T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE ENDÜSTRİYEL MALZEME OLARAK KULLANILAN SEPİYOLİT ÖRNEKLERİNİN RADYOMETRİK KARAKTERİZASYONU VE ELEMENTAL DAĞILIMLARININ BELİRLENMESİ

Yosef G.Ali MADEE

Danışman	**Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI**
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Şeref TURHAN**
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Abdullah AYDIN**
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL**
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. Tuncay BAYRAM**

DOKTORA TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2018

TEZ ONAYI

Yosef G.Ali MADEE tarafından hazırlanan "**Türkiye'de Endüstriyel Malzeme Olarak Kullanılan Sepiyolit Örneklerinin Radyometrik Karakterizasyonu ve Elemental Dağılımlarının Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Ana Bilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Aybaba HANÇERLIOĞULLARI Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Şeref TURHAN Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Abdullah AYDIN Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL Gazi Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Tuncay BAYRAM Karadeniz Teknik Üniversitesi	.....

01/03/2018

Enstitü Müdür V.	Doç. Dr. M. Altan KURNAZ	.....

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

İmza
Yosef G. Ali MADEE



ÖZET

DoktoraTezi

TÜRKİYE'DE ENDÜSTRİYEL MALZEME OLARAK KULLANILAN SEPİYOLİT ÖRNEKLERİNİN RADYOMETRİK KARAKTERİZASYONU VE ELEMENTAL DAĞILIMLARININ BELİRLENMESİ

Yosef G. Ali MADEE

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI

Sepiyolit doğal olarak meydana gelen sedimanter kökenli, fillosilikatler grubuna ait magnezyum hidrosilikatten ($Si_{12}O_{30}Mg_8(OH)_4(H_2O)_4 \cdot 8H_2O$) oluşan bir kil mineralidir. Sepiyolit, gözeneklilik, yüzey alanı, lifli yapısı, kristal morfolojisi ve kompozisyonu gibi fizikokimyasal özelliklerine bağlı olan soğurma (veya yüzeyde tutma) reolojik ve katalitik özelliğinden dolayı ilaç, temizlik-deterjan, kâğıt, boya, kozmetik tarım, gübre, besicilik, seramik ve çimento sanayinde katkı ham maddesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de işletmeye açık sepiyolit ocaklarının yoğun olarak bulunduğu Polatlı (Ankara), Beylikova (Eskişehir) ve Sirvihisar (Eskişehir)'da yer alan ocaklardan toplanan 30 farklı sepiyolit örneği, gözenek hacimi, radyometrik, elemental ve tanecik boyut analizine tabi tutuldu. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örneklerinin toplam gözenek hacmi ve yüzey alanları, sırasıyla 0,142 cm^3/g, 0,479 cm^3/g ve 0,168 cm^3/g ve 41 m^2/g, 224 m^2/g ve 50 m^2/g olarak bulundu. Sepiyolit örneklerinin doğal olarak içerdiği ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerin ortalama aktivite derişimleri yüksek saflıkta germanyum dedektörlü gama-ışını spektrometresi ile, sırasıyla 29,2±3,7 Bq/kg (aralık: 8,5-120,6 Bq/kg), 4,8±1,0 Bq/kg (aralık: 0,4-29,2 Bq/kg) ve 56,5±8,3 Bq/kg (aralık: 7,2-140,1 Bq/kg) olarak ölçüldü. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit ocaklarındaki yer kabuğundan kaynaklanan ortalama gama doz hızları, sırasıyla 20 nGy/h, 16 nGy/h ve 22 nGy/h ve kozmik radyasyondan kaynaklana ortalama gama doz hızları ise, sırasıyla 45 nGy/h, 43 nGy/h ve 42 nGy/h olarak ölçüldü. Ayrıca sepiyolit örneklerinin yapı malzelerinde katkı ham maddesi olarak kullanılmasını radyolojik açıdan değerlendirmek amacıyla rayolojik parametreler (dış ortamda soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin radyason dozu, radyum eş değer aktivite indisi, aktivite derişim indisi, alfa ve yaşam boyu kanser riski) hesaplandı. Her bir sepiyolit ocağının elemental dağılımı, enerji dağılımlı X-ışını fluoresan (XRF) ve X-ışını difraktometre (XRD) spektrometresi kullanılarak belirlendi. Analiz edilen sepiyolit örneklerinin yaklaşık %94'ünü SiO_2 (%60), MgO (%30) ve CaO (%4) oluşturmaktadır. Sepiyolit örneklerinin tanecik boyutları ve morfolojisi taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile analiz edildi ve ocakların tanecik boyutları birbirleriyle karşılaştırılarak değerlendirildi.

Anahtar Kelimeler: Sepiyolit, doğal radyoaktivite, uranyum, toryum, radoaktif potasyum, radyolojik değerlendirme, elemental dağılım, tanecik boyutu

2018, 88 Sayfa
Bilim Kodu:202

ABSTRACT

PhD.Thesis

DETERMINATION OF RADIOMETRIC CHARACTERIZATION AND ELEMENTAL DISTRIBUTIONS OF SEPIOLITE SAMPLES USED AS INDUSTRIAL MATERIALS IN TURKEY

Yosef G. Ali MADEE

Kastamonu University
Institute of Science
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof.Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI

Sepiolite is a naturally occurring clay mineral of sedimentary origin and belongs to the phyllosilicate group and is a magnesium hydrosilicate ($Si_{12}O_{30}Mg_8(OH)_4(H_2O)_4 \cdot 8H_2O$). Due to its absorption (or adsorption), rheological and catalytic properties depending on physicochemical properties such as porosity, surface area, fibrous structure, crystal morphology and composition, sepioilite have been widely used as additive raw material in pharmaceutical, cleaning-detergent, paper, paint, cosmetic agriculture, fertilizer, livestock, ceramics and cement industry. In this study, 30 different sepiolite example collected from open sepiolite quarries of Polatlı (Ankara), Beylikova (Eskişehir) ve Sirvihisar (Eskişehir) in Turkey were was subjected to analysis of porosity volume, radiometric, elemental and particle size. The total porosity volume and surface areas of the Polatlı, Beylikova and Sivrihisar sepiolite samples were found 0,142 cm^3/g and 0,479 cm^3/g, 0,168 cm^3/g and 41 m^2/g, 224 m^2/g and 50 m^2/g, respectively. The average activity concentrations of the ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K radionuclides naturally contained in sepiolite samples were measured as 29.2 ± 3.7 Bq/kg (range: 8.5-120.6 Bq/kg), 4.8 ± 1.0 Bq/kg (range: 0.4-29.2 Bq/kg) and 56.5 ± 8.3 Bq/kg (range: 7.2-140.1 Bq/kg) respectively, by gamma-ray spectrometry with a high purity germanium detector. The average gamma dose rates from the earth crust and cosmic radiation in Polatlı, Beylikova and Sivrihisar sepiolite quarries were found as 20 nGy/h, 16 nGy/h and 22 nGy/h and 45 nGy/h, 43 nGy/h and 42 nGy/h, respectively. In addition to radiological parameters (outdoor absorbed gamma dose rate, annual effective dose rate, radium equivalent activity index, activity concentration index, alpha internal and lifetime cancer risk) were estimated to evaluate the use of sepiolite samples as additive raw materials from a radiological point of view.
The elemental distribution of each sepiolite quarry was determined using X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffractometer (XRD) spectrometry. Approximately 94% of the analyzed sepiolite samples are SiO_2 (60%), MgO (30%) and CaO (4%). Particle size and morphology of sepiolite samples were analyzed by scanning electron microscope (SEM), and particle sizes of the quarries were compared with each other.

Key Words: Sepiolite, natural radioactivity, uranium, thorium, potassium, radiological evaluation, elemental distribution, particle size

2018, 88 Pages
Science Code: 202

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca her türlü desteği ve imkânı sağlayarak değerli bilgilerinden yararlandığım, danışman hocam Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI'na, örneklerin toplanmasını sağlayan işadamı Bilal AKDOĞAN'a, örneklerin hazırlanması ve ölçümleri konusunda deneyimini ve emeğini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a, Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Abdullah AYDIN ve Prof. Dr. Şeref TURHAN'a, Fizik Bölümü öğretim üyelerine, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Müdürlüğüne ve KÜ-BAP 01-2016-2017 nolu proje ile bu çalışmayı destekleyen Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne en kalbı duygularımla teşekkür ederim. Ayrıca Türkiye'de bulunduğum süre içinde eğitim ve araştırma faaliyeleri süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Libya Hükümeti'ne şükranlarımı sunarım. Bu çalışmayı benim için hayati önem arz eden aileme ithaf ediyorum.

Yosef G. Ali MADEE
Kastamonu, Mart, 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ x

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ xi

GRAFİKLER DİZİNİ xii

HARİTALAR DİZİNİ xiii

ŞEKİLLER DİZİNİ xiv

TABLOLAR DİZİNİ xv

1. GİRİŞ 1

1.1. Sepiyolit Maddesinin Önemi 4

1.2. Literatürdeki Çalışmaların Değerlendirilmesi 7

2. KURAMSAL BİLGİ 13

2.1. Radyoaktivite 13

2.2. Radyasyon Çeşitleri 13

2.2.1. İyonlaştırıcı Radyasyonlar 13

2.2.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar 14

2.2.3. Doğal Radyasyon Kaynakları 14

2.2.4. Yapay Radyasyon Kaynakları 16

2.2.5. Fotoelektrik Olayı, Compton Saçılmasıve Çift Oluşum 20

2.2.5.1. Fotoelektrik Olayı 20

2.2.5.2. Compton Olayı 21

2.2.5.3. Çift Oluşum 23

2.3. X-Işını Floresans Spektrometrik Yöntem 25

2.3.1. X-Işınlarının Madde ile Etkileşmesi 25

2.3.2. Karakteristik X-Işınlarının Oluşması 26

2.4. Radyasyon Kaynakları 27

2.4.1. Radyasyon Sayaçları 28

2.4.2. Gaz Dolu Dedektörler 28

2.4.3. İyon Odası 29
2.4.4. Orantılı Sayaçlar 29
2.4.5. Geiger-Müller Dedektörleri 30
2.4.6. Sintilasyon Dedektörleri 30
2.4.7. Yarı İletken Dedektörleri 31
2.4.8. Dozimetreler 32
2.5. Radyasyon Birimleri 33
2.5.1. Aktivite Birimi 33
2.5.2. Işınlanma Birimi 34
2.5.3. Soğurulan Doz Birimi 34
2.5.4. Eşdeğer Doz Birimi 34
2.6. Radyasyonun Biyolojik Etkisi 35
3. MALZEME VE ÖLÇME YÖNTEMİ 36
3.1. Sepiyolit Örneklerinin Toplanması 36
3.2. Sepiyoit Örneklerinin Radyometrik Analiz İçin Hazırlanması 38
3.3. Sepiyolit Örneklerinin Elemental ve Boyut Analiz İçin Hazırlanması ... 38
3.4. Gama Doz Hızı Ölçme Yöntemi 40
3.5. Sepiyolit Örneklerinin Yüzey Alanı ve Gözenek Hacimlerinin Ölçülmesi 41
3.6. Radyoaktivite Ölçme Yöntemi 41
3.7. Sepiyolit Örneklerinin Elemental ve Boyut Analiz Ölçme Yöntemi 44
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME 48
4.1. Sepiyolit Olcaklarında Ölçülen Gama Doz Hızı Verileri 48
4.2. Sepiyolit Örneklerinin Yüzey Alanı ve Mikro Gözenek Hacim Verileri 48
4.3. Sepiyolit Örneklerinde Ölçülen Radyonüklit Aktivite Derişim Verileri 51
4.3.1. HPGe Dedektörünün Verim Kalibrasyonu 51
4.3.2. Aktivite Derişiminin Ölçülmesi 52
4.3.3. Aktivite Derişim Verileri 53
4.3.4. Radyolojik Değerlendirme 59
4.3.4.1. Radyum Eşdeğer Aktivite İndisi 60
4.3.4.2. Aktivite Derişim İndisi 61
4.3.4.3. Alfa İndisi 61
4.3.4.4. Gama Doz Hızı ve Yıllık Etkin Radyasuon Dozu 64
4.3.4.5. Yaşam Boyu Kanser Riski 67

4.3.5. Kozmik Radyasondan Kaynaklanan Gama Doz Hızı 69
4.4. Elementel Analiz Verleri 71
4.5. Yapı (morfoloji) Analiz Verleri 77
5. ÖNERİLER 81
KAYNAKLAR 83
ÖZGEÇMİŞ 88

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bq	Becquerel (Bekerel)
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü (WHO)
eV	Elektronvolt
Gy	Gray
HPGe	Yüksek Saflıkta Germanyum
IARC	International Agency for Research on Cancer
IAEA	International AtomicEnergyAgency
ICRP	International Commission on RadiologicalProtection
kg	Kilogram
m	Metre
mBq	Milibekerel
mSv	Milisieveret
nGy	Nanogray
SH	Standart hata
SS	Standart sapma
Sv	Sieveret
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TS	Türk Standardları
UKAK	Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
Req	Radyum Eşdeğer Aktivitesi
XRF	X-ışını Floresans (X-ray Fluorescence)
XRD	X-ışını Difraktometresi (X-ray Diffractometer)
EDXRF	Enerji Dağılımlı X-ışını Floresans (Energy Dispersive X-ray Fluorescence
YYTG	Yarı Yükseklikteki Tam Genişlik
YBKR	Yaşam Boyu Kanser Riski
SEM	Taramalı Elekron Mikroskobu
BET	Yüzey Alanı ve Mikrogözenek Ölçüm Cihazı
YERD	Yıllık Etkin Radyasyon Doz Hızı
ADİ	Aktivite Derişim İndeksi
AOGDH	Açık Ortamdaki Havada Ölçülen Gama Doz Hızı
S1-S10	Ankara-Polatlı Örnek Kodu
S11-S20	Eskişehir-Beylikova Örnek Kodu
S21-S30	Eskişehir-Sivrihisar Örnek Kodu

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Sayfa

Fotoğraf 3.1. Radyoaktivite ölçme işlemi için hazırlanan örnekler 39
Fotoğraf 3.2. XRF ile elemental analiz için hazırlanan örnekler 39
Fotoğraf 3.3. XRD ile analizi için hazırlanan örnekler 40
Fotoğraf 3.4. SEM ile tanecik boyut analizi için hazırlanan örnekler 40
Fotoğraf 3.5. Gama doz hızı ölçme cihazı 41
Fotoğraf 3.6. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit ocaklarındaki gama doz hızı ölçümü 42
Fotoğraf 3.7. Yüzey alanları ve gözenelilik (BET) ölçme cihazı 43
Fotoğraf 3.8. Gama-ışını spektrometresi 45
Fotoğraf 3.9. EDXRF spektrometresi 45
Fotoğraf 3.10. XRD cihazı 46
Fotoğraf 3.11. SEM cihazı 47
Fotoğraf 4.1. Polatlı ocağına ait sepiyolit örneğinin SEM taraması. 78
Fotoğraf 4.2. Beylikova ocağına ait sepiyolit örneğinin SEM taraması 79
Fotoğraf 4.3. Sivrihisar ocağına ait sepiyolit örneğinin SEM taraması 80

GRAFİKLER DİZİNİ

Sayfa

Grafik 1.1. Bireylerin aldığı yıllık etkin dozun radyoaktif kaynaklara göre dağılımı 3
Grafik 2.1. Doğal ve yapay radyasyon kaynakları 28
Grafik 4.1. Gama doz hızlarının birbirleriyle karşılaştırılması 50
Grafik 4.2. Verim kalibrasyon eğrisi..... 54
Grafik 4.3. Sepiyolit örneklerin ölçülen a) ^{238}U, b) ^{232}Th ve c) ^{40}K histogramı . 56
Grafik 4.4. Sepiyolit örneklerinde ölçülen ^{238}U'in yer kabuğu ortalaması ile karşılatırılması 58
Grafik 4.5. Sepiyolit örneklerinde ölçülen ^{232}Th'un yer kabuğu ortalaması ile karşılatırılması 58
Grafik 4.6. Sepiyolit örneklerinde ölçülen ^{40}K'ın yer kabuğu ortalaması ile karşılatırılması 59
Grafik 4.7. $Ra_{eş}$ aktivite indis değerlerinin sınır değer ile karşılaştırılması 63
Grafik 4.8. ADİ değerlerinin sınır değer ile karşılaştırılması 63
Grafik 4.9. I_{Alfa} değerlerinin sınır değer ile karşılaştırılması 64
Grafik 4.10. AOGDH değerlerinin dünya ortalaması ile karşılaştırılması 67
Grafik 4.11. YERD değerlerinin dünya ortalaması ile karşılaştırılması 67
Grafik 4.12. YBKR değerlerinin dünya ortalaması ile karşılaştırılması..... 68
Grafik 4.13. Ana oksit derşimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması 73

HARİTALAR DİZİNİ

Sayfa

Harita 3.1. Sepiyolit örneklerinin toplandığı bölgeler ait lokasyonlar..... 37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Sepiyolit mineralinin kimyasal yapısı 6
Şekil 2.1. Bir atomun iyonlaşması 14
Şekil 2.2. Fotoelektrik etkinin şematik gösterimi. 20
Şekil 2.3. Compton saçılmasının şematik gösterimi 22
Şekil 2.4. Çift oluşumunun şematik gösterimi 23
Şekil 2.5. Fotoelektrik olay, compton olayı ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler..... 24
Şekil 2.6. Lambert-Beer yasasının şematik gösterimi..... 26
Şekil 2.7. Karakteristik X-ışının oluşması 27
Şekil 2.8. Orantılı sayaç düzeneği..... 29
Şekil 2.9. G-M tüpünün çalışma prensibi..... 30
Şekil 2.10. NaI sintilatör ve sayım sisteminin şematik diyagramı..... 31
Şekil 2.11. Yarı iletken diyot dedektörünün temel yapısı..... 32
Şekil 3.1. Gama spektrometre sisteminin blok şeması 43

TABLOLAR DİZİNİ

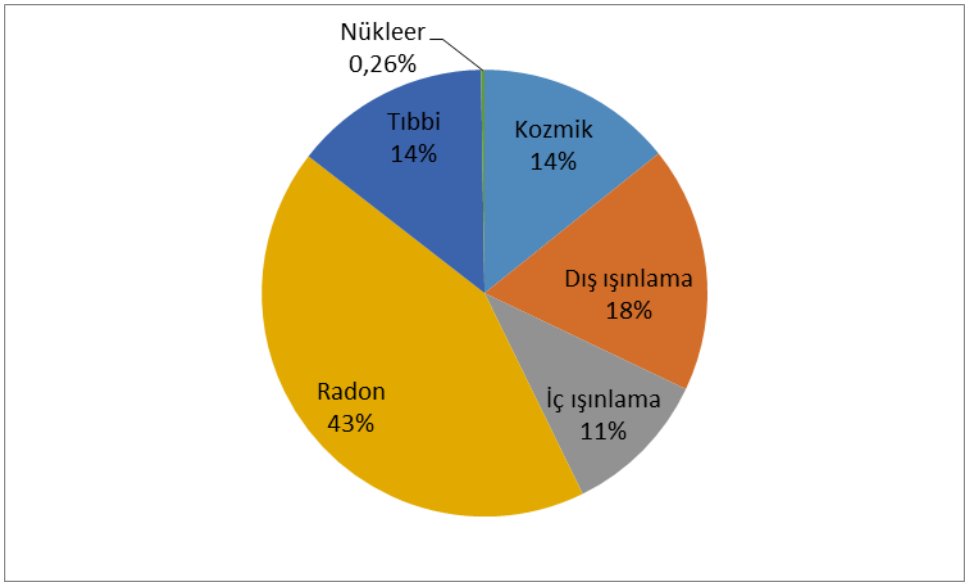
Sayfa

Tablo 2.1. Uranyum serisindeki radyonüklitlerin yarılanma süreçleri 17
Tablo 2.2. Toryum serisindeki radyonüklitlerin yarılanma süreçleri..... 18
Tablo 2.3. Aktinyum serisindeki radyonükitler 19
Tablo 2.4. Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri 33
Tablo 2.5. Farklı radyasyon türleri için kalite faktörleri..... 34
Tablo 3.1. Sepiyolit örnek yerlerine ilişkin bilgi 37
Tablo 3.2. Sepiyolit mineralinin fiziksel özellikeri..... 38
Tablo 3.3. HPGe dedektörünün özellikleri 44
Tablo 4.1. Ocaklarda ölçülen gama doz hızı..... 49
Tablo 4.2. Üç farklı bölge için ortalama BET yüzey alanı ve gözenek değerlerinin karşılaştırılması 50
Tablo 4.3. Verim kalibrasyona ilişkin bilgi 53
Tablo 4.4. Sepiyolit örneklerinde ölçülen radyonüklitlerin aktivite derişimine ilişkin istatiksel bilgi..... 55
Tablo 4.5. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarında ölçülen radyonüklitlerin Aktivite derişimleri..... 57
Tablo 4.6. Sepiyolit örnekleri için hesaplanan radyolojik parametreler 62
Tablo 4.7. Sepiyolit örnekleri için hesaplanan AOGDH, YERD ve YBKR değerleri 66
Tablo 4.8. Sepiyolit ocakları için ölçülenörnekleri kozmik gama doz hızı değerleri 70
Tablo 4.9. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarının ana oksit dağılımları 72
Tablo 4.10. Ocakların ana oksit derişimlerine ilişkin bilgi..... 73
Tablo 4.11. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarının eser toksik element dağılımları..... 74

1. GİRİŞ

Yerkabuğunda, çevre içerisinde doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin ana kaynağını oluşturan radyonüklitler bulunur. Bu radyonüklidlerin çoğu, ^{238}U, ^{235}U ve ^{232}Th'den başlayan radyoaktif bozunma zincirlerine veya serilerine dahildir. Bu zincirlerin üyeleri, bir radyoaktif çekirdeğin bir veya daha fazla kurucu unsura dönüştüğü, sonunda bir radyoaktif kararlı izotopa dönüşen kendiliğinden bir süreç olan radyoaktif bozunuma maruz kalır. İnsanların doğal radyoaktif kaynaklardan yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyona (alfa, beta, gama vb.) maruz kalmaları hayatın kaçınılmaz bir gerçeğidir (UNSCEAR, 2008). İç ve dış ışınlanma sonucunda insanların maruz kaldığı ortalama yıllık etkin radyasyon dozunun yaklaşık % 90'ı, kozmojenik radyonüklitler ve yer kabuğu kökenli radyonüklitlerden oluşan doğal radyoaktiviteden kaynaklanmaktadır. Yerkabuğu kökenli malzemeler veya ham maddeler, ^{238}U, ^{232}Th, aktinyum (^{235}U) doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitlerin yanı sıra potasyum (^{40}K), rubidyum (^{87}Rb), lantan (^{138}La), samaryum (^{147}Sm) ve lütesyum (^{176}Lu) gibi radyoizotopları da içermektedirler. Alfa, beta ve gama radyasyonu yayınlayan bu radyonüklitlerin aktivite derişimleri, bulundukları bölgenin jeolojik-jeokimyasal yapısına bağlı olarak değişebilmektedir. ^{235}U'in, yer kabuğundaki ^{238}U içerisindeki izotopik bolluğunun (% 0,7) düşük olmasından dolayı aktinyum serisindeki radyonüklitlerin ve ^{87}Rb, ^{138}La, ^{147}Sm, ^{176}Lu gibi radyoizotopların yıllık etkin radyasyon dozuna katkısı çok düşük seviyededir İnsanlar her gün yer, hava, su, binalar, materyaller, evren ve hatta vücutlarındaki elementlerden kaynaklanan doğal fon radyasyonuna maruz kalmaktadırlar.Topraktaki çoğu doğal radyoaktif elementin ^{40}K, ^{238}U ve ^{232}Th elementlerinin radyoaktif bozunum serilerinin üyelerinden türediği gözlemlenmiştir (Unscear, 2008). Doğal kaynakların yanı sıra, nükleer silah testleri ve nükleer santral kazaları sonucunda oluşan serpintiden dolayı ^{137}Cs gibi yapay radyonüklüitler de bulunabilir. Doğal kaynaklardan ortaya çıkan gama fon radyasyonu dozunun değerlendirilmesi özel bir önem taşır, zira insanların maruz kaldığı harici dozun en büyük kısmı doğal radyasyondur . Bu dozlar doğal radyonüklidler olan ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K toprak, kum ve taşlardaki konsantrasyonlarına bağlı olarak değişkenlik gösterirler.

Sepiyolit, gözeneklilik, yüzey alanı, lifli yapısı, kristal morfolojisi, yapısı ve kompozisyonu gibi fizikokimyasal özelliklerine bağlı olan soğurma ve tutulma (absorpsiyon ve adsorpsiyon), akışkanlık ve yapısı bozulmama özelliğinden dolayı endüstriyel olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir .Sepiyolit, hayvan altlığı, renk giderici madde, sondaj çamuru, tarım ve böcek ilaçları taşıyıcısı olarak ve ilaç, temizlik-deterjan, kâğıt, boya, kozmetik tarım, gübre, besicilik, kauçuk endüstrisinde, seramik üretiminde ve lif takviyeli çimento üretiminde katkı ham maddesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sepiyolit ticari olarak İspanya, Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve ülkemizde üretilmektedir. Sepiyolitin kendisine özgü fizikokimyasal özellikleri sebebiyle endüstriyel kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Yerkabuğu kökenli malzemeler veya bu malzemelerin kullanıldığı nihai ürünlerin içerdiği doğal radyonüklitlerden yayınlanan farklı enerjilerdeki iyonlaştırıcı radyasyon bireylerin, iç ve dış olmak üzere iki farklı şekilde ışınlanmasına sebep olmaktadır (Güney, 2014; Doğan, 2007). Radyonüklitlerden yayınlanan gama radyasyonu, doğrudan dış ışınlamaya sebep olurken bu malzemelerden serbest kalması sonucunda solunum yoluyla vücuda girebilen radon (^{222}Rn) ve kısa yarı ömürlü bozunum ürünlerinden (^{214}Bi, ^{214}Pb vb.,) yayınlanan alfa ve beta radyasyonu ise iç ışınlamaya katkıda bulunarak akciğer kanser riskini artırmaktadır. Bireylerin doğal radyasyondan aldığı yıllık ortalama radyasyon dozunun yaklaşık % 50'sini, solumum yolu ile vücuda alınan radon gazı ve yaklaşık %12'sini de radyonüklitlerden yayınlanan gama radyasyonu oluşturmaktadır. Kapalı ortamlardaki radon gazı derişiminin yaklaşık % 30'u, yerkabuğu kökenli yapı malzemelerinden kaynaklanmaktadır. Yapı malzemelerinden ortama difüzlenen radon miktarı, malzemenin emanasyon katsayısı olarak bilinmektedir ve radon kütle salım hızı, radon üretim hızı ile emanasyon katsayının çarpımından bulunmaktadır (Atıcı, 2016). İnsanların maruz kaldıkları yıllık radyasyon dozları, radyoaktivitesi normal düzeyin üzerinde olan malzemelerinin kullanıldığı ev ve iş yerlerinde yaşamaları hâlinde artabilir. Bu sebeple insanların veya ilgili sektörlerde çalışanların, çevresel radyoaktiviteden dolayı aldıkları yıllık dozun değerlendirilebilmesi için yerkabuğu kökenli katkı ham maddelerinin içerdiği uranyum, radyum, toryum ve potasyum gibi doğal radyonüklitlerin aktivite derişimlerinin ve bu malzemelerin radon emanasyon faktörlerinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir (Grafik 1.1) (UNSCEAR, 2008).



Grafik 1.1. Bireylerin aldığı yıllık etkin dozun radyoaktif kaynaklara göre dağılımı

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde, sepiyolit endüstriel maddesinin radyoaktivitenin ölçülmesinin radyolojik açıdan önemi ve çalışmanın amacı açıklanmıştır ve sefiyolitin elemental analize yönelik literatürde yer alan çalışmalar özetlenmiştir. İkinci bölümünde, radyoaktivite, bozunum süreçleri, Fotoelektrik olay, comton saçılması ve çift oluşumu, doğal radyoaktif seriler, radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyonun madde ile etkileşmesi, doz birimleri kısa ve özlü bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, sepiyolitin yapısına ve üretimine ilişkin bilgi verilmiş ve farklı ocaklardan temin edilen sefiyolit örneklerinin radyoaktivite ölçme işlemine hazırlanması, HPGe gama-ışını spektrometresi ve radyoaktivite ölçme işlemi ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Dördüncü bölümde, elde edilen aktivite ölçüm sonuçları, tablo ve grafik hâlinde sunulmuş ve Sepiyolit örneklerinde ölçülen ^{238}U, ^{232}Th, ^{226}Ra ve ^{40}K aktivite sonuçları hem birbirleriyle hem de literatürdeki veriler ile karşılaştırılmış ve bu malzemelerin kullanılmasını radyolojik açıdan değerlendirmek amacıyla radyoaktivite ölçümü yapılan her bir sepiyolit örneği için radyolojik parametreler (radyum eşdeğer aktivite indisi, aktivite derişim indisi, sepiyolitin ölçülen ve hesaplalan gama-ışını doz hızları ve bunlara karşılık gelen yıllık etkin radyasyon doz hızları ve kanser riski) hesaplanmış ve sonuçlar tablo ve grafik hâlinde sunulmuştur. Beşinci bölümde, elde edilen aktivite derişim ve radyolojik parametre verileri, ile elemental analiz sonuçlarının tavsiye edilen ölçüt

değerler ile kararlaştırılarak, sepiyolitin hangi alan ve sektörlerde kullanılabileceği tartışılmıştır.

1.1. Sepiyolit Maddesinin Önemi

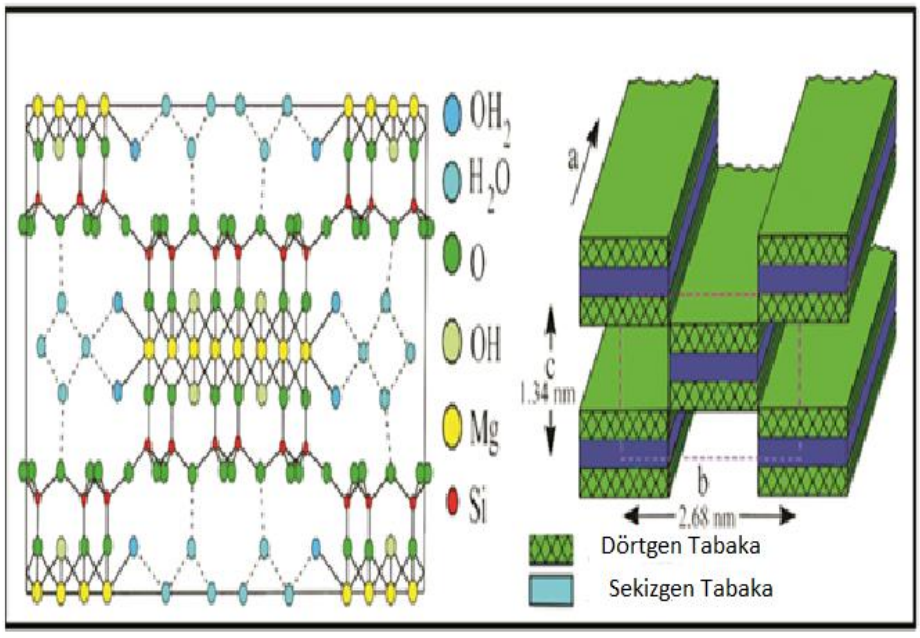
Sepiyolit doğal olarak meydana gelen sedimanter kökenli, fillosilikatler grubuna ait magnezyum hidrosilikatten $Si_{12}Mg_8O_{30}(OH)_4(OH_2)_4.8H_2O$ ibaret bir kil mineralidir. Sepiyolit, gözeneklilik, yüzey alanı, elyaf yapısı, kristal morfolojisi, yapı bileşimi, soğrulma ve tutulma gibi fizikokimyasal özelliklere sahiptir.. Sepiyolit, endüstride geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Sepiyolit bolluk oranı ortalama % 60 SiO_2; % 30 MgO, % 2 CaO; % 1 Al_2O_3; % 0,5 Fe_2O_3 ve diğerler bileşikler küçük bir yüzdeyle mevcuttur sepiyolit kili, ıslak olduğunda yumuşak balmumu niteliğindedir. Rengi, genelde bej veya kahve, organikmadde içerdiğinde ise esmer hatta siyah renklerdedir. Kuru olduğunda çok hafif olup, dile kuvvetle yapışmaözelliği gösterir. Rengi ise açık bej veya bejdir. Sepiyolit kili bazan homojen görünüşlü, laminalı veya ince tabakalıdır (Güney, 2014; Doğan, 2007). Sepilite kuruduğun da bazan dağ kayışını (mountain leather) andıran laminalanmaya paralel ince levhalara ayrılır. Katkı maddeleri, renk giderici maddeler, sondaj çamurları, taşıyıcı madde olarak tarımsal ve zirai ilaçlar, kauçuk endüstrisinde ilaç, temizlik deterjanı, kağıt, boya, kozmetik, tarım, gübre, hayvancılık, seramik ve fiber takviyeli çimento üretimi Hammadde olarak üretim katkı maddeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Sepiyolit ticari İspanya, Çin, ABD veTürkiye gibi dünyanın farklı ülkelerinde üretilmektedir (Millot, 1970; Velde, 1985). Yataklarından toplanan her sepiyolit numunenin kimyasal bileşimler, gaz orantısal sayacı, gama-ışını spektrometresi, X-ışını floresans (XRF) spektrometresi ve X-ışını difraktometresi (XRD) ile kullanılarak belirlenmiştir. Bilinen tüm radyografik parametreler (radyum eşdeğer aktivite indeksi, aktivite konsantrasyonu indeksi, temsili düzeyi indeksi, dış tehlike indeksi, gama indeksi, alfa indeksi, iç tehlike indeksi, iç ve dış mekanlarda emilen gama dozu oranı. Sepiyolit sedimanter kökenli bir kil olduğu için doğal uranyum, toryum serisinden radyonüklitleri ve potasyum radyoizotopunu içerebilmektedir. Birçok sektörde sepiyolitin kullanıldığı nihai ürünlerdeki doğal radyoaktivite, sepiyolitdeki radyoaktiviteye bağlı olarak artabilir. Bu durum ise nihai ürüne bir şekilde muhatap olan bireylerin ve ilgili sektörde çalışanların iç ve dış ışınlanma sebebiyle maruz

kaldıkları yıllık etkin radyasyon dozunu artırabilir ve dolayısıyla radyolojik açıdan uzun dönemde riskler oluşturabilecek katkı sağlayabilir. Bugüne kadar sepiyolitlerin radyoaktivitesine ve radon salım hızına ilişkin herhangi bir bilginin olmaması bir eksiklik teşkil etmektedir. Bu sebeple sepiyolitin içerdiği doğal radyonüklitlerin derişimlerinin bilinmesi, bu tür malzemelerin kullanımı sonucunda bireyler ve ilgili sektörde çalışanların maruz kaldıkları yıllık doğal radyasyon dozu içindeki sepiyolitli ürünlerin kullanılmasından kaynaklanan katkının hesaplanarak olası radyolojik riskin değerlendirilmesi ve sepiyolitli ürünler ile ilgili standartların oluşturulması, geliştirilmesi ve bu malzemelerin kullanımı ve yönetimi için yol gösterici bilgilerin hazırlanması açısından önemlidir.

Sepiyolitin kullanılma alanları, sepiyolitin kimyasal kompozisyonuna da bağlıdır. Dolayısıyla sepiyolitlerin söz konusu sektörlerde etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi için Türkiye'deki mevcut sepiyolit ocaklarının kimyasal bileşen dağılımlarının belirlenmesi önemlidir. Sepiyolit, hayvan altlığı, renk giderici madde, tarım ve böcek ilaçları taşıyıcısı olarak ve ilaç, temizlik-deterjan, kâğıt, boya, kozmetik tarım, gübre, besicilik, kauçuk endüstrisinde, seramik üretiminde ve lif takviyeli çimento üretiminde katkı ham maddesi olarak yaygın bir şekildekullanılmaktadır (Guney, 2014;Doğan, 2007). Sepiyolit ticari olarak İspanya, Çin ,Amerika Birleşik Devletleri ve ülkemizde üretilmektedir. Ülkemizde önemli sepiyolit yatakları özellikle Ankara-Polatlı ve Eskişehir yöresinde kaliteli tenörü yüksek olacak şekilde bulunmaktadır. Bu radyonüklitlerin aktivite derişimleri kayaç (volkanik, sedimanter ve başkalaşım) tipine bağlıdır. Bu radyonüklitlerden yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyon (gama, alfa ve beta), bireylerin iç ve dış ışınlamasına sebep olmaktadır. Sepiyolitin içerdiği doğal radyoaktivitenin yüksek olması durumunda, açık veya kapalı ortamlarda bu malzemenin katkı ham maddesi olarak kullanıldığı nihai ürüne muhatap olan toplum bireylerinin veya sepiyolit ile ilgili sektörlerde çalışan işçilerin açık ortamlarda, kısa veya uzun dönemde maruz kaldıkları iyonlaştırıcı radyasyon dozu, sağlık açısından olumsuz bazı risklere sebep olabilir. Bu tür risklerin değerlendirilebilmesi için öncelikli olarak sepiyolitin doğal olarak içerdiği radyonüklitlerin aktivite derişimlerinin, sepiyolitin radon emanasyon faktörünün ve radon salım hızının bilinmesi dolayısıyla sepiyolit ocaklarının radyometrik karakterizasyonu önemlidir. Bu çalışmada, ülkemizdeki önemli mevcut

sepiyolit ocaklarından (Ankara - Polatlı, Eskişehir - Beylikova ve Eskişehir - Sivrihisar bölgelerinden 30 farklı lokasyondan temin ettiğimiz sepiyolit örneklerinin radyometrik karakterizasyonunu ve kimyasal kompozisyonunu belirledik ve bu tür malzemelerin farklı sektörlerde kullanılmasını radyolojik açıdan değerlendirdik. Ocaklardan topladığımız her bir sepiyolit örneğinin içerdiği ^{238}U, ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite derişimlerini HPGe gama-ışını detektörüyle ölçtük, Elemental dağılımı X-ışını floresans (XRF) spektrometresi kimyasal kompozisyonu X-ışını difraktometresi (XRD) kullanmıştır (Şekil 1.1).

Sepiyolit örneklerinin sözü edilen sektörlerde kullanılmasının radyolojik açıdan değerlendirebilmesine yönelik olarak bilinen bütün radyolojik parametreler aktivite derişim indisi, dış ışınlama risk indisi ve gama indisi, iç ışınlama risk indisi, kapalı ve açık ortamda soğurulan gama radyasyon dozu, dış ve iç ışınlama sebebiyle toplum bireylerinin ve sektörde çalışan işçilerin maruz kaldığı yıllık etkin doz ve yaşam boyu kanser riski hesaplanmıştır.



Şekil 1.1. Sepiyolit mineralinin kimyasal yapısı

Kozmojenik radyonüklitler, genellikle yüksek enerjili fotonların atmosferde gerçekleştirdikleri etkileşmeler sonucunda meydana gelen ^{3}H, ^{7}Be, ^{14}C, ^{22}Na, vb., radyonüklitlerdir. Doğal olarak var olan ve yarılanma süreleri dünyanın yaşı ile kıyaslanabilir olan yerkabuğu kökenli radyonüklitleri ise uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th), aktinyum (^{235}U) doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitler ve potasyum (^{40}K) vb., radyonüklitler oluşturmaktadır. ^{238}U'in bolluk oranı % 0,7 olan bir izotopu olan aktinyum serisinin başı ^{235}U ile lantanyum (^{138}La), samaryum (^{147}Sm) ve lütesyum (^{176}Lu) gibi diğer radyonüklitlerin, yerkabuğundaki aktivite derişimlerinin düşük olması sebebiyle yıllık etkin radyasyon dozuna olan katkıları ihmal edilecek düzeydedir (UNSCEAR, 2000).

1.2. Literatürdeki Çalışmaların Değerlendirilmesi

Hayashi (1969) ,tarafından yapılan çalışmada, sepiyolitin X-ışını ve termal analiz yöntemine ek olarak sepiyolit kilinin kızılötesi soğurma spektrumu elde edilmiştir. Can (1992), tarafından yapılan çalışmada, dünyada ve Türkiye'de sepiyolitik kilin kullanım alanları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışmada Türkiye'deki mümkün tabakalı sepiyolit rezervleri ve yoğunlukları hakkında inceleme yapılmış ve özellikle Türkiye'nin ekonomik olarak değerlendirilebilecek sepiyolitik kil (sanayi tipi veya tabakalı sepiyolit) yataklarının Eskişehir, Çanakkale, Bursa, Kütahya ve İsparta bölgelerinde olduğunu belirtilmiştir.

Yeniyol (1992), tarafından yapılan çalışmada, Sivrihisar (Yenidoğan) bölgesindeki sepiyolit yatağının jeolojisi, mineralojisi ve oluşumunu incelemiştir.

Kadir (1998), tarafından yapılan çalışmada, Ankara-Polatlı güneyindeki Türk taciri bölgesinden alınan kahverengi sepiyolitten karbo-termal indirgeme ve nitrürleme yoluyla Si_3N_4 seramik tozu üretimi parametreleri araştırılmıştır. Bu kahverengi sepiyolit hidrometalurjik (liç) yöntemi ile zenginleştirilerek büyük oranda dolamitten arındırılmıştır. Gözenek büyüklüğü 100 elek altı zenginleştirilmiş kahverengi sepiyolit 325 gözenek büyüklüğü elek altı karbon karası ile C/SiO_2 molar oranları 1,5, 3, 4, 5 ve 7,5 olacak şekilde karıştırılmıştır. Bu karışım numuneleri değişik sıcaklıklarda ve sürelerde kontrollü tüp fırınlarda KTIN işlemine maruz bırakılmıştır.

Bu işlemlerden sonra bütün numuneler XRD analizleri yapılarak dönüşümler ve miktarları SEM-EDX analizleri yapılarak ta dönüşümlerin morfolojik yapısı ve kimyasal bileşimleri belirlenmiştir. Yapılan analizler 1400 CO'de C/SiO2 molar oranı 4 olan ve 16 saat KTİN işlemi gören numunede%100 'yakın Si3N4 olduğunu göstermiştir.

Sabah ve Çelik (1999), tarafından yapılan çalışmada, sepiyolit maddesinin özellikleri ve kullanım alanları incelemiştir.

Baytaş ve Akbal (2002), tarafından yapılan çalışmada, farklı enerjili gama kaynakları kullnarak linner zayıflama katsayısı ve toprak gözeneği ile gama geçirgenlik şiddeti arasında, kimyasal bakımından yakın SiO_2 ağırlıklı toprakların aynı olduğu görülmüştür.

İshakoğlu ve Baytas (2002), çalışmalarında standart bir kum kullanarak değişik akışkanlara sahip sıvılar ile çeşitli kumtaşı ve kayaçların gamma geçirgenlik katsayıları, Arşimet yasalarıyla birlikte kullanılmıştır.

Karabağlı (2002), tarafından yapılan çalışmada, dünyada çok az bulunabilen ve ülkemizde özellikle Eskişehir bölgesinde bulunan Alfa sepiyolitin (lületaşının) koku adsorpsiyon, sekresyonları soğurma, Ph etkileri, antibakteriyal özellikleri araştırılmış ve diğer alternatif pansuman ürünleriyle karşılaştırılmıştır.

Armağan vd., (2003), tarafından yapılan a,b,c ve d model çalışmalarında , tekstil sanayisinde ortaya çıkan atık suyun yeniden kullanımı ve suyun renklendirilmesi için sepiyolit kil kullanmıştır. Çalışmada farklı reaktif boyalar alımı için sepiyolit özellikleri araştırılmıştır.

Appoloni ve Pottker (2004), tarafından yapılan çalışmada, Am-241 gama kaynağı yardımıyla gözeneklilik ve gama geçirgenlik katsayısı incelenmiştir.

Önen (2005), tarafından yapılan çalışmada, sepiyolit mineralinin, bitkisel yağların rafinasyonunda ağartma toprağı olarak kullanılmasını incelenmiştir.

Türkyılmaz (2005), tarafından yapılan çalışmada, sepiyolitin elektrokinetik özelikleri, mikroelektro forez tekniği kullanılarak LiCl, NaCI, KCI, $CuCl_2$, $CaCl_2$, Pb $(NO_3)3$, $AlCI_3$ ve Fe $(NO_3)3$ gibi elektrolitlerin varlığında Ph 'ın bir fonksiyonu olarak incelenmiştir.

Dinçer (2007), tarafından yapılan çalışmada, sulu çözeltilerdeki sepiyolit ve genleşmiş perlit üzerindeki PAM adsorpsiyonu bazı parametrelerin fonksiyonuna göre sistematik olarak araştırılmıştır.

Post ve Crawford (2007), tarafından yapılan çalışmada, farklı jeolojik sistemlerden paligorskit ve sepiyolit forumlarının elde edilişi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Korkmaz (2008), tarafından yapılan çalışmada, Eskişehir-Sivrihisar yöresine ait sepiyolitin XRD ve XRF analiz teknikleri ile mineralojik ve kimyasal analizlerini yapılmıştır.

Krekeler ve Guggenheim (2008), tarafından yapılan çalışmada, paligorskit-sepiyolit mineralleri için TEM (taramalı elektron mikroskopu) kullanarak paligorskit-sepiyolit minerallerinde büyük organik moleküller ve kimyasal bileşimi içeren kusur özellikleri incelenmiştir.

Subaşı ve Emiroğlu (2008), tarafından yapılan çalışmada, sepiyolit beton karışımı içerisinde agrega olarak kullanıldığında, sepiyolitin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerinin araştırılmıştır.

Pires vd. (2009), yapılan çalışmada, Am-241 gama kaynağı kullanılarak,çeşitli tarım arazalerinde yakşalık 10 cm kadar derinlikler için gama geçirgenlik katsayıları incelnmiştir.

Garcia-Lopez vd. (2010), tarafından yapılan çalışmada, PA 6 polimer/organokil nanokompozitlerin için sepiyolit organik modifikasyonu etkisini incelenmiştir.

Ün, vd. (2011), yapılan çalışmalrında Am-241 , Cs-137 ve Ba-133 gama kaynakları kullanılarak 5 farklı toprak numunesinde gama geçigenlik ve zayıflatma katsayıları ile toprakların gözeneklikleri ve su tutma kapasitelerine bakılmıştır.

Shaomin (2013), tarafından yapılan çalışmada, hidrojen üretimi için Ni-Mo üzerinde değiştirilmiş sepiyolit katalizörleri araştırtılmıştır. Çalışmada, sepiyolit katalizörlerle sabit yataklı boru yardımıyla değiştirilmiş katalitik buhar gerçekleştirilmiştir.

Şatır (2014), tarafından yapılan çalışmada, farklı içerik ve yöntemlerle hazırlanan epoksi sepiyolit kompozitlerinin özelliklerinin belirlenmesi üzerine inceleme yapılmıştır. Çalışmada saf epoksi reçinesi (NPEK 114) ve sepiyolit kili kullanılarak kompozit malzemeler hazırlanmış ve özellikleri incelenmiştir. Kompozit malzeme hazırlanırken saf epoksi reçinesi üzerine belirli oranlarda (% 0, % 3, % 5, % 10) sepiyolit kili ve sepiyolitin TMAC ve TBAB yüzey aktif maddeleriyle modifiye edilmiş organo kili katılmıştır.

Branislava, vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada, piliçlerde uranyum adsorbsiyonu araştırmak için doğal sepiyolit (NS) ve asit ile muamele yapılarak, farklı miktarlarda (0,01, 0,025, 0,05, 0,1, 0,25, 0,5, adsorblanan 0,7, 0,9, ve 1 g), 50 ml ilave edilerek, canlılarda sepiyolit üzerindeki uranyum iyonların adsorpsiyonu incelenmiş ve sepiyolit ile tedavi için iki adet pH değerlerinde belirlenmiştir.

Fenfang, vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada, hidrotermal yöntemle hazırlanmış manyetik sepiyolit ile yeni bir foto - katalizörün etkin foto aktiflik durumu araştırılmıştır.

Duman vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada, sepiyolit üzerine sulu çözeltisinden temel kırmızı (BR9) adsorpsiyon yöntemi araştırılmıştır.

Yang vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada, sepiyolit kili kullanılarak difüzyon yöntemiyle Nikel (Ni) II, üzerindeki mikropların azaltılması etkisini araştırılmıştır.

Olivato vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada, sepiyolit kile dayalı nişasta/nanopoliyster-biokompozit malzemelerin morfolojik özellikleri araştırılmıştır.

Sung Jang ve Jin Choi (2015), tarafından yapılan çalışmada, uygun bir DC elektrik alan etkisinde, polianile sarılmış sepiyolit kompozit (SPL)yapısının iletkenliği üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Literatür taramasından da görülebileceği gibi, Türkiye'de ve Dünyada ki mevcut sepiyolit yataklarının içerdiği doğal radyoaktif elementlerin aktivite derişimlerinin ölçüldüğü, radon emanasyon faktörünün belirlendiği ve birçok sektörde yaygın olarak kullanılan sepiyolitin katkı ve dolgu malzemesi olarak kullanılmasının radyolojik açıdan incelenmesine ilişkin herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Türkiye'deki mevcut sepiyolit yataklarının tamamını kapsayan element ve kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesine yönelik olarak çalışma yapılmamıştır. Yapılan çalışmalar münferit ocaklara ilişkin kimyasal analiz yöntemi ile yapılan çalışmalardır.

Bu tez iki ana başlık altında incelendi.Birincisi, Radyolojik açıdan bölgelerin değerlendirilmesi yapıldı.Ankara-Polatlı yaklaşık (7500 hektar) ve Eskişehir-Beylikova yaklaşık (1000 hektar) ve Eskişehir-Sivrihisar yaklaşık (3750 hektar) alanlarında, bu İlerinf arklı yerlerinde bulunan ocaklardan toplanan 30 farklı lokasyonlardan sepiyolit örneğinin içerdiği ^{238}U, ^{232}Th, ^{226}Ra ve ^{40}K'ın aktivite derişimleri, bir yüksek saflıktaki germanyum (HPGe) dedektörlü gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçüldü ve bu doğal radyonüklitlerden yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyonun, insan sağlığında oluşturabileceği radyolojik risk değerlendirildi. Bu açıdan bakıldığında tez kapsamında yapılan çalışma, sepiyolit endüstriel maddesinin radyoaktivitesine yönelik kapsamlı ve ayrıntılı olarak Türkiyede ve Dünyada yapılan ilk çalışmadır. Sepiyolit $Mg_4Si_6O_{15}6H_2O(OH)2$ olduğu tipik formül olan bir elyaflıhidratlanmış magnezyum silikat, olduğu . Sepiyolit adı, malzemenin, mürekkepbalığı veya sepyanın gözenekli kemikleriyle algılanışından bir benzerinden kaynaklanmaktadır. Sepiyolit, fillosilikat grubuna dahil edilmiştir, çünkü sürekli iki boyutlu, dört yüzlü bir tetrahedral Si kompozisyonu levha içerir. Bununla birlikte, sürekli bir oktahedral tabakanın bulunmaması nedeniyle diğer katmanlı silikatlardan farklıdır. Katmanlı kil mineraller yapısal olarak benzer bloklardan meydana gibi hayal edilebilir. Şekil 1.1'de Sepiyolit yapısı iki yüzlü silika(Si) tabakalar ve Mg içeren merkezi bir oktahedral levha, ancak

sadece bir yönde, (c-ekseni) sürekli oluşmaktadır gösterir. Çalışmanın ikinci bölümünde sepiyolit mineralinin elementer ve minorologijik analizi yapıldı. Sepiyolit, sedimenter kaynaklı doğal olarak bulunan magnezyum hidrosilikat $Si_{12}Mg_8O_{30}(OH)_4(OH_2)_4.8H_2O$ bir kil mineralidir. Bu çalışmada, Türkiyede önemli Sepiyolit endüstriyel malzemesinin bol olduğu, Ankara –Polatlı (AP; 2,56 gr/cm^3), Eskişehir-Beylikova (EB; 2,27 gr/cm^3) ve Eskişehir-Sirvihisar (ES; 2,47 gr/cm^3), ortalama yoğunluğu sırasıyla verilen 3 farklı bölgenin analizi radyolojik ve minorolojik olarak çalışılmıştır. Bu bölgelerde Sepiyolit bolluk oranı ortalama % 60 SiO_2; % 30 MgO, % 2 CaO; % 1 Al_2O_3; % 0,5 Fe_2O_3 ve diğerleri küçük bir yüzdeyle mevcuttur. Elemental dağıtımları için, XRF spektrometre ve XRD ölçüm cihazları kullanılarak sepiyolit içindeki Si, Al, Mg, Ca ve K elementlerinin mineralojik karakterizasyon belirlemek için kullanılmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİ

2.1. Radyoaktivite

Kararsız atom çekirdeği rastgele biçimde bozularak kararlı bir çekirdeğe dönüşür. Ağır elementlerin kararsız çekirdeklerinin bu bozunması radyoaktivite olarak bilinir. Bozunma işlemi sonucunda çeşitli parçacıklar ve enerji yayımlanır. Kararsız bir atomun çekirdeği kararlı olmak için bozunmaya uğrar. Radyoaktif bozunum kanunu aşağıdaki formülle verilir,

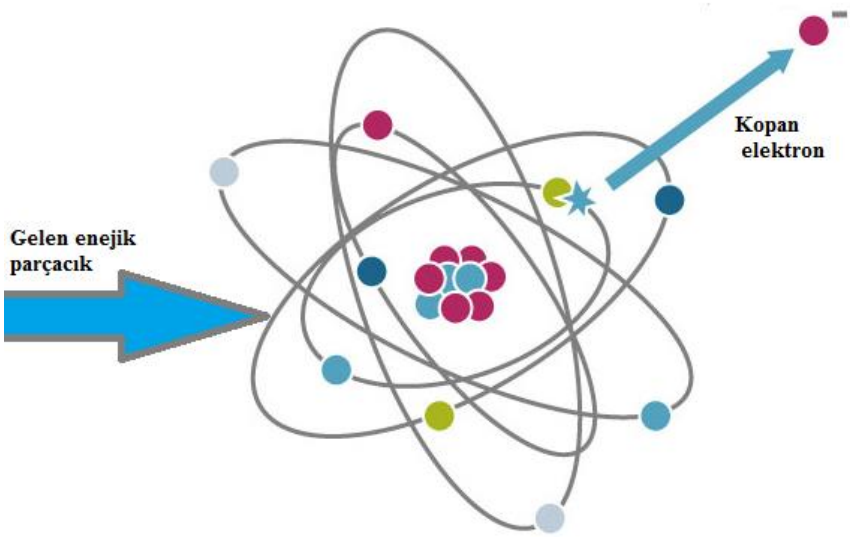
$$A(t) = dN(t) / dt = \lambda N(t) \qquad (2.1)$$

burada A; aktivite belirli bir radyonüklitlerin birim zaman başına bozunumu, N (t); t anındaki, mevcut radyoaktif çekirdeklerin sayısı ve λ; bozunma sabitidir (s^{-1}) orantı sabiti olup farklı izotoplar için farklı olup, birim zamanda bozunan çekirdeklerin toplam çekirdek sayısına oranıdır (Krane, 2001).

2.2. Radyasyon Çeşitleri

2.2.1. İyonlaştırıcı Radyasyonlar

İyonize radyasyon, atomlara enerji aktarır ve atomdan elektron kopmasına neden olur. Gama ve x ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla (betalara göre 100 kat daha fazla), iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır. Şekil 2.1' de yüksek enerjili bir fotonun maddeyle etkileştikten sonraki elektron koparması verilmiştir (Knoll, 2000).



Şekil 2.1. Bir atomun iyonlaşması

2.2.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar

Bu tip elektromanyetik radyasyonlar madde ile etkileştiklerinde atomdan elektoron koparmazlar, sadece titreşim, dönme veya uyarılmalar yapar. Ultraviyole ışık (morötesi ışık), infrared ışık (kızılötesi), radar, mikrodalga, radyo dalgaları, görünen ışık ve benzerlerini içeren durumlar iyonize olmayan radyasyonları içermektedir. İnsanoğlu var oluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi (doğal fon) oluşturmuşlardır. Radyasyon kaynaklarını, doğal ve yapay olmak üzere, iki sınıfa ayırabiliriz.

2.2.3. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğada kendiliğinden var olan yaşamımızın her anında maruz kaldığımız radyasyon kaynaklarıdır. Canlıların maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık % 85'lik bölümü doğal kaynaklardan yayılan radyasyondur. Bütün canlıların maruz kaldığı genellikle zararsız olan bu radyasyon, çevresel, fon ya da arka alan radyasyonu olarak adlandırılır. Doğal radyasyonu oluşturan kaynaklar üç başlıkta toplanabilir bunlar; kozmik radyasyon, yer küre radyasyonu ve içsel radyasyon alarak isimlendirilir. Dünya atmosferi güneşten ve galaksilerden kaynaklanan yüksek enerjili proton ve

nötron parçacıkları ile sürekli bombardımana maruz kalmaktadır. Bu parçacıkların enerjileri 1 MeV ile 10^4MeV arasında değişmektedir. Dünyanın atmosferi ve manyetik alanı yeryüzündeki canlı hayatı zararlı kozmik radyasyondan koruma gibi bir işlevi vardır. Bu nedenle kozmik radyasyona hangi yükseklikte maruz kalındığına bağlı olarak alınan dozun seviyesini etkiler. Yükseklere çıkıldıkça atmosfer kalınlığı ve manyetik alanın şiddeti azalır. Kozmik radyasyon atmosferde bulunan gaz atomlarını etkiler ve bu etkileşim sonucu müonlar ve pionlar gibi parçacıklar oluşur. Gama ışınımı yapan ^{238}U ve ^{232}Th serileri ile ^{40}K dış kaynaklı radyasyon dozunu etkileyen temel bozulmaları oluşturur. Yerkabuğunda bulunan bu üç element ve bunların izotopları insanların maruz kaldığı radyasyonun önemli kısmını oluşturmaktadır. Üst kabukta bulunan ^{40}K, yaklaşık 3ppm ortalama konsantrasyona, granit kayalarda bulunan ^{232}Th, 10-15 ppm ortalama konsantrasyona, uranyumun üç farklı izotopu da granit yapılarda toplamda 3-4 ppm ortalama konsantrasyona sahiptir. Uranyum elementinin üç farklı izotopunun bulunma yüzdeleri sırasıyla^{238}U için 99,274 %, ^{235}U için 0,7205 % ve ^{234}U için 0,0056 % seviyelerindedir (Kurnaz, Küçükömeroğlu, Keser, Okumuşoğlu, Korkmaz, Karahan, Çevik, 2007; NCRP, 1975; Canberra, 1983; Taek, 1988). Yer altındaki kaya ve toprak katmanlarında bulunan uranyum ^{238}U bazı elementlerin uzun radyoizotop bozunma serisinin başlangıç kaynağıdır ve bozunmaya uğrayarak kararlı kurşuna kadar dönüşür. Bu bozunma serisinin ilk ürünleri arasında yer alan ^{222}Rn radon radyoizotopu zamanla havaya karışır ve bozunmaya devam eder. Benzer şekilde radyoaktif toryum ^{232}Th elementi de başka bir radyoaktif bozunma serisinin başlamasına kaynaklık eden maddedir. ^{40}K ağırlıklı olarak yerkabuğunun % 2,4 ünü oluşturur ve aktivite konsantrasyonu ^{238}U ve ^{232}Th ye göre daha büyüktür (Taek, 1988). Tablo 2.1'de toprakta bulunan doğal radyonüklitlerden uranyuma ait raporlarında tespit edilen konsantrasyonları verilmiştir.

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Günlük yaşantımızda kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv/yıl'dır. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1,3 mSv/yıl'dır.İnsanların yaşadıkları bölgelere bağlı olarak aldıkları doz bu ortalamanın altında yada üzerinde olabilir. Dünyanın bazı bölgeleri radyoizotop konsantrasyonu bakımından yüksek değerler içeren toprak yapısına

sahiptir. Bu özelliğe sahip bölgelerin başında Hindistan'ın Kerala bölgesi, Fransa ve Brezilya'nın bazı bölgeleri yer alır. Bu bölgelerde alınan doz dünya ortalamasının yaklaşık 20 katına kadar çıkabilir.

2.2.4. Yapay Radyasyon Kaynakları

Yapay radyasyon kaynaklarıda, benzer şekilde doğal radyasyon kaynakları gibi dozun şiddetine ve radyasyonun madde ile etkileşme süresine bağlıdır. Özellikle nükleer denemeler ve hastanelerde yada nükleer gıda teknolojinde yıllık ortalama bir insanın alacağı doz önemli olup, bir erişkin insanın yıllık alacağı doz miktarını geçmemelidir. (Taek, 1988; Değerliler, 2007). Uranyum, toryum ve aktinyum serisindeki radyonüklitlerin fiziksel verileri, sırasıyla, Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'de verilmektedir (Krane, 2001;Martin, 2013).

Tablo 2.1. *Uranyum serisindeki radyonüklitlerin yarılanma süreçleri*

Element	İzotop	Yarılanma süresi	Bozunum süreci
Uranyum	^{238}U	$4,47 \times 10^{9}$ yıl	Alfa (%100)
Toryum	^{234}Th	24,1 gün	Beta (%100)
Protaktinym	^{234m}Pa	1,17 dakika	Beta (%99.8)
Uranyum	^{234}U	$2,45 \times 10^{5}$ yıl	Alfa (%100)
Toryum	^{230}Th	$7,54 \times 10^{4}$ yıl	Alfa (%100)
Radyum	^{226}Ra	1600 yıl	Alfa (%100)
Radon	^{222}Rn	3,82 gün	Alfa (%100)
Polonyum	^{218}Po	3,05 dakika	Alfa (%99,98) ve Beta (%0,02)
Kurşun	^{214}Pb	26,8 dakika	Beta (%100)
Bizmut	^{214}Bi	19,9 dakika	Alfa (%0,02) ve Beta (%99,98)
Polonyum	^{214}Po	164×10^{-6} saniye	Alfa (%100)
Kurşun	^{210}Pb	22,3 yıl	Beta (%100)
Bizmut	^{210}Bi	5,013 gün	Beta (%100)
Polonyum	^{210}Po	1384 gün	Alfa (%100)
Kurşun	^{206}Pb	Kararlı	Kararlı

Tablo 2.2. *Toryum serisindeki radyonüklitlerin yarılanma süreçleri*

Element	İzotop	Yarılanma süresi	Bozunum süreci
Toryum	^{232}Th	1,4 x 10^{10} yıl	Alfa (%100)
Radyum	^{228}Ra	5,75 yıl	Beta (%100)
Aktinyum	^{228}Ac	6,15 saat	Beta (%100)
Toryum	^{228}Th	1,912 yıl	Alfa (%100)
Radyum	^{224}Ra	3,66 gün	Alfa (%100)
Radon	^{220}Rn	55,6 saniye	Alfa (%100)
Polonyum	^{216}Po	0,145 saniye	Alfa (%100)
Kurşun	^{212}Pb	10,64 saat	Beta (%100)
Bizmut	^{212}Bi	60,55 dakika	Alfa (%36)
Polonyum	^{212}Po	0,3 x10^{-6} saniye	Alfa (%100)
Talyum	^{208}Tl	3,053 dakika	Beta (%100)
Kurşun	^{208}Pb	Kararlı	Kararlı

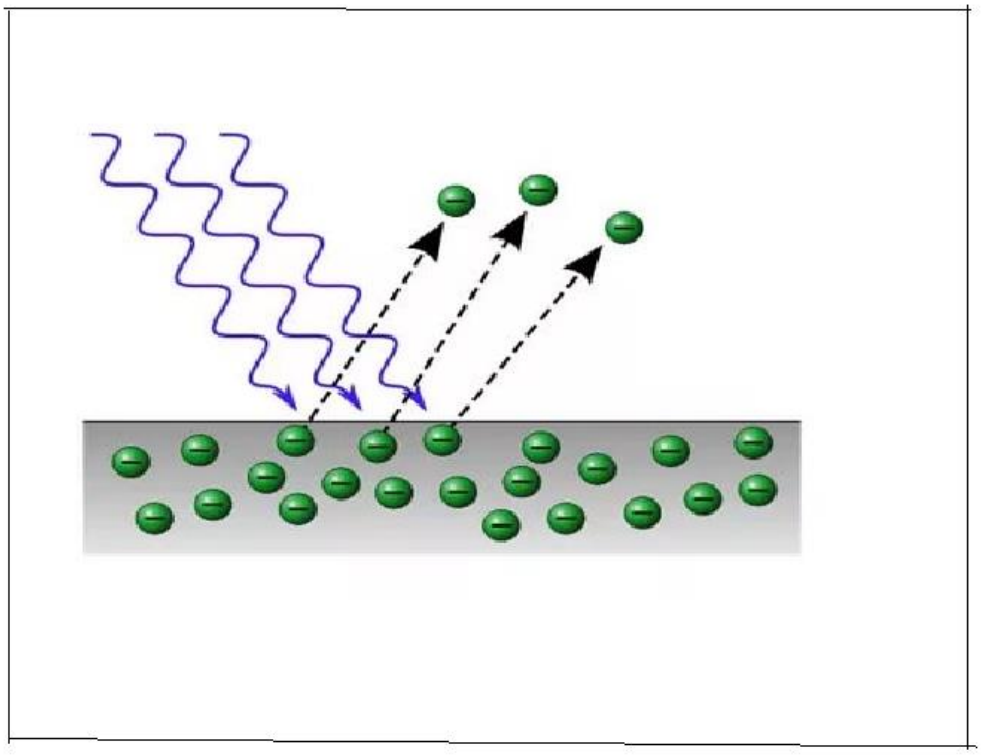
Tablo 2.3. *Aktinyum serisindeki radyonükitler*

Element	İzotop	Yarılanma süresi	Bozunum süreci
Uranyum	^{235}U	7,038 x 10^{8} yıl	Alfa (%100)
Toryum	^{231}Th	25,52 saat	Beta (%100)
Protaktinyum	^{231}Pa	32760 yıl	Alfa (%100)
Aktinyum	^{227}Ac	21,77 yıl	Alfa (%1,4) ve Beta (%98,6)
Toryum	^{227}Th	18,72 gün	Alfa (%100)
Fransiyum	^{223}Fr	21,8 dakika	Beta (%100)
Radyum	^{223}Ra	11,44 gün	Alfa (%100)
Radon	^{219}Rn	3,96 saniye	Alfa (%100)
Polonyum	^{215}Po	1,78x10^{-3}saniye	Alfa (%100)
Kurşun	^{211}Pb	36,1 dakika	Beta (%100)
Bizmut	^{211}Bi	2,14 dakika	Alfa (%99,7) ve Beta (%0,3)
Talyum	^{207}Tl	4,77 dakika	Beta (%100)
Kurşun	^{207}Pb	Kararlı	Kararlı

2.2.5. Fotoelektrik Olayı, Compton Saçılması ve Çift Oluşum

2.2.5.1. Fotoelektrik Olayı

Fotoelektrik soğurma sürecinde bir foton, tam olarak soğurulacağı soğurucu malzemeyi oluşturan atomlar ile etkileşmeye maruz kalır ve süreç sonucunda fotonun yerini soğurucu atomun dış yörüngesinden fırlatılan enerjik foto-elektron alır. Fotoelektrik etki şematik olarak Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Malzeme üzerine gelen foton enerjisi; h.ν olmak üzere,



Şekil 2.2. Fotoelektrik etkinin şematik gösterimi

Yeterli enerjiye sahip gama ve X-ışınları için foto-elektron, en muhtemel atoma en zayıf şekilde bağlı K-kabuğundan fırlatılan elektrondur ve foto-elektronun enerjisi,

$$E_e = h\nu - E_b \tag{2.2}$$

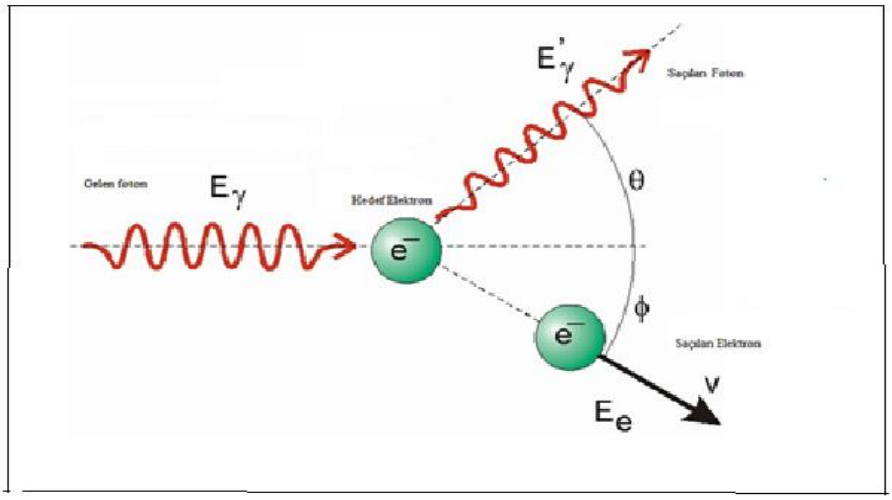
ile verilir. Burada, E_e ; saçılan foto-elektronun enerjisi, E_b; foto-elektronun bağlanma enerjisidir. Birkaç yüz keV'den daha büyük enerjili gama-ışınları için foto-elektronlar, orijinal foton enerjisinin büyük bir kısmına sahip olur. Foto-elektrona ilave olarak etkileşme aynı zamanda elektron tabakasında boşluk olan iyonlaşmış soğurucu atomu da meydana getirir. Fotoelektrik etki, bağıl olarak düşük enerjili gama ve X-ışınları için baskın bir etkileşme sürecidir. Süreç, aynı zamanda atom sayısı yüksek olan (yüksek Z'li) soğurucular için de etkilidir. Bütün gama veya X-ışını enerjilerini (E_γ veya E_X) ve Z'leri kapsayacak şekilde atom başına foto-elektrik soğurma ihtimali için geçerli tek bir analitik tanım olmamakla birlikte kaba bir yaklaşımla,

$$\tau \cong \text{sabit} \times \frac{Z^n}{E_{\gamma,X}^{3,5}} \tag{2.3}$$

bağıntısı ile verilebilir (Knoll, 2000; Krane, 2001). Burada n, ilgilenilen gama-ışını ile ilgili olarak 4,5 aralığında değişmektedir. Fotoelektrik soğurma ihtimalinin soğurucunun atom sayısına keskin bağımlılığı, yüksek Z'li soğurucu malzemelerin gama ve X-ışını kaynaklarının zırhı için etkin bir şekilde tercih edilme sebebidir.

2.2.5.2. Compton Olayı

Compton saçılması etkileşme süreci, gelen gama veya X-ışını ile soğurucu malzemenin atomundaki bir elektron arasında gerçekleşir. Compton saçılması, bilinen bir radyoizotop kaynaktan yayınlanan tipik bir enerji değerindeki gama-ışını için genellikle etkin bir mekanizmadır. Compton saçılması şematik olarak Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Compton saçılmasında, gelen foton orijinal yönüne (geliş açısına) göre bir θ açısı ile saçılır. Foton enerjisinin bir kısmını başlangıçta hareketsiz olarak kabul edilen elektrona aktararak onun da bir ϕ açısı ile saçılmasını sağlar. Saçılmalar bütün açılarda mümkün olduğundan elektrona aktarılan enerji, sıfırdan gama-ışını enerjisinin önemli bir kısmına kadar değişebilir (Knoll, 2000).



Şekil 2.3. Compton saçılmasının şematik gösterimi

Enerji aktarımı ile ilgili ifade ve verilen herhangi bir etkileşim için saçılma açısı enerji ve momentum korunumu formülleri ile kolayca elde edilebilir. Saçılan fotonun enerjisi,

$$E_S = \frac{E_G}{1 + \frac{E_G}{m_0 \cdot c^2}(1 - \cos\theta)} \tag{2.4}$$

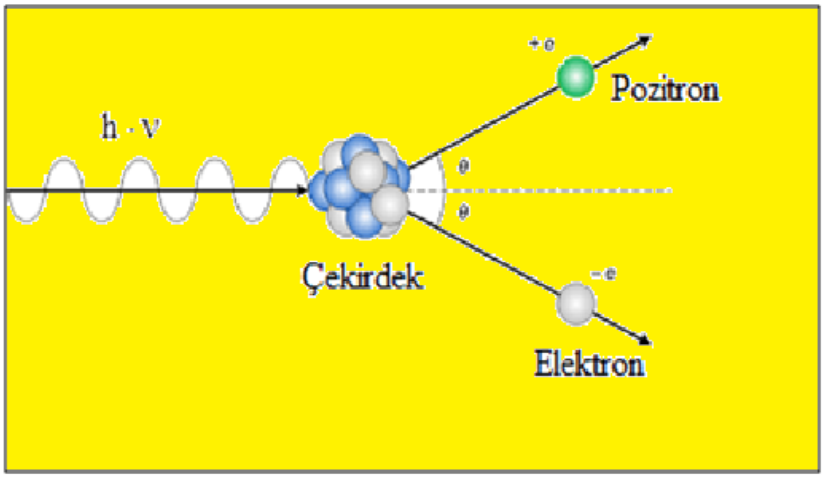
bağıntısı ile verilir. Burada E_S; saçılan fotonun enerjisi, ν'; saçılan fotonun frekansı, h; Planck sabiti ($E_S=h.\nu'$), E_G; gelen fotonun enerjisi, ν; gelen fotonun frekansı ($E_G=h.\nu$), m_0; elektronun durgun enerjisi (0,511 MeV) ve θ; gelen fotonun geliş açısına göre saçılma açısıdır. Compton kayması ($\Delta\lambda$) olarak bilinen saçılan fotonun dalga boyu (λ_S) ile gelen fotonun dalga boyu (λ_G) arasındaki fark,

$$\lambda_S - \lambda_G = \Delta\lambda = \frac{h}{m_0 \cdot c}(1 - \cos\theta) \tag{2.5}$$

bağıntısı ile verilir. Soğurucu malzemenin içerdiği atom başına Compton saçılma ihtimali, hedef atomlarının elektron sayısına bağlıdır ve bu yüzden atom numarası Z ile doğru orantılı olarak artar.

2.2.5.2. Çift Oluşum

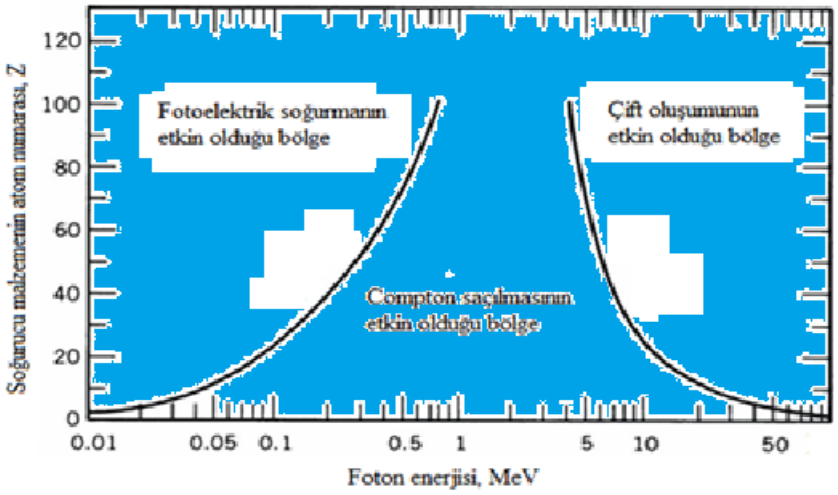
Çift oluşumu, foton ile madde etkileşmesinde üçüncü önemli süreçtir. Gelen fotonun enerjisi bir elektronun durgun kütle enerjisi olan 0,511 MeV'den iki kat daha büyükse (>1,02 MeV), çift oluşumu sürecinin meydana gelmesi enerjik olarak mümkündür. Uygulamada, bu etkileşmenin olma ihtimali, foton enerjisi birkaç MeV'e yaklaşana kadar çok düşüktür ve bu yüzden çift oluşumu baskın olarak yüksek enerjili fotonlar için etkindir (Knoll, 2000; Krane, 2001). Çift oluşumu, şematik olarak Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Bir çekirdeğin Coulomb alanında meydan gelmesi gereken etkileşme sürecinde, gama veya X-ışını fotonu, yerini bir elektron-pozitron çiftine bırakarak kaybolur. Çift oluşumu için gerekli olan 1,02 MeV enerjinin üzerinde bir enerjiye sahip fotonun sahip olduğu fazla enerjinin tamamı pozitron ve elektron tarafından paylaşılacak şekilde kinetik enerjiye dönüşür. Pozitron, soğurucu ortamda bir elektronla birleşerek yok olmak suretiyle yok olma radyasyonu olarak bilinen ve gama-ışını dedektörlerinde önemli rol oynayan her birinin enerjisi 0,511 MeV olan iki gama-ışınına dönüşür.



Şekil 2.4. Çift oluşumunun şematik gösterimi

Çekirdek başına çift oluşumu ihtimalini veren basit bir formül olmamakla birlikte ihtimalin büyüklüğü, soğurucu malzemenin atom sayınını karesi (Z^2) ile değişmektedir.Yukarıda sözü edilen üç etkileşme sürecinin farklı soğurucu

malzemeler için izafi önemi veya hangi enerji aralıklarında etkili olabildikleri Şekil 2.5'de verilmektedir (Knoll, 2000; Krane, 2001).



Şekil 2.5. Fotoelektrik olay, compton olayı ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler

Şekil 2.5'de gösterilen sol taraftaki çizgi, fotoelektrik soğurma ile Compton saçılması ihtimallerinin, soğurucu malzemenin atom sayısına bağlı olarak eşit olduğu enerji değeridir. Sağ taraftaki çizgi ise, Compton saçılması ile çift oluşumu ihtimallerinin, soğurucu malzemenin atom sayısına bağlı olarak eşit olduğu enerji değeridir. Compton saçılmasına ilave olarak saçılmanın diğer bir tipi de gama veya X-ışını fotonunun bağdaşık (uyumlu) olarak soğurucu malzemenin içerdiği atom elektronlarının tamamı ile etkileşmesidir. X-Işınları, elektrik ve manyetik alanların birbirine ve yayılma doğrultularına dik olan elektromanyetik dalgalardır. X-Işınları 0,02 Å ve 100 Å arasında dalga boyuna sahip elektromanyetik ışımadır. γ ışınları ve ultraviyole ışınları arasında elektromanyetik spektrumun bir parçasında meydana gelir. Görünen ışığın dalga boyu 4000-6000 Å mertebesindedir Etkileşme sonucunda herhangi bir elektron uyarmasının veya iyonlaşmanın olmadığı bu süreç, Rayleigh saçılması veya bağdaşık (coherent) saçılma olarak bilinir. Bununla birlikte meydana gelme ihtimali, tipik olarak birkaç yüz keV düşük enerjili fotonlar için önem kazanan ve Z'si yüksek soğurucu malzemelerde belirgin olan bu saçılma sürecinde, fotonun yönü değişmektedir.

2.3. X-Işını Floresans Spektrometrik Yöntem

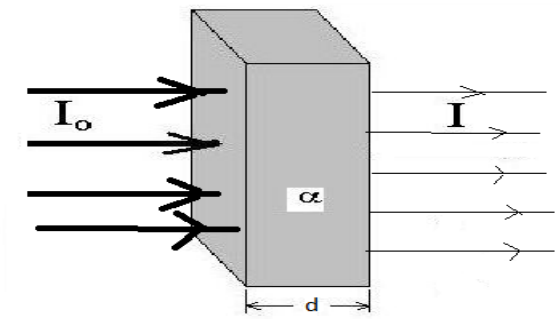
Çevresel veya gıda örneklerinin ana, ikincil ve eser elemental analizleri, atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS), endüktif eşlenmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES), endüktif eşlenmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES), endüktif eşlenmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) vb. spektrometrelerin kullanılması ile çok hassas bir şekilde yapılabilmektedir. Ancak bu yöntemler, zor ve uzun bir örnek hazırlama süreçlerine ihtiyaç duymaktadır. X-ışını floresans (XRF) yöntemi, sadece asgari düzeyde örnek hazırlama işlemini gerektiren, katı, sıvı, toz filtrelenmiş veya başka bir formda olabilen metal, alaşım, cam, çimento, mineral, kaya, toprak, seramik, cevher, polimer vb. değişik tipteki örneklerin içerdiği ana, ikincil ve eser elementleri kısa bir sürede nitel ve nicel olarak analiz edebilen tahribatsız, güvenilir ve hızlı bir yöntemdir. XRF analizinin kesinliği ve tekrarlanabilirliği çok yüksektir. Genel olarak atom sayısı büyük olan elementleri dedeksiyon limitleri, daha hafif elementlere göre daha yüksektir. Analiz veya ölçme zamanı, belirlenecek element sayısına ve istenilen doğruluğa bağlıdır ve birkaç saniye ile 30 dakika arasında değişmektedir. Analiz zamanı, ölçme işlemi tamamlandıktan sonra sadece birkaç saniye almaktadır (Brouwer, 2013).

2.3.1. X-Işınlarının Madde ile Etkileşmesi

Şiddeti I_0 olan X-ışını demeti d kalığında ve ρ yoğunluğunda bir madde ile temas ettiğinde veya maddenin içinden geçtiğinde, X-ışını ile madde arasında üç temel etkileşme (floresans, Compton saçılması ve Rayleigh saçılması) meydana gelebilir.

Bu etkileşmelerin sonucunda, X-ışını demetini oluşturan fotonların bir kısmı madde tarafından soğurulur (floresans radyasyon veya karakteristik X-ışınlarının oluşması) veya geliş doğrultusundan farklı açılarda enerji kaybederek (Compton saçılması) veya enerji kaybetmeyerek (Rayleigh saçılması) saçılmaya uğrar.Floresans soğurma ve saçılma, malzemenin kalınlığına (d), yoğunluğuna (ρ), malzeme bileşimine ve X-ışınının enerjisine ve soğurma katsayısı (α)bağlıdır. Gelen X-ışını demetinin şiddeti (I_0), geçen demetin şiddeti (I)olup ;(I_0>I) .

Şekil 2.6’ da verilen d kalınlıklı madde içersinden seçilen dx et kalınlıklı ,geometrik yapı Lambert-Beer yasası ile verilir.



Şekil 2.6. Lambert-Beer yasasının şematik gösterimi

Burada azalma faktörü ,dx madde kalınlığıyla orantılı olup , $\frac{dI}{I}\alpha(-dx)$ bağıntısıyla verilir.Gerekli işlemlerden sonra şidet azalma bağıntısı denklem 2.7 verlir.Burada, μ/ρ;kütle soğurma katsayısıdır. Gelen X-ışını demetinin şiddeti (I_0), aşağıda verilen Lambert-Beer yasasına göre üstel olarak azalır.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d} \tag{2.7}$$

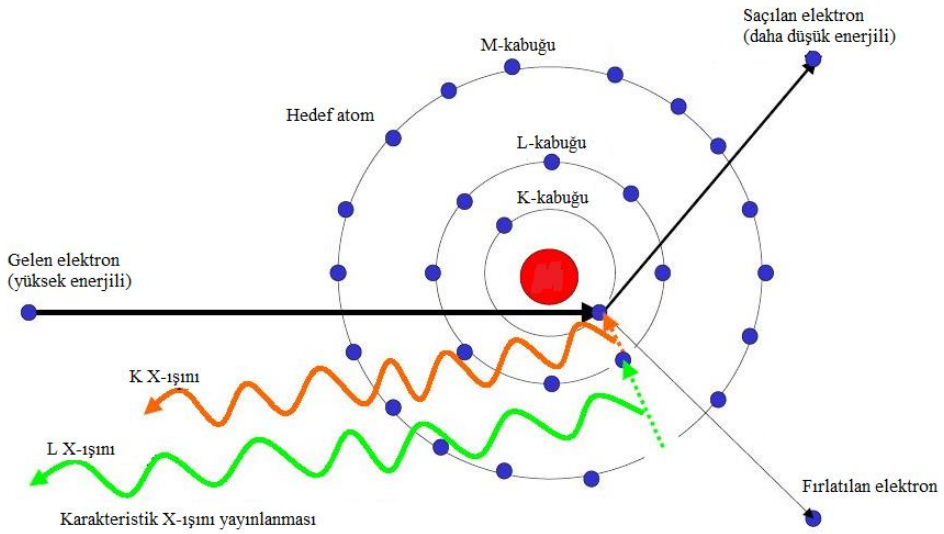
Burada, I; geçen X-ışını demetinin şiddeti, μ; doğrusal zayıflatma katsayısı (cm^{-1}) ve d; malzeme kalınlığıdır.

2.3.2. Karakteristik X-ışınlarının Oluşması

Klasik atom modeline göre bir atom, pozitif yüklü proton ve yüksüz nötronların oluşturdu çekirdek ve bu çekirdek etrafındaki kabuk veya yörüngelerde dönen elektronlardan meydana gelmektedir. Şekil 2.7’de karakteristik X-ışının oluşum biçimi verilmiştir. Çekirdekten dışa doğru elektronların döndüğü kabuklar (tabakalar), K-kabuğu, L-kabuğu, M-kabuğu vb. olarak isimlendirilmektedir. L-kabuğu, L_I, L_{II} ve L_{III} olmak üzere üç alt kabuğa sahip iken M-kabuğu, M_I, M_{II}, M_{III}, M_{IV} ve M_V olmak üzere 5 alt kabuğa sahiptir. K-kabuğu 2, L-kabuğu 8 ve M-kabuğu

18 elektron içermektedir. Bir elektronun enerjisi, yer aldığı kabuğa ve ait olduğu elemente bağlıdır. Bir atom, gama-ışını, X-ışını fotonu ve yeterli enerjiye sahip elektronlar gibi radyasyona maruz kaldığında, bu radyasyonlar atomdan bir elektronu koparır.

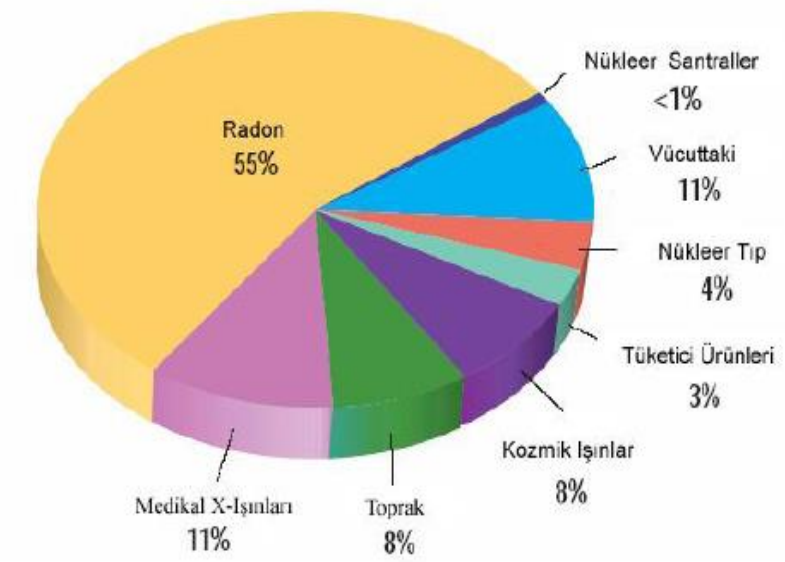
.



Şekil 2.7. Karakteristik X-ışının oluşması

2.4. Radyasyon Kaynakları

Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansızlar havada, suda, toprakta, hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her gün ışınımına maruz kalmaktadırlar. Grafik 2.1'de Radyasyon dağılımı yüzde olarak verilmiştir (Kurnaz, 2007, vd.; Knoll, 2000).



Grafik 2.1. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları

2.4.1. Radyasyon Sayaçları

Herhangi bir ortamdaki radyasyonun hangi oranlarda bulunduğunu belirlemek ve ölçümlemek için geliştirilmiş dedektörlere ihtiyaç duyulur. Radyasyon duyu organlarımızla algılanabilir bir fiziksel etkiye sahip değildir. Bu nedenle olası kazalarda ya da nükleer saldırılar sonucu oluşacak kirlenmenin ölçülmesinde veya akademik alanlarda yapılan ölçüm çalışmalarında farklı türde dedektörler kullanılması gerekir. Ölçülmek istenilen radyasyonun türüne, ölçüm yapılacak yere ve çalışma prensibine bağlı olarak geliştirilmiş çok çeşitli dedektöler bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan dedektör çeşitleri aşağıda verilmiştir (Knoll, 2000;U.S ve EPA, 2016).

2.4.2. Gaz Dolu Dedektörler

Bu dedektörlerin temeldeki çalışma ilkesi iyonlaştırıcı ışınların gaz ile dolu ortamda sebep olduğu iyonlaşmaların ölçülmesine dayanır. İyonlaştırıcı radyasyonun açığa çıkardığı gaz iyonları elektriksel yüke sahiptir. Pozitif ve negatif elektrotlar sayesinde gaz iyonlarına potansiyel fark uygulandığında dedektör içinde zıt yönlere hareket ederler. Yüklü iyonların hareketi sonucu dedektör içinde bir elektrik akımı meydana gelir ve bu akıma duyarlı aygıtlarla hesaplanır. Oluşan bu elektrik akımının

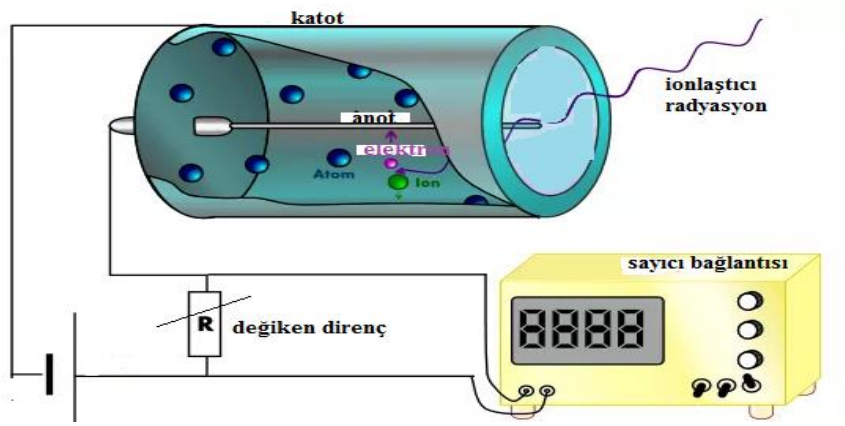
şiddetine bağlı olarak radyasyon ölçümü yapılır. Elektrotlar arasında uygulanan potansiyel farkına bağlı olarak tasarlanmış farklı dedektör türleri vardır.

2.4.3. İyon Odası

İyon odası gaz-dolu bir tüpe benzer, radyasyonun içeri ulaşabileceği bir aralık, tüpün ortasından geçen iletken bir tel, gösterge paneli ve güç kaynağından oluşur. Merkezden geçen iletken tel kaynak tarafından devamlı olarak pozitif elektrikle yüklenir böylece telin negatif yüklü gaz iyonlarının hareket etmesini sağlar. İyon odasında merkezden geçen tele uygulanan potansiyel fark diğer dedektörlerde göre daha küçüktür. Bu tür dedektörler genellikle medikal alanda doz hızı ölçümünde ışınlanma düzeyinin belirlenmesi amacıyla radyasyon alan dedektörü ve cep dozimetresi olarak kullanılır.

2.4.4. Orantılı Sayaçlar

Bu dedektörler tasarım ve çalışma prensibi bakımından iyon odasına detektörleriyle benzerlik gösterirler. İki dedektör arasındaki temel fark orantılı sayaçlarda daha yüksek potansiyel fark kullanılmasıdır. Şekil 2.8'de orantılı Sayaçların yapısı verilmiştir. Uygulanan yüksek gerilim nedeniyle gaz iyonlarının oluşturduğu elektrik akımı, ayrı bir radyasyon sayımına olanak verecek kadar yükseltir. Bu dedektörler ışınımın enerjisi belirlememize de olanak sağlar.

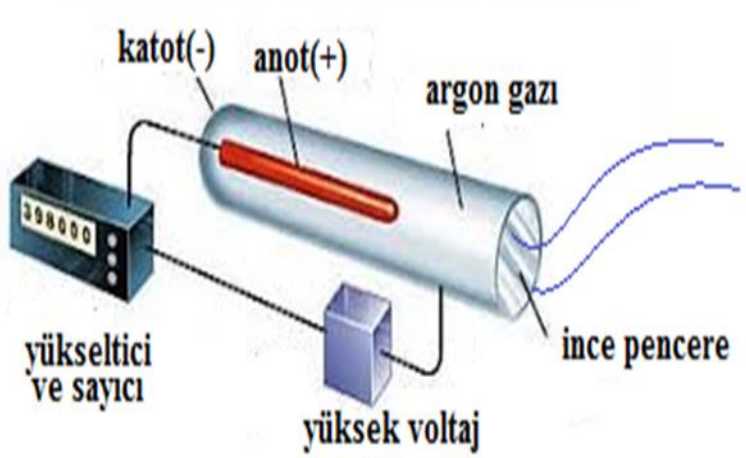


Şekil 2.8. Orantılı sayaç düzeneği

Orantılı sayaçlarda, dedektör içi ilk iyonlaşma düzeyi ve buna bağlı olarak oluşan elektrik akımı doğru orantılıdır. Farklı enerji düzeylerine sahip radyasyon kaynaklarının neden olduğu iyonlaşma sonucu elde edilen elektrik akım şiddetleri de birbirlerinden farklı olacaktır. Bu sayede farklı radyasyon kaynaklarından gelen ışınımların enerjilerinin ayırt edilmesi mümkün olur.

2.4.5. Geiger-Müller (G-M) Dedektörler

Geiger-Müller dedektörleri de tıpkı orantılı sayaçlar gibi yüksek potansiyel fark altında çalışan iyon odalarıdır. Kullanılan yüksek gerilim nedeniyle Geiger-Müller dedektörleri gaz odasına giren radyasyonun enerji seviyesinden bağımsız olarak bir elektrik sinyali yaratır. Şekil 2.9'da G-M dedektörlerin temel yapısı gösterilmektedir. İDedektöre giren her bir iyonlaştırıcı parçacık dedektörün içinden geçerken bir tür çığ boşalmasına yol açtığı plato voltajı kullanılır. G-M sayaçları genellikle beta parçacıkları ya da gama radyasyonu gibi iyonlaştırıcı radyasyonun sayılmasında tercih edilir.

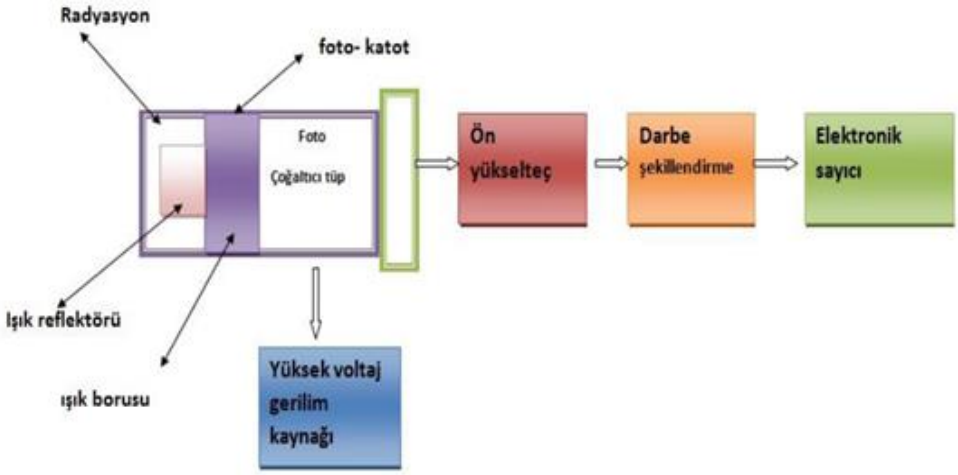


Şekil 2.9. G-M tüpünün çalışma prensibi

2.4.6. Sintilasyon dedektörleri

Sintilasyon dedektörleri, radyasyonun dedektör içerisindeki kristal yapıdaki maddenin atomlarını uyarması sonucu açığa çıkan görünür ışığın yarattığı etkiden faydalanılarak ortamdaki radyasyonun belirlenmesinde kullanılan bir dedektör çeşididir. Sintilasyon dedektörlerinin başlıca bileşenleri kristal yapıya sahip madde,

fotokatot ve dinotlardır. Gama radyasyonun kristal madde ile etkileşmesi sonucu kristal yapıdan ışık yayımlanır. Bu fotonlar fotokatota çarparak elektronların kopmasına neden olur. Koparılan fotoelektronlar uygulanan yüksek potansiyel fark ile dedektör tüpü içine yönlendirilerek burada dinotlara çarpmaları sağlanır Şekil 2.10'da NaI sintilatör ve sayım sisteminin şematik diyagramı gösterilmiştir.



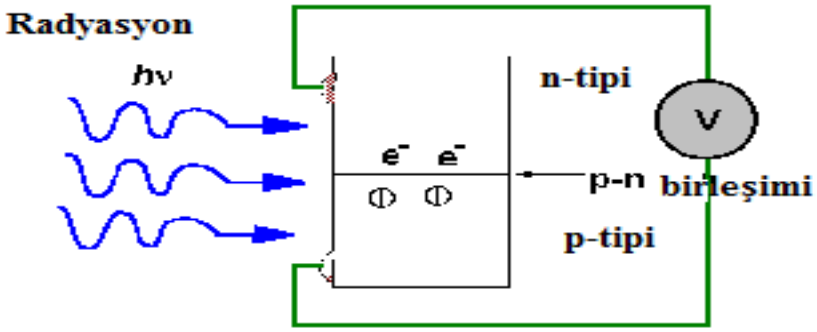
Şekil 2.10. NaI sintilatör ve sayım sisteminin şematik diyagramı

Dinotlara çarpan her bir fotoelektron, daha fazla elektronun koparılmasına yol açar ve elektron sayısı katlanarak artar. Daha sonra bu elektron kümesi tüpün ucunda bulunan anot üzerinde toplanır. Elektronların tüpün içerisindeki bu hareketi sonucu elektrik akımı meydana gelir. Oluşan elektrik akımı hassas aygıtlar aracılığı ile ölçülerek tüpe giren radyasyonun enerji seviyesi hakkında istenilen değerler elde edilir. Sintilasyon dedektörleri alan radyasyon ölçümlerinde, radyoaktif serpintilerin belirlenmesi çalışmalarında ve nükleer santrallerde kontrol amacıyla sıklıkla kullanılırlar.

2.4.7. Yarı İletken Dedektörleri

Yarı iletken dedektörlerin çalışma şekli temelde gaz-dolu dedektörler ile benzemektedir. Şekil 2.11'de yarı iletken diyot dedektörünün temel yapısı gösterilmiştir. Bu dedektörlerde gaz yerine yarı iletken katı maddeler kullanılmaktadır. Dedektöre ulaşan iyonlaştırıcı radyasyonun etkisiyle katı maddelerin atomlarındaki elektronlar harekete geçer ve bu etki ile kristal yapıya

sahip yarı iletken maddede boşluklar ortaya çıkar. Bu olay bir bakıma iyonlaştırıcı ışımaların etkisiyle pozitif yüklü gaz moleküllerinin oluşumu ile aynıdır. Yarı iletken maddenin uçları arasına uygulanan gerilimin etkisi ile elektronlar ve boşluklar harekete geçer. Elektronların hareketi sonucu oluşan elektrik akımı diğer dedektörlerde olduğu gibi duyarlılığı yüksek aygıtlarla ölçülür ve bu değerlere bağlı olarak radyasyonla ilgili bilgiye ulaşılır.



Şekil 2.11. Yarı iletken diyot dedektörünün temel yapısı

2.4.8. Dozimetreler

Yüksek radyasyona kirliliğinin olduğu alanlarda çalışan kişilerin can güvenliğini sağlamak amacıyla doz ölçümü ve değerlendirmesi yapılması hayati önem taşımaktadır. Bu amaçla dozimetrik bir metot uygulanmaktadır. Bu sistem gereyince değerlendirmeler resmi kurumlar tarafından önceden belirlenen limit doz değerlerine bağlı olarak yapılır. Ölçümler ise dozimetre olarak adlandırılan ve eşdeğer radyasyon dozu ölçümü yapabilen cihazlarla yapılmaktadır.Yaygın olarak kullanılan dozimetreler, özel olarak tasarlanmış bir kılıfa (taşıyıcı) konulmuş bir dedektör'den oluşmaktadır. Dedektör ortamdaki radyasyondan elde edilen verilerin farklı etkileşim metotlarıyla kaydedilmesini sağlar. Farklı maddelerden farklı kalınlıklarda tasarlanan kılıf (taşıyıcı) ise değişik radyasyon türlerinden ve farklı enerji seviyelerinde alınan dozların ayrı ayrı tespit edilmesine yarar. Bu nedenle beden, deri veya gözlerdeki eşdeğer dozun ve deri altındaki dokulardaki etkin dozların ölçülmesine olanak sağlayan çeşitli kalınlık ve yoğunluklarda filtreler kullanılır. Bu cihazlar gama ışını, x-ışınları, beta ve nötron parçacıklarının ışınım doz ölçümlerini yapmak için kullanılmaktadır. Kullanılacak olan dozimetre ölçülen değerler ışımanın türüne,

enerji seviyesine, ölçüm mesafesine, açısına ve dozimetrenin tepki süresine göre değişir.

2.5. Radyasyon Birimleri

Radyasyon birimlerinin başlıcaları aktivite, ışınlama, absorblanan doz ve eşdeğer doz'dur. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU) yaptığı çalışmalar sonucunda, aktivite için Curie, ışınlama için Röntgen, absorblanan doz için Rad ve eşdeğer doz için Rem'i radyasyon birimleri olarak tanımlamıştır (U.S ve EPA, 2016). Tablo 2.4'de dönüşüm birimleri ve dönüşüm faktörleri verilmiştir.

Tablo 2.4. *Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri*

Büyüklük	SI Birimi ve Sembolü	Yarılanma süresi	Bozunum süreci
Aktivite	Becquerel Bq	Curie (Ci)	$1Ci = 3,7x10^{10}$ Bq
Işınlama	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	1 C/kg = 3876 R
Absorblanan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	1 Sv = 100 rem

2.5.1. Aktivite Birimi

Birim zamanda bozunan atomların sayısı aktivite olarak tanımlanmaktadır. Aktivite birimi; eskiden 1 gram ^{226}Ra'nın bozunma hızı olarak tanımlanmış ve Curie (Ci) olarak adlandırılmıştır. Saniyede ki $3,7\times 10^{10}$ bozunmaya 1 Curie denilmektedir. Yeni aktivite birimi, doğal radyoaktiviteyi keşfetmesi onuruna, Becquerel olarak adlandırılmıştır. Becquerel (bozunma /saniye) ve Curie arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$1\ Ci = 3,7\times 10^{10}\ Bq$$

2.5.2. Işınlanma Birimi

Işınlama birimi, χ ve γ ışınlarının havayı iyonlaştırma kabiliyetinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Işınlama birimi Röntgen (R) olup normal şartlarda (0 $^{\circ}$C ve 760 mmHg basıncı) havanın 1kg'ında 2,58× 10^{-4} Coulomb'luk pozitif veya negatif elektrik yüklü iyonlar meydana getiren radyasyon miktarı olarak tanımlanmaktadır. SI birim sisteminde ışınlama biriminin özel bir adı yoktur.

2.5.3. Soğurulan Doz Birimi

Soğurulan doz büyüklüğü, malzemelerde soğurulan enerjinin bir ölçüsüdür. Soğurulan doz için kullanılan eski birim rad (Roentgen Absorbed Dose)'dır. 1 rad herhangi bir malzemenin 1 gramının 100 erg'lik enerji soğurması olarak tanımlanmıştır. SI birim sisteminde absorblanan doz birimi gray (Gy) olup, 1 kg'lık bir maddeye 1 joule'lük enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyon dozudur.

1Gy = 1 J/kg 1rad = 10^{-2} J/kg 1Gy = 100 rad

2.5.4. Eşdeğer Doz Birimi

Soğurulan dozun meydana getirdiği biyolojik etkiler, iyonlaştırıcı radyasyonların tiplerine ve meydana getirdikleri iyonizasyonun yoğunluğuna bağlıdır. Tablo 2.5'de Çeşitli radyasyon tipleri için kalite faktörleri rasındaki ilişki verilmiştir. Eşdeğer doz birimi, absorblanmış doz ile kalite faktörünün çarpımına eşittir.

Tablo 2.5. *Farklı radyasyon türleri için kalite faktörleri*

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü
X ve Gama Işınları	1
Elektronlar ve Beta Parçacıkları	1
Nötronlar;enerjileri < 10 keV	3
Nötronlar;enerjileri > 10 keV	10
Alfa Parçacıkları	20

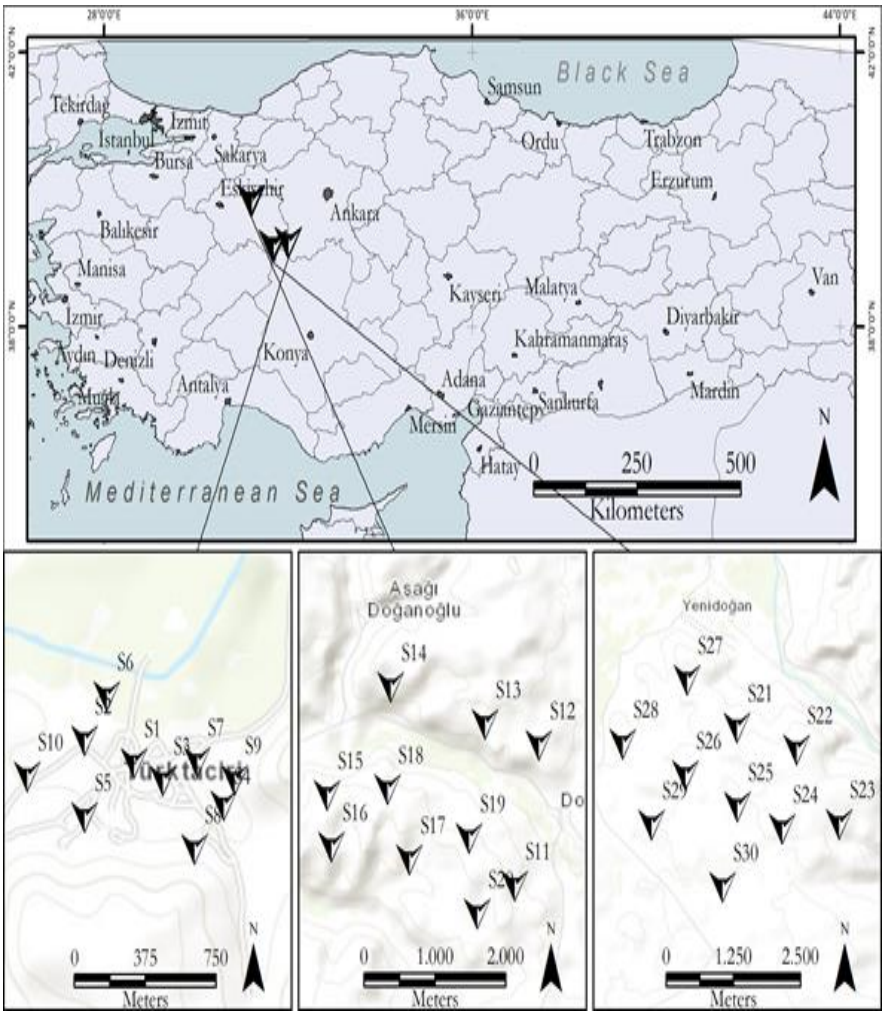
2.6. Radyasyonun Biyolojik Etkisi

Biyolojik sistemler sürekli doğal olarak oluşan kaynaklardan radyasyona maruz kalmaktadır. Vücudumuzdaki bu radyasyon arasındaki etkileşimler dokulara radyant enerji (Lilley, 2013; Shiraishi, Kunio, 2000; Yu, Mao, 1999; Tahir, Alaamaer, 2009; Escareno, Vega, 2011; IAEA, 1999) transferi içerir. Radyasyon hücre yapısını değiştirerek ve DNA'ya hasar canlı doku zarar verebilir. Hasar miktarı radyasyon enerjisi ve radyasyon toplam miktarına türüne bağlıdır emilir. Ayrıca, bazı hücreler diğerlerinden daha radyasyona daha duyarlıdır. Hasar, hücre seviyesinde olduğu için, küçük ya da hatta orta maruz etkisi ölçülebilir olmayabilir. İyonize radyasyon sonucu canlıda çeşitli genetik bozukluklara sebep olabilir. Özellikle iç ve dış maruz kalma nedeniyle hasar büyük olabilir (Lilley, 2013; Shiraishi, Kunio, 2000; Yu, Mao, 1999; Tahir, Alaamaer, 2009; Escareno, Vega, 2011; IAEA, 1999). Hesaplanan iç doz ışıma ve emici malzemenin biyolojik ve fiziksel faktörler göre değişir (IAEA, 1999).

3. MALZEME VE ÖLÇME YÖNTEMİ

3.1. Sepiyolit Örneklerinin Toplanması

Öncelik olarak sanayide yaygın olarak kullanılan sepiyolit örneklerinin temin edildiği ocaklar olarak İç Anadolu Bölgesinde yer alan Polatlı (Ankara), Beylikova (Eskişehir) ve Sivrihisar (Eskişehir) sepiyolit ocakları belirlenmiştir. Daha sonra her bir ocağın 10 farklı lokasyonlarından 30 sepiyolit örneği yaklaşık 2 kg olacak şekilde radyometrik, elemental ve boyut analizi için toplanmıştır. Örnekler laboratuvara getirilerek toplandığı yer ve koordinaları içerecek şekilde Tablo 3.1'de verildiği gibi kodlanmıştır. Örneklerin fiziksel özellikleri de Tablo 3.2'de verilmiştir.



Harita 3.1. Sepiyolit örneklerinin toplandığı bölgeler ait lokasyonlar

Tablo 3.1. *Sepiyolit örnek yerlerine ilişkin bilgi*

Örnek kodu	Yeri	Koordinatlar
S1	Polatlı (Ankara)	39°13'02,00 "K - 32°00'09,11 "D
S2		39° 13'04,64 "K - 32°00'00,65 "D
S3		39°13'00,00 "K - 32°00'14,10 "D
S4		39°12'57,11 "K - 32°00'24,50 "D
S5		39°12'55,79 "K - 32°00'00,62 "D
S6		39°13'09,72 "K - 32°00'04,43 "D
S7		39°13'02,14 "K - 32°00'19,93 "D
S8		39°12'52,13 "K - 32°00'19,50 "D
S9		39°13'00,05" K - 32°00'26,35 "D
S10		39°13'00,44 "K - 31°59'50,82 "D
S11	Beylikova (Eskişehir)	39°49'11,85 "K - 31°12'26,30 "D
S12		39°49'55,05 "K - 31°12'37,45 "D
S13		39°50'01,34 "K - 31°12'12,78 "D
S14		39°50'12,93 "K - 31°11'29,53 "D
S15		39°49'39,57 "K - 31°11'00,49 "D
S16		39°76'00,00 "K - 31°15'14,01 "D
S17		39°46'02,00 "K - 31°12'10,00 "D
S18		39°56'07,20 "K - 31°04'20,50 "D
S19		39°77'00,00 "K - 31°03'14,10 "D
S20		39°87'02,00" K - 31°13'09,11 "D
S21	Sivrihisar (Eskişehir)	39°40'47,00 "K - 31°12'02,00 "D
S22		39°68'70,40 "K - 31°20'99,00 "D
S23		39°93'00,00 "K - 31°0 0'14,1 "D
S24		39°63'02,00 "K - 31°02'09,11 "D
S25		39°61'07,20 "K - 31°00'03,50 "D
S26		39°76'00,00 "K - 31°15'14,10 "D
S27		39°46'02,00 "K - 31°12'10,00 "D
S28		39°56'07,20 "K - 31°04'02,50 "D
S29		39°77'00,00 "K - 31°03'14,10 "D
S30		39°87'02,00 "K - 31°13'09,11 "D

Tablo 3.2. *Sepiyolit mineralinin fiziksel özellikleri*

	Ocak ismi		
	Polatlı (Ankara)	Beylikova (Eskişehir)	Sivrihisar (Eskişehir)
Renk	Beyaz, Açık kahverengi, Koyu kahverengi ve siyah	Beyaz, Koyu kahverengi	Beyaz, Açık kahverengi, Koyu kahverengi
Hacimsel yoğunluk (gr/cm^3)	2,56	2,27	2,43
Tenor	85-90	60-70	60-70
Rezerve (milyon ton)	5×10^6	$1,5 - 2 \times 10^5$	$1,5 - 2 \times 10^5$

3.2. Sepiyolit Örneklerinin Radyometrik Analiz İçin Hazırlanması

Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Nükleer Fizik Laboratuvarına getirilen sepiyolit örnekleri atomosfer ortamında 2 hafta kurutulmaya bırakılmıştır. Daha sonra her bir örnek, içerdiği nemden arındırmak için sıcaklığı 110 ºC'ye ayarlı etüvde 15-20 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutulan örnekler, yüksek saflıkta germanyum dedektörünün (HPGe) verim kalibrasyonu için kullanılan sertifikalı RGU, RGTh ve RGK refeans malzemelerinin geometrisi ile benzer duruma getirebilmek amacıyla toz haline getirilmiştir ve gözenek büyüklüğü 1 mm olan elekten geçirilmiştir. Daha sonra bu örnekler, ebatları 5x6 cm olan örnek kaplarına konularak tartım işlemine tabi tutulmuştur. Örnek kapları radon gazının kaçmaması için sızdırmaz bir şekilde kapatılarak radyum (^{226}Ra) ve radyoaktif ürün çekirdekleri arasında kalıcı dengeye ulaşması için en az 4 hafta bekletilmiştir. Radyoaktif ölçme işlemi için hazılanan sepiyolit örnekleri Fotoğraf 3.1'de gösterilmektedir.

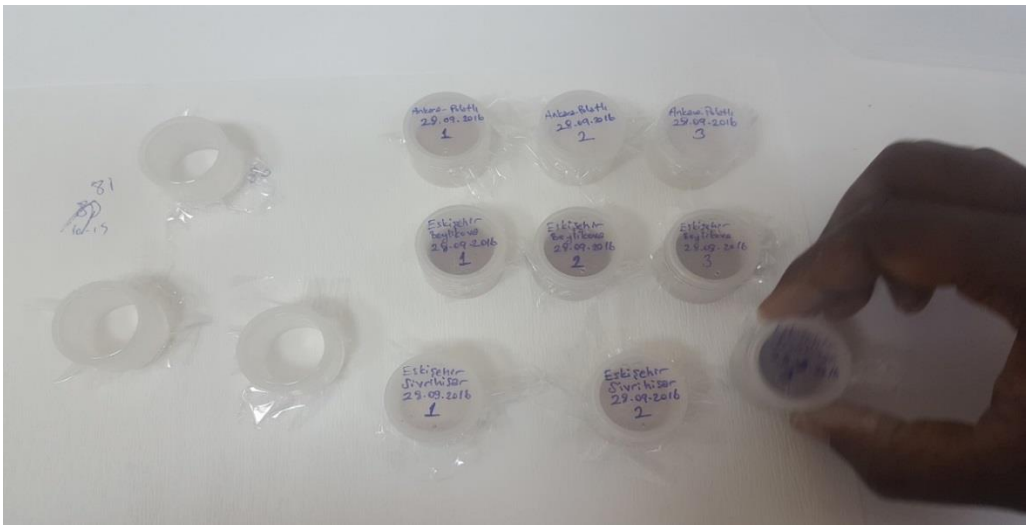
3.3. Sepiyolit Örneklerinin Elemental ve Boyut Analizi İçin Hazırlanması

Toz haline getirlen her bir sepiyolit örneğinden 300 gram alınmıştır. Daha sonra enerji dağılımlı X-ışını fluoresan (EDXRF) spektrometresindeki kalibre edilmiş pelet

geometrisi ile analiz edebilmek için her bir sepiyolit örneği Fotoğraf 3.2'de gösterildiği gibi pelet haline getirilmiştir. Ayrıca toz sepiyolit örnekleri, X-ışını kırınım ölçer (XRD) ile Cu-Kα radyasyonu ve 404 kV'da $20^0 \leq 2\theta \leq 90^o$ aralığında 1,5418 A^0 dalga boyunda gerçekleştirilen ölçümler (Fotoğraf 3.3) ve SEM cihazı ile sepiyolit örneklerinin yüzey görüntüleme ve taneciklerin boyut analiz için de kullanılmıştır (Fotoğraf 3.4).



Fotoğraf 3.1. Radyoaktivite ölçme işlemi için hazırlanan örnekler



Fotoğraf 3.2. XRF ile elemental analiz için hazırlanan örnekler



Fotoğraf 3.3. XRD ile analizi için hazırlanan örnekler



Fotoğraf 3.4. SEM ile tanecik boyut analizi için hazırlanan örnekler

3.4. Gama Doz Hızı Ölçme Yöntemi

Sepiyolit örneklerinin toplandığı Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar'da bulunan ocakların 10 farklı bölgesinde yerden 1 m yükseklikte gama doz hızı, Fotoğraf 3.5'de gösterilen Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nda (TAEK) üretilen Geiger-Müller (G-M) cihazı ile ölçülmüştür (Fotoğraf 3.5). Ölçümler aynı noktada 5 kez

tekrarlanmıştır. Her bir noktanın ortalama değeri, 5 noktada μR/h cinsinden ölçülen değerlerin ortalaması olarak verilmiştir.



Fotoğraf 3.5. Gama doz hızı ölçme cihazı

3.5. Sepiyolit Örneklerinin Yüzey Alanı ve Gözenek Hacimlerinin Ölçülmesi

Sepiyolit örneklerinin yüzey alanları ve gözenek (porozite) hacimleri, her bir sepiyolit örneğinden 0,4 g alınarak toz haline getirildi (Fotoğraf 3.6). Daha sonra her bir örneğin yüzey alanları ve gözenek hacimleri, Fotoğraf 3.7'de gösterilen cihaz kullanılarak ölçüldü.

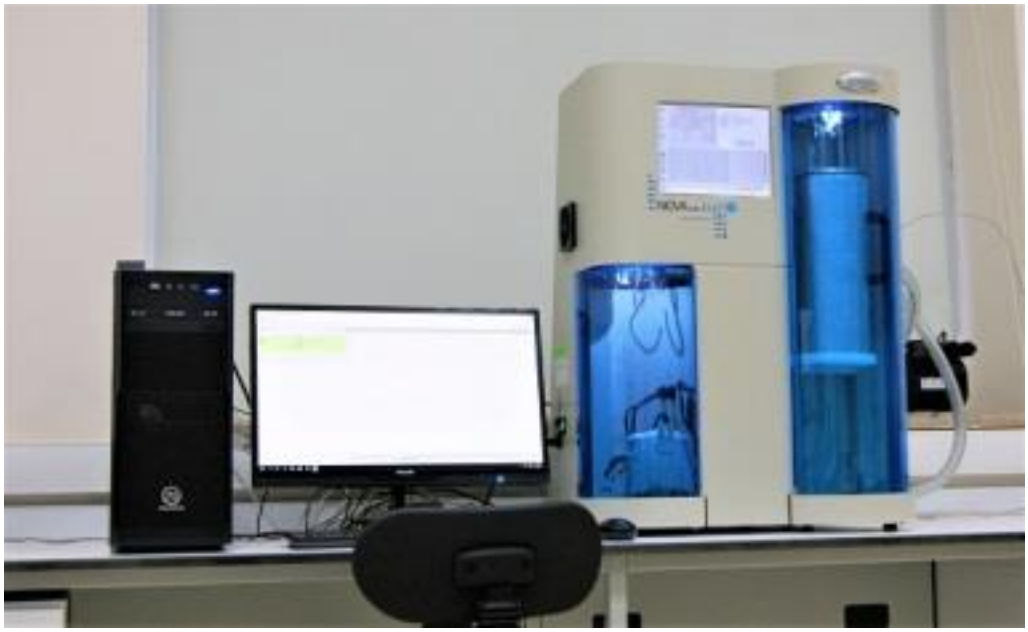
3.6. Radyoaktivite Ölçme Yöntemi

Tez kapsamında, sepiyolit örneklerinin doğal olarak içerdiği ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite derişimleri, gama-ışını spektrometrik yöntem ile ölçüldü. Bu yöntem, kimysal işlemlere gerek duymadan gama-ışını yayınlayan bir veya birden fazla radyonükliti nitel ve nicel olarak, hızlı ve güvenilir bir şekilde ölçebilen uluslararası kabul görmüş standard bir ölçme yöntemdir, Gama-ışını spektrometresi, genelde Şekil 3.1'de gösterildiği gibi bir HPGe dedektöründen, yüksek voltaj kaynağından, ön yükselteç, yükselteç, analog-sayısal dönüştürücü (ADC) ve çok

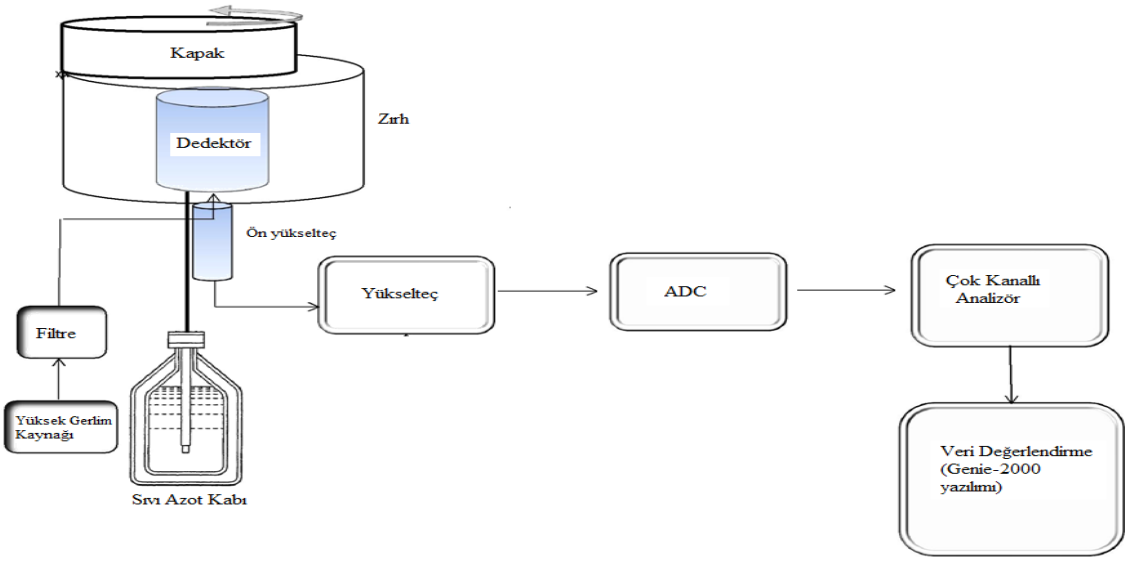
kanallı analizör (MCA) dan oluşmaktadır. Ölçme işleminde kullanılan HPGe dedektörünün özellikleri Tablo 3.3'de verildi. Sepiyolit örneklerinin radyoaktivitesinin ölçümünde kullanılan gama-ışını spektrometresi Fotoğraf 3.8'de gösterildi.



Fotoğraf 3.6. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit ocaklarındaki gama doz hızı ölçümü



Fotoğraf 3.7. Yüzey alanları ve gözenelilik (BET) ölçme cihazı



Şekil 3.1. Gama spektrometre sisteminin blok şeması

3.7. Sepiyolit Örneklerinin Elemental ve Boyut Analiz Ölçme Yöntemi

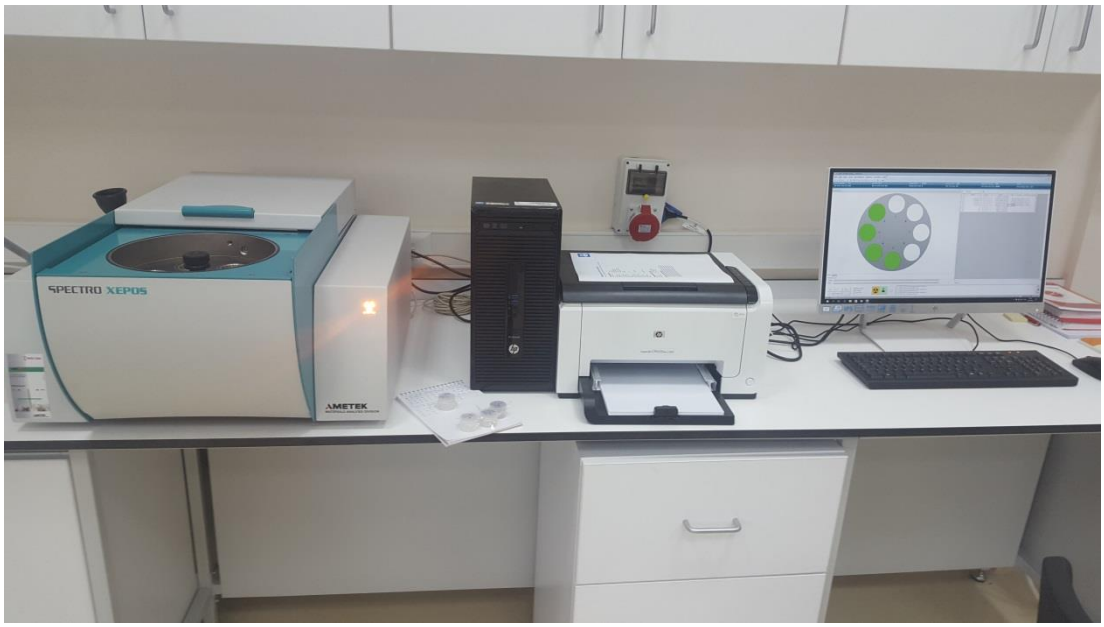
Sepiyolit örneklerinin içerdiği ana, küçük ve eser elementlerin analizleri, birincil X-ışını demeti ile örnek atomlarının etkileşmesi sonucu elektronların uyarılmasından kaynaklanan elektron dizilimindeki yer değişmelerine bağlı olarak yayınlanan karakteristik X-ışınını esas alan X-ışını floresan yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntem, tahribatsız, hızlı, güvenilir ve bir veya birden fazla elementi aynı anda analiz edebilen, bilenen ve uluslararası standartlarda kabul edilen bir yöntemdir. Bu kısımda tez kapsamında yapılan analizlerde kullanılan X-ışını floresan spektrometresinin özelliklerine yer verilmiştir. X-ışını flüoresan (XRF) ölçümleri, Spektro Xepos modeli, Ametek tarafından aşağıda Fotoğraf 3.9'da görüldüğü gibi gerçekleştirilmektedir. Analiz işlemleri, hazırlanan her bir sepiyolit örneği peleti, paslanmaz çelikten yapılmış örnek kaplarına konularak 2 saat süreyle EDXRF spektrometresinde sayılarak tamamlanmıştır. EDXRF spektrometresi, 4 kW çıkış gücüne sahip ve 160 mA'de çalışabilen SST-MAX X-ışını kaynağı (en gelişmiş X-ışını tüpü) ile donatılmıştır. Nihai yüksek X-ışını akısı, yüksek duyarlılığa ve hafif elementler için düşük dedeksiyon sınırlarına sağlamaktadır. XRF spektrometresinin AXIOS modeli, periyodik çizelgedeki berilyum (Be) ila uranyum (U) arasındaki bütün elementleri geniş derişim aralıklarında ölçebilmektedir. Ana element analizi için Super IQ-Analiz yazılımının kullanıldığı EDXRF spektrometresi ileri temel parametre algoritması kullanılarak kalibre edilmiştir. Eser elementlerin doğru analiz edilebilesi için Pro-Trace yazılımı kullanılmıştır.

Tablo 3.3. *HPGe dedektörünün özellikleri*

Dedektör modeli	ORTEC GEM50P4-83
Bağıl verimi	% 50
Enerji ayırma gücü (çözünürlük)	1,9 keV (^{60}Co'ın 1333 keV enerjili foto-pikin YYTG değeri)
Pik/Compton oranı	66:1
Dedektör geometrisi ve kristal tipi	Kapalı uçlu, eş eksenli ve p-tipi HPGe
Çapı ve yüksekliği	62,5 mm
Pencereden uzaklık	5 mm
Çalışma gerilimi	+3000 V dc
Kriyostat ve azot kabı hacmi	Dikey geometrili ve 50 L



Fotoğraf 3.8. Gama-ışını spektrometresi



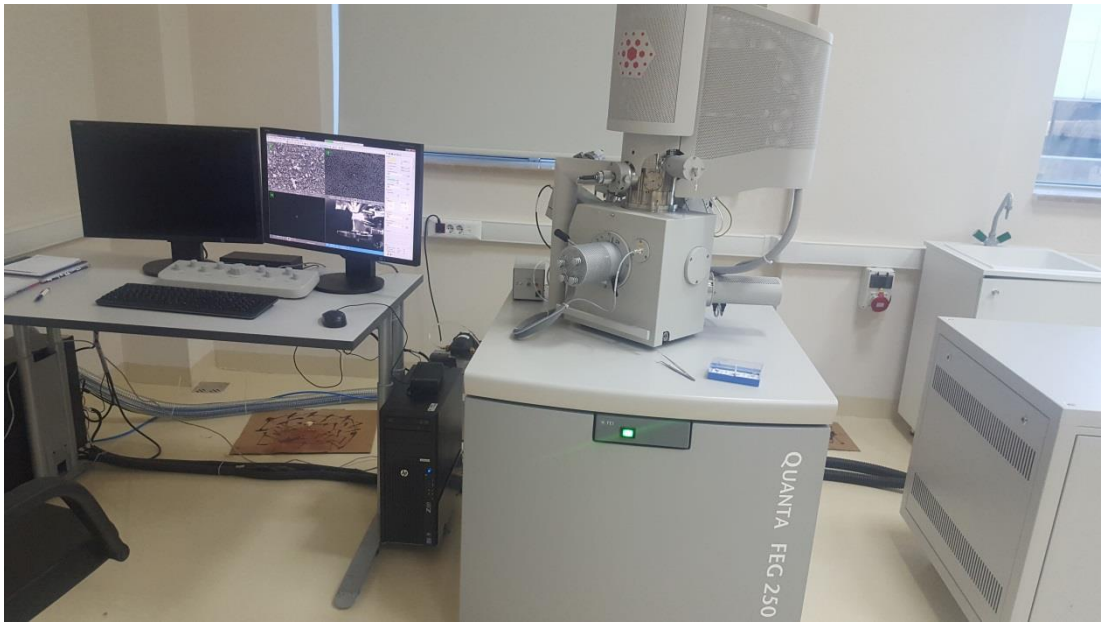
Fotoğraf 3.9. EDXRF spektrometresi

XRF ile elde edilen elementel dağılımları, X-ışını kırınım ölçer (XRD) ile teyit edildi. X-ışını difraksiyonu (XRD), kristalin atomik ve moleküler yapısını incelemek için kullanılan bir yöntemdir. Kristalleşmiş atomların bir X-ışını demetindeki ışınların kristale özel çeşitli yönlerde kırınımı olayına dayanır. Sepiyolit öneklerinin kristal yapısı ve yansımaları, Fotoğraf 3.10'da gösterilen XRD cihazı ile belirlenerek sepiyolit yapısı içerinde bulunan elementlerin hangi düzlemde ne oranda bolluk oranları ölçülmüştür.



Fotoğraf 3.10. XRD cihazı

Fotoğraf 3.11'de gösterilen taramalı elektron mikroskobu **(**SEM**)** ile ocaklardan toplanan sepiyolit örneklerinin yüzey görüntüleme ve tanecik boyutları belirlenmiştir. SEM cihazı, örnek giriş bölmesi, elektron kaynağı, dedektörler, vakum sistemi, görüntüleme ve bilgi işlem ünitesi olmak üzere 5 temel kısımdan oluşmaktadır. Yüksek vakum koşullarında elektron sinyal görüntüleri alınarak yüzey mikroyapı analizi, kesit mikroyapı analizi, toz karakterizasyonu, noktasal elemental analiz, çizgisel elemental analiz, alan elemental analiz ve elemental haritalama yapılabilmektedir.



Fotoğraf 3.11. SEM cihazı

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu kısımda, tez kapsamında yapılan sepiyolit ocaklarında ölçülen gama doz hızları, sepiyolit örneklerinin yüzey alanı ve gözenek hacimleri, her bir sepiyolit örneğinin doğal olarak içerdiği ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklit aktivite derişimleri, sepiyolit örneklerinin yapı malzemelerinde katkı ham maddesi olarak kullanılmasının radyolojik açıdan değerlendirilmesi, sepiyolit ocaklarının elemental dağılımları ve sepiyolit örneklerinin tanecik boyutlarına ilişkin elde edilen veriler, tablolar halinde sunulmuş ve tartışılmıştır.

4.1. Sepiyolit Ocaklarında Ölçülen Gama Doz Hızı Verileri

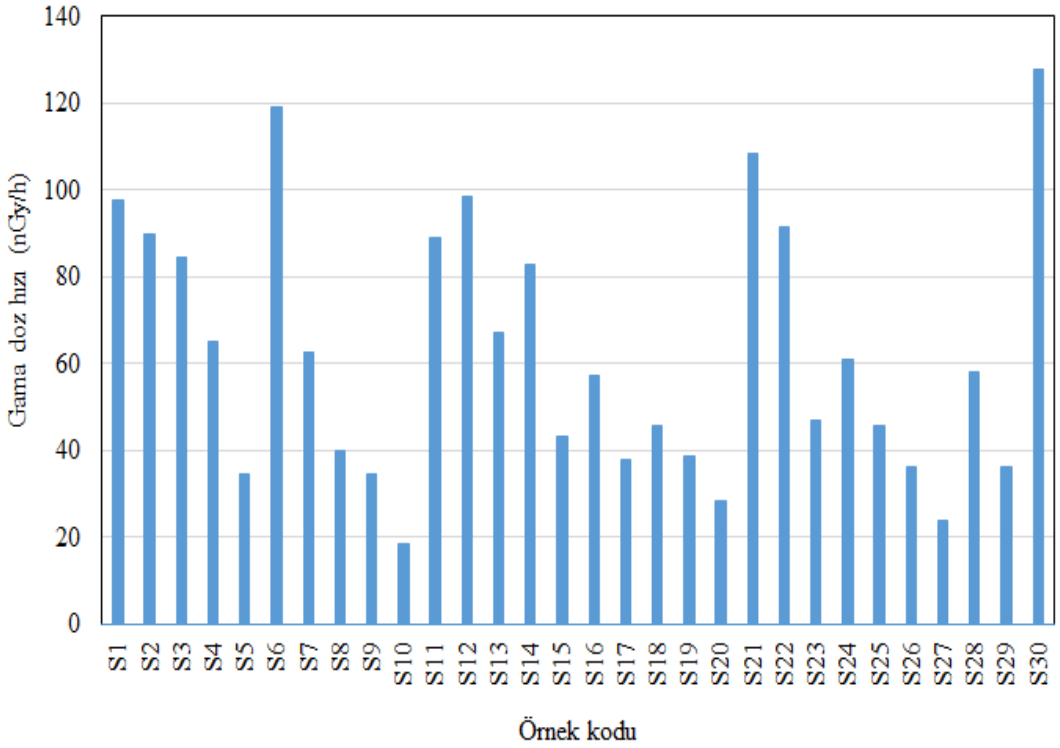
Ocaklarda μR/h olarak ölçülen yerkabuğu ve kozmik radyasyon kaynaklı gama doz hızı sonuçları, 8,8 ile çarpılarak nGy/h birimine dönüştürülmüştür. Ocaklar için ölçülen gama doz hızı sonuçları, Tablo 4.1'de verilmiştir. Gama doz hızlarının birbirleriyle karşılaştırılması, Grafik 4.1'de gösterilmiştir. Tablo 4.1 ve Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi en düşük gama doz hızı Polatlıdaki sepiyolit ocağında (S10 bölgesinde) 19 nGy/h ve en büyük gama doz hızı da Sivrihisar sepiyolit ocağında (S30 bölgesinde) 128 nGy/h olarak ölçülmüştür. Polatlı ocağında ölçülen gama doz hızı 19-119 nGy/h aralığında (ortalama: 65 nGy/h), Beylikova ocağında ölçülen gama doz hızı 28-99 nGy/h aralığında (ortalama: 59 nGy/h) ve Sivrihisar ocağında ölçülen gama doz hızı 24-128 nGy/h aralığında (ortalama: 63 nGy/h) değişmektedir.

4.2. Sepiyolit Örneklerinin Yüzey Alanı ve Mikro Gözenek Hacim Verileri

Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örneklerinin ortalama BET yüzey alanı ve mikro gözenek hacim değerleri, 4.2'de verilmiştir. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örneklerinin toplam gözenek hacmi ve yüzey alanları, sırasıyla 0,142 cm^3/g, 0,479 cm^3/g ve 0,168 cm^3/g ve 41 m^2/g, 224 m^2/g ve 50 m^2/g olarak ölçülmüştür. Bu ölçme sonuçları, Beylikova sepiyolit örneklerinin en yüksek toplam gözenek hacmine ve en yüksek yüzey alanına ve Polatlı sepiyolit örneklerinin en düşük toplam gözenek hacmine ve en düşük yüzey alanına sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.1. *Ocaklarda ölçülen gama doz hızı*

Örnek kodu	Ocak adı	Gama doz hızı (nGy/h)
S1	Polatlı	98
S2		90
S3		84
S4		65
S5		34
S6		119
S7		62
S8		40
S9		34
S10		19
Ortalama		65
En küçük		19
En büyük		119
S11	Beylikova	89
S12		99
S13		67
S14		83
S15		43
S16		57
S17		38
S18		46
S19		39
S20		28
Ortalama		59
En küçük		28
En büyük		99
S21	Sivrihisar	108
S22		92
S23		47
S24		61
S25		46
S26		36
S27		24
S28		58
S29		36
S30		128
Ortalama		63
En küçük		24
En büyük		128



Grafik 4.1. Gama doz hızlarının birbirleriyle karşılaştırılması

Taneciklerin BET yüzey alanları incelendiğinde, yüzey alanının oluşmasında mikro, mezo ve makro gözeneklerin etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, mikro gözenek yapısının artışı örneğin adsorplama kapasitesinin de önemli ölçüde artmasını sağlamaktadır. Tablo 4.2 incelendiğinde, BET yüzey alanı büyüklüğü ile toplam gözenek hacminin doğru orantılı olarak arttığı görünmektedir.

Tablo 4.2. *Üç farklı bölge için ortalama BET yüzey alanı ve gözenek değerlerinin karşılaştırılması*

Ocaklar	Bet yüzey alanı (m^2/g)	Mikro gözenek hacmi (cm^3/g)	Mikro gözenek hacmi (%)	DFT toplam gözenek hacmi (cm^3/g)
Polatlı	41	0,136	96	0,142
Beylikova	224	0,416	87	0,479
Sivrihisar	50	0,157	93	0,168

4.3. Sepiyolit Örneklerinde Ölçülen Radyonüklit Ativite Derişim Verileri

Sepiyolit örneklerinin doğal olarak içerdiği ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite derişimi, özellikleri Bölüm 3'te verilen HPGe dedektörlü gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Ölçme işlemlerine başlamadan önce HPGe dedektörünün verim kalibrasyonu yapılmıştır. Daha sonra aktivite ölçümünde kullanılacak gama-ışını pikleri belirlenmiştir.

4.3.1. HPGe Dedektörünün Verim Kalibrasyonu

Dedektörün tam enerjili foto-pik verim kalibrasyonu için Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu tarafından üretilen RGU-1, RGTh-1 ve RGK-1 referans malzemeleri (standart kalibrayon kaynakları) kullanılmıştır. İlk olarak referans malzemelerin her biri aktivite ölçümü yapılacak örnek kaplarına yerleştirilmiş ve dedektör üzerine konularak sayılmıştır. Daha sonra aşağıda verilen formül kullanılarak Tablo 4.3'te verilen her bir gama-ışınlarının verimleri (ε_γ) hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_\gamma = \frac{NA}{P_\gamma \cdot t \cdot A} \tag{4.1}$$

Burada, NA; ilgilenilen gama-ışını foto-pikine ait net alan (sayım), $P_{\gamma;}$ ilgili gama-ışınının yayınlanma ihtimali, t; sayım süresi (s) ve A; Bq cinsinden referans malzemenin aktivitesidir. Daha sonra ölçülen verim değerlerinin enerjiye göre grafiği çizilmiştir (Grafik 4.2) ve elde edilen eğri aşağıda verilen fonksiyona uydurulmuştur (fit edilmiştir).

$$y(\varepsilon_\lambda) = \frac{1}{a + b \cdot x(E_\lambda)^c} \tag{4.2}$$

Burada a, b ve c katsayıları, sırasıyla 4,64, 9,73 x 10^{-2} ve 8,99 x10^{-1} değerine eşittir. Aktivite ölçümlerinde Tablo 4.3'ün son sütununda verilen fit edilen verim değerleri kullanılmıştır.

4.3.2. Aktivite derişiminin ölçülmesi

Her bir örneğe ait örnek kabı dedektör üzerine yerleştirildi ve yukarıda bahsedilen (ilgilenilen) foto-piklerin pik belirsizlikler %3'ün altında kalacak şekilde ölçme işlemine tabi tutularak gama-ışını spektrumu elde edilmiştir. Her bir örneğe ve belli aralıklarla yapılan laboratuvar ortamı (background) ölçümlerine ait gama-ışını spektrumundaki ilgilenilen gama-ışını foto-piklerinin alanları ve belirsizlikleri, bulunmuştur. İlgilenilen gama-ışını foto-piklerinin net alanları, gama-ışını foto piklerinin alanlarından, ortalaması alınan laboratuvar ortamı gama-ışını foto piklerinin alanları çıkarılarak hesaplanmıştır. Bu radyonüklitlerin kg başına Becquerel (Bq/kg) cinsinden aktivite derişimleri (A),

$$A = \frac{NA}{\varepsilon_\gamma \cdot P_\gamma \cdot M \cdot t} \tag{4.3}$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada, NA; ilgilenilen gama-ışını foto-pikine ait net alan (sayım), ε; (4.2) bağıntısı ile belirlenen tam enerjili foto-pik verimi, P_γ; ilgilenilen gama-ışınının yayınlanma ihtimali, M; kg cinsinden örneğin kütlesi ve t; saniye cinsinden sayım süresidir. ^{238}U'in aktivite derişiminin ölçümünde, ^{238}U-^{226}Ra ve ^{226}Ra-^{222}Rn arasında dengenin var olduğu kabul edilerek, uranyum serisinde yer alan ^{214}Pb'e ait 295,2 ve 351,9 keV ve ^{214}Bi'e ait 609,3 keV ve 1764,5 keV enerjili gama-ışını foto-pikleri; ^{232}Th'nin aktivite derişiminin ölçümünde, ^{228}Ac'e ait 338,4 keV ve 911,2 keV ve ^{208}Tl'ait 583,2 keV enerjili gama-ışını foto-pikleri ve ^{40}K'ın aktivite derişiminin ölçümünde ise 1460,8 keV enerjili kendi gama-ışını foto-piki kullanılmıştır (Demir, 2015; Atıcı, 2016).

Her bir sepiyolit örneğinde ölçülen ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite ölçüm belirsizlikleri aşağıda verien eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$\Delta A = A \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta NA}{NA}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_\gamma}{P_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta M}{M}\right)^2} \tag{4.4}$$

Burada, A ve ΔA aktivite derişimi ve derişim belirsizliği; NA ve ΔNA sayım ve sayım belirsizliği; P_γ ve Δ P_γ gama yayınlanma ihtimali ve belirsizliği, ε_γ ve $\Delta\varepsilon_\gamma$

dedektör verimi ve verim belirsizliği; M ve ΔM kütlesi ve belirsizliğidir (Karataşlı ve diğerleri, 2016).

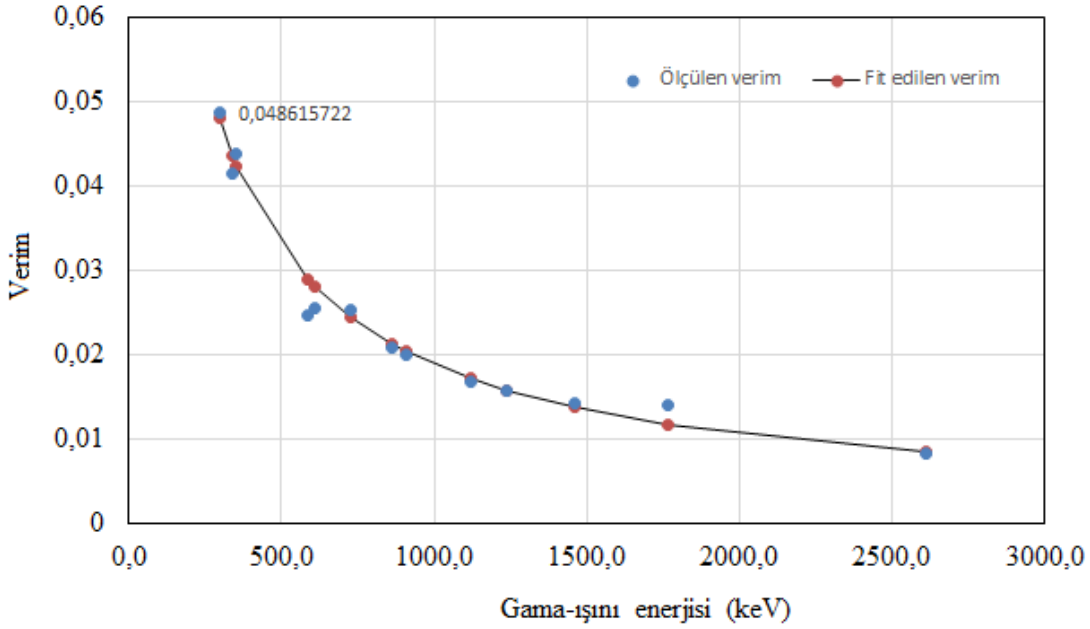
4.3.3. Aktivite derişim verileri

İlk olarak sepiyolit örnekleri için HPGe-gama-ışını spektrometresinde, ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K için ortalama ölçülebilir en düşük aktivite derişimi, sırasıyla 0,4 Bq/kg, 0,3 Bq/kg ve 3,2 Bq/kg olarak ölçülmüştür.

İncelenen sepiyolit örneklerinde ölçülen ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K'ın aktivite derişim değerlerine ilişkin istastiki bilgiler Tablo 4.4'de verilmektedir. Tablodan görüldüğü gibi ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K'ın aktivite derişimi, sırasıyla 8,5 ± 1,0 - 120,6 ± 2,9 Bq/kg (ortalama: 29,2 ± 3,7 Bq/kg), 0,4 ± 0,2 - 29,2 ± 3,8 Bq/kg (ortalama: 4,8 ± 1,0 Bq/kg) ve 7,2 ± 2,0 – 140,1 ± 4,8 Bq/kg (ortalama: 56,5 ± 8,3 Bq/kg) aralığındadır. En düşük ^{238}U aktivite derişimi Beylikova ocağına ait S20 nolu örnekte, en yüksek ise Sivrihisar ocağına ait S30 nolu örnekte ölçülmüştür. En düşük ^{232}Th aktivite derişimi Polatlı ocağına ait S5 nolu örnekte, en yüksek ise yine aynı ocağa ait S1 nolu örnekte ölçülmüştür.

Tablo. 4.3. *Verim kalibrasyona ilişkin bilgi*

Gama-ışını enerjisi (keV)	Gama-ışını yayınlanma ihtimali (%)	Ölçülen verim	Fit edilen verim
295,2	18,2	0,048615722	0,04802084
338,4	11,3	0,041383598	0,04359334
351,9	35,1	0,043874762	0,042382715
583,2	30,6	0,024687674	0,028994312
609,3	44,6	0,025389305	0,028019688
727,3	6,6	0,025221293	0,024362516
860,6	4,5	0,020808766	0,021280688
911,2	26,6	0,019978332	0,020315593
1120,3	14,7	0,016776911	0,017145245
1238,1	5,8	0,015747151	0,015778827
1460,8	10,7	0,014295506	0,01373715
1765	15,1	0,014006627	0,011708161
2614	35,9	0,008287652	0,008357989



Grafik 4.2. Verim kalibrasyon eğrisi

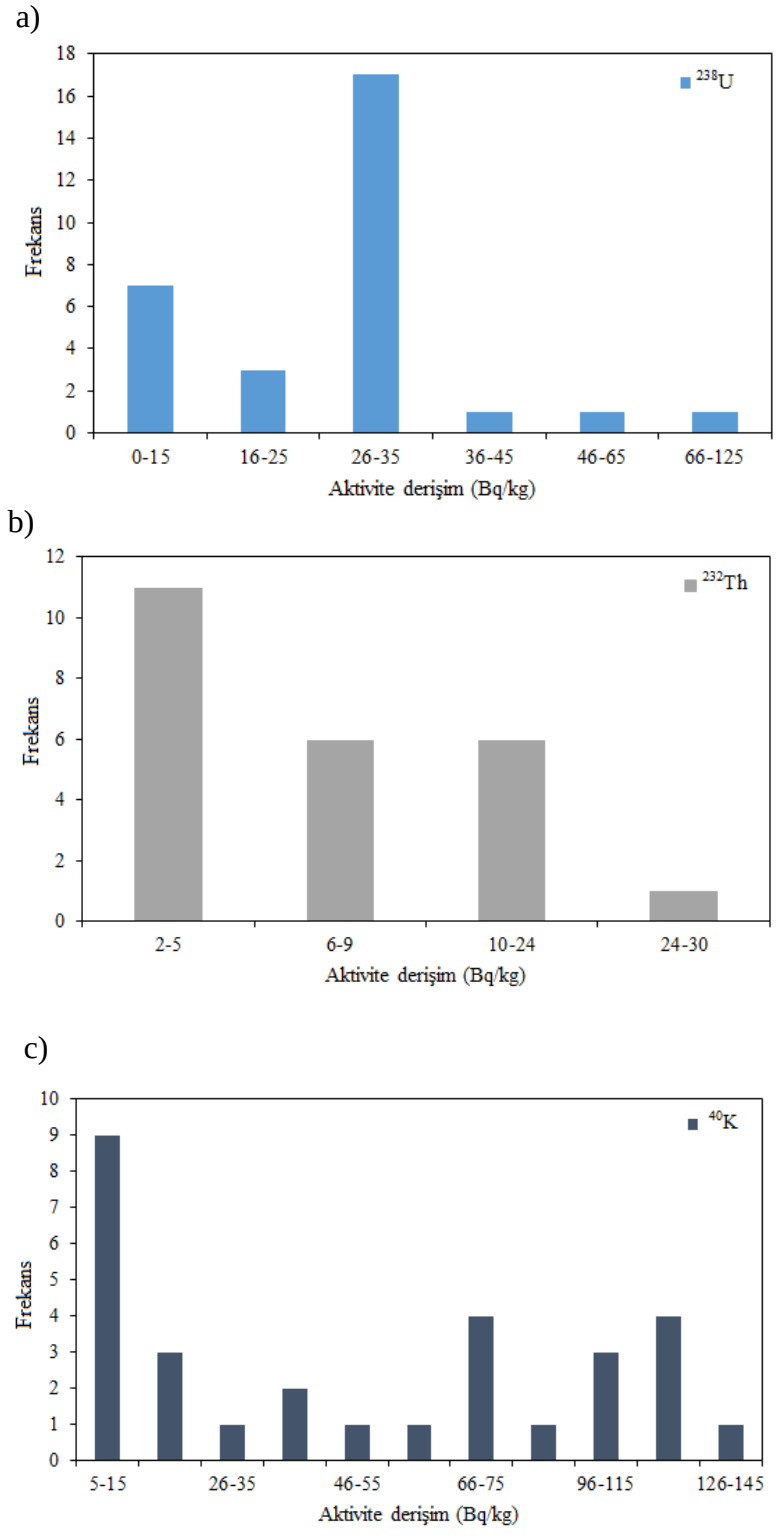
En düşük ^{40}K aktivite derişimi Polatlı ocağına ait S5 nolu örnekte, en yüksek ise Beylikova ocağına ait S19 nolu örnekte ölçülmüştür. Sepiyolit örneklerinde ölçülen ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K'ın aktivite derişim değerlerine ilişkin histogram eğrisi Grafik 4.3'te verilmiştir. Sepiyolit örneklerinin %90'nında ölçülen ^{238}U aktivite derişimleri, 8 - 35 Bq/kg aralığında, sepiyolit örneklerinin %77'sinde ölçülen ^{232}Th aktivite derişimleri- 0,4 - 24 Bq/kg aralığında ve sepiyolit örneklerinin %97'sinde ölçülen ^{40}K aktivite derişimleri 7 - 125 Bq/kg aralığında olduğu görülmektedir.

İncelenen sepiyolit örneklerinde ölçülen ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K'ın aktivite derişim değerleri, ölçme belirsizlikleri, her bir ocağa ait ortalama, en küçük ve en büyük değerler Tablo 4.5'te verilmiştir. Örneklerde ölçülen ^{238}U aktivite derişimlerinin birbirleriyle ve yer kabuğu ortalaması ile karşılaştırılması Grafik 4.4'de, ^{232}Th aktivite derişimlerinin birbirleriyle ve yer kabuğu ortalaması ile karşılaştırılması Grafik 4.5'te ve ^{40}K aktivite derişimlerinin birbirleriyle ve yer kabuğu ortalaması ile karşılaştırılması ise Grafik 4.6'da gösterilmiştir. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarında ölçülen ^{238}U'un aktivite derişimlerinin, sırasıyla 26,6 ± 1,0 – 40,6 ± 1,5 Bq/kg (ortalama: 31,6 ± 1,2 Bq/kg), 8,5 ± 1,0 – 18,1 ± 1,3 Bq/kg (ortalama: 13,7 ±

1,1 Bq/kg) ve 29,2 ± 1,2 – 120,6 ± 2,9 Bq/kg (ortalama: 42,3 ± 9,1 Bq/kg) aralığında olduğu görülmektedir (Tablo 4.5).

Tablo 4.4. *Sepiyolit örneklerinde ölçülen radyonüklitlerin aktivite derişimine ilişkin istatiksel bilgi*

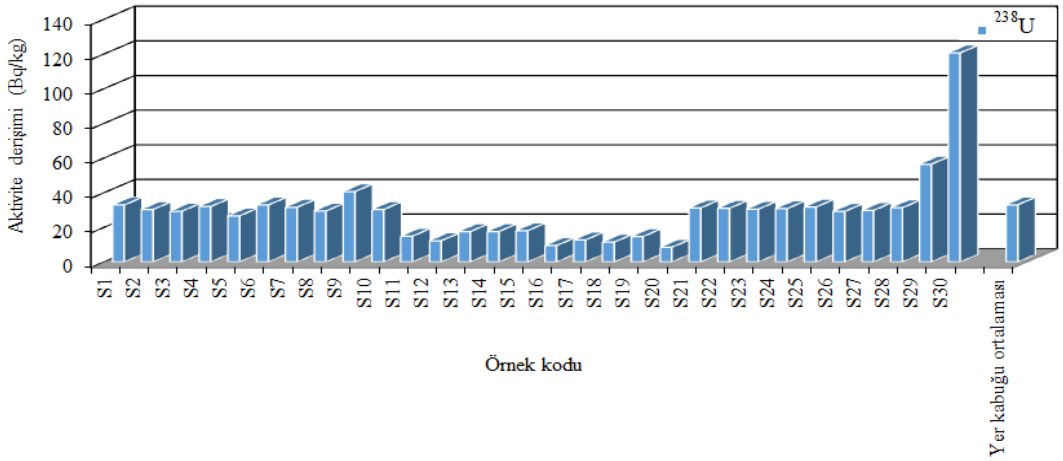
	Aktivite derişimi (Bq/kg)		
	^{238}U	^{232}Th	^{40}K
Ortalama	29,2	4,8	56,5
Standart hata	3,7	1,0	8,3
Ortanca	30,1	3,1	46,6
Standart sapma	20,2	5,4	45,5
Örnek varyans	406,7	29,6	2074,2
Basıklık	14,9	13,9	-1,4
Çarpıklık	3,4	3,2	0,4
En küçük	8,5	0,4	7,2
En büyük	120,6	29,2	140,1
Güvenirlik düzeyi (%95)	7,5	2,0	17,0



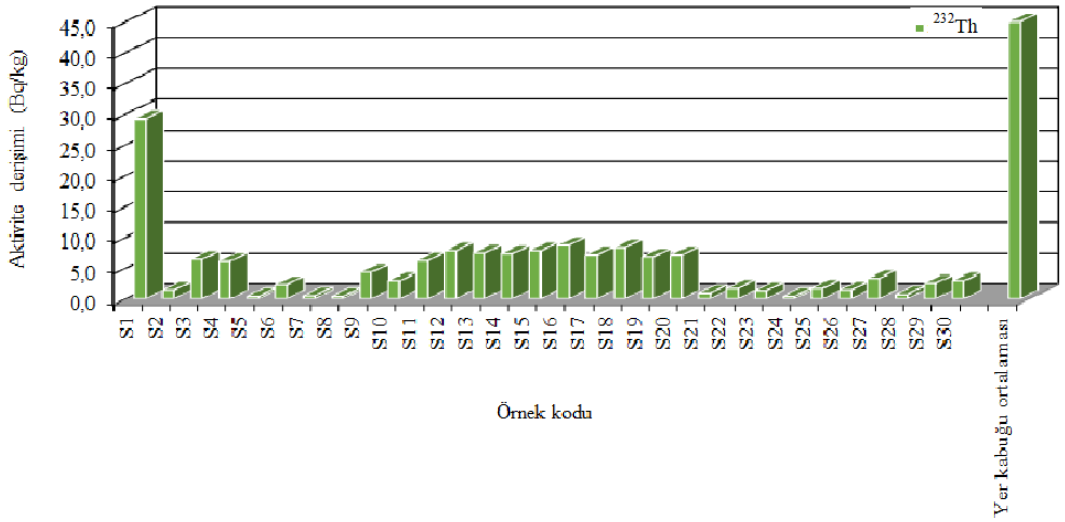
Grafik 4.3. Sepiyolit örneklerin ölçülen a) ^{238}U, b) ^{232}Th ve c) ^{40}K histogramı

Tablo 4.5. *Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarında ölçülen radyonüklitlerin aktivite derişimleri*

Örnek kodu	Ocak adı	Aktivite derişimi (Bq/kg)		
		^{238}U	^{232}Th	^{40}K
S1	Polatlı	32,9 ± 1,5	29,2 ± 3,8	69,3 ± 3,3
S2		30,3 ± 1,1	1,4 ± 0,5	9,6 ± 0,8
S3		29,3 ± 1,3	6,4 ± 1,2	55,0 ± 2,8
S4		32,0 ± 1,4	6,1 ± 1,2	74,6 ± 3,3
S5		26,6 ± 1,0	0,4 ± 0,1	7,2 ± 2,0
S6		32,9 ± 1,4	2,3 ± 0,6	74,3 ± 3,2
S7		31,6 ± 1,1	0,5 ± 0,2	16,7 ± 1,2
S8		29,4 ± 1,0	0,4 ± 0,2	16,4 ± 1,2
S9		40,6 ± 1,5	4,3 ± 1,0	66,6 ± 3,1
S10		30,3 ± 1,3	2,9 ± 0,8	36,7 ± 2,2
Ortalama		31,6	5,4	42,6
En küçük		26,6	0,4	7,2
En büyük		40,6	29,2	74,6
S11	Beylikova	14,9 ± 1,3	6,2 ± 1,3	95,0 ± 4,0
S12		12,3 ± 1,2	7,8 ± 1,5	112,2 ± 4,3
S13		17,5 ± 1,3	7,4 ± 1,4	115,6 ± 4,5
S14		17,6 ± 1,4	7,3 ± 1,6	114,9 ± 4,6
S15		18,1 ± 1,3	7,8 ± 1,5	118,9 ± 4,5
S16		9,5 ± 1,0	8,7 ± 1,6	121,5 ± 4,4
S17		12,7 ± 1,3	7,1 ± 1,4	59,2 ± 3,2
S18		11,5 ± 1,1	8,3 ± 1,4	114,7 ± 4,3
S19		14,7 ± 1,2	6,8 ± 1,3	140,1 ± 4,8
S20		8,5 ± 1,0	7,1 ± 1,4	117,0 ± 4,4
Ortalama		13,7	7,5	110,9
En küçük		8,5	6,2	59,2
En büyük		18,1	8,7	140,1
S21	Sivrihisar	31,2 ± 1,2	0,9 ± 0,3	16,1 ± 1,2
S22		31,0 ± 1,2	1,7 ± 0,6	12,3 ± 1,0
S23		30,5 ± 1,2	1,3 ± 0,5	11,4 ± 0,9
S24		30,8 ± 1,2	0,4 ± 0,1	12,2 ± 1,0
S25		31,7 ± 1,2	1,7 ± 0,6	13,3 ± 1,1
S26		29,2 ± 1,2	1,4 ± 0,6	7,5 ± 2,1
S27		29,8 ± 1,1	3,3 ± 0,4	9,0 ± 0,8
S28		31,3 ± 1,1	0,7 ± 0,3	10,3 ± 0,8
S29		56,4 ± 1,7	2,5 ± 0,7	28,3 ± 1,9
S30		120,6 ± 2,9	2,9 ± 1,2	38,1 ± 2,4
Ortalama		42,3	1,7	15,9
En küçük		29,2	0,4	7,5
En büyük		120,6	3,3	38,1
Yer kabuğu ortalaması		33	45	412



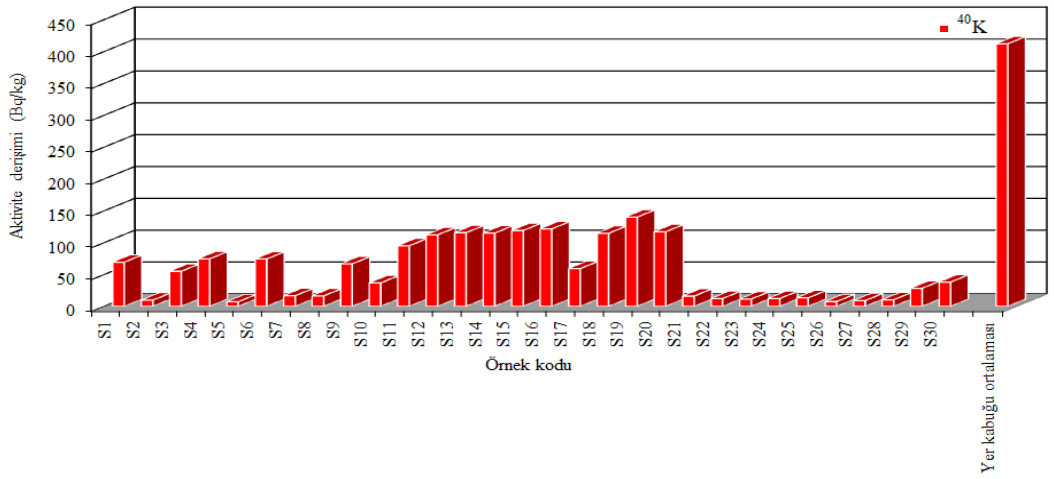
Grafik 4.4. Sepiyolit örneklerinde ölçülen ^{238}U'in yer kabuğu ortalaması ile karşılatırılması



Grafik 4.5. Sepiyolit örneklerinde ölçülen ^{232}Th'un yer kabuğu ortalaması ile karşılatırılması

Yer kabuğunda ölçülen ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K'ın ortalama derişimleri, UNSCEAR 2008 raporunda 33 Bq/kg, 45 Bq/kg ve 412 Bq/kg olarak verilmiştir (UNSCEAR, 2008). Grafik 4.4'den, Polatlıda ölçülen ^{238}U'in ortalama aktivite derişimi, yer kabuğu ortalamasına çok yakın iken, Beylikova'da ölçülen ^{238}U'in ortalama aktivite derişimi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2,4 kat daha küçüktür. Bununla birlikte Sivrihisar'da ölçülen ^{238}U'in ortalama aktivite derişimi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık %30 daha büyüktür.

Tablo 4.5'ten görülebileceği gibi Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarında ölçülen ^{232}Th'nin aktivite derişimlerinin, sırasıyla 0,4 ± 0,1 – 29,2 ± 3,8 Bq/kg (ortalama: 5,4 ± 2,7 Bq/kg), 6,2 ± 1,3 – 8,7 ± 1,6 Bq/kg (ortalama: 7,5 ± 0,2 Bq/kg) ve 0,4 ± 0,1 – 3,3 ± 0,4 Bq/kg (ortalama: 1,7 ± 0,3 Bq/kg) aralığında olduğu görülmektedir. Grafik 4.5'den, Bu ocaklarda ölçülen ^{232}Th'nin ortalama aktivite derişimi, yer kabuğu ortalamasından önemli ölçüde (6-27 kat aralığında) küçüktür.



Grafik 4.6. Sepiyolit örneklerinde ölçülen ^{40}K'ın yer kabuğu ortalaması ile Karşılatırılması

Tablo 4.5'ten görülebileceği gibi Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarında ölçülen ^{40}K'ın aktivite derişimlerinin, sırasıyla 7,2 ± 2,0 – 74,6 ± 3,3 Bq/kg (ortalama: 42,6 ± 8,9 Bq/kg), 59,3 ± 3,2 –0140,1 ± 4,8 Bq/kg (ortalama: 110,9 ± 6,7 Bq/kg) ve 7,5 ± 2,1 – 38,1 ± 2,4 Bq/kg (ortalama: 15,9 ± 3,1 Bq/kg) aralığında olduğu görülmektedir. Grafik 4.6'da, Polatlıda ölçülen ^{40}K'ın ortalama aktivite derişimi, yer kabuğu ortalamasından 10 kat, Beylikova'da ölçülen ^{40}K'ın ortalama aktivite derişimi, 4 kat ve Sivrihisar'da ölçülen ^{40}K'ın ortalama aktivite derişimi 9 kat daha küçüktür.

4.3.4. Radyolojik değerlendirme

Bu kısımda sepiyolit örneklerinin, özellikle çimento, beton ve harçlarda katkı ham maddesi olarak kullanılması radyolojik açıdan değerlendirilmiştir. Radyolojik değerlendirmeler için dış ışınlama (external exposure) radyolojik parametreleri (radyum eş değer aktivite indisi, aktivite derişim indisi, havada soğurulan gama doz

hızı ve buna karşılık gelen yıllık etkin radyasyon dozu ve yaşam boyu kanser riski) ve iç ışınlama (internal exposur) radyolik parametresi (alfa indisi) hesaplanmıştır.

4.3.4.1. Radyum eşdeğer aktivite indisi

Radyum eşdeğer ($Ra_{eş}$) aktivite indisi, yaygın biçimde kullanılan bir radyolojik parametredir. Bu parametre, ^{238}U ile ^{226}Ra arasında kalıcı denge olduğu ve aktivite derişimi 10 Bq/kg olan ^{226}Ra'nin, aktivite derişimi 7 Bq/kg olan ^{232}Th ve aktivite derişimi 130 Bq/kg ^{40}K ile aynı gama-ışını doz hızını oluşturabileceği kabulü esas alınarak aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır (Beretka ve Mathew, 1985; Kumar, A. 2003; Atıcı, 2016):

$$Ra_{eş}(Bq/kg) = A_{Ra} + \frac{10}{7} \times A_{Th} + \frac{10}{130} A_K \quad (4.5)$$

Burada A_{Ra}, A_{Th} ve A_K sırasıyla, ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K'ın Bq/kg cinsinden aktivite derişim değerleridir. Konut, okul ve işyeri binalarında kullanılan yer kabuğu kökenli yapı malzemeleri için $Ra_{eş}$ aktivite indisinin sınır değeri, 370 Bq/kg olarak öngörülmüştür (NEA- OECD, 1979; Demir, 2016; Atıcı, 2016). $Ra_{eş}$ aktivite indisinin, sınır değerden küçük veya eşit olması durumda, yapı malzemelerindeki radyoaktivitenin neden olduğu dış ışınlamaya maruz kalan bireylerin alabileceği azami yıllık etkin radyasyon doz değerinin 1,5 mSv'den küçük veya eşit olacağı kabul edilmiştir (Demirdağ, 2005; Atıcı, 2016). Bu değerin üzerinde olan malzemelerinin, konut, okul ve işyeri binalarında kullanılmasının sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. İncelenen sepiyolit örnekleri için hesaplanan $Ra_{eş}$ aktivite indis değerleri, Tablo 4.6'nın üçüncü sütununda verilmektedir. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örnekleri için hesaplanan $Ra_{eş}$ aktivite indis değerleri sırasıyla, 28 Bq/kg ila 80 Bq/kg (ortalama: 43 ± 5 Bq/kg), 27 Bq/kg ila 38 Bq/kg (ortalama: 33 ± 1 Bq/kg) ve 32 Bq/kg ila 128 Bq/kg (ortalama: 46 ± 10 Bq/kg) aralığında değişmektedir. En büyük $Ra_{eş}$ aktivite indis değeri, Sivrihisar (S30) kodlu örnek için ve en küçük değer ise Beylikova (S17) kodlu örnek için hesaplanmıştır. Hesaplanan $Ra_{eş}$ aktivite indis değerlerinin, birbirleri ve sınır değer ile karşılaştırılması, Grafik 4.7'de gösterilmiştir. Grafik 4.7'den görülebileceği gibi sepiyolit örnekleri için hesaplanan değerlerin tamamı, sınır değer olan 370 Bq/kg dan çok düşüktür.

4.3.4.2. Aktive derişim indisi

Konut, okul ve işyeri binalarında kullanılan yapı malzemelerinin içerdiği birden fazla radyonüklitin, yıllık etkin radyasyon dozuna katkıda bulunmasından dolayı izleme amaçlı pratik bir indis olarak önerilen aktivite derişim indisi (ADİ), aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (EC, 1999; Demirdağ, 2005; Atıcı, 2016).

$$\text{ADİ} = \frac{A_{Ra}}{300\,(\text{Bq/kg})} + \frac{A_{Th}}{200\,(\text{Bq/kg})} + \frac{A_{K}}{3000\,(\text{Bq/kg})} \tag{4.6}$$

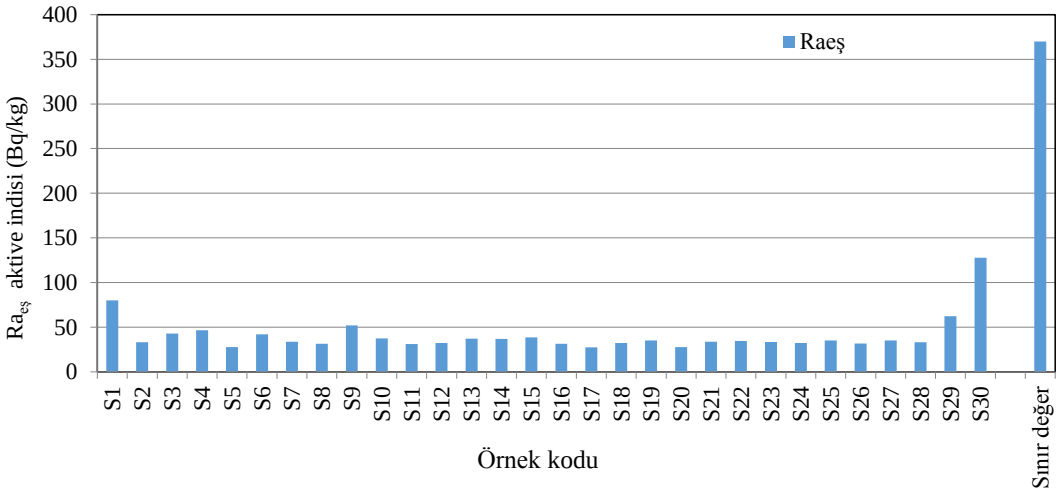
Burada, Burada, A_{Ra}, A_{Th} ve A_K, sırasıyla ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K'ın Bq/kg cinsinden aktivite derişimidir. ADİ'nin değerleri, 0,3 mSv'lik yıllık etkin radyasyon dozuna karşılık geldiğinde, yapı malzemesi, radyoaktiviteye yönelik bütün kontrol ve izlemeden muaf tutulur. ADİ'nin değerleri, 1 mSv'lik yıllık etkin radyasyon dozuna karşılık geldiğinde, yapı malzemesi, herhangi bir kısıtlama olmadan kullanılabilir. ADİ'nin değerleri, 1 mSv'ten daha büyük yıllık etkin radyasyon dozuna karşılık geldiğinde, yapı malzemelerinin kullanılmamasına ve taşınmasına kısıtla getirilmesi tavsiye edilir (EC, 1999; Demirdağ, 2005; Atıcı, 2016). İncelenen sepiyolit örnekleri için hesaplanan ADİ değerleri, Tablo 4.6'nın dördüncü sütununda verilmektedir. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örnekleri için hesaplanan ADİ değerleri sırasıyla, 0,09 ila 0,28 (ortalama: 0,15 ± 0,02), 0,10 ila 0,14 (ortalama: 0,120 ± 0,004) ve 0,11 ila 0,43 (ortalama: 0,15 ± 0,03) aralığında değişmektedir. En büyük ADİ değeri, Sivrihisar (S30) kodlu örnek için ve en küçük değer ise Polatlı (S5) kodlu örnek için hesaplandı. Hesaplanan ADİ aktivite indis değerlerinin, birbirleri ve sınır değer ile karşılaştırılması, Grafik 4.8'de gösterildi. Grafik 4.8'den görülebileceği gibi sepiyolit örnekleri için hesaplanan değerlerin tamamı, sınır değer olan 1'den çok düşüktür.

4.3.4.3. Alfa indisi

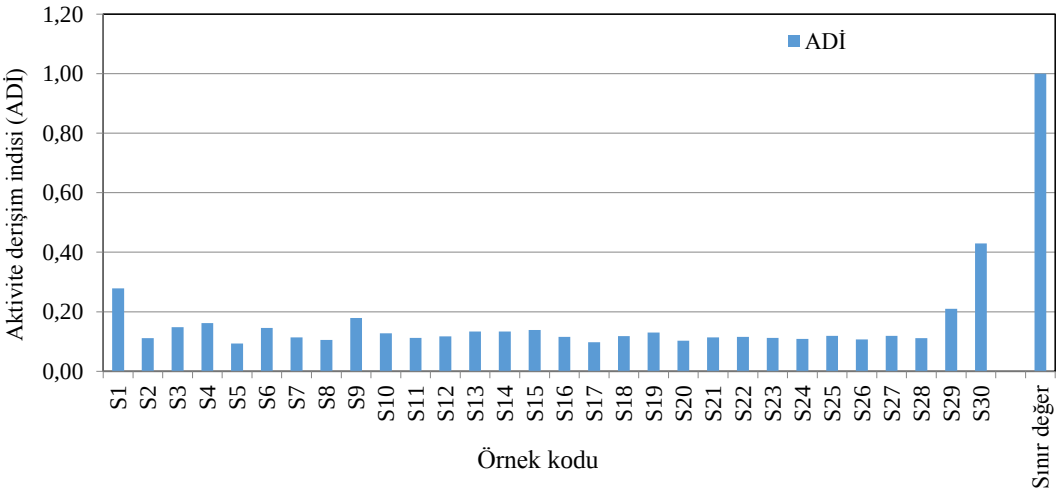
Radon gazının solunmasının sebep olduğu ilave alfa radyasyonunun değerlendirilmesi için türetilen alfa indisi (I_{Alfa}), aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (Demirdağ, 2005; Atıcı, 2016).

Tablo 4.6. *Sepiyolit örnekleri için hesaplanan radyolojik parametreler*

Örnek kodu	Ocak adı	Dış ışınlama indisi		İç ışınlama indisi
		$Ra_{eş}$ (Bq/kg)	ADİ	I_{Alfa}
S1	Polatlı	80	0,28	0,16
S2		33	0,11	0,15
S3		43	0,15	0,15
S4		46	0,16	0,16
S5		28	0,09	0,13
S6		42	0,15	0,16
S7		34	0,11	0,16
S8		31	0,11	0,15
S9		52	0,18	0,20
S10		37	0,13	0,15
Ortalama		43	0,15	0,16
En küçük		28	0,09	0,13
En büyük		80	0,28	0,20
Standard hata		5	0,02	0,01
S11	Beylikova	31	0,11	0,07
S12		32	0,12	0,06
S13		37	0,13	0,09
S14		37	0,13	0,09
S15		38	0,14	0,09
S16		31	0,12	0,05
S17		27	0,10	0,06
S18		32	0,12	0,06
S19		35	0,13	0,07
S20		28	0,10	0,04
Ortalama		33	0,12	0,07
En küçük		27	0,10	0,04
En büyük		38	0,14	0,09
Standard hata		1	0,00	0,01
S21	Sivrihisar	34	0,11	0,16
S22		34	0,12	0,16
S23		33	0,11	0,15
S24		32	0,11	0,15
S25		35	0,12	0,16
S26		32	0,11	0,15
S27		35	0,12	0,15
S28		33	0,11	0,16
S29		62	0,21	0,28
S30		128	0,43	0,60
Ortalama		46	0,15	0,21
En küçük		32	0,11	0,15
En büyük		128	0,43	0,60
Standard hata		10	0,03	0,05



Grafik 4.7. $Ra_{eş}$ aktivite indis değerlerinin sınır değer ile karşılaştırılması

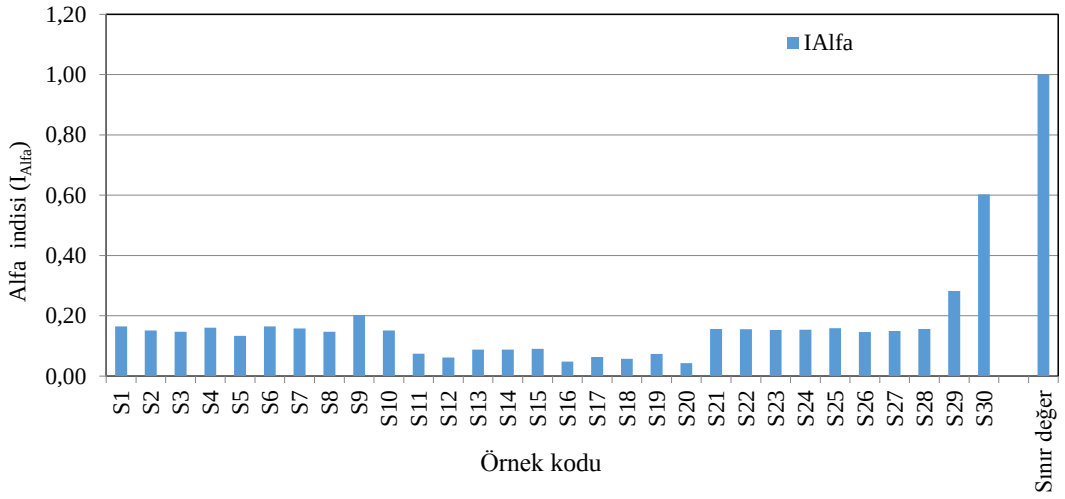


Grafik 4.8. ADİ değerlerinin sınır değer ile karşılaştırılması

$$I_{Alfa} = \frac{A_{Ra}}{200\,(Bq/kg)} \qquad (4.7)$$

Burada, A_{Ra}; ^{226}Ra'nin Bq/kg cinsinden aktivite derişimidir. $I_{Alfa} > 1$ olduğu durumlarda, kapalı ortam veya yapı içi (ev, okul, işyeri) radon aktivite derişimi, sınır değer olan 200 Bq/m^3'ten daha büyüktür (Demir, 2015; Atıcı, 2016). İncelenen sepiyolit örnekleri için hesaplanan I_{Alfa} değerleri, Tablo 4.6'nın son sütununda

verilmektedir. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örnekleri için hesaplanan I_{Alfa} değerleri sırasıyla, 0,13 ila 0,20 (ortalama: 0,16 ± 0,01), 0,04 ila 0,09 (ortalama: 0,07 ± 0,01) ve 0,15 ila 0,60 (ortalama: 0,21 ± 0,053) aralığında değişmektedir. En büyük I_{Alfa} değeri, Sivrihisar (S30) kodlu örnek için ve en küçük değer ise Beylikova (S20) kodlu örnek için hesaplandı. Hesaplanan I_{Alfa} aktivite indis değerleri, birbirleri ve sınır değer ile karşılaştırılmıştır (Grafik 4.9). Grafik 4.9'dan görülebileceği gibi sepiyolit örnekleri için hesaplanan değerlerin tamamı, sınır değer olan 1'den çok düşüktür.



Grafik 4.9. I_{Alfa} değerlerinin sınır değer ile karşılaştırılması

4.3.4.4. Gama doz hızı ve yıllık etkin radyasyon dozu

Açık ortamdaki havada soğurulan gama-ışını doz hızı (AOGDH),

$$AOGDH(nGy/h) = 0{,}462 \times A_U + 0{,}604 \times A_{Th} + 0{,}0417 \times A_K \quad (4.8)$$

formülüı ile hesaplandı (UNSCEAR, 2008; EC, 1999). Burada A_{Ra}, A_{Th} ve A_K, sırasıyla ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K'ın Bq/kg cinsinden aktivite derişimidir. İncelenen sepiyolit örnekleri için hesaplanan AOGDH değerleri, Tablo 4.7'nın üçüncü sütununda verilmektedir. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örnekleri için

hesaplanan AOGDH değerleri sırasıyla, 13 ila 36 nGy/h (ortalama: 20 ± 2 nGy/h), 13 ila 18 nGy/h (ortalama: 15 ± 1 nGy/h) ve 15 ila 59 nGy/h (ortalama: 21 ± 4 nGy/h) aralığında değişmektedir. En büyük AOGDH değeri, Sivrihisar (S30) kodlu örnek için ve en küçük değer ise Beylikova (S17) kodlu örnek için hesaplandı. Hesaplanan AOGDH değerlerinin, birbirleri ve dünya ortalaması ile karşılaştırılması, Grafik 4.10'da gösterildi. Grafik 4.10'dan görülebileceği gibi Sivrihisar (S30) kodlu örnek için hesaplanan AOGDH değeri dünya ortalaması olan 59 nGy/h'a eşit olduğu ve diğer örnekler için hesaplanan AOGDH değerlerinin tamamının, ortalama değerden daha küçük olduğu gözükmektedir.

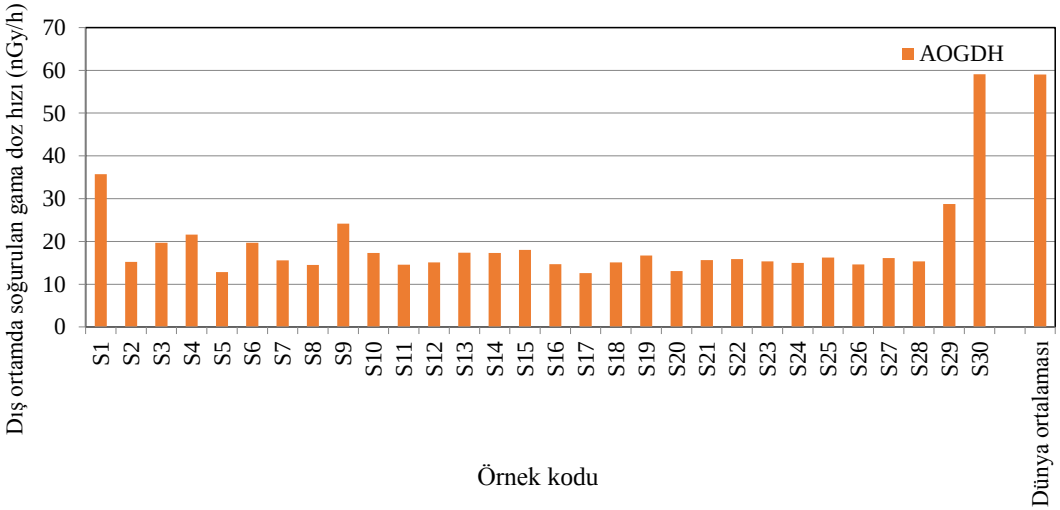
Açık ortamda, gama radyasyonuna maruz kalan bireylerin aldıkları yıllık etkin radyasyon doz hızı (YERD), havada soğurulan gama-ışını dozundan etkin doza dönüşüm kat sayısı 0,7 Sv/Gy alınarak ve bireylerin zamanının %20'nini açık ortamlarda geçirdiği kabul edilerek,

$$\text{YERD (mSv / y)} = \text{AOGDH} \times 365{,}25\,\text{gün} \times 24\,\text{h} \times 0{,}2 \times 0{,}7\,\text{Sv/Gy} \times 10^{-6} \qquad (4.9)$$

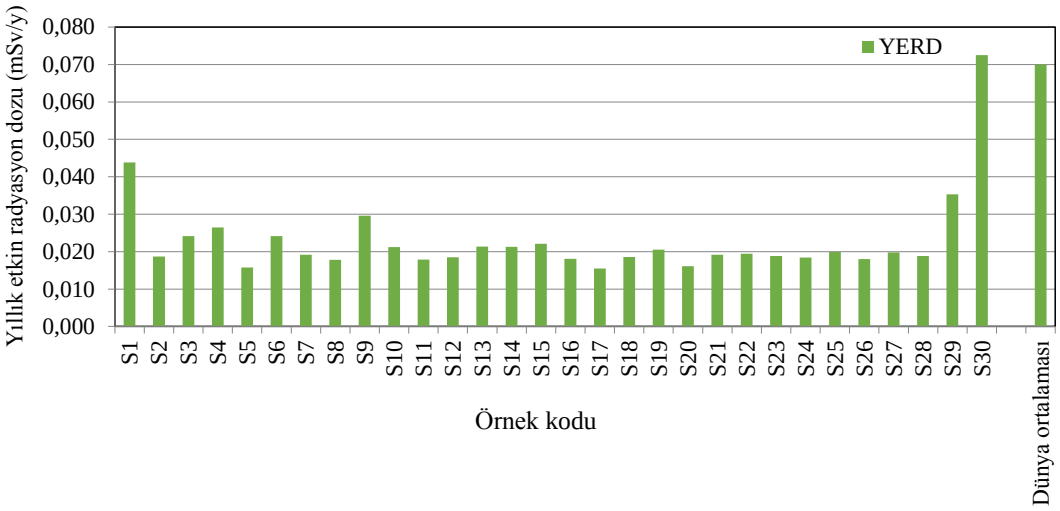
bağıntısı ile hesaplandı (UNSCEAR, 2008). Burada, AOGDH; (4,8) bağıntısı ile hesaplanan soğurulan gama-ışını doz hızıdır. İncelenen sepiyolit örnekleri için hesaplanan YERD değerleri, Tablo 4.7'nin dördüncü sütununda verilmektedir. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örnekleri için hesaplanan YERD değerleri sırasıyla, 0,016 ila 0,044 mSv/y (ortalama: 0,024 ± 0,003 mSv/y), 0,015 ila 0,022 mSv/y (ortalama: 0,019 ± 0,001 mSv/y) ve 0,018 ila 0,072 mSv/y (ortalama: 0,026 ± 0,005 mSv/y) aralığında değişmektedir. En büyük YERD değeri, Sivrihisar (S30) kodlu örnek için ve en küçük değer ise Beylikova (S13) kodlu örnek için hesaplandı. Hesaplanan YERD değerlerinin, birbirleri ve dünya ortalaması ile karşılaştırılması, Grafik 4.11'de gösterilmiştir. Grafik 4.11'dan görülebileceği gibi Sivrihisar (S30) kodlu örnek için hesaplanan YERD değeri dünya ortalaması olan 0,07 mSv/y'dan daha büyük iken diğer örnekler için hesaplanan YERD değerlerinin tamamının, ortalama değerinden daha küçük olduğu gözükmektedir.

Tablo 4.7. *Sepiyolit örnekleri için hesaplanan AOGDH, YERD ve YBKR değerleri*

Örnek kodu	Ocak adı	AOGDH (nGy/h)	YERD (mSv/y)	YBKR
S1	Polatlı	36	0,044	1,5E-04
S2		15	0,019	6,5E-05
S3		20	0,024	8,5E-05
S4		22	0,026	9,3E-05
S5		12,8	0,016	5,5E-05
S6		20	0,024	8,5E-05
S7		16	0,019	6,7E-05
S8		15	0,018	6,2E-05
S9		24	0,030	1,0E-04
S10		17	0,021	7,4E-05
Ortalama		20	0,024	8,4E-05
En küçük		12,8	0,016	5,5E-05
En büyük		36	0,044	1,5E-04
Standard hata		2	0,003	9,0E-06
S11	Beylikova	15	0,018	6,3E-05
S12		15	0,018	6,5E-05
S13		17	0,021	7,5E-05
S14		17	0,021	7,4E-05
S15		18	0,022	7,7E-05
S16		15	0,018	6,3E-05
S17		12,6	0,015	5,4E-05
S18		15	0,019	6,5E-05
S19		17	0,021	7,2E-05
S20		13	0,016	5,6E-05
Ortalama		15	0,019	6,6E-05
En küçük		12,6	0,015	5,4E-05
En büyük		18	0,022	7,7E-05
Standard hata		1	0,001	2,5E-06
S21	Sivrihisar	16	0,019	6,7E-05
S22		16	0,019	6,8E-05
S23		15	0,019	6,6E-05
S24		15	0,018	6,4E-05
S25		16	0,020	7,0E-05
S26		15	0,018	6,3E-05
S27		16	0,020	6,9E-05
S28		15	0,019	6,6E-05
S29		29	0,035	1,2E-04
S30		59	0,072	2,5E-04
Ortalama		21	0,026	9,1E-05
En küçük		15	0,018	6,3E-05
En büyük		59	0,072	2,5E-04
Standard hata		4	0,005	1,9E-05



Grafik 4.10. AOGDH değerlerinin dünya ortalaması ile karşılaştırılması



Grafik 4.11. YERD değerlerinin dünya ortalaması ile karşılaştırılması

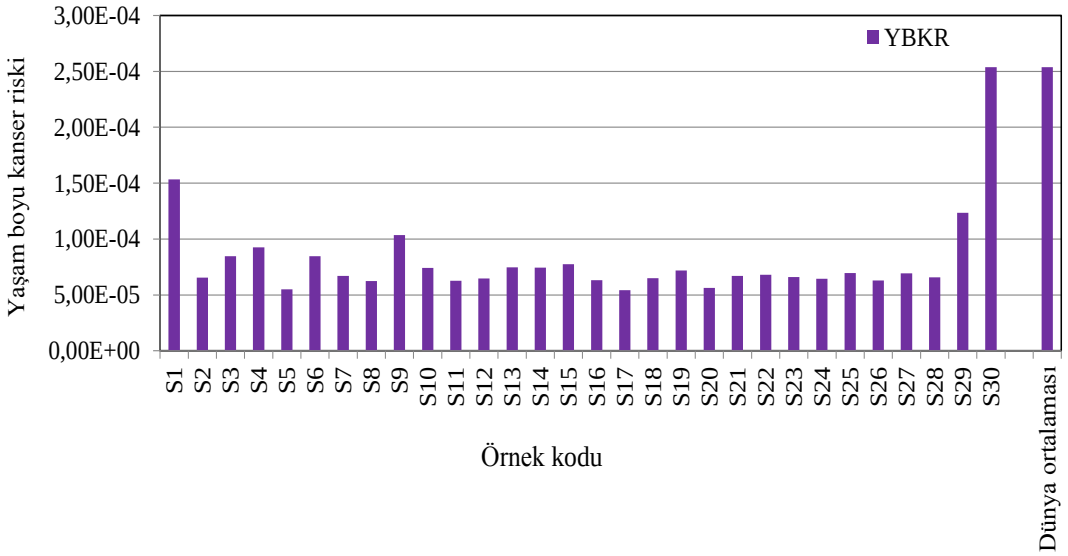
4.3.4.5. Yaşam boyu kanser riski

Yaşam boyu kanser riski (YBKR), belirli bir seviyedeki iyonlaştırıcı radyasyon dozuna maruz kalan bireyler içinde kanser vakasına yakalanan azami sayıyı gösteren bir değer olarak kabul edilir (ICRP, 1990; Atıcı, 2016). Sepiyolit örneklerinin yapı

içinde yapısal ve yapı içi veya dışında kaplama malzemesi olarak kullanıldığı durumlar için YBKR.

$$YBKR = YERD \cdot OÖ \cdot RF \tag{4.10}$$

bağıntısı ile hesaplandı (Atıcı, 2016). Burada, YERD; (4.8) bağıntısı ile hesaplanan yıllık etkin radyasyon doz hızı, OÖ; ortalama ömür (70 yıl olarak kabul edildi) ve RF değeri 0,05/Sv olarak alınan risk faktörüdür (ICRP, 1990). İncelenen sepiyolit örnekleri için hesaplanan YBKR değerleri, Tablo 4.7'nin son sütununda verilmektedir. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örnekleri için hesaplanan YERD değerleri sırasıyla, 5,5 x 10^{-5} ila 1,5 x 10^{-4} (ortalama: 8,4 x 10^{-5}), 5,4 x 10^{-5} ila 7,7 x 10^{-5} (ortalama: 6,6 x 10^{-5}) ve 6,3 x 10^{-5} ila 2,5 x 10^{-4} (ortalama: 9,1 x 10^{-5}) aralığında değişmektedir. En büyük YBKR değeri, Sivrihisar (S30) kodlu örnek için ve en küçük değer ise Beylikova (S17) kodlu örnek için hesaplandı. Hesaplanan YBKR değerlerinin, birbirleri ve dünya ortalaması ile karşılaştırılması, Grafik 4.12'de gösterildi. Grafik 4.12'den görülebileceği gibi Sivrihisar (S30) kodlu örnek için hesaplanan YBKR değeri dünya ortalaması olan 2,5 x 10^{-4}'e eşit iken diğer örnekler için hesaplanan YBKR değerlerinin tamamının, ortalama değerinden daha küçük olduğu gözükmektedir.



Grafik 4.12. YBKR değerlerinin dünya ortalaması ile karşılaştırılması

4.3.5. Kozmik radyasyondan kaynaklanan gama doz hızı

Sepiyolit ocaklarında kozmik radyasyon sebebiyle 1 m havada soğrulan gama doz hızı, radyakmetre ile ölçülen yer kabuğu ve kozmik radyasyondan kaynaklanan gama doz hızı değerlerinden, Tablo 4.8'de verildiği sepiyolit örneklerinde ölçülen radyonüklit aktivite derişimleri esas alınarak hesaplanan yer kabuğu kaynaklı gama doz hızı değerleri çıkarılarak elde edilmiştir. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocakları için ortalama kozmik gama doz hızı, sırasıyla 45 nGy/h, 43 nGy/h ve 42 nGy/h olarak bulunmuştur.

Tablo 4.8. *Sepiyolit ocakları için ölçülenörnekleri kozmik gama doz hızı değerleri*

Örnek kodu	Ocak adı	Kozmik gama doz hızı (nGy/h)
S1	Polatlı	62
S2		75
S3		65
S4		44
S5		21
S6		99
S7		47
S8		25
S9		10
S10		1
Ortalama		45
En küçük		1
En büyük		99
S11	Beylikova	74
S12		83
S13		50
S14		65
S15		25
S16		42
S17		25
S18		31
S19		22
S20		15
Ortalama		43
En küçük		15
En büyük		83
S21	Sivrihisar	93
S22		76
S23		31
S24		46
S25		30
S26		21
S27		8
S28		43
S29		7
S30		69
Ortalama		42
En küçük		7
En büyük		93

4.4. Elementel analiz verileri

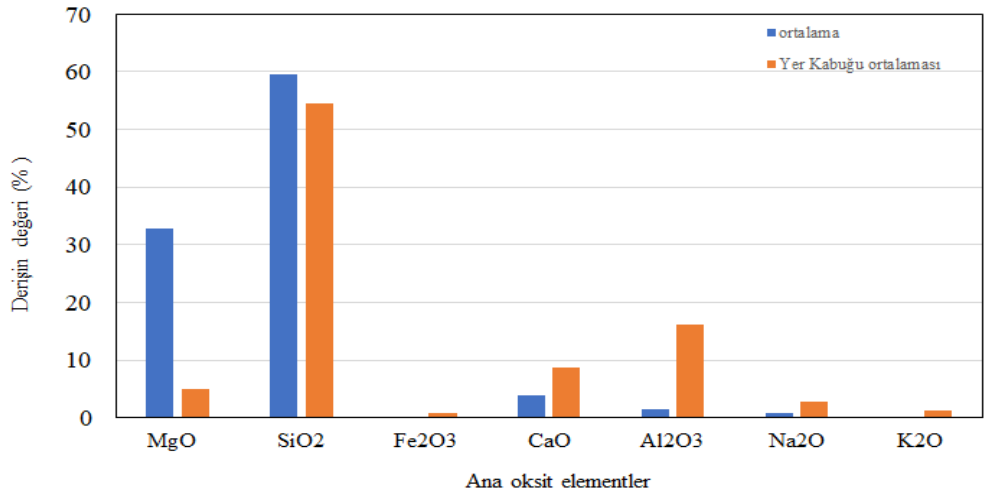
Örneklerin içerdiği elementler, örnek içindeki derişim değerlerine göre genelde üç sınıfta incelenmektedir. Örnek içindeki derişim değeri %1'den daha büyük olan elementler ana (major), derişim değeri % 0,1 - %1 aralığında olan elementler ikincil (minor) ve derişim değeri % 0,1'den daha küçük olan elementler ise eser (trace) elementler olarak isimlendirilmektedir. Sepiyolit örneklerinin doğal olarak içerdiği elementlerin derişimleri, özellikleri Bölüm 3'te verilen EDXRF ve XRD spektrometreleri kullanılarak ölçülmüştür. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarının ana oksit dağılımları, yer kabuğu ortalama değerleri, Tablo 4.9'da ve bu oksitlere ilişkin istatistiki bilgi ise Tablo 4.10'da verilmektedir. Örneklerde ölçülen SiO_2, MgO, CaO, Na_2O, Al_2O_3, Fe_2O_3, ve K_2O derişimlerinin, sırasıyla % 57 - % 62 (ortalama: % 60), % 23 - % 44 (ortalama: % 33), % 3,2 - % 4,4 (ortalama: % 3,9), % 0,20 - % 1,20 (ortalama: % 0,73), % 0,3 - % 3,6 (ortalama: % 1,41), % 0,10 - % 0,46 (ortalama: % 0,25) ve % 0,10 - % 0,30 (ortalama: % 0,16) aralığında bulunmuştur. SiO_2, MgO, CaO, Na_2O, Al_2O_3, Fe_2O_3, ve K_2O oksitlerinin ortalama değerleri ile yer kabuğu ortalamasının karşılaştırılamsı Grafik 4.13'te verilmektedir. Grafik 4.13'ten de görülebileceği gibi sepiyolit örneklerinde ölçülen ortalama SiO_2 derişimi, yer kabuğu ortalamasından %10 daha büyük iken ortalama MgO derişimi ise yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 7 kat daha büyüktür. Ortalama CaO derişimi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat, ortalama Na_2O derişimi yaklaşık 4 kat, ortalama Al_2O_3 derişimi, yaklaşık 12 kat, ortalama Fe_2O_3 derişimi, yaklaşık 4 kat daha küçüktür ve ortalama K_2O derişimi ise yaklaşık 8 kat daha küçüktür (Yaroshevsky, 2006). SiO_2 derişiminin en yüksek değeri S10 kodlu (Polatlı ocağı) ve S20 kodlu (Beylikova ocağı) örnekte ölçülmüşken MgO derişiminin en yüksek değeri ise S11 kodlu (Beylikova ocağı) örnekte ölçülmüştür.

Tablo 4.9. *Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarının ana oksit dağılımları*

Örnek kodu	Ana oksit derişimleri (%)						
	SiO_2	MgO	CaO	Na_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O
S1	60	31	4,3	0,5	0,3	0,2	0,1
S2	59	25	3,2	0,8	0,3	0,1	0,1
S3	60	30	3,9	1,1	0,4	0,2	0,2
S4	57	30	3,3	1,2	0,8	0,2	0,1
S5	58	29	3,5	0,9	0,8	0,4	0,3
S6	59	25	3,8	0,5	0,7	0,3	0,2
S7	61	27	4,1	0,3	0,4	0,3	0,1
S8	61	26	4,3	0,2	0,8	0,2	0,1
S9	59	32	4,4	0,8	2,6	0,1	0,1
S10	62	28	3,9	0,8	3,6	0,4	0,2
S11	58	44	4,3	0,5	3,6	0,2	0,1
S12	60	41	3,2	0,8	2,3	0,1	0,3
S13	57	31	3,9	1,1	1,4	0,2	0,2
S14	57	41	3,3	1,2	1,8	0,2	0,1
S15	58	39	3,5	0,9	2,8	0,4	0,1
S16	61	34	3,8	0,5	2,7	0,3	0,2
S17	60	30	4,1	0,5	3	0,3	0,1
S18	61	43	4,3	0,8	2,8	0,2	0,3
S19	59	41	4,4	0,8	2,6	0,1	0,2
S20	62	38	3,9	0,7	2,5	0,4	0,2
S21	61	42	4,3	0,5	0,6	0,2	0,1
S22	60	23	3,2	0,8	0,3	0,1	0,1
S23	60	29	3,9	1,1	0,4	0,4	0,2
S24	57	30	3,3	1,2	0,8	0,2	0,2
S25	58	32	3,5	0,9	0,8	0,4	0,2
S26	62	31	3,8	0,5	0,7	0,3	0,1
S27	60	40	4,1	0,3	0,4	0,3	0,2
S28	61	29	4,3	0,2	0,8	0,2	0,3
S29	59	30	4,4	0,7	0,6	0,1	0,1
S30	59	38	3,9	0,8	0,6	0,4	0,1
Polatlı sepiyolit ocağı ortalama değeri	60	29	5,9	0,7	1,1	0,3	0,2
Beylikova sepiyolit ocağı ortalama değeri	59	38	4,0	0,8	2,6	0,2	0,2
Sivrihisar sepiyolit ocağı ortalama değeri	60	33	4,0	0,7	0,6	0,3	0,2
Yerkabuğu ortalama değeri	54,55	4,91	8,72	2,74	16,17	0,92	1,32

Tablo 4.10. *Ocakların ana oksit derişimlerine ilişkin bilgi*

	SO_2	MgO	CaO	Na_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O
Ortalama	60	33	3,9	0,73	1,41	0,25	0,16
Standart Hata	0	1	0,1	0,05	0,20	0,02	0,01
Ortanca	60	31	3,9	0,80	0,80	0,20	0,15
Kip	58	31	4,3	0,80	0,80	0,20	0,10
Standart Sapma	1	6	0,4	0,29	1,11	0,11	0,07
Örnek Varyans	2	37	0,2	0,09	1,23	0,01	0,01
Basıklık	-1	-1	-1,2	-0,77	-1,07	-1,19	-0,70
Çarpıklık	0	0	-0,3	-0,09	0,72	0,18	0,69
Aralık	5	21	1,2	1,00	3,30	0,30	0,20
En küçük	57	23	3,2	0,20	0,30	0,10	0,10
En büyük	62	44	4,4	1,20	3,60	0,40	0,30
Güvenirlik düzeyi (%95)	1	2	0,2	0,11	0,41	0,04	0,03



Grafik 4.13. Ana oksit derşimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması

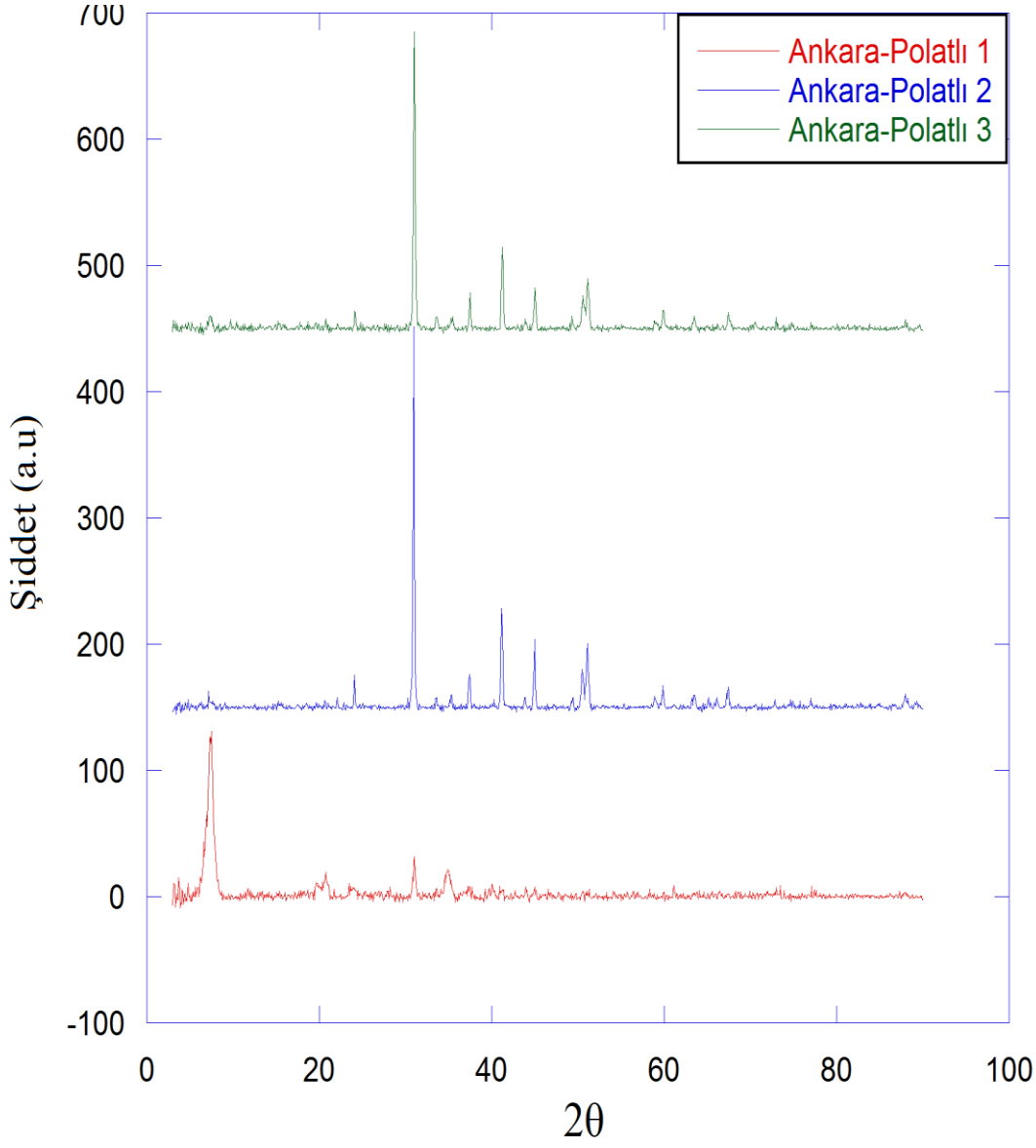
Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarının eser zehirli (toksik) element dağılımları ve yer kabuğu ortalama değerleri, Tablo 4.11'de verilmiştir. Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Zr, Cd, Hg ve Pb elementleri, ağır metal olarak bilinmektedir. Sepiyolit örneklerindeki Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Zr, Cd, Hg ve Pb'nin ortalama derişimleri, sırasıyla 22,0 mg/kg, 59,3 mg/kg, 3566,8 mg/kg, 3,0 mg/kg, 23,3 mg/kg3 8,5 mg/kg, 16,5, mg/kg, 7,8 mg/kg, 734,0 mg/kg, 8,9 mg/kg, 0,8 mg/kg ve 1,5 mg/kg olarak ölçülmüştür. Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn ve Pb'nin ortalama derişimleri, yer kabuğu ortalamasından, sırasıyla 4, 17, 13, 6, 3, 6, 5 ve 10 kat daha

küçük iken As, Sr, Cd ve Hg'nin ortalama derişimleri, yer kabuğu ortalamasından, sırasıyla 4,5, 2 ve 10 kat daha büyüktür.

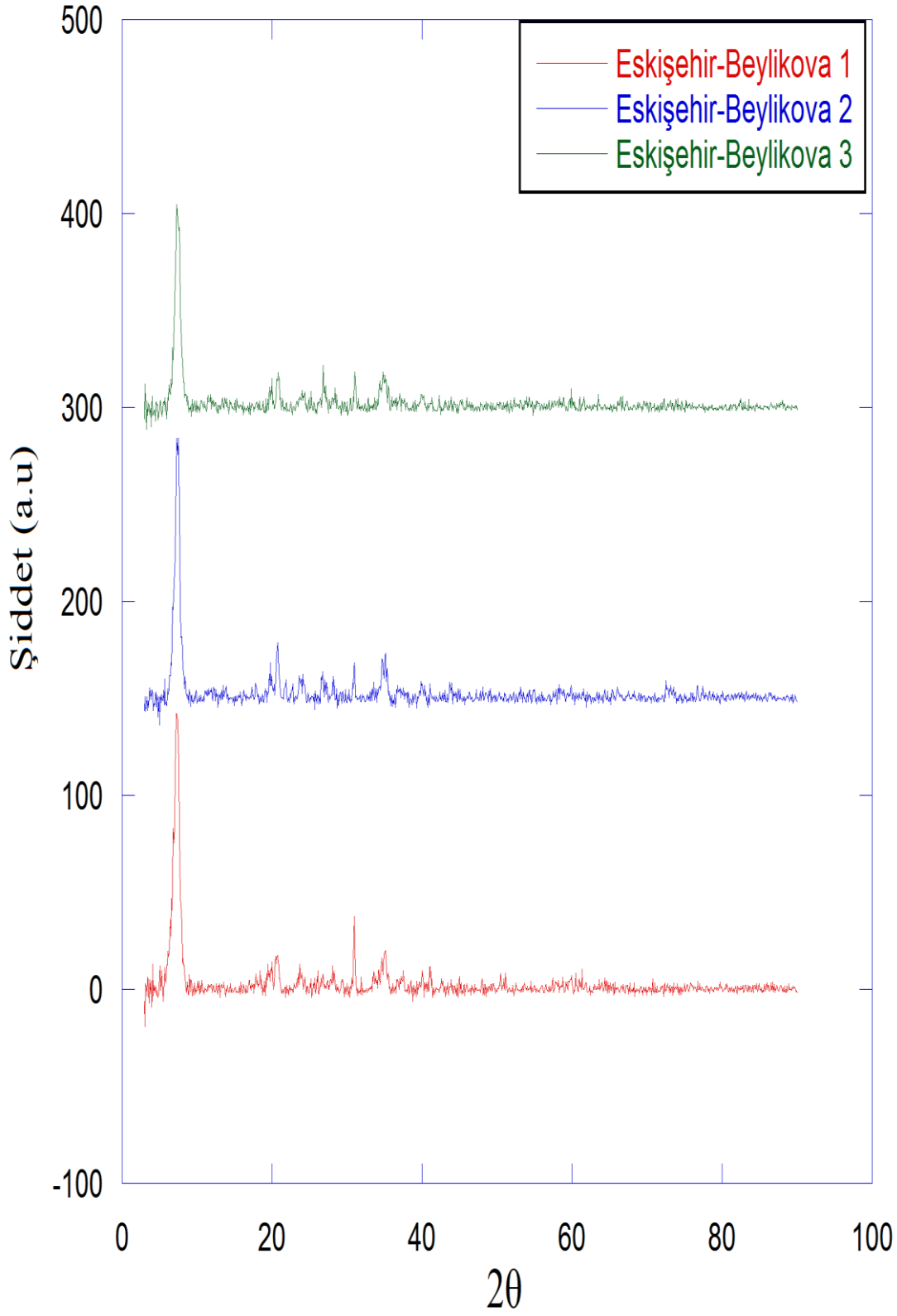
Tablo 4.11. *Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar ocaklarının eser toksik element dağılımları*

Örnek kodu	Eser toksik element derişimi (mg/kg)													
	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Cd	Hg	Pb
S1	7,6	29,6	1424,0	3,0	10,2	5,1	31,7	6,6	5,1	375,8	1,0	2,0	1,0	1,0
S2	4,0	31,8	894,7	3,0	6,3	4,7	9,2	4,1	3,0	1970,0	1,0	2,0	1,0	0,4
S3	4,0	40,6	1276	3,0	6,0	3,9	6,9	3,1	4,0	1936,0	1,0	2,0	1,0	1,3
S4	6,8	29,6	1424,0	3,0	9,4	4,5	44,2	5,2	3,7	375,8	1,0	2,0	1,0	1,0
S5	3,9	29,6	1424,0	3,0	7,4	5,1	23,4	6,5	6,2	375,8	1,0	2,0	1,0	1,0
S6	5,4	29,6	1424,0	3,0	6,2	5,3	12,9	3,7	4,7	375,8	1,0	2,0	1,0	1,0
S7	7,2	31,8	894,7	3,0	5,8	4,6	18,4	4,2	6,4	1970,0	1,0	2,0	1,0	0,4
S8	5,3	31,8	894,7	3,0	7,2	4,9	13,2	5,7	4,2	1970,0	1,0	2,0	1,0	0,4
S9	9,1	18,0	2136,0	3,0	8,3	7,7	35,6	6,3	8,3	344,5	4,0	2,0	1,0	1,0
S10	6,5	110,3	7726,0	3,0	7,9	5,3	22,3	4,1	7,1	143,8	18,8	2,0	1,0	2,7
S11	36,9	110,3	7726,0	3,0	44,7	14,1	19,9	11,4	26,0	143,8	18,8	2,0	1,0	2,7
S12	68,5	125,2	10380,0	3,0	62,7	17,5	22,9	14,5	33,3	172,9	27,4	2,0	1,0	3,3
S13	48,2	136,3	5347,3	3,0	59,7	16,6	23,1	15,0	34,0	176,2	26,4	2,0	0,4	3,5
S14	55,3	110,3	3999,5	3,0	47,5	14,9	18,7	16,3	29,4	143,8	18,8	2,0	1,0	2,7
S15	52,9	110,3	3999,5	3,0	51,3	18,2	20,3	14,7	27,9	143,8	18,8	2,0	1,0	2,7
S16	60,2	136,3	10790,0	3,0	55,7	15,5	22,6	15,4	31,4	176,2	26,4	2,0	0,4	3,5
S17	57,9	125,2	10380,0	3,0	60,1	17,2	20,5	12,7	33,2	172,9	27,4	2,0	1,0	3,3
S18	61,3	136,3	10790,0	3,0	52,8	14,4	23,1	13,9	29,7	176,2	26,4	2,0	0,4	3,5
S19	55,8	125,2	10380,0	3,0	59,3	15,8	19,8	15,6	30,2	172,9	27,4	2,0	1,0	3,3
S20	62,2	34,3	1180,0	3,0	60,4	16,0	20,2	14,9	31,9	1684,0	1,0	2,0	1,0	0,7
S21	3,8	34,3	1180,0	3,0	5,6	5,4	4,8	3,0	3,8	1684,0	1,0	2,0	1,0	0,7
S22	4,5	18,4	880,4	3,0	5,9	3,1	4,6	4,0	3,5	398,4	1,0	2,0	0,3	0,5
S23	7,2	18,0	2136,0	3,0	9,0	4,0	6,0	4,9	7,3	344,5	4,0	2,0	1,0	1,0
S24	4,1	34,3	1180,0	3,0	6,6	3,7	4,9	3,1	4,7	1684,0	1,0	2,0	1,0	0,7
S25	3,6	34,3	1180,0	3,0	6,3	3,9	5,7	4,2	6,5	1684,0	1,0	2,0	1,0	0,7
S26	2,9	18,4	880,4	3,0	7,2	4,1	5,2	4,7	3,9	398,4	1,0	2,0	0,3	0,5
S27	4,0	18,4	880,4	3,0	5,9	5,0	4,9	3,9	5,8	398,4	1,0	2,0	0,3	0,5
S28	3,4	18,4	880,4	3,0	8,4	4,7	5,6	3,6	5,5	398,4	1,0	2,0	0,3	0,5
S29	3,9	18,0	2136,0	3,0	8,0	3,8	5,8	4,6	6,1	344,5	4,0	2,0	1,0	1,0
S30	4,1	34,3	1180,0	3,0	7,9	4,5	5,5	4,0	7,2	1684,0	1,0	2,0	1,0	0,7
Ortalama	22,0	59,3	3566,8	3,0	23,3	8,5	16,1	7,8	13,8	734,0	8,9	2,0	0,8	1,5
En küçük	2,9	18,0	880,4	3,0	5,6	3,1	4,6	3,0	3,0	143,8	1,0	2,0	0,3	0,4
En büyük	68,5	136,3	10790,0	3,0	62,7	18,2	44,2	16,3	34,0	1970,0	27,4	2,0	1,0	3,5
Yer kabuğu ortalaması	83	1000	46500	18	58	47	83	1,7	150	340	170	0,13	0,08	16

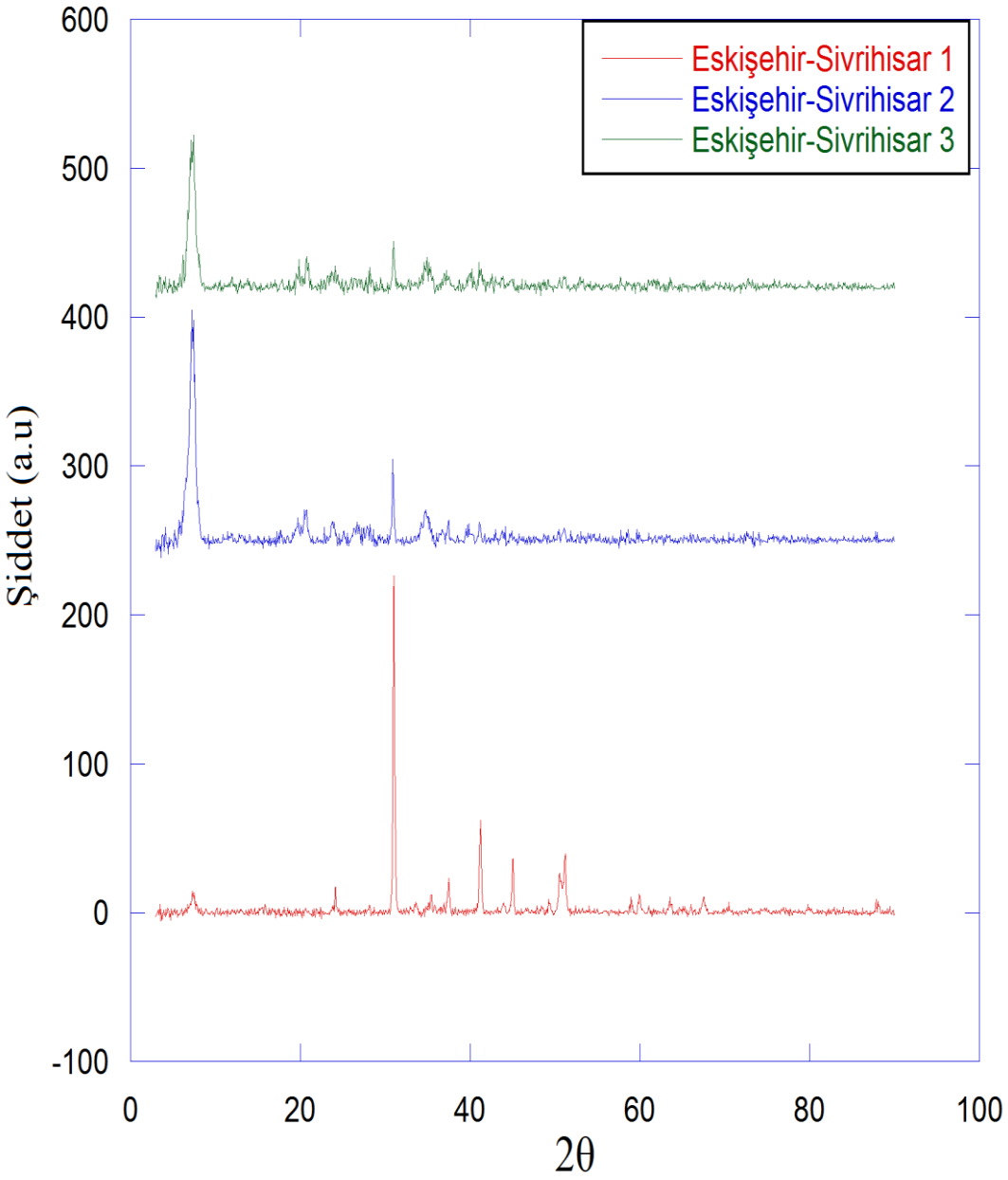
X-ışını kırınım yöntemi, her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırınıma uğraması esasına dayanmaktadır. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örneklerinin X-ışınları difraktometresi ile alınan kırınım desenleri, sırasıyla Grafik 4.14, Grafik 4.15 ve Grafik 4.16'da gösterilmiştir. Grafikte verilen kırınım desenleri incelediğinde, baskın olarak yaklaşık 2θ=7º'de SiO_2 piklerine rastlanmıştır. Bu sonuç, XRF verilerini destelemektedir.



Grafik 4.14. Sepiyolit örneklerine (Polatlı) ait XRD piklerinin karşılaştırılması



Grafik 4.15. Sepiyolit örneklerine (Beylikova) ait XRD piklerinin karşılaştırılması

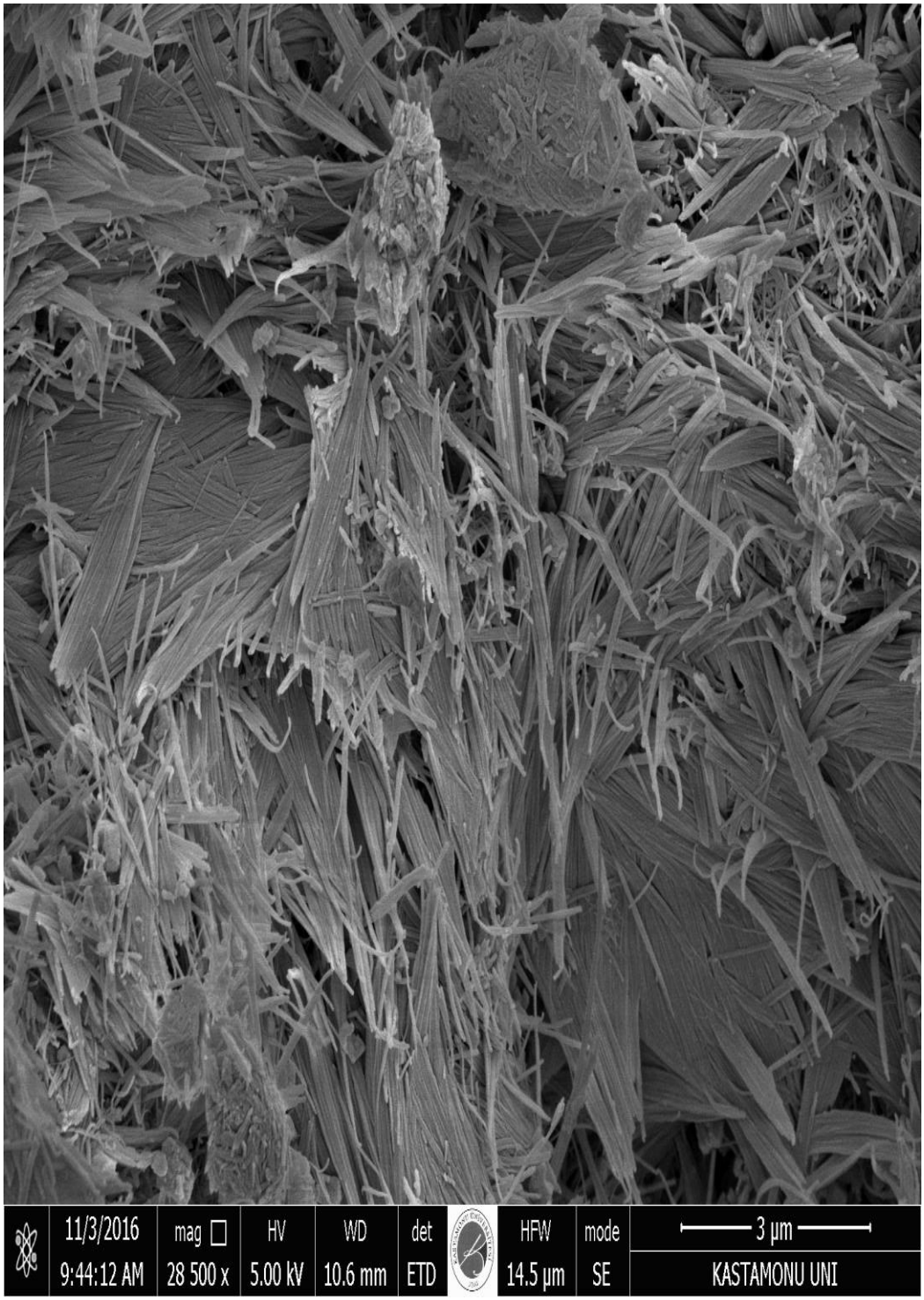


Grafik 4.16. Sepiyolit örneklerine (Sivrihisar) ait XRD piklerinin karşılaştırılması

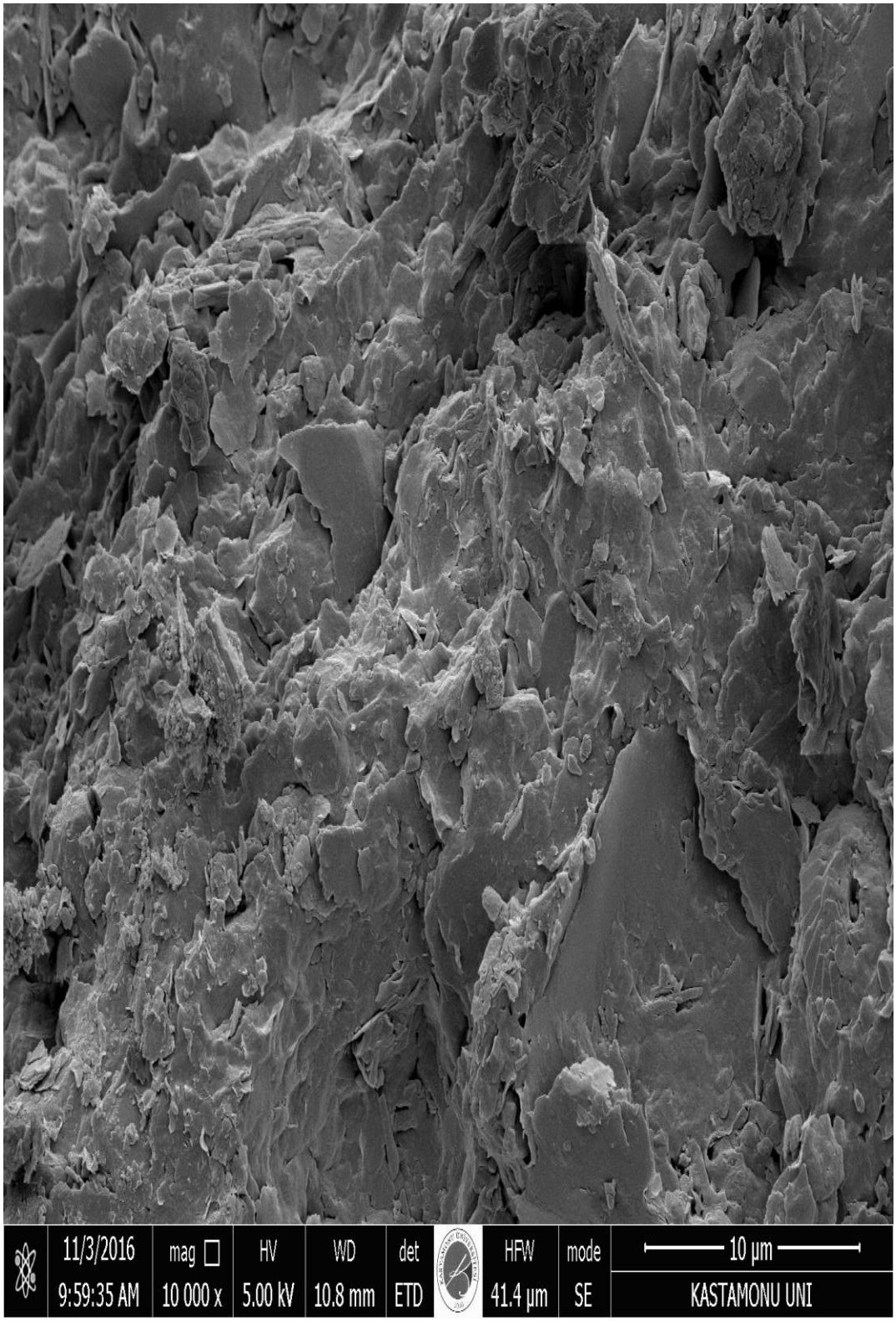
4.5. Yapı (morfoloji) analiz verileri

Sepiyolit örneklerinin yapı analizleri, özellikleri Bölüm 3'te verilen SEM kullanılarak belirlenmiştir. Polatlı, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolitlerinin SEM fotoğrafları, sırasıyla Fotoğraf 4.1, Fotoğraf 4.2 ve Fotoğraf 4.3'de verilmiştir. Polatlı ocağına ait sepiyolit örneği lifli bir mikroyapıya sahip iken Beylikova ve Sivrihisar

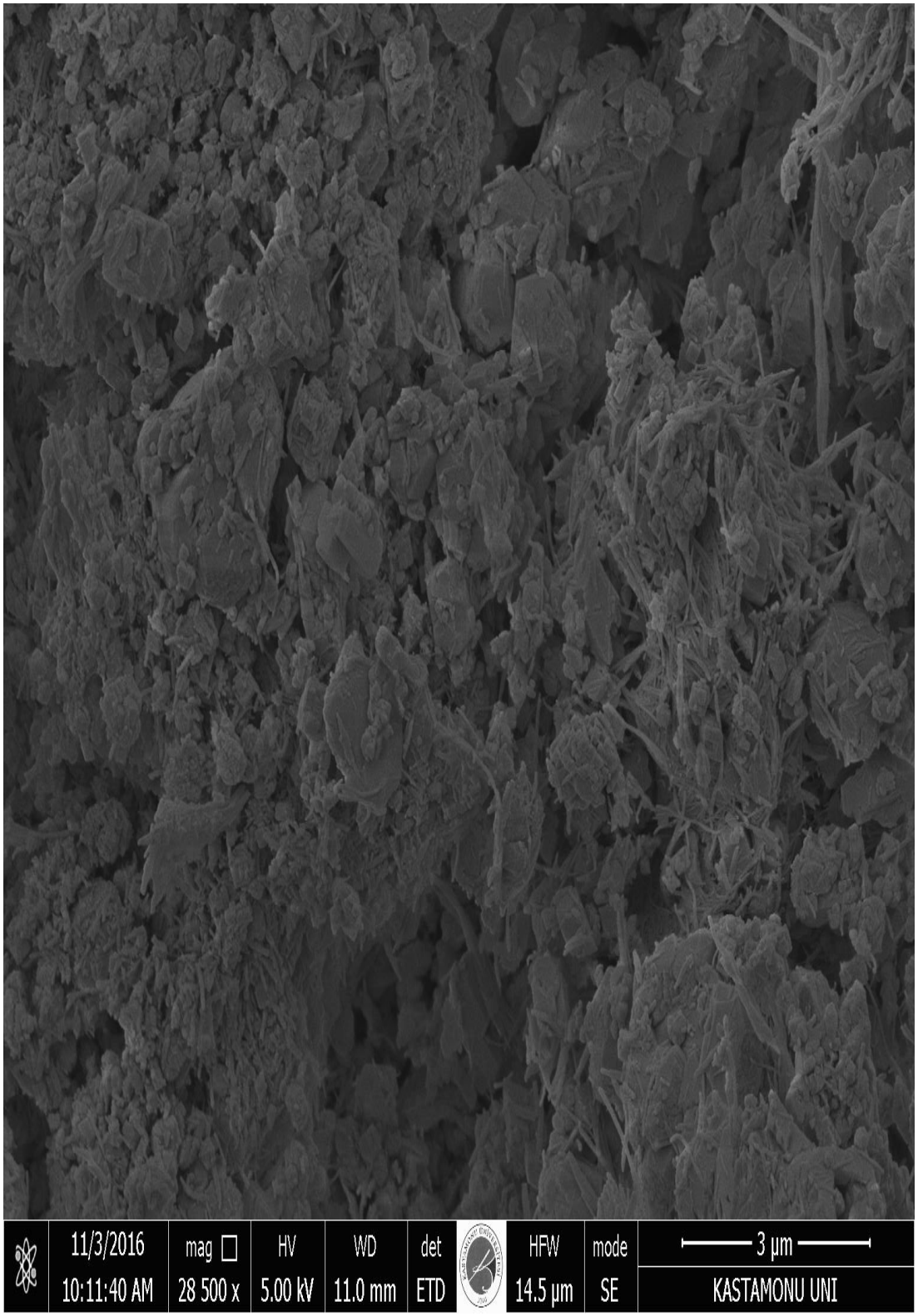
ocaklarına ait sepiyolit örneklerinin boyutları 10 µm'nin altında olan tanecikli yapıda olduğu görülmektedir.



Fotoğraf 4.1. Polatlı ocağına ait sepiyolit örneğinin SEM taraması



Fotoğraf 4.2. Beylikova ocağına ait sepiyolit örneğinin SEM taraması



Fotoğraf 4.3. Sivrihisar ocağına ait sepiyolit örneğinin SEM taraması

5. ÖNERİLER

Tez kapsamında birinci aşamada, Polatlı, Beylikova, Sivrihisar sepiyolit ocaklarından toplanan 30 adet sepiyolit örneğinin doğal olarak içerdiği ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite derşimleri, gama-ışını spektrometesi ile ölçüldü ve ortalama değerler yer kabuğu ortalamaları ile karşılaştırılmıştır. Her bir sepiyolit örneğinin inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği, radyolojik parametreler (radyum eşdeğer aktivite indisi, aktivite derişim indisi, alfa indisi ve yaşam boyu kanser riski) ve dış ortamda soğurulan gama doz hızı ve buna karşılık gelen yıllık etkin radyasyon dozu hesaplanarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler esas alındığında, sepiyolit örneklerinin, herhangi bir endüstriyel uygulamalarda (ilaç, temizlik-deterjan, kâğıt, boya, kozmetik tarım, gübre, besicilik vb.) ve inşaat sektöründe (seramik ve çimento) kullanılmasının herhangi bir radyolojik risk taşımadığı belirlenmiştir. Dolayısıyla bu sepiyolit örneklerinin doğrudan veya katkı hammaddesi olarak kullanılması sağlık açısından herhangi bir tehlike oluşturmamaktadır.

İkinci aşamada, Polatlı, Beylikova, Sivrihisar sepiyolit ocaklarından toplanan 30 adet sepiyolit örneğinin doğal olarak içerdiği element (ana oksitler ve eser toksik ağır metaller) derşimleri, EDXRF ile ölçüldü ve ortalama değerler yer kabuğu ortalamaları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn ve Pb'nin ortalama derişimlerinin, yer kabuğu ortalamasından küçük ve As, Sr, Cd ve Hg'nin ortalama derişimlerinin ise, yer kabuğu ortalamasından büyük olduğu tespit edilmiştir. Toksik ağır metal olan As, Sr, Cd ve Hg'nin yüksek olması, bu sepiyolit örneklerinin katkı ham maddesi olarak kullanıldığı ilaç, temizlik-deterjan vb. sektörlerde olduğu gibi kullanıcıların doğrudan temas edebildiği nihai ürünlerin tüketilmesi hâlinde, daha bilinçli ve dikkatli olması önerilir.

Üçüncü aşamada, Polatlı, Beylikova, Sivrihisar sepiyolit ocaklarına ait örneklerin morfolojileri, SEM ile belirlenmiştir. Polatlı sepiyolit örneklerinin lifli yapıda olduğu, Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örneklerinin ise tanecikli yapıda olduğu tespit edilmiştir. Beylikova ve Sivrihisar sepiyolit örneklerinin tanecik boyutlarının

küçük olması, herhangi bir hacimsel (bulk) malzeme üretiminde avantajlı bir özellik arz ettiği için bu tür sepiyolitin inşaat sektöründe kulanılması önerilmektedir.

Dördüncü aşamada ise Polatlı, Beylikova, Sivrihisar sepiyolit ocaklarına ait örneklerin boyut analizleri yapıldı ve gözenek hacimleri (poroziteleri) belirlenmiştir. Elde edilen veriler, Beylikova ocağına ait sepiyplit örneklerinin yüzey alanlarının ve gözenek hacminin diğer sepiyolit ocaklarına göre daha büyük olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu durumda, soğrulma (absorbsiyon) ve yüzeyde tutulma (adsorbsiyon) özelliklerin öne çıktığı sektörlerde Beylikova sepiyolitlerinin kullanılmasının daha avantajlı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Sonuç olarak, Türkiyede mevcut olan ocaklardan temin edilen sepiyolit örneklerinin herhangi bir sektörde kullnılmasının radyolojik açıdan bir problem oluşturmadığı ve elemantal dağılımlarının, yüzey alnlarının, gözenek hacimlerinin ve morfolojinin belirlenmesinin, hangi sepiyolit örneğinin hangi alanda daha etkin ve daha verimli kullanılması açısından önem arz ettiği ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

Appoloni, P., Pottker, E. (2004). Non-destructive porosity profile measurement of amorphous materials by gamma-ray transmission, *Applied Radiation and Isotopes,* 61, 1133 –1138.

Armağan, B., Turan, M. ve Çelik, MS. (2003). Modifiye sepiyolit ve zeolitin tekstil endüstrisi atıksularında adsorbant olarak kullanılması: karşılaştırmalı değerlendirme, TMMOB ÇevreMühendisleri Odası, *V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Ankara,s.187-195.

Armağan, B., Turan, M. ve Çelik, M.S.(2003). Boyar maddelerin doğal kil mineraller kullanılarak adsorpsiyonu: Katı konsantrasyonu ve temas süresinin etkisi, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, *V. Ulusal Çevre Mühendisliği. Kongresi,* Ankara, s.179-186

Armağan, B., Özdemir, O., Turan, M., and Çelik, M.S.(2003). Adsorption of negatively- charged azo dyes onto surfactant–modified sepiolite, *J.Environ. Eng*., ASCE, 129 (8), 709-715.

Armağan, B., Özdemir, O., Turan, M., and Çelik, M.S., 2003d. The removal of reactive azo dyes by natural and modified zeolites, *J. Chem. Technol. Biotechnol*., 78 (7), 725-732.

Atıcı, E. (2016). Kapadokya Bölgesinde Yapı Taşı Olarak Üretilen Tüflerdeki Doğal Radyoaktivitenin Gama Spektrometrik Yöntemle Ölçülmesi. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Nevşehir.

Baytaş, A.F., Akbal, S., (2002). Determination of soil parameters by gamma-ray transmission, *Radiation Measurements*, 35, 17–21.

Beretka, J.,& Mathew P. J.(1985). Natural Radioactivity of Australian Building Materials, Industrial Wastes and by Products, *Health Physics*, 48, 87-95.

Branislava,M; Jovanović, M; Lazarević, M; Janaćković, N; Stojanović,M; Mirilović, M. (2015). Efficiency of sepiolite in broilers diet as uranium adsorbent. *Radiation and Environmental Biophysics*, 54, 2, 217–224.

Brouwer, P. (2013). Theory of XRF-Getting acquinted with the principles. PANalytical. EA Elmelo.

Can, G. (1992). Dünya'da Ve Türkiye'de Sepiyolîtik Kil. MTA Fizibilite Etüdleri Dairesi, Ankara. *Geological Engineering*, 41,166-170.

Canberra Manual,Applıcations and Technical Reference Cothern C. R., Lappenbusch W. L. (1983). Compliance Data for The Occurence of Radium and Gross Alpha Particle Activity in Drinking Water Supplies in The U.S. Enviromental Protection Agency, Washington DC,20460.

Demirdağ, S. (2005). Volkanik Cüruf Oluşumlarının İnşaat Endüstrisinde Hafif Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. DoktoraTezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

Değerlier, M.(2007). Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Bulunması. Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Adana, *156.*

Dinçer, A. (2007). Sepiyolit ve genleşmiş perlit üzerine katyonik poliakrilamid adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezleri, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı.*

Doğan, M., Özdemir, Y, and Alkan, M. (2007). Adsorption kinetics and mechanism of cationic methyl violet and methylene blue dyes onto sepiolite. *Dyes and Pigm.* 75:701–713.

Duman, O., Tunce, S., Gürkan, T.(2015). Adsorptive removal of triarylmethane dye (Basic Red 9) from aqueous solution by sepiolite as effective and low-cost adsorbent. *Microporous and Mesoporous Materials,* 210, 176-184.

Escareno, J., and C. Vega. (2011). Dose due to ^{40}K. .iaea.org.

European Commission (1999). Radiation Protection 112- Radiological Protection Principles Concerning the Natural R adioactivity of Building Materials. Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection.

Fenfang, L., Youzhi, D., Min, G.,Tieping,Y., Xiaojuan, Chen.(2015). Synthesis, characterization of magnetic-sepiolite supported with TiO_2, and the photocatalytic performance over Cr(VI) and 2,4-dichlorophenol co-existed wastewater. *Journal of Alloys and Compounds*, 638, 435- 442

García, D., Fernández, J., Merino, J., Santarén, J., Pastor, J.(2010). Effect of organic modification of sepiolite for PA 6 polymer/organoclay nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 1429-1436

Guney, Y. B., Cetin, A.H., Aydilek, B.F., Tanyu, and S. Koparal.(2014). Utilization of sepiolite materials as a bottom liner material in solid waste landfills. *Waste Manag*. 34:112–124.

Hu, Y., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, Y., Cheng, H. (2013). Assessing heavy metal pollution in t surface soils of a region that had undergone three decades of

intense industrialization and urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 6150–6159.

IAEA.(1999). "Assessment of Doses to the Public from Ingested Radionuclides," in Safety Reports Series No. 14, IAEA Vienna, Austria.

ICRP (1990) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 212, 1-3, publication 60.

İshakoğlu A., Baytaş, A.F., (2002). Measurement and evaluation of saturations for water, ethanol and a light non-aqueous phase liquid in a porous medium by gamma attenuation, *Applied Radiation and Isotopes*, 56(4),601-606.

Kadir, S. (1998). Sepiyolitten Si3N4'e Dönüşüm Mekanizmaları. *Turkish J. of Engineering and Environmental Science*, 287 – 298.

Karabağlı, Y.(2002). Yaralarda pansuman malzemesi olarak alfa sepiyolit (lületaşı)'in kullanılması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bölüm: Tıp Fakültesi*, Sayfa Sayısı: 52.

Karataşlı, M., Turhan, Ş., Varinlioğlu, A., Yeğingil, Z. (2016). Natural and fallout radioactivity levels and radiation hazard evaluation in soil samples. *Environ Earth Sci.*, 75(5):1-9.

Knoll, F.G. (2000). Radiation Detection and Measurement Third Edition.Wiley, 816, New York.

Korkmaz, E.(2008). Eskişehir yöresi sepiyoliti'nin zeta potansiyellerinin tayini *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

Krane, K.S. (2001). Nükleer Fizik 1. Cilt, Palme Yayıncılık, Ankara.

Krekeler, M., Guggenheim, S. (2008). Defects in microstructure in palygorskite–sepiolite minerals: A transmission electron microscopy (TEM) study *Applied Clay Science*, 39, 1–2, 98-105

Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N.T., Korkmaz, F., Karahan, G., Çevik, U. (2007). Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey). *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 1281–1289.

Kumar, A. (2003). Natural activities of ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K in some Indian building materials. *Radiation Measurements*, 36 1-6, 465-469.

Lilley, John. (2013)."Nuclear physics: principles and applications.

Martin, J.E. (2013). Radyasyon ve radyasyondan Korunma Fiziği. Palme Yayıncılık, Ankara, 557.

Millot, G. (1970). Geology of Clays. Berlin: Springer, 429 pp.

NCRPÇ (1975). National Council on Radiation Protection and Measurements No.45, Natural Background Radiation in the U.S., Soil Radioactivity, 54.

Nagajyoti PC, Lee KD, Sreekanth TVM. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 8(3), 199-216.

Olivato' J., .Marini, J., Pollet, E., Yamashita, F., Grossmann, M., Avérous' L. (2015). Elaboration, morphology and properties of starch/polyester nano-biocomposites based on sepiolite clay. *Carbohydrate Polymers*, 118, 250-256.

Önen, V., Gökay, M. (2005). Sepiyolitin Ayçiçek Yağının Ağartılmasında Ağartma Toprağı Olarak Kullanılması. *Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Müh. Bölümü*, Konya, 21, 1-2.

Post, J., David, L., Bish, J. (2007). Synchrotron powder X-ray diffraction study of the structure and dehydration behavior of sepiolite.

Sabah, E. (1999). Sepiyolit Özellikleri ve Kullanım Alanları. *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı*, İstanbul.

Shiraishi, K. (2000). Contributions of 18 food categories to intakes of ^{232}Th and ^{238}U in Japan. *Health physics*, 78, 1, 28-36.

Suáreza, M., García-Rivasa, E., García-Romerob, C, N., Jaraa. (2016). Mineralogical characterisation and surface properties of sepiolite from Polatli (Turkey), *Applied Clay Science*, 131, 124–130.

Subaşı, S., Emiroğlu M., (2008). Lif Kullanılan KendiliğindenYerleşen Betonlarda İşlenebilirlik Ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Analizi, *Fırat Üniv. Fen Ve Müh. Bil. Dergisi*, 3, 527-539.

Sung, D., Choi, H. (2015). Conducting polyaniline-wrapped sepiolite composite and its stimuli-response under applied electric fields. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering, 469, 20-28

Şatır, A. (2014). Farklı içerik ve yöntemlerle hazırlanan epoksi sepiyolit kompozitlerinin özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Konya.

TAEK Yayınları (1988). Türkiye Çernobil Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları.

Tahir, A., and Alaamer, A. (2009). Concentrations of natural radionuclides in municipal supply drinking water and evaluation of radiological hazards. *Environmental Forensics*, 10,1, 1-6.

Türkyilmaz, A. (2005). Electrokinetic properties of Sepiolite and copper adsorption Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Balıkesir.

Velde, B. (1985). Clay Minerals: A physico-chemical explanation of their occurrence. Dev. in Sediment., 40, New York, Elsevier. 427 pp.

UNSCEAR (2000). Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations Publication, New York, USA.

UNSCEAR (2008). Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations Publication, New York, USA.

U.S.Environmental Protection Agency, Exposure Pathways. 12/09/2016 tarihinde, http://www.epa.gov/radiation/understand/pathways.html.

Ün, A., Demir, D., Sahin, Y., (2011). Determination of density and volumetricwater content of soil at multiple photon energies, *Radiation Physics and Chemistry*, 80, 863–868.

Yeniyol, M. (1992).Yenidoğan (Sivrihisar) Sepiolit Yatağının Jeolojisi, *Mineralojisi ve Oluşumu Dergisi*, 114, 71-84.

Yu, N., and Mao, S. (1999). Assessment of radionuclide contents in food in Hong Kong. *Health physics*, 77, 6, 686-696.

Yaroshevsky, A.A. (2006). Abundances of Chemical Elements in the Earth's Crust. *Geochemistry International*, 44(1), 48-55.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Yosef G.Ali MADEE
Doğum Yeri ve Yılı : 07.09.1977Sokna-Libya
Medeni Hali : Evli
E-posta : youseff77@yahoo.com

EĞİTİM DURUMU

Lise : Sokna Lisesi/Sokna-Libya
Lisans : Naser Üniversitesi, Medikal Teknoloji/ Misrata-Libya
Yüksek Lisans : Surrey Üniversitesi, Medikal Görüntüleme/Guildford-İngiltere

YAYINLAR VE KONFERANS

1- M. A. Elnimr, Ş. Turhan, M. M. Khalid, Y. G. Ali MADEE,H. Gala, A. Kurnaz, A., Hançerlioğulları (2017), Radiological impact assessment of nuclear weapon depots inValleyRwagh, Libya, Environmental Forensics, 18:3, 207213, DOI:10.1080/15275922.2017.1340368.

2-Yosef G.Ali Madee Aybaba Hançerlioğulları Şeref Turhan Aslı Kurnaz and Ahmed.M.Garad (2017), Radiometric Characterization and Natural Occurring Radionuclides of Sepiolite Deposits In Polatlı, X. International Conference on Nuclear Structure Properties (NSP 2017), University, Karabük, Turkey September 20-22.

3-Aybaba Hançerlioğullari, Aslı Kurnaz, Yosef G. Ali MADEE, Ltfei A. Abdalsmd, Salem A. A. Shufat, Khaled M. Elhadad, Hand Hadia Almezogi, Mansur Mohamed Ali Mansur (2017), Estimates of the Fast and Termal Flux inBlanket of Critical Reactors by Using Multi-Group Methods, Open Journal of Applied Sciences, 7, 68-81, http://www.scirp.org/journal/ojapps, ISSN Online: 2165-3925, ISSN Print: 2165-3917.