde 77,17 kBq/m³ ve Kuyumcular 'da ise, 72,17 kBq/m³ olarak tespit edilmiştir. Burada en yüksek sularda ortalama radon aktivite değeri Çiğli istasyonunda belirlenir iken, en düşük Kapıçam istasyonunda belirlenmiştir. Bu değerler uluslararası kuruluşların belirlendiği sınırlarla karşılaştırıldığında, istasyonların tamamındaki sulardaki ortalama radon aktivite değeri, USEPA'nın 1991 de tavsiye ettiği 11 Bq/L ve UNSCEAR'ın 2008'de önerdiği 4-40 Bq/L'nin üzerinde olduğu görülmekte iken, USEPA'nın 1999 yılında önerdiği 150 Bq/L'nin altında olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, istasyonların tamamındaki sulardaki ortalama radon aktivite değeri, (EU, 2001a), (EU, 2001b) ve (WHO, 2011) tarafından önerilen 100 Bq/L ve 1000 Bq/L'den aşağıda olduğu görülmektedir.

Dört istasyonda ki aylık olarak ölçülen toprakta ki radon aktivite konsantrasyon değerleri, kapalı ortamlarda TAEK tarafından önerilen 400 Bq/m³ ve 1000 Bq/m³ ile karşılaştırıldığında, aylık ölçülen radon aktivite konsantrasyonlarının tavsiye edilen değerlerin çok üstünde olduğu görülmektedir. İstasyonlarda topraktaki ortalama radon aktivite konsantrasyonları, Çiğli'de 96,83 kBq/m³, Kapıçam 'da 77,92 kBq/m³, Öksüzler 'de 91,42 kBq/m³ ve Kuyumcular' da ise, 90 kBq/m³ olarak tespit edilmiştir. Burada, toprakta en yüksek ortalama radon aktivite değeri Çiğli istasyonunda belirlenirken, en düşük Kapıçam istasyonunda belirlenmiştir. Bu ortalama radon aktivite değerleri de TAEK tarafından önerilen değerlerin çok üstündedir. Bu durum çalışma alanının fay hattı üzerinde olması sebebiyle olabileceği yüksek ihtimaldir.

Dört istasyondaki toprak ve su örneklerinde radon yayılımlarının aylık olarak değişimlerinin genelde paralel olduğu görülmektedir. Bu durum, toprak ve su örneklerinin

alındığı bölgenin jeolojik oluşumlarının aynı olması sebebiyle olduğunu düşündürmektedir.

İstasyonların tamamındaki toprak ve su örneklerindeki aylık olarak ölçülen değerler incelendiğinde; yağışların yoğun bir şekilde oluşup toprağın suya doyması durumunda, ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonları düşmektedir. Ancak, havaların ısınması ve toprağın kuruyarak çatlaması ve gözeneklerinin açılması sonucunda, ölçülen radon gazı aktivite konsantrasyonu artmaktadır. Bu durum, sonuçların literatür ile uyumlu olduğunu ve sonuçların doğru olduğunu söylemektedir. Çünkü, toprakta depo edilen suyun miktarı azaldıkça ölçülen radon aktivite konsantrasyonu artmaktadır (Turk ve ark, 1996).

5.3. Radon Gazı Aktivite Değişimlerinin Deprem ile İlişkisi

Belirlenen istasyonları çevreleyen 10 km yarıçaplı alanlarda, Aralık 2019 ile Kasım 2020 yılları arasında, büyüklükleri $1 \leq ML \leq 9$ arasında olmak üzere meydana gelmiş kayıtlı depremlerin listesi kandilli rasathanesinden alınmıştır. Daha sonra, SPSS programı vasıtasıyla her bir istasyon ve çevresinde meydana gelen aylık deprem sayıları ile aylara göre topraktaki ve sudaki radon gazı aktivite ölçüm sonuçlarının korelasyonu incelenmiştir. Bu incelemede; deprem ve radon gazı aktivite ölçüm verilerinin 30'un altında olması sebebiyle non-parametrik testlerden olan spearman korelasyon testi uygulanmıştır (Can, 2018).

Çiğli istasyonundaki toprak ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonlarının aylık olarak deprem sayıları ile olan korelasyon sonuçlarına göre, aylık deprem sayıları ile radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($r_{\text{toprak}}=0,73$, $p<0,05$; $r_{\text{su}}=0,69$, $p<0,05$).

Kapıçam istasyonundaki toprak ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonlarının aylık olarak deprem sayıları ile olan korelasyon sonuçlarına göre, aylık deprem sayıları ile topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmakta iken, sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Ancak, p değerinin anlamlı ilişki aralığına çok yakın bir değere sahip olması sebebiyle sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlıya yakın bir ilişki olduğu söylenebilir ($r_{\text{toprak}}=0,58$, $p<0,05$; $r_{\text{su}}=0,57$, $p=0,053>0,05$).

Öksüzlü istasyonundaki toprak ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonlarının aylık olarak deprem sayıları ile olan korelasyon sonuçlarına göre, aylık deprem sayıları ile radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($r_{\text{toprak}}=0,84$, $p<0,05$; $r_{\text{su}}=0,83$, $p<0,05$).

Kuyumcular istasyonundaki toprak ve sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonlarının aylık olarak deprem sayıları ile olan korelasyon sonuçlarına göre, aylık deprem sayıları ile radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($r_{\text{toprak}}=0,81$, $p<0,05$; $r_{\text{su}}=0,79$, $p<0,05$).

Dört istasyondaki radon gazının toprak ve sudaki aktivite konsantrasyonlarının aylık olarak deprem sayıları ile olan korelasyon sonuçları incelendiğinde; Çiğli, Öksüzlü ve Kuyumcular istasyonunda aylık deprem sayıları ile radon gazı aktivite konsantrasyonları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Kapıçam istasyonda ise, topraktaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlı bir ilişki var iken, sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Ancak, her ne kadar sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlı bir ilişki bulunmasa da, p değerinin anlamlı ilişki aralığına çok yakın bir değere sahip olması sebebiyle, sudaki radon gazı aktivite konsantrasyonları ile aylık deprem sayıları arasında anlamlıya yakın bir ilişki olduğu söylenebilir.

Dört istasyondaki Aralık 2019-Kasım 2020 tarihlerini kapsayan bir yıllık topraktaki ve sudaki radon gazı ölçümleri ile kayıtlı depremlerin listesini birlikte veren grafikler incelendiğinde; aylık olarak ölçülen radon gazı ölçümlerinde bir önceki aya göre ani düşüş veya artışların meydana geldiği tarihlerde, genel olarak depremlerin de olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, fay hattının aktif olduğu dönemlerde; yer kabuğunda deformasyonlara ve yer kabuğunu oluşturan kayaçlarda kırık ve çatlaklar artmakta ve sonuç olarak da difüzyon yoluyla hareket eden radonun bu kırık ve çatlaklardan çıkışını artırdığını düşündürmektedir. Sonuç olarak, radon gazı değişimlerinin depremin önceden tahmin edilmesinde önemli bir parametre olarak değerlendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Ayrıca, her bir istasyondaki radon değişimlerinin birbirinden farklı olmadığı görülmektedir. Değişimlerin farklı olmaması, aynı fay zonunun üzerinde ve sismik

aktivitelerinin de aynı olduğu fay zonü segmenti üzerinde istasyonların belirlenmesinden kaynaklanmaktadır (Doğru, 2008).

Yukarıda belirtildiği üzere, toprak örneklerinde belirlenen radyoaktivite seviyelerinin, aynı zamanda toprak ve su örneklerindeki radon gazı aktivite değlerlerinin, standartlardan yüksek olması burada yaşayan halkın sağlığı ile ilgili riskli bir durum olabileceğini düşündürmektedir. Bu düşüncenin doğruluğunu saptayabilmek için bu bölgede tıbbi olarak araştırma yapılması gerekmektedir.

Tüm bu sonuçlardan anlaşıyor ki; doğal radyasyona maruz kalmadan yaşamak mümkün değil, fakat doğal radyasyon ile kuşatılmış olmamız çok büyük riskler içerisinde olmamız anlamına da gelmemektedir. İnsanların yaşam ortamları ve beslenme alışkanlıkları maruz kalacakları dozu belirleyecektir. İnsan vücudunun nasıl ki doğada bulunan tüm elementlere ihtiyacı varsa belirli dozlarda doğal radyasyona da ihtiyacı vardır. İnsanoğlu, yaşadığı çevrede, özellikle zamanının çoğunu geçirdiği ev ve işyerlerinde iyi bir havalandırma sağlayarak bulunduğu ortamdaki soluyacağı radon miktarını azaltabilir, kullandığı içme sularının filtrelenmesini sağlayarak su içerisindeki radyonüklidlerin vücuda alınmasını engelleyebilir.

Bu çalışmanın devamı olması açısından yapılabilecek çalışmalar kısaca şu şekilde sıralanabilir: Yeni istasyonlar belirlenerek fay zonü boyunca çalışma alanları genişletilebilir. Ayrıca sürekli ölçüm yapmak için farklı bir yöntem kullanılması depremlerin tahmini açısından daha iyi olacaktır. Fay zonü üzerinde su örneklerinin de, toplam alfa ve beta ile radyonüklid konsantrasyonlarının seviyeleri tespit edilmelidir. Radon gazı ölçümlerini kapalı ortamlarda, özellikle insanların yaşamlarının en çok geçirdiği yerler belirlenerek o yerlerde yapılabilir. Kahramanmaraş şehrinin bütün bölgelerinde topraktaki radon gazı seviyesi belirlenerek şehrin radon haritası çıkarılabilir. Bu harita doğrultusunda şehir planlaması yapılmalıdır. Evler yapılmadan önce topraktaki radon miktarları ölçülmelidir ve gerekli önlemler alınmalıdır. Havadaki gama ölçümleri yapılmalıdır. Fay zonü çevresinde yetişen meyve ve sebze örneklerinde radyoaktivite seviyesi belirlenebilir. Ayrıca fay zonuna yakın bölgede yaşayan insanların istatistiki olarak kanser vakalarını analiz edecek çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Akyıldırım, H., (2005). *Isparta İlinde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 99s.
- Alekseev V.A., Alekseeva N.G, Jchankuliev J. (1995). On relation between fluxes of metals in waters and radon in Turkmenistan region of seismic activity 43-45p.
- Alıç, H., (2014). *Kahramanmaraş ilinden alınan toprak, sebze ve meyve örneklerinde radon gazı ölçümü*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 58s.
- Ambraseys, N.N., (1989). Temporary seismic, quiescence: SE Turkey, Geoph. J., 96, 311-331.
- Anderson, H.L., (1989). A Physicist's Desk Reference. American Institute of Physics, New York.
- Arpat, E., (1971). 22 Mayıs, 1971 Bingöl Depremi-Ön Rapor, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi-Kütüphane.
- Arpat, E., Şaroğlu, F., (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler, MTA Dergisi, 78, 44-50.
- Arpat, E., Şaroğlu, F., (1975). Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar, TJK Bülteni, 18/1, 91-101.
- Asada T. (1982). "Earthquake prediction techniques and their application in Japan," University of Tokyo Press (Ed: Asada, T.), Tokyo.
- Aydın, M.F., (2016). *Adıyaman şehir merkezinin doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi*. Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 152s.
- Barka, A., Kadinsky-Cade, K., (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, Tectonics, 7, 3, 663-684.
- Baykara, O., (2005). *Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay hatlarının kesişim bölgesindeki doğal radyoaktivite tayini*. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 82s.
- Bichard, G.F. ve Libby, W.F. (1980). "Soil Radon Concentration Changes Preceding and Following Four Magnitude 4,2-4,7 Earthquakes on the San Jacinto Fault in Southern California," J. Geophys. Res., 85, 3100-3106.
- Bingöl, S., (2009). *Kahramanmaraş civarının depremselliğine ilişkin jeokimyasal parametrelerin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisan Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 66s.

- Bolt, B.A., (1993). Earthquake and Geological Discovery, W.H. Freeman and Company, New York, 182-191.
- Can, A. (2018). SPSS ile bilimsel araştırma sürecinde nicel veri analizi. *Pegem Atıf İndeksi*, 001-429.
- Canbazoğlu, C., (2004). *Elazığ yöresinde doğal radyoaktivite tayini*. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 143s.
- Canberra Industries Inc., (1997). Product Catalog. Ed. Ten, Meriden, Connecticut 06450, USA.
- Çam, H., (2011). *Kahramanmaraş sır baraj göletinde doğal radyoaktivitenin belirlenmesi ve elemental analiz*. Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 129s.
- ÇED, (2006), (2013). Kahramanmaraş ili Çevre Durum Raporu, Kahramanmaraş Valiliği il ve Çevre Orman Müdürlüğü, Kahramanmaraş.
- Değerlier, M., (2007). *Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması*. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana. 175s.
- Dobrzyński, L., Fornalski, K. W., & Reszczyńska, J. (2018). Meta-analysis of thirty-two case-control and two ecological radon studies of lung cancer. *Journal of radiation research*, 59(2), 149-163.
- Doğru, M., vd., 2008, Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) Üzerinde Radon Gazı Hareketlerinin İzlenmesi, TÜBİTAK Projesi, Fırat Üniversitesi, Proje No: 104Y158.
- Dubinchuk, V.T., (1993). Radon as a precursor of earthquakes, isotopic and geochemical precursors of earthquakes and volcanic eruptions IAEA TECDOC-726.
- Durrige Radon Instruments, “RAD7 radon ölçüm sistemi”, http://www.durrige.com/products_rad7.shtml, (Erişim tarihi: 9 Eylül 2021).
- EU, (2001a). European Union commission’s recommendation of 20 December 2001 on the protection of the public against exposure to radon in drinking water, 2001/982/Euratom (notified under document number C (2001) 4580). Retrieved from http://eurpa.eu.int/comm/energy/nuclear/radioprotection/doc.legislation/019280_en.pdf.
- EU, (2001b). European Union commission recommendation on the protection of the public against exposure to radon in drinking water supplies. Official Journal of the European Community, 344, 85–88.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1999, Earthquakes, Natural Science Teachers Associations, 159 p. ABD.

- 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.
- Fleischer, R.L. ve Mogro-Campero, A. (1980). "Techniques and Principles for Mapping of Integrated Radon Emanation Within the Earth," In The natural Radiation Environment III. Symposium Proceedings, Houston, TX, 23-28 April (ED: Gesell F.F ve Lowder W.M.), Rep. CONF-780422, U.S. Dept. Of Energy, Washington, D.C., 1, 57-71.
- Gascoyne, M., (1982). Geochemistry of the actinides and their daughters, In: M. Ivanovich and R.S. Harmon (ed.), Uranium Series Disequilibrium: Applications to Environmental Problems, Oxford University Press, Oxford.
- Gülen, L., Barka, A., Toksöz, M.N., (1987). Continental collision and related complex deformation: Maraş triple junction and surrounding structures, SE Turkey, Yerbilimleri, 14, 319-336.
- Gümbür, S., (2014). *Kahramanmaraş ilinde su örneklerinde radon gazı ölçümü*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 64s.
- Günay, O., (2016). *Batı Marmara Bölgesi'nde toprak gazı radon konsantrasyon değişimleri ile yer kabuğu hareketleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi*. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 192s.
- Hansen, R.O. and Huntington, G.L., (1969). Thorium movements in morainal soils of the high Sierra, California, Soil Sci., 108, 257-265.
- Hansen, R.O. and Stout, P.R., (1968). Isotopic distribution of uranium in soils, Soil Sci., 105, 44-50.
- Hempton, M. R., Dewey, J. F., Şaroğlu, F., (1981). The East Anatolian Transform Fault: along strike variations in geometry and behaviour, EOS Transac, 62, 393.
- Herece, E., Akay, E., (1992). Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı, Türkiye 9. Petrol Kongresi Bildirileri, 361-372 15.
- Hirota, U., Moriuchi, H., Takemura, Y., Tsuchida, H., Fujii, I., Nakamura, M. (1988). Anomalously high radon discharge from the Atotsugawa fault prior to the western Nagano Prefecture earthquake (m 6.8) of September 14, 1984. Tectonophysics 152 No 1-2, 147- 152p.
- IAEA , (1996). International Atomic Energy Agency, "Radiation Safety", IAEA Division of Public Information, 96-00725, IAEA/PI/A47E.
- Igarashi, G., Saeki, S., Takahata, N., Sumikawa, K., Tasaka, S., Sasaki, Y., Takahashi, M., Sano, Y. (1995). "Ground-water radon anomaly before the Kobe earthquake in Japan," Science, 269, 60-61.

- İçhedef, M., (2011). Radon Difüzyon Hızının Farklı Büyük Toprak Gruplarına Göre Değişimlerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 123.
- İnan, S., Akgül, T., Seyis, C., Saatçılar, R., Baykut, S., Ergintav, S., Bas, M., (2008). Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): A search for precursors of seismic activity, J. Geophysical Res., 113, 1-15.
- İnce, Y. (2016), Kahramanmaraş ve çevresinin olasılıksal sismik tehlike analizi, Yüksek Lisan Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 34s.
- İnceöz, M., Baykara, O., Aksoy, E., Doğru, M. (2006), "Measurements of soil gas radon in active fault systems: A case study along the North and East anatolian fault systems in Turkey," Radiation Measurements, 41, 349-353.
- İnceöz, M., Baykara, O., Aksoy, E. and Doğru, M., (2006). Measurements of soil gas radon in active fault systems: A case study along the North and East anatolian fault systems in Turkey, Radiation Measurements, 41, 349-353.
- Jackson, J. and Mckenzie, D., (1984). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between Western Turkey and Pakistan Geoph. J.R. astr. Soc., 77, 185-264.
- Kara, Z., (2019). *Kahramanmaraş bölgesinde ofiyolitik topluluğun farklı kesimlerini temsil eden kayaçlar ile üzerinde oluşan toprakların asbest mineral içeriklerinin ve jeokimyasal özelliklerinin araştırılması*. Doktora Tezi. Kahramanmaraş sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 223s.
- Karabacak, V., (2007). *Ölü Deniz Fay Zonu Kuzey Kesiminin Kuvaterner Aktivitesi*. Doktora Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir. 286 s.
- Karabacak, V., Altunel, E., Akyüz, S., Meghraoui, M. and Yalçiner, Ç., (2007). Holocene activity of the northern part of the Dead Sea Fault Zone in Southern Turkey, EGU General Assembly 2007, Vienna, Austria, 15 – 20 April 2007.
- Karabacak, V., Altunel, E., Meghraoui, M., Akyüz, H. S., (2010). Field evidences from northern Dead Sea Fault Zone (South Turkey): New findings for the initiation age and slip rate, Tectonophysics 480 (2010) 172-182.
- Karahan, G., (1997). *İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri*. Doktora Tezi. İstanbul. 118s.
- Khan, H. A. ve Qureshi, A. A. (1994). "Solid State Nuclear Track Detection: A Useful Geological / Geophysical Tool," ucl. Geophys., 8, 1-37.
- Kıss, J.J., Dejong, E. and Bettany, J.R., (1988). The distribution of natural radionuclides in native soils of southern Saskatchewan, Canada, J. Environ. Qual., 17, 437-444.
- King, C.Y. (1978). "Radon Emanation on San Andreas Fault," nature Vol., 271, 516-519.

- King, C.Y. (1980). "Episodic Radon Changes in Subsurface Soil Gas Along Active Faults and Possible Relation to Earthquakes," J. Geophys. Res., 85, 3065-3078.
- King, C.Y., King, B.S. and Evans, W.S., (1996). Spatial Radon Anomalies on Active Faults in California, Applied Geochemistry, 11:497-510pp.
- Knoll, G.F., (1979). Radiation Detection and Measurement. John Wiley and Sons, New York.
- Kulalı, F., (2009). *Topraktaki radon konsantrasyonu ölçümü ve deprem ilişkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 67s.
- Küçükönder, E., (2009). *Kahramanmaraş yöresinde doğal radyoaktivitenin tayini*. Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 69s.
- Külahcı, F., (2005). *Keban baraj gölü uluova kesiminin doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi*. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 124s.
- Leo, W.R., (1987). Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Levy, M., Salvadori, M., (1995). Deprem Kuşağı, Doğan Kitapçılık A.ş., İstanbul
- Liden, K. and Holm, E., (1985). Measurement and Dosimetry of Radioactivity in the Environment, in the Dosimetry of Ionizing Radiation, Vol. 1, K.R. Kase, B.E. Bjarngard and F.H. Attix, eds., Academic Press, Orlando.
- Littlemore Scientific Engineering (ELSEC), (1994). 7286 Low Level Alpha Counter User Manual. Railway Lane, Littlemore, Oxford OX4 4PZ, UK.
- Lowder, W. M., Sobon, L. R., (1956). Background Radiation, Rep. NYO- 4712,USAEC, D.C., Washington.
- Lyberis, N., Tekin, Y., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E., Gündoğdu, N., (1992). The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt, Tectonophysics, 204, 115
- MTA, (2000). Deprem, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınlarından, Eğitim Serisi No:34, ,Eşref Atabay, Ankara. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/deprem/pdf/deprem.pdf>. (Erişim tarihi:06.05.2018).
- MTA, (2002). 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Hatay Paftası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Editör: Mustafa ŞENEL. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/HATAY.pdf>. (Erişim tarihi: 05.05.2018).
- MTA, (2012). 1/2500.000 ölçekli Türkiye Diri fay Haritası Serisi GAZİANTEP (NJ 37-9) PAFTASI, SERİ NO: 38; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü; Emre, Ö., Duman,T.Y., Olgun,Ş.,Elmacı, H. ve Özalp, S.;Ankara; Türkiye.

https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/yenilenmis_diri_fay_haritalari/gaziantep.pdf. (Erişim tarihi:06.05.2018).

- MTA, (2017). Dünyada ve Türkiye’de Uranyum ve Toryum, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Serisi: 3, Ankara. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/Uranyum-Toryum.pdf>, (Erişim tarihi:06.05.2018).
- MTA, (2021). Maden Tetkik ve Arama Dergisi. Doğu Anadolu Fay Zonu’nda sismik hız ve soğurulma yapısının deprem oluşumu ile ilişkisi: 24 Ocak 2020 Sivrice Depremi  rneği. MTA Dergisi (2021) 165: 141-161. <http://dergi.mta.gov.tr>. (Erişim tarihi: 09.09.2021).
- Muehlberger, R.W., and Gordon, M.B., (1987). Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey, J.Structural Geol., 9/7, 899-903.
- Myrick, T.E., Berven, B.A. and Hywood, F. F., (1983). Determination of Concentration of Selected Radionuclides in Surface Soil in The U.S., Health Physics Vol. 45.
- National Academy of Sciences Report (NASR). (1999). Risk assessment of radon in drinking water (pp. 18). Washington: National Academy Press.
- Ne Technology Limited, (1991). Instruction Manual for Gamma Assay Scintillation Counter (Type 8F8/DM1-2). Sighthill, Edinburgh EH11 4BY, Scotland, UK.
- Ne Technology Limited, (1994a). Instruction Manual for Lead Castle (Type 710C). Bath Road, Beenham, Reading, Berkshire RG7 5PR, England.
- Ne Technology Limited, (1994b). Instruction Manual for Windowless Scintillation Counter (Type 6001). Bath Road, Beenham, Reading, Berkshire RG7 5PR, England.
- Niewiadomski, T., Koperski, J., Ryba, E., (1982). Natural Radiation in Poland and its Disturbance in An Urban Environment, Health Physics, Vol. 38.
- Nishizawa, S., Igarashi, G., Sano, Y., Shoto, E., Tsaka, S., and Sasaki, Y., (1998). Radon, Cl- and SO4 anomalies in hot spring water associated with the 1995 earthquake swarm of the East Coast of the Izu Peninsula, Central Japan, Appl. Geochem., 13, 89-94p.
-  ver, S.,  nl gen , U.C. and Bellier, O., (2002). Quaternary stress regime change in the Hatay region (SE Turkey). Geophys. J. Int.148, 1-14.
-  zmen, B., (1995). Depremlerin  nceden Tahmin Edilmesinde Kullanılan Yöntemler, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- Özseven A., (2019). *Isparta eğirdir g l nde doğal radyoaktivite tayini ve yaşam boyu kanser riski açısından değerlendirilmesi*. Doktora tezi. Süleyman demirel  niversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.86s.

- Papastefanou, C., (2010). "Variation of radon flux along active fault zones in association with earthquake occurrence," Radiation Measurements, 45, 943- 951.
- Perinçek, D., Çemen, İ., (1990). The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea Fault Zones in southeastern Turkey, Tectonophysics, 331-340.
- Planinic, J., Radolic, V., Lazanin, Z., (2001). "Temporal Variation of Radon in Soil Related to Earthquakes," Appl. Radiat. Isot., 55, 267-272.
- Press, F., (1975). "Earthquake prediction," Scientific American, 232, 14-23.
- Reimer, G.M., (1980). "Use of Soil-Gas Helium Concentrations for Earthquake Prediction: Limitations Imposed by Diurnal Variation," J. Geophys. Res., 85, 3107-3114.
- Rogers, J.J.W. and Adams, J.A.S., (1969). Uranium, p. 92-A-1-92-G-7, In: K.H. Wedepohl (ed.), Handbook of Geochemistry, Springer –Verlag, New York.
- Saç, M.M., Kumru, M.N., Yener, G., Şalk, M., Karalı, T., Uğur, A., Sözbilir, H., Camgöz, B., Harmanşah, Ç., Özden, B., Sümer, Ö. ve Erkut, S.L., (2008). Yeraltı Suyu ve Toprak Gazı Radon Konsantrasyonlarındaki Değişimin Yerkabuğu (Sismik) Hareketleriyle İlişkilendirilmesi: Doğanbey Fay Hattı, İzmir, Batı Anadolu, (104Y314), Tübitak Projesi.
- Sandıkçıoğlu, A., (2011). *Akşehir fay hattı üzerindeki kaynak sularının radon konsantrasyonları ile deprem ilişkisi*. Doktora Tezi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir. 228s.
- Selçuk Zorer, Ö., (2006). *Bendimahî çayı'nda ve çayın van gölü'ne döküldüğü noktada doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi*. Doktora Tezi. Yüzüncü yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van. 134s.
- Singh, M., Kumar, M., Jain, R. K., Chatrath, R. P., (1999). "Radon in ground water related to seismic events," Radiation Measurements, 30, 465-469.
- Şahin, S., (2009). *Sivrice fay zonundaki radon değişimi ve doğal radyoaktivite*. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 107s.
- Şarer B., (2001). Nükleer Fizik I, Palme Yayıncılık, Ankara, 246-247s.
- Şaroğlu, F., Emre, E., Kuşçu, İ., (1992). The East Anatolian Fault zone of Turkey, Annal. Tecn., 6, 99-125.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., (1984). Türkiye'de Tetis'in evrimi: Levha tektoniği açısından bir yaklaşım. TJK Yer Bilimleri özel Dizisi, no:1, 75 s, Ankara.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., (1985). Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, in: Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), Strike-slip Faulting and Basin Formation, Soc.Econ. Paleontol. Mineral.Sp. Pub., 37, 227-264 16.

- Şimşek, H., (1999). Deprem Bilgisi, Harp Akademisi Basımevi, İstanbul.
- Tabar, E., (2010). *Dikili ve Bergama bölgelerindeki tektonik aktivitenin jeotermal sularda radon ölçümleri ile değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 86s.
- TAEK, (2011). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ticari polistiren kullanılarak düşük maliyetli plastik sintilatör üretimi, TEKNİK RAPOR TR 2011/16.
- Talibudeen, O., (1964). Natural Radioactivity in soils, Soils and Fertilizers, 27, 347-359.
- Tanner, A. B. (1980), "Radon migration in the ground. A supplementary review," In The natural Radiation Environment III. Symposium Proceedings, Houston, TX, 23-28 April (Ed: Gesell F.F and Lowder W.M.), Rep. Conf780422, U.S. Dept. Of Energy, Washington, D.C. 1, 5-56.
- Topsakal, E.Ş., (2015). *Konya' nın Ilgın ilçesinde bulunan Ilgın fay hattı civarındaki yer altı sularında ve toprak gazında radon aktivite seviyelerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya. 52s.
- Tuncer, S.,(1991). Çeşitli İçme Sularında Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Türk, M., Volarig, B., Antolkoviç, B., (1996). Radon Activity Concentration in the Ground and Its Correlation with the Water Content of the Soil, Appl. Radiat. Isot., 47, No 3, 377-381.
- Ulomov, V.I., Mavashev, B.Z. (1971). "Forerunners of the Taşkent earthquake," Izv. Akad. Nauk Uzb. SSR, 188-200.
- UNSCEAR, (1977). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with Annexes, New York. United Nations.
- UNSCEAR, (1982). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Exposure From Natural Sources of Radiation, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, Annex B, p. 90.
- UNSCEAR, (1993). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. New York.
- UNSCEAR, (2008). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report of the united nations scientific committee on the effects of atomic radiation. Fifty-sixth Session (10–18 July 2008) (No. 46). United Nations Publications.
- (URL~1). <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-kaynaklari>. (Erişim tarihi: 10.10.2018).
- (URL~2). http://docs.neu.edu.tr/staff/asli.aykac/Radyasyon2_38.pdf. (Erişim tarihi: 11.10.2018).

- (URL~3). <https://www.fizikbilimi.gen.tr/radyoaktivite/>. (Erişim tarihi: 10.10.2018).
- (URL~4). http://www.bayar.edu.tr/besergil/2_iyon_dedektorleri.pdf. (Erişim tarihi: 10.11.2018).
- (URL~5). https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTO9mNGuOgHCVN1dzsO1L01VuN9bf_yOFmvkA&usqp=CAU. (Erişim tarihi: 13.10.2019)
- (URL~6). <https://www.jeolojitr.com/2018/10/plaka-tektionigi.html>. (Erişim tarihi: 14.10.2019).
- (URL~7). <https://www.afad.gov.tr/fay-nedir->. (Erişim tarihi: 11.10.2018).
- (URL~8). <https://www.cografyaci.gen.tr/wp-content/uploads/2018/10/%C5%9Eekil-1.13-Fay-%C3%A7e%C5%9Fitleri.png>. (Erişim tarihi: 12.10.2018).
- (URL~9). https://tr.wikipedia.org/wiki/Moment_magnitud_ölçeği. (Erişim tarihi: 15.12.2019).
- (URL~10). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Richter>. (Erişim tarihi: 15.12.2019).
- (URL~11). http://cografyaharita.com/haritalarim/41_kahramanmaras_ili_haritasi.png. (Erişim tarihi: 17.11.2018).
- (URL~12). <https://kahramanmaras.bel.tr/kesfedin/kahramanmarasin-cografyasi>. (Erişim tarihi: 18.11.2018).
- (URL~13). https://www.haritatr.com/kuyumcular-koyu-haritasi-m80fd#google_vignette. (Erişim tarihi: 18.11.2018).
- (URL~14). <https://www.haritatr.com/harita/Oksuzlu/97485>. (Erişim tarihi: 18.11.2018).
- (URL~15) <https://kmhesaplama.com/maras/dulkadiroglu/kapicam-haritasi/>. (Erişim tarihi: 18.11.2018)
- (URL~16). <https://www.koylerim.com/dulkadiroglu-cigli-koyu-312063h.htm>. (Erişim tarihi: 18.11.2018).
- (URL~17). <https://durridge.com/products/rad7-radon-detector/>. (Erişim tarihi: 15.11.2016)
- (URL~18). <https://durridge.com/documentation/RAD7%20Manual.pdf/13.s>. (Erişim tarihi: 15.11.2016).
- (URL~19). <https://durridge.com/documentation/Soil%20Gas%20Probe%20Manual.pdf/7.s>. (Erişim tarihi: 15.11.2016).
- (URL~20). <https://durridge.com/products/rad-h2o/>. (Erişim tarihi: 15.11.2016).

- (URL~21).<https://durridge.com/wp-content/uploads/2017/04/durridge-rad-h2o-configuration.png>. (Erişim tarihi: 15.11.2016).
- (URL~22).<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>. (Erişim tarihi: 25.12.2020).
- (URL~23).<https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/>. (Erişim tarihi: 10.10.2020)
- (URL~24).<http://ankaenstitusu.com/toryum-ve-kullanım-alanlari/>. (Erişim tarihi: 10.10.2020).
- (URL~25).Royal Society of Chemistry. Radon - Element Information, Properties And Uses Periodic Table. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/86/radon>Alındığı Tarih: 2 Şubat 2021. (Erişim tarihi: 10.10.2020).
- (URL~26).<https://sites.google.com/site/duenyamizvegezegenler/duenyanin-ic-yapisi/levha-2.jpg?attredirects=0>. (Erişim tarihi: 17.10.2021).
- (URL~27).<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.benimuhendisim.com%2Fturkiyede-deprem-ve-alinabilecek-onlemler>. (Erişim tarihi: 10.10.2020).
- USEPA, (1991). “National Primary Drinking Water Regulations for Radionuclides”, Washington DC, US: Governmentprinting Office, EPA/570/9-91/700.
- USEPA, (2012). A Citizen's Guide to Radon. www.epa.gov. The United States Environmental Protection Agency. October 12, 2010. Retrieved January 29.
- Uzun Duran, S., (2013). *Orta ve doğu karadeniz bölgesindeki kaplıcalarda ve çevresinde doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi*. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. 171s.
- Wakita, H., Nakamura, Y. ve Sano, Y. (1998). “Short-term and intermediate-term geochemical precursors,” Pure Appl. Geophys., 126, 267-278.
- Westaway, R., Arger, J., 1998, Kinematics of the Malatya-Ovacık Fault Zone, Third International Geology Symposium, METU, Ankara, Abstracts, 197.
- WHO. (2011). World Health Organization). Guidelines for drinking water quality. Vol. 1. Recommendations (4th ed.). Geneva:
- Yaprak, G., Candan, O., Gür, F., Batmaz, İ., Camgöz, B. (2003). “Aktif Gediz Grabeninde Yer alan Alaşehir/Manisa Yöresinde Tektonik Aktiviteye Dayalı Radon Anomalilerinin İncelenmesi,” VIII. Ulusal nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Yılmaz, E., (2016). *Akşehir fay hattında toprakta radon konsantrasyonu ölçümü*. Yüksek lisan Tezi. Afyon Kocatepe üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyonkarahisar. 63s.

- Yönlü, Ö., (2012). *Doğu anadolu fay zone'nun gölbaşı (adıyaman) ile karataş (adana) arasındaki kesiminin geç kuvaterner aktivitesi*. Doktora Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir. 439s.
- Zhuo, W., Iida, T., & Yang, X., (2001). Occurrence of ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{228}Ra and U in groundwater in Fujian province. *Journal of Environmental Radioactivity*, 53, 111–120.

