

**T.C.  
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖRDES (MANİSA) ZEOLİT OCAKLARININ KİMYASAL  
BİLEŞENLERİNİN XRF SPEKTROMETRİK YÖNTEM İLE  
BELİRLENMESİ**

**Sümeyye TOKAT**

**Danışman  
Jüri Üyesi  
Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Şeref TURHAN  
Doç. Dr. Necla ÇAKMAK  
Doç. Dr. Aslı KURNAZ**

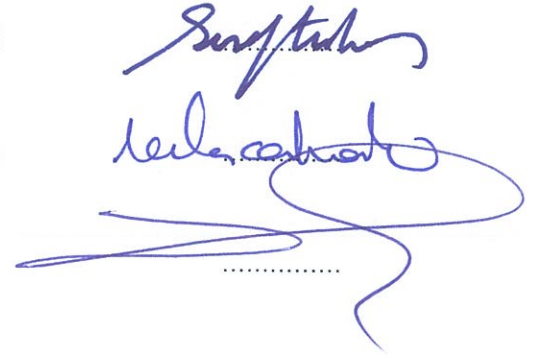
**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**KASTAMONU – 2019**

## TEZ ONAYI

Sümeyye TOKAT tarafından hazırlanan "Gördes (Manisa) Zeolit Ocaklarının Kimyasal Bileşenlerinin XRF Spektrometrik Yöntem İle Belirlenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Şeref TURHAN Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Necla ÇAKMAK Karabük Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Aslı KURNAZ Kastamonu Üniversitesi



14/01/2020

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Nur BELKAYALI



## 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.

Sümeyye TOKAT



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### GÖRDES (MANİSA) ZEOLİT OCAKLARININ KİMYASAL BİLEŞENLERİNİN XRF SPEKTROMETRİK YÖNTEM İLE BELİRLENMESİ

Sümeyye TOKAT

Kastamonu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şeref TURHAN

Doğal zeolitler, istisnai iyon değişimi, soğurma ve kataliz özelliğine sahip, çevresel ve ekonomik olarak değerli hidratlı alüminosilikat malzemelerdir. Zeolitlerin farklı endüstriyel süreçlerdeki etkinlikleri veya kullanımları, jeolojik oluşumlara göre değişebilen fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olduğundan zeolit ocaklarının elemental dağılımlarının doğru, hızlı ve güvenilir bir şekilde belirlenmesi önemlidir.

Bu çalışmada, Manisa'nın Gördes ilçesinde bulunan dört farklı zeolit ocağından (ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4) toplanan 81 zeolit örneğinin oksit ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SrO}$ ), ağır metal (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Zr, Cd, Pb, V, Ga, Nb, Ag, Sn, Te, Hf, Ta ve W), nadir toprak elementi (Y, La, Ce, Pr ve Nd), radyoaktif element (Th ve U) ve diğer element (Rb, Sb, I, Cs ve Ba) içerikleri, enerji dağılımlı X-ışını flüoresans spektrometresi kullanılarak analiz edildi. Her bir zeolit ocağı için  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranları belirlendi ve zeolit örneklerinin pH değerleri ölçüldü. Ayrıca zeolit örneklerinin içerdiği uranyum (U), toryum (Th) ve radyoaktif potasyum ( $^{40}\text{K}$ ) elementlerinden yayınlanan radyasyonun oluşturduğu radyojenik ısı üretimi (RIÜ) hesaplandı.

Gördes zeoliti, ortalama olarak %75,1  $\text{SiO}_2$ , %14,1  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , %3,2  $\text{K}_2\text{O}$ , %2,4  $\text{CaO}$ , %1,7  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %1,4  $\text{MgO}$ , %1,3  $\text{Na}_2\text{O}$  ve %0,1  $\text{TiO}_2$  ana oksitlerini içermektedir. Gördes zeolit örneklerinde ortalama olarak 47,8 mg/kg Pb, 24,8 mg/kg As ve 2,1 mg/kg Cd gibi insan ve çevre sağlığı açısından önemli olan toksik ağır metalleri analiz edildi. Zeolit örneklerinin ortalama toryum ve uranyum içeriği 30,1 mg/kg ve 6,0 mg/kg olarak bulundu. Ortalama  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranlarına göre ZO1 ocağında orta silika ve ZO2, ZO3 ve ZO4 ocaklarında ise yüksek silika grubuna ait zeolitler bulunmaktadır. Zeolit örneklerinin RIÜ değerleri,  $2,3 \mu\text{W}/\text{m}^3 - 4,1 \mu\text{W}/\text{m}^3$  aralığında hesaplandı.

**Anahtar Kelimeler:** Zeolit, Ana oksitler, zehirli ağır metal, uranyum, toryum,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranı, radyojenik ısı üretimi, Gördes

**2019, 74 Sayfa**  
**Bilim Kodu:202**

## ABSTRACT

MSc. Thesis

### DETERMINATION OF CHEMICAL COMPONENTS OF ZEOLITE QUARRIES IN GÖRDES (MANISA) BY XRF SPECTROMETRIC METHOD

Sümeyye TOKAT

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

Supervisor: Prof. Dr. Şeref TURHAN

Natural zeolites are environmentally and economically valuable hydrated aluminosilicate materials with exceptional ion exchange, absorption, and catalysis properties. Since the effectiveness or use of zeolites in different industrial processes depends on their physical-chemical properties that are tightly connected to their geological deposits, accurate, fast and reliable determination of the elemental distribution of zeolite quarries is important.

In this study, oxide, heavy metal, rare earth, radioactive element and other element contents of 81 zeolite samples collected from four different zeolite quarries in Gördes district of Manisa were analyzed by using energy dispersed X-ray fluorescence spectrometer.  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ratios were determined for each zeolite quarry and pH values of zeolite samples were measured. In addition, radiogenic heat generation (RHG) caused by radiations emitted from uranium (U), thorium (Th) and radioactive potassium ( $^{40}\text{K}$ ) in zeolite samples was calculated.

Gördes zeolite contains main oxides, on average, 75.1%  $\text{SiO}_2$ , 14.1%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3.2%  $\text{K}_2\text{O}$ , 2.4%  $\text{CaO}$ , 1.7%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 1.4%  $\text{MgO}$ , 1.3%  $\text{Na}_2\text{O}$  and %, 0.1  $\text{TiO}_2$ . In the Gördes zeolite samples, toxic heavy metals important for human and environmental health such as 47.8 mg/kg Pb, 24.8 mg/kg As and 2.1 mg/kg Cd were analyzed. The average thorium and uranium contents of the zeolite samples were found to be 30.1 mg/kg and 6.0 mg/kg, respectively. According to average  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ratios, ZO1 quarry contains middle silica zeolites while ZO2, ZO3 and ZO4 quarries contain high silica group zeolites. RHG values estimated for zeolite samples varied from 2.3  $\mu\text{W}/\text{m}^3$  to 4.1  $\mu\text{W}/\text{m}^3$ .

**Key Words:** Zeolite, major oxides, toxic heavy metal, uranium, thorium,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ratio, radiogenic heat generation, Gördes

**2019, 74 Pages**

**Science Code: 202**

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim, her zaman hoőđörü ve sabırla yardım ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Şeref TURHAN'a, en içten saygılarımla teşekkür ederim.

Örneklerin toplanmasını sağlayan Dr. Ferhat GEZER'e, örneklerin XRF analizleri konusunda yardımcı olan Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a ve Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Müdürlüğüne çok teşekkür ederim.

Fizik Bölüm Başkanlığına ve öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Bu çalıőmayı, benim için çok kıymetli olan aileme ithaf ediyorum.

Sümeyye TOKAT  
Kastamonu, Aralık 2019

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
TEZ ONAYI.....	ii
TAAHHÜTNAME.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xi
GRAFİKLER DİZİNİ.....	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xiii
HARİTALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgi.....	1
1.2. Zeolitlerin Özellikleri, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları.....	5
1.3. Tezin Amacı, Kapsamı ve Bölümleri.....	9
2. ZEOLİT İLE İLGİLİ LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ.....	12
3. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMİ.....	24
3.1. Zeolit Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması.....	24
3.2. pH Ölçme İşlemi.....	26
3.3. Elemental Analiz Yöntemi.....	27
3.3.1. Elemental Analiz için Kullanılan EDXRF Spektrometresi.....	34
3.4. Doğal Radyasyondan Kaynaklanan Isı Üretiminin Hesaplanması.....	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
4.1. Zeolit Ocaklarının pH Değerleri.....	39
4.2. Zeolit Ocaklarının Oksit İçerikleri.....	39
4.3. Zeolit Ocaklarının SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Oranları.....	40
4.4. Zeolit Ocaklarının Toksik Ağır Metal İçerikleri.....	40
4.5. Zeolit Ocaklarının Radyoaktif Element İçerikleri.....	41
4.6. Zeolit Ocaklarının Nadir Toprak ve Diğer Element İçerikleri.....	41
4.7. Zeolit Örneklerinden Kaynaklanan Radyojenik Isı Üretimi.....	44
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	58
5.1. Zeolit Ocaklarının pH Değerleri.....	66
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	74

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

Ag	Gümüş
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alüminyum oksit
As	Arsenik
Ba	Baryum
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum oksit
Ce	Seryum
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cs	Sezyum
Cu	Bakır
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Demir oksit
Ga	Galyum
Hf	Hafniyum
I	İyot
K <sub>2</sub> O	Potasyum oksit
La	Lantan
MgO	Magnezyum oksit
Mn	Mangan
MnO	Mangan oksit
Na <sub>2</sub> O	Sodyum oksit
Nb	Niyobyum
Nd	Neodim
Ni	Nikel
P	Fosfor
Pb	Kurşun
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Potasyum oksit
Pr	Praseodim
S	Kükürt veya Sülfür
Sb	Antimon
SiO <sub>2</sub>	Silisyum oksit
Sn	Kalay
SO <sub>3</sub>	Kükürt trioksit
Sr	Stronsiyum
SrO	Stronsiyum oksit
Rb	Rubidyum
Ta	Tantal
Te	Tellür
Th	Toryum
Ti	Titanyum
TiO <sub>2</sub>	Titanyum dioksit
U	Uranyum
V	Vanadyum



W	Volfram
Y	İtriyum (Yitriyum)
Zn	Çinko
ZO	Zeolit ocağı
Zr	Zirkonyum

### **Kısaltmalar**

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
ATR-FTIR	Toplam yansıma fourier dönüşümü infrared (kızılötesi) spektroskopisi
BET	Brunauer, Emmet ve Teller
DF	Dekontaminasyon faktörü
DTA	Diferansiyel termal analiz
EDXRF	Enerji dağılımlı X-ışını flüoresans
FAAS	Alevli atomik absorpsiyon spektrofotometresi
FTIR	Fourier dönüşümü infrared (kızılötesi) spektroskopisi
GFAAS	Grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrofotometresi
ICP-AES	Endüktif eşlenmiş plazma atomik emisyon spektrometresi
ICP-OES	Endüktif eşlenmiş plazma optik emisyon spektrometresi
ICP-MS	Endüktif eşlenmiş plazma kütle spektrometresi
INAA	Enstrümantal nötron aktivasyon analizi
NAA	Nötron aktivasyon analiz
NIST	National institute of standards and technology
NMR	Nükleer manyetik rezonans
RHG	Radiogenic heat generation
RIÜ	Radyojenik ısı üretimi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
STEM	Taramalı transmisyon elektron mikroskobu
TGA	Termal gravimetrik analiz
XRD	X-ışını kırınımölçer (difraktometre)
XRF	X-ışını flüoresans
WDXRF	Dalga boyu dağılımlı X-ışını flüoresans

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Türkiye'deki endüstriyel minerallerin mekânsal dağılımını gösteren tematik harita .....	5
Şekil 1.2. Üç boyutlu zeolit-klinoptilolit yapıda birimlerin bağlanması (Margeta vd., 2013) .....	7
Şekil 3.1. Gördes neojen havzası ve çevresinin kayaç birimlerinin genel stratigrafik dikme kesiti (Esenli, 1992) .....	25
Şekil 3.2. Bir atomda elektronların bulunduğu kabukların şematik gösterimi ...	29
Şekil 3.3. Bir elektronun potansiyel ve bağlanma enerjileri .....	29
Şekil 3.4. Karakteristik X-ışınlarının oluşumu .....	30
Şekil 3.5. Enerjiye karşı soğurulma (Yıldırım, 2017).....	31
Şekil 3.6. K, L ve M elektronları için flüoresans verim (Yıldırım, 2017) .....	32
Şekil 3.7. Ana çizgiler ve elektron geçişleri (Yıldırım, 2017).....	33
Şekil 3.8. EDXRF analiz sisteminin blok diyagramı .....	34

## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 1.1. Doğal zeolitlerin sınıflandırılması .....	8
Tablo 1.2. Zeolitlerin kullanım alanları .....	10
Tablo 3.1. Sertifikalı referans malzemesinin EDXRF ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması .....	36
Tablo 4.1. Zeolit ocaklarının pH değerleri .....	39
Tablo 4.2. Gördes klinoptilolitinin içerdiği oksitlere ilişkin tanımlayıcı bilgi ..	42
Tablo 4.3. Gördes zeolitinin ortalama oksit derişimlerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması .....	43
Tablo 4.4. ZO1 ve ZO2 kodlu zeolit ocaklarının oksit içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi .....	45
Tablo 4.5. ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının oksit içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi .....	46
Tablo 4.6. Gördes zeolit ocaklarının SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oranına göre sınıflandırılması .....	47
Tablo 4.7. Gördes klinoptilolitinin içerdiği toksik ağır metallere ilişkin tanımlayıcı bilgi .....	47
Tablo 4.8. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının toksik ağır metal içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi .....	48
Tablo 4.9. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının ağır metal içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi .....	50
Tablo 4.10. Gördes klinoptilolitinin içerdiği toryum ve uranyuma ilişkin tanımlayıcı bilgi .....	51
Tablo 4.11. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının toryum ve uranyum içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi .....	52
Tablo 4.12. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının nadir toprak element içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi .....	54
Tablo 4.13. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının diğer element içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi .....	56
Tablo 4.14. Zeolit ocaklarının RIÜ değerleri .....	57
Tablo 4.15. Zeolit RIÜ ile farklı kaya tiplerinin RIÜ'lerin karşılaştırılması .....	57

## GRAFİKLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Grafik 3.1. Z7 kodlu zeolit örneğinin XRF spektrumu .....	36
Grafik 4.1. Gördes zeolitinin oksit derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması .....	44
Grafik 4.2. Gördes zeolitinin toksik ağır metal derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması .....	47
Grafik 4.3. Gördes zeolitinin ağır metal derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması .....	49
Grafik 4.4. Gördes zeolitinin radyoaktif element derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması .....	51
Grafik 4.5. Gördes zeolitinin nadir toprak element derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması .....	53
Grafik 4.6. Gördes zeolitinin diğer element derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması .....	55

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Fotoğraf 3.1. Şeklin Adı.....	27
Fotoğraf 3.2. Analiz işlemleri için kullanılan EDXRF spektrometresi.....	35



## HARİTALAR DİZİNİ

Harita 1.1. Gördes zeolit ocakları .....	<b>Sayfa</b> 26
------------------------------------------	--------------------



# 1. GİRİŞ

## 1.1. Genel Bilgi

Endüstriyel mineraller, binlerce yıldır insanlar tarafından kullanılmış ve en önemli kültürel gelişmelerin bir kısmına katkıda bulunmuştur (Christidis, 2011). Tarihin erken dönemlerinde insanlar, taşlama ve kesme için mineral pigmentleri ve sert taşları kullandılar. Bu tür malzemeler, günümüzde hâlâ benzer uygulamalar için kullanılmakla birlikte teknolojideki önemli gelişmeler sonucunda mineraller, günlük yaşamımızda sanayide (endüstride), gıda uygulamalarında ve tıpta yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sebeple endüstriyel mineraller ve kayalar (kayaçlar) birçok sanayileşmiş ülkeler için en önemli hammaddeleri oluşturmaktadır. Endüstriyel işlemlerde kullanılan birçok mineral ve metal elementler mevcuttur. Örneğin 1244 °C ergime noktasına sahip sert ve gümüş beyazı bir metal olan mangan, kükürt ve oksijen gibi yabancı maddeleri uzaklaştırdığı ve metale önemli fiziksel özellikler kattığı için demir ve çelik üretimi için esastır. Alüminyum (Al), yer kabuğunda en çok bulunan metal elementtir. Al'nin ana kaynağı, boksit cevheridir. Al, doğada kimyasal olarak oksijen ve diğer elementlerle birlikte bulunur. Saf halde yumuşak ve esnektir, ancak mukavemeti arttırmak ve birçok yararlı özellik sağlamak için diğer elementler ile alaşımlanabilir. Al, esas olarak otomotiv, inşaat, uçak, şişeleme ve konserve endüstrilerinde kullanılır. Çömlek, seramik, optik, elektro kaplama ve plastik endüstrisinde kullanılan hidroflorik asit (HF), kalsiyum florür veya florit (CaF<sub>2</sub>) kullanılarak üretilmektedir. Halit (NaCl), insan ve hayvan diyetinde, gıda çeşnilerinde ve gıda korunmasında kullanılır. Ayrıca sodyum hidroksit, soda külü, kostik soda, hidroklorik asit, klor ve metalik sodyumun hazırlanmasında ve seramik sırlarda metalürji, maden suları, sabun üretimi ve ev tipi su yumuşatıcılarında kullanılır. Öğütülmüş mika, boya, çimento, plastik ve lastik sektöründe kullanılırken levha mika, elektronik sektöründe kullanılmaktadır. Arsenik (As) pamuk üretiminde kullanılır. Fosfat kayaçları, amonyaklı fosfat gübreleri için fosforik asit, hayvancılık için yem katkı maddeleri, elementer fosfor ve endüstriyel ve ev tüketicileri için çeşitli fosfat kimyasalları üretmek için kullanılır. Genişletilmiş perlit, çatı yalıtım levhaları ve dolgu maddesi olarak inşaat yapı ürünlerinde kullanılmaktadır. Dolomit,

tarımda, kimyasal ve endüstriyel uygulamalarda ve çimento yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıdalarda, mineraller insan vücudunun büyümesi için gereklidir. Kalsiyum ve fosfor gibi makro mineraller, demir ve bakır gibi eser mineraller, tüketimimiz esansında parçalanmış mineral bileşiklerinde bulunan elementlerdir. Tıbbi amaçlar için, mineraller hem tedavi hem de iyileştirici özellikler sergiler. Kuvars ve kehribar gibi mineraller, çeşitli hastalıkları iyileştirmek için kullanılır. Kalsiyum, demir ve fosfor gibi mineraller, insan vücudunun düzgün çalışması ve dişler ve kemikler gibi organların korunması için kullanılır.

Yukarıda da belirtildiği gibi günlük hayatımıza önemli bir yeri olan endüstriyel mineraller ve kayalar için uygun ve yeterli bir tanımın oluşturulması zordur ve bugüne kadar birçok tanım önerilmiştir (Christidis, 2011). Örneğin, endüstriyel mineraller, “metalik cevherler, mineral yakıtlar ve değerli taşlar hariç, herhangi bir kaya, mineral veya doğal olarak meydana gelen ekonomik değerdeki metalik olmayan herhangi bir madde” olarak tanımlanmıştır (Christidis, 2011). Aslında endüstriyel mineraller geçmişte metalik olmayan malzemelerin eş anlamlısı olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte bu tanımda iki eksiklik ortaya çıkmıştır. Birincisi, boksit, ilmenit, kromit, pirit ve Fe-oksitler gibi birkaç metalik cevherin aynı zamanda endüstriyel mineraller olması ve ikincisi ise endüstriyel mineraller teriminin, çimento, refrakter veya aşındırıcılar gibi üretilen malzemeler için de kullanılabilmesidir. 2009 yılında endüstriyel minerallerin daha eksiksiz ve genel bir tanımı, “endüstriyel mineraller, bir metal veya enerji kaynağı olmayan yer kabuğu kökenli malzemelerinden üretilen bağımsız bir ürün grubudur” olarak yapılmıştır (Christidis, 2011). Endüstriyel minerallerin en önemli özelliği, bir veya daha fazla önemli fiziksel veya kimyasal özelliklere veya her ikisine de sahip olmasıdır. Bu önemli özelliği de göz önünde bulunduran alternatif bir tanım, “endüstriyel mineraller ve kayalar, sadece metal içerikleri nedeniyle değil de karakteristik fiziksel ve/veya kimyasal özellikleri nedeniyle kullanılan ve enerji kaynakları olmayan yer kabuğu kökenli malzemeleridir” olarak önerilmiştir (Christidis, 2011). Bu tanım aşağıda verilen beş ana hammadde grubunu içerir:

1) Mekanik dayanım, renk, viskozite, yüksek ergime noktası, katyon değişim kapasitesi vb. özgün fiziksel ve/veya kimyasal özellikleri sebebiyle endüstride ham



madde olarak kullanılan talk (silikat minerali), asbest, mika, feldspatlar vb. mineraller veya bentonit, perlit, kireçtaşı vb. kayalar.

2) Kükürt için pirit, fosfor için apatit, bor için borat ve flor için florit vb. metal olmayan ham maddeler.

3) Karakteristik fiziksel özellikleri sebebiyle ancak bazı endüstriyel uygulamalarda kullanılabilen Al için boksit, Cr için kromit veya Ti için ilmenit gibi metaller için kaynak olabilen ham maddeler. Bu nedenle, boksit ve kromit, refrakter malzemeler ve ilmenit ise bir  $TiO_2$  pigmenti kaynağı olarak kullanılır. Magnezyum (Mg) kaynağı olarak magnezit, berilyum (Be) mineralleri (Be kaynakları) ve potasyum kaynağı olarak silvit (potasyum klorür içeren mineral) de bu gruba dâhil edilir.

4) Granit, mermer, kalker, kum, çakıl vb. yapı malzemeleri ve dekoratif amaçlı kullanılan doğal inşaat malzemeleri.

5) Monomineral veya zeolitler, endüstriyel elmaslar, kireç, kostik manyezit, smektit vb. birkaç fazdan oluşan sentetik malzemeler. Bunlar, amorf jellerden, diğer öncü minerallerden veya volkanik camdan ve madencilik endüstrisindeki endüstriyel atıklardan sentezlenirler. Cam veya çimento gibi diğer malzemeler, endüstriyel minerallerden yapılırlar ancak gerçek endüstriyel mineraller olarak değil de üretilmiş sanayi ürünleri olarak kabul edilir. Jeopolimerler, bu gruba dâhil edilebilecek yeni bir malzeme türüdür.

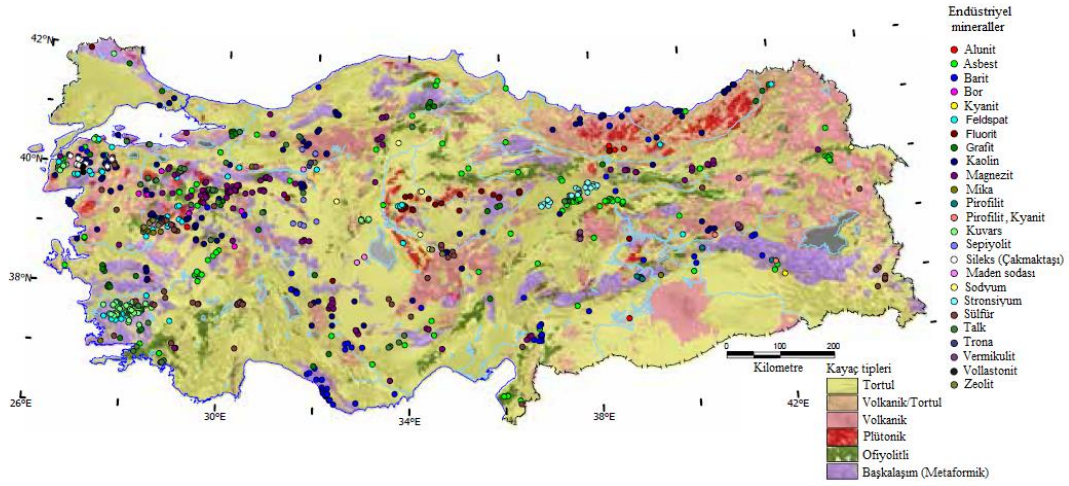
Endüstriyel mineraller ve kayalar, önemli fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı ham olarak veya işlemden geçirildikten sonra kullanılmaktadır. Sahip oldukları bu özellikler, işlemden sonraki nihai üründe de değişmeden kalmaktadır. Ayrıca, alandaki kayaların ve minerallerin oluşum şekli, endüstri tarafından nasıl kullanılacağı ile yakından ilgilidir. Bazı durumlarda, hammadde işlem görmeden kullanılamaz ve sonraki ürünler, bazı önemli fiziksel özelliklerden dolayı kullanılan yeni fazları verir. Tipik bir örnek, genellikle oksitleri veya silikatları oluşturmak için yüksek sıcaklıklara tabi tutulan ham maddeler olan refrakterlerdir. Endüstriyel mineraller ve kayalar ve bunlardan elde edilen ürünler, çeşitli endüstriyel işlemlerde birbirleriyle ilişkilidir. Karşılıklı bağımlılığın üç bileşeni söz konusudur. Birincisi,

hammadelerin veya ürünlerinin bir başka endüstriyel mineralin üretilmesi için kullanılması, ikincisi, endüstriyel bir uygulamada farklı endüstriyel kayaçların veya minerallerin karşılıklı (sinerjetik) etkisi ve üçüncüsü ise endüstriyel uygulamalarda farklı endüstriyel minerallerin tamamlayıcı etkisidir. Örneğin demir çelik endüstrisinde, üretimin farklı aşamalarında çok çeşitli endüstriyel kayaç ve mineralleri kullanılmaktadır. Kalıplama kumları, bentonit ile bağlanmış kuvars, kromit, olivin veya zirkon tanelerinden yapılır, akıllar kireçtaşı, dolomit, kireç veya flüorit (flüorspat) içerebilir ve refrakter tuğlalar manyezit, dolomit, alümina silika veya mullitten yapılır.

Dünya çapında tüm endüstriyel minerallerin tüketimindeki hızlı artışın en önemli faktörü olarak hızla büyüyen küresel nüfus gösterilebilir. Bununla birlikte, dünyanın genişleyen nüfusunu beslemek için gıda güvenliğine ilişkin endişeler, özellikle fosfat kayası ve potas (potasyum hidrat) gibi tarımsal minerallerin üretiminde kayda değer rol oynamıştır (BGS, 2014). Fosfat kayasının üretimi 1913 yılında 7,3 milyon ton iken, 2012 yılında 215 milyon tona ve potas üretimi ise 1920'de 1,2 milyon ton iken, 2012'de 31,5 milyon tona yükselmiştir (BGS, 2014). Birçok endüstriyel mineralin sürekli değişen ve genişleyen kullanımları, son yıllarda çok büyük üretim hacim artışları sağlamıştır. Örneğin, flor gerektiren yeni kimyasalların geliştirilmesinden dolayı 2002 – 2012 yılları arasındaki on yıllık flüorspat üretimi % 52 artmış ancak ozon tabakasına zarar verdiğinin kanıtını takiben kloroflorokarbonlar (CFC'ler) kullanımının sona ermesiyle üretimi nispeten azalmıştır. Pil talebinin etkisi olarak 2001 - 2012 yılları arasında küresel lityum üretimi, % 116 artmıştır (BGS, 2014). Diğer endüstriyel mineraller için, son kullanımlar uzun süre boyunca önemli ölçüde değişmemiştir ve sonuç olarak üretim seviyeleri, son kullanım sektörlerinde talep ile daha yakından ilişkilidir.

Türkiye, son derece karmaşık jeolojisi ve Tethyan Metalojenik Kemer üzerindeki konumu sebebiyle krom, bakır, çinko, kurşun, altın, bor gibi çok çeşitli maden yataklarına sahiptir (Yiğit, 2012). Türkiye, önde gelen antimon, bor, kromit, feldspat, manyezit, manyezit, mermer, lületaşı, perlit, ponza, sepiyolit ve stronsiyum üreticisi olarak dünya çapında barit, bor, kil, zımpara, kalker, trona, mika ve zeolit

rezervlerine sahiptir (Anaç ve Tamzok, 2008). Türkiye’de üretilen endüstriyel minerallerin dağılımının şematik haritası Şekil 1.1’de gösterilmiştir (Yiğit, 2015).

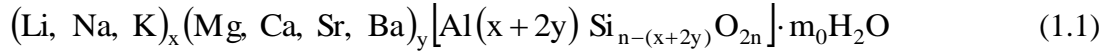


Şekil 1.1. Türkiye'deki endüstriyel minerallerin mekânsal dağılımını gösteren tematik harita

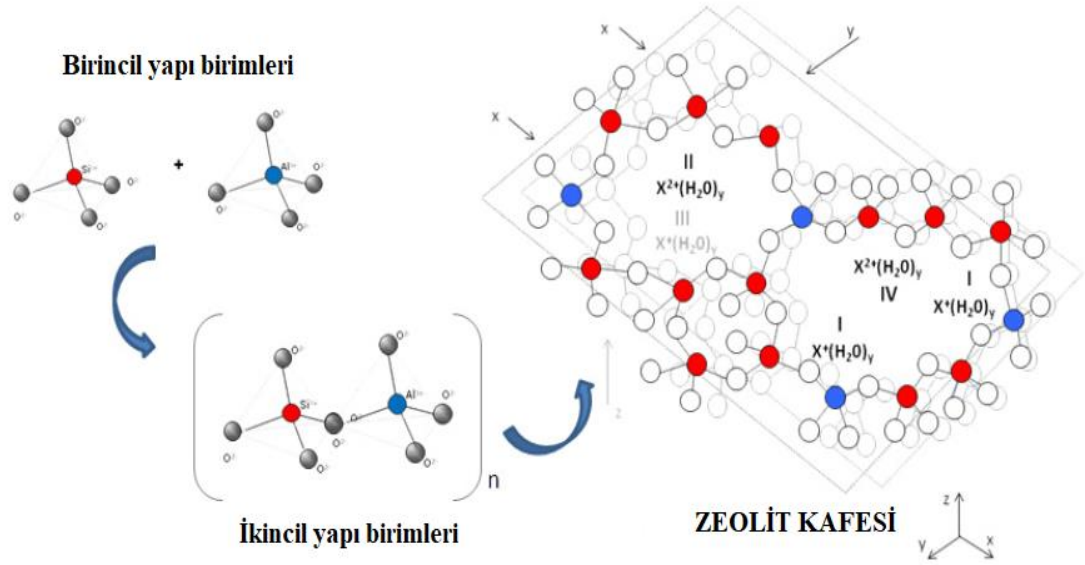
## 1.2. Zeolitlerin Özellikleri, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları

Zeolitler, ilk defa 1756 yılında İsveçli mineralog Baron Axel Cronstedt tarafından keşfedilmiştir. Cronstedt, volkanik kökenli beyaz taşların bir alev üzerinde ısıtıldığında, kaynar gibi buhar verdiklerini gözlemiş ve bu taşları, Yunanca kaynayan anlamına gelen “*zeo*” ve taş anlamına gelen “*lithos*” kelimelerinden oluşan zeolit olarak isimlendirmiştir (Soylu ve Gökkuş, 2017). Milyonlarca yıl önce volkanik küllerin su ortamında değişime uğraması sonucunda alkali ve toprak alkali elementlerin hidratlı doğal silikatlarından oluşan zeolit mineralinin yapısı, çok ilginç ve karmaşıktır (Bilgin, 2009). Zeolitlerin birincil yapı birimleri,  $\text{SiO}_4$  ve  $\text{AlO}_4$  tetrahedra'dır. Bu birimler, oksijen iyonları yoluyla ikincil yapı birimlerine bağlanarak üç boyutlu kristalli bir kafes yapısını oluştururlar (Margeta, Logar, Šiljeg, Farkaš, 2013). Si'nin Al ile yer değiştirmesi, zeolit kafesinin, alkali ve toprak alkali metal katyonları ile telafi (kompanse) edilen negatif yükünü tanımlar. Bu sebeple, doğal zeolitler, yüzeyde negatif yüke sahip olduklarından katyon değiştirici olarak görünür. Zeolit örgüsünde yer değiştirme, Si-Al yer değiştirmesi ile sınırlı değildir. Demir, bor, krom, germanyum ve titanyum atomları da silikonun yerini alabilir. Temel ve uygulamalı araştırmalarda en çok araştırılan zeolitlerden biri klino zeolitler olarak da bilinen klinoptilolittir. Birincil yapı birimlerinin birbirlerine karakteristik

olarak bağlanmaları ve benzersiz yapısal birimlerin oluşumu, klinoptilolitleri, karakteristik gözenek büyüklüğü ve şekillere sahip kanallar ve boşluklardan oluşan yüksek oranda gözenekli yapıda olmalarını sağlamaktadır. Klinoptilolitin yapısında, on ve sekiz üyeli Si/AlO<sub>4</sub> halkasından oluşan iki paralel ve sekiz üyeli halkalarla tanımlanan biri düşey üç tip kanal vardır. Bu kanallarda, hidratlanmış katyonlar aşağıdaki yerleri işgal edebilir: I - katyon (Na ve Ca-iyonları) 10 üyeli halka kanallarında bulunur (serbest çaplar 0,44 x 0,72 nm); II - katyon (Na ve Ca-iyonları) 8 üyeli halka kanallarında bulunur (serbest çap 0,41 x 0,47 nm); III - katyon (K-iyonu) 8 üyeli halka dikey kanallarında bulunur (serbest çaplar 0,40 x 0,55 nm); IV - katyon (Mg-iyon), 10 üyeli halkaların kanalında bulunur ve kanalın merkezinde bulunur (Şekil 1.2). Genellikle zeolit yapısındaki su moleküllerinin sayısı, oksijen atomlarının sayısını geçmez. (Si+Al)/O oranı, 1:2'dir ve tetrahedronlardaki alüminyum atomlarının sayısı, değiştirilebilir katyonların pozitif yüklerinin (x + 2y) toplamına eşittir. Zeolitlerde, silisyum ve alüminyum atomlarının yer değişimi, en düşük 1:5 (mordenit) oranından, en yüksek 1:1 (eriyonit) oranları aralığındadır. Bilinen 40'dan fazla türü olan doğal zeolitlerin en genel formülü, aşağıda gösterildiği gibidir (Jha ve Singh, 2011):






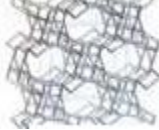

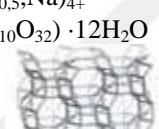





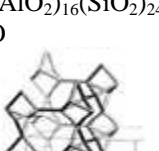
Burada, x, tek değerli metal iyonların sayısını, y, çift değerli metal iyonlarının sayısını, n, oksijen atomu sayısının yarısını ve m<sub>0</sub>, su moleküllerinin sayısını göstermektedir. Doğal zeolitler, morfolojilerini, fiziksel özelliklerini, üç boyutlu kafesteki ikincil birimleri farklı bağlanma şekillerini, zeolit yapısındaki serbest gözenek hacmi ve değişebilir katyon türlerini esas alan kristal yapılarına göre yedi ana gruba ayrılır (Tablo 1.1).









Şekil 1.2. Üç boyutlu zeolit-klinoptilolit yapıda birimlerin bağlanması (Margeta vd., 2013)

Zeolitlerin, farklı birçok endüstriyel alanda, absorban (soğurucu), katalizör, moleküler elek ve iyon-değişikliği yapan malzeme olarak kullanılmalarının başlıca sebebi, gözeneklerinin boyutları ve şekilleridir. Bu özelliklerinden dolayı önemli bir endüstriyel mineral durumuna gelen doğal zeolitler, Tablo 1.2’de gösterildiği gibi çevrenin korunması, tarım-hayvancılık, enerji, maden-metalürji ve diğer endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (DPT, 2001; Bilgin, 2009). Dünyada volkanik kökenli Senozoyik tortul kayaçların ana bileşenleri olan önemli ölçüde doğal zeolit rezervleri bulunmaktadır (Özen, 2013). Yatay olarak yataklanmış tuf içerisindeki yaklaşık 3-3,5 milyon ton zeolit, dünya çapında her yıl açık ocak işletme yöntemi ile önemli bir endüstriyel mineral olarak çıkarılmakta veya üretilmektedir (DPT, 2001; Özen 2013). Türkiye, özellikle İç ve Batı Anadolu bölgelerinde çok yüksek tortul zeolit rezervlerine sahiptir. Türkiye’nin görünür ve muhtemel zeolit (klinoptilolit ve hoylandit) rezervi, 345.148.875 ton olarak hesaplanmıştır (DPT, 2007). Türkiye’de en yaygın zeolitlerden biri olan klinoptilolitin önemli ve iyi bilinen yatakları, Gördes (Manisa) ve Bigadiç (Balıkesir) bölgelerinde bulunmaktadır (Bilgin, 2009). Türkiye’de hâlihazırda yalnızca klinoptilolit üretiminin yapıldığı bilinmektedir. 2008 yılında, Türkiye 100.000 ton zeolit üretmiştir (Özen, 2013). Gördes bölgesinde çok çeşitli doğal zeolit ürünleri üreten açık ocaklar bulunmak ve bu ocaklar, zeolit ürünlerini 45’ten fazla ülkeye ihraç etmektedirler. Gördes zeolitleri, yem sektörü başta olmak üzere tarım ve su arıtmada kullanılmaktadır (DPT, 2001).

Tablo 1.1. Doğal zeolitlerin sınıflandırılması

Zeolit	Birincil hücre formülü, yapısı ve kristal sistemi	Kanal boyutları	Serbest hacim	Değişebilir katyonlar
<b>GRUP 1</b>				
Analsim (ANA) 	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$  Kübik	0,16 x 0,42	0,18	Na, K, Ca, Rb, Cs
Lamontit (LAU) 	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{46}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$  Monoklinik	0,40 x 0,53	-	K, Na, Ca
Filipsit (PHI) 	$\text{K}_2(\text{Ca}_{0,5}\text{Na})_{4+}(\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  Monoklinik	0,38 x 0,38	0,31	Na, K, Ca
<b>GRUP 2</b>				
Eriyonit (ERI) 	$\text{NaK}_2\text{MgCa}_{1,5}(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 28\text{H}_2\text{O}$  Hegzagonal	0,36 x 0,52	0,35	K, Na, Ca, Mg
<b>GRUP 3</b>				
Zeolit A	$\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	-	0,47	-
<b>GRUP 4</b>				
Şabazit (CHA) 	$\text{Ca}_2(\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  Hegzagonal	0,38 x 0,38	0,47	Na, C, K
<b>GRUP 5</b>				
Natrolit (NAT) 	$\text{Na}_{16}[(\text{AlO}_2)_{16}(\text{SiO}_2)_{24}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$  Ortorombik	0,25 x 0,41	0,23	Na, K, Ca

Tablo 1.1'in devamı

GRUP 6						
Mordenit (MOR)	$\text{Na}_3\text{KCa}_2(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 28\text{H}_2\text{O}$			0,65 x 0,70	0,28	Na, C, K
			Ortorombik			
GRUP 7						
Hoylandit (HEU)	$(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_4(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$			0,44 x 0,72	0,39	Na, K, Ca, Sr, Ba
			Monoklinik			
Klinoptilolit (CLI)	$(\text{Na},\text{K})_6(\text{Al}_{10}\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$			0,44 x 0,72	0,34	Na, K, Ca, Sr, Ba
			Monoklinik			

### 1.3. Tezin Amacı, Kapsamı ve Bölümleri

Zeolitlerin oksit ve elemental içerikleri dolayısıyla elementel bileşimleri (kompozisyonları), zeolitlerin kullanım alanlarının belirlenmesinde, daha etkin ve daha verimli bir şekilde kullanılmasında, zeolit sentezi ve karakterizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu sebeple zeolit ocaklarının birincil (majör), ikincil (minör) ve eser (trace) oksit ve element kompozisyonlarının veya dağılımlarının doğru, kesin ve hassas olarak belirlenmesi ve bu bilgilerin zaman içinde güncellenmesi önem arz etmektedir. Bu tezin amacı:

- 1) Zeolit örneklerinin pH değerlerini ölçmek,
- 2) Zeolit ocaklarının kimyasal dağılımlarını belirlemek amacıyla toplanan 81 adet zeolit örneğinin oksit ve elemental içeriklerini, enerji dağılımlı X-ışını flüoresans (EDXRF) spektrometresi ile analiz etmek,
- 3) Her bir zeolit ocağı için  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranlarını belirlemek ve

4) Zeolit örneklerinin içerdiği uranyum (U), toryum (Th) ve radyoaktif potasyum ( $^{40}\text{K}$ ) elementlerinden yayınlanan radyasyonun oluşturduğu radyojenik ısı üretimini hesaplamaktır.

Tablo 1.2. Zeolitlerin kullanım alanları

	Zeolitin özellikleri			
	Soğurma	Katalizör	İyon değişirme	Moleküler elek
<b>Çevrenin korunması</b>				
• Endüstriyel atık sularındaki eko-toksik metallerin (Cu, Zn, Cd, Pb, Hg vb.) ve kanalizasyon suları ve içme sularından zehirli amonyumun ( $\text{NH}_4^+$ ) uzaklaştırılması	X		X	
• İçme suyu sertliğinin düşürülmesi ve içme suyu kalitesinin artırılması			X	
• Termik santralli, çimento fabrikaları gibi tesislerin bacalarından atmosfere salınan baca gazlarının ( $\text{SO}_2$ , $\text{SO}_3$ , $\text{NO}$ , $\text{NO}_2$ vb.) uzaklaştırılması	X	x	X	x
• Petrol sızıntılarının ve radyoaktif atıkların temizlenmesi			X	
<b>Enerji</b>				
• Kömürün gaz hâline getirilmesi	X	x	X	x
• Petrol ürünleri üretimi		x	X	x
• Doğal gazların saflaştırılması	X		X	x
<b>Tarım ve hayvancılık</b>				
• Gübreleme ve toprak hazırlanması	X		X	
• Tarımsal mücadele	X		X	
• Toprak kirliliğinin kontrolü	X		X	
• Besicilik	X			x
<b>Madencilik ve metalürji</b>				
• Maden yataklarının aranması	X		X	
• Metalürji	X		X	
<b>Diğer alanlar</b>				
• Kâğıt	X			
• İnşaat	X		X	
• Sağlık	X	x	X	
• Deterjan	X			



Ticari olarak işletilen ve Manisa Gördes'te bulunan dört farklı ocaktan toplanan zeolit örnekleri, EDXRF spektrometrik yöntem bu tezin kapsamındadır.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, endüstride kullanılan mineraller, kullanım alanları, Türkiye'nin mineral rezervler, zeolitin özellikleri, sınıflandırılması ve kullanım alanları, tezin amacı ve kapsamı hakkında bilgi verildi. İkinci bölümde, zeolit minerali ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar özetlendi. Üçüncü bölümde, zeolit örneklerinin toplanmasına, elemental analiz için hazırlanmasına, EDXRF analiz yöntemine ve radyojenik ısı üretiminin hesaplanmasına ilişkin bilgi verildi. Dördüncü bölümde, her bir zeolit ocağının ana, ikincil ve eser element derişimleri, tablolar ve grafikler şeklinde sunuldu. Beşinci bölümde, zeolit örneklerinde analiz edilen oksit ve elementlerin ortalama derişim değerleri, literatürdeki değerlerle ve yer kabuğu ortalaması ile karşılaştırıldı. Ayrıca bu bölümde, eko-toksik ağır metallerin derişimleri, ocak işçilerinin sağlığı açısından değerlendirildi ve bazı öneriler yer aldı.

## 2. ZEOLİT İLE İLGİLİ LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Literatürde zeolitlerin absorban, katalizör, iyon değişimi ve moleküler elek özellikleri ve farklı endüstride kullanımları ile ilgili çok sayıda yayınlanmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu bölümde, genelde Gördes zeolit veya zeolitlerin kimyasal bileşenlerinin belirlenmesi ile ilgili literatürde yer alan ulusal ve uluslararası çalışmalar hakkında bilgi verildi.

Diaz ve Peraza (1997) tarafından yapılan çalışmada, dört önemli örnekten Küba zeolit yatağından toplanan zeolit örneklerinin içerdiği 38 elementin derişimleri, enstrümantal nötron aktivasyon analiz (INAA) ve X-ışını flüoresans (XRF) spektrometrik yöntem kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar, diğer analitik teknikler ile yapılan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Zamecek (2001) tarafından yapılan çalışmada, zeolitlerin elementel bileşimlerinin belirlenmesinde kullanılan teknikler ve özellikleri kısaca özetlenmiştir.

Atay (2002) tarafından yapılan çalışmada, Gördes (Manisa) bölgesinden toplanan klinoptilolit bakımından zengin zeolit örneklerinin ve NaOH, HCl ve HNO<sub>3</sub> çözeltileri kullanılarak modifiye edilmiş formlarının sulu çözeltilerden U(VI) ve Ni(II) soğurması ve iyon değiştirme kapasitesi, başlangıç metal iyon derişimi, çözelti pH'sı, sıvı/katı oranı ve katı-sıvı temas süresi faktörlerine bağlı olarak araştırılmıştır.

Tufan (2002) tarafından yapılan çalışmada Gördes zeolitinin (klinoptilolitinin), atık sulardaki amonyum iyonunun arıtılmasında seçici iyon değiştirme yöntemiyle sürekli sistemlerde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, (a) zeolit iyon değiştirme özelliklerinin yeterince geliştiği ve kesikli ön muamelenin sürekli ön muameleye göre daha iyi sonuçlar verdiği ve (b) rejenerasyon deneylerinde klinoptilolit, amonyum tutma kapasitesi hemen hemen hiç değişmeden sürekli olarak kullanılabilceği gözlenmiştir.

Ata (2003) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Gördes bölgesinden temin edilen klinoptilolit örneği kullanılarak antibakteriyel etki gösteren malzeme hazırlanmasının

şartları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, klinoptilolit örneği iyon değişimi yoluyla Na formuna (Na-klinoptilolit) dönüştürülmüş, daha sonra Na-klinoptilolit kullanılarak örneğin  $Ag^+$  ve  $Zn^{+2}$  iyon değişim kapasitesi ve iyon değişiminin dengeye gelmesi için gereken süre tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, (a) Gördes klinoptilolitinin iyon değiştirme kapasitesinin  $Na^+ > Zn^{+2} > Ag^+$  sırasıyla değiştiği, (b)  $Na^+$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Ag^+$  katyonları için klinoptilolit iyon değiştirme kapasitesinin sırasıyla 1,51; 0,93 ve 0,48 meq/g olduğu, (c)  $Ag^+$  ve  $Zn^{+2}$  iyon değişimi için 353 K'de 48 saat işlemin iyon değişiminin dengeye ulaşması için yeterli olduğu ve (d) antibakteriyel özellik gösteren malzeme hazırlanmasında yapay zeolitlerin yerine daha ekonomik olan doğal zeolitlerden klinoptilolitinin kullanılabileceği görülmüştür.

Çalış (2003) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Gördes bölgesinden temin edilen zeolitlerin yapısal özelliklerinin, zenginleştirmeye olan etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, zeolit örneklerinin nitelikleri, toz XRD, mikroskop, kimyasal analiz, Blaine yüzey alan ölçümü ve tane ayırım uygulamalarının kombinasyonu ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, zeolit cevherinin %90-95 klinoptilolit- hoylandit içerdiği tespit edilmiştir.

Eski (2004) tarafından yapılan çalışmada, Deresakarı (Bilecik) yöresinden temin edilen zeolit örneklerinin birim hücre parametreleri, özgül yüzey alanları, gözenek çapları vb. özellikleri XRD, SEM ve diferansiyel termal analiz (DTA) kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Bilecik Deresakarı zeolitinin, klinoptilolit olduğu, moleküler elek davranışı gösterdiği ve özgül yüzey alanlarının büyüklüğü sebebiyle endüstride iyi bir soğurucu olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Erdem, Karapınar ve Donat (2004) tarafından yapılan çalışmada, Gördes zeolit yatağından temin edilen doğal zeolit (klinoptilolit) örneklerinin,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  ve  $Mn^{2+}$ 'ye göre yüzeyde tutulma (adsorpsiyon) davranışları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, doğal zeolitlerin katyonik ağır metal türlerini endüstriyel atık sulardan çıkarmada büyük potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir.

Keskin (2005) tarafından yapılan çalışmada, Gördes zeolit ocağından elde edilen doğal zeolit klinoptilolit (örneğin), iyon değiştirme özelliğinden faydalanılarak benzinli motorlarda katalizör olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, zeolit katalizörlü motorun boşa ve tam yükteki çalışmasında, karbonmonoksit ve hidrokarbon emisyonlarında, katalizörsüz çalışmaya göre düşüş gösterirken karbondioksit emisyonlarında ise bir artış gözlenmiştir.

Özaydın (2005) tarafından yapılan çalışmada, doğal zeolitlerin dünyadaki potansiyeli, ekonomisi ve Türkiye'deki rezerv potansiyeli, Türkiye'de önemli bir kaynak olan klinoptilolit grubu doğal zeolitlerin günümüzdeki uygulama alanları ve yeni kullanım olanakları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, Gördes zeolitlerinin mineralojik, kimyasal, yoğunluk, tane iriliği, özgül ağırlığı ve hacimsel analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, (a) Gördes zeolitlerinin yüksek ısı kararlılıktaki potasyum, kalsiyum klinoptilolit yapısında olduğu, özgül ağırlığının  $1,98-2,18 \text{ g/cm}^3$  aralığında tane iriliğine bağlı olan hacimsel yoğunluğunun ise mineral tane iriliğine bağlı olarak  $0,693-1,22 \text{ g/cm}^3$  değer aralıklarında değiştiği, (b) 1 gram klinoptilolitin 0,326 miligram vanadyumu ve 4,678 g cıvayı adsorbe ettiği, cıva ve vanadyum içeren aynı çözeltilerde, 1 g klinoptilolitin 0,310 mg vanadyumu ve 2,841 mg cıvayı adsorbe ettiği, (c) Gördes klinoptilolitlerinin  $50-90 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığında gözenek suyunu,  $90-320 \text{ }^\circ\text{C}$  aralığında bağlı suyunu,  $360-770 \text{ }^\circ\text{C}$  aralığında kristal suyunu bıraktığı, yapının  $839 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de bozulmaya başladığı ve termal dayanımının  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar devam ettiği ve (d) Gördes klinoptilolitlerinden ısı yalıtımı açısından alternatif, agrega malzemesi, tuğla hammaddesi ve sentetik kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi bulunmuştur.

Özkırım ve Yörükoğulları (2005) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Gördes'te bulunan zeolit ocağından toplanan klinoptilolit türü doğal zeolit örneklerinin, BET adsorpsiyon izotermi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, (1) gözenek çapı dağılımının artmasıyla özgül yüzey alanlarının küçüldüğü görülmüş ve (2) oksijeni saf, ucuz ve etkili bir şekilde elde etmek için,  $0,1 \text{ N Li}^+$  formundaki Manisa-Gördes klinoptilolitinin kullanılmasının uygun olduğu bulunmuştur.

Osmanlioğlu (2006) tarafından yapışan çalışmada, Gördes zeolit rezervlerinden temin edilen doğal zeolit (klinoptilolit) rneklerinin, endüstriyel uygulamalar, araştırma ve tıpta kullanılan radyonüklitlerden ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  ve  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ) retilen sıvı radyoaktif atıkların uzaklaştırma kapasitesi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, kimyasal çöktürme ve soğurma deneylerinden sonra dekontaminasyon faktörü (DF) bulunmuş ve soğurma ve çökeltme teknikleri, sıvı düşük seviyeli atıkların dekontaminasyonuna uyarlanmıştır. Çalışma sonucunda, Gördes klinoptilolitin, dinamik işlem şartlarında ve kimyasal çökeltme işlemi için bir katkı maddesi olarak radyonüklitler için en uygun doğal sorbent ve yüksek bir seçiciliğe sahip olduğu gösterilmiştir.

Polatoğlu (2005) tarafından yapışan çalışmada, Manisa Gördes yataklarından temin edilen doğal zeolit (klinoptilolit) rneğinin ve bu örneğin sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ile tepkime sonrasında oluşan formlarının, hidroklorik asit, laktik asit, asetik asit ve sodyum hidroksit çözeltisindeki kimyasal davranışları incelenmiştir. Çalışmada ilave olarak zeolitlerin midedeki yüksek asit derişimini nötralize etme kapasitesini yükseltmek için sentetik mide asidi ( $\text{pHi}=2$  de hidroklorik asit ve % 0,4'lk pepsin) hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda, (a)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile işlem görmüş zeolitlerin nötralize etme kapasitesinin, işlem görmemiş zeolitlere göre daha yüksek olduğu, (b) sentetik mide asidi ile yapılan çalışmada 0,5 g işlem görmüş zeolit, ortam pepsin aktivitesini önemli ölçüde etkilemediği ve çözeltinin pH'sını mide asidinin normal değerleri arasında olan 2,9'a yükselttiği ve (c) zeolitler ile yapılan tüm sıvı çalışmalarında yüzey yüklerinin değişmediği gözlemlenmiştir.

Yılmaz (2005) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Gördes yataklarından temin edilen doğal zeolit (klinoptilolit) rneğinin tarımda toprak verimini arttırıcı madde olarak kullanılması araştırılmıştır. Çalışma kapsamında klinoptilolitin, tüm formlarının toprak verimini arttırdığı gözlenmiştir.

Moralı (2006) tarafından yapılan çalışmada, Balıkesir Bigadiç rezervinden elde edilen klinoptilolit örneğinin doğal ve şartlandırılmış hlde sulu çözeltilerden  $\text{Zn}^{2+}$  ve  $\text{Pb}^{2+}$  uzaklaştırma etkinliği araştırılmış ve klinoptilolit ile ağır metal uzaklaştırılması ilgili mekanizmalar incelenmiştir. Çalışma sonucunda  $\text{Zn}^{2+}$  iyonlarının, klinoptilolit

yapısına daha zayıf bağlarla ve  $Pb^{2+}$  iyonlarının ise klinoptilolit yapısına daha kuvvetli bağlarla bağlı olduğu bulunmuştur.

Pala (2006) tarafından yapılan çalışmada, Beyköy (Susurluk, Balıkesir) yöresinden temin edilen klinoptilolit kurşun (II) iyonunu yüzeyde tutulma kapasitesi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, 25-140 mesh boyutundaki klinoptilolit minerali 1 M HCl ile aktive edilerek kullanılmış, kurşun giderim verimi belirlenmiş ve kesikli reaktör şartlarındaki çalışmalar, farklı pH, sıcaklık, temas süreleri tutulma miktarı ve tutulan madde miktarında yapılmıştır.

Turner vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, üç zeolit Y (RM 8850), zeolit A (RM 8851) ve ZSM-5 zeolit (RM 8852) örneği, XRF, gravimetri, INAA, nükleer manyetik rezonans (NMR), kalorimetri, sinkrotron X-ışını kırınımı, nötron kırınımı, lazer ışığı saçılması, elektriksel algılama bölgesi, X-ışını sedimentasyonu, taramalı transmisyon elektron mikroskobu (STEM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop gibi çeşitli kimyasal ve fiziksel ölçüm yöntemleri ile karakterize edilmiştir.

Bilgin (2009) tarafından yapılan çalışmada, Gördes (Manisa) yöresinden dört farklı zeolit sahasından toplanan zeolit örneklerinin, farklı endüstrilerde ham madde olarak kullanım alanlarının belirlenmesine yönelik maddesel özellikleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, (a) zeolit örneklerinin içerdiği silisyum oksit, alüminyum oksit, demir oksit, kalsiyum oksit, magnezyum oksit, sodyum oksit, potasyum oksit ve kızdırma kaybı, (b) zeolit örneklerinin tane iriliğine göre mineral içerikleri XRD ve mikroskop kullanılarak ve (c) zeolitlerin katyon değiştirme kapasiteleri ve değişebilir katyonları belirlenmiştir.

Ulusoy ve Albayrak (2009) tarafından yapılan çalışmada, Foça (İzmir), Bigadiç (Balıkesir), Gördes (Manisa) bölgelerinden toplanan zeolit mineralojik ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Daha sonra, seramik endüstrisinde (ön teknolojik), kâğıt endüstrisinde (dolgu ve kaplama) ve kedi kumu kullanımları için zeolit örnekleri deneye tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda bazı zeolit örneklerinin, seramik ve kâğıt endüstrisinde kullanılabilir nitelikte olduğu bulunmuştur.

Ünalı ve Yıldırım (2009) tarafından yapılan çalışmada, ba (batch) yöntemiyle hazırlanan Manisa Gördes yöresi doğal klinoptilolitinin 0,1 N, 0,5 N ve 1 N NH<sub>4</sub><sup>+</sup> formlarının XRF yöntemi ile kimyasal analizleri yapılmış ve kimyasal analizlere göre birim hücredeki atom sayıları hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplanan atom sayılarıyla, bu formların doğal klinoptilolite göre iyon değişim yüzdeleri, iyon seçicilik yüzdeleri bulunmuş, her bir formun X-ışını kırınım desenleri elde edilmiş ve bu desenlere göre birim hücre parametreleri hesaplanmıştır.

Albayrak (2010) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Gördes bölgesinden toplanan zeolit örneklerinin mineralojik, kimyasal ve termal analiz-gravimetri zellikleri, XRD, SEM ve (DTA-TGA) teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, toplanan örneklerde ana mineral olarak klinoptilolit ve hoylandit mineralleri gözlenirken, tali olarak ise tridimit, simektit, mika ve feldspat minerallerinin de var olduğu tespit edilmiştir.

Kurudirek, zdemir, Türkmen ve Levet (2010) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Gördes zeolit rezervinden temin edilen bir zeolit (klinoptilolit) rneğinin elementel analizi bir dalga boyu dağımlı X-ışını flüoresans (WDXRF) spektrometresi kullanılarak belirlenmiş ve radyasyon zayıflatma özellikleri araştırılmıştır.

Mızrak (2010) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Gördes zeolit ocağından temin edilen doğal klinoptilolitin ve batch yöntemi iyon değişimi yoluyla elde edilen Ag<sup>+</sup>, Cd<sup>+</sup>, Cr<sup>+3</sup> ve Co<sup>+3</sup> formlarının, fizikokimyasal karakterizasyonu, XRD, XRF, kızılötesi (infrared) spektroskopi (FTIR), termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel termal analiz (DTA) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda klinoptilolit örneğinin, Ag<sup>+</sup>, Cd<sup>+</sup>, Cr<sup>+3</sup> ve Co<sup>+3</sup> gibi ağır metallere karşı seçici olduğu bulunmuştur.

Wang ve Peng (2010) tarafından yapılan çalışmada, doğal zeolitlerin su ve atık su arıtımında adsorban olarak kullanılmasına yönelik son gelişmeler gözden geçirilmiştir, doğal zeolitin özellikleri ve modifikasyonu tartışılmıştır.

Yıldız, Erten ve Kış (2011) tarafından yapılan çalışmada, Cs<sup>+</sup> iyonunun bazı kil ve zeolit örnekleri tarafından soğurulması, <sup>137</sup>Cs izleyicisi kullanılarak araştırılmıştır.

Çalışmada, radyoaktivite NaI(Tl) dedektörlü gama-ışını spektrometresi, tanecik büyüklüğü dağılımı lazer sizer, taneciklerin yüzey alanları BET yöntemi, yapı analizleri X-ışını kırınım ölçer ve kimyasal kompozisyonlar ICP-OES spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, kil ve zeolit örneklerinin, radyoaktif atık yönetimi için kullanılabilir iyi bir soğurucu olduğu önerilmiştir.

Çalışkan (2012) tarafından yapılan çalışmada, Yavu (Sivas) bölgesinde bulunan zeolit yatağından toplanan doğal zeolit örneğinin batch yöntemi ile iyon değiştirilmiş  $Ca^{2+}$  ve  $K^+$  formları, X-ışını, DTA-TG ve FT-IR analizlerine tabi tutuldu ve yüzey alanları ve gözenek yarıçapları bulundu. Çalışma sonucunda, (a) Yavu bölgesi zeolit yatağının, klinoptilolit ve mordenit zeolit fazından oluştuğu, (b) bu zeolit örneğinin yüksek oranda Ca içerdiği, (c) iyon değiştirilmiş formlarının yüzey alanında artışa sebep olması dolayısıyla endüstride adsorbent olarak kullanılabilirliği ve (d) büyük moleküller için moleküler elek davranışı gösterebileceği görüldü.

Özen (2013) tarafından yapılan çalışmada, Aliğa, Gördes ve Bigadiç bölgesinden temin edilen klinoptilolit, Foça bölgesinden temin edilen mordenit ve Ayvacık bölgesinden temin edilen analsim örneklerinin, puzolanik ve mineralojik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, (a) Bigadiç'teki klinoptilolitce zengin tüfün 28 günlük dayanımı kontrol çimentosundan %10 kadar yüksek olduğu ve (b) Gördes'teki klinoptilolitce zengin tüfün basınç dayanımı ise kontrol çimentosundan biraz daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Küçükyıldırım (2013) yapılan çalışmada, Manisa (Gördes) ve Balıkesir (Bigadiç) zeolit rezervlerinden toplanan klinoptilolit zeolitlerinin ısı ve kimyasal ön işleminin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri, puzolanik aktiviteleri ve dayanımları üzerindeki etkilerini incelemiştir.

Shadrikov ve Petukhov (2014) tarafından yapılan çalışmada, Sokyrnytsia Zakarpattia (Ukrayna) zeolit yatağından toplanan doğal bir zeolit-klinoptilolit örneğinin, fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Zeolit örneğinin elementel analizi ICP-OES tekniği ile belirlenmiştir.



Yağcıoğlu (2014) tarafından yapılan çalışmada, Samsun Taflan bölgesinden temin edilen zeolitler ve diğer ikincil minerallerin mineralojik, kimyasal ve orijin özellikleri incelenmiştir. Kimyasal ve mineralojik verilere göre; kırık ve boşluk dolgusu zeolitlerin natrolit, tomsonit, gonnardit, analsim, stilbit, şabazit, filipsit ve eşlikçi fazlar korrensit, illit/simektit, simektit, apofillit, dolomit, kalsit, tridimit olduğu bulunmuştur.

Zendelska vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, çinko metalinin doğal zeolitin (klinoptilolit) yüzeyde tutulma kinetiği, başlangıç metal iyon derişimi, adsorban kütlesi ve başlangıç pH değeri açısından incelenmiştir. Çalışma sonucunda, (a) adsorpsiyon kinetiğinin makul ölçüde hızlı olduğu, (b) ilk 20 dakikada  $Zn^{2+}$ 'nin yaklaşık %78'inin çözeltiler tarafından adsorbe edildiği ve (c) kinetik verilerden, çinko iyonlarının çözeltiden doğal zeolit ile adsorpsiyonunun, yüksek pH ve adsorbent kütle değerinde ve çözeltideki daha düşük çinko derişiminde daha verimli olduğu gözlenmiştir.

Munkhbat, Shiomori ve Ochirkhuyag (2016) tarafından yapılan çalışmada, ağır metallerin Moğol doğal mineralleri (hoilandit+klinoptilolit tipi zeolit grubu ve albit ve kuvars içeren kil örnekleri) üzerindeki yapısal özellikleri ve adsorpsiyon özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, doğal zeolitin adsorpsiyon kabiliyetinin asidik sulu çözeltide kurşun iyon için yüksek derecede etkili olduğu ve ağır metal seçiciliği sırasının  $Pb^{2+} \gg Zn^{2+} > Cd^{2+}$  olduğu tespit edilmiştir.

Campbell vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, ortam şartlarında, temelde önemli olan Si-Al oranının güvenli olarak belirlenmesi dâhil, bir elektron probu mikroanalizi (dalga boyu dağılım spektrometri) ile zeolit grubu mineral bileşimlerinin (kompozisyonlarının) nicel (kantitatif) olarak belirlenmesine yönelik yeni bir protokol sunulmuştur. Geliştirme deneyleri, Na, K, Cs, Mg, Ca, Sr ve Ba zeolitlerinin kompozisyonel sınırlarını temsil eden bir dizi doğal zeolit referans örneği üzerinde yapılmıştır.

Lucie (2016) tarafından yapılan çalışmada, nadir toprak elementinin, Ferrierit, Faujasite ve Linde Tip L gibi çeşitli zeolit türleri üzerindeki iyon değişim davranışı

araştırılmıştır. Ticari olarak temin edilebilen zeolitler, XRD, EDXRF ve zayıflatılmış toplam yansıma fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (ATR-FTIR) ile sistematik olarak karakterize edilmiştir. Çalışma sonucunda, seçilen tüm zeolitler arasında sadece Linde Tip L zeolitinin makul miktarda La iyon değişim kapasitesi verdiği gösterilmiştir.

Yazıcıoğlu (2016) tarafından yapılan çalışmada, Gördes bölgesinden temin edilen klinoptilolit ve Perşembe (Ordu) bölgesinden temin edilen analsim zeolitlerinin, çimento ve beton üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, %0, %10, %30 ve %50 oranlarında doğal zeolit yer değiştirmesi içeren, 14 adet zeolit, çimento harç ve beton karışımından oluşan örnekler ile ilgili basınç dayanıklılığına yönelik bir takım standart deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, katkılı çimento ve beton üretimlerinde analsimin, inşaat endüstrisinde daha yaygın olarak kullanılan klinoptilolite alternatif olabileceği ve her ikisinin de çimento ve beton üretimlerinde yaklaşık % 30 yer değiştirme oranına kadar puzolanik katkı malzemesi olarak kullanımının mümkün olabileceği gösterilmiştir.

Battal (2017) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Gördes zeolit yatağından temin edilen zeolit örneklerinin kurutma işlemi, 2,45 GHz mikrodalga kaynağı ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda, zeolit mikrodalga kurutması için aktivasyon enerjisinin, 30,84 W/g olduğu bulunmuştur.

Fang, Fang, Lu ve Zheng (2017) tarafından yapılan çalışmada, su arıtma alanında mükemmel bir adsorban ve inorganik iyon değiştirici olarak görev yapan zeolit 4A'nın,  $Sr^{2+}$ ,  $Cs^+$  ve  $Co^{2+}$  gibi sularadaki radyoaktif atıkların arıtılması için kapasitesi ölçülmüş ve asıltı katı madde ve organik maddelerin düşük seviyeli radyoaktif atık sularında kullanımdan kaldırılması süresince, zeolit 4A'nın saflaştırma performansı incelenmiştir. Çalışma sonucunda, ortam sıcaklığı ve nötr şartlarda zeolit 4A örneğinin,  $Sr^{2+}$ ,  $Cs^+$  ve  $Co^{2+}$  radyonüklitleri % 90 oranında soğurduğu gözlenmiş ve zeolit 4A'nın, radyoaktif atık su arıtımında önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür.

Suyanto, Utomo, Manurung, Suharta ve Windaryoto (2017) tarafından yapılan çalışmada, aktiflenmiş bir zeolitin sıvı örnek içindeki Pb elementini sabit değerde tutabilme kapasitesi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, zeolit, yaklaşık 400 µm büyüklüğünde toz hâline getirilmiş ve farklı derişimlerde 0,5; 1; 1,5 ve 2 M olan NaOH ile aktive edilmiştir. Her bir derişimde 0,05 gram aktive edilmiş zeolit derişimi, 100 ppm Pb içeren 10 ml solüsyona batırılmış, daha sonra ısıtılmış, kuru toz hâline gelinceye kadar karıştırılmış ve pelet hâline getirilmiştir. Hazırlanan örnek lazer indüklenmiş breakdown spektroskopisi ile analiz edilmiştir.

Kaçmaz (2018) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Yenice (Saraycık) civarından toplanan zeolitik tüflerin mineralojik ve petrografik özellikleri, polarizasyon mikroskop ve XRD tekniği kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, tüflerin camsı yapıda olduğunu ve bu tüflerin zeolitlere ve bazı diğer minerallere dönüştüğü gösterilmiştir.

Bilgin ve Kantarcı (2018) tarafından yapılan çalışmada, Bigadiç (Balıkesir) bölgesinden toplanan üç farklı zeolit (klinoptilolit/hoylandit) örneğinin mineralojik ve morfolojik karakterizasyonu, fiziksel ve kimyasal özellikleri, SEM, XRD ve ince kesit yöntemi ile belirlenmiştir.

Kurşun, Terzi, Batjargal ve Özdemir (2018) tarafından yapılan çalışmada, hidroklorik asit ve asetik asit ile asit modifikasyonunun, Manisa (Gördes) bölgesinden temin edilen doğal zeolit örneği üzerindeki etkileri elektrokinetik analizler kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek ayrılma sabiti olan daha güçlü hidroklorik asidin, asetik aside kıyasla zeta potansiyeli üzerinde daha belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Uçkun ve Sarıkaya (2018) tarafından yapılan çalışmada, Hekimhan (Malatya) bölgesinden temin edilen doğal zeolit örneğinin toksik Pb, Ni ve Cd metalleri ni soğurma kapasitesi araştırıldı. Çalışma sonucunda zeolit örneğinin, uygun değer (optimum) şartlarında, %91,5 Pb, %76,4 Ni ve %62,8 Cd'yi soğurduğu tespit edilmiştir.

Gezer, Turhan, Kurnaz ve Ufuktepe (2019) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Gördes bölgesinde yer alan dört farklı ocaktan toplanan zeolit örneklerinin radyometrik karakterizasyonu, yüksek saflıkta germanyum dedektörlü bir gama ışını spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca zeolit örneklerinin çimento ve beton üretiminde hammadde olarak kullanılmasından kaynaklanan radyolojik riskler, aktivite derişim endeksi ve yıllık etkin radyasyon dozu hesaplanarak yetişkinler için değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, (a) 77 zeolit örneğinde ölçülen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklitinin ortalama aktivite derişimleri, sırasıyla  $85 \pm 4$  Bq/kg,  $129 \pm 2$  Bq/kg ve  $1030 \pm 24$  Bq/kg olarak ölçülmüş ve (b) zeolit numunelerinin radon salım faktörü ve radon kütle salım hızının, ortalama değeri, sırasıyla %4 ve  $7.2 \pm 0.3$   $\mu\text{Bq/kg}\cdot\text{s}$  olarak bulunmuştur.

Kalaitzis, Stoulos, Melfos, Kantiranis ve Filippidis (2019) tarafından yapılan çalışmada, Yunanistan'dan 14, Türkiye'den 6 ve Sırbistan'dan 4 adet olmak üzere toplanan toplam 24 zeolitik kaya örneklerinin içerdiği doğal radyonüklitlerin ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) aktivite derişimleri ve radon emanasyon faktörü, gama-ışını spektrometresi ile ölçülmüştür. Ayrıca zeolitik kaya örneklerinin, toprağın iyileştirilmesi ve inşaat sektörü gibi çevresel uygulamaları radyolojik açıdan değerlendirilmiştir.

Bu bölümde zeolit örnekleri ile ilgili literatür araştırmalarının değerlendirilmesinden,

(1) Gördes zeolit örneklerine ilişkin olarak yapılan çalışmaların büyük bir kısmının zeolitlerin farklı endüstriyel alanlardaki kullanımı ile ilgili olduğu,

(2) Türkiye'deki zeolit ocaklarının özellikle Gördes'te yer alan ve ticari olarak işletilen ocakların elementel dağılımlarının belirlenmesine yönelik ayrıntılı bir çalışmanın olmadığı sadece farklı ocaklardan temin edilen veya çok az sayıdaki Gördes zeolit örneğinin elementel analizlerinin yapıldığı,

(3) Zeolitlerin içerdiği eko-toksik (zehirli) metallerin derişimlerinin belirlenmesine yönelik ayrıntılı bir çalışmanın olmadığı ve

(4) Bu tez kapsamında EDXRF spektrometresi kullanılarak yapılan çalışmanın, Gördes zeolit ocaklarının birincil, ikincil ve eser element içeriklerinin belirlenmesine yönelik 81 zeolit örneği üzerinden ayrıntılı bir şekilde yapılan ilk çalışma olduğu açıkça görülebilmektedir.



### 3. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMİ

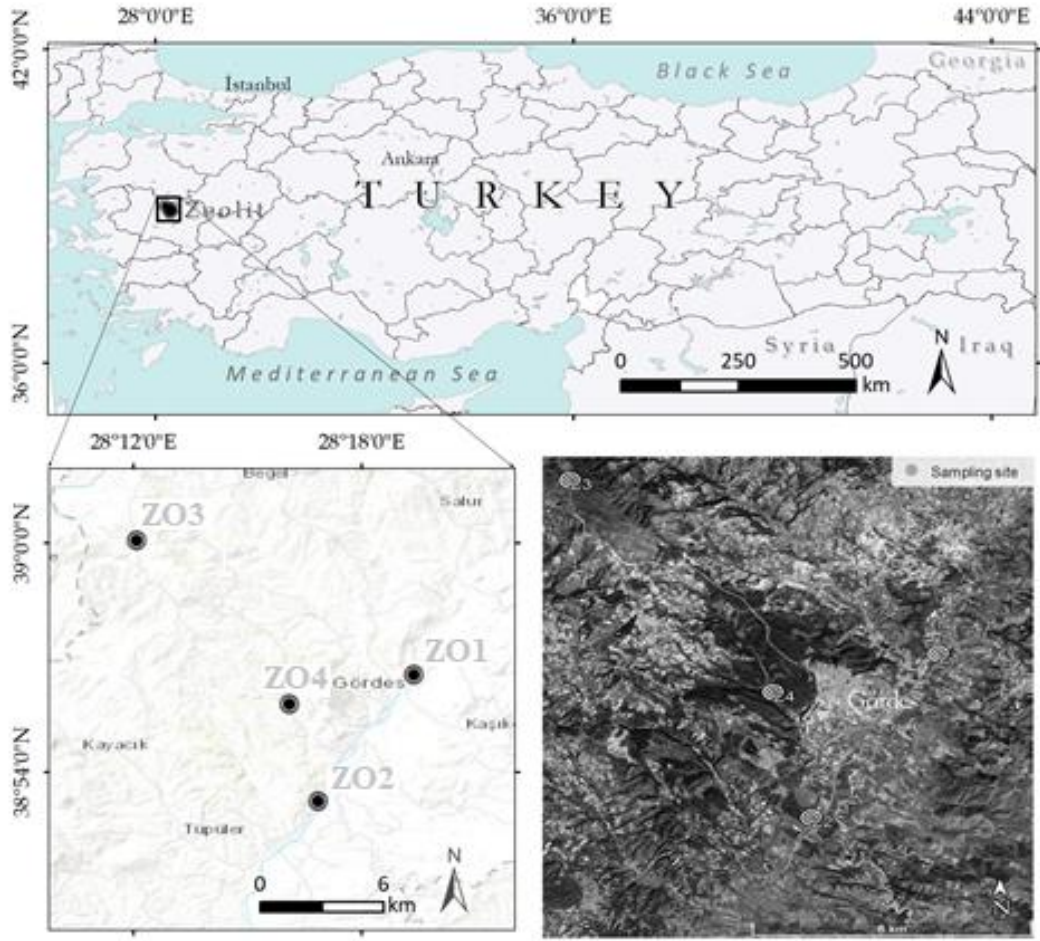
#### 3.1. Zeolit Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması

Manisa iline bağlı olan Gördes ilçesi, Manisa'nın kuzey-doğusunda, 38° 55' K enlemi - 28° 18' D boylamı üzerinde ve deniz seviyesinden 680 metre yüksekliktedir. Yaklaşık 2000 m kalınlığa ulaşan Gördes havzasındaki karasal Neojen tortullaşması, Erken Miyosen ve Geç Miyosen-Erken Pliyosen dönemlerini kapsayan başlıca iki çökelim evresinde gelişmiştir. Çökelim dönemlerinin her biri, alttan üste doğru, alüviyal-flüviyal ortamlardan gölsel ortama evrilen ve volkanik ara katkılar içeren tortul istiflerden oluşur (Göktaş, 1999). Gördes Neojen istif içerisindeki tüflerin yaklaşık 2/3 gözlenen zeolit mineralinin, % 80'i klinoptilolit ve hoylanditten oluşmaktadır (Bilgin, 2009). Genişliği 700 km<sup>2</sup> olan Gördes neojen havzası ve çevresinin kayaç birimlerinin genel stratigrafik dikme kesiti Şekil 3.1'de verilmiştir. Türkiye'de ticari olarak işletilen zeolit madenciliği açık işletme tipindedir (DPT, 2001). Zeolit cevheri, ocaktan delme-patlatma veya ekskavatörle kazılarak çıkarılmakta ve daha sonra üstü örtülü bant taşıyıcılarla veya kamyonlarla taşınarak kırma-öğütme tesisine götürülmektedir (Bilgin, 2009).

Tez kapsamında, Harita 3.1'de gösterildiği gibi Gördes'te işletilen dört farklı ocaktan 81 ayrı noktadan yaklaşık 2 kg zeolit örneği toplandı, örnek hazırlama laboratuvarına getirildi ve atmosfer ortamında kurutulmaya bırakıldı. Zeolit örnekleri, 105 °C'da fırında kurularak neminden arındırıldı. Daha sonra analiz için kullanılan EDXRF spektrometresindeki kalibre edilmiş toz geometrisine uygun hâle getirmek için öğütücüde toz hâline getirildi, her bir örnekten 5 gram alındı ve agat havan takımı ile homojen hâle getirildi.

ZAMAN		BİRİM	KALINLIK m.	L İ T O L O J İ	
KUVA- TERNER	Alüvyon (al)			5	Metamorfik blok, çakıl ve kum
M İ Y O S E N	Üst	Üst tuf birimi (ütb)	70 V		Camsı, toz-kül tuf (zeolitli)
		Üst birim (Üb)	200 V		Kumtaşı, çamurtaşı, şeyl, kumlu killi kireçtaşı, marn, kireçtaşı, silisli kireçtaşı, tuf
		Alt tuf birimi (atb)	85 V		Camsı (-kristal), toz-kül-lapilli tuf (zeolitli)
	Orta	Alt ince taneli birim (Aitb)	250 V		Başlıca kumtaşı, çakıllı kumtaşı ve yersel, çok ince killi, karbonatlı düzeyler
		(cş)	40		Karbonatlı çamurtaşı, şeyl
		Alt kaba taneli birim (Aktb)	400 V		Bloктаşı, çakıltası, kumtaşı düzensiz çökelleri
MESOZOYİK	İzmir Ankara Zonu Kaya Birimleri (İAZ)			Kireçtaşı Kırıntılı birimler	
PALEOZOYİK	Menderes Masifi Kristalen Kaya Birimleri (MM)			Migmatit Şist	

Şekil 3.1. Gördes neojen havzası ve çevresinin kayaç birimlerinin genel stratigrafik dikme kesiti (Esenli, 1992)



Harita 3.1. Gördes zeolit ocakları

### 3.2. pH Ölçme İşlemi

Çevresel örneklerin (toprak, su vb.) pH değeri, örneklerdeki asitliğin veya bazikliğin bir ölçüsüdür. pH, bir çözeltideki aktif  $H^+$  derişiminin, 10 tabanına göre negatif logaritması olarak tanımlanır. 0 – 7 aralığındaki pH değeri, asitliği, 7 – 14 aralığındaki pH değeri, bazikliği (alkaliliği) ve 7'ye eşit olan pH değeri ise nötr durumu gösterir. Her bir zeolit örneğinin pH değerinin belirlenmesi için aşağıda verilen işlemler takip edildi (Garad, 2019):

- 1) Ölçme işleminden yaklaşık 20 dakika önce pH metre (LaMotte 5 series) açıldı.
- 2) Kurutulmuş her bir zeolit örneğinden 10 g alındı ve Fotoğraf 3.1'de gösterildiği gibi 50 mL hacmindeki behere yerleştirildi.



3) Beherin üzerine 25 mL saf su ilave edildi ve çalkalanan toprak su karışımı 24 saat beklemeye bırakıldı.

4) Fotoğraf 3.1’de gösterildiği gibi pH metrenin elektrotu, zeolit su karışımının bulunduğu behere daldırılarak pH değeri okundu.



Fotoğraf 3.1. Zeolit pH ölçme işlemi (Garad, 2019)

### 3.3. Elemental Analiz Yöntemi

Toprak, su, gıda vb. çevresel örneklerin elemental analizleri için genellikle AAS (FAAS, GFAAS), ICP-AES, ICP-OES, ICP-MS ve XRD analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerin yanı sıra söz konusu örneklerin elemental analizleri, tahribatsız analiz yöntemleri olarak bilinen XRF ve NAA yöntemleri ile de yapılmaktadır. Tez kapsamındaki zeolit örneklerinin doğal olarak içerdiği element derişimleri, XRF spektrometrik yöntem ile belirlenmiştir. XRF yöntemi, metalürji, maden, mineraloji, jeoloji, arkeoloji, inşaat, tarım, gıda, çevrenin korunması, adli tıp vb. alanlarda nitel (kalitatif) ve nicel (kantitatif) çoklu element analizleri için kullanılan hızlı, güvenilir, doğruluğu, kesinliği ve tekrarlanabilirliği çok yüksek bir analiz yöntemi olarak bilinmektedir (Grieken ve Margui, 2013; Brouwer, 2013; Garad, 2019).

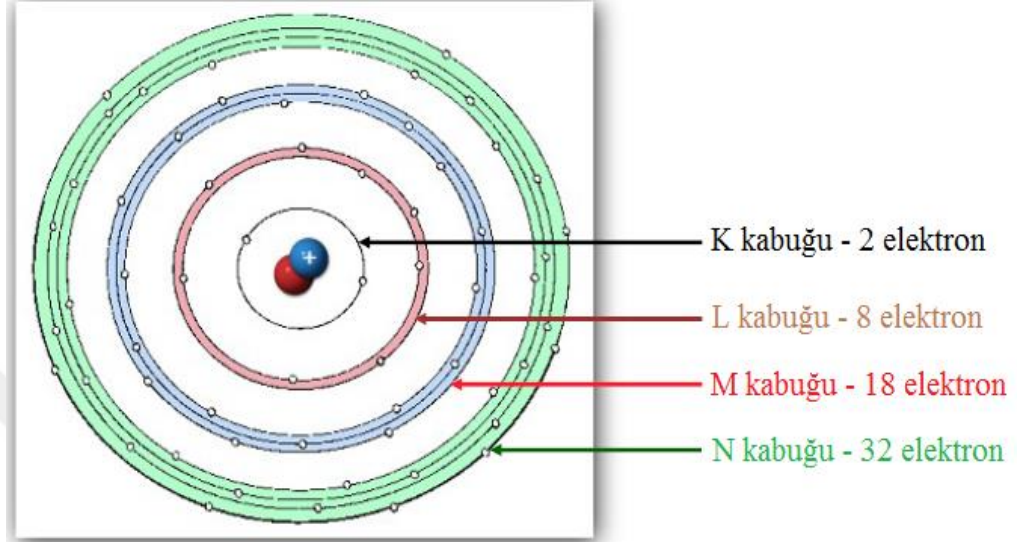
Beta radyasyonunun (yüksek enerjili elektronların) bir hedef tarafından frenlenmesi (yavaşlatılması) veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana

gelen foton demetinin oluşturduğu X-ışınları, dalga boyları 0,1– 100 Å (0,01– 0 nm), enerjileri ise 0,125 keV – 125 keV aralığında değişen elektromanyetik dalgalardır. X-ışınları, dalga-parçacık özelliğine sahiptir. X-ışını demeti, bir madde ile etkileştiğinde, flüoresans (fluoresans, floresans), Compton ve Rayleigh saçılması gibi üç temel etkileşme sürecinin meydana gelme ihtimali yüksektir. Bu etkileşme süreçleri sonucunda, (a) X-ışını demetinin bir kısmı madde tarafından soğurularak flüoresans radyasyonu veya karakteristik X-ışınları oluşur ve bu süreç kimyasal element analizinde ve tıbbi görüntülemede kullanılır, (b) X-ışını demeti, geliş doğrultusundan farklı açılarda enerji kaybederek Compton saçılmasına ve (c) X-ışını demeti, enerji kaybetmeyerek Rayleigh saçılmasına uğrar.

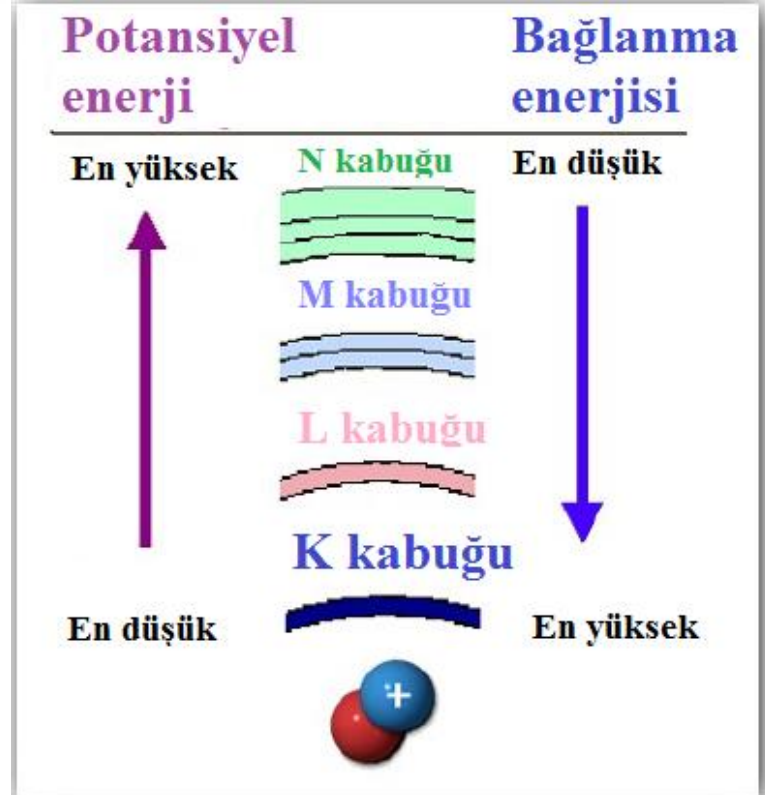
Bir atomda, atom çekirdeğinden dışa doğru elektronların bulunduğu kabuklar, K-kabuğu, L-kabuğu, M-kabuğu vb. olarak isimlendirilir (Şekil 3.2). L-kabuğu,  $L_I$ ,  $L_{II}$  ve  $L_{III}$  olmak üzere üç alt kabuğa sahip iken M-kabuğu,  $M_I$ ,  $M_{II}$ ,  $M_{III}$ ,  $M_{IV}$  ve  $M_V$  olmak üzere 5 alt kabuğa sahiptir. K-kabuğu 2, L-kabuğu 8 ve M-kabuğu 18 elektron içermektedir. Şekil 3.3'te gösterildiği gibi bir elektronun bağlanma enerjisi, yer aldığı kabuğa ve ait olduğu elemente bağlıdır. K kabuğu en yüksek bağlanma enerjisine sahiptir ve bu sebeple bir L kabuğu ile kıyaslandığında bir K kabuğundan bir elektronun çıkarılması için daha fazla enerji gerekir. N kabuğu en yüksek potansiyel enerjiye sahiptir ve dolayısıyla N kabuğundan K kabuğuna düşen bir elektron, bir L kabuğuna kıyasla daha fazla enerji yayınlanacaktır.

İyonlaştırıcı radyasyon ( $\alpha$ -,  $\beta$ -, X-,  $\gamma$ -ışını vb. enerjik tanecik veya elektromanyetik radyasyon) hedef maddenin atomları ile etkileştiğinde, atomdan elektron(lar) koparır (Şekil 3.4: Adım 1). Bu durumda, elektronun koparıldığı kabukta, örneğin K-kabuğunda bir boşluk oluşur ve kararsız atom daha yüksek enerjili seviyeye uyarılmış olur. Atom uyarılmış durumdan kararlı durumuna (ilk durumuna) gelebilmek için meydana gelen elektron boşluğu daha dış kabuktaki (örneğin L-kabuğundaki) elektron ile doldurulur. K-kabuğuna göre daha yüksek enerjili L-kabuğundaki elektronun K-kabuğuna dönmesi sonucunda, fazla enerji karakteristik X-ışını fotonu ( $K_\alpha$ ) olarak yayınlanır ve spektrumda bu bir çizgi olarak görülür (Şekil 3.4: Adım 2a). Yayınlanan X-ışınının enerjisi, ilk boşluğun yer aldığı kabuk ile boşluğun doldurulduğu kabuk arasındaki enerji farkına (örnek olarak K-kabuğu ile

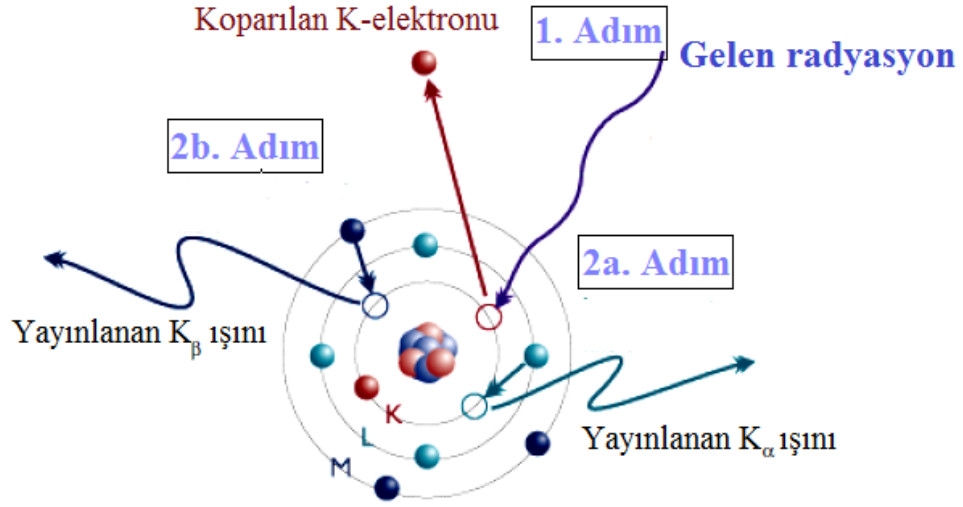
L-kabuğunun enerjileri arasındaki fark) bağlıdır. Boş K kabuğunu, M kabuğundan gelen bir elektronla doldursa; elektron düşük enerji durumuna düştüğünde, fazla enerji  $K_{\beta}$  X-ışını olarak yayınlanır (Şekil 3.4: Adım 2a).



Şekil 3.2. Bir atomda elektronların bulunduğu kabukların şematik gösterimi



Şekil 3.3. Bir elektronun potansiyel ve bağlanma enerjileri

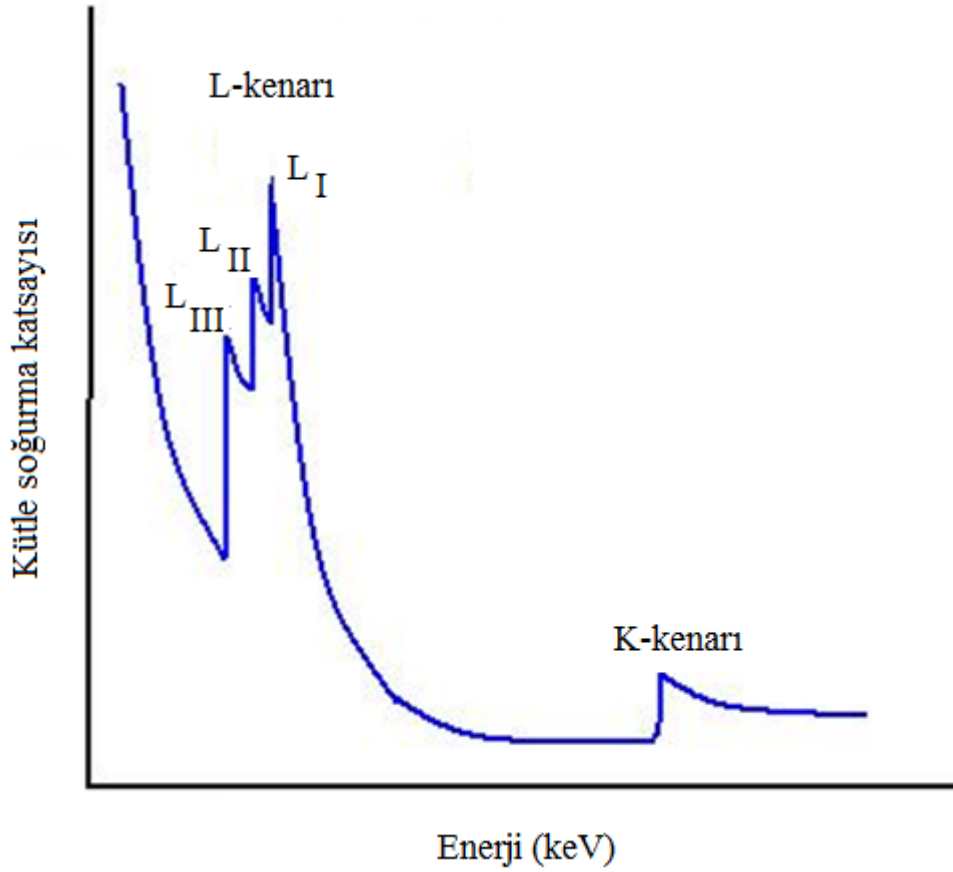


Şekil 3.4. Karakteristik X-ışınlarının oluşumu

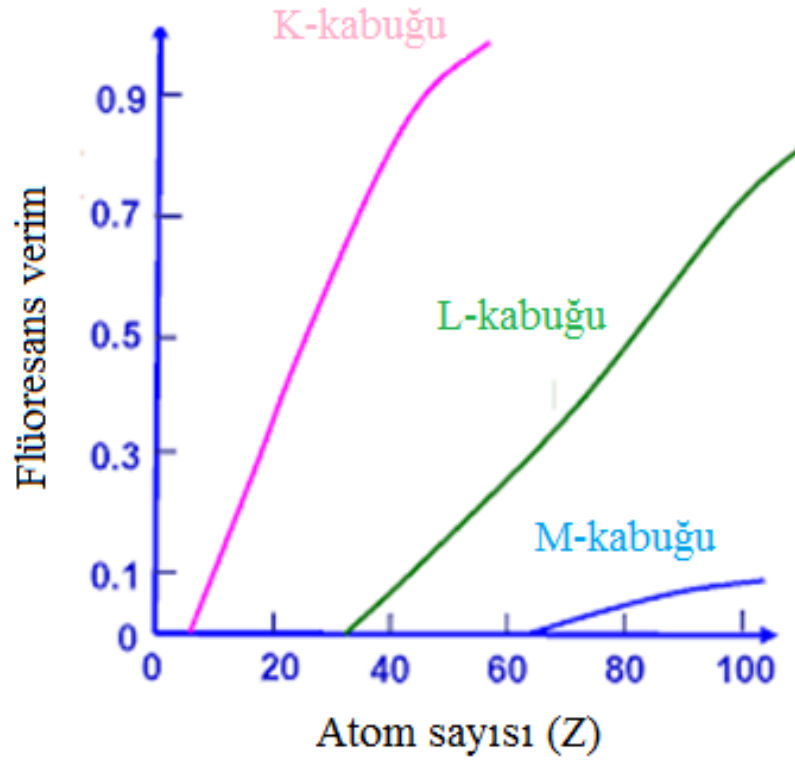
Her bir atom kendisine özgün enerji seviyelerine sahip olduğundan, yayınlanan radyasyon da, o atomun bir karakteristiğidir. Elektron tabaklarında farklı boşluklar oluşabildiği ve bu boşluklarda farklı elektronlar tarafından doldurulabildiğinden, atom tek bir enerjiden (veya bir çizgiden) daha fazlasını yayınlar. Yayınlanan çizgiler, elementin karakteristiğidir ve elementin parmak izi olarak da kabul edilebilir (Yıldırım, 2017; Garad, 2019). Bir atomdan bir elektronun koparılması için gelen X-ışınlarının, elektronun bağlanma enerjisinden daha büyük bir enerjiye sahip olması gerekir. Eğer elektron koparırsa, gelen radyasyon soğurulur ve yüksek soğurulma yüksek flüoresans oluşturur. Diğer taraftan enerji çok yüksekse, fotonların çoğu atomdan soğurulmadan geçer sadece birkaç elektron koparılır. Yüksek enerjilerin keskin bir şekilde soğurulduğu ve düşük flüoresans oluşturduğu Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Gelen fotonların enerjisi daha düşük olursa ve K-kabuğu elektronlarının bağlanma enerjisine yakın gelirse, radyasyonun daha fazlası soğurulur. En yüksek verim, foton enerjisinin koparılacak elektronun bağlanma enerjisinin biraz üzerinde olduğu zaman elde edilir. Gelen fotonların enerjisi, bağlanma enerjinden daha küçük olduğunda, Şekil 3.5'te görüldüğü gibi K-kabuğuna karşılık gelen K-kenarı ve L-kabuğuna karşılık gelen L-kenarı gibi bir kenar görülebilir (Yıldırım, 2018; Garad, 2019).

Gelen radyasyonun sebep olduğu başlangıçtaki boşlukların tamamı, flüoresans fotonlarını oluşturmayabilir. Bu durumda, Auger etkisi ile Auger elektronu yayınlanır. Flüoresans verimi, yayınlanan flüoresans fotonlarının başlangıçtaki

boşluk sayısına oran olarak tarif edilir. Şekil 3.6’da, K-, L- ve M-kabukları için flüoresans verimlerinin, atom sayısı  $Z$ ’nin fonksiyonu olarak nasıl değiştiği gösterilmektedir. Hafif elementler için flüoresans verim düşük olduğundan, hafif elementlerin ölçümleri diğerlerine göre daha zordur. Farklı çizgileri göstermenin birkaç yolu vardır. Seigbahn notasyonu literatürde kullanılan notasyonlardan biridir. Seigbahn notasyonu, element sembolünü takip eden kabuk ismi ile bir çizgiyi gösterir. İlk elektron boşluğu, bağıl olarak çizgi şiddetine de işaret eden Yunan harfleri ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  vb.) ile gösterilir. Örneğin Fe  $K\alpha$ , K-kabuğundan koparılan bir elektron sebebiyle en kuvvetli demir çizgisidir. Geçişler ve bunlara eşlik eden notasyonlar, Şekil 3.7’de gösterilmektedir (Yıldırım, 2017).



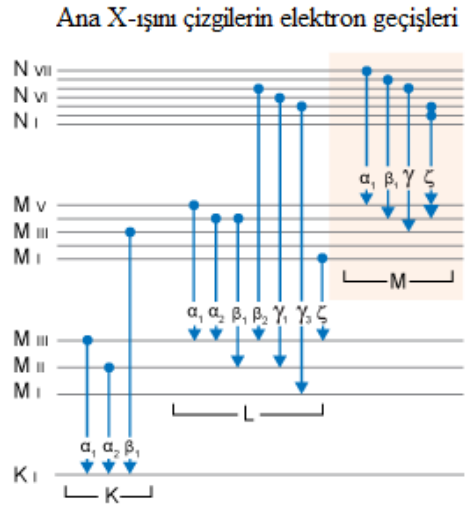
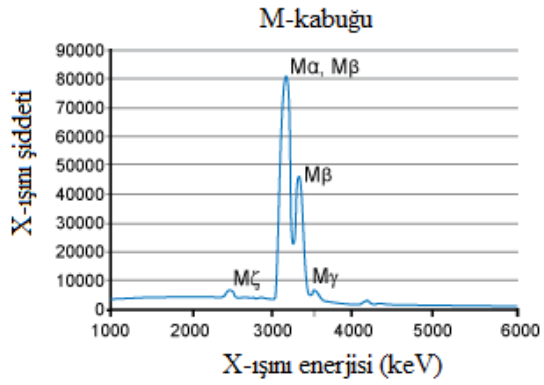
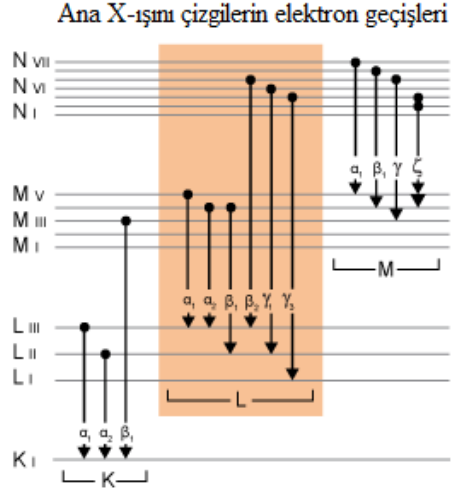
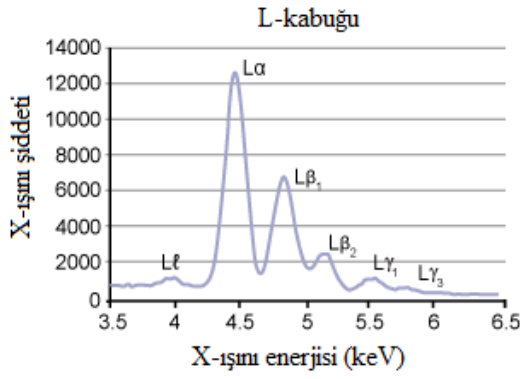
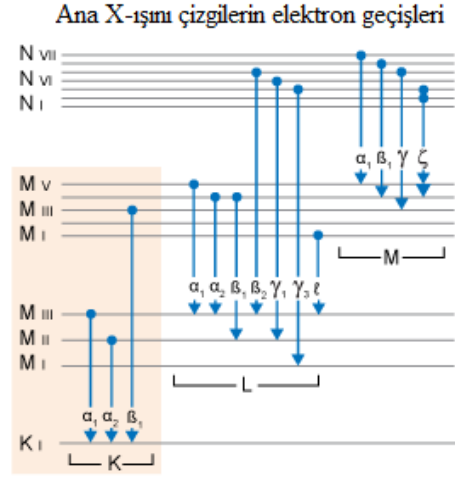
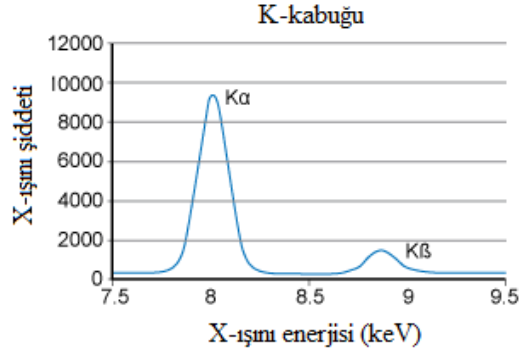
Şekil 3.5. Enerjiye karşı soğurulma (Yıldırım, 2017)



Şekil 3.6. K, L ve M elektronları için flüoresans verim (Yıldırım, 2017)

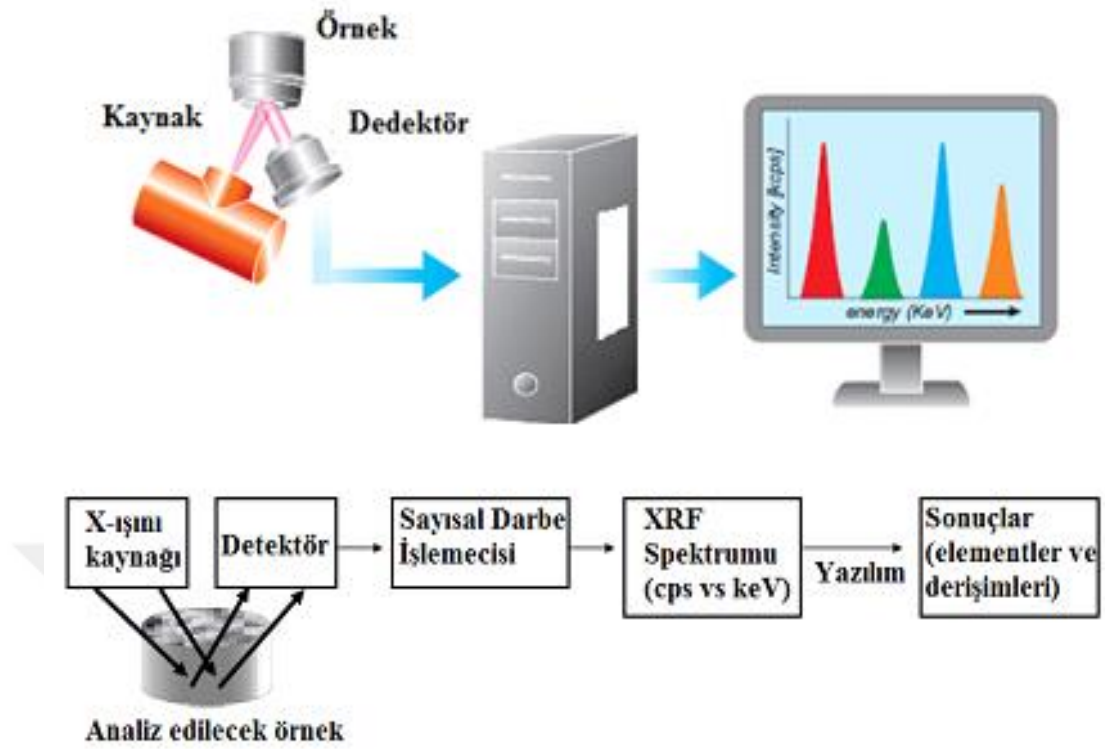
Şekil 3.8’de şematik olarak gösterildiği gibi bir XRF spektrometresi, X-ışını kaynağı, dedektör ve veri toplama-işleme sistemi olmak üzere 3 bölümden oluşur. Spektrometrelerin çoğunda X-ışını kaynağı olarak uyarma voltajı enerjisi 15-50 kV ve akımı 10-200 $\mu$ A aralığında değişen X-ışını tüpü kullanılmaktadır. X-ışını üretmek için hedef malzeme olarak genellikle Ag veya Rh bazılarında ise Cr, W, Au ve Mo kullanılabilir. Dalga boyu dağılımlı ve enerji dağılımlı olmak üzere iki tip XRF spektrometresi mevcuttur. Bu iki spektrometre arasındaki temel fark X-ışını dedektör sistemleridir.

Bir enerji dağılımlı XRF spektrometresinde, örnekten doğrudan gelen farklı enerjilerdeki karakteristik X-ışını ölçme kapasitesine sahip lityum sürüklenmiş silisyum (Si(Li)) diyotu olan bir dedektör kullanılmaktadır. Bir EDXRF spektrometresinde, örnekten doğrudan gelen farklı enerjilerdeki karakteristik ışını ölçme kapasitesine sahip bir dedektör kullanılmaktadır. Dedektör, örnekten gelen radyasyonu, örnek içindeki elementlerden gelen radyasyona ayırabilir. Bu ayırma işlemi dağılım olarak isimlendirilir.



Şekil 3.7. Ana çizgiler ve elektron geçişleri (Yıldırım, 2017)





Şekil 3.8. EDXRF analiz sisteminin blok diyagramı

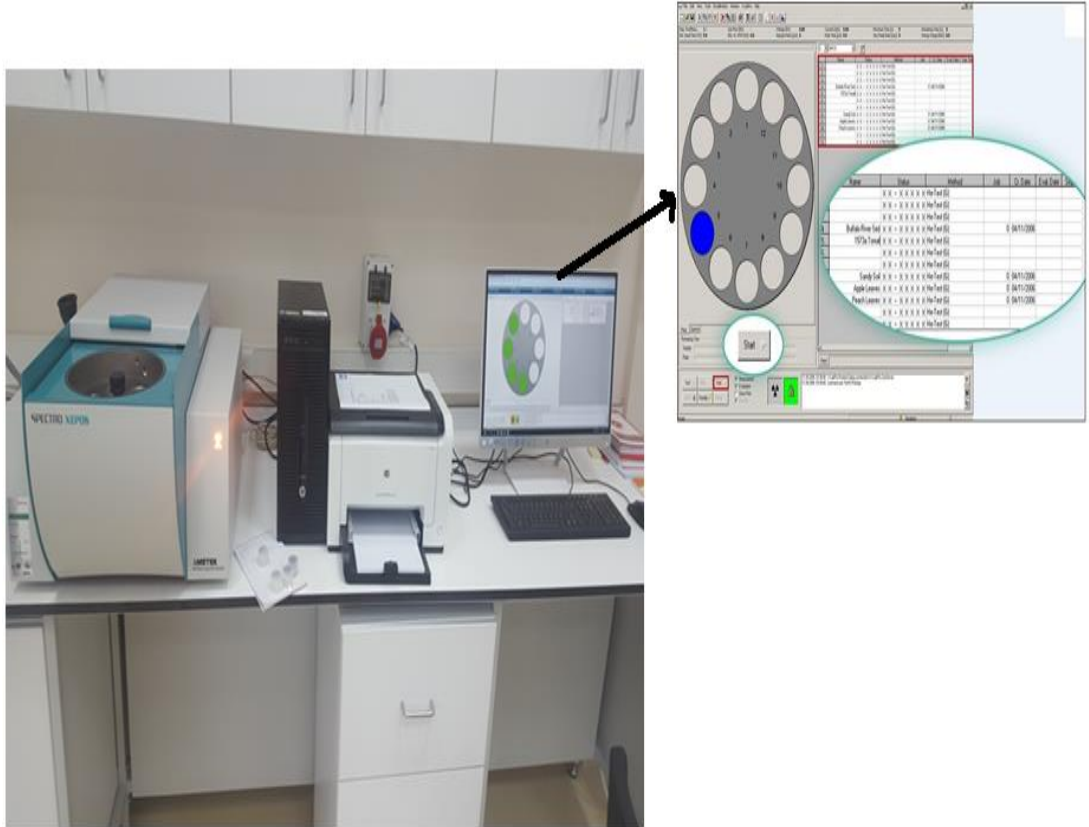
EDXRF spektrometreleri, 2D ve 3D optiklere sahip spektrometrelere ayrılabilir. Her ikisi de bir kaynak ve bir enerji dağılımlı dedektöre sahiptir ancak X-ışını optik yolunda fark olabilir. Bir dalga boyu dağılımlı XRF spektrometresinde algılama sistemi, kolimatör seti, kırınım (difraksiyon) kristali ve bir dedektörden oluşmaktadır. Örnekten gelen karakteristik X-ışını kristal üzerine düşer ve kristal aynı prizmanın beyaz ışığı, kırınımına uğrattığı gibi X-ışınlarını farklı yönlerde farklı dalga boylarına (enerjilerine) ayırarak şekilde ayırarak şekilde kırınımına uğrattır.

### 3.3.1. Elemental Analiz için Kullanılan EDXRF Spektrometresi

Zeolit örneklerinin içerdiği birincil veya ana, ikincil ve eser elementlerin nitel ve nicel analizleri, Fotoğraf 3.2’te gösterilen EDXRF spektrometresi (Spekro Xepos, Ametek) kullanılarak yapıldı. EDXRF spektrometresi, ikili kalın Pd/Co karışımdan oluşan anot X-ışını tüpü (50 W, 60 kV) ile donatılmıştır. Kutuplanma ve ikincil hedefleri kullanarak uyarıyı optimize eden EDXRF spektrometresinin sahip olduğu hedef değiştirici, Na’dan U’ya kadar bütün elementlerin belirlenmesini en iyi şekilde yapmayı garanti eden birçok farklı uyarıma şartlarına sahiptir. Ölçme



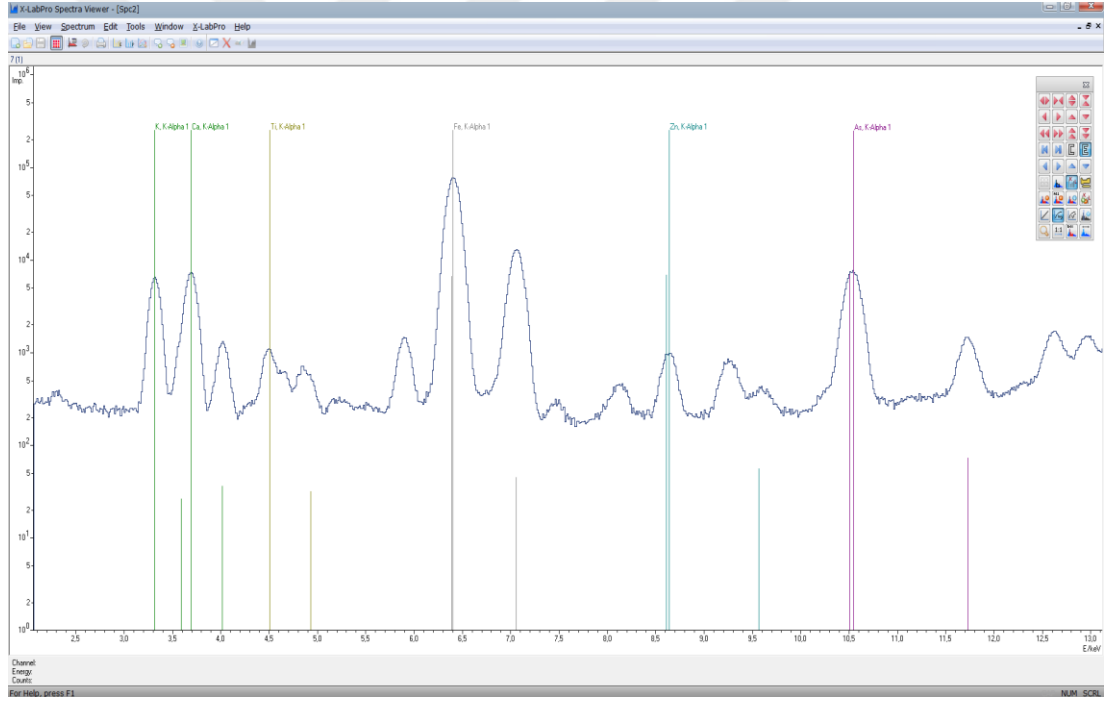
işlemleri, He gazı ortamında yapılmaktadır. Sistemin spektral çözünürlüğü, 155 eV'den daha düşüktür. EDXRF spektrometresi aynı anda otomatik olarak 12 adet örnek alma cihazına ve örnekleri analiz edecek yazılıma sahiptir (Garad, 2019). EDXRF spektrometresi, genellikle temel parametreler yöntemine dayanan “standartsız” kalibrasyon gibi karmaşık kalibrasyon tekniklerini kullanır. EDXRF sisteminin kalite güvencesi için toprak sertifikalı referans malzeme (NIST SRM 2709) kullanılmıştır. Sertifikalı referans malzemesinin EDXRF sonuçları, Tablo 3.1'de verilmiştir. Her zeolit örneği için hazırlanan örnek kapları, otomatik örnekleyiciye yerleştirilerek 2 saat boyunca saymak suretiyle analiz prosedürleri tamamlanmıştır. Analitik prosedürün toplam belirsizliği, % 4 ila % 15 arasındadır. Sayım sonucunda elde edilen her bir zeolit örneğinin XRF spektrumu, sistemde yüklü olan yazılım yardımı ile değerlendirildi Bir zeolit örneğinin EDXRF spektrumu, Grafik 3.1'de gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.2. Analiz işlemleri için kullanılan EDXRF spektrometresi

Tablo 3.1. Sertifikalı referans malzemesinin EDXRF ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Element	Element derişimi (mg/kg)	
	Sertifika değeri	Analiz edilen değeri
As	17,7 ± 0,8	19,0 ± 0,2
Ba	968 ± 40	995 ± 2
Co	13,4 ± 0,7	11 ± 2
Cr	130 ± 4	145,1 ± 0,3
Cu	34,6 ± 0,7	33,3 ± 0,5
Fe	35000 ± 1100	34360 ± 20
Hg	1,4 ± 0,1	1,1 ± 0,2
Mn	538 ± 17	566 ± 1
Ni	88 ± 5	78 ± 1
Pb	18,9 ± 0,5	18,1 ± 0,4
V	112 ± 5	112 ± 0,8



Grafik 3.1. Z7 kodlu zeolit örneğinin XRF spektrumu

### 3.4. Doğal Radyasyondan Kaynaklanan Isı Üretiminin Hesaplanması

Isı üretimi ve akışı, dünya (yer) kabuğunun temel özellikleridir. Dünyanın iç ısısının ana kaynağını, ilk ısı kaynağı (iç sıcaklığın şu an olduğundan çok daha yüksek olduğu ilk tarihten bu yana dünyanın soğumasıdır) ve (2) uzun ömürlü radyonüklitler

olmak üzere iki kaynak oluşturmaktadır (Joshua ve Alab, 2012). Kıtaların ısı (termal) yapısı ve evrimi, yer kabuğundaki radyoaktif ısı kaynaklarının miktarına ve dağılımına büyük ölçüde bağlıdır (Bubu ve Ononugbo, 2017). Bu sebeple, yer kabuğu içindeki doğal radyasyondan kaynaklanan (radyojenik) ısı üretimi, kıtasal kabuğun ısı yapısını belirleyen ve iç ısı üretimindeki değişimin, başkalaşım (metamorfizm), magmatizma ve deformasyon gibi sıcaklığa bağlı kabuk ile ilgili süreçler için önemli etkileri olabilecek başlıca parametredir (Slagstad, 2006). Ayrıca, litosfer içindeki sıcaklık dağılımını belirtmek için kabuk ve litosferik manto içindeki radyonüklit ısı üretimi dağılımının bilinmesi gerekir. Uranyum ( $^{238}\text{U}$ ), toryum ( $^{232}\text{Th}$ ), aktinyum ( $^{235}\text{U}$ ) doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitlerin ve radyoaktif potasyum ( $^{40}\text{K}$ ) izotopunun radyoaktif bozunum sonrasında yayınladıkları tanecik (alfa, beta, nötrino) ve elektromanyetik (gama, X-ışını) radyasyon, en büyük iç ısı kaynağını oluşturmaktadır. Radyoaktif bozunumlar esnasında, yayımlanan iyonlaştırıcı radyasyonun kinetik enerjileri, kayalarda ve topraklarda soğurularak ısıya dönüşür. Genel olarak, herhangi bir kayacın radyojenik ısı üretim hızı (RIÜH), uranyum, toryum ve potasyumun oluşturduğu ısının toplamı olarak aşağıda verilen formül ile hesaplanır (Clauser, 2011):

$$\text{RIÜH} = \rho \cdot (A_U \cdot \dot{U}H_U + A_{Th} \cdot \dot{U}H_{Th} + A_K \cdot \dot{U}H_K) \quad (3.1)$$

Burada,  $\rho$ , kayacın yoğunluğu;  $A_U$ ,  $A_{Th}$  ve  $A_K$ , kayacın içerdiği uranyum, toryum ve potasyum derişimi ve  $\dot{U}H$  ise kütle başına ısı üretim hızıdır.  $\dot{U}H$ , bir takım simülasyon hesaplamaları sonucunda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  için, sırasıyla,  $95,2 \mu\text{W/kg}$ ,  $25,6 \mu\text{W/kg}$  ve  $0,00348 \mu\text{W/kg}$  olarak hesaplanmıştır (Clauser, 2011). Eğer bir kayacın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ) ve içerdiği radyonüklit derişimleri ( $U$  ve  $Th$   $\text{mg/kg}$  ve  $K$  % cinsinden) biliniyorsa, radyojenik ısı üretimi (RIÜ,  $\mu\text{W/m}^3$  cinsinden),

$$\text{RIÜ} = 10^{-5} \cdot \rho \cdot (9,52 \cdot A_U + 2,56 \cdot A_{Th} + 3,48 \cdot A_K) \quad (3.2)$$

formülü ile hesaplanır (Clauser, 2011).

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, (1) zeolit örneğinin içerdiği elementler, derişimlerine göre ana (majör) veya birincil (derişim değeri, %1'den daha büyük), ikincil veya minör (derişim değeri, %0,1 – %1 aralığında) ve eser (derişim değeri, %0,1'den küçük) olmak üzere üç gruba ayrıldı ve (2) yoğunluğu, suyun yoğunluğundan en az 5 kat daha yüksek olan büyük atom ağırlığına sahip doğal metaller, ağır metal olarak isimlendirildi. Tez kapsamında, Türkiye'de ticari olarak işletilen ve Manisa Gördes'te bulunan 4 farklı zeolit ocağından toplanan 81 klinoptilolit tip zeolit örneğinde, EDXRF spektrometrik teknik ile birincil, ikincil ve eser element olmak üzere toplam 42 element analiz edildi. Bu bölümde,

(1) Zeolit ocaklarının pH değerleri,

(2) Her bir ocak için analiz edilen ana, ikincil ve eser oksit ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SrO}$ ) derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgiler,

(3) çevre ve insan sağlığı açısından birinci derecede eser miktardaki zehirli (toksik) ağır metal ( $\text{Cr}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Cd}$  ve  $\text{Pb}$ ) derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgiler,

(4) eser miktardaki ağır metal ( $\text{V}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Te}$ ,  $\text{Hf}$ ,  $\text{Ta}$  ve  $\text{W}$ ) derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgiler,

(5) eser miktardaki radyoaktif element ( $\text{Th}$  ve  $\text{U}$ ) derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgiler,

(6) eser miktardaki nadir toprak elementi ( $\text{Y}$ ,  $\text{La}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Pr}$  ve  $\text{Nd}$ ) ve diğer eser element ( $\text{Rb}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{I}$ ,  $\text{Cs}$  ve  $\text{Ba}$ ) derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgiler,

(7) her bir zeolit örneği için hesaplanan radyojenik ısı üretimine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgiler ve

(8) her bir zeolit ocağı için  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranları, tablolar hâlinde sunuldu.

İlave olarak zeolit ocaklarının element derişimleri ile literatürde yer alan diğer çalışma sonuçları ve yer kabuğu ortalaması ile karşılaştırılması grafikler ve tablo hâlinde sunuldu.

#### 4.1. Zeolit Ocaklarının pH Değerleri

Zeolit ocaklarının pH değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Gördes klinoptilolitinin pH değerleri ortalaması 7,4 (hafif alkali) olmak üzere 6,8 (hafif asit) ila 8,0 (hafif alkali) aralığında değişmektedir.

Tablo 4.1. Zeolit ocaklarının pH değerleri

Ocak kodu	pH değeri		
	Aralık (en küçük-en büyük)	Ortalama	Asitlik/alkalilik derecesi
ZO1	6,8 – 8,0	7,4	Hafif alkali
ZO2	7,5 – 7,7	7,6	Hafif alkali
ZO3	6,5 – 7,7	7,5	Hafif alkali
ZO4	7,0 – 7,7	7,3	Hafif alkali

#### 4.2. Zeolit Ocaklarının Oksit İçerikleri

Gördes klinoptilolitinin oksit içeriğine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.2’de, klinoptilolitinin ortalama oksit derişim değerleri ile literatürde yer alan çalışma sonuçları ile karşılaştırılması, Tablo 4.3’te ve klinoptilolitinin ortalama oksit derişim değerleri ile Yaroshevsky (2006)’dan alınan granit-başkalaşım kabuk ortalaması ve yer kabuğu ortalamasının karşılaştırılması ise Grafik 4.1’de sunulmuştur. Gördes klinoptilolitinin içerdiği oksit seviyeleri (% cinsinden),  $\text{SiO}_2$ : 52,6 - 78,8;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 9,3 - 16,3;  $\text{K}_2\text{O}$ : 1,9 - 4,1;  $\text{CaO}$ : 1,6 - 4,3;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 1,1 - 2,2;  $\text{MgO}$ : 0,6 - 2,4;  $\text{Na}_2\text{O}$ : 0,7 - 1,8;  $\text{TiO}_2$ : 0,05 - 0,12;  $\text{SrO}$ : 0,12 - 0,11;  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 0,02 - 0,07 ve  $\text{MnO}$ : 0,03 - 0,05 aralığında değişmektedir.

ZO1 ve ZO2 kodlu ocakların oksit içeriklerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.4'te ve ZO3 ve ZO4 kodlu ocakların oksit içeriklerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi Tablo 4.5'te verilmiştir. Tablolardan görülebileceği gibi kükürt trioksit veya sülfür SO<sub>3</sub> sadece ZO1 kodlu ocaktan toplanan zeolit örneklerinde analiz edildi. Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'ten, en düşük ve en yüksek Na<sub>2</sub>O derişimi ZO4 kodlu ocakta; MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oksitlerinin en düşük derişimi ZO4 kodlu ve en yüksek derişimi ZO1 kodlu; SiO<sub>2</sub> ve MnO oksitlerinin en düşük derişimi ZO4 kodlu ve en yüksek derişimi ZO3 kodlu; K<sub>2</sub>O oksidinin en düşük derişimi ZO2 kodlu ve en yüksek derişimi ZO3 kodlu; CaO oksidinin en düşük derişimi ZO3 kodlu ve en yüksek derişimi ZO2 kodlu; TiO<sub>2</sub> oksidinin en düşük derişimi ZO1 kodlu ve en yüksek derişimi ZO2 kodlu; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oksidinin en düşük derişimi ZO3 kodlu ve en yüksek derişimi ZO4 kodlu ve SrO oksidinin en düşük derişimi ZO3 kodlu ve en yüksek derişimi ZO1 kodlu ocakta ölçüldü.

#### **4.3. Zeolit Ocaklarının SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Oranları**

Oluşan zeolitlerin türü, sıcaklık, basınç, reaktif çözeltilerinin derişimi, pH, aktivasyon ve yaşlanma süreci, hammaddelerin SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğinin bir fonksiyonudur. SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına bağlı olarak, zeolitler, düşük silika zeolitler (SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı ≤ 2), orta silika zeolitler (SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı 2 - 5 aralığında) ve yüksek silika zeolitler (SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı > 5) olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir veya derecelendirilebilir. Genel olarak, zeolitler için, bu parametrede bir artış, asit direnci, ısıl kararlılık vb. parametrelerde önemli ölçüde artışa sebep olmaktadır (Munthali vd., 2014).

#### **4.4. Zeolit Ocaklarının Toksik Ağır Metal İçerikleri**

Gördes klinoptilolitinin içerdiği insan ve çevre sağlığı açısından birincil derecede toksik olan eser ağır metal derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.7'de verilmiştir. Gördes klinoptilolitin içerdiği toksik ağır metal seviyeleri, Zr: 43,1 – 122,5 mg/kg, Zn: 25,6 – 140,3 mg/kg, Pb: 22,8 – 78,6 mg/kg, As: 0,8 – 148,5 mg/kg, Ni: 6,2 – 14,5 mg/kg, Co: 6,0 – 17,2 mg/kg, Cr: 1,5 – 15,1 mg/kg, Cu: 2,1 – 6,9 mg/kg ve Cd: 1,2 – 4,6 mg/kg aralığında değişmektedir. Klinoptilolitin

ortalama toksik ağır metal derişim değerleri ile yer kabuğu ortalamasının karşılaştırılması, Grafik 4.2’de gösterilmiştir. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu ocakların toksik ağır metal derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.8’de verilmiştir.

Gördes klinoptilolitin içerdiği diğer ağır metal seviyeleri, V: 0,5 – 16,0 mg/kg, Ga: 10,9 – 19,6 mg/kg, Nb: 8,3 – 14,3 mg/kg, Ag: 1,0 – 9,7 mg/kg, Sn: 0,2 – 11,1 mg/kg, Te: 0,2 – 16,6 mg/kg, Hf: 2,6 – 7,9 mg/kg, Ta: 13,7 – 33,3 mg/kg ve W: 0,5 – 4,6 mg/kg aralığında değişmektedir. Klinoptilolitinin ortalama ağır metal derişim değerleri ile yer kabuğu ortalamasının karşılaştırılması, Grafik 4.3’te gösterilmiştir. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu ocakların toksik ağır metal derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.9’da verilmiştir.

#### **4.5. Zeolit Ocaklarının Radyoaktif Element İçerikleri**

Gördes klinoptilolitinin içerdiği radyoaktif element derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.10’da verilmiştir. Gördes klinoptilolitin içerdiği toryumun seviyesi 21,7 – 37,1 mg/kg aralığında ve uranyumun seviyesi ise 3,3 – 10,7 mg/kg aralığında değişmektedir. Klinoptilolitinin ortalama radyoaktif element derişim değerleri ile yer kabuğu ortalamasının karşılaştırılması, Grafik 4.4’de gösterilmiştir. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu ocakların radyoaktif element derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.11’de verilmiştir.

#### **4.6. Zeolit Ocaklarının Nadir Toprak ve Diğer Element İçerikleri**

Gördes klinoptilolitin içerdiği nadir toprak element seviyeleri, Y: 9,2 – 24,0 mg/kg, La: 1,9 – 146,9 mg/kg, Ce: 1,7 – 146,0 mg/kg, Pr: 1,3 – 136,0 mg/kg ve Nd: 16,0 – 89,9 mg/kg aralığında değişmektedir. Klinoptilolitinin nadir toprak element derişim değerleri ile yer kabuğu ortalamasının karşılaştırılması, Grafik 4.5’te gösterilmiştir. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu ocakların nadir toprak element derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.12’de verilmiştir. Gördes klinoptilolitin içerdiği diğer element seviyeleri, Rb: 81,8 – 216,1 mg/kg, Sb: 0,2 – 11,4 mg/kg, I: 1,9 – 14,4 mg/kg, Cs: 4,0 – 294,3 mg/kg ve Ba: 45,6 – 1452,0 mg/kg aralığında değişmektedir.

Tablo 4.2. Gördes klinoptilolitinin içerdiği oksitlere ilişkin tanımlayıcı bilgi

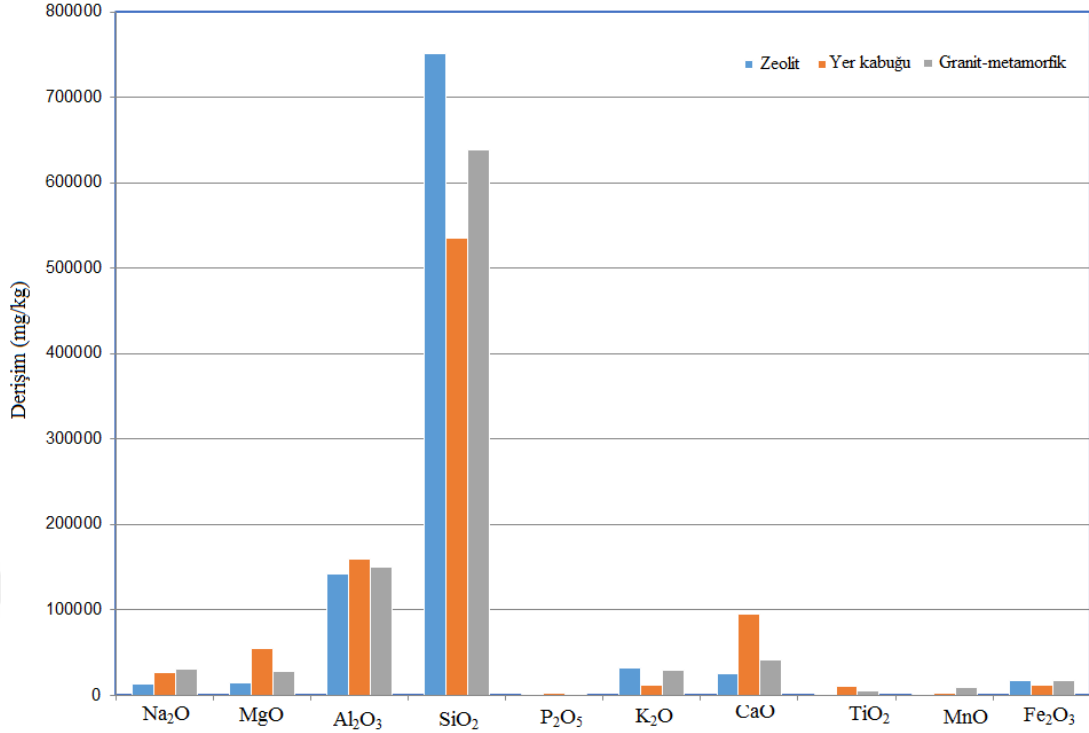
	Oksit derişimi (%)										
	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO
Ortalama	1,328	1,392	14,119	75,064	0,036	3,166	2,446	0,090	0,032	1,687	0,039
SH*	0,027	0,050	0,163	0,564	0,002	0,067	0,067	0,002	0,001	0,034	0,002
Ortanca	1,341	1,213	14,570	77,410	0,029	3,444	2,394	0,092	0,029	1,656	0,032
SS*	0,241	0,452	1,465	5,073	0,015	0,606	0,600	0,015	0,009	0,302	0,022
Basıklık	-0,553	-0,593	0,446	3,951	-0,091	-0,631	3,356	-0,006	-0,669	-0,895	2,919
Çarpıklık	-0,291	0,753	-0,973	-1,901	1,084	-0,778	1,845	-0,326	0,545	-0,186	1,998
En küçük	0,723	0,581	9,337	52,630	0,016	1,895	1,616	0,054	0,017	1,095	0,017
En büyük	1,817	2,361	16,340	78,830	0,072	4,061	4,343	0,121	0,053	2,195	0,106
N*	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
Granit-metamorfik kabuk	3,02	2,83	14,92	63,81	0,141	2,84	4,08	0,537	0,86	1,75	-
Yer kabuğu	2,66	5,44	15,87	53,54	0,189	1,09	9,41	0,97	0,164	1,11	-

\*SH: Standart Hata, SS: Standart Sapma, N: Örnek sayısı



Tablo 4.3. Gördes zeolitinin ortalama oksit derişimlerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması

Zeolit tipi	Bölge	Oksit derişimi (%)											Kaynak
		Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	
CLI	Bigadiç (Balıkesir)	0,17	1,19	11	67,22	1,51	3,32	0,8	0,07	-	-	-	Yıldız vd. (2011)
CLI	Bigadiç (Balıkesir)	0,25	0,83	11,8	71,5	4,6	2,65	0,88	0,1	-	-	-	Ulusoy ve Albayrak (2009)
CLI	Gördes (Manisa)	0,6	0,7	11,8	73,21	2,73	2,96	0,93	0,1	-	-	-	Ulusoy ve Albayrak (2009)
CLI	Ukrayna	2,6	0,4	13,23	73,9	3,72	2,68	2,07	-	-	-	-	Shadrikov ve Petukhov (2014)
CLI	Gördes (Manisa)	0,28	0,83	12,4	70,9	4,46	2,54	1,21	0,089	-	0,02	-	Demir ve Polat (2003)
CLI+HEU	Gördes (Manisa)	0,63	0,82	10,49	73,11	1,15	1,61	1,41	-	-	-	-	Bilgin (2009)
CLI+HEU		0,46	0,88	9,92	72,97	2,62	1,59	1,76	-	-	-	-	
CLI+HEU		0,22	0,69	8,78	74,26	1,9	2,62	0,92	-	-	-	-	
CHA		0,66	0,11	9,3	77,42	3,66	0,48	0,96	-	-	-	-	
CLI	Gördes (Manisa)	0,92	0,42	12,056	71,98	4,28	1,99	0,45	-	-	0,03	0,02	Ünaldı ve Yıldırım (2009)
CLI	Gördes (Manisa)	0,4	0,8	11,5	74,5	2,7	3,2	1,5	-	-	-	-	Albayrak (2010)
CLI	Bigadiç (Balıkesir)	0,43	1,25	11,68	71,83	3,7	3,39	1,15	0,07	0,03	-	-	Moralı (2006)
CLI	Gördes (Manisa)	0,66	0,76	11,54	67,57	4,27	2,17	1,34	-	-	-	-	Mızrak (2010)
CLI	Gördes (Manisa)	0,18	0,71	11,32	75,84	3,76	2,12	0,93	0,08	0,01	-	-	Keskin (2005)
CLI	Gördes (Manisa)	0,52	1,13	13,11	69,31	2,83	2,07	-	-	-	-	0,1	Erdem vd.(2004)
CLI	Bigadiç (Balıkesir)	0,18	1,01	9,99	64,99	1,95	3,51	-	-	-	-	-	Gunay (2007)
CLI	Gördes (Manisa)	0,69	1,58	13,61	72,09	3,49	2,64	1,91	0,102	0,07	0,056	0,3	Kurudirek vd. (2010)
CLI	Gördes (Manisa) ZO1	1,48	2,17	15,58	76,9	2,4	2,08	1,55	0,06	0,03	0,07	0,34	Bu çalışma
	Gördes (Manisa) ZO2	1,29	1,98	13,91	74,8	2,07	3,86	1,28	0,11	0,03	0,05	-	
	Gördes (Manisa) ZO3	1,24	1,36	14,05	77,66	3,61	2,17	1,54	0,1	0,04	0,03	-	
	Gördes (Manisa) ZO4	1,35	1,04	13,82	72,95	3,38	2,34	1,93	0,09	0,03	0,02	-	



Grafik 4.1. Gördes zeolitinin oksit derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması

Klinoptilolitinin diğer element derişim değerleri ile yer kabuğu ortalamasının karşılaştırılması, Grafik 4.6'da gösterilmiştir. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu ocakların diğer element derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.13'te verilmiştir.

#### 4.7. Zeolit Örneklerinden Kaynaklanan Radyojenik Isı Üretimi

Radyoaktif potasyum (<sup>40</sup>K), doğal olarak var olan potasyum (<sup>39</sup>K) elementinin bir bolluk oranı % 0,0117 olan bir izotopudur. <sup>40</sup>K, çözülebilir bir inorganik tuz olarak hayvan ve bitki dokularında radyoaktivitenin ana kaynağıdır. Zeolit ocaklarının radyojenik ısı üretimi (RIÜ) değerleri Tablo 4.14'de verilmiştir. Gördes klinoptilolitinin RIÜ değerleri, 2,3 – 4,1  $\mu\text{W}/\text{m}^3$  aralığında değişmektedir. En yüksek RIÜ değerleri, ZO1 ocağı için en düşük RIÜ değerleri ise ZO4 kodlu ocak için hesaplandı. Gördes zeoliti için hesaplanan RIÜ'nün ortalama değerleri ile farklı malzemeler için hesaplanan RIÜ'lerin karşılaştırılması Tablo 4.15'te verilmiştir (Abbady vd., 2004).

Tablo 4.4. ZO1 ve ZO2 kodlu zeolit ocaklarının oksit içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi

Ocak kodu	Oksit derişimi (%)												
	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO	SO <sub>3</sub>	
ZO1	Ortalama	1,481	2,175	15,583	76,899	0,065	2,399	2,084	0,064	0,027	1,554	0,094	0,338
	SH*	0,041	0,033	0,153	0,127	0,002	0,046	0,069	0,002	0,002	0,043	0,003	0,008
	Ortanca	1,523	2,186	15,685	77,025	0,066	2,394	1,997	0,062	0,029	1,578	0,094	0,337
	SS*	0,130	0,105	0,483	0,403	0,005	0,146	0,220	0,008	0,006	0,135	0,010	0,026
	Basıklık	-0,788	-0,528	-0,704	-1,875	-1,440	-0,988	-1,172	-1,100	-0,687	-1,055	-0,291	-0,637
	Çarpıklık	-0,431	0,116	-0,324	-0,273	-0,320	-0,119	0,686	0,406	-0,475	-0,513	-0,517	-0,501
	En Küçük	1,272	2,031	14,840	76,350	0,057	2,166	1,800	0,054	0,018	1,347	0,076	0,290
	En Büyük	1,678	2,361	16,340	77,370	0,072	2,606	2,394	0,077	0,036	1,722	0,106	0,366
	N*	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	ZO2	Ortalama	1,287	1,976	13,910	74,797	0,053	2,072	3,859	0,105	0,034	1,275	0,044
SH*		0,088	0,089	0,532	1,834	0,002	0,061	0,133	0,004	0,001	0,057	0,002	
Ortanca		1,355	2,070	14,540	77,430	0,051	1,997	3,730	0,103	0,033	1,249	0,043	
SS*		0,279	0,281	1,682	5,799	0,005	0,194	0,421	0,013	0,005	0,180	0,008	
Basıklık		-0,702	0,733	1,297	3,499	-0,091	-2,231	-2,323	-2,329	-2,217	-2,433	-2,530	
Çarpıklık		-0,813	-1,368	-1,532	-2,085	0,962	0,261	0,178	0,122	0,144	0,073	0,021	
En küçük		0,808	1,410	10,350	60,890	0,048	1,895	3,453	0,092	0,029	1,104	0,036	
En büyük		1,537	2,191	15,100	77,550	0,063	2,313	4,343	0,121	0,040	1,488	0,052	
N*		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

\* SH: Standart Hata, SS: Standart Sapma, N: Örnek sayısı

Tablo 4.5. ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının oksit içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi

Ocak kodu	Oksit derişimi (%)											
	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO	
ZO3	Ortalama	1,241	1,357	14,050	77,664	0,034	3,614	2,166	0,099	0,043	1,536	0,027
	SH*	0,050	0,033	0,192	0,582	0,001	0,064	0,058	0,002	0,001	0,037	0,001
	Ortanca	1,195	1,407	14,150	78,465	0,033	3,706	2,206	0,100	0,043	1,566	0,027
	SS*	0,244	0,163	0,940	2,852	0,005	0,314	0,282	0,010	0,006	0,183	0,006
	Basıklık	0,257	-0,041	3,992	9,560	-0,960	-0,106	-0,749	1,508	-0,395	0,598	-0,407
	Çarpıklık	0,304	-0,697	-1,786	-3,254	0,526	-0,740	-0,323	-0,970	-0,205	-0,471	0,460
	En Küçük	0,723	0,945	11,350	67,540	0,028	2,927	1,616	0,073	0,029	1,095	0,017
	En Büyük	1,817	1,597	15,230	78,830	0,042	4,061	2,595	0,115	0,053	1,926	0,039
	N*	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ZO4	Ortalama	1,354	1,045	13,824	72,954	0,024	3,379	2,344	0,087	0,025	1,933	0,031
	SH*	0,038	0,025	0,272	0,952	0,000	0,041	0,032	0,001	0,001	0,032	0,001
	Ortanca	1,435	1,094	14,590	77,170	0,024	3,487	2,436	0,088	0,025	2,004	0,032
	SS*	0,233	0,154	1,654	5,789	0,002	0,249	0,196	0,008	0,005	0,196	0,004
	Basıklık	-0,832	0,327	-0,547	2,306	6,067	2,113	1,461	0,502	3,118	0,662	0,075
	Çarpıklık	-0,176	-0,687	-0,564	-1,298	-1,264	-1,603	-1,535	-0,853	1,212	-1,220	-1,003
	En küçük	0,813	0,581	9,337	52,630	0,016	2,574	1,765	0,065	0,017	1,428	0,022
	En büyük	1,772	1,260	15,970	77,780	0,029	3,606	2,512	0,101	0,041	2,195	0,035
	N*	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37

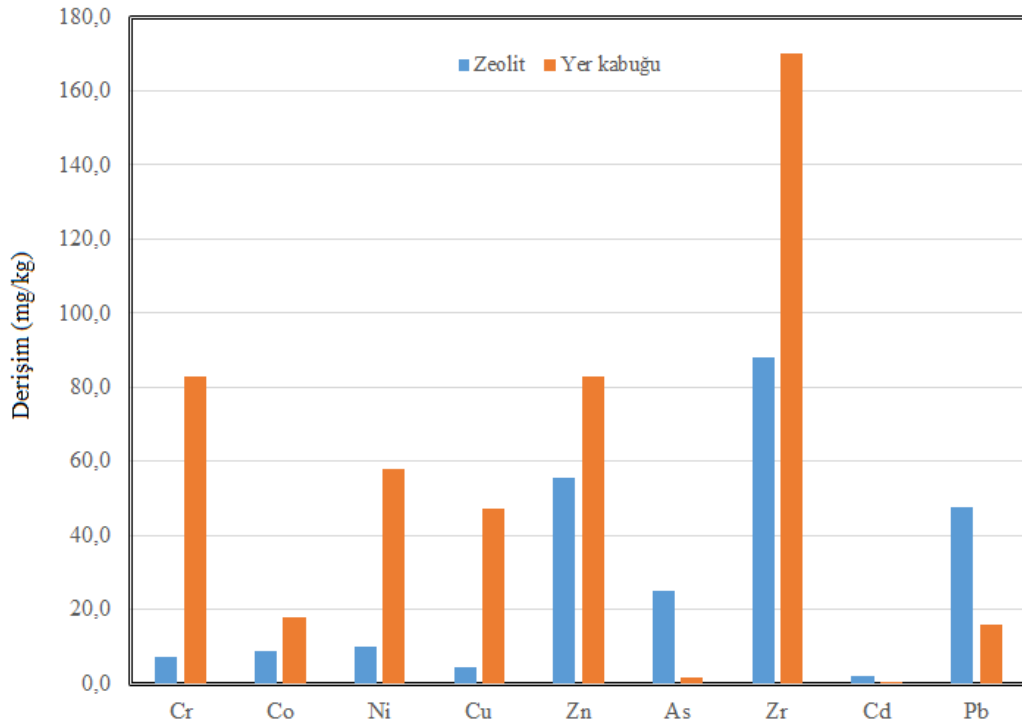
\* SH: Standart Hata, SS: Standart Sapma, N: Örnek sayısı

Tablo 4.6. Gördes zeolit ocaklarının  $SiO_2/Al_2O_3$  oranına göre sınıflandırılması

Ocak kodu	$SiO_2/Al_2O_3$ oranı		
	Aralık (En küçük-En büyük)	Ortalama	Sınıf veya derece
ZO1	4,7 - 5,2	4,9	Orta silika
ZO2	5,1 - 5,9	5,4	Yüksek silika
ZO3	5,2 - 6,0	5,5	Yüksek silika
ZO4	4,9 - 5,6	5,3	Yüksek silika

Tablo 4.7. Gördes klinoptilolitinin içerdiği toksik ağır metallere ilişkin tanımlayıcı bilgi

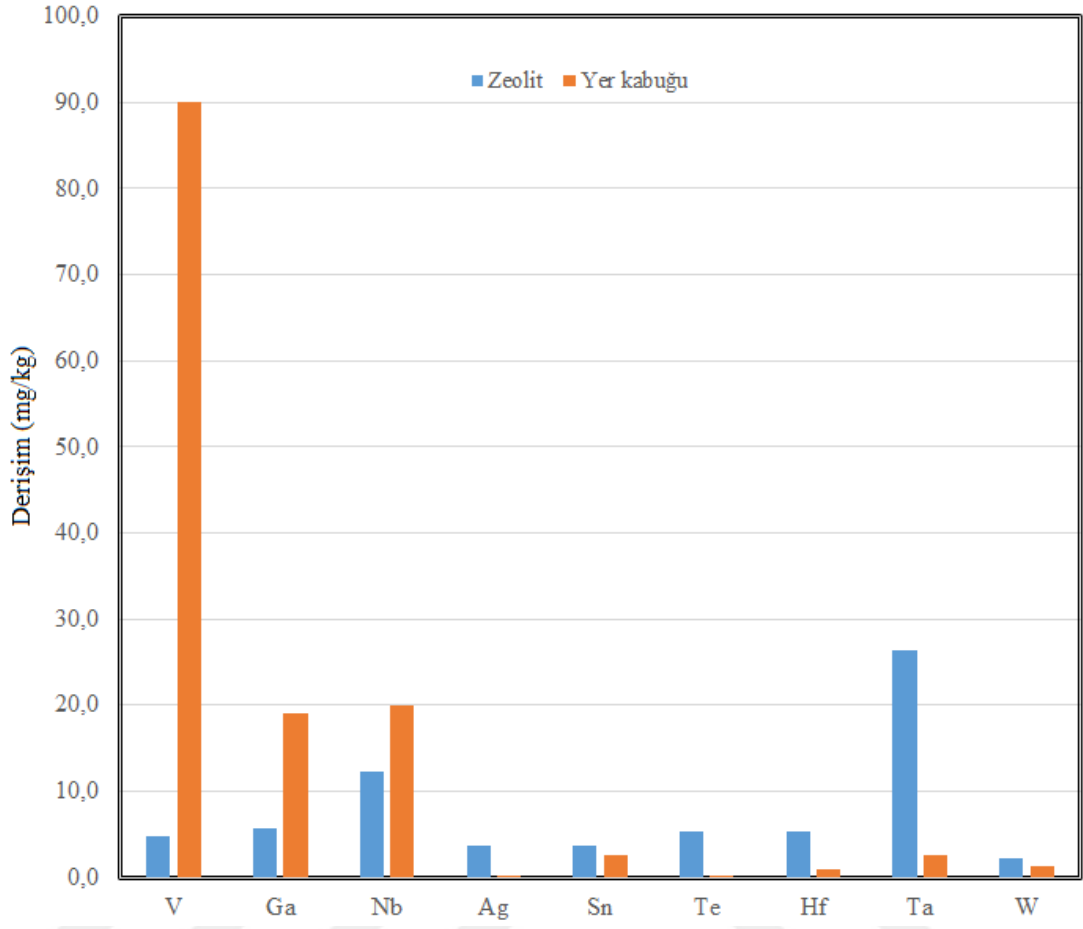
Ağır metal	Toksik ağır metal derişimi (mg/kg)								
	Ortalama	SH	Ortanca	SS	Basıklık	Çarpıklık	En küçük	En büyük	N
Cr	7,3	0,4	5,9	3,7	-0,9	0,6	1,5	15,1	81
Co	8,8	0,3	7,9	2,3	1,9	1,4	6,0	17,2	81
Ni	9,9	0,2	9,3	2,2	-0,9	0,4	6,2	14,5	81
Cu	4,3	0,1	4,2	1,0	0,1	0,3	2,1	6,9	81
Zn	55,5	2,6	48,1	23,2	1,6	1,2	25,6	140,3	81
As	24,8	4,4	11,8	39,5	3,5	2,2	0,8	148,5	81
Zr	87,8	2,2	87,7	19,6	-0,7	-0,4	43,1	122,5	81
Cd	2,1	0,1	1,7	0,8	2,5	1,9	1,2	4,6	81
Pb	47,8	1,1	49,4	10,2	1,0	-0,4	22,8	78,6	81



Grafik 4.2. Gördes zeolitinin toksik ağır metal derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması

Tablo 4.8. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının toksik ağır metal içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi

ZO1	Toksik ağır metal derişimi (mg/kg)								
	Ortalama	SH	Ortanca	SS	Basıklık	Çarpıklık	En küçük	En büyük	N
Cr	4,2	0,4	3,9	1,2	-0,1	-0,1	1,9	5,9	10
Co	8,7	0,4	9,1	1,4	-1,9	0,0	7,2	10,6	10
Ni	9,2	0,2	9,3	0,7	0,8	0,0	8,0	10,4	10
Cu	3,7	0,3	3,8	0,8	-1,7	-0,1	2,6	4,7	10
Zn	35,5	1,2	35,8	3,8	-1,4	-0,2	29,5	40,4	10
As	126,0	5,0	123,1	15,8	-1,3	0,3	103,4	148,5	10
Zr	81,3	2,7	84,2	8,4	2,2	-1,5	62,2	90,0	10
Cd	1,9	0,1	1,9	0,4	3,8	1,0	1,2	2,9	10
Pb	49,1	1,6	49,5	5,1	-1,3	-0,4	41,0	54,6	10
ZO2									
Cr	12,7	0,8	14,0	2,4	-0,9	-0,8	8,3	15,1	10
Co	11,8	0,8	11,4	2,4	0,0	-0,1	7,4	15,3	10
Ni	12,9	0,5	13,7	1,6	-2,0	-0,4	10,7	14,5	10
Cu	4,8	0,4	4,9	1,1	0,8	-0,2	2,6	6,7	10
Zn	31,7	1,5	34,0	4,8	-2,2	-0,4	25,6	36,6	10
As	13,1	0,5	13,6	1,7	-1,5	0,0	11,1	15,7	10
Zr	68,6	3,7	74,7	11,6	-2,1	-0,4	53,3	79,8	10
Cd	3,3	0,3	3,2	0,9	-1,5	0,1	2,0	4,6	10
Pb	28,8	1,5	31,5	4,9	-2,2	-0,4	22,8	33,6	10
ZO3									
Cr	10,4	0,4	10,2	2,1	-0,7	-0,2	6,1	13,8	24
Co	9,5	0,5	9,5	2,5	2,4	1,2	6,0	17,2	24
Ni	11,2	0,3	11,4	1,2	-0,3	-0,6	8,5	13,1	24
Cu	4,9	0,2	4,8	0,8	0,1	0,1	3,2	6,6	24
Zn	43,1	1,2	43,1	6,0	0,6	0,1	31,1	56,5	24
As	21,2	1,0	20,6	4,8	-0,7	0,3	14,1	31,0	24
Zr	75,1	3,7	77,0	18,1	-1,2	-0,2	43,1	100,0	24
Cd	2,3	0,2	1,8	0,9	0,7	1,4	1,4	4,5	24
Pb	47,2	1,3	47,5	6,4	-0,1	-0,5	33,6	58,3	24
ZO4									
Cr	4,6	0,2	5,1	1,3	-0,5	-0,6	1,5	6,6	37
Co	7,5	0,2	7,0	1,1	3,6	2,0	6,4	11,5	37
Ni	8,4	0,3	8,1	1,6	1,7	1,5	6,2	12,9	37
Cu	3,9	0,1	4,0	0,9	2,5	0,9	2,1	6,9	37
Zn	75,2	3,3	72,7	19,8	2,7	1,3	37,2	140,3	37
As	2,9	0,2	3,0	1,3	-1,1	0,0	0,8	5,2	37
Zr	103,1	1,9	107,2	11,3	0,0	-0,9	77,8	122,5	37
Cd	1,6	0,0	1,6	0,1	2,8	-1,5	1,2	1,7	37
Pb	52,9	1,3	53,0	8,1	2,7	0,6	33,7	78,6	37



Grafik 4.3. Gördes zeolitinin ağır metal derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması

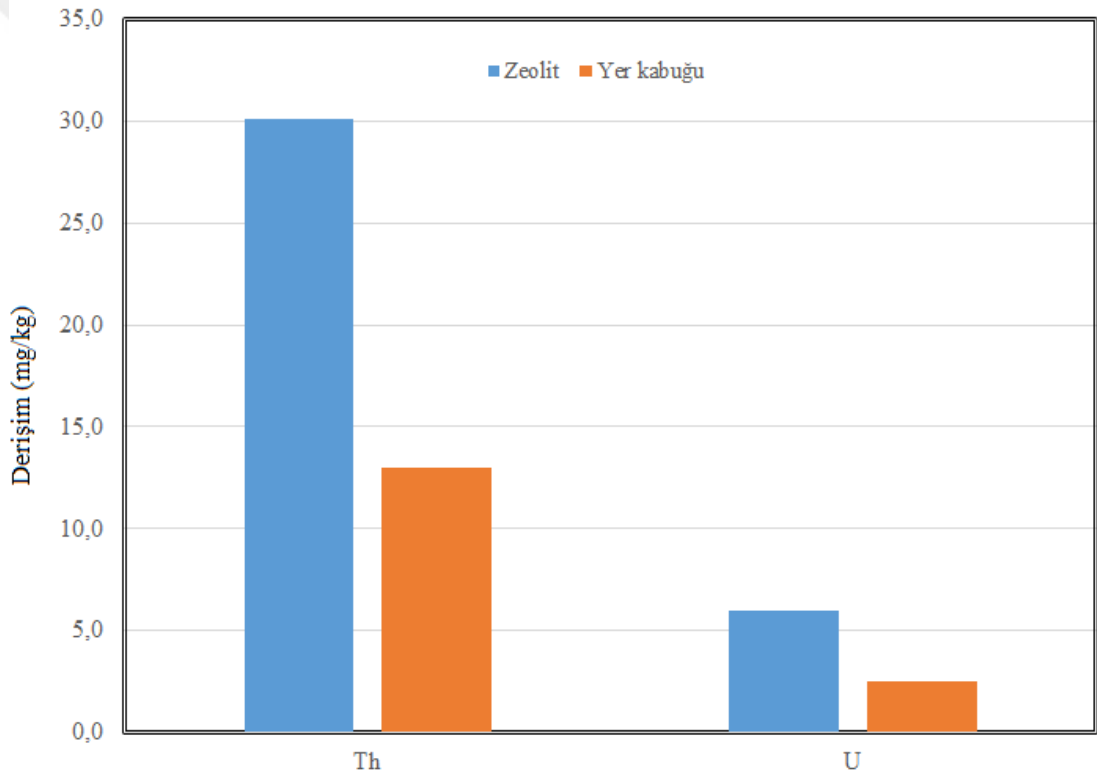
Tablo 4.9. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının ağır metal içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi

ZO1	Ağır metal derişimi (mg/kg)								
	Ortalama	SH	Ortanca	SS	Basıklık	Çarpıklık	En küçük	En büyük	N
V	4,3	0,7	3,9	2,1	-0,1	0,7	1,3	7,7	10
Ga	16,3	0,5	16,4	1,6	1,3	-0,6	12,9	18,7	10
Nb	12,4	0,4	13,0	1,4	0,0	-1,1	9,7	13,5	10
Ag	3,3	0,6	3,2	2,0	-1,0	0,3	1,0	6,7	10
Sn	4,3	0,7	4,9	2,1	-1,4	-0,2	1,2	7,3	10
Te	8,0	1,4	8,8	4,3	-1,1	-0,1	2,0	14,6	10
Hf	5,4	0,4	5,6	1,4	-1,3	-0,1	3,4	7,3	10
Ta	28,0	1,2	29,2	3,9	-0,8	-0,6	20,9	32,5	10
W	3,1	0,2	3,1	0,6	-0,7	0,2	2,3	3,9	10
ZO2									
V	12,2	1,0	12,6	3,1	-1,4	-0,3	7,8	16,0	10
Ga	14,4	0,7	15,2	2,2	-1,4	-0,4	10,9	17,3	10
Nb	11,3	0,7	12,4	2,2	-2,0	-0,3	8,5	14,2	10
Ag	7,8	0,2	7,6	0,6	-1,3	0,4	7,0	8,8	10
Sn	7,9	0,5	7,9	1,6	0,8	0,7	5,6	11,1	10
Te	12,4	0,8	11,7	2,4	-0,5	0,4	8,7	16,6	10
Hf	5,9	0,5	6,1	1,6	-2,1	-0,1	3,8	7,8	10
Ta	26,4	1,5	26,4	4,7	-0,4	-0,6	17,3	31,8	10
W	2,2	0,2	2,1	0,6	-1,4	0,3	1,4	3,1	10
ZO3									
V	7,2	0,7	8,2	3,5	-0,2	-0,2	0,5	14,6	24
Ga	15,9	0,4	16,1	1,8	0,3	-0,4	11,9	19,6	24
Nb	11,5	0,3	11,9	1,6	0,1	-0,9	8,3	13,9	24
Ag	4,7	0,6	4,1	3,2	-1,5	0,2	1,0	9,7	24
Sn	4,4	0,6	3,8	3,0	-1,6	0,2	0,4	9,7	24
Te	5,6	0,6	6,8	3,2	-1,7	0,0	2,0	10,5	24
Hf	4,9	0,3	5,0	1,4	-0,7	0,2	2,6	7,9	24
Ta	23,4	0,9	23,7	4,6	0,0	-0,3	13,7	31,9	24
W	2,8	0,2	2,7	0,9	-0,8	0,3	1,4	4,6	24
ZO4									
V	1,5	0,2	1,4	1,2	0,6	1,1	0,5	4,7	37
Ga	15,6	0,3	16,2	1,6	0,8	-1,3	11,2	17,8	37
Nb	12,9	0,2	13,7	1,5	0,6	-1,3	9,0	14,3	37
Ag	2,1	0,2	1,0	1,5	-0,1	1,1	1,0	5,8	37
Sn	2,1	0,3	1,6	1,8	5,6	2,0	0,2	9,1	37
Te	2,3	0,4	2,0	2,2	19,7	4,0	0,2	13,4	37
Hf	5,4	0,2	5,5	1,1	-0,7	-0,4	3,0	7,3	37
Ta	27,9	0,6	29,3	3,7	-0,3	-0,7	18,5	33,3	37
W	1,5	0,1	1,5	0,5	2,1	0,7	0,5	3,1	37



Tablo 4.10. Gördes klinoptilolitinin içerdiği toryum ve uranyuma ilişkin tanımlayıcı bilgi

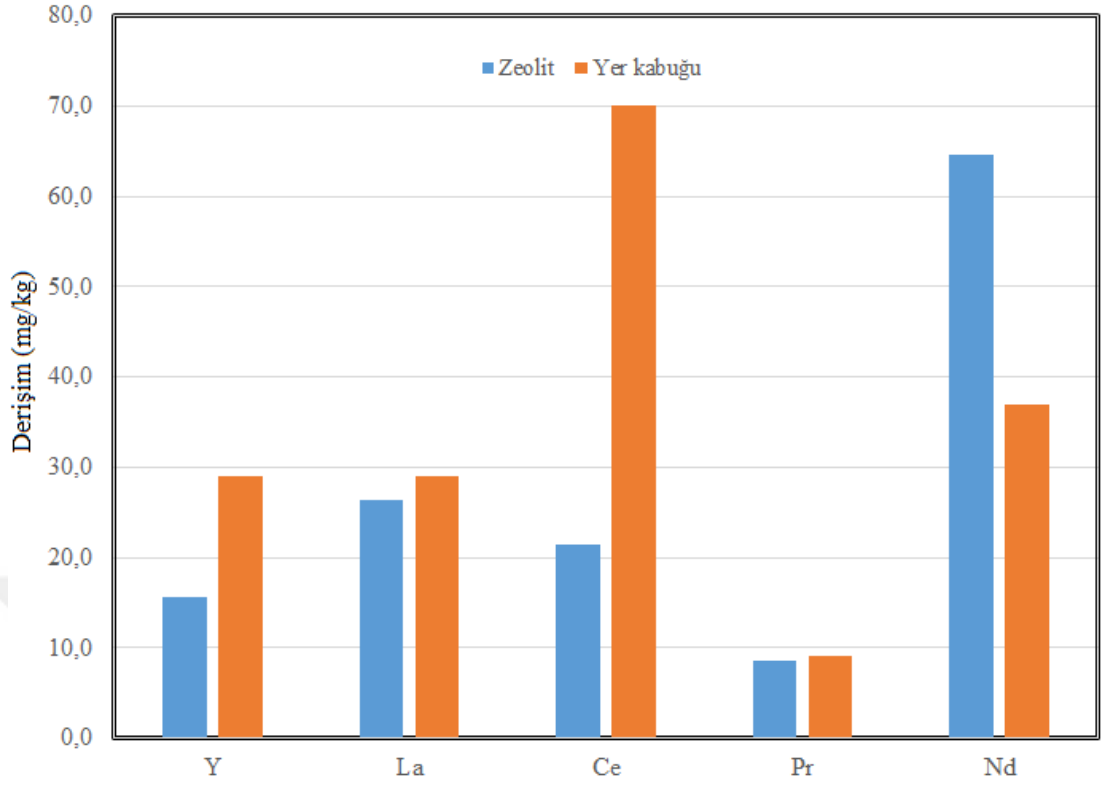
	Radyoaktif element derişimi (mg/kg)	
	Th	U
Ortalama	30,1	6,0
SH	0,4	0,2
Ortanca	30,7	5,6
SS	3,4	1,7
Basıklık	0,0	0,7
Çarpıklık	-0,7	1,1
En küçük	21,7	3,3
En büyük	37,1	10,7
N	81	81



Grafik 4.4. Gördes zeolitinin radyoaktif element derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması

Tablo 4.11. Z01, Z02, Z03 ve Z04 kodlu zeolit ocaklarının toryum ve uranyum içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi

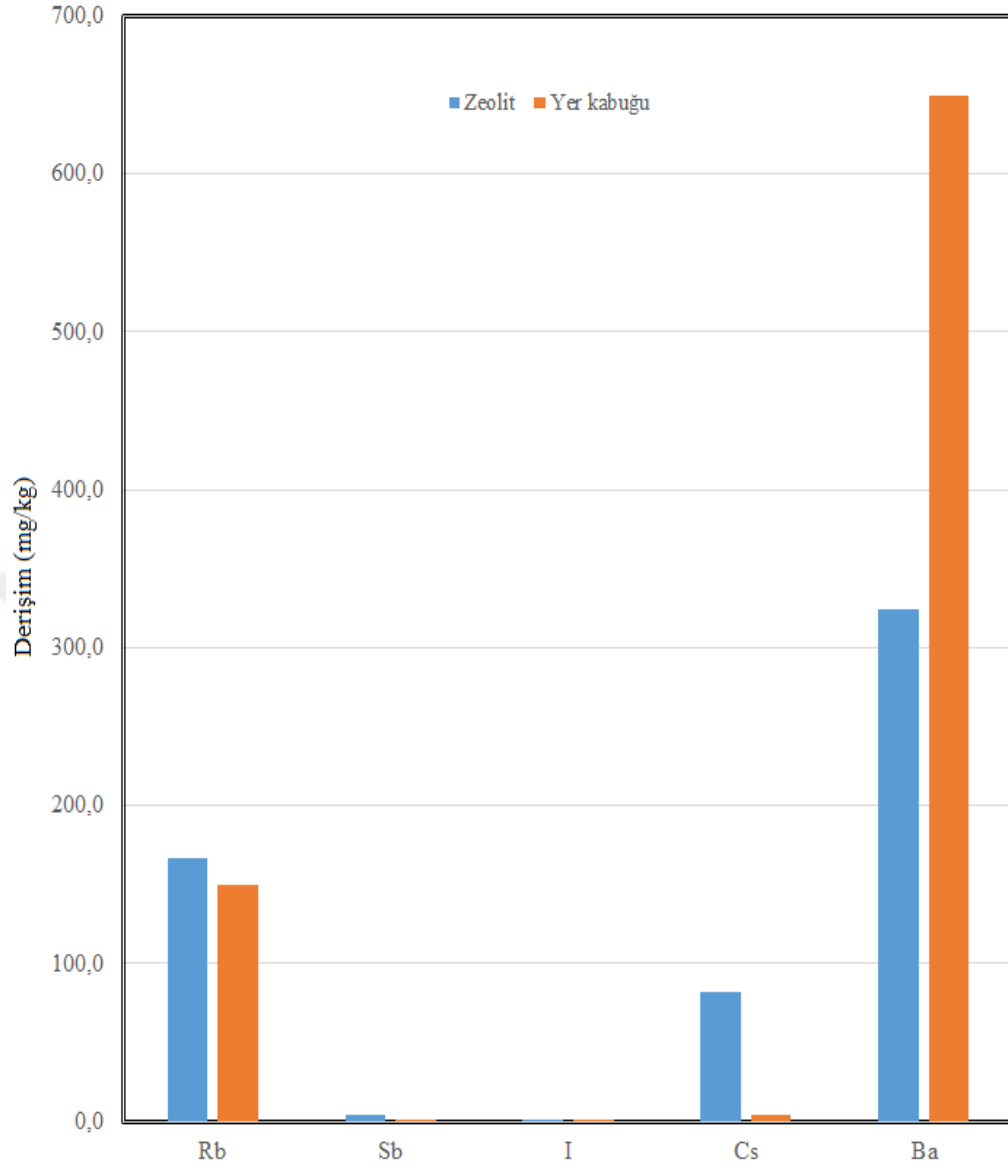
Z01	Radyoaktif element derişimi (mg/kg)	
	Th	U
Ortalama	30,4	9,5
SH	0,8	0,3
Ortanca	30,6	9,6
SS	2,4	1,0
Basıklık	0,2	-1,3
Çarpıklık	-0,9	-0,3
En küçük	26,1	8,0
En büyük	33,5	10,7
N	10	10
<b>Z02</b>		
Ortalama	27,9	6,4
SH	1,4	0,2
Ortanca	30,5	6,4
SS	4,3	0,8
Basıklık	-2,2	-1,4
Çarpıklık	-0,4	0,4
En küçük	22,7	5,5
En büyük	31,9	7,5
N	10	10
<b>Z03</b>		
Ortalama	29,7	6,3
SH	0,8	0,2
Ortanca	30,0	6,2
SS	3,8	1,0
Basıklık	0,0	-0,8
Çarpıklık	-0,2	0,2
En küçük	21,7	4,9
En büyük	37,1	8,3
N	24	24
<b>Z04</b>		
Ortalama	30,9	4,9
SH	0,5	0,1
Ortanca	31,9	4,8
SS	2,9	0,7
Basıklık	0,0	-0,3
Çarpıklık	-0,8	0,0
En küçük	23,6	3,3
En büyük	35,9	6,3
N	37	37



Grafik 4.5. Gördes zeolitinin nadir toprak element derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması

Tablo 4.12. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının nadir toprak element içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi

ZO1	Nadir toprak elementi derişimi (mg/kg)				
	Y	La	Ce	Pr	Nd
Ortalama	21,6	58,8	33,5	15,4	66,4
SH	0,5	17,0	17,4	13,4	2,9
Ortanca	22,0	69,1	1,7	1,6	63,3
SS	1,6	53,9	55,0	42,4	9,2
Basıklık	-0,9	-1,4	0,7	10,0	5,3
Çarpıklık	-0,7	0,2	1,5	3,2	2,1
En küçük	19,0	1,9	1,7	1,3	57,7
En büyük	23,5	146,9	146,0	136,0	89,9
N	10	10	10	10	10
<b>ZO2</b>					
Ortalama	21,4	13,9	15,9	7,4	71,9
SH	0,8	8,2	10,1	2,1	2,6
Ortanca	22,9	1,9	1,7	5,2	73,6
SS	2,7	26,0	31,8	6,7	8,3
Basıklık	-2,2	2,8	4,5	0,0	-0,6
Çarpıklık	-0,4	2,0	2,2	1,1	-0,3
En küçük	18,2	1,9	1,7	1,9	59,2
En büyük	24,0	74,2	95,4	19,9	83,9
N	10	10	10	10	10
<b>ZO3</b>					
Ortalama	17,9	19,0	21,9	8,2	68,0
SH	0,4	6,0	8,6	1,2	1,6
Ortanca	18,1	1,9	1,7	6,4	70,1
SS	1,9	29,3	42,2	6,0	7,9
Basıklık	-0,3	0,2	2,0	1,3	1,0
Çarpıklık	-0,1	1,4	1,9	1,5	-1,0
En küçük	14,5	1,9	1,7	2,0	46,2
En büyük	21,7	83,4	132,1	23,9	78,6
N	24	24	24	24	24
<b>ZO4</b>					
Ortalama	10,9	25,6	19,6	7,4	59,8
SH	0,2	5,9	5,8	0,8	1,2
Ortanca	10,9	1,9	1,7	6,7	60,0
SS	1,0	35,7	35,2	5,1	7,5
Basıklık	4,3	-0,3	0,9	3,0	0,0
Çarpıklık	1,4	1,1	1,6	1,6	0,5
En küçük	9,2	1,9	1,7	2,0	46,0
En büyük	14,8	109,5	108,0	23,2	76,8
N	37	37	37	37	37



Grafik 4.6. Gördes zeolitinin diğer element derişimlerinin yer kabuğu ile karşılaştırılması

Tablo 4.13. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu zeolit ocaklarının diğer element içeriğine ilişkin tanımlayıcı bilgi

ZO1	Diğer eser element derişimi (mg/kg)				
	Rb	Sb	I	Cs	Ba
Ortalama	199,6	6,4	3,2	259,8	1160,8
SH	5,7	0,7	0,5	9,2	62,6
Ortanca	206,1	6,9	2,7	263,7	1074,0
SS	17,9	2,3	1,7	29,2	198,1
Basıklık	1,1	0,3	9,8	0,1	-1,3
Çarpıklık	-1,6	0,4	3,1	-0,8	0,4
En Büyük	164,3	3,0	2,3	200,5	877,7
En Küçük	216,1	11,0	8,0	294,3	1452,0
N	10	10	10	10	10
<b>ZO2</b>					
Ortalama	101,4	7,3	7,0	27,2	345,4
SH	5,3	0,8	0,7	9,5	20,4
Ortanca	112,5	6,9	7,1	4,0	362,6
SS	16,7	2,6	2,2	30,0	64,4
Basıklık	-2,3	1,2	-0,4	-2,2	-1,9
Çarpıklık	-0,5	-0,1	-0,2	0,5	-0,3
En Büyük	81,8	2,1	3,1	4,0	258,5
En Küçük	116,5	11,4	10,4	64,9	421,8
N	10	10	10	10	10
<b>ZO3</b>					
Ortalama	155,7	4,1	4,7	47,1	148,5
SH	4,6	0,4	0,6	4,2	13,4
Ortanca	162,6	3,8	4,0	55,0	186,1
SS	22,3	2,1	2,7	20,3	65,7
Basıklık	-0,2	-1,2	-1,1	0,4	-1,7
Çarpıklık	-0,8	0,5	0,5	-1,2	-0,4
En Büyük	108,0	2,1	1,9	4,0	45,6
En Küçük	182,2	8,0	10,2	70,6	228,4
N	24	24	24	24	24
<b>ZO4</b>					
Ortalama	181,7	2,6	3,4	70,7	206,8
SH	3,1	0,2	0,4	2,8	3,2
Ortanca	190,9	2,5	2,0	71,2	207,0
SS	18,6	1,5	2,2	16,8	19,7
Basıklık	0,4	12,1	0,4	6,2	0,1
Çarpıklık	-1,3	2,8	1,3	-1,4	0,1
En Büyük	133,7	0,2	2,0	4,0	161,3
En Küçük	196,8	9,3	8,8	109,0	253,0
N	37	37	37	37	37

Tablo 4.14. Zeolit ocaklarının RIÜ değerleri

Ocak kodu	RIÜ (mW/m <sup>3</sup> )	
	Aralık (en küçük-en büyük)	Ortalama
ZO1	3,2 - 4,1	3,7
ZO2	2,5 - 3,3	2,9
ZO3	2,4 - 3,9	3,1
ZO4	2,3 - 3,3	2,8

Tablo 4.15. Zeolit RIÜ ile farklı kaya tiplerinin RIÜ'lerin karşılaştırılması

Malzeme tipi	RIÜ (µW/m <sup>3</sup> )
Granit (Mısır)	9.5
Granit (Güney Afrika)	3.5
Kuvars (Mısır)	1.8
Kuvars (ABD)	0.4
Şist	1,9
Asidik kayalar	2.8
Bazalt (Mısır)	0.1
Bazalt (Japonya)	0.8
Bazalt (Rusya)	0.4
Yer kabuğu ortalaması	0,9
Zeolit (Gördes, Manisa)	3,0

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tablo 4.2'den de görülebileceği gibi analiz edilen zeolit örneklerinin içerdiği oksitler, ortalama derişim değerlerine göre  $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} > \text{CaO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MgO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{TiO}_2 > \text{SrO} > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{MnO}$  olarak sıralanmaktadır.

Gördes zeoliti, ortalama %75 oranında  $\text{SiO}_2$  içermektedir. Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama  $\text{SiO}_2$  seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık %40 ve granit-metamorfik kayaç ortalamasından ise %20 daha büyüktür. Tablo 4.3'ten, bu çalışmada ölçülen  $\text{SiO}_2$  seviyesinin, literatürde yer alan Gördes zeoliti için ölçülen değerler ile uyumlu ve Bigadiç zeolitinin ortalama  $\text{SiO}_2$  derişiminden daha büyük olduğu görülmektedir. ZO3, ZO1, ZO2 ve ZO4 ocaklarının ortalama  $\text{SiO}_2$  derişimleri, sırasıyla %78, %77, %75 ve %73 olarak ölçüldü.

Gördes zeoliti, ortalama %14 oranında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içermektedir. Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama  $\text{Al}_2\text{O}_3$  seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık %11 ve granit-metamorfik kayaç ortalamasından ise %5 daha küçüktür. Tablo 4.3'den, bu çalışmada ölçülen  $\text{Al}_2\text{O}_3$  seviyesinin, literatürde yer alan Gördes, Bigadiç ve Ukrayna zeoliti için ölçülen ortalama  $\text{Al}_2\text{O}_3$  derişiminden daha büyük olduğu görülmektedir. ZO1, ZO3, ZO2 ve ZO4 ocaklarının ortalama  $\text{Al}_2\text{O}_3$  derişimleri, sırasıyla %15,6; %14,1; %13,9 ve %13,8 olarak ölçüldü.

Gördes zeoliti, ortalama %3 oranında  $\text{K}_2\text{O}$  içermektedir. Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama  $\text{K}_2\text{O}$  seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 3 kat ve granit-metamorfik kayaç ortalamasından ise %11 daha büyüktür. Tablo 4.3'ten, bu çalışmada ölçülen  $\text{K}_2\text{O}$  seviyesinin, literatürde yer alan Gördes, Bigadiç ve Ukrayna zeoliti için ölçülen ortalama  $\text{K}_2\text{O}$  derişimleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. ZO3, ZO4, ZO1 ve ZO2 ocaklarının ortalama  $\text{K}_2\text{O}$  derişimleri, sırasıyla %3,6; %3,4; %2,4 ve %2,1 olarak ölçüldü.

Gördes zeoliti, ortalama %2 oranında  $\text{CaO}$  içermektedir. Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama  $\text{CaO}$  seviyesi, yer kabuğu



ortalamasından yaklaşık 4 kat ve granit-metamorfik kayaç ortalamasından ise 2 kat daha küçüktür. Tablo 4.3'ten, bu çalışmada ölçülen CaO seviyesinin, literatürde yer olan Gördes ve Ukrayna zeoliti için ölçülen ortalama CaO derişimleri ile uyumlu iken Bigadiç zeolitinin CaO derişiminden daha küçük olduğu görülmektedir. ZO2, ZO4, ZO3 ve ZO1 ocaklarının ortalama CaO derişimleri, sırasıyla %3,9, %2,3, %2,2 ve %2,1 olarak ölçüldü.

Gördes zeoliti, ortalama %2 oranında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermektedir. Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık %53 daha büyük iken granit-metamorfik kayaç ortalamasından ise %4 daha küçüktür. Tablo 4.3'ten, bu çalışmada ölçülen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seviyesinin, literatürde yer olan Gördes ve Ukrayna zeoliti için ölçülen ortalama Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> derişimleri ile uyumlu iken Bigadiç zeolitinin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> derişiminden daha büyük olduğu görülmektedir. ZO4, ZO1, ZO3 ve ZO2 ocaklarının ortalama Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> derişimleri, sırasıyla %1,9, %1,6, %1,5 ve %1,3 olarak ölçüldü.

Gördes zeoliti, ortalama %1,4 oranında MgO içermektedir. Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama MgO seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 4 kat ve granit-metamorfik kayaç ortalamasından ise 2 kat daha küçüktür. Tablo 4.3'den, bu çalışmada ölçülen MgO seviyesinin, literatürde yer olan Gördes, Bigadiç ve Ukrayna zeoliti için ölçülen ortalama MgO derişimlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 ocaklarının ortalama MgO derişimleri, sırasıyla %2,2, %2,0, %1,4 ve %1,0 olarak ölçüldü.

Gördes zeoliti, ortalama %1,3 oranında Na<sub>2</sub>O içermektedir. Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Na<sub>2</sub>O seviyesi, yer kabuğu ve granit-metamorfik kayaç ortalamasından yaklaşık 2 kat daha küçüktür. Tablo 4.3'den, bu çalışmada ölçülen Na<sub>2</sub>O seviyesinin, literatürde yer olan Gördes, Bigadiç ve Ukrayna zeoliti için ölçülen ortalama Na<sub>2</sub>O derişimlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. ZO1, ZO4, ZO2 ve ZO3 ocaklarının ortalama Na<sub>2</sub>O derişimleri, sırasıyla %1,5, %1,4, %1,3 ve %1,2 olarak ölçüldü.

Gördes zeoliti, ortalama %0,09 oranında  $TiO_2$  içermektedir. Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama  $TiO_2$  seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 11 kat ve granit-metamorfik kayaç ortalamasından ise 6 kat daha küçüktür. Tablo 4.3'ten, bu çalışmada ölçülen  $TiO_2$  seviyesinin, literatürde yer olan Gördes, Bigadiç ve Ukrayna zeoliti için ölçülen ortalama  $TiO_2$  derişimleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. ZO2, ZO3, ZO4 ve ZO1 ocaklarının ortalama  $TiO_2$  derişimleri, sırasıyla %0,11, %0,10, %0,09 ve %0,06 olarak ölçüldü.

Gördes zeoliti, ortalama %0,04 oranında SrO içermektedir. ZO1, ZO2, ZO4 ve ZO3 ocaklarının ortalama SrO derişimleri, sırasıyla %0,09, %0,04, %0,03 ve %0,03 olarak ölçüldü.

Gördes zeoliti, ortalama %0,04 oranında  $P_2O_5$  içermektedir. Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama  $P_2O_5$  seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 5 kat ve granit-metamorfik kayaç ortalamasından ise 4 kat daha küçüktür. Tablo 4.3'ten, bu çalışmada ölçülen  $P_2O_5$  seviyesinin, literatürde yer olan Gördes zeoliti için ölçülen ortalama  $P_2O_5$  derişimleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 ocaklarının ortalama  $P_2O_5$  derişimleri, sırasıyla %0,07, %0,05, %0,03 ve %0,02 olarak ölçüldü.

Gördes zeoliti, ortalama %0,03 oranında MnO içermektedir. Grafik 4.1'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama MnO seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 5 kat ve granit-metamorfik kayaç ortalamasından ise 21 kat daha küçüktür. Tablo 4.3'ten, bu çalışmada ölçülen MnO seviyesinin, literatürde yer olan Gördes zeoliti için ölçülen ortalama MnO derişimleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. ZO3, ZO2, ZO1 ve ZO4 ocaklarının ortalama MnO derişimleri, sırasıyla %0,043, %0,034, %0,027 ve %0,025 olarak ölçüldü.

Sadece ZO1 kodlu ocaktan toplanan zeolit örnekleri, ortalama %0,04 oranında  $SO_3$  içermektedir. ZO1 ocağında ölçülen ortalama  $SO_3$  seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık %25 ve granit-metamorfik kayaç ortalamasından ise 3 kat daha küçüktür. Tablo 4.3'ten, bu çalışmada ölçülen  $SO_3$  seviyesinin, literatürde yer

olan Gördes zeoliti için ölçülen ortalama  $SO_3$  derişimleri ile uyumlu olduğu görölmektedir.

ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 kodlu ocakların ortalama  $SiO_2/Al_2O_3$  oranları, sırasıyla 4,9, 5,4, 5,5 ve 5,3 olarak hesaplandı (Tablo 4.6). Bu ortalama değerlere göre ZO1 ocağının orta silika dereceli, ZO2, ZO3 ve ZO4 ocağının ise yüksek silika dereceli zeolit sınıfından olduğu görölmektedir.

Tablo 4.7'den de görölebileceği gibi analiz edilen zeolit örneklerinin içerdieği önemli derecede toksik ağır metaller, ortalama derişim değerlerine göre  $Zr > Zn > Pb > As > Ni > Co > Cr > Cu > Cd$  olarak sıralanmaktadır.

Gördes zeolitinin ortalama Zr içeriği, 87,8 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.2'den de görölebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Zr seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat daha küçüktür. ZO4, ZO1, ZO3 ve ZO2 ocaklarının ortalama Zr derişimleri, sırasıyla 103,1 mg/kg, 81,3 mg/kg, 75,1 mg/kg ve 68,6 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Zn içeriği, 55,5 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.2'den de görölebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Zn seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 1,5 kat daha küçüktür. ZO4, ZO3, ZO1 ve ZO2 ocaklarının ortalama Zn derişimleri, sırasıyla 75,2 mg/kg, 43,1 mg/kg, 35,5 mg/kg ve 31,7 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Pb içeriği, 47,8 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.2'den de görölebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Pb seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 3 kat daha büyüktür. ZO4, ZO1, ZO3 ve ZO2 ocaklarının ortalama Pb derişimleri, sırasıyla 52,9 mg/kg, 49,1 mg/kg, 47,2 mg/kg ve 28,8 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama As içeriği, 24,8 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.2'den de görölebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama As seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 15 kat daha büyüktür. ZO1, ZO3, ZO2 ve ZO4 ocaklarının

ortalama As derişimleri, sırasıyla 126,0 mg/kg, 21,2 mg/kg, 13,1 mg/kg ve 2,9 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Ni içeriği, 9,9 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.2'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Ni seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 6 kat daha küçüktür. ZO2, ZO3, ZO1 ve ZO4 ocaklarının ortalama Ni derişimleri, sırasıyla 12,9 mg/kg, 11,2 mg/kg, 9,2 mg/kg ve 8,4 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Co içeriği, 8,8 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.2'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Co seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat daha küçüktür. ZO2, ZO3, ZO1 ve ZO4 ocaklarının ortalama Co derişimleri, sırasıyla 11,8 mg/kg, 9,5 mg/kg, 8,7 mg/kg ve 7,5 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Cr içeriği, 7,3 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.2'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Cr seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 11 kat daha küçüktür. ZO2, ZO3, ZO4 ve ZO1 ocaklarının ortalama Cr derişimleri, sırasıyla 12,7 mg/kg, 10,4 mg/kg, 4,6 mg/kg ve 4,2 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Cu içeriği, 4,3 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.2'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Cu seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 11 kat daha küçüktür. ZO3, ZO2, ZO4 ve ZO1 ocaklarının ortalama Cu derişimleri, sırasıyla 4,9 mg/kg, 4,8 mg/kg, 3,9 mg/kg ve 3,7 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Cd içeriği, 2,1 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.2'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Cd seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 16 kat daha büyüktür. ZO2, ZO3, ZO1 ve ZO4 ocaklarının ortalama Cd derişimleri, sırasıyla 3,3 mg/kg, 2,3 mg/kg, 1,9 mg/kg ve 1,6 mg/kg olarak ölçüldü.

Analiz edilen zeolit örneklerinin içerdiği ağır metaller, ortalama derişim değerlerine göre Ta > Nb > Ga > Hf > Te > Sn > Ag > V > W olarak sıralanmaktadır.

Gördes zeolitinin ortalama Ta içeriği, 26,4 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.3'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Ta seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 11 kat daha büyüktür. ZO1, ZO4, ZO2 ve ZO3 ocaklarının ortalama Ta derişimleri, sırasıyla 28,0 mg/kg, 27,9 mg/kg, 26,4 mg/kg ve 23,4 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Nb içeriği, 12,3 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.3'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Nb seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat daha küçüktür. ZO4, ZO1, ZO3 ve ZO2 ocaklarının ortalama Nb derişimleri, sırasıyla 12,9 mg/kg, 12,4 mg/kg, 11,5 mg/kg ve 11,3 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Ga içeriği, 15,6 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.3'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Ga seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık %20 daha küçüktür. ZO1, ZO3, ZO4 ve ZO2 ocaklarının ortalama Ga derişimleri, sırasıyla 16,3 mg/kg, 15,9 mg/kg, 15,6 mg/kg ve 14,4 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Hf içeriği, 5,3 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.3'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Hf seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 5 kata daha büyüktür. ZO2, ZO1, ZO4 ve ZO3 ocaklarının ortalama Hf derişimleri, sırasıyla 5,9 mg/kg, 5,4 mg/kg, 5,4 mg/kg ve 4,9 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Te içeriği, 5,3 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.3'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Te seviyesi, yer kabuğu ortalamasından çok büyüktür. ZO2, ZO1, ZO3 ve ZO4 ocaklarının ortalama Te derişimleri, sırasıyla 12,4 mg/kg, 8,0 mg/kg, 5,6 mg/kg ve 2,3 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Sn içeriği, 3,7 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.3'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Sn seviyesi, yer kabuğu

ortalamasından yaklaşık %50 daha büyüktür. ZO2, ZO3, ZO1 ve ZO4 ocaklarının ortalama Sn derişimleri, sırasıyla 7,9 mg/kg, 4,4 mg/kg, 4,3 mg/kg ve 2,1 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Ag içeriği, 3,7 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.3'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Ag seviyesi, yer kabuğu ortalamasından çok büyüktür. ZO2, ZO3, ZO1 ve ZO4 ocaklarının ortalama Ag derişimleri, sırasıyla 7,8 mg/kg, 4,7 mg/kg, 3,3 mg/kg ve 2,1 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama V içeriği, 4,8 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.3'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama V seviyesi, yer kabuğu ortalamasından çok küçüktür. ZO2, ZO3, ZO1 ve ZO4 ocaklarının ortalama V derişimleri, sırasıyla 4,3 mg/kg, 12,2 mg/kg, 7,2 mg/kg ve 1,5 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama W içeriği, 2,2 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.3'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama W seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat daha büyüktür. ZO1, ZO3, ZO2 ve ZO1 ocaklarının ortalama W derişimleri, sırasıyla 3,1 mg/kg, 2,8 mg/kg, 2,2 mg/kg ve 1,5 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes klinoptilolitin içerdiği ortalama Th derişimi 30,1 mg/kg ve ortalama U derişimi ise 6,0 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.4'den de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Th ve U seviyesi, yer kabuğu ortalamalarından yaklaşık 2 kat daha büyüktür. ZO4, ZO1, ZO3 ve ZO2 ocaklarının ortalama Th derişimleri, sırasıyla 30,9 mg/kg, 30,4 mg/kg, 29,7 mg/kg ve 27,9 mg/kg olarak ölçüldü. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 ocaklarının ortalama U derişimleri, sırasıyla 9,5 mg/kg, 6,4 mg/kg, 6,3 mg/kg ve 4,9 mg/kg olarak ölçüldü.

Analiz edilen zeolit örneklerinin içerdiği nadir toprak elementleri, ortalama derişim değerlerine göre  $Nd > La > Ce > Y > Pr$  olarak sıralanmaktadır.

Gördes zeolitinin ortalama Nd içeriği, 15,6 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.5'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Nd seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat daha küçüktür. ZO2, ZO3, ZO1 ve ZO4 ocaklarının

ortalama Nd derişimleri, sırasıyla 71,9 mg/kg, 68,0 mg/kg, 66,4 mg/kg ve 59,8 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama La içeriği, 26,3 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.5'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama La seviyesi, yer kabuğu ortalamasına yakın değerdedir. ZO1, ZO4, ZO3 ve ZO2 ocaklarının ortalama La derişimleri, sırasıyla 58,8 mg/kg, 25,6 mg/kg, 19,0 mg/kg ve 13,9 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Ce içeriği, 21,5 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.5'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Ce seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 3 kat daha küçüktür. ZO1, ZO3, ZO4 ve ZO1 ocaklarının ortalama Ce derişimleri, sırasıyla 33,5 mg/kg, 21,9 mg/kg, 19,6 mg/kg ve 15,9 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Y içeriği, 15,6 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.5'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Y seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat daha küçüktür. ZO1, ZO2, ZO3 ve ZO4 ocaklarının ortalama Y derişimleri, sırasıyla 21,6 mg/kg, 21,4 mg/kg, 17,6 mg/kg ve 10,9 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Pr içeriği, 8,6 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.5'ten de görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Pr seviyesi, yer kabuğu ortalamasına yaklaşık değerdedir. ZO1, ZO3, ZO2 ve ZO4 ocaklarının ortalama Pr derişimleri, sırasıyla 15,4 mg/kg, 8,2 mg/kg, 7,4 mg/kg ve 7,4 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Ba içeriği, 324,4 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.6'dan da görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Ba seviyesi, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat daha küçüktür. ZO1, ZO2, ZO4 ve ZO3 ocaklarının ortalama Ba derişimleri, sırasıyla 1160,8 mg/kg, 345,4 mg/kg, 206,8 mg/kg ve 148,5 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Rb içeriği, 166,3 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.6'dan da görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Rb seviyesi, yer kabuğu

ortalamasına yaklaşık değerdedir. ZO1, ZO4, ZO3 ve ZO2 ocaklarının ortalama Rb derişimleri, sırasıyla 199,6 mg/kg, 181,7 mg/kg, 155,7 mg/kg ve 101,4 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Cs içeriği, 81,7 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.6'dan da görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Cs seviyesi, yer kabuğu ortalamasından 22 kata daha büyüktür. ZO1, ZO4, ZO3 ve ZO2 ocaklarının ortalama Cs derişimleri, sırasıyla 259,8 mg/kg, 70,7 mg/kg, 47,1 mg/kg ve 27,2 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama I içeriği, 4,2 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.6'dan da görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama I seviyesi, yer kabuğu ortalamasından 11 kata daha büyüktür. ZO2, ZO3, ZO4 ve ZO1 ocaklarının ortalama I derişimleri, sırasıyla 7,0 mg/kg, 4,7 mg/kg, 3,4 mg/kg ve 3,2 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin ortalama Sb içeriği, 4,1 mg/kg olarak bulundu. Grafik 4.6'dan da görülebileceği gibi zeolit örneklerinde ölçülen ortalama Sb seviyesi, yer kabuğu ortalamasından 8 kata daha büyüktür. ZO2, ZO1, ZO3 ve ZO4 ocaklarının ortalama Sb derişimleri, sırasıyla 7,3 mg/kg, 6,4 mg/kg, 4,1 mg/kg ve 2,6 mg/kg olarak ölçüldü.

Gördes zeolitinin radyojenik ısı üretiminin ortalama değeri,  $3 \mu\text{W}/\text{m}^3$  olarak hesaplandı. ZO1, ZO3, ZO2 ve ZO4 ocaklarının ortalama RIÜ değerleri, sırasıyla  $3,7 \mu\text{W}/\text{m}^3$ ,  $3,1 \mu\text{W}/\text{m}^3$ ,  $2,9 \mu\text{W}/\text{m}^3$  ve  $2,8 \mu\text{W}/\text{m}^3$  olarak hesaplandı. Tablo 4.15'ten de görülebileceği gibi Gördes zeolitinin RIÜ değeri, granitin RIÜ değerinden daha küçük iken diğer malzemelerin RIÜ değerlerinden daha büyüktür.

## 5.1. Öneriler

Bu çalışma, Manisa Gördes'de yer alan ve ticari olarak işletilen zeolit ocaklarından toplanan 81 zeolit örneğinin içerdiği ana, ikincil ve eser miktarda oksit, toksik ağır metal, radyoaktif element, nadir toprak elementi ve diğerleri olmak üzere 43 elementin, EDXRF spektrometrik yöntem ile analiz edildiği ilk ayrıntılı çalışmadır. Çalışma sonucunda Gördes zeolitinin,



- insan ve çevre sağlığı açısından önemli derecede önemli toksik ağır metal olan arsenik, kadmiyum ve kurşunu,
- ağır metal olan tantal, hafniyum, tellür, kalay, gümüş, volframı,
- radyotoksik olan toryum ve uranyumu ve
- iyot, sezyum ve antimonu yüksek oranda içerdiği bulundu.

İğnemsisi ve lifsi yapıya sahip zeolit cinsi olan erityonitin, özellikle Nevşehir bölgesinde, asbest gibi akciğer kanserinin tehlikeli ve nadir bir çeşidi olan mezotelyome hastalığına sebep olduğu bilinmektedir. Ayrıca yukarıda bahsedildiği gibi Gördes zeolitleri toksik ağır metalleri ve radyotoksik elementleri de içermektedir. Bu kapsamda,

(1) hem zeolit mineralinin çıkarılma hem de kırma ve eleme aşamasında çalışan işçiler için işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından gereken tedbirlerin alınması hayati önem arz ettiğinden dolayı söz konusu ocaklarda, bu tedbirlerin alınıp alınmadığının kontrol edilmesi ve

(2) Ülkemizde yem katkısı, tarımda toprak düzenleyici, su arıtımında ve inşaat sektöründe yapı katkı malzemesi olarak kullanılacak zeolit için daha düşük seviyede toksik ağır metal ve radyotoksik element içeren zeolit ocaklarının tercih edilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abbadly A.G.E., El-Arabi A.M. & Abbadly A. (2004). Heat production rate from radioactive elements in igneous and metamorphic rocks in Eastern Desert, Egypt. *VII Radiation Physics & Protection Conference*, 287-294, Ismailia-Egypt.
- Albayrak, M. (2010). Manisa (Gördes) bölgesi zeolitlerinin mineralojik, kimyasal ve teknolojik incelenmesi. *Kibited*, 1(4), 273 – 285.
- Anaç, S. & Tamzok, N. (2008). Structural transformation in the Turkish mining industry. *Proceedings Book of 21st World Mining Congress*, 367-376, Krakow, Poland.
- Ata, U.H. (2003). Antibakteriyel Klinoptilolit. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Atay, H.A. (2002). Bazı Ağır Metal ve Radyoelementlerin Zeolit Tarafından Sorpsiyonunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir.
- Battal, O. (2017). Gördes Zeolitinin Mikrodalga ile Kurutulması ve Kurutma Olayının Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kütahya.
- BGS (British Geological Survey), (2014). World Mineral Production 2008–2012 Centenary Edition. Available as a free download from <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldStatistics.html>.
- Bilgin, Ö. (2009). Gördes Zeolitlerinin Hammaddesel Özelliklerinin İncelenmesi ve Değişik Sektörlerde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir.
- Bilgin, Ö.& Kantarcı, S. (2018). Bigadiç (Balıkesir, Türkiye) civarında gözlenen höylandit/klinoptilolit zeolit oluşumlarının teknolojik özelliklerinin incelenmesi. *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 589-601.
- Brouwer, P. (2013). *Theory of XRF-Getting acquainted with the principles*. PANalytical. EA Elmelo.
- Bubu, A. & Ononugbo, C.P. (2017). Radiogenic heat production due to natural radionuclides in the sediments of Bonny River, Nigeria. *Journal of Scientific Research and Reports*, 17(6), 1-9.
- Campbell, L.S., Charnock, J., Dyer, A., Hillier, S., Chenery, S., Stoppa, F., Henderson, M.B., Walcott, R. & Rumsey, M. (2016). Determination of

zeolite-group mineral compositions by electron probe microanalysis. *Mineralogical Magazine*, 80(5), 781–807

- Christidis, G.E. (2011). Advances in the Characterization of Industrial Minerals. G.E. Christidis (Eds.) *Industrial Minerals: Significance and important characteristics* (pp:1-12). EMU Notes in Mineralogy Vol. 9.
- Clauser, C. (2011). Radiogenic Heat Production of Rocks. In: Harsh Gupta (Ed.), *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, 2nd ed., Springer, Dordrecht, preprint.
- Çalış, N. (2003). Manisa-Gördes Bölgesi Zeolitlerinin Zenginleştirilmesinde Yapısal Özelliklerin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir.
- Çalışkan, Ş. (2012). Yavu Bölgesi Doğal Zeolitinin Fizikokimyasal Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Eskişehir.
- Demir, H. & Polat, E. (2003). Zeolit (klinoptilolit) ve tarımda kullanımı. *Hasad*, 221, 54-59.
- Diaz O.R. & Peraza, E.F.H. (1997). Multi-elemental characterization of Cuban natural zeolites. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 221(1-2), 255-258.
- DPT (Devlet Planlama Teşkilatı), (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı-Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, “Mika-Zeolit-Lületaşı”, Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2619 - ÖİK: 630, Ankara.
- DPT (Devlet Planlama Teşkilatı), (2007). Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı-Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT: 2739 - ÖİK: 690, Ankara.
- Erdem, E., Karapınar, N. & Donat, R. (2004). The removal of heavy metal cations by natural zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280, 309–314.
- Esenli, F. (1992). Gördes Çevresindeki Neojen. Serilerin ve Zeolitleşmenin Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Eski, A. (2004). Bilecik-Deresakarı Yöresi Doğal Zeolitinin Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Eskişehir.
- Fang, X.H., Fang, F., Lu, C.H. & Zheng, L. (2017). Removal of Cs<sup>+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, and Co<sup>2+</sup> ions from the mixture of organics and suspended solids aqueous solutions by zeolites. *Nuclear Engineering and Technology*, 49, 556-561.

- Garad, A. M.K. (2019). Kangal Termik Santrali Çevresindeki Yüzey Toprağındaki Ağır Metal Kirliliğinin ve Asitleşmenin Ekolojik Açından Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, *Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.
- Gezer, F., Turhan, Ş., Kurnaz, A. & Ufuktepe, Y. (2019). Radiometric characterization of zeolite minerals used in many industries and assessment of radiological risks. *Applied Radiation and Isotopes*, 152, 57-63.
- Göktaş, F. (1999). Gördes neojen havzasındaki zeolitli Gökyar Tüfü'nün stratigrafik özellikleri. *I. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu*, 494-501, İzmir.
- Grieken, R.V.G., & Margui, E. (2013). *X-ray fluorescence spectrometry and related techniques*. US-Canada: Momentum Press.
- Gunay, A. (2007). Application of nonlinear regression analysis for ammonium exchange by natural (Bigadiç) clinoptilolite, *Journal of Hazardous Materials*, 148, 708–713.
- Jha, B. & Singh, D.N. (2011). A review on synthesis, characterization and industrial application of fly ash zeolites. *Journal of Materials Education*, 33(1–2), 65–132.
- Joshua, E.O. & Alab, O.O. (2012). Pattern of radiogenic heat production in rock samples of Southwestern Nigeria. *Journal of Earth Science and Geotechnical Engineering*, 2(2), 25-38.
- Kalaitzis, A., Stoulos, S., Melfos, V., Kantiranis, N.& Filippidis, A. (2019). Application of zeolitic rocks in the environment: assessment of radiation due to natural radioactivity. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 319(3), 975–985.
- Kaçmaz, H. (2008). Mineralogical and petrographic study of zeolitic tuffs from Yenice-Saraycık (Demirci, Manisa), Turkey. *Dokuz Eylül University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 20(59), 647-653.
- Keskin, A. (2005). Manisa-Gördes yöresi klinoptilolitinin benzinli motorlarda katalizör olarak kullanımı üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Sakarya.
- Kurşun, İ., Terzi, M., Batjargal, K. & Ozdemir, O. (2018). Electrokinetic evaluation of the effects of acid modification processes on natural zeolites. *16th International Mineral Processing Symposium (IMPS 2018)*, 309-313, Antalya.
- Kurudirek, M., Özdemir, Y., Türkmen, İ. & Levet, A. (2010). A study of chemical composition and radiation attenuation properties in clinoptilolite-rich natural zeolite from Turkey. *Radiation Physics and Chemistry*, 79, 1120–1126.

- Küçükıldırım, E. (2013). Kimyasal veya Isıl İşlem Görmüş Klinoptilolit Zeolitinin Puzolanik Aktivitesinin ve Katkılı Çimentolardaki Performansının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Niğde.
- Lucie, D. (2016). Preliminary Investigation of Rare Earth Elements Ion Exchange on Zeolites. Master Thesis. *University of Helsinki Department of Chemistry Laboratory of Radiochemistry*. Helsinki.
- Margeta, K., Logar, N.Z., Šiljeg, M. & Farkaš, A. (2013). Natural Zeolites in Water Treatment – How Effective is Their Use. *INTECH*, Chapter 5, 81-112.
- Mızrak, İ. (2010). K-Klinoptilolitinin (Gördes) Ağır Metal Formlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Eskişehir.
- Moralı, N. (2006). Investigation of Zinc and Lead Removal from Aqueous Solutions Using Clinoptilolite. Master of Thesis, *Middle East Technical University The Graduate School of Natural and Applied Sciences*. Ankara.
- Munkhbat, D., Shiomori, K. & Ochirkhuyag, B. (2016). Characterization of Mongolian natural minerals and their application for heavy metal adsorbent. *Mongolian Journal of Chemistry* 17(43), 50-54.
- Munthali, M.W., Elsheikh, M.A., Johan, E. & Matsue, N. (2014). Proton adsorption selectivity of zeolites in aqueous media: effect of Si/Al ratio of zeolites. *Molecules*, 19, 20468-20481.
- Osmanlioglu, A.E. (2006). Treatment of radioactive liquid waste by sorption on natural zeolite in Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, B137, 332–335.
- Özaydın, S. (2005). Doğal Klinoptilolitlerin Türkiye'deki Kullanım Olanakları Ve Gördes Klinoptilolitlerinin Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Doktora tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir.
- Özen, S. (2013). Pozzolanik Activity of Natural Zeolites: Mineralogical, Chemical and Physical Characterization and Examination of Hydration Products. Doctoral Thesis, *Middle East Technical University the Graduate School of Natural and Applied Sciences*. Ankara.
- Özkırım, İ. & Yörükoğulları, E. (2005). Manisa-Gördes Doğal Zeolitinin (Klinoptilolit) Bet İzoterm Karakteristikleri. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9, 65-70.
- Pala, A. (2006). Doğal Zeolitlerin Atıksuda Kurşun Gideriminde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya.
- Polatoğlu, Ş. (2005). Chemical Behaviour of Clinoptilolite Rich Natural Zeolite in Aqueous Medium. Master Thesis, *İzmir Institute of Technology the Graduate School of Engineering and Sciences*. İzmir.

- Shadrikov, A.S. & Petukhov, A.D. (2014). Natural zeolite-clinoptilolite characteristics determination and modification., *National Technical University of Ukraine Kyiv Polytechnic Institute*. Kiev.
- Slagstad, T. (2006). Did hot, high heat-producing granites determine the location of the Oslo Rift?. *Tectonophysics*, 412, 105-119.
- Soylu, M.& Gökkuş, Ö. (2017). Türkiye'deki doğal zeolitler ve iyon değişimi uygulamaları. *Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 6(1), 11-20.
- Suyanto, H., Utomo, A.P., Manurung, M., Suharta, W.G. & Windaryoto (2017). Application of activated zeolite to quantitative analysis of Pb liquid sample using commercial laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). *Journal of Physics: Conference Series* 817(012044), 1-6.
- Tufan, E.Ö. (2002). Ion exchange properties of Gördes clinoptilolite: Ammonium exchange. Master Thesis, *Middle East Technical University the Graduate School of Natural and Applied Sciences*. Ankara.
- Turner, S., Sieber, J.R., Vetter, T.W., Zeisler, R., Marlow, A.F., Moreno-Ramirez, M.G., Davis, M.E., Kennedy, G.J., Borghard, W.G., Yang, S., Navrotsky, A., Toby, B.H., Kelly, J.F., Fletcher, R.A., Windsor, E.S., Verkouteren, J.R., Leigh, S.D. (2008). Characterization of chemical properties, unit cell parameters and particle size distribution of three zeolite reference materials: RM 8850 – zeolite Y, RM 8851 – zeolite A and RM 8852 – ammonium ZSM-5 zeolite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 107, 252–267.
- Uçkun, Ş.& Sarıkaya, M. (2018). Purification of wastewater from heavy metals by using natural zeolite. *16th International Mineral Processing Symposium (IMPS 2018)*, 474-477, Antalya.
- Ulusoy, G.& Albayrak, M. (2009). Mineralogical and technological properties of the zeolites from Foça (İzmir), Bigadiç (Balıkesir) and Gördes (Manisa). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 139, 61-74.
- Ünaldı, T.& Yıldırım, B. (2009). Gördes yöresi doğal zeolitinin NH<sub>4</sub><sup>+</sup> formlarının incelenmesi. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 485-493.
- Wang, S.& Peng, Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156, 11–24.
- Yağcıoğlu, U.E. (2014). Tekkeköy-Taflan (Samsun) Eosen Volkanitleri ve Monzogabrolarında Gelişen Zeolitlerin Mineralojisi, Kimyası ve İzotopik Özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.

- Yaroshevsky, A.A. (2006). Abundance of chemical elements in the earth's crust. *Geochemistry*, 44(1), 54-62.
- Yazıcıoğlu, Ö.F. (2016). Çimento ve Beton Endüstrisinde Sürdürülebilir Üretimlerinde Doğal Zeolit (Analsim)'in Puzolanik Katkı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ordu.
- Yiğit, Ö. (2012). A prospective sector in the Tethyan Metallogenic Belt: Geology and geochronology of mineral deposits in the Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*, 46, 118-148.
- Yiğit, Ö. (2015). Industrial minerals and rocks of Turkey – Production assessment and implications. *Madencilik Türkiye, Spring*, 24-28.
- Yıldırım, A. (2017). Türkiye'deki mevcut volkanik tüf ocaklarının elemental dağılımlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.
- Yıldız, B., Erten, H.N. & Kış M. (2011). The sorption behavior of Cs<sup>+</sup> ion on clay minerals and zeolite in radioactive waste management: sorption kinetics and thermodynamics. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 288, 475–483.
- Yılmaz, A. (2005). Gördes klinoptilolitinin doğal ve NH<sub>4</sub> formlarının domates yetiştiriciliğinde kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Eskişehir.
- Zameček, W. (2001). Determination of the elemental composition of zeolitic materials. H. Robson & K.P. Lillerud (Eds.) *Verified Synthesis of Zeolitic Materials* (pp. 51-53). Elsevier Science.
- Zendelska, A., Golomeova, M., Blazev, K., Krstev, B., Golomeov, B. & Krstev, A. (2014) Kinetic studies of zinc ions removal from aqueous solution by adsorption on natural Zeolite. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3(4), 1303 – 1318.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sümeyye TOKAT  
Doğum Yeri ve Yılı : Karabük 1988  
Medeni Hali : Bekâr  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : sumeyyetokat@gmail.com



### Eğitim Durumu

Lise : Karabük Kıymet ve Mustafa Yazıcı Anadolu Lisesi, (2005)  
Lisans : Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fizik Bölümü, (2015)

### Mesleki Deneyim

İş Yeri : Karabük MEB Ücretli Öğretmenlik, (2015- Devam ediyor)