

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SÜTLEĞEN BÖLGESİ (KAŞ, ANTALYA) BOKSİT YATAKLARININ JENEZİ
VE EKONOMİK ÖZELLİKLERİ**

Özge ÖZER

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2020

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SÜTLEĞEN BÖLGESİ (KAŞ, ANTALYA) BOKSİT YATAKLARININ JENEZİ
VE EKONOMİK ÖZELLİKLERİ**

Özge ÖZER

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2020

ANTALYA

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

**SÜTLEĞEN BÖLGESİ (KAŞ, ANTALYA) BOKSİT YATAKLARININ JENEZİ
VE EKONOMİK ÖZELLİKLERİ**

**Özge ÖZER
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
(BAP) tarafından FKA-2019-4636 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

TEMMUZ 2020

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜTLEĞEN BÖLGESİ (KAŞ, ANTALYA) BOKSİT YATAKLARININ JENEZİ
VE EKONOMİK ÖZELLİKLERİ**

Özge ÖZER
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 02/07/2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN (Danışman)

Prof. Dr. Nurdane İLBAYLI

Doç. Dr. Yusuf URAS

ÖZET

SÜTLEĞEN BÖLGESİ (KAŞ, ANTALYA) BOKSİT YATAKLARININ JENEZİ VE EKONOMİK ÖZELLİKLERİ

Özge ÖZER

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN

TEMMUZ 2020; 102 sayfa

Boksit, lateritik ayrışmaya bağlı gelişen killerin uygun ortam koşullarında metamorfizma geçirmesi ile başlıca alümina ve demir gibi metallerce zenginleşip, silisce fakirleşmesiyle oluşur. Sütleğen köyü civarında meydana gelmiş olan boksitin oluşum mekanizması, bölgesel jeolojisi, paleo-iklim ve jeokimyasal koşulları anlaşılmaya çalışılmıştır. Araziden derlenen boksit, kireçtaşı ve terra-rossa örneklerinin XRD, XRF, ICP-MS analizleri ve mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Yorumlamalarda, çok değişkenli istatistiksel methotlar (SPSS) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılmıştır.

Boksitler, Yeşilbarak napı içerisine tektonik hareketler sonucu yerleşmiş Üst Lütésiye-Alt Burdigaliye yaşlı kumtaşı, kıltaşı, siltaşı ve kireçtaşlarından oluşan bir sedimanter havzanın içerisinde bulunurlar. Jeokimyasal analiz verileri, cevher bileşiminde majör rol oynayan bileşenlerin Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 olduğunu, majör minerallerin, böhmite, kaolinite, hematite, gibsite, götite ve anataz; minör minerallerin ise anortite, kuvars ve karnobit olduğu çıkarmıştır. Boksit oluşum süreçlerinde Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Cr, Mn, Co, As, Se, Au, Hg, Pb, Th, U zenginleşirken; P_2O_5 , K_2O , CaO, SO_3 , TiO_2 , Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Sn, Te tükenmiştir. MgO, Cd, In, Ta, Pt, Ir, TI ise hareketsiz eleman oldukları kütle değişim hesaplamalarıyla bulunmuştur. Boksit örneklerinin ΣREE değerleri 297.5-26.7 ppm arasında değiştiği saptanmıştır. Boksit örneklerinin LREE konsantrasyonlarının, HREE grubuna oranla artış eğiliminde olduğu görülmüştür.

Sütleğen boksitlerinin LogCr-Ni diyagramından yararlanılarak jeolojik jenez karstik ve ultrabazik olarak bulunmuştur. Boksitlerinin, demirin ortamdan ayrılması sonucu orta ve güçlü laterizasyon geçirmiş oldukları ve lateritik, ferritik, kaolinitik ve boksit olmak üzere 4 grup altında toplandığı ortaya çıkarılmıştır. Boksitin oluşum karakterizasyonu şöyledir; ortamda ilk oluşan lateritik malzemenin yüzeysel taşınım olaylarıyla, bölgede bulunan karstik tipte kireçtaşlarının ve sedimanter birimlerin boşluk ve gözeneklerine dolması ile boksitofil mineraller metamorfizma süreçleri geçirmiş ve karstik tipteki boksitleri oluşturmuştur.

Al_2O_3/SiO_2 modül değerinin sınıflandırılmasına göre, endüstriyel boksit ve alüminyum hammaddesi olan boksit aralığına düşmüştür. Endüstriyel kullanımda geniş bir skalada kullanılabilecek boksitik malzeme bulunduran bölge, ekonomik anlamda önem arz etmektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: Antalya, Kaş, Karstik boksit, Lateritik boksit, Çok değişkenli istatistik, Jenez, Jeokimyasal süreçler, Mineraloji, Parajenez, Petrografi.

JÜRİ: Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN

Prof. Dr. Nurdane İLBAYLI

Doç. Dr. Yusuf URAS



ABSTRACT

THE GENESIS AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF THE SÜTLEĞEN REGION (KAŞ, ANTALYA) BAUXITE DEPOSITS

Özge ÖZER

MSc Thesis in Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN

July 2020; 102 pages

Bauxite is made up of metallic enrichment and silicification. The formation mechanism, regional geology, paleoclimate and geochemical evaluation of bauxite that took place around Sütleğen village has been tried to be understood. About XRD, XRF, ICP-MS analysis and microscope examinations of bauxite, limestone and terra-rossa samples compiled from the field. In interpretations, under multivariable alternative methods (SPSS) and geographic information systems (GIS).

Bauxites are found in a sedimentary basin consisting of Upper Lutetian-Lower Burdigalian aged sandstone, claystone, silt stone and limestone, which are settled as a result of tectonic movements in Yeşilbarak nappe. Geochemical analysis data show that the major components in the ore composition are Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , major minerals, boehmite, kaolinite, hematite, gibbsite, goethite and anatase; The minor minerals were found to be anortite, quartz and quartzite. While Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Cr, Mn, Co, As, Se, Au, Hg, Pb, Th, U are enriched in bauxite formation processes; P_2O_5 , K_2O , CaO, SO_3 , TiO_2 , Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Sn, Te are depleted. MgO, Cd, In, Ta, Pt, Ir, Tl, on the other hand, were found by mass change calculations in which they are inactive elements. ΣREE values of bauxite samples were found to vary between 297.5-26.7 ppm. LREE concentrations of bauxite samples tended to increase compared to the HREE group.

Using the Log Cr-Ni diagram of the bauxites, the geological genesis was found karstic and ultrabasic. It has been revealed that the bauxites have undergone moderate and strong laterization as a result of the separation of iron from the medium and they are collected under 4 groups as lateritic, ferritic, kaolinitic and bauxite. Formation characterization of bauxite is as follows; With the superficial transport phenomena of the lateritic material occurring in the environment, with the filling of the karstic type limestones and sedimentary units in the region into the cavities and pores, bauxitophil minerals have undergone metamorphism processes and formed karstic type bauxites.

According to the classification of Al_2O_3/SiO_2 module value, industrial bauxite and aluminum raw material have fallen into the range of bauxite. The region, which contains bauxitic material that can be used in a wide scale in industrial use, is economically important.

KEYWORDS: Antalya, Kaş, Karstic bauxite, Lateritic bauxite, Genesis, Geochemical processes, Mineralogy, Multivariate statistics, Paragenesis, Petrography.

COMMITTEE: Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN

Prof. Dr. Nurdane İLBEYLİ

Assoc. Prof. Dr. Yusuf URAS



ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında, bana destek veren tüm kurum ve kuruluşlara, öğretim üyelerine, aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Tez çalışma konumun belirlenmesi ve çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN'a en başta teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Beni bugünlere getiren, her zaman ve her koşulda desteklerini esirgemeyen aileme olan minnettarlığımı belirtmek istiyorum; Annem canım Melahat ÖZER, babam sevgili Seyit ÖZER ve biricik ablam İmge ÖZER'e bana tüm eğitim ve akademik kariyerimde verdikleri maddi ve manevi destekler için teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışması, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme birimi tarafından kapsamlı araştırma projesi kapsamında (FKA-2019-4636) yürütülmüştür. BAP'ın verdiği bu destekten dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam sırasında yapılan arazi çalışmalarında bana yardımcı olan ziraat mühendisi nişanlım Caner ATAĞÖZÜ ve jeoloji mühendisliği lisans öğrencisi Kardelen LORT'a desteklerinden dolayı teşekkür ediyorum.

Araziden derlenen örneklerin ince kesit ve parlak kesit yapımları ayrıca bu kesitlerin mikroskopta incelenmesi için bana yardımcı olan İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümü öğretim üyesi sayın Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez kapsamında çıkarılmış olan jeokimyasal analiz verilerinin dağılım haritalarının yapılması için bana yardımcı olan Çevre Mühendisliği Yüksek Mühendisi Alex Modi LOMORO'ya, diyagram çalışmaları için yardımlarını benden esirgemeyen yetenekli ve çalışkan arkadaşım Jeoloji Yüksek Mühendisi Daniel G. NYAMSARI ve çalışma arazisinin gravite ve hava manyetik haritalandırmasını yapan Jeofizik Yüksek Mühendisi Seyfullah TUFAN'a teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	i
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	7
2.1. Boksit Oluşumları Hakkında Bilgiler	7
2.1.1. Boksiti jeolojik olarak sınıflandırma	7
2.1.2. Boksitin mineralojisi ve petrografisi	8
2.1.3. Jeokimya	10
2.2. Sütleğen Bölgesi Bölgesel Jeolojisi	11
2.2.1. Bölge Jeolojisini Oluşturan Ana Kayaçların Jeolojisi	12
2.2.2. Sütleğen bölgesi stratigrafisi	13
2.2.3. Sütleğen bölgesi yapısal özellikleri	14
2.3. Ekonomik Bir Kaynak Olarak Boksit Madeni	16
2.3.1. Al_2O_3/SiO_2 (modül) oranına göre sınıflandırma.....	18
2.3.2. BEV değerlerine göre sınıflandırılması	18
2.3.3. Kullanım alanlarına göre sınıflandırma	19
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. Çalışma Alanından Derlenen Örneklerin Seçilme Yöntemi ve Metodu	20

3.2. Mineralojik, Petrografik ve Diğer Kimyasal Analizler İçin Araziden Getirilen Numunelerin Hazırlanması	21
3.2.1. Kireçtaşı örnekleri için yapılan ince kesit hazırlama aşamaları	22
3.2.2. Boksit örnekleri için yapılan parlak kesit hazırlama aşamaları	24
3.2.3. X-ışınları floresans spektrometresi analizinin örnek hazırlama aşamaları	25
3.2.4. X-ışınları difraktometresi analizinin örnek hazırlama aşamaları	27
3.3. Jeokimyasal Analizler İçin Kullanılan Spektroskopik Yöntemler	28
3.3.1. XRF (X-ışınları floresans spektrometresi) cihazının çalışma prensibi	30
3.3.2. XRD (X-ışınları kırınım difraktometresi) cihazının çalışma prensibi	30
3.3.3. ICP-MS (İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi) cihazının çalışma prensibi	31
3.4. Jeokimyasal Analiz Verilerinin İstatistiksel Analizleri	31
3.4.1. Tanımlayıcı istatistikler (betimsel değerler)	31
3.4.2. Pearson korelasyonu	32
3.4.3. Regresyon analizi	33
3.4.4. Faktör analizi	33
3.4.5. Kümeleme analizi	34
3.5. Boksit Örneklerinin Paleo-İklim Özellikleri	34
3.5.1. Kimyasal değişim/alterasyon endeksi (CIA)	34
3.5.2. Kimyasal ayrışma endeksi (CIW)	35
3.5.3. Parker ayrışma endeksi (PAE)	36
3.5.4. Silika-alümina oranı (Ruxton oranı) (R)	36
3.5.5. Vogt artık endeksi (V)	36
3.5.6. Paljiyoklaz değişim endeksi (PIA)	36
3.5.7. Silika-titanyum endeksi (STI)	37

3.5.8. Boksitleşme sırasındaki kütle değişim hesaplamaları	37
3.5.9. Boksit Cevherinin Sınıflandırılması ve Kökeni.....	38
4. BULGULAR.....	39
4.1. Sütleğen Boksit ve Yan Kayaç Örneklerinin Mineralojisi ve Petrografisi	39
4.1.1. Analitik Mineraloji	39
4.1.2. Mineraloji ve petrografi sonuçları	39
4.2. Jeokimyasal Veriler	45
4.2.1. Boksiti oluşturan majör element oksitler.....	45
4.2.2. Boksiti oluşturan nadir toprak elementleri	50
4.3. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler	52
4.3.1. Pearson korelasyon analizi	52
4.3.2. Regresyon analizi.....	53
4.3.3. Faktör analizi	56
4.3.4. Kümeleme analizi	59
4.4. Boksitlerin Ayrışma Endeksleri Sonuçları	59
4.5. Kütle Değişim Hesaplamaları	63
4.6. Sütleğen Boksit Örneklerinin Jeokimyasal Sonuçlarının ve PAE, R Ayrışma Endekslerinin Dağılım Haritaları	65
5. TARTIŞMA	66
5.1. Sütleğen Boksit Cevherinin Ana Kayaç Kökeni	66
5.2. Sütleğen Boksit Yatağı Oluşumunda İz Elementlerin Etkisi	67
5.3. Boksitlerin Kimyasal Ayrışma Süreçleri.....	68
5.4. Boksitlerin Oluşum Mekanizması	69
6. SONUÇLAR	71
7. KAYNAKLAR	75

8. EKLER.....	84
---------------	----

ÖZGEÇMİŞ



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sütleğen Bölgesi (Kaş, Antalya) Boksit Yataklarının Jenezi ve Ekonomik Özellikleri” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

02/07/2020

Özge ÖZER

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Σ	: Toplam
%	: Yüzde
>	: den çok
<	: den az

Kısaltmalar

SiO_2	: Silika veya Kuvars veya silisyumdioksit
Al_2O_3	: Alümina veya Alüminyum Oksit
Fe_2O_3	: Demir (III) Oksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
MgO	: Magnezyum Oksit
Na_2O	: Sodyum Oksit
K_2O	: Potasyum Oksit
MnO	: Mangan Oksit
TiO_2	: Titanyum Oksit
P_2O_5	: Fosfor Pentaoksit
Cr_2O_3	: Krom (II) Oksit (III)
Ba	: Baryum
Ag	: Gümüş
As	: Arsenik
Au	: Altın
Be	: Berilyum
Bi	: Bizmut

Cd	: Kadmiyum
Ce	: Seryum
Co	: Kobalt
Cs	: Sezyum
Cu	: Bakır
Dy	: Disporsiyum
Er	: Erbiyum
Eu	: Evropiyum
Ga	: Galyum
Gd	: Gadolinyum
Hf	: Hafniyum
Hg	: Civa
Ho	: Holmiyum
La	: Lantanyum
Lu	: Lutetiyum
Mo	: Molibden
Nb	: Niobyum
Nd	: Neodimyum
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
Pr	: Praseodim
Rb	: Rubidyum
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum

Sm	: Samaryum
Sn	: Kalay
Sr	: Stronsiyum
Ta	: Tantal
Tb	: Terbiyum
Th	: Toryum
Tl	: Talyum
Tm	: Tulyum
U	: Uranyum
V	: Vanadyum
W	: Tungusten
Y	: İtiryum
Yb	: İterbiyum
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkon
ppm	: Milyonda Bir Birim
REE	: Nadir Toprak Elementleri
Σ REE	: Toplam Nadir Toprak Elementleri
LREE	: Hafif Nadir Toprak Elementler
HREE	: Ağır Nadir Toprak Elementleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya boksit yatakları dağılımı (Laznicka 2006; World Aluminium 2019) ...	1
Şekil 1.2. Türkiye boksit yatakları	2
Şekil 1.3. Çalışma arazisi yer bulduru haritası	4
Şekil 1.4. a) Çalışma arazisinin Google Earth görüntüsü b) Çalışma arazisinin topografya haritası.....	5
Şekil 2.1. a) İnceleme alanı yapısal birimler haritası b) P23 1/250.000 ölçekli jeoloji haritası (MTA Fethiye P23 paftası 1/250.000 ölçekli sayısal haritasından değiştirilerek alınmıştır) (Şenel 1997).....	11
Şekil 2.2. Manyetik anomalilere göre olası boksit araştırılan alan	15
Şekil 2.3. a) Sütleğen bölgesi gravite haritası b) Sütleğen bölgesindeki eski işletilmiş boksitlerin hava manyetik haritası	16
Şekil 2.4. Alüminyumun üretim sürecinin iş akış şeması (Haraldsson 2018; Brough ve Jouhara 2020)	17
Şekil 2.5. Boksit işletmeciliğinde arıtma iş-akış şematiği (Cusano vd. 2017; Brough ve Jouhara 2020)	17
Şekil 3.1. Sütleğen boksit yatağı arazi çalışmaları a) kireçtaşları ile boksit dokanağı b) kil, kireçtaşı ve boksit dokanakları c) kil, kireçtaşı ve boksit dokanakları d) boksit el örneği.....	20
Şekil 3.2. Çalışma arazisinden görüntüler a) boksit kesiti b) boksit el örneği c) boksit yarması d) kil ile bulunan boksit.....	21
Şekil 3.3. Mineralojik ve petrografik analizlerin yapıldığı laboratuvar.....	22
Şekil 3.4. İnce kesit hazırlama aşamaları a) taş kesme b) aşındırma c) yapıştırılan kireçtaşı d) zımparalama işlemi	23
Şekil 3.5. Parlak kesit hazırlama işlemleri a) kesme aşaması b) zımparalama işlemi c) farklı çuhalar kullanılarak zımparalama işlemi d) parlatma işlemi	25
Şekil 3.6. XRF cihazı ve programı	26
Şekil 4.1. a) KÇT1 b) KÇT3 c) KÇT25 d) KÇT29 e) KÇT35 f) KÇT35 örnekleri ince kesit mikroskop görüntüleri	41

Şekil 4.2. a), b), c), d) B07 parlak kesit mikroskop görüntüsü	42
Şekil 4.3. a), b) B20 parlak kesit mikroskop görüntüsü	42
Şekil 4.4. B47 parlak kesit mikroskop görüntüsü	43
Şekil 4.5. a), b), c) B65 parlak kesit mikroskop görüntüsü	44
Şekil 4.6. a), b), c), d), e) B68 parlak kesit mikroskop görüntüsü	45
Şekil 4.7. Sütleğen arazisinden derlenen a) boksit örneklerinin majör element box-plot analizi b) yan kayaç örneklerinin majör element box-plot analizi c) terra-rossa toprak örneklerinin majör element box-plot analizi	47
Şekil 4.8. Boksit, terra-rossa ve yan kayaç örneklerinin a) $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ mineralojik sınıflamasını gösteren üçgen diyagramı (Aleva 1994) b) $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--Fe}_2\text{O}_3$ lateritleşme derecesini gösteren üçgen diyagramı (Schellmann 1982) c) $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--Fe}_2\text{O}_3$ boksit sınıflandırmasını gösteren üçgen diyagramı (Boulangue ve Carvalho 1997) d) Beauvais ve Colin 1993'e göre boksit oluşum mekanizmasının jeokimyasal yollarını gösteren üçgen diyagramı e) Bárdossy ve Aleva 1990'a göre boksit türünü gösteren üçgen diyagramı	48
Şekil 4.9. a) Örneklerin kondirite göre normalize edilmiş örümcek diyagramı (normalleştirilme değerleri: Sun ve Mc Donough 1989); b) Örneklerin üst kıtasal kabuğa (ÜKK) göre normalize edilmiş örümcek diyagramı (ÜKK değerleri Taylor ve McLennan 1981'dan alınmıştır).....	51
Şekil 4.10. a) Nb/Ta (iz elementlerinin boksit, terra-rossa ve kireçtaşı için) b) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ga}$ c) $\text{Ce}/\Sigma\text{LREE}$ d) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Th}$ dağılımlarının iki değişkenli grafikleri.....	52
Şekil 4.11. a) $\text{P}_2\text{O}_5\text{--Sr}$ lineer dağılım grafiği b) $\text{K}_2\text{O--Rb}$ lineer dağılım grafiği c) $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Ga}$ lineer dağılım grafiği	54
Şekil 4.12. Faktör analizi öz değer grafiği.....	57
Şekil 4.13. Sütleğen boksit örneklerinin dendogram diyagramı.....	59
Şekil 5.1. a) Cr değerlerine karşı Ni dağılım diyagramı (Schroll ve Sauer 1968) b) Log Cr değerlerine karşı birikim katsayısı değerleri (Özlü, 1983; Nyamsari vd. 2020).....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

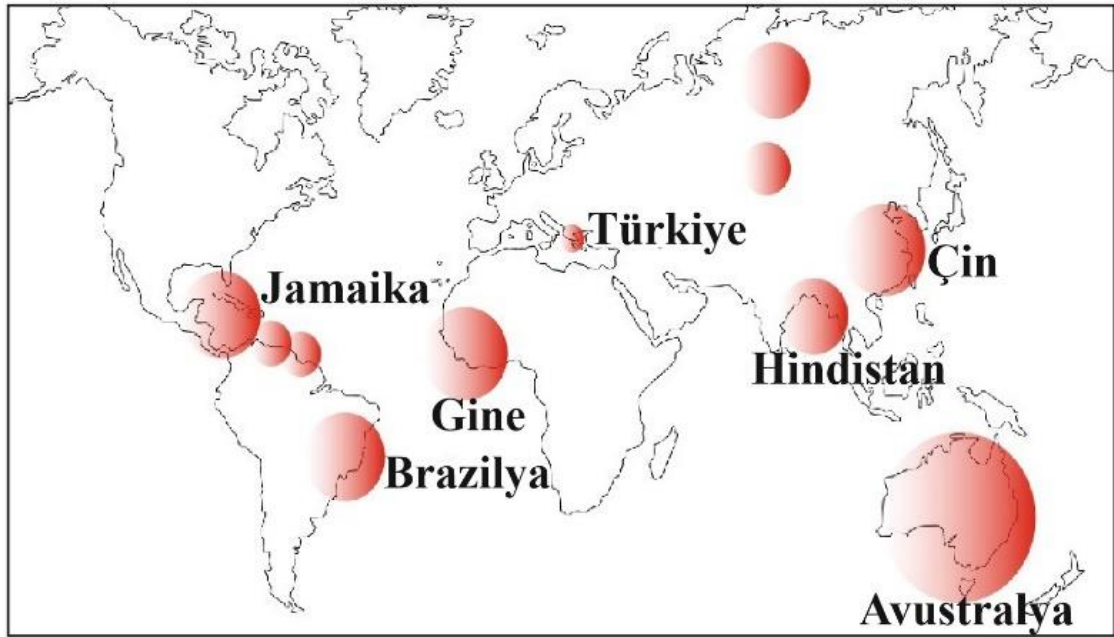
Çizelge 2.1. Çalışma arazisi stratigrafisi.....	14
Çizelge 2.2. Al_2O_3/SiO_2 (modül) oranına göre sınıflandırma (DPT 1991).....	18
Çizelge 2.3. BEV değerlerine göre boksit sınıfları (DPT 1991).....	18
Çizelge 2.4. Kullanım alanalarına göre boksit sınıflaması	19
Çizelge 3.1. Spektroskopik yöntemlerin karakteristik özellikleri.....	29
Çizelge 4.1. Boksit örneklerinin XRD sonuçları	39
Çizelge 4.2. Sütleğen boksitlerinin majör element verilerinin betimsel istatistiği	46
Çizelge 4.3. Sütleğen boksitlerinin iz element verilerinin betimsel istatistiği.....	49
Çizelge 4.4. Sütleğen boksitlerinin iz element verilerinin betimsel istatistiği.....	50
Çizelge 4.5. Sütleğen boksitlerinin iz element verilerinin betimsel istatistiği.....	50
Çizelge 4.6. Nadir toprak elementlerinin normallik testi sonuçları	53
Çizelge 4.7. P_2O_5 -Sr lineer dağılımının açıklanabilir varyans sonucu	54
Çizelge 4.8. P_2O_5 -Sr lineer dağılımı hata oranı sonucu	55
Çizelge 4.9. K_2O -Rb lineer dağılımı açıklanabilir varyans sonucu	55
Çizelge 4.10. K_2O -Rb lineer dağılımı hata oranı sonucu.....	55
Çizelge 4.11. Al_2O_3 -Ga lineer dağılımını katsayı sonucu.....	55
Çizelge 4.12. Al_2O_3 -Ga lineer dağılımı hata oranı sonucu	56
Çizelge 4.13. Verilerin faktör analizine uygunluğu testi (KMO ve Bartlett's Testi)	57
Çizelge 4.14. Toplam açıklanabilir varyans sonuçları.....	57
Çizelge 4.15. Değişkenlerin ortak varyansı sonuçları	58
Çizelge 4.16. Döndürülmüş faktör matrisi sonuçları	58
Çizelge 4.17. Boksitlerin ayrışma endeksleri sonuçları.....	61
Çizelge 4.18. Sütleğen boksitlerinin farklı lokasyonlarına ait toplu kütle değişimleri (MC, MMC) değerleri	63

1. GİRİŞ

Jeokimyasal ayrışma (erozyon) tepkimeleri (lateritik ayrışma) sonucu oluşmuş, alümina yönünden zengin, silisçe fakir endüstriyel olarak işletme değerine sahip olan metalik cevherlere boksit denir. Bu lateritik ayrışma ürünleri, yüksek miktarlarda alüminyum oksihidroksitler bulundurulur. Bunlar gibsit, böhmit ve diaspordur (Harder 1952; Rivera vd. 2019). Boksit ve Al-lateritleri oluşum şekillerine ve yatak geometrilerine göre Hose 2016, genel jeolojik oluşum şekillerine göre Grubb 1971, boksit yataklarını oluşumları ve ana kayaçlarına göre uygun olarak sınıflandırma yapmışlardır. Boksitlerin dünya literatüründe kabul edilen üç türü vardır;

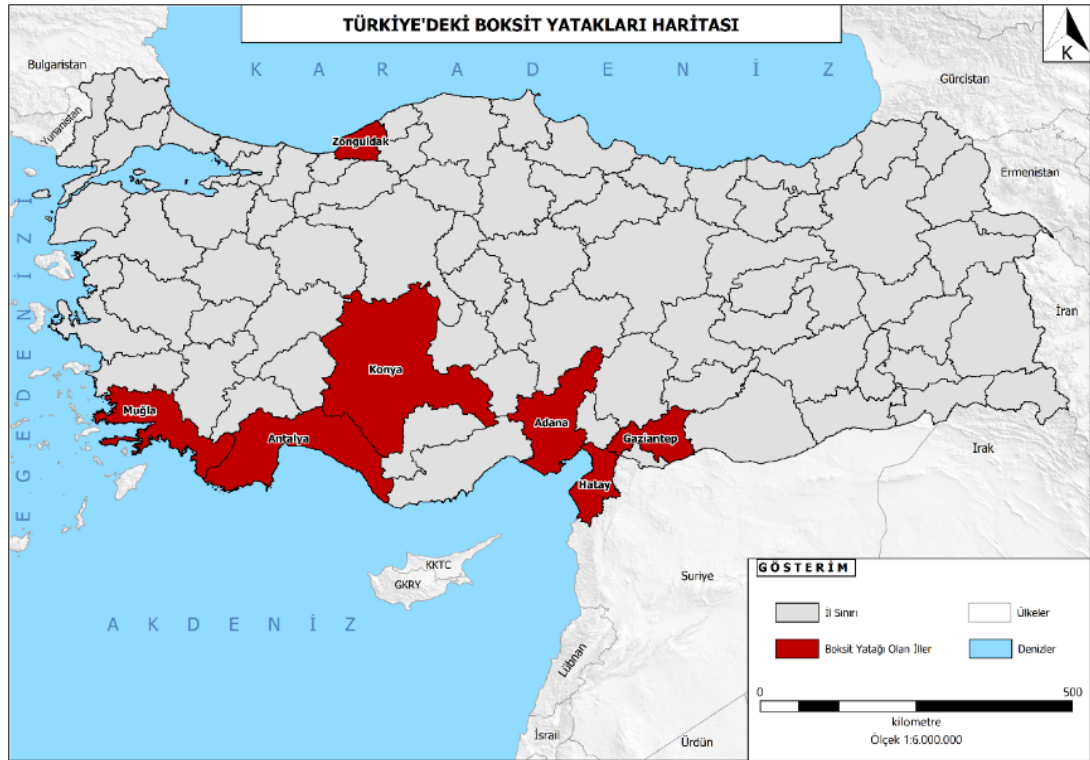
1. Lateritik boksit
2. Karstik boksit
3. Tikhvin tipi (sedimanter boksit) (Bárdossy 1982; Bogatyrev vd. 2009; Hanilçi 2013; Zamanian vd. 2015).

Günümüzde bilinen tüm boksit yataklarının %88'i lateritik tip oluşumlu olup, %11,5 karstikkökenlidir, kalan %0,5'i ise Tikhvin tipi sedimanter kökenli boksit yataklarıdır (Meyer 2004; Melo vd. 2018). Dünyada lateritik tipteki boksit örnekleri Avustralya, Karayipler, Gine, Kamerun; karstik tipi boksit yatakları ise Avrupa ve Jamaika'da bulunmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Dünya boksit yatakları dağılımı (Laznicka 2006; World Aluminium 2019)

Türkiye’de boksit cevherleşmeleri, güneyden başlanarak batıya doğru devam eden bir kuşağı (Toros kuşağı) boyunca devam eder. Bunların görüldüğü yerler il bazında şöyle sıralanabilir; Muğla, Antalya, Konya, Gaziantep, Hatay, Adana, Zonguldak (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Türkiye boksit yatakları

Boksit madenleri genellikle topografyanın engebeli olmadığı düz platolarda gelişir. Paleo-iklimsel koşul özelliği olarak ise tropik bölgelerde meydana gelir (Melo vd. 2018). Tropikal bölgeler birçok açıdan boksit oluşumlarına uygundur. Bu koşullar şöyle sıralanabilir;

1. **Çözücü özellikteki su:** Hidrojeolojik koşulların kontrol ettiği kapsamda, bölgeye düşen yağışın fazlalığı sayesinde bölgede buharlaşmanın da çok olabileceği söylenilebilir. Bu evrede meydana gelen yüzeysel akış, lateritik topraklardaki kalıntı bileşenlerini (kayaç yapıcı elementler, nadir toprak elementleri ve duraylı elementler) bölgeden uzaklaştırır. Böylece ana kayanın özelliklerine göre şekillenecek ve Al, Fe, Ti ve Ni gibi metaller zenginleşir ve sonunda boksiti oluşturan mineral grupları (gibsit, böhmite ve diaspore) oluşur.
2. **Çözünebilen kayaç varlığı:** Karstik ortam koşullarında bölgeye düşen yağışın miktarı, formasyonda gelişebilecek jeokimyasal ayrışma tepkimelerine uygunluğu açısından önemlidir.
3. **Taşıyıcı litoloji:** Jeokimyasal ayrışma tepkimeleri sonucunda gelişen ve zenginleşen minerallerden uzaklaştırılacak olan posa metal veya minerallerin uygun bir jeolojik birim tarafından taşınması (örnek: alüvyon malzeme).
4. **Uygun paleo-iklimsel koşullar:** Jeokimyasal ayrışma reaksiyonlarının gerçekleştirebilmesi için gerekli ortam şartları şöyle sıralanabilir; sıcaklık, nem, yağış, vb.

5. Topografya özelliği: Topografya özelliği bakımından boksit oluşumlarına uygun olarak daha çok düzlük platolar gösterilebilir.

Dünya’da ve Türkiye’de boksit cevherlerinin farklı türleri üzerine yapılan birçok araştırma mevcuttur. Bunlardan bazıları şöyle özetlenmiştir;

Rivera vd. tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada, boksit cevherlerindeki nadir toprak elementlerinin (Sc, Y, Ce, Nd) majör elementler ile olan ilişkisi çıkarılmış olup, endüstriyel kullanım alanı fazla olan bu cevherin işlenmeden önceki ve sonraki kimyası kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda ise, boksitin ana mineralleri olan gibsit, böhmit ve diyaspor’un nadir toprak elementlerini taşıdığı ve bazı elementlerin boksit işletilmesi sürecinde posa element olarak içerikten ayrıldığını savunmuşlardır.

Long vd. tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada, lateritik türde olduğu saptanan Boloven boksit yatağının jeolojik jenezi araştırılmış olup, bazalt ve kumtaşlarından köken alarak oluştuğu savunulmuştur. Boksit örneklerinin, çeşitli mineralojik ve petrografik analizleri çalışma kapsamında yapılmış olup, jeokimyasal olarak değerlendirilmiştir. Al-Ti-Zr diyagramı, Log Nb/Y, Log Zr/Ti gibi çalışmalar ile iki farklı jenez kaynağının (kumtaşı ve bazaltlar) boksitleri birbirleri ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın sonucunda ise kumtaşlarının üzerinde bulunan boksit yataklarının, alkali bazaltlardan türediği savunulmuştur.

2019 yılından Gamaletsos vd. tarafından yapılan araştırma Yunanistan’da bulunan ve jeolojik jenez olarak karstik tip boksitlere dayandırılan cevherlerin nadir toprak elementleri ve bu element ilişkilerinin anlaşılması üzerine çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda ise La-Gd’ye 106-913 ppm; Tb-Lu’ya 45-179 ppm arasında değişen oranlarda lantanitler ve skandiyum grubu saptanılmıştır. Bu boksitlerde en çok bulunan nadir toprak elementi ise Sc (192-1109 ppm) olarak çıkarılmıştır. Sc’un alüminyumun bünyesinde yüksek oranlarda bulunması boksitin endüstriyel kullanım alanını genişlettiği araştırmacılar tarafından savunulmuştur.

Sidibe ve Yalçın tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada, dünyada büyük bir boksit rezervine sahip olan Batı Afrika Kindia boksit oluşumlarının jenezi, mineralojisi ve petrografisi anlaşılmaya çalışılmıştır.

Boksit oluşumlarının %88’inin lateritik kökenli olduğu bilinmektedir ve Kindia bölgesindeki boksit yataklarının çoğunluğunun da bu yüzdelerde olduğu çalışmanın sonucunda araştırmacılar tarafından savunulmuştur. Balaya ve Debele platosundaki boksitlerin majör mineralleri, gibsit ve götit; minör mineralleri ise anataz, rutil ve diyaspor olarak çıkarılmıştır. Bu boksitlerin ana oluşum mekanizması ile ilgili olarak kaolinit kil türünün derinlerde lateritleşmesi sonucu, desilikasyon yoluyla gibsit’in oluştuğu ve ortamda bulunan beraber bazı mobil mineral ve elementlerin de taşındığı savunulmuştur.

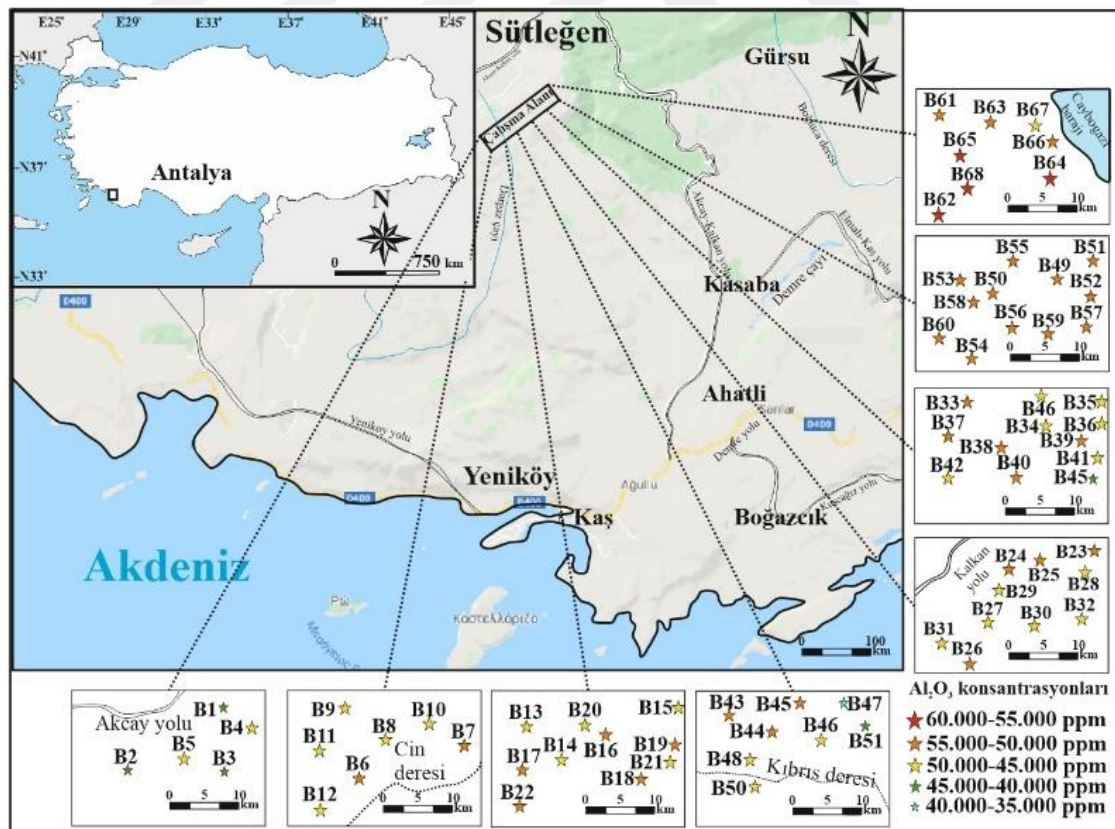
Çalışma alanı olarak seçilen Sütleğen köyü, Batı Toroslar bölgesinin Likya napları ön cephesinde izlenen Dalaman-Ortaca'nın doğusunda yer alır (Şekil 1.3).

MTA tarafından oluşturulmuş Fethiye 1/25.000 ölçekli P23-a1 – P23-a2 paftalarında yer alan Sütleğen köyü Antalya ilinin Kaş ilçesine bağlıdır. Bölge genel jeoloji itibariyle, Orta Eosen – Alt Miyosen yaşlı Elmalı formasyonu, Orta Eosen – Üst Eosen yaşlı Susuzdağ formasyonu ve bölgenin en genç birimi olarak Kuvaterner yaşlı yamaç molozu içerikli alüvyal malzeme ile örtülüdür.

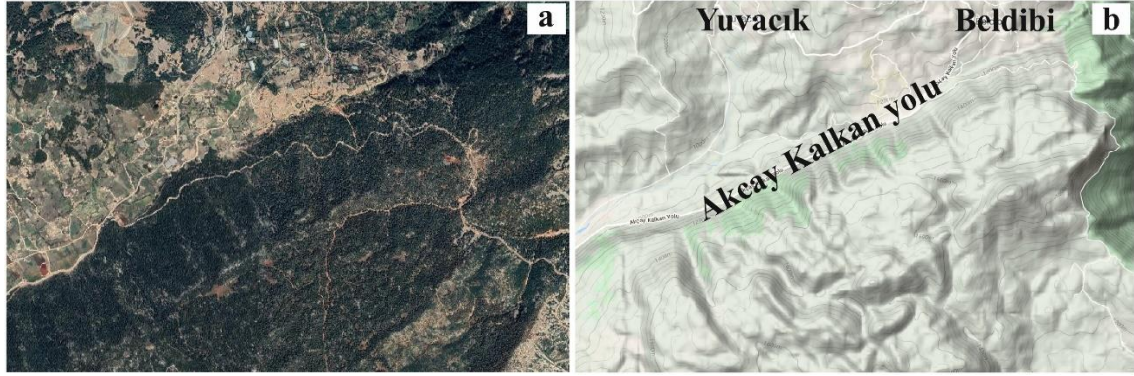
Antalya ili Kaş ilçesinin iklim özelliği bakımından ele alınacak olursa, yazları sıcak ve kurak olarak geçtiği ancak kışların daha çok ılıman ve yağışlı geçtiği söylenilebilir.

Kaş ilçesinin yüksek kesimlerinde karasal iklim görülebilmektedir. Meteoroloji genel verilerine göre bölgede ortalama sıcaklık 19,6°C, ortalama nem %54 ve yıllık periyotta bölgeye düşen yağış ortalaması 782,9 kg/m²'dir.

Sahil kısımlarında maki bitki örtüsü görülen bölgede denizden uzaklaştıkça maki örtüsü yerini zengin tür ve çeşitlilikte bitki örtüsü ve ağaçlar almaktadır (Köroğlu 2012). Şekil 1.4 (a, b)'te çalışma alanının Google Earth görüntüsü ve topografik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 1.3. Çalışma arazisi yer bulduru haritası



Şekil 1.4. a) Çalışma arazisinin Google Earth görüntüsü **b)** Çalışma arazisinin topografya haritası

Antalya ili Kaş ilçesine ait bölgesel jeoloji çalışmaları mevcut olmasına rağmen, bölgede gelişmiş olan boksit cevherleşmesinin mineralojisi, petrografisi, jeokimyasal prospeksiyonu ve jenetik özelliklerini içine alan kapsamlı bir araştırması daha önce yapılmamıştır. Antalya iline bağlı Kaş ilçesi Sütleğen köyünde oluşmuş boksit cevherinin oluşumunda rol oynamış kayaç veya kayaçların mineralojik ve petrografik çözümlemesi, bulunuş ortamındaki yan kayaç litolojisinin, magma ve köken ilişkisinin kurgulanması ve bölgede gelişmiş olan boksitin oluşum mekanizmasının (model karakterizasyonunun) çıkarılması tez kapsamında amaçlanmıştır. Bu kapsamda, araziden derlenen numunelere çeşitli jeokimyasal, mineralojik ve petrografik analizler (XRD, XRF, ICP-MS, ince kesit, petrografi) uygulanmış olup bu veriler çeşitli yöntemler kullanılarak yorumlanmıştır. Tez kapsamında yapılan analizler, literatürde daha önce yapılmış olan çalışmalar göz önüne alınarak planlanmıştır. Bu çalışmalar ise şöyle sıralanabilir; Kaolinitin oluşumu ve boksit oluşum mekanizmasına etkisi ile ilgili yapılan çalışmada boksit, altın, niyobyum ve tantal gibi ekonomik hammaddeleri içinde bulundurur. Kayaç oluşturan minerallerin bölgesel profillerini anlamlandırabilmek için hem kaolinit içeren hem de gibsit içeren boksit yataklarından numuneler alınmış ve yapılan çeşitli jeokimyasal (XRD, XRF, SEM) analizler neticesinde kaolinitin, gibsitin önce oluştuğu bilgisine ulaşılmıştır (Novikov vd. 2018). İtalya Abruzzi madencilik bölgesinde bulunan boksit yataklarının jeokimyasal özellikleri isimli çalışmada, bölgedeki karstik, oolitik ve oolitik-konglomeratik boksit oluşumları araştırılmıştır. Cevher örneklerinin jeokimyasal analizleri sonucunda, böhmit, hematit ve götit mineralleri varlığı belirlenmiştir. Ayrıca, boksitin kökenlerinin karstik ana kaya değil, volkanik bir kayacın olduğuna ilişkin bilgiler sunulmuştur (Putzolu vd. 2018). Doğu Amazon Belterra kili boksit yataklarında yapılan çalışmada, 25 m kalınlığında değişen ve sarımsı kil varlığı bulunan bölgede 3 ayrı boksit cevheri olduğu düşünülmüştür. Farklı lokasyonlardan alınan boksit numunelerinin jeokimyasal analizlerinde farklı tür mineral varlığının saptanması, hipotezin doğruluğunu kanıtlamıştır (Negrao vd. 2018). Güney Çin Xiaoshanba boksit cevherinin jeolojisi ve jeokimyası isimli çalışmada parajenezde bulunan mineral içerikleri çıkarılmıştır. Boksit yatağına ait mineralizasyon, XRD analizi ile belirlenmiş olup, cevher oluşturan mineral içerikleri çıkarılmıştır. Ayrıca, farklı çalışmalar ve Xiaoshanba bölgesinde görüldüğü

gibi, Çin'deki birçok boksit yatağının karstik tipte olduğu bilinmektedir. (Ling vd. 2018). San Giovanni Rotando boksit yatağının mineralojik ve jeokimyasal özellikleri üzerine yapılan bilimsel çalışmada, oolitik bir yapı gösteren karstik boksit yatağının mineral bileşiminin böhmit, hematit, rutil, kaolinitten oluştuğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan analizler XRD, SEM, EDS şeklinde sıralanabilir. Boksit yatağının jenez bilgisi olarak ise, magmatik ve silisik bileşen olduğu düşünülmüştür (Sinisi 2018). Tütmez 2018 yılında yaptığı çalışmada boksit yataklarının endüstriyel ve ham madde olarak kullanılabilirliği açısından değerlendirmesini yapmıştır. Yapılan çalışmada boksit yataklarının Al_2O_3/SiO_2 modülü geliştirilerek bir sınıflama önermiştir. Bu yöntemler ile ekonomik bir kaynak olan boksit cevherinin sürdürülebilir kalite ve kullanımını içine alan bir model karakterizasyon çalışması tez kapsamında yapılmıştır.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Boksit Oluşumları Hakkında Bilgiler

Boksit, lateritik ayrışma ile gelişen, alümina bakımından zengin, silika ve nispeten de demirce fakir yataklara verilen isimdir (Çağatay ve Arman 1982; Yalçın ve İlhan 2013; Sidibe ve Yalçın 2019). Boksit terimi ile ilgili uluslararası olarak bilinen ilk tanımlama Bethier tarafından 1821 yılında yapılmıştır. Güneydoğu Fransa’da bulunan Les Baux sarayının çevresindeki Kretase yaşlı kireçtaşlarının içerisindeki lateritik ayrışma ürünü olan boksit fark edilmiş olup, sarayın ismi olan “bauxite”, bu ayrışma ürününe verilmiştir (Caner 1971; Çağatay ve Arman 1982; Sidibe ve Yalçın 2019). Metalik bir maden olan boksit zenginleşmeleri, dünyanın ve Türkiye’nin pek çok farklı bölgelerinde görülmesi jeo-çevresel bir yaklaşımla ele alındığında, tropikal iklim – yarı tropikal iklim kuşaklarının bulunduğu bölgeleri işaret eder Tropikal iklim kuşaklarında fazlaca gözlenen bu metalik cevherleşmenin, alümina (Al_2O_3) bakımından zengin olması, zorlu hava koşullarına dayanıklı olabilme özelliğini beraberinde getirmiştir (Gow ve Lozej 1993). Genellikle özgül ağırlık bakımından boksitler 2,5-3,5 gr/cm³; sertlik bakımından ise 1-3 arasında değişen skalada bulunurlar (Çiftçi 2003). Bulunuş ortamı itibarıyla boksit cevherleşmelerinin rengine bakıldığında ise, sarı renkten-açık koyu kahverengiye kadar değişen ve ayrıca istisnai renk skalasında gözlenmesi mümkün olan beyaz-gri renklerde de oluşabilmektedir (Nyamsari 2015). Bir boksit zuhurunun (zenginleşmesinin) ekonomik olarak değerlendirilebilmesi ve işletilebilmesi ve boksit cevheri olarak gösterilebilmesi için %3-5 silika (SiO_2), %20’den az demir-oksit (Fe_2O_3) ve %45-50’den fazla alümina (Al_2O_3) içermelidir (Gow ve Lozej 1993; Bárdossy ve Aleva 1990). Bu nedenledir ki boksitin sürdürülebilir bir şekilde işletilebilir maden yatağı olabilmesi ve kalite-kullanım açısından değerlendirilebilir olması içerdiği silika, alümina ve demir-oksit oranına bağlıdır (Nyamsari 2015). Özetle boksit, mostra vermiş şekilde veya mostradan uzak-derin oluşumlu, iklim kuşağı olarak çoğunlukla tropikal ayrışma özelliği gösteren koşullar altında, alüminyum hidroksit minerallerinin bir araya gelerek meydana getirdikleri farklı formlarda gözlenebilen (toprak/kayaç) bir ayrışma ürünü olup, jeolojik anlamda kalıntı tip yataklanma gösteren ikincil oluşum ürünüdür.

2.1.1. Boksiti jeolojik olarak sınıflandırma

Boksitin oluşum mekanizmasını oluşturan çok sayıda değişken olduğundan, bu kaynakların orjinlerini ve karakterlerini sınıflandırabilmek oldukça güçtür (Patterson 1967). Boksit oluşumlarının bulunduğu ortamlardaki ana kayaç varlıkları ele alındığında; lateritik ve karstik oluşumlu boksitler olarak 2’ye ayrılmaktadır (Weisse 1948; Gow ve Lozej 1993). Boksitlerin oluşum ortamlarında topografya ve yan kayaçlarla olan ilişkileri sebebiyle Zans 1961’e göre karstik ortamlarda oluşan boksitler genel itibarıyla terra-rossa ve kireçtaşı kaynaklı olarak meydana gelmektedir (Fransız ve Akdeniz boksit yatakları). Kaynak oluşumu belirlenmemiş olan birçok boksit yatağı bulunması nedeniyle yazarların boksit oluşumları hakkında farklı tip görüşleri türemiş olup bunlardan bazıları şöyle

sıralanmaktadır; örtü kayaları, ara oluşumlu (katmanlı) yataklar, epijenetik oluşumlara (Allokton boksitler) örnek (cep ve taşınmış yataklar) (Patterson 1986).

Boksit zenginleşmelerinin jeolojik oluşum zamanlarına bakıldığında, Prekambriyen'den başlayarak günümüze uzanan bir jeolojik zaman skalasının gözlendiği saptanmış olup, Paleozoik zamanın neredeyse her devrinde ve senozoik zamanın özellikle Tersiyer devrinde ortaya çıkan formasyonlar olduğu görülmüştür (Patterson 1967; Gow ve Lozej 1993; Sidibe ve Yalçın 2019).

2.1.2. Boksitin mineralojisi ve petrografisi

Boksit zenginleşmelerinin genellikle ana kayadan sonra (epijenetik-ard oluşumlu) olduğu ve tane bileşimli toprağımsı yapıda, pizolitik, mostra yapısı olarak bakıldığında masif ya da katmanlı ve çoğunlukla psödomorfik yapı özelliği taşıdığı yapılan araştırmalar sonucu saptanmıştır (Neil ve Gian 1993). Bu karmaşık yapının oluşumu, çevre şartlarının da etkisiyle (jeo-çevresel şartlar) alüminalı ve silikatlı minerallerin bir araya gelerek, her oluşan mineralin bir önce oluşan mineralden meydana geldiği genetik ve mineralojik bir seri ile açıklanabilir. Boksiti oluşturan başlıca cevher mineralleri, hidrarjilit (gibsit), böhmit ve diyaspor'dur (Sidibe ve Yalçın 2019). Boksit oluşumlarının içerdiği ilk kristalin mineral olan ve daha sonraki evrelerde dehidratasyon (suyunu kaybetme) geçirerek böhmit mineralini oluşturan minerale hidrarjilit yani diğer adıyla gibsit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) denmektedir. Boksit oluşumlarında ilk kristalin olarak, ortam şartlarında bulunan feldispatların (kil minerallerinin) alterasyonları sonucu ya da yine feldispatların bir araya gelerek bazı kil minerallerini oluşturmaları (kaolinit, illit, vb.) sonucu yine alterasyon geçirerek hidrarjilite dönüştüğü bilinmektedir (Patterson 1967). Alüminatrihidrat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) içeriğine sahip olan gibsit boksit kalitesini etkileyen 2 adet polimorf'a sahip olması nedeniyle yatak kalitesi değerlendirilmesi açısından tartışma konusudur (Newsome vd. 1960; Bárdossy 1959; Patterson 1967). Böhmit minerali, alüminyum oksit hidroksit ($\text{AlO}(\text{OH})$) olarak tanımlanmakla beraber jeolojik anlamda bakıldığında her tip boksit yatağının oluşumuna katılan bir mineraldir (Sidibe ve Yalçın 2019). Böhmitin, gibsitte başlıca farkı kimyasal açıdan suyunu kaybetmiş olmasıdır buna ek olarak fiziksel farkı ise gibsite göre sert olmasıdır. Dehidrasyon geçiren gibsit minerali, kristalleşmemiş boksitler içerisinde uzun zaman ve evreler geçirerek böhmit mineralini oluşturur. Bu safhanın hızlandırıcısı metamorfizma olayı olarak gösterilmiştir. Böhmit daha önceki evrelerde oluşmuş gibsit ile daha sonraki evrede oluşacak olan diyaspor minerali arasındaki geçiş minerali olma özelliği taşımaktadır (Nyamsari 2015). Kristalin, amorf veya kriptokristalin şeklinde bulunan böhmit genel itibarıyla gibsit beraber bulunur. Mostra gösteren boksit yataklarında cevher minerali olarak rastlanmaktadır (Neil ve Gian 1993). Dehidrasyon kimyasal olayının tepkimesinin son evresinde meydana gelen ve böhmit mineralinin içerdiği az miktardaki suyun neredeyse tamamının kaybolarak kimyasal içerik olarak aynı fakat, atomik yapı bileşimi itibarıyla farklılaşmış yoğunlaşmış minerale ise diyaspor denir. Diyaspor mineralini boksit cevherleri içinde disemine olarak görmek pek mümkün olmamakla beraber, gibsit'ten başlayarak

böhmit ve ardından dijaspor'un oluşumuna kadar gerçekleşen dehidrasyon kimyasal kimyasal tepkimesinde katalizör olarak etkisi bulunan metamorfizma dijaspor mineralini kompakt bir hale getirebilir ve böylece boksit cevheri içerisinde porfirik yapıda kristalen halde de gözlenebilir (Neil ve Gian 1993). Metamorfizm etkisi ile oluşan dijaspor mineralleri, mostra yüzeyinden uzak ve gömülü olarak bulunan boksitlerde daha sık rastlanabilir (Gow vd. 1993). Gibsit'ten başlayarak bakıldığında en yumuşak boksit cevheri mineralleri arasındaki en sert ve en yoğun özgül ağırlığa sahip mineral özelliği taşımaktadır. Sonuç olarak boksit cevherini oluşturan 3 tip mineral varlığından söz edilebilir; Gibsit, Böhmit, Diyaspor. Bu minerallerin $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ şeklindeki kimyasal formülleri alümina içerikli olduklarını ve aralarındaki farkın ise su içeriği ve bunun getirisi olan özgül ağırlık farkından kaynaklı olduğu bilinmektedir. Gibsit'i böhmitten ayıran 2 mol su molekülü, sıcaklığın artışı (140-220°C yükseliş) sebebiyle böhmit mineralinin oluşumuna, sonraki evrede ise yine sıcaklığın yaklaşık 300°C'e yükselişi sebebi ile dijaspora dönüşmektedir (Nyamsari 2015). Ortamdaki hidrotermal sular sıcaklık ve basıncın artmasındaki başlıca sebep ve boksit minerallerinin oluşumundaki ana faktördür. Genellikle dijasporik boksitler Paleozoyik, Böhmit içeriği fazlaca olan boksitler Mesozoyik, gibsit içeriği fazla olan boksitler ise Kuvaterner ve Tersiyer deviri temsil etmektedir (Tugal 1964; Bárdossy 1973). Boksit yataklarının mineral parajenezini oluşturan gibsit, böhmit ve dijaspor birlikteliği şöyle gruplanabilmektedir; Gibsit+Böhmit/Böhmit+Diyaspor sık rastlanılmasa da Gibsit+Diyaspor şeklindedir (Koç ve Deger 1991).

Boksit yataklarını oluşturan ana (majör) mineral gruplaması gibsit, böhmit, dijaspor şeklinde olsa bile oluşum mekanizmasına katkı veren mineraller de mevcuttur. Demir oksit bileşimli olarak hematit (Fe_2O_3) ve götit ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$); titanyum-demir oksit bileşimli olarak ilmenit ($FeTiO_3$ - $FeTiO_2$); titanyum bileşimli olarak rutil (TiO_2), anataz (TiO_2) ve lökoksit (TiO_2); Silisyum bileşimli kuvars (SiO_2); alüminyum bileşimli olarak korund (Al_2O_3); kil mineralleri (çoğunlukla kaolin olmak üzere illit, simektit vb.) diğer amorf maddeler (fosfat içeren mineraller, granat, turmalin, az miktardaki su ve zirkon vb.) boksitlerin içeriğinde görülen bileşimleri oluşturmaktadır (Patterson 1967; Gow ve Lozej 1993; Neil ve Gain 1993; Jadhav vd. 2012; Nyamsari 2015; Sidibe ve Yalçın 2019). Mostra yüzeyine yakın olmayan boksitler (gömülü boksitler) Mesozoyik/Paleozoik yaşlı olup, genellikle böhmit ve dijaspor minerallerinin baskın olduğu durumda bulunurken; mostra yüzeyi yakınlarında gözlenen ve günümüz boksit yataklanmalarının çoğunluğu niteliğini taşıyan boksit yatakları genellikle Kuvaterner yaşlı olup, mineral içeriği bakımından gibsit'in zengin olarak bulunduğu bir yataklanma sunarlar (Patterson 1967; Tugal 1964; Bárdossy 1973; Gow ve Lozej 1993; Nyamsari 2015; Sidibe ve Yalçın 2019).

Boksitlerin ekonomik kaynak olarak değerlendirilmeleri, kimyasal bileşimlerine bağlıdır. Alümina (Al_2O_3), silikat (SiO_2) ve demiroksit (Fe_2O_3) bileşiklerinin bulunuş oranları, boksitin içerisinde var olan mineral bileşimlerinin dokusal formlarını ve dolayısıyla boksitin yapısal özelliklerini (granüler, masif, oolitik, nodüler, breşli, vb.) değiştirebilmektedir (Gow ve Lozej 1993). Genel itibarıyla işletilebilen bir boksit

cevherinin Alümina içeriği (Al_2O_3) > % 40'dan fazla; silika içeriği (SiO_2) < % 8'den az ve Fe_2O_3 < %20'den az olması beklenir (Bárdossy ve Aleva 1990). İçerikteki demiroksit (Fe_2O_3) bileşimli minerallerin artışı boksiti bir demir yatağına veya içerikteki silika bileşimli minerallerin artışı boksiti bir kil yatağına dönüştürebilmektedir (Koç ve Deger 1991; Nyamsari 2015). Boksit cevherlerinin mostra veren yüzeyleri incelendiğinde, kırmızı renkten başlanarak kahverengi renge kadar oldukça büyük bir renk skalasında gözlenir. Boksit cevheri içerisinde organik materyalin fazla bulunması cevher rengini koyulaştırmakta ve rengi siyah – koyu yeşil renklere çevirebilmektedir (Gow ve Lozej 1993). Boksit cevherleri bulunduğu ortam şartları ve uğradığı diyajenetik tepkimeler sonucu, yüksek gözeneklilik içeriğine sahiptir. Bu özelliği boksit cevherine, kütle yoğunluğunun özgül ağırlığından daha düşük olmasına neden olmuştur (Patterson 1967).

2.1.3. Jeokimya

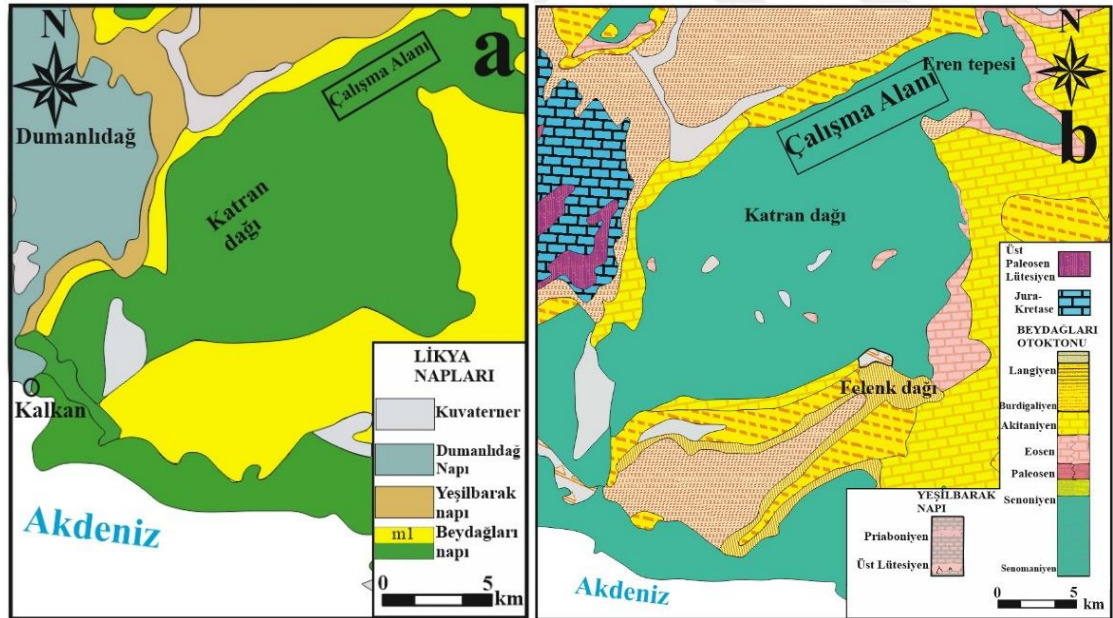
Boksit cevherlerini oluşturan mineral bileşimlerin elementel içerikleri, boksitin majör element içeriğidir ve bu elementel bileşimleri ortaya çıkarmak, boksitin içeriğindeki iz elementleri ortaya çıkarmaktan çok daha kolay ve anlaşılırdır (Nyamsari vd. 2019). Boksit cevherleri bulundukları ortamın jeolojik özelliklerini, topografik özelliklerini ve yatağın geçmişini jeokimyasal özellik olarak yansıtmakla beraber ayrışım olayları sırasında meydana gelen karakteristik iz elementler bakımından zengindirler (Gu vd. 2013; Sidibe ve Yalçın 2019). Boksit cevherinin oluşum mekanizması düşünüldüğünde, diyajenetik oluşum evresi geçiren ve daha birçok kimyasal tepkime evresine maruz kalan boksit cevherinin, bu evrelerde meydana gelen minerallerinin bazılarının çözünme özelliği varken (kayaç oluşumuna katkı veren mineraller (mineral grubu); içerikte olan bazı minerallerinin ise çözünme özelliği yoktur yani ayrışma tepkimelerine karşı duyarlıdır (boksitin içerisinde bulunan aksesuar mineraller) (Bárdossy ve Aleva 1990; Sidibe ve Yalçın 2019).

Boksitin oluşum evresinde kayaç oluşturu mineral bozunmaya az uğrarlarsa, boksitin mineral parajenezi bir o kadar fazla gözlenebilir (Meshram ve Randive 2011). Boksitin içeriğini oluşturan ve karakteristik bir davranış sergileyen iz elementlerin dağılımı aşağıda verilen faktörlerle sınırlıdır;

1. Boksiti oluşturan ana kayacın mineralojik ve kimyasal içeriği,
2. Boksitin bulunduğu ortamlardaki yan kayaç fiziko-kimyasal şartları,
3. Tüm yatağı meydana getiren kayaç grubunun mineral parajenezi ve süksesyonu,
4. Hem kayaç oluşturan hem de cevher oluşturan mineral ve elementlerin çözünürlüğü, hidroksit çözeltisi altındaki pH'ı ve tüm bu mineral gruplamasının oluşuma katkı sağlayan karmaşık formasyon gruplaması,
5. Oluşum mekanizmasının karakterizasyonunun çıkarılması için gerekli diyajenetik, epijenetik tepkimeler (Mordberg ve Nesterova 1996; Sidibe ve Yalçın 2019).

2.2. Sütleğen Bölgesi Bölgesel Jeolojisi

Çalışma alanı, MTA 1/25.000 Fethiye P23-a1, P23-a2 paftalarına düşmektedir. Sütleğen büyük çoğunlukla e2m1-19-a yani Elmalı formasyonu (Te) ile örtülüdür. Bölge genel olarak 13 formasyon bulunmaktadır. Bunlar, Orta-Eosen – Alt Miyosen yaşlı kumtaşı – çamurtaşı, abisal, çökel kaya ile örtülüdür. Q23-k (Oym) Kuvaterner, yamaç malozu – birikinti konisi, karasal, çökel kaya; e2e3-8s (Tes) Orta Eosen – Üst Eosen kireçtaşı, şelf, çökel kaya (Susuzdağ formasyonu, Nummunitli kireçtaşı); k2-8-s (Kb) Beydağları formasyonu, neritik kireçtaşı; Üst Kretase, kireçtaşı, şelf, çökel kaya; J2k-8-s (Jkm) Mandırkaya formasyonu, Neritik kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireç taşı; Dogger – Kretase, kireçtaşı, şelf, çökel kaya; Q21-k (Qal) Kuvaterner yaşlı alüvyon karasal, çökel kaya; pn2e2β-a (hangi yapısal birime ait olduğu belirlenmemiş bazik volkanit); Üst Paleosen – Orta Eosen, bazalt, abisal havza, volkanik kaya; pn2e2-16-y Kozağacı formasyonu (Tk), breş, çamurtaşı, kumtaşı; Üst Paleosen – Orta Eosen, breş, yamaç, çökel kaya; m1-8-s Gömüce üyesi (Tmsg) algli kireçtaşı, Alt miyosen, kireçtaşı, şelf, çökel kaya; m2-18-s Kasaba formasyonu (Tmka) konglemera, kumtaşı, çamurtaşı ve biyohermler, alt miyosen, kil taşı, yamaç – abisal havza, çökel kaya; m1-4-ya Çayboğazı üyesi (Tmsç) Alt Miyosen kiltası, yamaç – abisal havza, çökel kaya; m1-7-y Kıbrisdere üyesi (Tmsk) Alt Miyosen killi kireçtaşı, yamaç, çökel kaya; pn-8-s Gedikbaşı formasyonu (Tpg) Gedikbaşı formasyonu, Paleosen neritik kireçtaşı, şelf, çökel kaya (Şekil 2.1-a, b) (Şenel 1997).



Şekil 2.1. a) İnceleme alanı yapısal birimler haritası **b)** P23 1/250.000 ölçekli jeoloji haritası (MTA Fethiye P23 paftası 1/250.000 ölçekli sayısal haritasından değiştirilerek alınmıştır) (Şenel 1997)

2.2.1. Bölge Jeolojisini Oluşturan Ana Kayaçların Jeolojisi

Elmalı formasyonu (Te-e2m1-19-a), Sütleğen bölgesinden itibaren Yuvacık sınırına kadar ve Yaylacık tepe sınırlarını çevreleyen birim, değişik/farklı tabaka genişliklerinde, gri renkten grimsi kahve ve yeşilimsi gri renklerde gözlenebilen Eosen-Alt miyosen yaşlı farklı tip sedimanter kayalardan oluşmuştur. Bu sedimanter kayalar, kum ve kil içeriği yüksek kireçtaşı, mikro boyutlu konglemera, kum taşı ve çamur taşı şeklindedir. Sütleğen bölgesinin kuzeyinde ve Elmalı formasyonunun üzerinde bulunan Üst Paleosen – Orta Eosen yaşlı Faralya formasyonu volkanit bir sokulum halinde bulunur. Elmalı formasyonunda nadir olarak fosil gözlenebilir (Baykal ve Önalın 1979; Şenel vd. 1989, 1994).

Mandırkaya formasyonu (Jkm-J2k-8-s), Sütleğen bölgesi sınırları içerisinde gözlenen ve özellikle Yaylacık tepe dolaylarında oldukça fazla bulunan jeolojik birim, neritik karbonatlarca zengin masif görünümlü, dış yüzeyleri griden krem rengine kadar farklılaşan az miktarda dolomitik çok miktarda kristalize kireçtaşları ile sınırlıdır. Dogger – Kretase / Liyas – Geç Kretase yaşlı olan birim fosil yönünden zengin değildir (Şenel vd. 1986, 1989, 1994).

Alüvyon dolguları (Qal-Q21-k) ve yamaç malozları – birikinti konileri (Qym-Q23-k), çalışma alanının, Beldibi ile kesiştiği bölgede ağırlıklı olarak bulunan alüvyon dolguları ve yamaç malozları birimleri, özellikle kireçtaşı üzerinde gelişen terra-rossalarla temsil edilir (Şenel vd. 1994).

Faralya formasyonu (adlandırılmamış volkanit v –pn2e2β-a), Sütleğen bölgesinin kuzey ucunda bulunan birim, iki mostra halinde kendini göstermekle beraber fazlaca ezilmiş halde bazik volkanit; spilitleşmiş bazlat halinde bulunur. Üst Paleosen – Lütésiyeen yaşlı olarak kabul edilen birimde, yer yer yastık yapıda bulunan spilit ve alkaliyen yapıda bazaltlardan oluşur (Şenel 1991; Şenel vd. 1989, 1994).

Kozağacı formasyonu (Tk-pn2e2-16y), Yaylacık tepe sınırının kuzey-batı ucunda bulunan birim, karbonat ve kökeni breş olan kireçtaşı ve çörtlerden oluşur (Şenel vd. 1989, 1994).

Kasaba formasyonu (Tmka-m2-a18-s), Susuzdağ bindirmesi ile Sütleğen bölgesinin kesişim aralığında bulunan Kasaba formasyonu, yeşilden açık kahveye kadar farklı renklerde aşınma yüzeyi veren ve konglomera, kum taşı, çamur taşı ve biyoherm merclekleri içeren bir abisal havza içerisinde çökel kaya olarak gözlenir. Çevresindeki diğer formasyonlara göre daha çeşitli fosil bulunma olasılığı yüksek olan birim, Alt Miyosen/ Geç Burdigaliyen – Erken Langiyeen yaşlıdır (Şenel vd. 1989, 1994).

Çayboğazı üyesi – sinekçi formasyonu (Tmsç-m1-4-ya), Kasaba formasyonu ile uyumsuz olarak örtülen birim, gri renkten başlanarak kirli beyaz renge kadar ulaşan renk skalasında, türbiditik nitelikteki kil taşlarından oluşur. Birimin tabanına doğru değişik aralıklarla boksitler görünür. Alt Miyosen – Burdigaliyen yaşlı olarak bulunan birim

transgresif seri özelliği taşımasından dolayı denizel ortam kalıntıları – fosilleri (alg, mercan, gastropod) yönünden zengindir (Şenel vd. 1989, 1994).

Beydağları formasyonu (Kb-k2-8-s), Katran dağına da içine alan kesimde bulunan birim, neritik karbonatlı Geç Kretase/Üst Kretase yaşlı kireçtaşlarını kapsar. Birimin çatlakları genellikle kalsit dolgulu olmakla beraber griden-kirli beyaz renge kadar gözlenebilir. Birim genellikle denizel çökel fosil içeriği bakımından zengin olup, gastropod ve mercan yığılımlarına rastlamak mümkündür (Günay vd. 1982; Şenel vd. 1981, 1994).

Susuzdağ formasyonu (Tes-e2e3-8s), Nummulites fosilinin sıkça rastlandığı formasyon, gri renkten beyaz renge kadar dar bir renk skalasında gözlenir. Erime boşluklarında kalsit dolgularının bulunduğu birim Üst Eosen kireçtaşı, şelf ve Lütisiyen-Priaboniyen) rekristalize kireçtaşlarından oluşmuştur. Sığ deniz şelf ortamında çökelmiş olan formasyon fosil içeriği bakımından zengindir (Baykal ve Önalın 1979, Şenel vd. 1989, 1994).

Gömüce üyesi (Tmsg-m1-8-s), aşınma yüzeyi, griden kirli beyaza kadar gözlenen birim, Sinekçi formasyonun tabanını oluşturur. Birimin alt sınırlarında yer yer boksit zenginleşmeleri gözlenir. Alt Miyosen yaşlı olan birim, kireçtaşlarından oluşur. Fosil içeriği bakımından oldukça zengin olan birimde algli kireçtaşlarının içerisinde bulunabilen gastropod, lamelli ve mercan fosil izlerine rastlanılabilir (Şenel vd. 1989, 1994).

Kıbrısdere üyesi (Tmsk-m1-7-y), Alt miyosen-Burdagiliyen yaşlı olan birim, Sinekçi formasyonuna ait Kıbrısdere üyesi olarak isimlendirilmiştir (Baykal ve Önalın 1979, Şenel vd. 1989, 1994; Meşhur ve Akpınar 1984). Birimin aşınma yüzeyi rengi oldukça geçişli olup bej-yeşilimsi gri-koyu gri şeklinde ve ara tonlarında devam etmektedir. Bol sığ denizel organik kalıntı fosilleri içeren birim, killi kireçtaşlarından oluşur.

Gedikbaşı formasyonu (Tpg-pn-8-s), Susuzdağ sınırlarında yüzeylenmiş olan birim neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Aşınma yüzeyi ve kırılma yüzeyi olarak neredeyse yakın renkler gösteren birim, çatlaklı ve poroziteli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Paleosen yaşlı olan birim, Beydağları formasyonundan ayırımı güç olmakla beraber yer yer dolomitik kireçtaşları içermesiyle farklılık gösterir (Baykal ve Önalın 1979, Şenel 1989).

2.2.2. Sütleğen bölgesi stratigrafisi

Çalışma alanı olan Sütleğen köyü, Fethiye paftasının kapsamış olduğu Kaş bölgesine isabet etmektedir. Otokton konumlu oluşmuş Üst Kretase yaşlı Beydağları otoktonu üzerinde, genel itibariyle Paleosen yaşlı Gedikbaşı formasyonu, Eosen yaşlı Susuzdağ formasyonu, Miyosen yaşlı Gömüce üyesi, Kıbrısdere üyesi ve Çayboğazı üyesi (Sinekçi formasyonuna ait), Kasaba formasyonu, Elmalı formasyonu, Faralya

formasyonu, Kretase yaşlı Mandırkaya formasyonu, Paleosen yaşlı Kozağacı formasyonu ve bölgenin en genç üyeleri (birimler) olan Kuvaterner yaşlı alüvyon dolguları (terra-rossa toprakları), yamaç malozları ve birikinti konileri ile örtülüdür (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Çalışma arazisi stratigrafisi

Beydağları Otoktonu
Mesozoyik
Üst Kretase (Beydağları formasyonu)
Senozoyik
Paleosen (Gedikbaşı formasyonu)
Eosen (Susuzdağ formasyonu)
Miyosen (Gömüce üyesi, Kıbrısdere üyesi (Sinekçi formasyonu), Çayboğazi üyesi, Kasaba formasyonu)
Yeşilbarak Napı
Lütesiyen (Elmalı formasyonu)
Mesozoyik
Jura-Kretase (Mandırkaya formasyonu)
Tersiyer
Üst Paleosen-Lütesiyen (Faralya formasyonu-Kozağacı formasyonu)

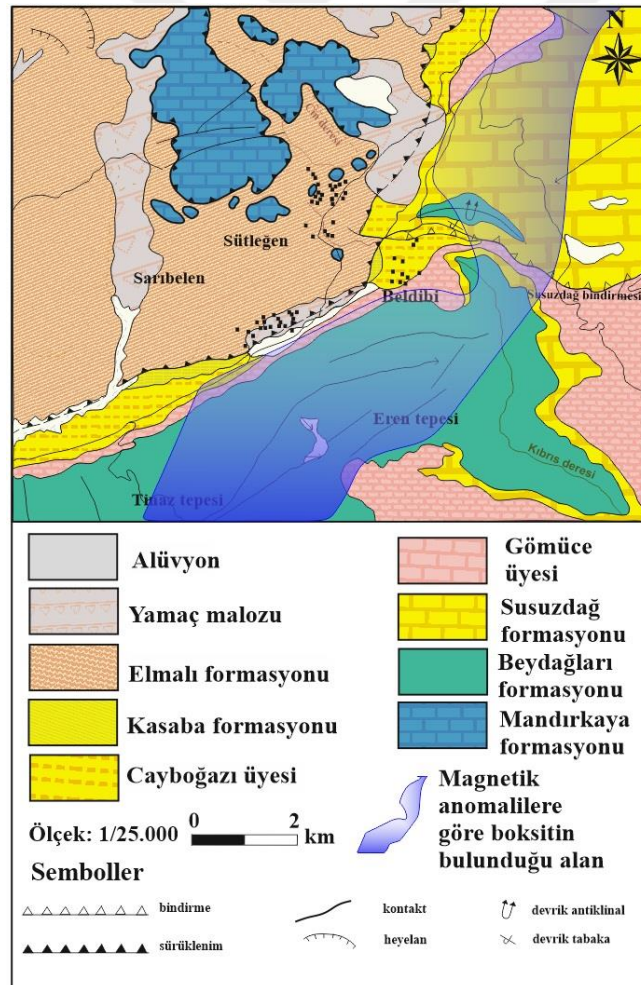
2.2.3. Sütleğen bölgesi yapısal özellikleri

Çalışma alanını üzerleyen Beydağları otoktonu Fethiye paftasının içinde bulunduğu Elmalı-Kalkan-Demre üçgeni içerisinde tektonik oluşumlar ile yüzeylenmiştir. Üst Kretase yaşlı Beydağları formasyonu, Sütleğen bölgesi içerisinde bulunduğu Yaylacık tepe dolaylarında yüzeylenen ve Jura-Kretase yaşlı Mandırkaya formasyonu ile uyumsuz halde bulunmaktadır. Beydağları formasyonu ile Paleosen yaşlı olan ve Susuzdağ çevresinde yüzeylenen Gedikbaşı formasyonu birbirlerine göre uyumlu olarak gözlenir.

Sütleğen bölgesinin çoğunlukla oluştuğu jeolojik birim olan Elmalı formasyonu, fazlaca tektonik olaylardan etkilenerek kıvrımlı ve kırıklı yapı almışlardır. Bu tektonik hareketler, formasyonun büyük kütleler halinde taşınmasına neden olmuş ve ayrıca

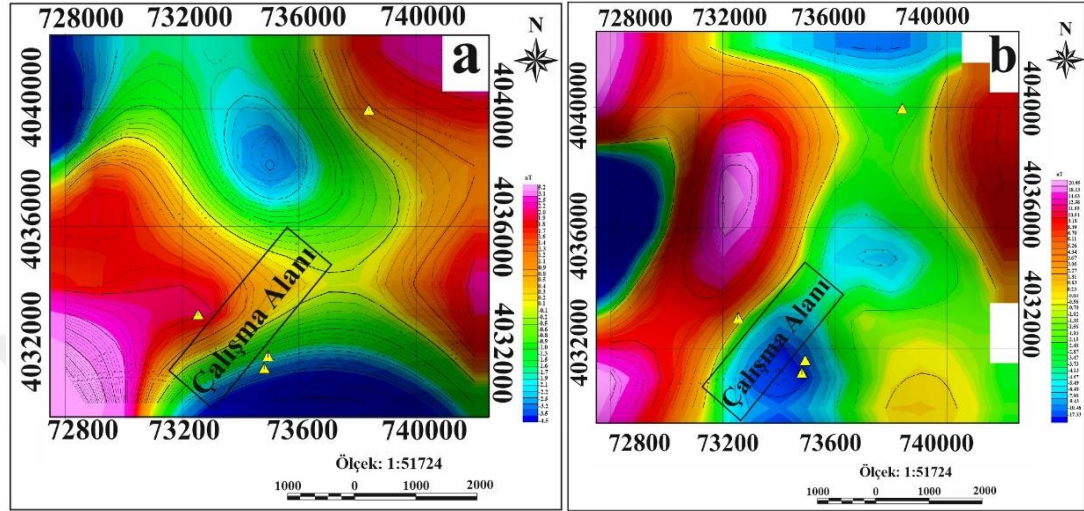
bölgede blok olarak bulunmasına yol açmıştır. Elmalı formasyonu, Sütleğen bölgesinin zeminin olduğu Beydağları formasyonu (otoktonu) ile tektonik ilişki halindedir. Yaylacık tepe dolaylarında yüzeylenen ve Sütleğen arazisinin yüksek kesimlerini oluşturan Mandırkaya formasyonun alt tektonik ilişki halinde bulunduğu Üst Paleosen-Lütesiyen yaşlı Faralya formasyonu ve Kozağacı formasyonu ile uyumsuz olarak örtüldüğü söylenebilmektedir. Kozağacı formasyonu ile Faralya formasyonun alt tektonik ilişkilerinin uyumsuz, üst ilişkilerinin ise tektonik olaylara bağlı geliştiği vurgulanmıştır.

Beydağları otoktonu, Sütleğen bölgesinde içinde bulunduğu Elmalı-Kalkan-Demre üçgeni içinde, Paleosen zaman boyunca sığ karbonatlarca zengin şelf çökel kaya karakteri almıştır. Epirojenetik hareketlerin sonucu olarak gelişen transgresyon, Beydağları otoktonu üzerinde Sinekçi formasyonu üyeleri (Gömüce üyesi, Kıbrısdere üyesi, Çayboğazı üyesi) ve Kasaba formasyonu kayaları çökelmiştir (Şekil 2.2). Pliyosen zaman sonlarında, Likya napılarının Beydağları üzerine yerleştiği zaman aralığında, otokton olan Beydağları formasyonu kütleli güneyde yer alan Kaş bölgesine doğru ekaylanarak parçalanmış ve kendi içinde büyük ölçekte normal ve doğrultu atımlı faylar oluşturmuştur.



Şekil 2.2. Manyetik anomalilere göre olası boksit araştırılan alan

Sütleğen bölgesine ait gravite haritasında ölçü noktaları kontrol edilmiş olup, hava manyetik haritasıyla karşılaştırılmıştır. Haritada Sütleğen bölgesindeki eski işletilmiş boksitlerin hava manyetik haritasında, bu yatakların sedimanter kayaçların alterasyonundan kaynaklanan düşük ve negatif manyetik anomali sundukları anlaşılmaktadır (Şekil 2.3-a, b).



Şekil 2.3. a) Sütleğen bölgesi gravite haritası **b)** Sütleğen bölgesindeki eski işletilmiş boksitlerin hava manyetik haritası

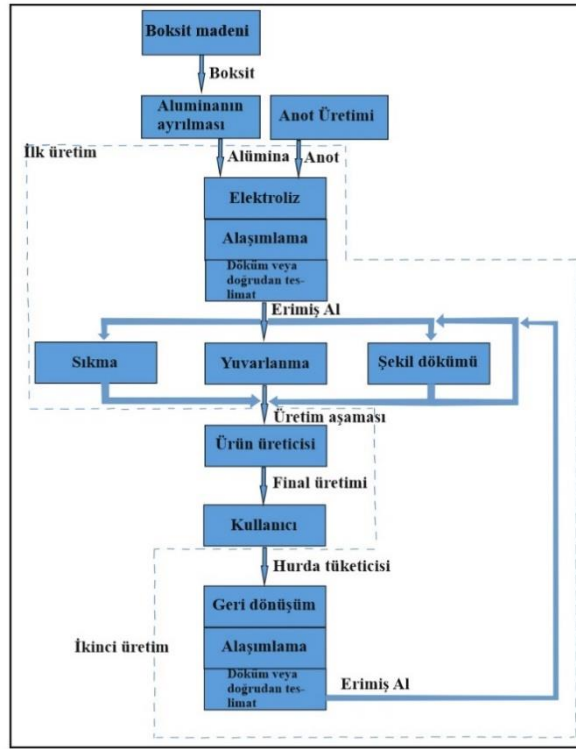
2.3. Ekonomik Bir Kaynak Olarak Boksit Madeni

Fiziksel ve kimyasal birçok özelliği bakımından, sanayi sektörünün pek çok farklı kolunda kullanılan boksit, birincil alüminyumun temel cevheridir. Boksit cevherinin, işlenerek gang minerallerinden ayrılması sonucu alümina bakımından zengin metalik maden elde edilir.

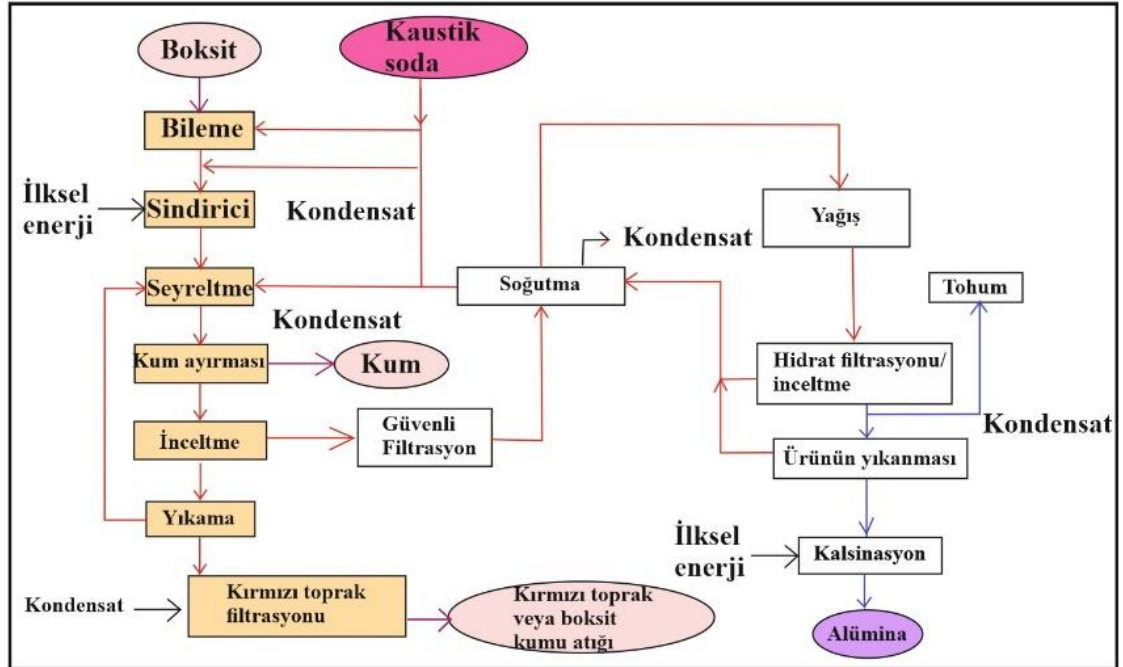
Değerli metallerin gang minerallerinden ayrılması süreci, arazi koşullarından alınmış boksitin farklı aşamalardan (elektroliz, fırınlama ve döküm. vb.) geçmesi ile mümkündür. Bu süreç sonrasında, endüstriyel alanda pek çok kullanım alanına sahip (otomobil, ambalaj, elektrik/elektronik, inşaat ve teknoloji) metal elde edilir.

Türkiye’de alüminyum ihtiyacının $\frac{3}{4}$ ithalat aracılığı ile karşılanmakta olup, bu da Türkiye’nin alüminyum gibi geniş kullanım alanına sahip bir hammaddenin dışa bağımlılığını arttırmaktadır (Raporu 2013).

Alüminyumun hammaddesi olan boksitin, bulunduğu bölgeden çıkartılıp işletme tesislerinde geçirdiği süreçler ve iş akış şematiği Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’te verilmiştir.



Şekil 2.4. Alüminyumun üretim sürecinin iş akış şeması (Haraldsson 2018; Brough ve Jouhara 2020)



Şekil 2.5. Boksit işletmeciliğinde arıtma iş-akış şematifi (Cusano vd. 2017; Brough ve Jouhara 2020)

2.3.1. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (modül) oranına göre sınıflandırma

Boksit cevherleri, endüstriyel olarak farklı jeokimyasal özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalardan biri de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (Modül) oranıdır (Çizelge 2.2). Modül değerlerine şu değişim aralığına göre sınıflandırılır; $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ oranı ve Fe_2O_3 tenörüne göre: $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 > 20$ Yüksek alüminalı cevher, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 = 10-20$ Alüminalı cevher, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 = 4-10$ Silisli cevher, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 < 4$ Yüksek silisli cevher, % $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 25$ Çok demirli cevher, % $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 10-25$ Demirli cevher, % $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 10$ Az demirli cevher.

Çizelge 2.2. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (modül) oranına göre sınıflandırma (DPT 1991)

Karakteristik bileşenler (%)	Endüstriyel boksit			Alüminyum hammadde boksit			Alüminyumlu kil
Al_2O_3 En az	46	46	40	40	35	26	26
SiO_2	1.6	6.5	10	15.4	30.7	30.6	30.6
Fe_2O_3	26	26	26	26	-	-	-
TiO_2	5	5	5	5	-	-	-
MODÜL ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$)	10	7	4	2.6	1.14	0.85	-
CaO	0.5	0.5	0.5	0.5	-	-	-
MgO	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	-
P_2O_5	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	-
SO_3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	-	-
C	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-
S	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-	-

2.3.2. BEV değerlerine göre sınıflandırılması

Boksit cevherlerinin bir diğer sınıflama metodu BEV sınıflandırılmasıdır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. BEV değerlerine göre boksit sınıfları (DPT 1991)

Karakteristik bileşenler (%)	Endüstriyel boksit			Alüminyum hammadde boksit			Alüminyumlu kil
Al_2O_3 En az	46	46	40	40	35	26	26

Çizelge 2.3. BEV değerlerine göre boksit sınıfları (DPT 1991) (devamı)

Karakteristik bileşenler (%)	Endüstriyel boksit			Alüminyum hammadde boksit			Alüminyumlu kil
Al ₂ O ₃ En az	46	46	40	40	35	26	26
SiO ₂	1.6	6.5	10	15.4	30.7	30.6	30.6
Fe ₂ O ₃	26	26	26	26	-	-	-
TiO ₂	5	5	5	5	-	-	-
BEV (Al ₂ O ₃ -SiO ₂)	10	7	4	2.6	1.14	0.85	-
CaO	0.5	0.5	0.5	0.5	-	-	-
MgO	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	-
P ₂ O ₅	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	-
S	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	-	-
SO ₃	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-
C	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-	-

2.3.3. Kullanım alanlarına göre sınıflandırma

Boksit cevherlerinin, Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃ ve TiO₂ majör oksitlerinin konsantrasyonlarına göre kullanım alanı sınıflandırılması Çizelge 2.4'te verilmiştir. (Cawley ve Baumgardner 1985)

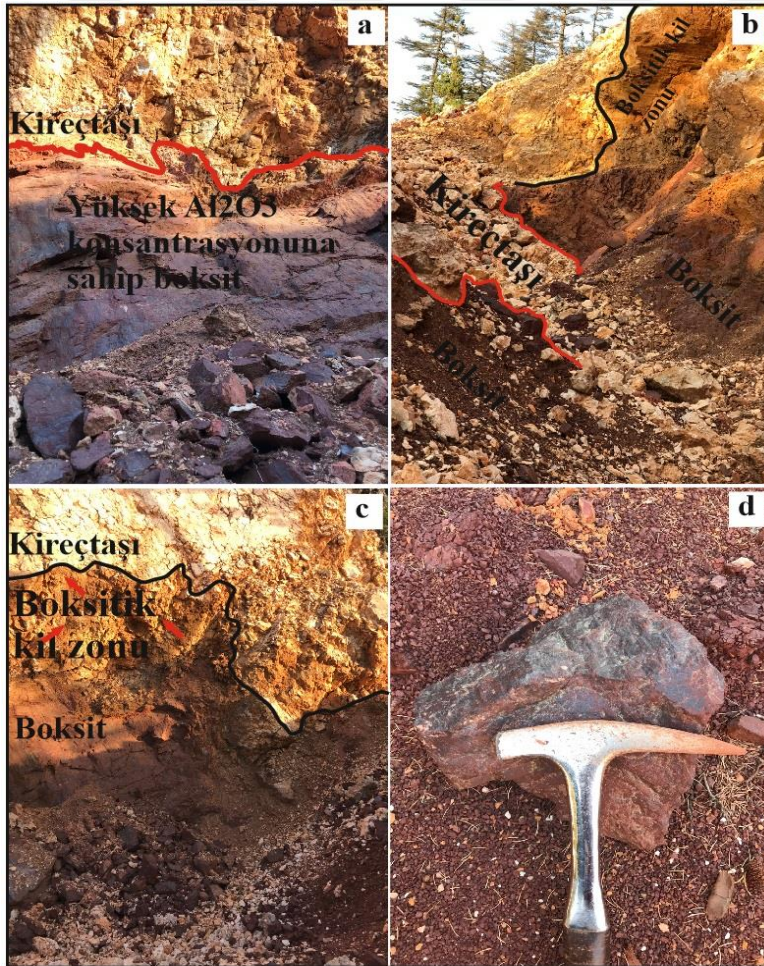
Çizelge 2.4. Kullanım alanlarına göre boksit sınıflaması

İçerik	Metalurjik	Kimyasal	Çimento	Refrakter	Aşındırıcı
Al ₂ O ₃	50-55	Min. 55	45-55	84.5	80-88
SiO ₂	0.15	5-18	Mak. 6	7.5	4-8
Fe ₂ O ₃	5-30	Mak. 2	20-30	2.5	2-5
TiO ₂	0-6	3	3	4	2-5

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Alanından Derlenen Örneklerin Seçilme Yöntemi ve Metodu

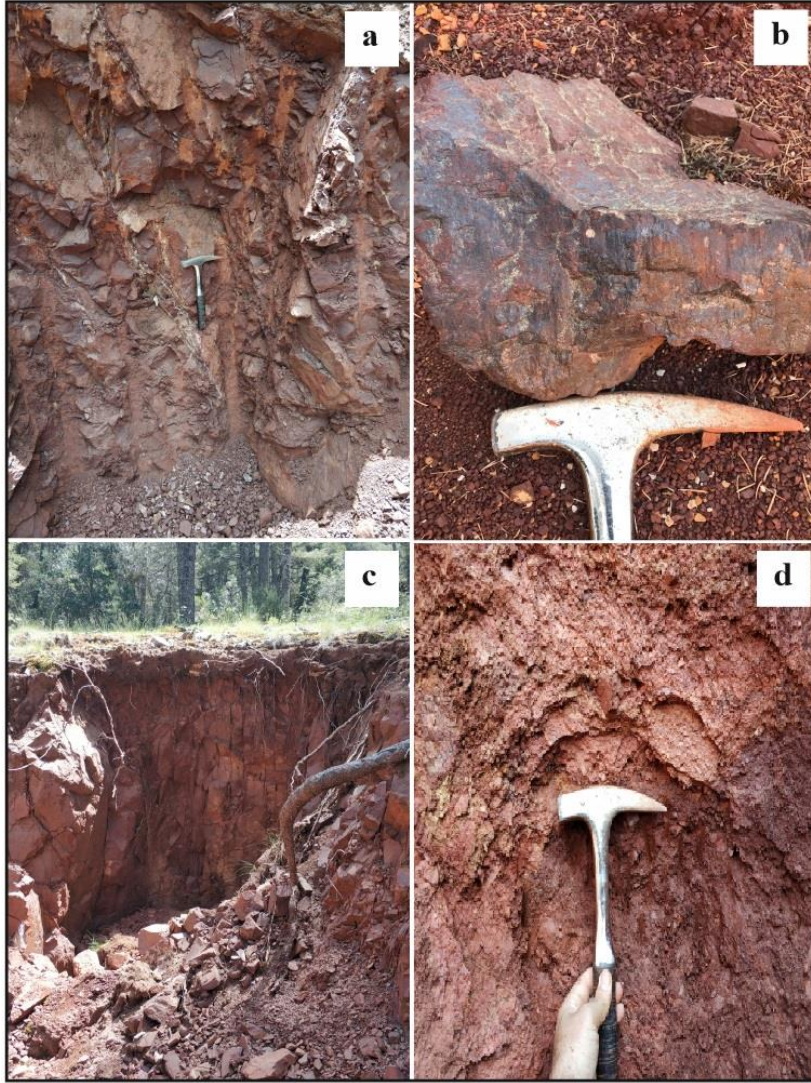
Sütleğen bölgesi, Fethiye ve Kaş arasında kalan denizden yaklaşık olarak 35 km içerde olan bir yerleşim alanı olmakla beraber karstik karakteristik özelliği sunan boksitik oluşumlar yönünden zengin bir çalışma sahasıdır. Tüm bölgeyi temsil edici olduğu düşünülen 68 adet boksit numunesi bölgenin farklı lokasyonlarından alınmıştır. Her bir lokasyon koordinat bilgisi kayıt altına alınmıştır. Her bir lokasyondan, boksit numunesi, yan kayaç örneği ve ayrıca lateritik oluşum ürünü olan terra-rossa toprak numunesi alınmıştır. Farklı numune kodlaması ile örnekler plastik poşetlere koyulmuştur. Örneklerin derlenmesinde jeolog çekicinden yardım alınmış olup, herhangi bir kontaminasyonu engellemek amacıyla her bir lokasyon değişikliğinden sonra jeolog çekici temizlenmiştir. 43 farklı lokasyondan toplam 68 adet boksit cevheri, 36 adet kireç taşı örneği ve 52 adet terra-rossa örneği araziden alınarak laboratuvar koşullarına hassas bir şekilde getirilmiştir (Şekil 3.1. a, b, c, d).



Şekil 3.1. Sütleğen boksit yatağı arazi çalışmaları **a)** kireçtaşları ile boksit dokanağı **b)** kil, kireçtaşı ve boksit dokanakları **c)** kil, kireçtaşı ve boksit dokanakları **d)** boksit el örneği

3.2. Mineralojik, Petrografik ve Diğer Kimyasal Analizler İçin Araziden Getirilen Numunelerin Hazırlanması

Sütleğen bölgesi arazisinden alınan boksit, kireçtaşı ve terra-rossa toprağı numuneleri, Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan Maden Yatakları ve Jeokimya Laboratuvarına getirilmiştir (Şekil 3.2). Laboratuvarında, boksitin oluşum mekanizmasını anlayabilmek adına gerçekleştirilecek çeşitli mineralojik, petrografik ve kimyasal analizler için örnek hazırlama süreci başlatılmıştır.



Şekil 3.2. Çalışma arazisinden görüntüler **a)** boksit kesiti **b)** boksit el örneği **c)** boksit yarması **d)** kil ile bulunan boksit

Mineralojik analiz yöntemlerinden olan ince kesit, kayaç yapıcı elemanlardan olan mineraller, mikroskopik ölçekte tanı konulamayacak, isimlendirilemeyecek kadar küçüktürler. Bu içeriklerin ayrıntılı olarak incelenmesi amacı ile yapılan ince kesit

numuneleri alttan aydınlatmalı mikroskop yardımı ile incelenir ve kayacı oluşturan mineraller saptanır (Erkan 1998). (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Mineralojik ve petrografik analizlerin yapıldığı laboratuvar

3.2.1. Kireçtaşı örnekleri için yapılan ince kesit hazırlama aşamaları

Kireçtaşı örneklerinin, masif halde olanları jeolog çekici yardımıyla kırılmış ve daha yumuşak olan kireçtaşı örnekleri ise direk kesim aşamasına alınmıştır (Şekil 3.4).

1. Taş kesme makinesine alınan kireçtaşı örnekleri, su yardımıyla düzgün bir yüzeye sahip olacak şekilde kesilmiştir.
2. Kalın bir şekilde kesilen kireçtaşları farklı kalınlıklardaki çuha tablalarına alınarak manuel olarak aşındırılmaya ve pürüzsüz bir yüzeye ulaştırılmaya çalışılmıştır.
3. Çuhalardan geçirilen kireçtaşı numuneleri, silisyum kalbür'ün devamlı olarak gönderildiği bir silindirin içine koyularak aşındırma işlemine devam edilir.
4. Kireçtaşı numuneleri, kurumaları için sıcak tablanın (hot plate/table/point) üzerine alınır ve orada bekletilir.
5. 15/2 oranında 15 ml reçine (Aka-Resin Liquid) 2 ml sertleştirici (Epofix Hardener) karıştırılarak epoksi maddesi hazırlanır. (Bu sabit oran değiştirilmeden istenildiği ve numune miktarına göre değiştirilebilir/ayarlanabilir.)

Kireçtaşı numuneleri kuruduktan sonra pürüzsüzleştirilmiş yüzeyleri, üzerine hazırlanan epoksi maddesinden ince bir kat sürülerek boyutları 28x48x1,5 mm olan lam (ince kesit camı) üzerine yapıştırılır.

6. Lam altta kalacak şekilde üzerine yapışık halde bulunan kireçtaşına basınç uygulanarak bekletilir ve epoksinin iyi bir şekilde kuruması sağlanır.

7. Sıcak tabla üzerinde üstlerine basınç uygulanarak bekletilen kireçtaşı numuneleri, su yardımı ile kesiciden geçirilir ve mümkün olduğunca lameye en yakın olacak şekilde kireçtaşı numunesi inceltilir.
8. Kaba yüzeyleri alınmış olan kireçtaşı numuneleri, tekrar silisyum karbür maddesi yardımıyla zımparalanan cihaza alınır. İnce kesit mümkün olduğunca inceltilmeye çalışılır. Yaklaşık olarak 0,03 mm (1670 μ) kalınlık iyi bir ince kesit anlamını taşımaktadır. Zımparalama işlemi, ince kesit numunelerinin alttan aydınlatmalı mikroskop ile incelenerek içerisindeki minerallerin optik görüntülerinin sağlandığı zamana kadar devam etmektedir.
9. Zımparalama işlemi biten ve yeteri kadar inceltildiği düşünülen (optik mikroskop ile kontrolü sağlanmış) ince kesit numunelerinin üst kısımları kırılmaları ve parçalanmaları önlemek ve ince kesitin dayanaklılığının artırılması amacı ile epoksi maddesi ile ince bir şekilde kapatılır. Bu maddenin ışık geçirgenliği bulunduğu için mikroskop görüntülemesi için herhangi bir sorun teşkil etmez.



Şekil 3.4. İnce kesit hazırlama aşamaları **a)taş kesme b) aşındırma c) yapıştırılan kireçtaşı d) zımparalama işlemi**

3.2.2. Boksit örnekleri için yapılan parlak kesit hazırlama aşamaları

Metalik bir cevher olan boksitin, mikroskop ile incelenmesi ve mineralojik bileşiminin saptanabilmesi için parlak kesit yapımı önem arz etmektedir. Boksit örnekleri için yapılan **parlak kesit** hazırlama aşamaları şöyledir (Şekil 3.5);

1. Boksit örnekleri, su yardımıyla yuvarlak silindir halkalara sığabilecek ölçülerde küçültülmüş ve kesilmiştir.
2. Plastik halkalara sığabilecek ölçülerde kesilen boksit örnekleri, 15/2 oranında karıştırılan (15 ml Reçine (aka – resin liquid) – 2 ml sertleştirici (epofix hardener)) epoksi çözeltisi ile plastik kaplara konulmuştur. Boksit örnekleri, öncelikle plastik kaplara konulmuş olup, daha sonra örneklerin karıştırılmaması için üstlerine küçük kağıtlara numune kodları eklenmiştir. Hazırlanan boksitlerin üzerlerini kaplayacak kadar epoksi dökülmüştür.
3. Üstleri tamamen epoksiyle kapatılan boksitler, içlerindeki havanın çıkması ve herhangi bir hava kabarcığının içlerinde kalmaması için (mikroskop incelendiğinde bu hava kabarcıkları gözükebilir) basınç makinesine alınmış olup yaklaşık olarak 10 dakika 0,20 bar basınç altında bekletilerek hava kabarcıklarının uzaklaştırılması sağlanmıştır.
4. Sıcak tabla üzerinde bekletilmeye alınan boksit numuneleri, epoksi ile birleşerek kurutulmuştur. Plastik kaptan ayrılması istenilen boksitler kurutma makinesine bırakılmış (dry-box) olup, sıcak havanın etkisiyle parlak kesitler plastikten ayrılmıştır.
5. Plastik kaplardan ısı yardımıyla çıkarılan parlak kesit numuneleri, parlak kesit hazırlama işleminin son aşaması olan elmas aşındırma diskleri (çuhalar) yardımıyla parlatılmaya başlanmıştır. Farklı kalınlıklardaki çuhalar ile yapılan parlatma işlemine öncelikle en kalın çuhadan başlanıp 600 µ'luk çuha sonra sırasıyla 220 µ, 9 µ, 3 µ ve 1 µ'luk kalınlıklarda devam edilmiştir. Çuhalar, döner tablaya yerleştirilmiş olup silisyum karbür eklenerek parlatma işlemi başlatılmış ve parlatma işleminin en önemli aşaması olan farklı kalınlıklardaki elmas süspansiyonları döner tablaya eklenmiştir. (Seçilen elmas taneciklerinin başlangıç kalınlığı 9 µ'dur. Sonraki aşamada 3 µ'luk elmas taneciği içeren elmas süspansiyonu tablaya eklenmiştir.)
6. Parlatma işleminde her bir çuha değişiminde örnekler alkol ile temizlenmiştir (Methanol CH₃OH). Su ile temizlenmemesinin sebebi ise örneklerin içlerine suyun yerleşmesini engellemek ve bunun örneklerin içerisinde bulunan kil minerallerinin sonucunda oluşabilecek şişmenin önüne geçmektir.
7. İstenilen ölçüde parlatılıp parlatılmadığı üstten aydınlatmalı polarize mikroskop yardımıyla anlaşılan örnekler, lamel ile kaplanmadan bir metalik maden olan boksitin bileşiminde rol oynayan minerallerin tayini için mikroskop incelemesine alınır.



Şekil 3.5. Parlak kesit hazırlama işlemleri **a)**kesme aşaması **b)** zımparalama işlemi **c)** farklı çuhalar kullanılarak zımparalama işlemi **d)** parlatma işlemi

3.2.3. X-ışınları floresans spektrometresi analizinin örnek hazırlama aşamaları

Araziden derlenen boksit, kireçtaşı ve terra-rossa toprak örnekleri için yapılan ve bir kimyasal analiz türü olan **X-ışınları floresans spektrometresi (XRF)** analizinin örnek hazırlama aşamaları şöyle sıralanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. XRF cihazı ve programı

X-ışınlarının numuneye doğru açılarda nüfus edebilmesi ve yine bu açıyla X ışınına maruz kalan örneğin jeokimyasal kompozisyonunu oluşturan elementel içeriğin literatürde bilinen floresans yansımasıyla çakışabilmesi için örneklerin analiz için uygun bir şekilde hazırlanması büyük bir önem arz etmektedir. Numunenin yüzeyinin pürüzsüz ve numunenin tam homojen halde olması gerekmektedir. Bu sebeple araziden derlenen örnekler, öncelikle laboratuvar koşullarında kurumaya bırakılmış olup, numunelerin içlerinde bulunan suyu kaybetmeleri sağlanmaya çalışılmıştır. Kurutulan örneklerden, küçük parçalar elde edebilmek için kırılğan olan parçalar jeolog çekici yardımıyla, daha masif özellik gösteren parçalar ise kırma makinesi yardımıyla ayrılmıştır. Bu işlem sırasında örneklerin birbirine kontamine olmamaları amacıyla her bir örnekten sonra kullanılan malzemeler (jeolog çekici, kırma makinesi) kuvars kumu yardımıyla temizlenmiştir.

1. Küçük parçalar halinde ayrılan numuneler, Retsch RM200 havanlı öğütücüyle tam homojen hale gelene kadar öğütülmüş ve toz numuneleri yaklaşık olarak $0,63 \mu$ elekten geçebilecek boyutta homojenleştirilmiştir. Agat havan her bir örnek değişiminde %10'luk HCl (Hidroklorik asit), aseton ve kuvars kumu yardımıyla agatta boksitin izi ve lekesi kalamayana kadar temizlenmiştir. Temizleme işleminin ilk aşaması, öğütülmüş numune plastik ve steril kaplara alınarak agat havanın içi kuvars kumu konularak tekrar karıştırılmıştır. Bu işlem kuvars kumunun yenilenmesi ile yaklaşık olarak 4 kez tekrarlanmıştır ve son olarak %10'luk HCl asit veya aseton yardımıyla bir bez ile tüm agat havan yıkanmış olup, çeker ocak içerisinde hava kompresörü kullanılarak kurutulmuştur. Bu işlem her bir numune değişiminde tekrarlanmıştır.

2. Yaklaşık olarak 0,63 μ 'luk boyutta olan ve tamamen homojenleştirilmiş boksit, kireçtaşı ve terra-roosa toprak örnekleri, XRF cihazı ile hassas, güvenilir ve kantitatif bir şekilde okuma sağlanabilmesi için pres-pastil haline getirilmiştir. Bunun için ise pres-pastil makinesi ve bu makine için gerekli sarf malzemeleri kullanılmıştır. Öncelikle pres-pastilin kalıp şeklini veren 1 numaralı malzeme en alt kısma yerleştirilmiş, 2 numaralı silindir malzemesi bunun içine yerleştirilmiştir. 3 numaralı silindir malzemesi ise numunenin sağlamlığını arttırabilmek için kenar kısımlarına konulan ve numune kodunun rahatlıkla işlenebilmesi için yarar sağlayan borik asit (H_3BO_3) ile numune arasında bir sınır olabilmesi amacıyla yerleştirilmiştir. Bu silindirin iç kısmına (ortasına) XRF okuması yapılacak numune, silindirin dış kısmını kapsayacak bölüme ise borik asit eklenmiştir. Silindirin iç kısmında kalan örneğin kohezyonunu arttırabilmek ve yerine sabitlenmesini sağlamak amacıyla 4 numaralı sarf malzemesiyle manuel pres uygulaması yapılmıştır. 3 ve 4. sarf malzemeleri çıkartılıp yerlerine en kalın silindir takılıp pres-pastil makinesine konulmuştur. Son eklenen silindirin düz yüzeyinden 15 MPa 30 bar basınç uygulanarak örnek 1 dk boyunca basınca maruz bırakılmış olup, bunun sonucunda pres-pastil örneği oluşturulan silindirik sarf malzemesinin en alt kısmında kalmıştır. Pres-pastil yapım aşamasının son adımı olan 5 numaralı sarf malzemesiyle yapılan uygulamada ise silindirin içindeki pres-pastil örneği numuneye zarar vermeden hassas bir şekilde çıkartılmıştır. Bu işlemler neticesinde pürüzsüz ve düzgün bir yüzeye sahip standart ve eşit boyutlarda dağılım gösteren homojen numuneler, X ışınına doğru bir şekilde absorbe edebilecek bunun sonucunda numunenin içerisinde bulunan elementlerin karakteristik yansıması (X-ışını floresansı) ile kantitatif olarak analiz edilebilecek pelletler elde edilmiştir.

3.2.4. X-Işınları difraktometresi analizinin örnek hazırlama aşamaları

1. Öğütme işlemi için numuneler küçük parçalar halinde havana alınır. 40 sn boyunca örnek toz haline gelinceye kadar öğütülür.
2. Toz haline gelen örnek beher kabına alınır (10-15 gr kil) içine biraz saf su eklenir ve biraz da %10'luk HCl eklenir. Mikserden geçirilir. Azar azar HCl eklenmeye devam edilir. Bu işleme örnekte köpürme durana kadar devam edilir. (Örneğin köpürmesi içeriğindeki asit derişimiyle alakalıdır.)
3. Örneğin içindeki HCl + saf su dökülüp, saf su koyularak yıkamaya alınır. Yıkama işlemi kil çöktükten sonra kalan saf suyun rengi berraklaşmaya devam eder. Örnek en az 2 defa yıkanır.
4. Yıkama işlemi biten örnek, godaye alınır. Üzerine saf su ilave edilerek tartılır. Tartım işleminde referans bir değer belirlemek için örneğin karşısına 2. bir godaye saf su koyularak tartılır. Bu işlem santrifüj işlemi için önem arz etmektedir.

5. Santrifüje alınan örneğin hızı kademeli olarak 2000 devire gelinceye kadar arttırılır. Yaklaşık olarak 5 dk santrifüj edilen örnek cihazdan çıkartılır.
 6. Santrifüj işlemiyle çökmeyen kil örneklerine ilave saf su eklenir ve sodyum hidro oksit (NaOH) çözeltisi eklenir ve tartım işleminden sonra santrifüjleme işlemine devam edilir.
 7. Çöken kil örneği (bulanık çamur) üzerine 850 ml kadar saf su koyularak mikserden geçirilir. Bu işlem yaklaşık 3-4 dk sürer.
 8. Mikserden geçirilen örnek, 3 ssat 40 dk bekletilmeye bırakılır.
 9. Bekletilen örneğin tabanında 2 µ'dan daha küçük tane boyu olan malzeme yani istenilen kil malzemesi vardır. Bu örnek analiz edilmek üzere vakumlama-hortumlama yoluyla alınır. 2 µ'dan küçük tane boylu kil tekrar santifüjlemeden geçer, 3200 devirde 25 dk daha sonra çamur haline gelmiş olan kil bir cam kavanoza koyularak XRD çekim işlemleri için ayrılır.
- *Santifürüjleme işleminden sonra çökmeyen kilin çökmesinin sağlanması için NaOH eklenir, bu işlem en fazla 3 kez tekrarlanır. Eğer NaOH eklenmesine rağmen, çökme olmuyorsa örneğin içeriğinde kilin bulunmadığı anlaşılır.

3.3. Jeokimyasal Analizler İçin Kullanılan Spektroskopik Yöntemler

Spektroskopik yöntemlerin temel prensibi, analiz edilecek herhangi bir malzemenin farklı dalga boylarındaki ışınlarla etkileşimi ve bunun sonucunda malzemenin içeriğinin anlaşılmasına dayanmaktadır. Spektroskopik yöntemlerin başlıca prensibini oluşturan madde-ışın etkileşiminin anlaşılabilmesi elektromanyetik ışının bazı özelliklerinin bilinmesi ile mümkündür.

Dalga boyu (λ), ard arda gelen iki dalganın arasında kalan mesafedir.

Genlik (A), dalga içerisindeki dağılımda elektrik vektörlerinin en uzunudur.

Periyod (P), sabit noktadan ardışık dalgaların geçmesi için gerekli saniyedir.

Frekans (V), sabit noktadan saniyede geçen dalga sayısıdır ($1/P$).

X-ışınları ile spektroskopik yöntemlerin uygulanması elektromanyetik ışın enerjisinin bazı özelliklerine dayanır. Bu özellikler şöyle sıralanabilir; emisyon, absorpsiyon, saçılma, floresans ve kırınım olarak sıralanabilir. Bir numunenin içeriğinin kalitatif ve kantitatif olarak tayin edilmesi, periyodik çizelgedeki atom numarası Na (sodyum)'dan büyük olan her element için X-ışınları absorpsiyon yöntemleri ile mümkündür.

X-ışınları elde edilmesinin birinci yolu, yüksek enerjiye sahip elektronların hareketlerinin yavaşlatılmasıyla ya da atomun elektron taşıyan orbitallerinin elektron değiş-tokuşu ile oluşan dalga boyu nispeten kısa olan ışınları ile uyarılmasıyla elde edilir. X-ışınlarının yaklaşık dalga boyları 10^{-5} -100 Å (Angstrom)'dur.

Tez kapsamında boksit, kireçtaşı ve terra-rossa örneklerine uygulanan spektroskopik yöntemler, XRF, XRD ve ICP-MS'dir. Bu spektroskopik yöntemlerin karakteristik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Spektroskopik yöntemlerin karakteristik özellikleri

Karakteristik Özellikleri (Maddenin Temel Özelliği)	Spektroskopik Yöntem
Işın emisyonu	XRF (X-ışınları floresans spektrometresi)
Işın absorpsiyonu	ICP-MS (İndüktif eşleşmiş (kuplajlı) plazma kaynaklı kütle spektrometresi)
Işın difraksiyonu	XRD (X-ışınları difraktometresi)

Jeolojik malzemelerin analitik (kantitatif) olarak analiz edilmesi, teknolojinin ilerlemesi gittikçe kendini yenilemesi ve geliştirmesi ile birçok farklı yöntemle yapılabilmektedir. Jeolojik malzemenin türünü göre seçilmesi gerekli olan spektroskopik yöntemin belirlenmesi, uygulayıcıların zaman ve bütçe kayıplarının önüne geçmeleri açısından önem arz etmektedir (Güleç 2001).

Literatürde boksit numuneleri üzerinde yapılan jeokimyasal araştırmalarda spektroskopik yöntemleri seçip uygulamış birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır. Bunlarda bazıları ise şöyledir;

Novikov vd. 2018'de yaptıkları çalışmada, kil minerallerinden olan kaolinitin olduğu bir yatakta zenginleşmiş olan boksit cevherini çeşitli spektroskopik yöntemler ile (XRD, XRF ve SEM) analiz etmiş olup, bölgede zenginleşmiş olan cevherin çeşitli diyajenetik olaylar sonucu oluşan birincil oluşumlu gipsit mineralinden köken almış bir boksit olduğu saptanmıştır. Bölgenin mineral parajenezi yorumlaması yine spektroskopik analizler sonucu öğrenilmiş olup, sükseson sıralaması gipsit mineralinin kaolinitten daha sonra olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

Putzolu vd. 2018'de yaptıkları çalışmada İtalya Abruzzi bölgesi madencilik alanında meydana gelmiş olan boksit yatağının jeokimyasal özelliklerini ortaya çıkarma amacıyla spektroskopik yöntemlerden yararlanmışlardır. Karstik, oolitik ve oolitik-konglomeratik olduğu bilinen boksit oluşumlarının mineralojik bileşimlerini oluşturan parajenetik mineral sınıflamasının; böhmit, hematit ve götit olduğu saptanmış olup, boksit jenezinin ana kayaya bağlı olmadığı bölgedeki volkanik kayaya bağlı olduğu savunulmuştur.

Negrao vd. tarafından 2018 yılında yapılan araştırmada, Doğu Amazon Belterra killi boksit yatağının 25 m kalınlığındaki ve değişen renklerdeki kil içerikli olması araştırmacıların farklı jeokimyasal içerikli boksitler olabileceği düşüncesi, yapılan

spektroskopik yöntemler ile kanıtlanmış ve boksit örneklerinin jeokimyasal içeriklerini farklı tür minerallerin oluşturduğu hipotez çalışmasının sonucunda ortaya çıkarılmıştır.

Ling vd. 2018'de yaptıkları çalışmada Güney Çin Xiaoshanba topraklarında bulunan boksit yatağının mineral parajenezi çeşitli spektroskopik yöntemler yardımıyla (XRF, XRD, vb.) saptanmıştır. Cevheri oluşturan mineral içeriklerinin yapılan çalışmalar sonucunda anlaşılması, boksit yatağının karstik tipte bir karakterizasyon sunduğu bilgisini de ortaya çıkarmıştır.

Sinisi 2018'de yürüttüğü çalışmada, San Giovanni Rotando boksit oluşumunun mineralojik ve jeokimyasal özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla XRD, SEM ve EDS analizlerini yapmış ve boksit yatağının mineral parajenezini şöyle sıralmıştır; böhmite, hematit, rutil ve kaolinit. Boksit yatağını oluşturan mineral parajenezi bilgisiyle yola çıkan araştırmacı, cevher oluşumunun jenezinin magmatik ve silisik bileşene dayalı olduğu çalışma sonucunda savunulmuştur.

3.3.1. XRF (X-ışınları floresans spektrometresi) cihazının çalışma prensibi

Elektrik ya da bir radyoaktif kaynak gibi bir güç yardımıyla uyarılmış olan iyonlar, kendilerinden daha yüksek enerji seviyesinde bulunan orbitallerdeki elektronların değiş-tokuşları sonucunda temel seviyeye dönerler. Bu elektron alışverişi sonucunda X-ışınları tüpüne alınır, örnek üzerine bombardıman halde düşürülen ışınlar, kendi dalga boylarında X-ışını emisyonu yani X-ışını floresansı yaparlar. Böylece numunenin içerisindeki elementel bileşimler, elektronların daha yüksek enerji seviyesinden daha düşük enerji seviyesine dönmesi (emisyonu) olayından kaynaklı yaydıkları karakteristik floresans ışını sayesinde tayin edilirler. XRF yöntemi ile numunelerdeki ana element, iz element, geçiş elementleri ve nadir toprak elementleri istenilen birimde tayin edilebilir.

3.3.2. XRD (X-ışınları kırınım difraktometresi) cihazının çalışma prensibi

XRD, yapay X-ışını üreten bir tüp aracılığı ile oluşturulan elektronların numunenin üzerine düşürülüp, bu elektronların salınım yapması prensibine dayanır (foton saçınımı yapması). XRD methodunda, farklı açılarda numunenin üzerine farklı açılarda numunenin üzerine farklı açılarda düşürülen X-ışınları, karakteristik foton saçılması ile dedektöre çarparlar ve numunenin içeriğindeki mineralojik bileşim literatürdeki bilinen açı ve şiddetlerle kıyaslanarak çıkarılmaktadır. Analiz edebilecek olan pudra haline getirilmiş ve tamamen homojen olan örnek tutucularına yerleştirilir. Önceden belirlenmiş Θ (teta) aralığında okuma sağlayan cihaz, bu aralıkta bulunan mineral şiddetlerini içeren mineralleri difraktom şeklinde kullanıcıya sunar ve alanında uzman kişi, bu mineral şiddetlerinin hangi mineral ve kil içeriğine karşılık geldiğini literatürden çözmeye ve anlamaya çalışır.

XRD yöntemi ile kil minerallerini ve ayrıca diğer mineralleri saptayabilmek mümkündür. Fakat kil minerallerini ayırt edilebilmesi için örneklerin öncelikle kil

fraksiyon aşamasından geçmeleri gerekmektedir. Bunun nedeni ise kil minerallerinin bulunuş ortamı sebebiyle bazı matriks oluşturu malzemeler ile bulunuyor olmasıdır. Bu matriks (bağlayıcı) malzemeler, karbonat ve çimento gibi doğal veya yapay oluşumlardır. Kil minerallerinin, X-ışınları difraktometresi ile analiz etmeden önce zenginleştirilmeleri gerekmektedir. Bu zenginleştirme işlemi başlıca 3 aşamadan oluşmakta olup, şöyle sıralanmaktadır; kimyasal çözme, yıkama, sifonlama.

3.3.3. ICP-MS (İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi) cihazının çalışma prensibi

İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi olarak literatürde geçen ve özellikle nadir toprak elementlerinin analiz edilmesi için kullanılan analitik bir analiz yöntemidir. Temelde ICP-MS cihazı içerisinde 2 öge vardır; ICP, yüksek sıcaklığı sayesinde numunenin element bileşiminde bulunan atomları iyonlaştırır, MS ise iyonlaşan elementleri karakteristik yansımalarıyla tespit ederek ppb veya ppm bazında, XRF yönteminden çok daha hassas şekilde tespit eden bir spektroskopi yöntemidir. Fakat örnek hazırlama aşamasının uzun ve bazen imkânsız olduğu aşamaları bulunduğu için XRF yönteminden daha az tercih edilmektedir. ICP-MS yönteminin başlıca 3 adet örnek hazırlama seçeneği olup bunlar, 4 asit ile çözme (nitrik, hidroklorik, hidroflorik ve perklorik), sodyum peroksitsinter ve mikro dalga fırındır.

3.4. Jeokimyasal Analiz Verilerinin İstatistiksel Analizleri

Jeokimyasal analiz verilerinin, çok değişkenli istatistiksel analiz metotları ile açıklanması, incelenen cevherin oluşum mekanizmasını bir sistem olarak ele alırsak, bu sistemin oluşum süreçlerinin anlaşılması ve jeokimyasal süreçlerin modellenmesi amaçları ile önem arz etmektedir (Levitan vd. 2015; Drew vd. 2010; Long vd. 2019).

3.4.1. Tanımlayıcı istatistikler (betimsel değerler)

Ölçülmüş düzeyde olan verilerin (jeokimyasal analiz sonuçları gibi) bir takım özetleyici nitelikteki veriler ile açıklanmasına tanımlayıcı istatistik denir. Bu verilerin ortalaması ve ortalamadan ne kadar saptıkları, ortalamaya olan yakınlıkları tanımlayıcı istatistiğin temel özetleyici bilgileridir (Kalaycı 2010). Nicel araştırma verilerinin tanımlayıcı istatistiksel yöntemler ile açıklanması 3 method ile mümkündür; Merkezi eğilim ölçüleri (yer ölçüleri) (aritmetik ortalama, ortanca (medyan), tepe değer (mod), kartiller), değişkenlik ölçüleri (ortalamadan sapma ölçütleri) (değişim aralığı, varyans, standart sapma), normallikten sapma ölçütleri (tek değişkenli normal dağılım, basıklık, çarpıklık). Bu özet değerler ve grafikler yardımıyla veri kümesi tümevarım yöntemiyle ele alınır (Gürsaka1 2012).

Merkezi eğilim ölçülerinin en yaygın olarak kullanılan aritmetik ortalama değeri, ölçülmüş değerlerin hangi tarafa daha eğilimli oldukları bilgisini taşır (Kalaycı 2010; Gürsaka1 2012). Tüm ortalama ile ilgili istatistikleri veri setinin tüm değerlerine hassasiyet gösterip veri setine ait uç değerlerden (max., min.) oldukça fazla etkilendirler.

Fakat diğer betimsel istatistik verileri olan mod, medyan ve kartiller veri setine ait uç değerlerden fazla etkilenmezler. Veri setinde en fazla tekrar eden yani frekans değeri en fazla olan veri serinin mod değeridir (Gürsakal 2012). Medyan değeri ise veri setinin büyükten küçüğe doğru sıralanmış şeklinin 2 eşit parçaya bölünmüş halidir ve bu sıralamada seriyi 2 eşit parçaya bölen değere veya değerlerin aritmetik ortalamasına verilen betimsel istatistik değeridir (Gürsakal 2012). Kartiller ise büyükten küçüğe sıralanmış veri matriksini dört eşit parçaya bölen betimsel istatistiğin merkezi eğilim ölçülerinden biridir (Gürsakal 2012).

Değişkenlik ölçüleri ise ölçülen değerlerin (veri matriksinin) aritmetik ortalamadan veya birbirlerinden ne kadar uzaklaştıkları (saptıkları) ile ilgilidir. Standart sapma, ölçülen değerlerin verdiği aritmetik ortalamanın, gözlem değerlerinden çıkarılarak bulunan sapmaların karelerinin alınıp, gözlem sayısının 1 eksiğine bölünerek çıkan sonucun karekökünün alınması ile bulunur. Varyans ise standart sapmanın karesi alınmış halidir. Değişim aralığı ise, veri setinin büyükten küçüğe doğru sıralanıp serideki en büyük değerden en küçük değer çıkarılması ile elde edilir (Gürsakal 2012).

Betimsel istatistiğin normallikten sapma ölçütleri ile ilgili kavramları ise frekans ile ilgilidir. Frekans (frequency), her türlü değişken grubunun (nitel veya nicel) veri setinde kaç kez tekrarlandığı ile ilgili bir kavramdır. Frekans dağılımları çıkarılmış sınıflanmış serilerin, eğilimlerinin incelendiği istatistiksel değerlere veya düşük değerlere eğilimli olmaları asimetri (basıklık, çarpıklık) ölçüleri ile belirlenebilir. Simetrik bir dağılımda betimsel istatistiğin merkezi eğilim ölçüleri mod, medyan ve aritmetik ortalama değerleri birbirine eşit, düşük değerlere eğilimli bir dağılımda mod<medyan<aritmetik ortalama; yüksek değerlere eğilimli dağılımlarda ise mod>medyan>aritmetik ortalama şeklinde bir sıralanış söz konusudur.

3.4.2. Pearson korelasyonu

Birden fazla değişkenin aralarındaki doğrusal ilişkinin anlaşılması amacıyla kullanılan ve bu ilişkiyi bir katsayı yardımıyla derecelendirmek için kullanılan istatistiksel yöntem korelasyon analizi denir (Kalaycı 2010). Korelasyon analizi kullanılarak seçilen bağımlı değişken ile diğer tüm bağımsız değişkenlerin nasıl değişeceği veya açıklanabilirliği öğrenilebilir. Korelasyon katsayısı değeri +1 ile -1 aralığında değişmektedir (Kalaycı 2010). Korelasyon katsayısı hesaplaması formül 2.1’de verildiği gibidir.

Pearson korelasyon katsayısı (r),

r=-1 olduğu zaman, değişkenler arasında negatif doğrusal ilişki,

r=1 olduğu zaman, değişkenler arasında pozitif doğrusal ilişki,

r=0 olduğu zaman, bahsi geçen değişkenler arasında ilişki yoktur (Kalaycı 2010).

Pearson korelasyon katsayısı formülü:

$$r = \frac{SS_{xy}}{\sqrt{SS_{xx}SS_{yy}}} \quad (2.1)$$

3.4.3. Regresyon analizi

Korelasyon analizi ile istatistiksel açıdan aralarında anlamlı ve güçlü/çok güçlü ilişkili çıkarılan elementel değerlerin bir model kurularak açıklanmasını sağlayan test istatistiğine regresyon analizi denilmektedir. Bir model oluşturulmadan önce, modele girilecek olan her bir değişkenin doğrusal dağılımları ve normallik varsayımları kontrol edilmelidir (Kalaycı 2010, Özer vd. 2020). Aralarında yüksek ve güçlü/çok güçlü korelasyon olan elementel değerler, regresyon analizi yapılarak açıklanabilir varyans ve bahsedilen ilişkinin hata oranı ANOVA analizi ile çıkarılmıştır.

3.4.4. Faktör analizi

Çok değişkenli analizde, birbirleri ile ilişkili halde bulunan birden fazla değişkenin, istatistiksel açıdan anlamlı olacak biçimde faktörler grubu haline getiren analiz yöntemine faktör analizi denir (Kalaycı 2010). Çok sayıda faktör analizi yöntemi olmakla beraber en sık kullanılan faktör analizi “Principal Component Analysis – PCA” (Temel İçerikler Analizi) (Kalaycı 2010). Faktör analizine başlanılmadan önce, regresyon analizi yardımıyla aralarında güçlü /çok güçlü korelasyon ilişkisi bulunan değişkenler seçilir (Kalaycı 2010). Bu değişkenler, faktör analizinin veri setini oluşturur. Sütleğen köyüne ait boksit yatağından alınan cevher örneklerinin regresyon analizi yapılmış olup, birbirleriyle güçlü /çok güçlü korelasyon ilişkisi bulunan elementler (P_2O_5 , Sr, K_2O , Rb, Al_2O_3 , Ga, Fe_2O_3 , Co, MgO, Cu, Cd) seçilmiştir.

Faktör analizinin uygulanma amacı, değişken sayısını azaltarak, analiz sonucunda belirlenen faktör sayısına göre değişkenleri sınıflandırmaktır (Kalaycı 2010). Faktör analizi yapılmadan öncelikle, veri setinin analize uygunluğu varsayımı test edilmelidir. Bu varsayım testleri ise Barlett testi ve Kaiser-Meyer Olkin (KMO)’dir. Aralarında güçlü /çok güçlü korelasyon ilişkisi bulunan değişkenler, faktör analizinin veri matriksini oluşturmaktadır. Barlett testi, korelasyon analizi ile elde edilmiş güçlü /çok güçlü ilişki içerisinde bulunan elementlerin, aralarında korelasyonların var olduğunu ve faktör analizi için uygunluğu varsayımını test eder (Hair vd. 1998; Kalaycı 2010). KMO ve Barlett’s test istatistikleri (varsayım hipotezi) sonucu tablosundaki Sig. (p-value) değerinin 0 veya 0’a yakın olarak çıkması, faktör analizi varsayımına uygunluk testi için girilen veri matriksinde yüksek korelasyonların var olduğu ve verilerin faktör analizi açısından uygun olduğu anlamını taşımaktadır. Kaiser Meyer Olkin (KMO), faktör analizi açısından güçlü bir varsayım olmakla beraber korelasyon ilişkilerini kısmi korelasyon katsayılarıyla karşılaştırarak ortaya çıkaran bir indekstir (Kalaycı 2010). KMO oranının 0.5’in üzerinde olması faktör analizine devam edilmesi açısından yeterli bir limittir (Sharma 1996; Kalaycı 2010).

Faktör analizine girilen veri matriksinin kaç faktör etrafında toplandığını anlayabilmek amacıyla bakılan faktör analizi çizgi grafiğinin, eğiminin kaybolmaya başladığı noktalar faktör sayısını vermektedir (Kalaycı 2010).

Faktörlerin elde edilmesinde kullanılan birden fazla yöntem söz konusudur;

1. Öz değer (Eigen values) istatistiği,
2. Scree plot,
3. Toplam varyansın yüzdesi yöntemi,
4. Joliffe kriteri,
5. Açıklanan varyans kriteri,
6. Faktör sayısının araştırmacı tarafından belirlenmesi.

Faktör analizinin genel olarak amacını özetlemek gerekirse, veri matrisinde bulunan çok sayıda değişkenin, az sayıya indirgenerek istatistiksel açıdan anlamlı faktörler yardımıyla özetlenmesidir.

3.4.5. Kümeleme analizi

Kümeleme analizi, çok değişkenli istatistiksel methotlar arasında oldukça sık kullanılan bir yöntem olup, verilerin benzerliklerini ortaya çıkararak gruplar. Oluşturulan gruplar, araştırmacılar için özetleyici bir bilgi niteliği taşır.

3.5. Boksit Örneklerinin Paleo-İklim Özellikleri

Araziden derlenen numunelerin, jeokimyasal analizleri (XRF ve ICP-MS) yapıldıktan sonra elde edilen veriler ile bileşime katkı sağlamış içerikler ve ayrışma süreçlerini ortaya çıkarıcı indeks hesaplamaları, boksit cevherinin oluşum mekanizmasının yorumlanması ve kökeninin incelenmesi amaçları için önem arz etmektedir. Boksitlerin ayrışma derecelerinin anlaşılması ve yorumlanması amacı ile çalışma kapsamında farklı tip endeks hesaplamalarına başvurulmuştur. Ayrıca paleo-iklimsel koşullar, cevheri oluşturan kaynak kaya hakkında bilgi sunar (ayrışma, taşınma vb.) (Zhang vd. 2013).

3.5.1. Kimyasal değişim/alterasyon endeksi (CIA)

Kimyasal değişim/alterasyon endeksi (CIA), geçmişteki fiziksel ve kimyasal ayrışma koşulları ve paleo-iklim koşulları hakkında bilgi verir. Kimyasal ayrışma, feldispat gibi kararsız minerallerin bünyelerinde bulunan Ca^{2+} , K^+ ve Na^+ katyonlarını kaybederek yüzey koşullarında daha kararlı olan minerallere dönüşmesidir (Fedo vd. 1995; Bahlburg ve Dobrzinski 2011). Fiziksel ayrışma, kaya örneklerinin bazı koşullar altında daha küçük tane boyutlarına indirgenerek jeokimyasal ve mineralojik değişime uğramasıdır (Bahlburg ve Dobrzinski 2011). CIA endeksi, ana element oksitlerin (mobil katyonlar (Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , CaO)) kimyasal ayrışmasını temel alır. En yüksek CIA ayrışma endeksi kaolinit (100), bunu ikinci sırada şeyller (70-75); illit (75) ve muskovit (75) takip eder. Granitler ve granadioritler ise 45-55 arasındadır (Nesbitt ve Young 1982; Fedo vd. 1995; Bahlburg ve Dobrzinski 2011). Çoğunlukla tropikal iklim şartlarında oluşan boksit, kimyasal ayrışmanın maksimum olduğu killi ortam koşulunda oluşmaktadır. Ortamdaki feldispatların yoğun olduğu ve kile dönüştüğü durumlarda CIA

endeksi 100'e ulaşmaktadır (Fedo vd. 1995). CIA hesaplamasında kullanılan formül 3.1'de verildiği gibidir.

$$CIA = \left[\frac{Al_2O_3}{(Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO^*)} \right] \times 100 \text{ (Nesbitt ve Young 1982)} \quad (3.1)$$

$$CaO^* = ml \text{ CaO} - \left[\left(\frac{10}{3} \right) \times \text{mol } P_2O_5 \right] \quad (3.1\text{'in devamı})$$

CIA formülündeki bileşenler incelendiğinde, Al, Ca, Na, K taşıyan silikat minerallerinin, ayrışma sırasında gösterdikleri jeokimyasal davranış, tortu tane büyüklüğü ve kil, kum, feldispat ve kuvars içeriğine bağlı olarak değişmektedir (Garzanti vd. 2011). Yüksek CIA değeri, yani yoğun kimyasal ayrışma geçiren toprak bünyesinde bulunan birincil minerallerin yok olmasına ve birincil minerallerden daha ince taneli olan ikincil minerallerin oluşmasına sebep olur (Nesbitt ve Young 1992).

3.5.2. Kimyasal ayrışma endeksi (CIW)

Ayrışma endeksleri temelde, mobil bileşenler olan kayaç yapıcı oksitlerin tükenme miktarını verir. Çoğu araştırmacı tarafından kullanılan ve günümüzde de geçerliliğini koruyan CIW endeks formülü Harnois tarafından 1988 yılında bulunmuştur. Harnois, bu formülü ortaya atarken dikkat ettiği maddeler şöyle sıralanabilir;

1. Endeks hesabı, ayrışma sırasında konsantrasyonları devamlı değişen bileşenleri içermelidir.
2. Ayrışma sırasında tepkimeye giren bileşenlerin oksidasyonu önem arz etmektedir.
3. Yaygın kimyasal elementler (majör bileşenler) ile endeksin hesaplanıyor olması (laboratuvar koşullarında kolay bir şekilde öğrenilen elementel içerikler).
4. Olabildiğince basit bir hesap yönteminin temel alınması (Harnois 1988).

Yukarıda sıralanan temellere dayalı olarak kurulan formül, cevherin veya malzemenin kaynak kayaya göre yaşadığı ayrışmaları veya ortamın paleo-iklimsel davranışı hakkında ipuçları sunar (Harnois 1988). CIW endeksinin miktarı, toprağın ve tortunun tükenme derecesi ile doğru orantılı olarak artar (Harnois 1988). Ayrışma sırasında meydana gelen jeokimyasal davranışı çözümlemek amacıyla kullanılan formül şu şekildedir; CIW hesaplamasında kullanılan formül 3.2'de verildiği gibidir.

$$CIW = \left[\frac{Al_2O_3}{(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O)} \right] \times 100 \text{ (Harnois 1988)} \quad (3.2)$$

$$CaO^* = ml \text{ CaO} - \left[\left(\frac{10}{3} \right) \times \text{mol } P_2O_5 \right] \quad (3.2\text{'nin devamı})$$

3.5.3. Parker ayrışma endeksi (WIP)

İlk olarak 1970 yılında Parker tarafından 1970 yılında ortaya çıkarılan formül, silikat içeriği yüksek jeolojik malzemeler için alkali ve alkali toprak elementlerinin oranları ile ayrışma yoğunluğunun hesaplanması amacı ile kullanılır (Shao ve Yang. 2012). Kimyasal ayrışma sırasında jeokimyasal ilişkilerin anlaşılması amacıyla kullanılan WIP endeksi formülü, Alüminyumun ayrışmasının anlaşılması açısından, CIA endeksine göre daha efektif sonuç vermesi açısından kullanılabilirliği birtakım araştırmacılar tarafından savunulmuştur (Düzgören vd. 2002; Price ve Velbel 2003). WIP endeksi, ayrışma endeksleri içerisinde alkali, alkali toprak elementleri ve alüminyum taşınımıyla ilgili olan tek endekstir. WIP hesaplamasında kullanılan formül 3.3’de verildiği gibidir.

$$WIP = \left[\frac{2Na_2O}{0.35} + \frac{MgO}{0.9} + \frac{2K_2O}{0.25} + \frac{CaO^*}{0.7} \right] \times 100 \quad (\text{Parker 1970}) \quad (3.3)$$

$$CaO^* = ml \text{ CaO} - \left[\left(\frac{10}{3} \right) \times mol \text{ } P_2O_5 \right] \quad (3.3\text{'ün devamı})$$

3.5.4. Silika-alümina oranı (Ruxton oranı) (R)

1968 yılında Ruxton tarafından bulunan endeks, asidik ve ortaç bileşimli olarak köken alan magmatik kayaların, alüminyum konsantrasyonlarını sabit olduğu kabul eder. Ruxton oranı, kayaç içerisindeki silika kaybının toplam elementel kompozisyonla olan korelasyonu hakkında bilgi sunar (Ruxton 1968). Kimyasal ayrışma süreci geçirmemiş bir kayaç için Ruxton oranı > 10 olup, ayrışma miktarının yükselmesi (fiziksel ve kimyasal koşullar altında) ile Ruxton endeksi değerinin azalması beklenir (Price ve Velbel 2003). R hesaplamasında kullanılan formül 3.4’te verildiği gibidir.

$$R = \frac{SiO_2}{Al_2O_3} \quad (\text{Ruxton 1968}) \quad (\text{Vogt 1927}) \quad (3.4)$$

3.5.5. Vogt artık endeksi (V)

Vogt tarafından 1927 yılında bulunan artık endeksi, kil ayrışması sırasında potasyum içeriğinin sabit kaldığı varsayımı ile alüminyumun hareketini, Mg, Ca ve Na ile açıklamayı amaç alır (Vogt 1927; Haskins 2006; Price ve Velbel 2003). V hesaplamasında kullanılan formül 3.5’te verildiği gibidir.

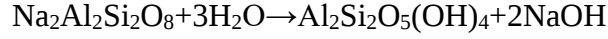
$$V = \frac{(Al_2O_3 + K_2O)}{(MgO + CaO + Na_2O)} \quad (3.5)$$

3.5.6. Plajiyoklaz değişim endeksi (PIA)

Boksit cevheri içerisindeki mineral fazları, köken kayaç ve kimyasal koşullar hakkında ipuçları sunar. Kaolinit mineralinin olduğu ana malzemelerin ise feldispat, plajiyoklaz, serisit ve muskovit olduğu bilinmektedir (Hanılçı 2013). CIW endeksine alternatif olarak düşünülen PIA endeksi ise, silikatlı kayaçlarda, kimyasal ayrışma tepkimelerinde plajiyoklazın kil minerallerine ne ölçüde dönüştüğü hakkında bilgi sunar

(Fedo vd. 1995; Price ve Velbel 2003). PIA hesaplamasında kullanılan formül 3.6'da verildiği gibidir.

$$PIA = 100X \frac{(Al_2O_3 - K_2O)}{(Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)} \quad (3.6)$$



Plajiyoklaz

Kaolinit

3.5.7. Silika-titanyum endeksi (STI)

Silika-titanyum endeksi, silikathlı kayaçların oluşumu sırasındaki titanyum davranışının değerlendirilmesi için kullanılır (de Jayawardena ve Izawa 1994; Price ve Velbel 2003). STI hesaplamasında kullanılan formül 3.7'de verildiği gibidir.

$$STI = 100 X \frac{(SiO_2/TiO_2)}{[(SiO_2/TiO_2) + (SiO_2/Al_2O_3) + (Al_2O_3/TiO_2)]} \quad (3.7)$$

3.5.8. Boksitleşme sırasındaki kütle değişim hesaplamaları

Boksitin oluşması sırasında, yan kayaçların da etkisiyle mobil elementler hareket etmeye başlar ve boksit bazı elementel değerlerce zenginleşir ya da fakirleşir (MacLean vd. 1997; Valetton vd. 1987). Bu süreçler boyunca boksit orijinal içeriğini değiştirerek farklılaşma gösterir. Boksit oluşumunun jenezi incelenirken, bazı çıkarımların yapılmasında element hareketliliği önem arz etmektedir (Zarasvandi vd. 2010). Farklı birçok yöntem bu süreçlerin hesaplanması ve kütle hareketliliğinin çıkarılması amaçlı kullanılmaktadır (Bárdossy 1982; Mongelli ve Acquafredda 1999). Bazı mobil elementler (Ti, Nb, Ta, Th) bu sürecin anlaşılması için monitör görev alır. Boksit oluşumu sırasındaki kütle hareketliliği (zenginleşme faktörü, EF), yapıcı bileşen (RC), toplu kütle değişimleri (MC, MMC) (MacLean 1990; MacLean vd. 1997). Öncü kayaç olarak genellikle kireçtaşlarının kimyasal içerikleri kullanılmaktadır (Zarasvandi vd. 2010). Kütle değişim hesaplamalarında kullanılan formüller 3.8-3.11'de verilmiştir.

$$EF \text{ (zenginleşme faktörü)} = Th \text{ (kireçtaşı) kayaç} / Th \text{ (boksit)}. \quad (3.8)$$

$$RC \text{ (yeni içerik)} = (\text{boksit içerisindeki konsantrasyon}) \times EF. \quad (3.9)$$

$$MC \text{ (kütle değişimi)} = RC - \text{Öncü (kireçtaşı) içerik}. \quad (3.10)$$

$$MMC \text{ (çoklu kütle değişimi)} = RC / \text{öncü (kireçtaşı)}. \quad (3.11)$$

$MMC > 1$ ve $MMC < 1$, elementel değişimin katsayıları ile ilgili değerlerdir (Liu vd. 2018; Sidibe ve Yalçın 2019). MMC değerinin 1'den büyük olması ilgili elemanın ortamda zenginleşmesini göstermekle beraber, 1'den küçük olması ise fakirleşmesi olarak yorumlanmaktadır (Liu vd. 2018; Sidibe ve Yalçın 2019).

3.5.9. Boksit Cevherinin Sınıflandırılması ve Kökeni

XRF ve ICP-MS gibi spektroskopik methodlar kullanılarak analiz edilen Boksit numunelerinin major, iz ve nadir toprak elementel sonuçları kullanılarak, boksit cevherinin sınıflandırılması ve kökeni hakkında yorumlamalara gidilmiştir. Aleva 1994 ve Boulage vd. 1997 araştırmacıları tarafından yapılan sınıflamalar, Boksit cevherinin mineralojik sınıflandırılması açısından yarar sağlamıştır. Schroll ve Sauer tarafından 1968 yılında yapılan sınıflandırma ise boksitin tipini belirlemek amacıyla tez kapsamında kullanılmıştır. Boksitlerin hangi köken kayadan temel olarak oluştuğu ve bu köken kayacın dokusal ve yapısal korelasyonu; Log Cr-Log Ni, Log Cr-R, nadir toprak elementlerinin regresyon ilişkisi, toplam nadir toprak elementleri desenleri ve Eu korelasyonları ayrıca tez içerisinde incelenmiştir. Ayrıca 2007 yılında Calagari ve Abadeini tarafından yapılan araştırma, Sütleğen bölgesinde oluşan Boksit cevherinin köken aldığı kayacı veya olası kayaçları ortaya çıkarmak amacıyla örnek alınmış olup, bu çalışmalar farklı tip program alt yapıları kullanılarak hesaplanmıştır (Petrograph ve Microsoft Excel 2019).

4. BULGULAR

4.1. Sütleğen Boksit ve Yan Kayaç Örneklerinin Mineralojisi ve Petrografisi

4.1.1. Analitik Mineraloji

Sütleğen bölgesinden derlenen boksit örneklerinin, XRD analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiş olup, boksitin oluşumuna katılan mineraller şöyle sıralanmıştır;

Böhmit > Kaolinit > Hematit > Gibsit > Götite > Anataz > Anortit > Kuvars > Kamoziit.

Böhmit, kaolinit, hematit, gibsit, götite, anataz içerikteki major mineraller olup, klinoklorit ve anortit Boksit içerisinde minor mineral özelliği göstermiştir. Boksit örneklerinin içerisinde bulunan kil türü ise, kaolinit olarak saptanmıştır (EK-2).

Çizelge 4.1. Boksit örneklerinin XRD sonuçları

Mineraller	Bulunuş formülleri	B16	B27	B32	B34
Böhmit	Al(OH)	55.769586 96	49.047378 18	49.169144 66	56.342342 34
Kaolinit	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	10.214854 6	10.790760 41	12.209200 63	9.8918918 92
Hematit	α-Fe ₂ O ₃	10.159288 76	15.174506 83	14.640545 74	7.7297297 3
Gibsit	Al(OH) ₃	12.187442 12	9.7454054 97	7.1715934 93	7.9279279 28
Götite	Fe ³⁺ O(OH)	3.7784774 96	2.6133872 87	4.0755641 07	1.5675675 68
Anataz	TiO ₂	6.2141137 25	7.4186477 83	10.495014 87	13.117117 12
Anortit	(Ca.Ni)(Si.Al) ₄ O ₈	0	3.7261844 55	0	3.4234234 23
Kuvars	SiO ₂	0	1.4837295 57	2.2389365 05	0
Kamoziit	(Fe.Al. Mg. Mn ₆ (Si.Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	1.6762363 4	0	0	0
Toplam		100	100	100	100

4.1.2. Mineraloji ve petrografi sonuçları

Araziden getirilen örneklerin ince kesit ve parlak kesit inceleme sonuçları şöyledir;

KÇT 1; KÇT 3’e göre çok benzer rekristalize çok az mikritik çoğunlukla sfaleritik doku özelliği gösteren bir kesit olmakla beraber yok denecek kadar az bir poroziteye sahiptir. Fosil içeriği yoktur.

Laminasyon ve foliasyon mevcut değildir. Tek nikol arasından bakıldığında matriks dolgusunda kilce zengin kısımları olduğu görülmüştür.

Çimento malzemesi (birleştirici matriks) ise mikrit (kalsitin en küçük hali) ve kil minerallerinden oluşmaktadır. Kesitteki kalsit mineralleri eş tane boyutludur (Şekil 4.1-a).

KÇT 3; yerel olarak rekristalize (rekristalizasyon sürecinde / büyük tane olma sürecinde) neredeyse mermer boyutunda, çoğunlukla mikritik, sparitik kireçtaşlarından oluşan kesitte porozite yok denecek kadar az gözlenmiş olup, opak mineral yoktur.

Çift nikol görüntüsü 2,5 ile bakılmıştır. Kalsit mineralleri ise 0,5 mm boyutundadır (Anizotropiden dolayı kireçtaşları çift nikolde incelenir). Kesitte herhangi bir foliasyon-laminasyon gözlenmemiştir. Sedimanter masif rekristalize ve fosilsiz bir kireçtaşıdır (Şekil 4.1-b).

KÇT 25; Baskın olarak mikritik cep dolgusu şeklinde sparitik kalsitler vardır. Muhtemel olarak bu kalsitler çözünme boşluklarında birikmiştir. Kesit fosil içeriklidir (Krinoid fosili).

Kesitte çatlaklar mevcut ve bu çatlakların içi sparitik kalsit ile dolmuştur. Kesitte porozite yoktur. Laminasyon ve foliasyon mevcut değildir.

Kireçtaşı numunelerinde var olan çatlaklara sparitik dolgulu kalsit yerleşmiştir (Şekil 4.1-c).

KÇT 29; KÇT 3 ile kıyaslandığında daha küçük taneli olup, genelde mikritik doku gösteren bir kesittir. HCO_3 (bikarbonatlı) çözeltiler kalsitleri oluşturmuştur. Cep dolgusu şeklinde sfaleritik kalsit dolgusu vardır.

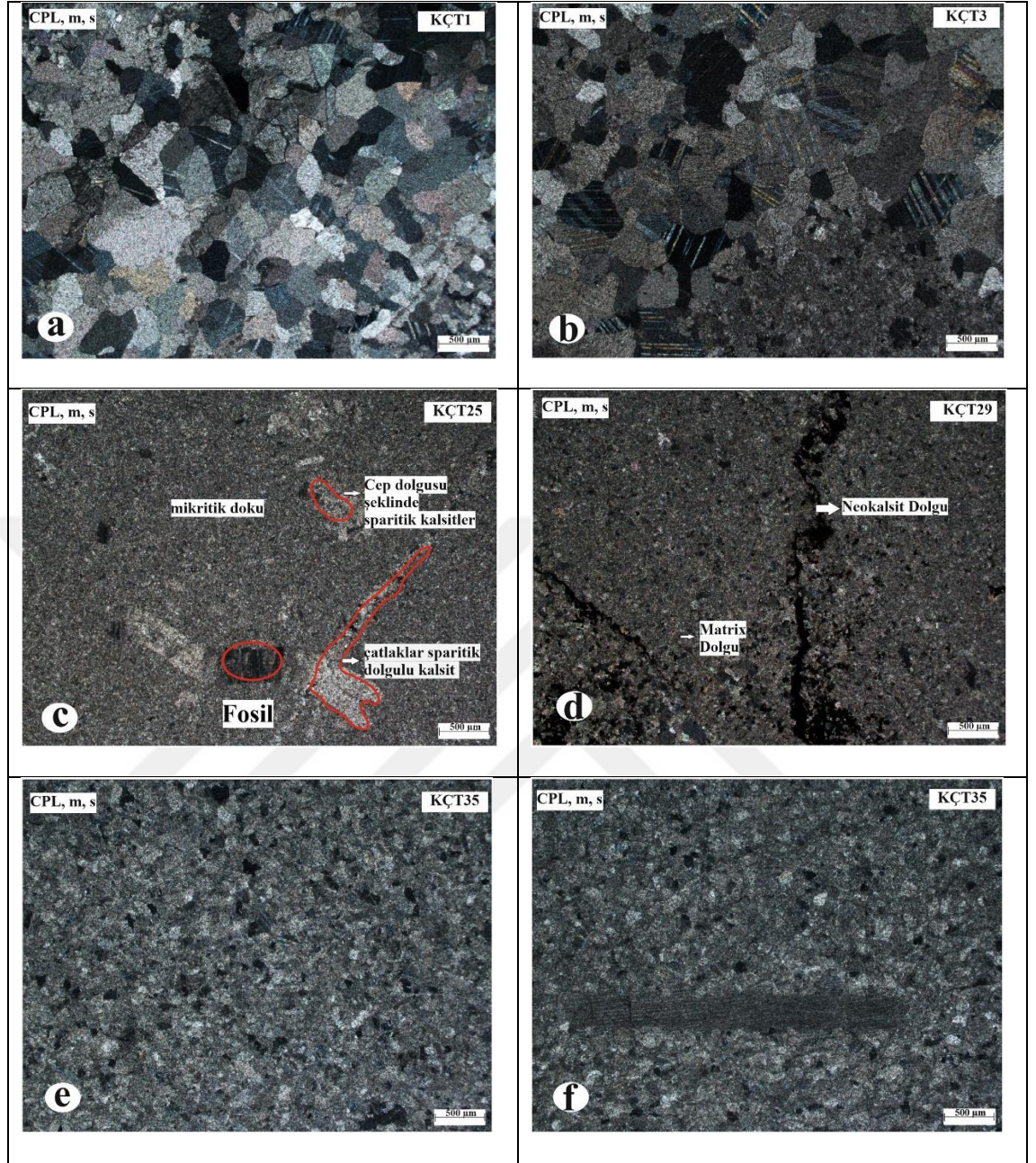
Kesit yer yer iri taneli kalsit mineralleri içeriyor ve kesit içerisinde bazı boşluklar karbonatsız kil ve benzeri dolgu malzemesi bulundurmuyor.

Kesitin porozitesi çatlaklar ile sınırlıdır. Mikritik matriks dokusunu kesen çatlaklara sparitik dokulu kalsit dolgusu yerleşmiştir (Şekil 4.1-d).

KÇT 35; Eş tane boyutlu orta-iri kristalli rekristalize bir kireç taşıdır. Aksiyal bir kesit şeklinde (kaya fragmanı şeklinde değil) fosil içeriği mevcuttur.

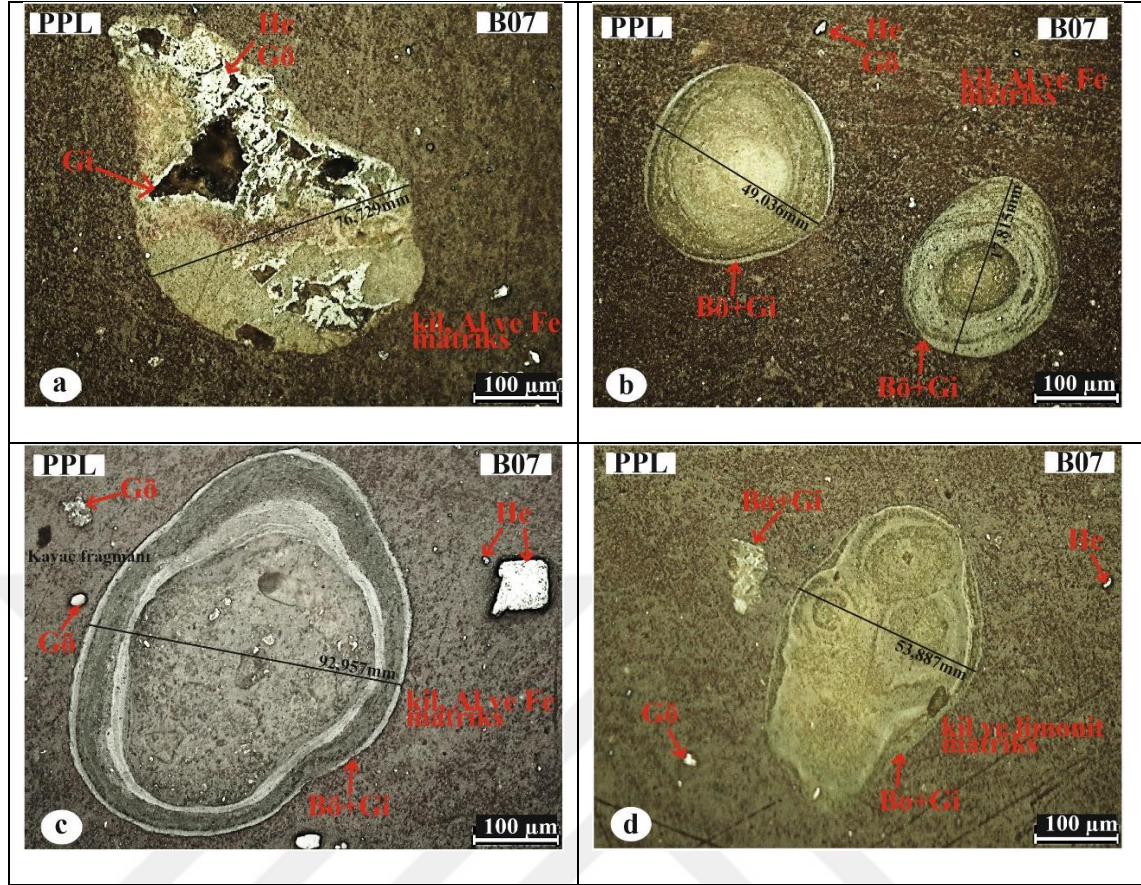
Kesitte herhangi bir şekilde foliasyon-laminasyon gözlenmemiştir (Metamorfizm etkisiyle veya sedimantasyon etkisiyle oluşabilecek laminasyon/foliasyon yoktur).

Masif, eş tane (equal granular) boyutlu, iri-orta kristalli, rekristalize kireç taşı özelliği taşımaktadır (Şekil 4.1-e, f).



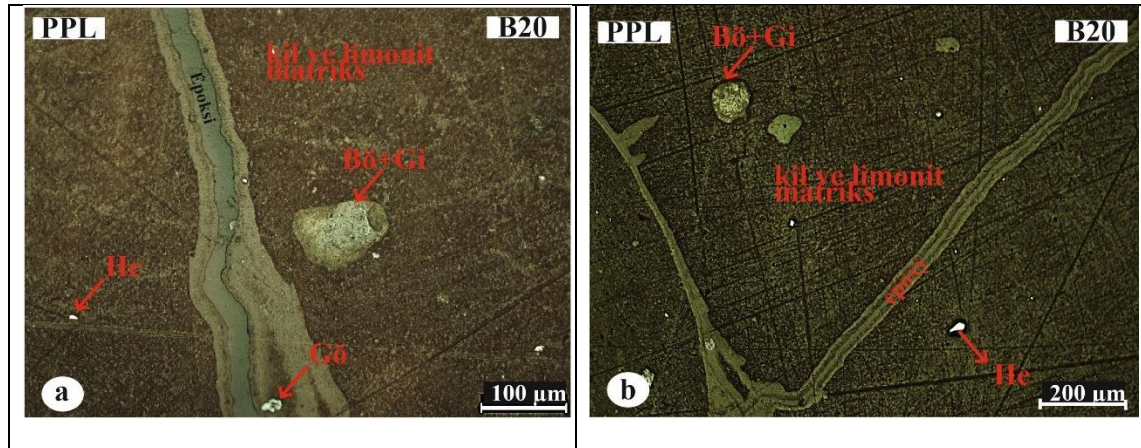
Şekil 4.1. a) KÇT1 b) KÇT3 c) KÇT25 d) KÇT29 e) KÇT35 f) KÇT35 örnekleri ince kesit mikroskop görüntüleri

B07; İncelenen diğer parlak kesitlere göre daha iyi bir cevher olduğu söylenebilmektedir. Kuvars minerali matrikste mevcuttur. Kuvarsı XRD analizinde göremediğimiz için Si içeriğinin örneklerde az olduğunu söyleyebiliriz (Si'ce fakir bir cevher) (Şekil 4.8).



Şekil 4.2. a), b), c), d) B07 parlak kesit mikroskop görüntüsü

B20; Diğerlerine göre daha az boksit mineralleri mevcut olan bir örnektir (Şekil 4.9).



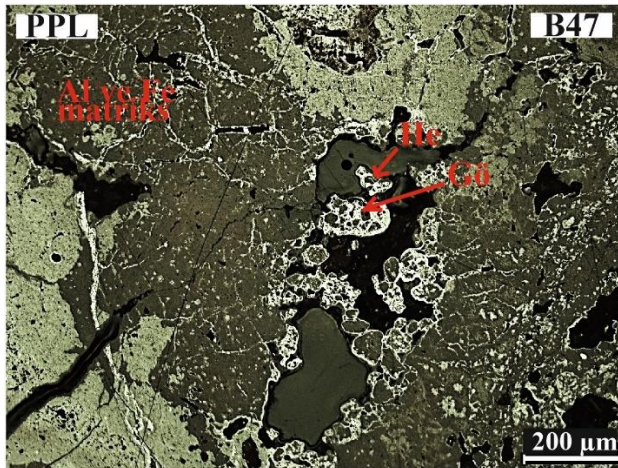
Şekil 4.3. a), b) B20 parlak kesit mikroskop görüntüsü

B47; Hematit minerali, tanelerin kenarlarını çevreliyor. Parlak kesitin matriksinde yuvarlak olarak görülen Al_2O_3 'lerdir. Bunların parlak kesitte kendini çok iyi göstermesinin sebebi ise, kesitin çok iyi parlatılmamasıdır. Boksit cevherinin tabiatı gereği sfalerit, galen vb. metalik cevherlere göre çok iyi parlatılamaz. Hematit minerali

parlak kesit mikroskop görüntüsünde beyaz gözükmemektedir. Aslında hematit mineralleri, parlak kesitte gri beyaz renklerde gözlenmektedir. Kesitte tamamen beyaz görünmesinin nedeni ise, kesitin arkasında daha koyu minerallerin olması ve kontrast oluşturmuş olmasıdır. Buna örnek olarak ise kesitte hematit örneğinin yanında bir galen mineralini görülecek olursa, hematit galenden daha beyaz gözlenmemektedir. Killer yıkanmaya başlayarak bir noktada Fe, Mn gibi elementlerin domine ettiği ama kil, kuvars gibi hatta $AlOH$ (Al_2O_3) inpirütelerin bulunduğu lateritler oluşabiliyor. Lateritlerin oluşumundan itibaren bütün bu kuvars ayrılmaktadır. Fe_2O_3 sadece inpirüte (kirlenici) olarak kalabilmektedir. Bunlardan sonra geriye sadece ekonomik değeri olan ($AlOH-Al_2O_3$) alüminyumhidrooksitler kalmaktadır. Bu ekonomik değere sahip cevhere ise boksit denilmektedir. Bu cevheri oluşturan mineraller ise gibsit, böhmit ve diyaspor'dur. Bu mineraller değişik oranlarda bulunabilir. Herhangi metamorfik bir işleme tabi olmamış boksitlerde gibsit ve böhmit dominattır. Metamorfizm etkisi ile diyaspor minerali oluşmaktadır (Şekil 4.10).

Killer → Lateritler → Boksitler

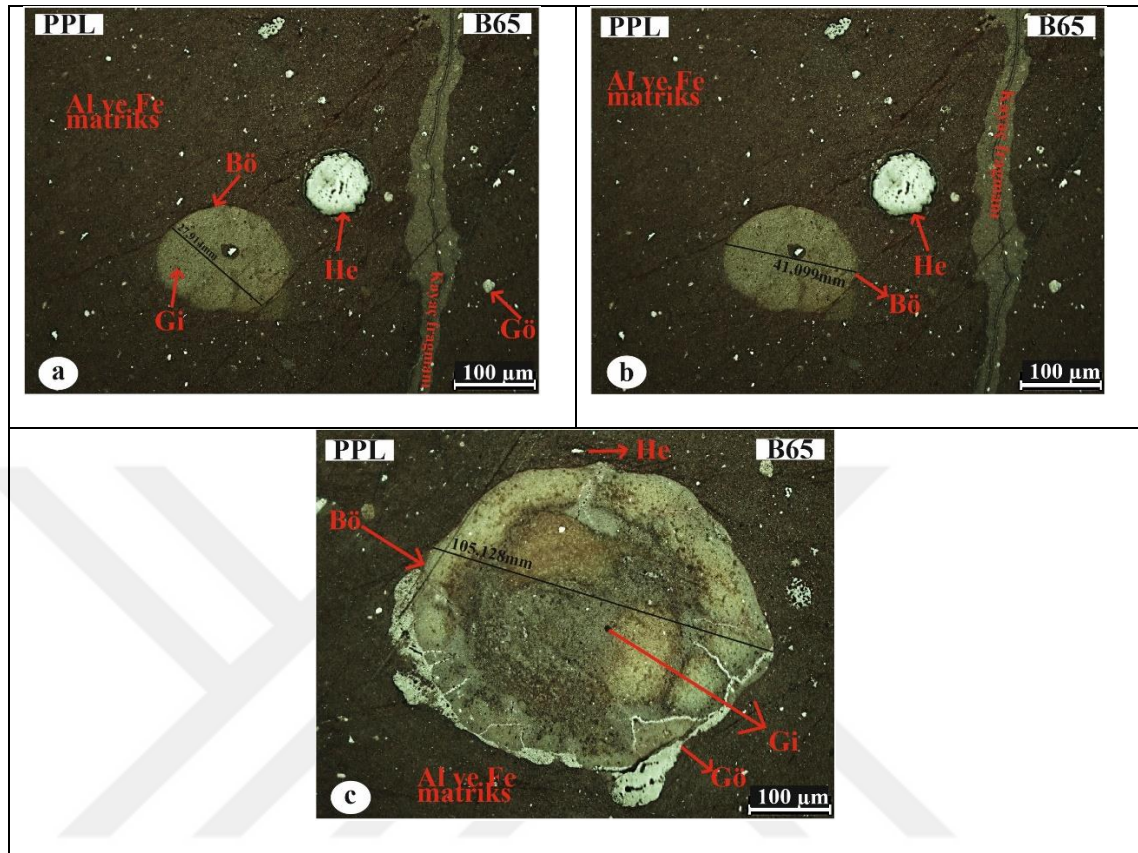
Boksit cevherlerini, çoğu araştırmacı lateritik cevher (Al-Laterit) olarak kabul etmiştir. Fakat boksit cevherleri Fe-, Mn, Ni – Laterit olarak da gözlenebilmektedir. Lateritlerin hangi element ile bulunacağı kaynak kayaya bağlı olarak gelişir. Kireçtaşı başlangıçta kilce zengin olduğu zaman yani (killi kireçtaşı olduğu zaman) lateritik bir zenginleşme şansı olmaktadır (boksit oluşması). Eğer kil oluşmazsa dış etkenlerinde etkisiyle kireçtaşı bünyesinde bulunan Ca (karbonat) erime eğilimine girmektedir.



Şekil 4.4. B47 parlak kesit mikroskop görüntüsü

B65; böhmit mineralince çok zengin bir örnektir. Bazılarının içinde hematit kapanımları vardır. Kuvars minerali boksit içerisinde gang minerali olduğu için, boksit minerallerinden daha koyu ve siyah olarak gözlenmektedir. Boksit cevherinin mineral parajenezinde bulunan minerallerin süksasyonu düşünüldüğünde, mineral gibsit ile yola çıkıyor, böhmit ve en son da diyaspor şeklinde devam etmektedir. Mineral suyunu

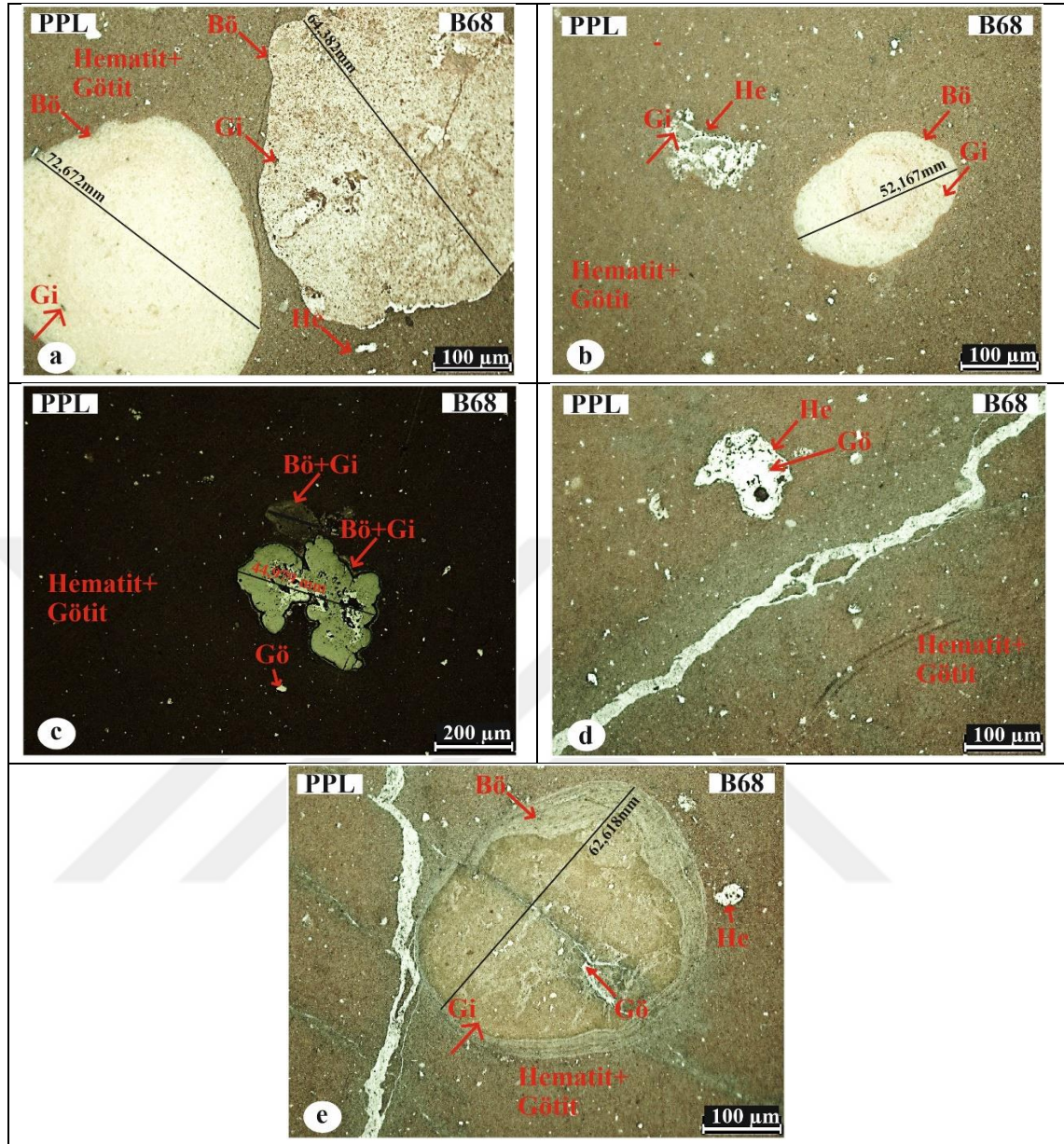
kaybettikçe dijaspor oluşuyor. Bu minerallerin hepsi B65 nolu parlak kesitte karışık halde bulunmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.5. a), b), c) B65 parlak kesit mikroskop görüntüsü

B68; Götütlü hematitler bol miktarda mevcuttur. Şekil 4.6’da parlak olan mineraller hematit+götüt karışımı, disemine çoğu hematit (yaygın) olarak bulunuyor. Bulutsu iç yansıma veren gipsit ve böhmit (tek nikol görüntüleri) mevcuttur.

Gibsitten dijaspora doğru gidildikçe mineral suyunu kaybeder. Gipsit ile böhmit’i birbirlerinden parlak kesitte birbirlerinden ayırt etmek mümkün değildir (α kuvars ile β kuvars gibi). Boksitler metamorfizmaya uğradıkları zaman oluşan mineral sıralaması **Gipsit, Böhmit, Dijaspore** şeklindedir. Götüt minerali boksit minerallerinden farklı olarak daha demirli olan mineral denilmektedir. B68’ nolu örneğin matriks malzemesi (kesit hamuru, çimentosu), kuvars, kil, ince taneli Fe_2O_3 oluşmaktadır. Bu parlak kesit başlıca hematit+götüt+gipsit+böhmit minerallerinden oluşmaktadır. İçerisinde dijaspor minerali yoktur. Kesitte görülen en parlak mineral, hematit olmakla beraber 2. en parlak mineral ise götüt mineralidir. Kesitte mat olarak (bulutumsu gri) gözlenen mineral ise anataz mineralidir.



Şekil 4.6. a), b), c), d), e) B68 parlak kesit mikroskop görüntüsü

4.2. Jeokimyasal Veriler

Sütleğen boksit yatağından derlenen örneklerin (boksit, kireçtaşı ve terra-rossa toprak örnekleri) XRF sonuçları (majör-ana element oksitler, iz ve nadir toprak elementleri) EK-1’de’de verilmiştir.

4.2.1. Boksiti oluşturan majör element oksitler

Sütleğen bölgesinden derlenen boksit örnekleri, majör element oksitler bakımından şöyle sıralanmaktadır; Al_2O_3 (%60-35.2), SiO_2 (%39.5-0.2), Fe_2O_3 (%48.4-19.5), TiO_2 (%36.9-16), P_2O_5 (%0.5-0.1). Boksitlerin oluşumu sırasında kimyasal çözünme süreçleri geçiren element ve oksitler ise şöyle sıralanmaktadır; MgO (<%0.4),

K₂O (<%0.4), CaO (%0.4-0.09), Ba (< %0.002) ve Sr (%0.1-0.001) (Çizelge 4.2). Taylor ve McLennan 1981'e göre Sütleğen boksit örneklerinin üst kıtasal kabuğa (ÜKK) göre normalize edilmiş örümcek diyagramı Şekil 4.10 (a, b)'de verilmiştir. Boksitin oluştuğu ortamdaki yan kayaçlardan alınan örneklerin ve yine ortamda bulunan terra-rossa toprak örneklerinin majör element dağılım kutu bıyık diyagramları Şekil 4.7 (a, b, c)'de verilmiştir.

Boksit cevherinin lateritleşme derecesini saptayabilmek Al₂O₃-SiO₂-Fe₂O₃ diyagramları lateritleşme sırasındaki mineral kontrolünün anlaşılması ve boksitin sınıflandırılması amaçları ile tercih edilir (Gu vd. 2013). Aleva 1994 diyagramına, Sütleğen bölgesinden derlenen ve kimyasal analiz sonuçları elde edilmiş örnekler yerleştirildiğinde kaolinit boksit, laterit, boksit ve ferritik boksit alanlarına düşmektedir. Çoğunluk boksit bölümüne düşerken bunlardan aykırı olarak B55 örneği ferritik boksit; B47 ve B51 laterit; B31 ve B38 kaolinitik boksit alanlarına düşmektedir (Şekil 4.8-a). Scheelmann 1982'e göre çizilen ve boksit örneklerinin lateritleşme derecesini belirten diyagrama bakıldığında ise, Sütleğen boksit örneklerinin orta ve güçlü laterizasyon gösterdikleri anlaşılmaktadır. Boksit örneklerinden kaolinitik boksit örneği olan B55 numunesi, en güçlü laterizasyon geçirmiş boksit cevheri olarak ön görülmüştür (Şekil 4.8-b). Boulange vd. 1997 sınıflamasına göre boksit örnekleri, kaolinit ile boksit arasına düşmüştür (Şekil 4.8-c) Boksitin jeokimyasal olarak oluşum mekanizmasını detaylı olarak inceleyen Beauvais 1993; Tardy 1997 ve Tardy vd. 1988 diyagramlarına göre çizilen örneklere bakıldığında, Sütleğen boksit örneklerinin demirin ortamdan ayrılması ile oluştukları ortaya çıkarılmıştır (Şekil 4.8-d). Boksitin bulunuş ortam şartlarını (çevre koşullarını) ortaya çıkaran Bárdossy ve Aleva 1990 diyagramına Sütleğen boksit numunelerinin elementel konsantrasyonları yerleştirildiğinde numunelerin çoğunlukla boksit ve killi boksit aralığına düştükleri istisnai olarak B42 ve B51 örneklerinin ise yüksek demirli boksit olduğu görülmüştür. B47 örneğinin ise boksitik demir cevheri olduğu çıkarılmıştır (Şekil 4.8-e).

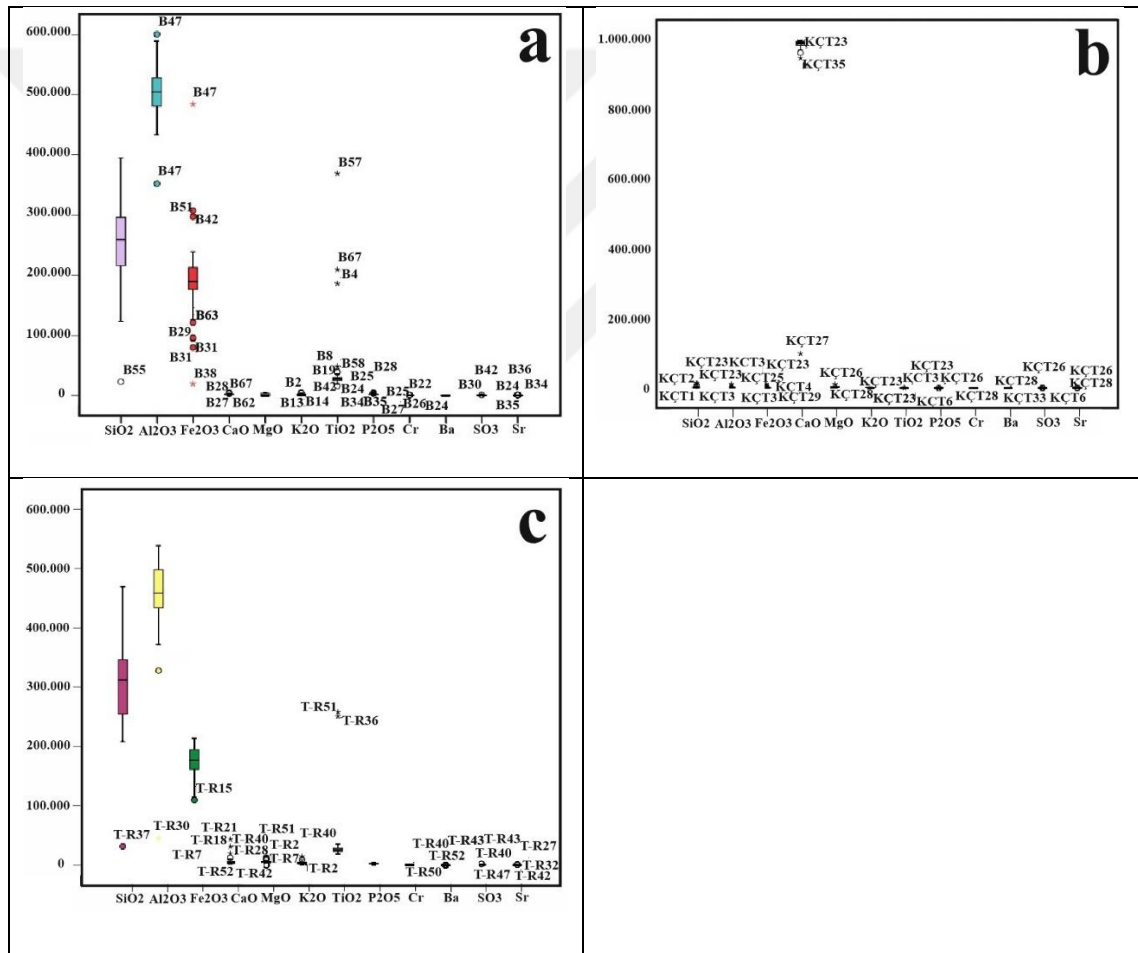
Çizelge 4.2. Sütleğen boksitlerinin majör element verilerinin betimsel istatistiği

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
Art. Ort.	1516.6 2	503279.4 1	255852.94	2180.00	541.0 9	82.4 1	1595.18	2257.6 2	38257.35	193730.88
Medyan	.00	504000.0 0	259500.00	1990.00	493.5 0	74.3 0	1205.00	2150.0 0	28100.00	189500.00
Mod	0	480000 ^a	311000	1350 ^a	332 ^a	65 ^a	0	1730 ^a	28100	174000 ^a
Std.	1976.4	37474.70	65486.073	1010.57	250.0	22.7	1278.61	627.89	50150.357	55610.469
Sap.	35	6		5	84	53	7	8		
Varyan	390629	1404353	428842581	102126	62542	517.	163486	394255	251505830	309252425
s	4.359	599.649	2.116	2.687	.231	681	2.536	.792	3.336	5.926
Basıklık	.602	-.676	-.562	2.033	3.170	1.13 5	.993	1.031	5.398	1.611

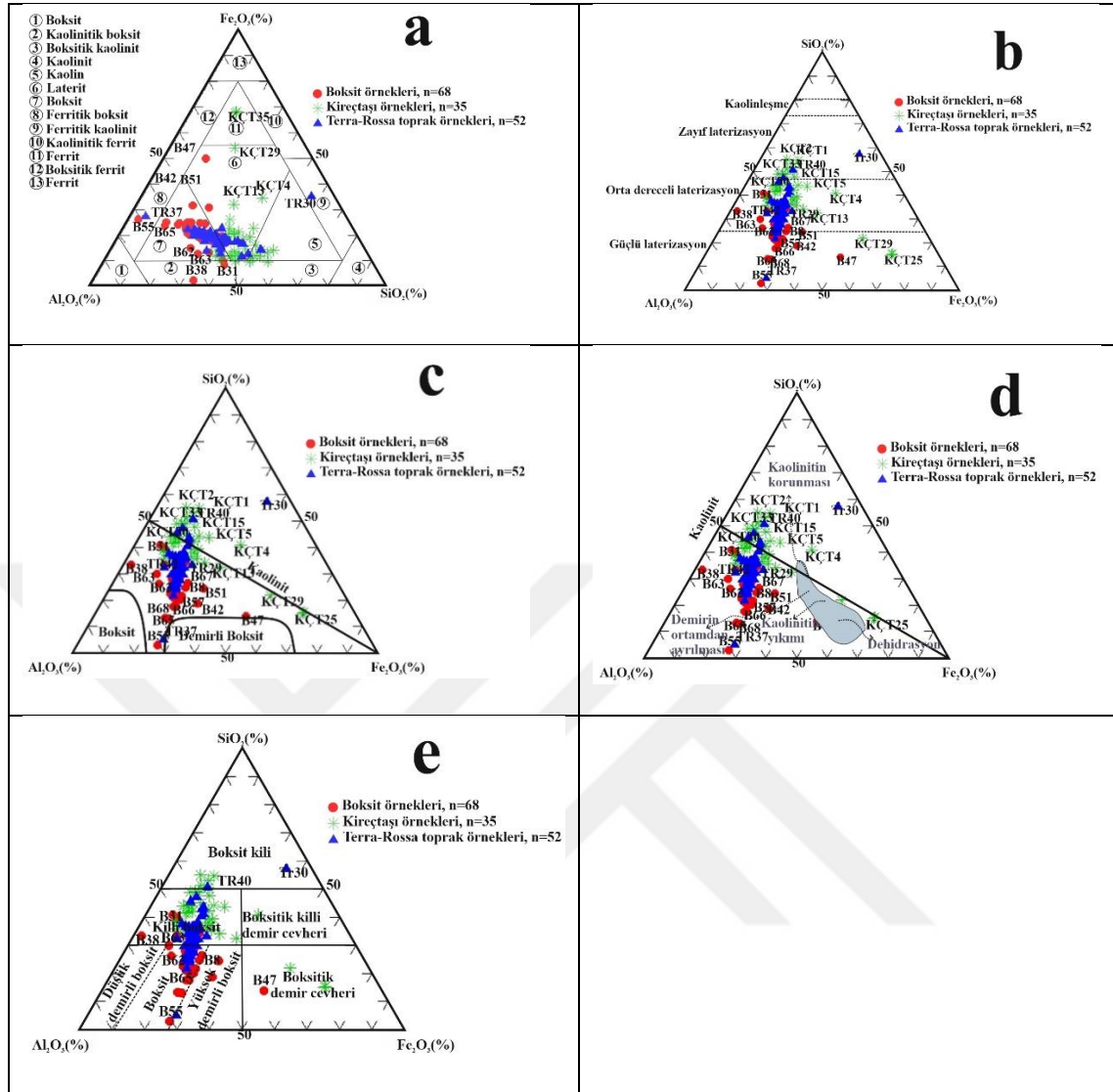
Çizelge 4.2. Sütleğen boksitlerinin majör element verilerinin betimsel istatistiği (devamı)

Çarpıklık	-1.547	3.350	1.625	4.405	15.580	.990	-.035	1.728	31.169	11.776
Değişim aralığı	4990	248000	372000	4480	1691	104	4470	3332	353000	464500
Min.	0	352000	23000	1230	289	47	0	978	16000	19500
Mak.	4990	600000	395000	5710	1980	151	4470	4310	369000	484000
Toplam	103130	3422300	17398000	148240	36794	5604	108472	153518	2601500	13173700

a. Seride birden fazla mod mevcuttur.



Şekil 4.7. Sütleşen arazisinden derlenen **a)** boksit örneklerinin majör element box-plot analizi **b)** yan kayaç örneklerinin majör element box-plot analizi **c)** terra-rossa toprak örneklerinin majör element box-plot analizi



Şekil 4.8. Boksit, terra-rossa ve yan kayaç örneklerinin **a)** $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ mineralojik sınıflamasını gösteren üçgen diyagramı (Aleva 1994) **b)** $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--Fe}_2\text{O}_3$ lateritleşme derecesini gösteren üçgen diyagramı (Schellmann 1982) **c)** $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--Fe}_2\text{O}_3$ boksit sınıflandırmasını gösteren üçgen diyagramı (Boulange ve Carvalho 1997) **d)** Beauvais ve Colin 1993'e göre boksit oluşum mekanizmasının jeokimyasal yollarını gösteren üçgen diyagramı **e)** Bárdossy ve Aleva 1990'a göre boksit türünü gösteren üçgen diyagramı

Boksit cevherlerinde genel itibariyle iz elementler (V, Cr, Nb, Y, Ga, Zr, Th gibi) bulunmaktadır (Gu vd. 2013; Sidibe ve Yalçın 2019). Sütleğen boksitlerinden derlenen örneklerin kimyasal içerikleri çıkartılmış olup, iz element konsantrasyonları şöyle sıralanmıştır; $\text{Mn} > \text{V} > \text{Sr} > \text{Co} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Y} > \text{Ce} > \text{La} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Ba} > \text{Nb} > \text{Th} > \text{Ga} > \text{Hf} > \text{Sn} > \text{Rb} > \text{Sb} > \text{Ta} > \text{W} > \text{U} > \text{Te} > \text{Hg} > \text{Au} > \text{Cd} > \text{Pt} > \text{Ir} > \text{Bi} > \text{Br} > \text{In} > \text{Ti} > \text{Ge}$. Buna göre en yüksek konsantrasyon içeriğine göre sıralanmış iz elementlerin miktarı şöyledir; V 1500-0 ppm, Sr 1140-107 ppm, Co 933-247 ppm, Cr 913-319 ppm, Ni 691-0 ppm, Cu 606-51.4 ppm, Zn 528-168 ppm, Y 458-57.5 ppm, Ce 363-0 ppm, La 269-0 ppm, Pb 262-65 ppm, As 220-0 ppm, Ba 209-0 ppm, Nb 169-0 ppm,

Th 106-0 ppm, Ga 73.5-39,4 ppm, Hf 59.5-0 ppm, Sn 57.1-28.2 ppm, Rb 51.7-0 ppm, Sb 38.8-0 ppm, Ta 37.2-0 ppm, W 29.2-0 ppm, U 27.1-0 ppm, Te 22.1-0 ppm, Hg 20.6- 0 ppm, Au 19.7-0 ppm, Cd 18-0 ppm, Pt 17.7-0 ppm, Ir 17.5-0 ppm, Bi 15.4-0 ppm, Br 12-0 ppm, In 11.8-7.06 ppm, TI 8.8-0 ppm ve Ge 7.29-0 ppm (Şekil 4.20) (Çizelge 4.3). Nb-Ta nadir toprak elementlerinin boksit, terra-rossa ve kireçtaşı için dağılımlarının çıkarılması Şekil 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Sütleğen boksitlerinin iz element verilerinin betimsel istatistiği

	Min	Mak	Art. Ort.	Medyan	Mod	Std. Sapma	Varyans	Değişim Aralığı
Mn	111	6030	970.04	630	535a	1112	1236543	5919
V	0	1500	828.75	825.5	0a	329.977	108885	1500
Sr	319	1140	357.59	274	119a	253.198	64109.1	1033
Co	247	933	470.68	456.5	455	111.524	12437.6	686
Cr	107	1140	565.79	544	502	113.628	12911.4	594
Ni	0	691	338.72	335	245a	97.289	9465.1	691
Cu	168	528	130.06	105	107	77.255	5968.37	555
Zn	0	363	283.34	273.5	191a	73.085	5341.48	360
Y	58	458	131.28	109.5	103	80.004	6400.65	401
Ce	51	606	220.35	228	0	77.108	5945.69	363
La	0	169	100.85	114	0	85.282	7273.06	269
Pb	65	262	101.42	95.55	102	26.222	687.592	197
As	0	269	86.83	78.35	72a	44.095	1944.39	220
Ba	0	220	55.19	66.95	0	56.231	3161.95	209
Nb	39	74	116.84	116.5	135	25.444	647.408	169
Th	0	106	57.63	57.25	0	16.092	258.962	106
Ga	0	209	60.46	60.8	57	6.259	39.181	34
Sn	28	57	42.09	42.2	40a	4.902	24.025	29
Hf	0	60	35.47	35.7	0	13.785	190.039	60
Zn	0	52	283.34	273.5	191a	73.085	5341.48	360
Rb	0	27	19.91	15.4	12a	13.966	195.047	52
Sb	0	29	8.14	0	0	10.192	103.869	39
Ta	0	20	2.4	0	0	8.618	74.269	37
W	0	39	12.98	16.5	0	9.529	90.798	29
U	0	18	13.84	14.25	0a	5.424	29.422	27
Te	0	22	5.45	0	0	7.283	53.045	22
Hg	0	21	4.51	0	0	5.108	26.089	21
Au	0	37	9.47	10.25	0	4.236	17.948	20
Cd	0	9	0.26	0	0	2.183	4.765	18
Pt	0	15	7.12	8.72	0	5.941	35.291	18
Ir	0	12	1.08	0	0	3.904	15.245	18

Çizelge 4.3. Sütleğen boksitlerinin iz element verilerinin betimsel istatistiği (devamı)

Bi	0	18	1.72	0	0	3.414	11.653	15
Br	0	6	1.37	0	0	2.377	5.648	12
In	0	12	0.28	0	0	1.657	2.744	12
Ti	0	18	1.78	0	0	2.858	8.166	9
Se	0	7	0.64	0	0	1.671	2.792	6
a. Seride birden fazla mod mevcuttur.								

4.2.2. Boksiti oluşturan nadir toprak elementleri

Boksit oluşumuna katkı veren bir diğer kimyasal bileşim nadir toprak elementleridir. Sütleğen boksit yatağı için seçilen 17 adet örneğin, nadir toprak elementlerinin çözülmesi ICP-MS analizi ile saptanılmış olup ($Y > Ce > Nd > Sc > Dy > La > Gd > Sm > Er > Yb > Pr > Ho > Eu > Tb > Tm > Lu$), ΣREE , $\Sigma LREE$, $\Sigma HREE$ ve $\Sigma HREE$ değerleri ve bu sonuçlara ait betimsel istatistik değerleri Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmiştir. Sütleğen boksit, terra-rossa ve kireçtaşı örneklerinin nadir toprak element konsantrasyonlarının üst kıtasal kabuğa (ÜKK) göre normalize edilmiş örümcek diyagramı (ÜKK değerleri Taylor ve McLennan 1981'dan alınmıştır (Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25).

Çizelge 4.4. Sütleğen boksitlerinin nadir toprak element verilerinin betimsel istatistiği

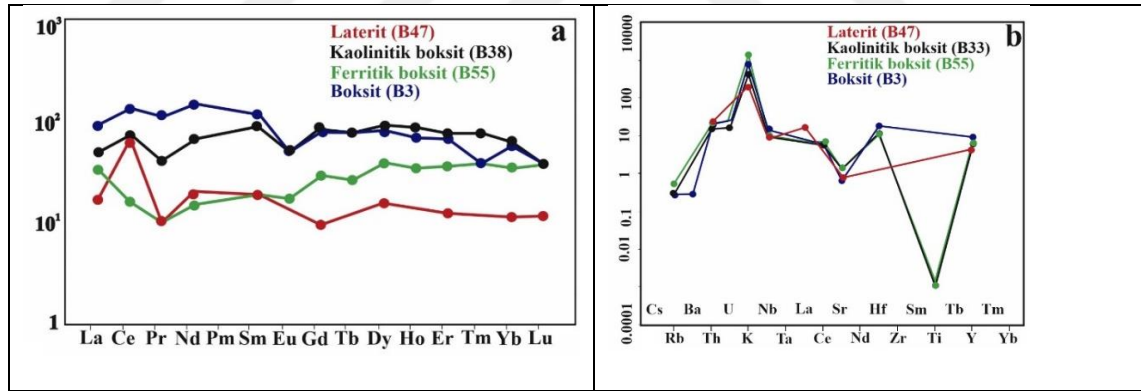
	Min	Max	Art. Ort.	Med.	Mod	Std. Sapma	Varyans	Değişim Aralığı	Toplam
Ce	5.20	105.10	40.6059	39.2	5.20a	32.6633	1066.89	99.9	690.3
Nd	3.70	70.00	26.8353	19.3	64.1	23.65	559.321	66.3	456.2
Sc	10.10	36.60	21.7588	21.7	10.10a	6.44021	41.476	26.5	369.9
Dy	1.10	23.60	12.0706	14.3	1.10a	7.31341	53.486	22.5	205.2
La	2.70	22.50	10.6824	9.3	2.70a	6.22236	38.718	19.8	181.6
Gd	0.90	18.80	9.2176	9.1	.90a	6.26999	39.313	17.9	156.7
Sm	1.10	18.60	8.3294	7.4	1.10a	6.18666	38.275	17.5	141.6
Er	0.60	13.10	6.8353	7.9	8.4	3.91965	15.364	12.5	116.2
Yb	0.60	11.60	6.5941	7.1	7.10a	3.39107	11.499	11	112.1
Pr	0.70	11.80	4.4529	3.4	0.9	3.94812	15.588	11.1	75.7
Ho	0.20	5.00	2.5176	2.9	.80a	1.49968	2.249	4.8	42.8
Eu	0.20	3.90	1.9765	1.7	.80a	1.35071	1.824	3.7	33.6
Tb	0.20	3.50	1.8	2	.50a	1.13963	1.299	3.3	30.6
Tm	<0.1	0.3	1.1118	1.1	.40a	0.63333	0.401	2	18.9
Lu	<0.1	0.3	1.0235	1.1	.60a	0.52741	0.278	1.7	17.4
a. Seride birden fazla mod mevcuttur.									

Çizelge 4.5. Sütleğen boksitlerinin iz element verilerinin betimsel istatistiği

	ΣREE	$\Sigma LREE$	$\Sigma HREE$	$\Sigma LREE/\Sigma HREE$
B3	295.9	185.6	103.4	1.794970986
B8	209.9	115.4	93.6	1.232905983

Çizelge 4.5. Sütleğen boksitlerinin iz element verilerinin betimsel istatistiği (devamı)

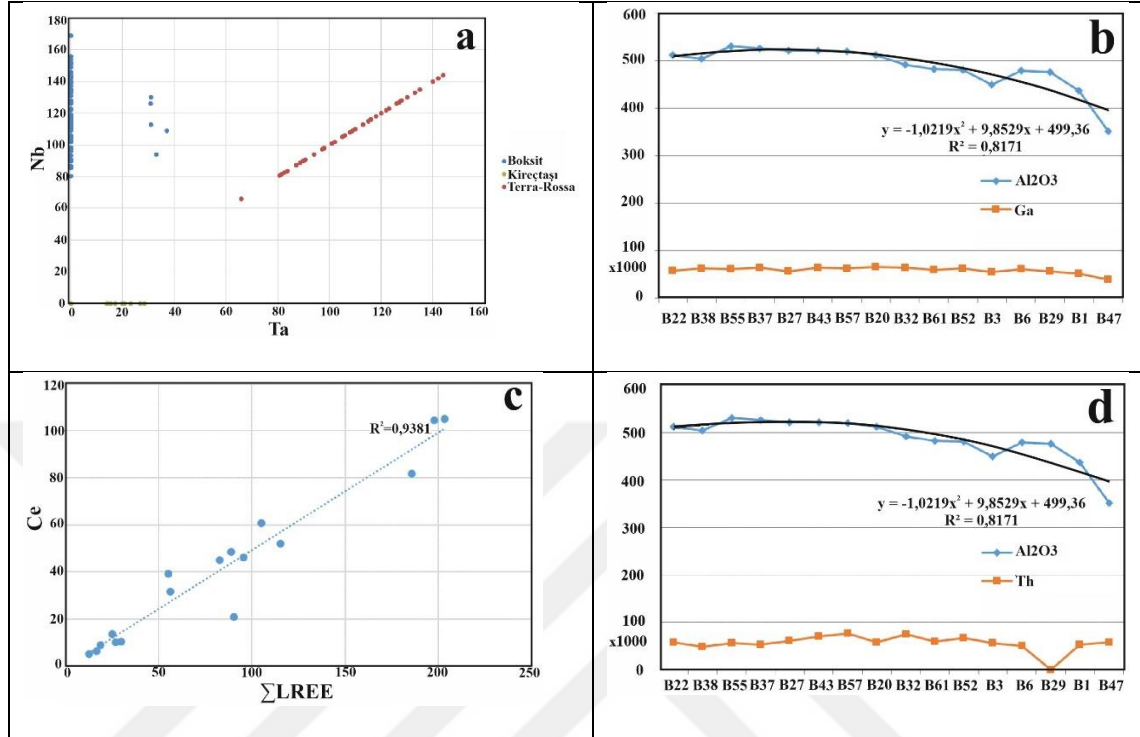
B19	184.6	88.7	101.6	0.873031496
B55	86.3	26.8	71.4	0.37535014
B62	26.7	12.3	16	0.76875
B21	50.8	16.5	41.9	0.393794749
B33	176.1	105	72.7	1.444291609
B42	54.6	18.5	40.9	0.452322738
B44	142.2	82.6	63.1	1.309033281
B50	97.6	56.1	44.9	1.249443207
B49	97.4	55.2	44	1.254545455
B37	206.5	95.5	111.3	0.85804133
B64	289.1	203.4	80.1	2.539325843
B66	297.5	197.8	93.4	2.117773019
B52	100.6	29.5	79.3	0.372005044
B30	44.5	24.8	23.4	1.05982906
B9	176.2	90.1	83.7	1.07646356
ORT.	149.2059	82.57647	68.51176	1.1277575
STD. SAPMA	89.81668	63.47113	28.88524	0.612310135
MİN.	26.7	12.3	16	0.372005044
MAX.	297.5	203.4	111.3	2.539325843



Şekil 4.9. a) Örneklerin kondirite göre normalize edilmiş örümcek diyagramı (normalleştirilme değerleri: Sun ve Mc Donough 1989); b) Örneklerin üst kıtasal kabuğa (ÜKK) göre normalize edilmiş örümcek diyagramı (ÜKK değerleri Taylor ve McLennan 1981'dan alınmıştır)

Kimyasal analizlerden elde edilen Nb-Ta nadir toprak elementlerinin boksit, terra-rossa ve kireçtaşı için dağılımlarının çıkarılması Şekil 4.10-a'da verilmiştir. Al_2O_3 içerisinde zenginleştiği yapılan korelasyon analizindeki pozitif ilişkiyle de doğrulanmıştır ($r=0.817$) (Şekil 4.10-b). Sütleğen boksitlerinin $\Sigma LREE$ konsantrasyonları, $\Sigma HREE$ konsantrasyonlarına göre daha yüksek seyretmektedir. $\Sigma LREE$ bakımından zengin içerik sunan boksitler, HREE elementlerinden olan Ce konsantrasyondaki değişimden etkilenmektedir (Ellahi vd. 2017) (Şekil 4.10-c). Rb, Sr, Ba, Y, Ni, Sc, Nb, Ta, Th iz

elementlerinin boksitin içerisinde yüksek oranlarda bulunması, ultrabazik köken ile ilişkilendirilebilmektedir (Condie 1993; Yang vd. 2019-b). Th iz elementinin Al_2O_3 olan ilişkisi çıkarılmış olup, Şekil 4.10-d’de verilmiştir.



Şekil 4.10. a) Nb/Ta (iz elementlerinin boksit, terra-rossa ve kireçtaşı için) b) Al_2O_3 /Ga c) Ce/ Σ LREE d) Al_2O_3 /Th dağılımlarının iki değişkenli grafikleri

4.3.Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler

4.3.1. Pearson korelasyon analizi

30’dan daha fazla veri ile çalışılan Sütleğen boksit yatağı için yapılan Pearson korelasyon analizi sonucunda, ana oksitler ile boksiti oluşturan iz ve nadir toprak element kompozisyonları arasındaki korelasyon ilişkileri şöyle saptanmıştır; (EK-3). P_2O_5 -Sr ve K_2O -Rb ($r = 0.902-0.988$) arasında çok yüksek **pozitif** korelasyon saptanılmış olup, Al_2O_3 -Ga, Fe_2O_3 -Co, MgO - K_2O ve Rb, Cu-Cd elementleri ve bileşikleri arasında yüksek **pozitif** korelasyon ilişkisi belirlenmiştir ($r = 0.706-0.758$) ayrıca **negatif** korelasyon SiO_2 -Cl, Fe_2O_3 , V, Co, As ve U arasında; B-Au; TI-Hg ortalama bir korelasyon ilişkisi gösterirler ($r = -0.509-0.695$) (Özer ve Yalçın 2020).

Nadir toprak element konsantrasyonları toplamda 17 örnek için yapılmıştır. 30’dan küçük veri setleri için yapılması gerekli olan ve hangi korelasyon analizinin (Pearson, Spearman, Kendall’s tau-b) veri setine uygun olacağının anlaşılması için veriler üzerinde yapılan normallik testi sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir (Kalaycı, 2010; Yalçın vd. 2019). Normal dağılım varsayımı yaklaşım testi uygulanan verilerin, Pearson korelasyon analizine uygunluğu çıkarılmıştır.

Çizelge 4.6. Nadir toprak elementlerinin normallik testi sonuçları

Normallik testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Sig.	İstatistik	df	Sig.
Ce	.148	17	.200*	.885	17	.038
Dy	.149	17	.200*	.931	17	.223
Er	.136	17	.200*	.949	17	.443
Eu	.161	17	.200*	.901	17	.069
Gd	.150	17	.200*	.910	17	.098
Ho	.138	17	.200*	.946	17	.403
La	.150	17	.200*	.922	17	.158
Lu	.142	17	.200*	.954	17	.518
Pr	.211	17	.042	.822	17	.004
Sc	.158	17	.200*	.935	17	.262
Sm	.189	17	.106	.899	17	.066
Tb	.148	17	.200*	.916	17	.125
Tm	.143	17	.200*	.951	17	.472
U	.166	17	.200*	.881	17	.032
Y	.138	17	.200*	.946	17	.397
Yb	.148	17	.200*	.945	17	.383
*. Alt sınır değeri.						
a. Lilliefors Önem Düzeltmesi.						

Pearson korelasyon analizi sonucuna göre, Hf, Sc, Th ve U dışındaki tüm REE birbirleriyle yüksek korelasyon ilişkisine sahiptirler (EK-4). REE'lerin jeokimyasal davranışlarının, majör element konsantrasyonları ile ilişkilendirmek için yapılan korelasyon analizi ise EK-5'te verilmiştir. Bu korelasyonun sonucunda, Al₂O₃ ile Th arasında yüksek dereceden **pozitif** orta güçlü; P₂O₅ ile Nd ve Pr; SiO₂ ile U; SO₃ ile Sc; K₂O ile Th arasında orta dereceden **negatif** zayıf korelasyon ilişkisi bulunmaktadır.

4.3.2. Regresyon analizi

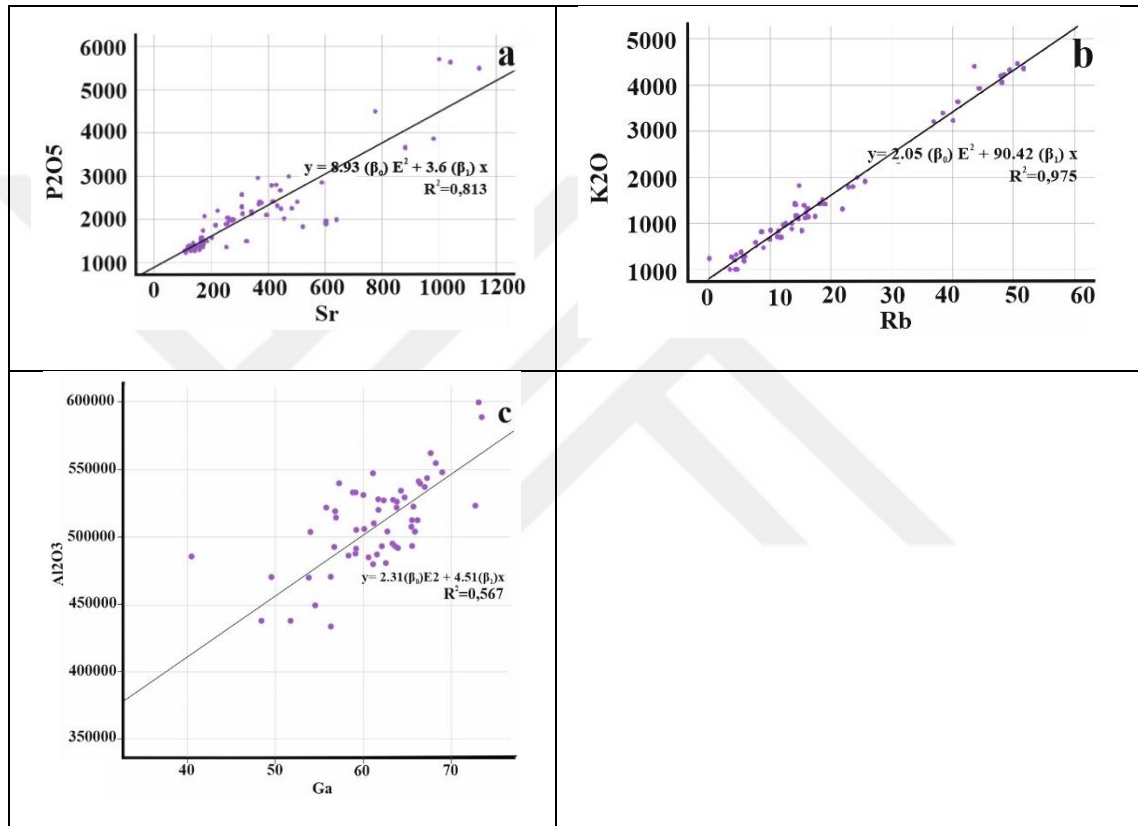
Aralarında yüksek ve güçlü/çok güçlü korelasyon ilişkisi olan elementel içeriklere regresyon analizi yapılarak açıklanabilir varyans ve bahsedilen ilişkinin hata oranı ANOVA analizi ile açıklanmıştır (Özer ve Yalçın 2019). P₂O₅-Sr, K₂O-Rb ve Al₂O₃-Ga arasında doğrusal bir ilişki olduğu grafiksel gösterim (dağılım fonksiyonu) ile tespit edilmiştir (Şekil 4.11-a, b, c). Determinasyon katsayısı (R²) (açıklanabilir varyans) tablosu R², P₂O₅ bileşiğinin %81'ini Sr ile açıklanabilir, K₂O bileşiğinin %97'sini Rb ile açıklanabilir ve Al₂O₃ elementinin %56.7'sini Ga ile açıklanabilir. ANOVA analizindeki Significant (Sig.) değeri yapılan istatistiğin hata oranını çıkarır (Kalaycı 2010). ANOVA tablosundaki Sig. değerleri incelendiğinde (Çizelge 4.7-Çizelge 4.12) P₂O₅ – Sr; K₂O –

Rb ve Al_2O_3 -Ga birlikteliği ile ilgili kurulan modelin istatistiksel açıdan anlamlı bir model olduğunu ortaya çıkarır (Sig.=0). Bu kabülün varsayımı ise, Sig. değerlere bağlıdır. P_2O_5 – Sr (formül 4.1), K_2O - Rb (formül 4.2) ve Al_2O_3 - Ga (formül 4.3) birlikteliğinin basit doğrusal denklem karakterizasyonları şöyledir;

$$y = 8.93 (\beta_0) E^2 + 3.6 (\beta_1) x \quad (4.1)$$

$$y = 2.05 (\beta_0) E^2 + 90.42 (\beta_1) x \quad (4.2)$$

$$y = 2.31(\beta_0)E^2 + 4.51(\beta_1)x \quad (4.3)$$



Şekil 4.11. a) P_2O_5 -Sr lineer dağılım grafiği b) K_2O -Rb lineer dağılım grafiği c) Al_2O_3 -Ga lineer dağılım grafiği

Çizelge 4.7. P_2O_5 -Sr lineer dağılımının açıklanabilir varyans sonucu

Model Summary ^b				
Model	R	Açıklanabilir Varyans (R^2)	Kabul Edilen Varyans (R^2)	Standart Hata
1	.902 ^a	.813	.811	439,75433
a. Bağımsız değişken: Sr				
b. Bağımlı değişken: P_2O_5				

Çizelge 4.8. P₂O₅-Sr lineer dağılımı hata oranı sonucu

ANOVA ^a						
Model		Karelerin Toplam	df	Karelerin Aritmetik ortalaması	F	Sig.
1	Regresyon	55661264,461	1	55661264,461	287,828	,000 ^b
	Artık	12763335,539	66	193383,872		
	Toplam	68424600,000	67			
a. Bağımsız değişken: Sr						
b. Bağımlı değişken: P ₂ O ₅						

Çizelge 4.9. K₂O-Rb lineer dağılımı açıklanabilir varyans sonucu

Model Summary ^b				
Model	R	Açıklanabilir Varyans (R ²)	Kabul Edilen Varyans (R ²)	Standart Hata
1	,988 ^a	,975	,975	201,79227
a. Bağımsız değişken: Rb				
b. Bağımlı değişken: K ₂ O				

Çizelge 4.10. K₂O-Rb lineer dağılımı hata oranı sonucu

ANOVA ^a						
Model		Karelerin Toplam	df	Karelerin Aritmetik ortalaması	F	Sig.
1	Regresyon	106848262,062	1	106848262,062	2623,967	,000 ^b
	Artık	2687527,821	66	40720,118		
	Toplam	109535789,882	67			
a. Bağımsız değişken: Rb						
b. Bağımlı değişken: K ₂ O						

Çizelge 4.11. Al₂O₃-Ga lineer dağılımını katsayı sonucu

Model Summary ^b				
Model	R	Açıklanabilir Varyans (R ²)	Kabul Edilen Varyans (R ²)	Standart Hata
1	,753 ^a	,567	,560	24851,620
a. Bağımsız değişken: Ga				
b. Bağımlı değişken: Al ₂ O ₃				

Çizelge 4.12. Al₂O₃-Ga lineer dağılım hata oranı sonucu

ANOVA ^a						
Model		Karelerin Toplam	df	Karelerin Aritmetik ortalaması	F	Sig.
1	Regression	53329890668,987	1	53329890668,987	86,350	,000 ^b
	Residual	40761800507,483	66	617603037,992		
	Total	94091691176,471	67			
a. Bağımsız değişken: Ga						
b. Bağımlı değişken: Al ₂ O ₃						

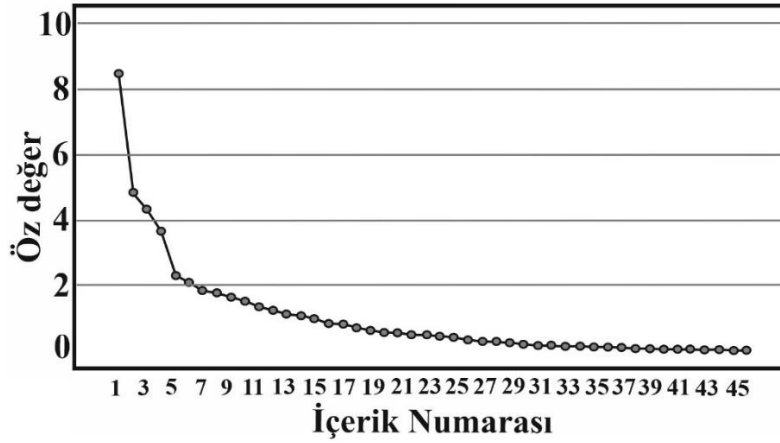
4.3.3. Faktör analizi

Sütleğen köyü boksit yatağından derlenen cevher örneklerinin regresyon analizi yapılmış olup, birbirleriyle güçlü/çok güçlü korelasyon ilişkisi bulunan element ve bileşikler (P₂O₅, Sr, K₂O, Rb, Al₂O₃, Ga, Fe₂O₃, Co, MgO, Cu, Cd) regresyon analizi yardımıyla seçilmiştir. Faktör analizi yapılmadan öncelikle, korelasyon ilişkisi bulunan element ve bileşikleri faktör analizine uygunlukları Barlett testi veya Kaiser – Meyer – Olkin (KMO) testi ile çıkarılmalıdır (Kalaycı 2010). Bu kapsamda yapılan test Çizelge 4.13'te verilmiştir. Çizelge 4.13'e göre, Barlett's testi sonuçları Sig. (p-value) değerinin 0 yani faktör analizine girilen verilerin aralarında yüksek korelasyonlar olduğu bilgisini vermektedir. Kaiser – Meyer – Olkin (KMO) ise faktör analizine girilen veri matrisinde yüksek korelasyonlar mevcuttur. KMO, faktör analizi açısından güçlü bir varsayım olmakla beraber, korelasyon ilişkilerini kısmi korelasyon katsayılarıyla karşılaştırarak ortaya çıkan bir indekstir (Kalaycı 2010). KMO oranının 0.5'in üzerinde olması faktör analizine devam edilmesi varsayımının sağlanması için yeterli bir limittir. Faktör analizine girilen veri matrisinin kaç faktör altında toplandığının anlaşılması amacıyla bakılan faktör analizi çizgi grafiğinin, eğiminin kaybolmaya başladığı nokta nokta 4. faktör olarak çıkarılmıştır (Şekil 4.12). Buradan hareketle faktör analizine girilen değerleri temsil eden faktörün 4 faktör altında toplandığı bilgisi çıkarılmıştır. Özdeğer istatistiğine bağlı faktör sayısı ve açıklanan varyans Çizelgesi 4.14'te 1'den büyük olan 4 faktörün varlığına işaret ederek, değişkenlerin dört faktör etrafında toplandığı bilgisini verir. **Birinci faktör** toplam varyansın **%27.938**'ini; **birinci ve ikinci faktörler** ise toplam varyansın **%49.201**'ini; birinci, **ikinci ve üçüncü faktörler**, toplam varyansın **%68.335**'ini; **birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü faktörler** toplam varyansın **%86.410**'unu açıklamaktadır. Değişkenlerin ortak varyansı Çizelgesi 4.15, faktör analizine dahil edilen veri matrisindeki bir değişkenin diğer değişkenlere olan ortak varyans miktarını vermektedir. P₂O₅ – Sr en yüksek ortak varyansa sahiptirler. Döndürülmüş faktör matrisi Çizelgesi 4.16 ise her bir değişken için anlamlı faktörler elde edilmesi amacıyla kullanılır. K₂O değişkeni birinci faktör altında (.934), Rb değişkeni birinci faktör altında (.928), MgO değişkeni birinci faktör altında (.837), Cu değişkeni ikinci faktör altında (.941), Cd değişkeni ikinci faktör altında (.887), Co değişkeni ikinci faktör altında (.726), Al₂O₃ üçüncü faktör altında (.866), Ga değişkeni üçüncü faktör

altında (.863), Fe_2O_3 değişkeni üçüncü faktör altında (.596), Sr değişkeni dördüncü faktör altında (.971) en yüksek ağırlıklara sahiptirler. Faktörlerin isimlendirilmesi ile ilgili olarak bir faktörün altında en yüksek ağırlıklara sahip değerler o faktörün oluşmasında en yüksek etkiye sahip değişkenleri içermektedir (Kalaycı 2010). Birinci faktör altında K_2O (.934), Rb (.928) ve MgO (.837); ikinci faktör altında Cu (.941), Cd (.887) ve Co (.726); üçüncü faktör altında Al_2O_3 (.866), Ga (.863); dördüncü faktör altında Sr (.972), P_2O_5 (.971) değişkenleri en yüksek ağırlıklara sahiptirler.

Çizelge 4.13. Verilerin faktör analizine uygunluğu testi (KMO ve Bartlett's Testi)

KMO ve Bartlett's Testi		
Kaiser-Meyer-Olkin Örnekleme Yeterliliğinin Ölçüsü		.596
Bartlett Testi	Yaklaşık Ki-Kare	719.085
	df	55
	Sig.	0



Şekil 4.12. Faktör analizi öz değer grafiği

Çizelge 4.14. Toplam açıklanabilir varyans sonuçları

Toplam Açıklanabilir Varyans									
İçerik	İlk Özdeğerler			Kare Yüklerin Ekstraksiyon Toplamları			Kare Yüklerin Dönme Toplamları		
	Toplam	%Varyans	%Küm.	Toplam	%Varyans	%Küm.	Toplam	%Varyans	%Küm.
1	3.290	29.91	29.911	3.290	29.91	29.911	3.073	27.93	27.938
2	2.617	23.79	53.701	2.617	23.79	53.701	2.339	21.26	49.201
3	1.981	18.01	71.714	1.981	18.01	71.714	2.105	19.13	68.335
4	1.617	14.69	86.410	1.617	14.69	86.410	1.988	18.07	86.410

Ekstraksiyon Yöntemi: Temel Bileşen Analizi.

Çizelge 4.15. Değişkenlerin ortak varyansı sonuçları

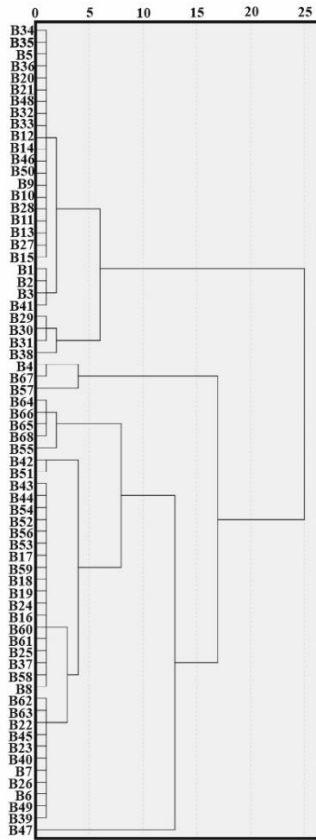
Ortak Varyans		
	İlk	Ekstraksiyon
P₂O₅	1	.950
Sr	1	.945
K₂O	1	.916
Rb	1	.902
Al₂O₃	1	.858
Ga	1	.793
Fe₂O₃	1	.766
Co	1	.852
MgO	1	.792
Cu	1	.921
Cd	1	.810
Ekstraksiyon Yöntemi: Temel Bileşen Analizi		

Çizelge 4.16. Döndürülmüş faktör matrisi sonuçları

Döndürülmüş Faktör Matrisi				
	İçerik			
	1	2	3	4
K₂O	.934	-.063	-.195	.037
Rb	.928	-.124	-.150	.058
MgO	.837	.177	-.130	-.207
Cu	-.046	.941	.130	.127
Cd	.132	.887	-.069	-.032
Co	-.397	.726	-.395	-.105
Al₂O₃	-.305	.100	.866	-.078
Ga	-.192	-.100	.863	.035
Fe₂O₃	-.573	.254	-.596	-.134
Sr	.016	-.027	-.001	.972
P₂O₅	-.053	.063	.014	.971
Ekstraksiyon Yöntemi: Temel Bileşen Analizi				
Döndürülmüş Faktör Yöntemi: Kaiser Normalizasyonu				

4.3.4. Kümeleme analizi

Dendogram analiz methoduyla Sütleğen bölgesinde bulunan boksit numunelerinin kimyasal içeriklerinin sınıflamasını öğrenebilmek amacıyla yapılan kümeleme analizi Şekil 4.29’da verilmiştir. Boksit örnekleri kimyasal içeriklerinin sınıflamasını öğrenebilmek amacıyla kümeleme analizi yapılmıştır. 1.Grup B34, B35, B5, B36, B20, B21, B48, B32, B33, B12, B14, B46, B50, B9, B10, B28, B11, B13, B27, B15 şeklindedir ve bu gruba dışarıdan B1, B2, B3, B41 ve bunlara dışarıdan B29, B30, B31, B38 bağlanır, 2. Grup B4, B67, B57 şeklindedir, 3. Grup B43, B44, B54, B52, B56, B53, B17, B59, B18, B19, B24, B16, B60, B61, B25, B37, B58, B8, B62, B63, B22, B45, B23, B40, B7, B26, B6, B49, B39 şeklindedir ve bunlara dışarıdan B42, B51, B64, B66, B65, B68, B55 ve en son B47 bağlanır.



Şekil 4.13. Sütleğen boksit örneklerinin dendogram diyagramı

4.4. Boksitlerin Ayrışma Endeksleri Sonuçları

CIA (kimyasal alterasyon endeksi), CIW (kimyasal ayrışma endeksi) ve WIP (kimyasal ayrışma endeksi) hesaplamalarında bulunan CaO* hesabı kullanılmış olup, CaO* değeri silikatlı minerallerin de CaO değerini içerdiği için öncelikle hesaplanması gereken bir değerdir (Fedo vd. 1995). Boksitin oluşum iklimsel koşulları düşünüldüğünde tropikal iklim kuşağı metalik bir maden olduğu için topraktaki alüminyumlu kil minerallerinin yoğun kimyasal alterasyonu-ayrışması sonucu oluştuğu düşünülmektedir.

Böylelikle CIA ve CIW değerlerinin 80 – 100 arasında değişmesi beklenmektedir (Nesbitt ve Young 1982; Price ve Velbel 2003). Sütleğen boksit örneklerinin CIA değerlerinin 99 – 100 arasında değiştiği ve CIW değerlerinin ise CIA ile yüksek pozitif korelasyon gösterip aynı değer aralığında (99 – 100) seyrettiği söylenebilir. Parker ayrışma endeksi değerlerinin ise 0.36 ile 5.84 aralığında seyrettiği söylenebilir (Çizelge 4.17).

Parker ayrışma endeksinin (**WIP**) numune kodlarına göre sıralanışı şöyledir; B2 > B14 > B13 > B15 > B12 > B1 > B11 > B10 > B3 > B30 > B31 > B29 > B67 > B5 > B4 > B33 > B54 > B36 > B63 > B55 > B27 > B28 > B52 > B53 > B8 > B59 > B34 = B35 > B7 > B41 > B62 > B24 > B32 > B40 > B49 > B19 > B39 > B51 > B60 > B20 > B9 > B21 > B46 > B48 > B61 > B23 > B50 > B37 > B25 > B45 > B6 > B44 > B43 > B42 > B56 > B38 > B58 > B22 > B64 > B66 > B48 > B12 > B26 > B16 > B47 > B65 > B68 > B18. Sütleğen bölgesine ait toplam 9 örneğin Parker ayrışma endeksi değerleri 5.84 – 5.10; 4 örneğin 4.74 – 4.01; 5 örneğin 3.8 – 3.09; 13 örneğin 2.85 – 2.11; 24 örneğin 1.83 – 1.04; 13 örneğin ise 0.86 – 0.36 arasındadır. Parker ayrışma endeksi en fazla yayılımı Sütleğen boksit örnekleri için 1.83 – 1.04 (24 adet örnekte) arasında gözlenmektedir. Bölgeyi temsil edici olarak söylenebilecek WIP ortalama değeri 2.34 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.17).

Boksit örneklerinin silika-alümina oranını veren Ruxton oranı (**R**) değerleri, optimum ayrışma limitine çok yakın olarak gözlenmiştir. Ortalama R değeri ise 0.51 olarak bulunmuştur. Bölgenin en yüksek Ruxton oranı ayrışma değerine sahip örneği B41 ve en küçük değere sahip örneği ise B55 olarak çıkarılmıştır. Numune kodlamasına göre boksitlerin Ruxton oranları şöyle sıralanmıştır; B41 > B31 > B30 > B29 > B2 > B1 > B3 > B4 > B5 > B36 > B32 > B20 > B21 > B48 > B34 > B35 > B33 > B9 > B12 > B27 > B50 > B13 > B46 > B14 > B11 > B15 > B10 > B40 > B28 > B51 > B67 > B23 > B45 > B38 > B63 > B22 > B26 > B49 > B7 > B6 > B8 > B39 > B43 > B62 > B44 > 54 > B37 > B52 > B60 > B25 > B61 > B56 > B58 > B19 > B24 > B53 > B16 > B47 > B18 > B42 > B57 > B17 > B59 > B66 > B64 > B65 > B68 > B55 (Çizelge 4.17).

Boksit örnekleri için Vogt artık endeksi negatif değer aralığında seyretmiş olup (- (32.139 - -734.44), örneklerin boksit oluşumu sırasında kil minerallerini ortamdan ayırdıkları olarak yorumlanmıştır. Numune kodlamasına göre boksitlerin Vogt artık oranları şöyle sıralanmıştır; (B24 > B27 > B28 > B25 > B34 > B35 > B36 > B23 > B53 > B47 > B19 > B21 > B20 > B54 > B51 > B22 > B16 > B38 > B40 > B26 > B17 > B39 > B52 > B46 > B37 > B45 > B18 > B42 > B13 > B15 > B44 > B33 > B14 > B12 > B11 > B30 > B10 > B31 > B55 > B63 > B29 > B58 > B8 > B56 > B49 > B65 > B67 > B57 > B50 > B43 > B32 > B48 > B41 > B68 > B66 > B64 > B60 > B5 > B4 > B6 > B61 > B1 > B2 > B59 > B9 > B7 > B62 > B3. PIA endeksi, plajiyoklaz minerallerinin kil minerallerine ne ölçüde dönüştüğünü vermiştir ve bu oranın ortalaması 100 olarak saptanılmış olup, kaolinit mineralinin ortamda artışı plajiyoklaz olarak bulunmuştur. Silika-titanyum endeksi ile ise silikatlı minerallerin titanyumla ilişkileri

değerlendirilmiştir. Boksit oluşum ortamındaki silikatlı kayaçların titanyum ile olan ilişkisi ortalama 5.69 olarak çıkartılmıştır. Numune kodlamasına göre boksitlerin silika titanyum endeksleri şöyle sıralanmıştır; B34 > B28 > B17 > B27 > B58 > B32 > B13 > B26 > B29 > B24 > B21 > B33 > B15 > B53 > B57 > B43 > B65 > B30 > B44 > B54 > B67 > B47 > B12 > B11 > B52 > B50 > B35 > B20 > B14 > B63 > B19 > B42 > B18 > B51 > B39 > B31 > B49 > B36 > B45 > B2 > B8 > B61 > B55 > B64 > B1 > B48 > B68 > B6 > B10 > B56 > B37 > B38 > B41 > B46 > B16 > B4 > B22 > B5 > B40 > B59 > B23 > B7 > B3 > B9 > B25 > B66 > B62 > B60.

Çizelge 4.17. Boksitlerin ayrışma endeksleri sonuçları

Numune Kodu	CaO*	CIA	CIW	WIP	R	V	PIA	STI
B1	-0.16	99.47	100	5.34	0.75	-298.6	100	7.95
B2	-0.15	99.34	100	5.85	0.76	-317.5	100	8.35
B3	-0.07	99.35	100	5.11	0.74	-734.4	100	8.76
B4	-0.20	99.87	100	3.77	0.67	-253.4	100	0.87
B5	-0.20	99.87	100	3.81	0.66	-250.3	100	10.23
B6	-0.20	100.23	100	1.35	0.49	-258.8	100	6.47
B7	-0.14	100.15	100	2.18	0.50	-379.0	100	5.44
B8	-0.32	100.50	100	2.42	0.49	-152.5	100	3.17
B9	-0.13	100.06	100	1.60	0.60	-376.5	100	7.49
B10	-0.42	100.02	100	5.23	0.56	-122.1	100	6.73
B11	-0.44	100.03	100	5.26	0.58	-115.8	100	6.28
B12	-0.45	100.05	100	5.37	0.59	-114.0	100	7.88
B13	-0.49	100.12	100	5.44	0.59	-102.0	100	6.42
B14	-0.45	100.01	100	5.56	0.58	-113.1	100	7.05
B15	-0.46	100.05	100	5.42	0.57	-109.1	100	6.19
B16	-0.64	101.20	100	0.57	0.39	-82.0	100	3.67
B18	-0.56	101.04	100	0.37	0.37	-97.3	100	4.33
B19	-0.78	101.44	100	1.67	0.40	-67.8	100	3.43
B20	-0.68	101.19	100	1.60	0.65	-71.0	100	8.16
B21	-0.69	101.22	100	1.57	0.65	-69.5	100	8.73
B22	-0.63	101.19	100	0.82	0.52	-81.5	100	6.10
B23	-0.77	101.33	100	1.51	0.53	-65.2	100	6.63

Çizelge 4.17. Boksitlerin ayrışma endeksleri sonuçları (devamı)

Numune Kodu	CaO*	CIA	CIW	WIP	R	V	PIA	STI
B24	-1.65	102.94	100	1.83	0.40	-32.1	100	4.04
B25	-1.28	102.31	100	1.38	0.41	-41.0	100	4.48
B26	-0.57	101.09	100	0.58	0.51	-88.3	100	5.43
B27	-1.48	102.74	100	2.70	0.59	-32.6	100	6.20
B28	-1.44	102.60	100	2.62	0.55	-34.3	100	6.24
B29	-0.39	100.15	100	4.51	0.79	-126.3	100	8.21
B30	-0.43	100.18	100	4.74	0.80	-116.2	100	7.75
B31	-0.41	100.18	100	4.58	0.80	-122.3	100	7.20
B32	-0.28	100.26	100	1.81	0.65	-174.1	100	7.75
B33	-0.47	100.45	100	3.52	0.62	-110.3	100	6.40
B34	-1.00	101.75	100	2.26	0.63	-47.8	100	6.63
B35	-1.00	101.75	100	2.26	0.63	-47.8	100	6.63
B36	-0.97	101.71	100	3.09	0.66	-49.2	100	7.33
B37	-0.56	100.85	100	1.42	0.43	-94.1	100	4.95
B38	-0.61	101.13	100	0.87	0.52	-82.7	100	5.98
B39	-0.56	100.84	100	1.65	0.47	-92.7	100	5.27
B40	-0.60	100.91	100	1.74	0.56	-84.8	100	6.39
B41	-0.25	100.35	100	2.11	0.83	-197.5	100	8.11
B42	-0.48	100.82	100	1.08	0.37	-101.0	100	8.29
B43	-0.32	100.47	100	1.09	0.45	-167.1	100	5.33
B44	-0.48	100.78	100	1.13	0.44	-110.2	100	4.95
B45	-0.55	100.91	100	1.36	0.53	-94.1	100	5.84
B46	-0.53	100.86	100	1.57	0.58	-93.2	100	7.33
B47	-0.52	101.44	100	0.45	0.38	-67.5	100	6.80
B48	-0.26	100.28	100	1.55	0.63	-189.7	100	7.48
B49	-0.33	100.36	100	1.71	0.50	-157.5	100	6.51
B50	-0.30	100.38	100	1.46	0.59	-163.8	100	7.47
B51	-0.55	100.97	100	1.64	0.55	-79.3	100	8.22
B52	-0.59	100.84	100	2.56	0.41	-93.0	100	4.98

Çizelge 4.17. Boksitlerin ayrışma endeksleri sonuçları (devamı)

B53	-0.82	101.08	100	2.52	0.39	-65.9	100	4.14
B54	-0.68	100.86	100	3.42	0.43	-78.4	100	4.98
B55	-0.44	100.57	100	2.77	0.04	-124.7	100	0.76
B56	-0.35	100.52	100	1.04	0.41	-155.2	100	5.13
B57	-0.32	100.58	100	0.59	0.37	-163.4	100	0.24
B58	-0.36	100.59	100	0.86	0.40	-142.6	100	3.51
B59	-0.17	100.14	100	2.39	0.36	-328.1	100	3.74
B60	-0.22	100.20	100	1.62	0.41	-239.9	100	4.96
B61	-0.19	100.17	100	1.51	0.41	-282.5	100	5.27
B62	-0.14	100.00	100	2.11	0.45	-389.5	100	5.03
B63	-0.45	100.56	100	2.86	0.52	-126.2	100	5.42
B64	-0.23	100.37	100	0.77	0.30	-237.3	100	3.22
B65	-0.37	100.62	100	0.40	0.21	-162.7	100	2.32
B66	-0.25	100.43	100	0.69	0.31	-216.3	100	3.14
B67	-0.30	100.26	100	4.02	0.54	-163.1	100	0.65
B68	-0.30	100.51	100	0.39	0.21	-198.3	100	2.38
Maksimum		100	100	5.84	0.829	-32.13	103.22	10.23
Minimum		99		0.366	0.043	-734.44	100.161	0.24
Aritmetik Ortalama		99.9		2.34	0.515	-151.27	101.01	5.69

4.5. Kütle Değişim Hesaplamaları

Sütleğen boksitlerinin oluşumu sırasında Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Cr, Mn, Co, As, Se, Au, Hg, Pb, Th, U zenginleşirken; P_2O_5 , K_2O , CaO, SO_3 , TiO_2 , Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Sn, Te tükenmiştir. MgO, Cd, In, Ta, Pt, Ir, TI ise hareketsiz eleman oldukları görülmektedir (Çizelge 4.18). Zenginleşme ve fakirleşme gösteren elementlerin MC değerlerinin grafiksel olarak gösterimleri EK-6'da verilmiştir.

Çizelge 4.18. Sütleğen boksitlerinin farklı lokasyonlarına ait toplu kütle değişimleri (MC, MMC) değerleri

		MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	TiO_2	Fe_2O_3	Toplam
MC	B18	-3742	42233.5	13639.3	-100.47	-304.95	-52.527	16157.7	67830.6
	B56	-3742	44765.5	16182.2	-137.71	-305.34	-52.527	15611	72321.1

Çizelge 4.18. Sütleğen boksitlerinin farklı lokasyonlarına ait toplu kütle değişimleri (MC, MMC) değerleri (devamı)

	B65	-3742	38652	5536.45	-166.07	-308.74	-52.527	13585.2	53504.3
MMC	B18	0	16.3163	5.31736	0.6348	0.11425	3.3E-05	9.94982	32.3325
	B56	0	17.2345	6.12228	0.49945	0.11312	3.7E-05	9.64696	33.6164
	B65	0	15.0174	2.75256	0.39636	0.10324	2.8E-05	8.52486	26.7945
		Cr	Mn	Co	Cu	Zn	As	Se	Rb
MC	B18	42.7779	-112.34	34.8902	-21.674	-8.0632	8.65554	0.25563	-1.5055
	B56	33.3218	-123.76	35.2005	-16.267	-8.7248	7.34916	0.23843	-0.8821
	B65	23.1294	236.131	33.582	-6.3233	-9.6053	7.27472	-0.1011	-1.5434
MMC	B18	4.48476	0.37601	8.84805	0.22577	0.73578	6.80795	3.52746	0.19157
	B56	3.71445	0.31258	8.91786	0.41893	0.7141	5.93136	3.35747	0.52635
	B65	2.88416	2.31159	8.5538	0.77412	0.68525	5.88141	0	0.17122
		Sr	Y	Cd	In	Sn	Te	Ta	W
MC	B18	-174.69	-8.6314	-8.2117	-0.8686	-48.486	-6.7141	-5.5514	-1.1229
	B56	-189.87	-8.3796	-8.2117	-0.8686	-48.388	-7.92	-5.5514	22.3449
	B65	-196	-10.005	-8.2117	-0.8686	-49.145	-7.0159	-5.5514	-1.1229
MMC	B18	0.15794	0.49565	0	0	0.06824	0.15225	0	0
	B56	0.0848	0.51037	0	0	0.07013	0	0	20.9
	B65	0.05522	0.41537	0	0	0.05557	0.11415	0	0
		Pt	Ir	Au	Tl	Hg	Pb	Th	U
MC	B18	-0.2789	-0.3686	8.0448	-0.4754	1.88587	1202.09	382.264	23.6117
	B56	-0.2789	-0.3686	4.75146	-0.4754	1.66292	1199.66	362.952	23.8911
	B65	-0.2789	-0.3686	12.57	-0.4754	1.878	1581.7	461.784	22.2145
MMC	B18	0	0	10.6	0	8.19	99.8	68.3	17.9
	B56	0	0	6.67	0	7.34	99.6	64.9	18.1

Çizelge 4.18. Sütleğen boksitlerinin farklı lokasyonlarına ait toplu kütle değişimleri (MC, MMC) değerleri (devamı)

	B65	0	0	16	0	8.16	131	82.3	16.9
--	-----	---	---	----	---	------	-----	------	------

4.6. Sütleğen Boksit Örneklerinin Jeokimyasal Sonuçlarının ve PAE, R Ayrışma Endekslerinin Dağılım Haritaları

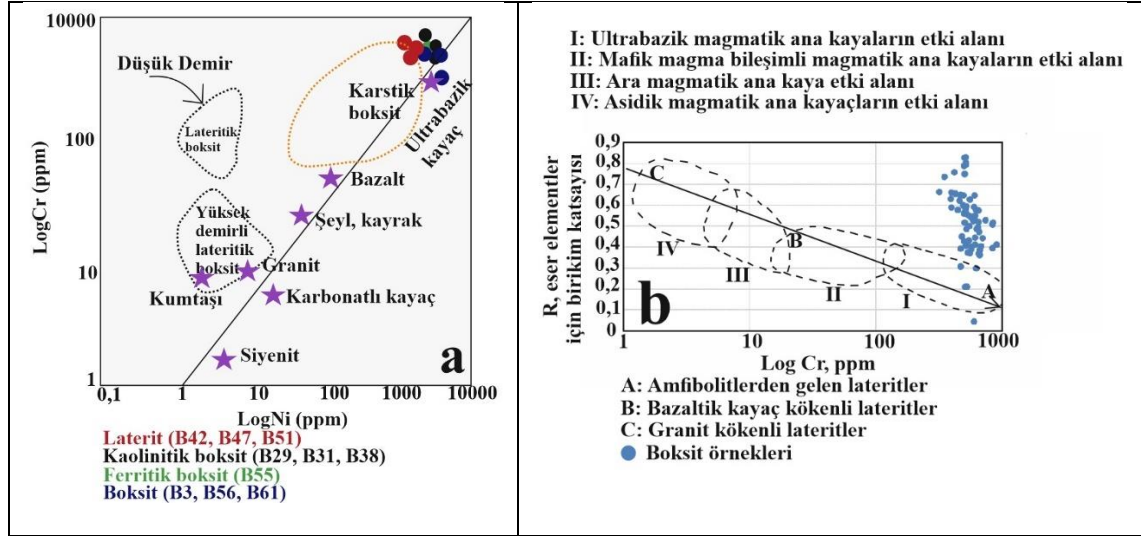
Boksit örneklerinin jeo kimyasal verilerinin (majör oksitler (Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , SiO_2 , TiO_2), iz elementler (As, Au, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Pt, Th, U, V, Zn) araziden alınan koordinat bilgileri ile birleştirilerek ARC-Map 10.3.1 programı yardımıyla mekânsal dağılım haritaları çıkarılmış olup EK-7’de verilmiştir. PAE ve R ayrışma endeksi sonuçlarının dağılım haritaları EK-8 ve EK-9’da verilmiştir.

5. TARTIŞMA

5.1. Sütleğen Boksit Cevherinin Ana Kayaç Kökeni

Yer kabuğunda meydana gelen fiziksel ve kimyasal süreçlerden biri olan ayrışmanın ortam şartları (sıcaklık, basınç, nem, çözücü özellikteki malzeme (su), çözünme özelliği olan kayaç) sağlandığında alüminosilikatlı mineraller (gibsit, böhmit, dijaspor) boksit yatağı oluşturabilir (Patterson vd. 1986). Boksitler, çoğu yazarlara göre bölgenin kaynak kayacının fiziksel ve yapısal özelliklerinden etkilenir (Bárdossy ve Aleva 1990; Mondillo vd. 2011). Boksit cevherlerinin ana kayaç özelliklerinin ve oluşumunun ortaya çıkarılması için 1997 yılında MacLean vd. tarafından önerilen iz (duraylı elementler, majör oksitler ve nadir toprak elementlerinden) faydalanılır (Trolard ve Tardy 1989; MacLean 1990; MacLean vd. 1997; Öztürk vd. 2002; Calagari ve Abedeni 2007; Gu vd. 2013; Zamanian 2015).

Schrool ve Sauuer tarafından 1968 yılında önerilen Log Cr-Log Ni, iki değişkenli diyagram ile boksitlerin ana oluşum köken kayaçları ile ilgili önemli bilgiler vermektedir. (Şekil 5.1-a). LogCr-R birikim diyagramı, boksitlerin oluşumunda rol oynayan magmatik kökeninin kaynağının anlaşılmasını sağlar (Özlü 1983; Nyamsari vd. 2020) (Şekil 5.1-b). Boksit örneklerinin jeokimyasal içerikleri incelendiğinde, alkali toprak elementlerinin ve oksitlerinin yanında Sr elementinin de azalışa geçtiği görülmüştür. Laterizasyon süreçleriyle beraber, kaolinit mineralinin ortamda zenginleşmesi ile HFS grubu elementlerin de artmasına sebep olur; fakat bu sırada hematit ve götit gibi Fe_2O_3 'in taşıyıcı görev üstlendiği minerallerce fakirleşir. Boksit örneklerinin korelasyon tablosunda, Al_2O_3 ile Ga ilişkisi saptanılmış olup, korelasyon katsayısı $r=0.753$ olarak bulunmuştur (Özer ve Yalçın 2020). Ga elementinin karstik boksitlerde karakteristik olduğu ayrıca demir grubu elementlerce taşındığı bilinmektedir (Yang vd. 2019-b). Ga, böhmit ve dijaspor gibi alüminosilikatlı minerallerde de mevcuttur. Bu durumda, Ga elementinin artışı ortamda böhmit, hematit ve götit artışına da sebep olmaktadır (Yang vd. 2019-b). Boksit örnekleri için önemli bir jeokimyasal veri olan, Cr elementinin konsantrasyonu 913-319 ppm arasında çıkmıştır. LREE'ler ile yüksek korelasyon ilişkisi halindedir ($r=0.737-0.651$). Boksitlerdeki Cr konsantrasyonu magmatik kaynak ile ilişkilendirilir (Mongelli vd. 2017; Putzolu vd. 2018; Yang vd. 2019-a). Ayrıca Sütleğen boksit yatağının jeokimyasal sonuçlarından olan majör oksit sınıflamasındaki TiO_2 miktarının yüksek anomalilerde seyretmesi, boksit yatağının ana kayaç litolojisinde ultrabazik özellik taşıdığının da bir kanıtı olarak gösterilebilir.



Şekil 5.1. a) Cr değerlerine karşı Ni dağılım diyagramı (Schroll ve Sauer 1968) **b)** Log Cr değerlerine karşı birikim katsayısı değerleri (Özlü, 1983; Nyamsari vd. 2020)

5.2. Sütleğen Boksit Yatağı Oluşumunda İz Elementlerin Etkisi

Kayaçlar, minerallerden oluşmaktadır. Mineraller ise kayaçların yapısına katılmış olan element veya elementlerin bileşiminden türemektedir. Boksitler de ise bu aynıdır ve majör oksitler, iz elementler ve nadir toprak elementleri boksit kimyasındaki mineral bileşimlerinin içeriğine katkı sağlar (Patterson vd. 1986). Boksitlerin mineralojik bileşimleri, doğrudan kaynak kayanın mineralojik bileşiminden etkilenir (Meshram ve Randive 2011). Bu ilişkilerin anlaşılması için yapılan mineralojik analizler sonucunda elde edilen jeokimyasal verilerin hem üst kıtasal kabuğa göre belirlenmiş olan element konsantrasyonları ile kıyaslanması hem de verilerin birbirleriyle olan korelasyon ilişkilerinin çözülmesi, boksitin oluşum mekanizmasında rol oynayan majör ve iz element konsantrasyonları ile aynı zamanda ana kayaç konsantrasyonlarının oluşumunda ne derecede etkili olduğunun anlaşılması açısından önem arz etmektedir.

Toros bölgesi boksitlerinde yapılan diğer çalışmalarda Σ REE miktarı (152.11-481.77) olarak bulunmuştur (Yuste vd. 2017; Gu vd. 2013; Meshram ve Randive 2011; Mongelli vd. 2014). Boksit örneklerinin Σ REE içerikleri Toros kuşağındakilere oranla daha düşük bulunmuştur (149.7 ppm). Boksit oluşumuna katkı sağlamış, REE'ler içerisinde en yüksek oranlarda bulunanlar ise şöyledir; Ce > Nd > Sc. Al₂O₃, SiO₂ ve Fe₂O₃ gibi majör oksitler, REE grubundaki elementleri absorbe etmede zayıftırlar (Hanilçı 2013). Bu nedenle korelasyon ilişkilerinde majör oksitlerin REE grubu ile istatistiksel açıdan anlamlı sayılabilecek ilişkileri bulunmamaktadır.

Boksit oluşumundaki lateritleşme tepkimeleri, düşük pH koşullarında, alüminosilikatlı minerallerin ve alkalın elementlerin süzülmesi ile başlar (Bland ve Rolls 1998; Raiswell vd. 1980; Hanilçı 2013). Boksit oluşumu sırasında oluşan birincil mineraller, REE konsantrasyonlarını absorbe etmede güçlüdürler (Karadağ vd. 2009). REE elementlerinin kimyasal reaksiyonlar sırasındaki dayanıklılık seviyelerinin düşük

seviyelerde olduğu bilinmesine rağmen, yüzeysel koşullarda gerçekleşen ve Schellmann 1982'e göre tespit edilen laterizasyon derecesine göre, REE miktarı ve hareketliliği yüksektir (Karadağ vd. 2009). Karadağ vd. tarafından yürütülen çalışmada Mortaş karstik boksit yataklarının, alkali toprak elementleri ve REE'lerin yoğunlaştığı bulunmuştur. Boksit oluşumunda rol oynamış ana kayacın karbonatlar ilişkili olması bu durumun nedeni olarak açıklanmıştır. Hanilçi 2013'te yaptığı çalışmada, Y ile HREE grubu arasındaki pozitif korelasyon ilişkisi olduğunu savunmuştur. Boksit örneklerinin Y eser element davranışının REE grubu elementlerle ilişkili olduğu korelasyon analizi saptanmıştır ($r=0.737-0.651$). Laterizasyon süreçlerinde, Fe ve Mn gibi geçiş metalleri, topraktan kolaylıkla ayrılır. Geçiş metallerinin diğer elementlerle olan korelasyonları zayıftır (Bauer 2014).

Sütleğen boksitlerini oluşturan jeokimyasal içeriklerden olan P_2O_5 ile REE'ler arasında ilişkinin olmadığı görülmüştür. Bu özelliğin, Toros bölgesinde görülen karst tipi boksitlerinin ortak özelliği olarak gösterilebilir (Mameli vd. 2007; Karadağ vd. 2009). Sütleğen bölgesindeki boksit türlerine göre Ce konsantrasyonunun büyükten küçüğe doğru sıralaması şöyledir; boksit > kaolinitik boksit > lateritik boksit > ferritik boksit. Paleokarstik ortam özelliği gösteren bölgedeki boksitlerin Ce anomalileri uğradıkları laterizasyon ve kaolinizasyon tepkimeleri ile ilişkilidir. Boksit oluşumu sırasında, Ce'nin de ortamda zenginleşmesi beklenir (Braun vd. 1990; Nyakairu vd. 2001; Compton vd. 2003; Karadağ vd. 2009). Mortaş boksitlerinin $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ oranı 3.9 olarak çıkarılmış olup, laterizasyonun kökeni Schellman 1986'nın önerdiği değerlerden yüksek çıkmıştır (Karadağ vd. 2009). Sütleğen boksitleri için bu değer 1.12 olarak çıkarılmış ve laterizasyonun kökeni olarak ultrabazik magma bileşimli kayaların olduğu savunulmuştur.

5.3. Boksitlerin Kimyasal Ayrışma Süreçleri

Kimyasal alterasyon değişim endeksi (CIA), kimyasal ayrışma endeksi (CIW), Parker ayrışma endeksi (WIP) ve Silika-alümina oranı (R) verileri ayrışım süreçleri geçirmiş cevher veya kayaç örneklerinin oluşum karakterizasyonunun anlaşılması için kullanılır. CIA endeksinin çıkış noktası olan kimyasal alterasyon günümüzde sıkça kullanılan bir hesaplama yöntemidir. Nesbitt ve Young tarafından 1982 yılında geliştirilen CIA endeksi daha sonraki yıllarda başka araştırmacılara tarafından da ele alınmıştır. 1988 yılında Harnois K-feldispatların oluşturduğu alüminyum yataklarında yetersiz kalan CIW endeksini geliştirmiştir (Fedo vd. 1995). CIW ve CIA hesaplamalarının temeli boksit yataklarında meydana gelen feldispatların ne derecede kil oluşturdukları ve bulunuş ortamındaki % kil miktarıyla ilişkilidir (Fedo vd. 1995; Maynard vd. 1995). Majör oksit bileşimlerini hedef alan CIA ve CIW endeksleri, bu bileşimlerin ayrışım konsantrasyonları ile ilgilenmekte olup, daha kompleks ayrışım olaylarının irdelenmesi ve hesaplanması için yetersiz kalmaktadır (Nesbitt ve Wilson 1992). Price ve Velbel tarafından 2003 yılında uygulanan yöntem PAE endeks hesaplaması, alüminyum ayrışma mekanizmasını diğer endeks hesaplamalarına göre daha

net ortaya çıkarmaktadır. İz element konsantrasyonlarından ve alkalın toprak elementlerinden oluştuğu için homojen ve heterojen kayaç bileşimlerinde uygulanıp, sedimanter kayaçların ayrışma mekanizmasında en çok tercih edilen endeks hesaplamasıdır (Eswaran vd. 1973). Chittleborough tarafından 1991 yılında silika-alümina oranı (bir diğer anlandırması ile Ruxton oranı) olarak isimlendirilen endeks, boksit oluşumundaki her bir silika kaybının alüminaya olan oranını verir. Ruxton, nemli paleo-iklim şartları altında oluşmuş bir çok cevher çalışmasında alüminanın silika ayrışması sonrası volkanik ve metamorfik ortam koşullarında duraylı olarak kaldığı bilgisine ulaşmıştır (Ruxton 1968).

5.4. Boksitlerin Oluşum Mekanizması

Sütlegün bölgesinde yapılan arazi çalışmaları ve gerekli görülen laboratuvar testleri (XRD, XRF, ICP-MS ve mikroskop çalışmaları) ışığında, boksitlerin öncelikle laterizasyon tepkimeleri ile ortaya çıktığı söylenebilmektedir. Laterizasyon sonucu kimyasal bileşiminde, SiO_2 miktarı azalarak ferritik boksit oluşmuştur. İlerleyen süreçlerde ise, kaolinit içeren minerallerin ortamda fazlalaşp kaolinitik boksit ve boksit sınıflamasına giren örnekleri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölgede çoğunlukla bulunan Kuvaterner yaşlı karasal alüvyon çökeller lateritik akışa katkı sağlarlar. Bölgedeki yüzeysel taşınma (mekanik hareketlilik) sonucu boksiti oluşturan malzeme çökelim ortamlarında yeni boksit yataklarını oluşturur. Laterizasyon tepkimelerinin kaynağı ise ultrabazik bileşimli kayaçlarla ilişkili olduğu jeokimyasal verilerin korelasyonları ve çeşitli diyagramlar kullanılarak çıkarılmıştır (Şekil 5.1-a, b). Dendogram analizi bu iki tür oluşmuş boksitin jeokimyasal olarak aynı özellikler sergilediğini ortaya çıkarmıştır. Karstik kireçtaşlarının ve diğer sedimentler birimlerin üzerine hareket eden lateritik zon, burada karstik boşlukları doldurmuştur. Lateritik birleşimle dolan karstik boşluklar, metamorfizm süreçleri geçirerek ayrışma süreçleri başlamıştır.

Uygun paleo-iklim şartlarını (sıcaklık, nem, çözücü özellikteki su (bölgeye düşen yağış) ve çözünebilen kayaç varlığı (karstik malzeme)) sağlamış olan Sütlegün bölgesi boksitleri, Üst Lütesiye-Alt Burdigaliye kumtaşı, kıltaşı, siltaşı ve kireçtaşından oluşan Elmalı formasyonunun üzerinde bulunmaktadır. Bölgede hâkim olan sabit iklim koşulları altında kimyasal çözünme (erozyon) geçiren lateritik malzeme, majör elementlerden olan Fe Al ve Ti'un ortamda zenginleşmesi ve taşınmasıyla beraber giderek ayrışabilir (Lelong vd. 1976). Bu evreden sonra Al ve Fe mobil elementleri ortamda zenginleştiği için kendi köken minerallerini oluştururlar (gibsit, hematit, götit). Ortamda Al ile bulunan Fe elementi ferriti meydana getirebilmek için lateritik koşullarda boksit oluşumlarının daha derininde ve yanal olarak çökelim göstermiştir (Sidibe ve Yalçın 2019). Sütlegün boksit oluşumları çoğunlukla demirin ortamdan ayrılması ve alüminyumun ortamda çoğalarak kendi karakteristik mineralleri olan gibsit, böhmit ve diaspore (çoğunlukla böhmit'e) dönüşmesiyle meydana gelmiştir. Ortamdaki pH dengesi ve alkalın koşullar lateritik zon da farklılaşır. Devam eden evrede ise kaolinitik malzeme, boksitofil minerallere dönüşür. Boksit örneklerinde beraber bulunan gibsit ve böhmit mineralleri oluşur. Böhmit

mineralinin bünyesinde gipsit'e göre az diaspورا göre çok H₂O vardır. Al₂O₃ miktarının en kullanılabilir olduğu boksitfil minerallerdir. Ayrıca böhmit, yeraltısuyu seviyesinin yüksek olduğu ve yağış koşullarının düzenli olduğu bölgelerin boksitlerinin içerisinde daha karakteristik bir mineraldir (Zhukov ve Bogatyrev 2012).

Gipsit	Böhmit	Diaspor
(Al oranı az)	(Al oranı ideal derecede)	(Al oranı fazla, susuz mineral)
Başlangıç hali	En optimal Al miktarı	Diasporit kristalleri
Molekülde daha az	böhmit mineralinde vardır	proseste önceden ayıklanıyor
Al var		refraktör davranışı var

Topografyanın elverişli olması ve jeolojik ortam materyali düşünüldüğünde, jeoloji kökenli olarak gelişen ve taşınan mineraller lateritleşmiş glasislerin aşamalı olarak parçalanması ve erezyona uğraması yolu ile alüminyum oranları yükselmiştir. Alüminyumun ilksel minerali (başlangıç hali) olan gipsit, Al oranı en az olan minerallerdir. Böhmit, minerali ise ortamdan suyun azalması ve alüminyumun en ideal miktarda bulunması ile meydana gelmektedir. Sütleğen boksitlerinin güncel mineral konsantrasyonunda yapıya en çok katkı sağlayan mineral böhmittir. Bu mineral hareketliliği süreçlerinde ise yapılan kütle değişim hesapması ile, lateritik yüzeyin nadir toprak elementleri bakımından fakirleşme eğilimine girmiş olduğu ($Y > Ce > Nd > Th > Sc > Dy > La > Gd > Sm > Er > Yb > Pr > U > Hf > Ho > Eu > Tb > Tm > Lu$) ve Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, Cr, Mn, Co, As, Se, Au, Hg, Pb, Th, U zenginleşirken; P₂O₅, K₂O, CaO, SO₃, TiO₂, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Sn, Te tükenmiştir. MgO, Cd, In, Ta, Pt, Ir, TI ise hareketsiz eleman oldukları görülmüştür.

6. SONUÇLAR

Sütleğen bölgesi arazisinden, 68 adet boksit, 35 adet kireçtaşı ve 52 adet terra-rossa örneği derlenmiştir. Boksit, kireçtaşı ve terra-rossa örneklerine XRF analizi yapılmış olup, jeokimyasal özellikleri öğrenilmiştir. Boksit örnekleri üzerinde, XRD, ICP-MS analizleri ve mikroskop incelemeleri yapılmıştır.

Çalışma alanının içinde bulunduğu, gravite ve hava manyetik haritaları yardımıyla boksit cevherinin kapsadığı alan çıkarılmış ve sınırlandırılmıştır.

Sütleğen bölgesinde yapılan, XRD analizleri (analitik mineralojik analizler) boksit oluşumlarının, mineral parajenezini ortaya çıkarmıştır. Oluşumdaki ana mineraller, Böhmite Kaolinit, Hematit, Gibsit, Götite, Anataz; Anortit, Kuvars, Kamozit ise boksit oluşumundaki minör minerallerdir. XRD analizleri ve mikroskop çalışmaları neticesinde, Sütleğen boksitlerinin içerisinde en fazla bulunan mineral böhmite olarak saptanmıştır. Lateritik yüzey koşullarında bir kil türü olarak gelişen kaolinitin desilikasyonu sonucu böhmite minerali bölgede karakterize olmuştur. Sütleğen boksitleri için, topografyanın elverişliliği ve bölgesel jeolojik koşullar yardımıyla, ortamda meydana gelen kimyasal çözünme sonrası oluşan fazla Al; gibsit mineralinin bünyesine katılarak böhmite'i oluşturmuştur.

Mikroskop incelemeleri sonucunda, boksit oluşumlarının mostra veren yan kayaçlarının masif rekristalize, mikritik ve sparitik doku özelliği gösteren kireçtaşlarından oluştuğu ve kesitlerde foliasyon-laminasyon olmadığı ayrıca fosil içeriği bakımından fakir oldukları gözlenmiştir. Mikritik doku özelliği taşıyan kesitlerde, cep dolgusu şeklinde kalsit minerallerinin olduğu ayrıca bu dolgunun aynı zamanda matrikste (çimentoda) de gözlendiği belirtilmiştir. Boksit örneklerinin ise tek nikol görüntülerinde böhmite minerali oldukça fazladır. Fazlaca demir oksitli mineraller içeren kesitlerde hematit, götite ve anataz mineralleri de mevcuttur. Kesitlerin hamuru (çimentosu), kuvars, kil, ince taneli demir oksitlerden oluşmaktadır. Örneklerin silisçe fakir oldukları yorumu mikroskop görüntülerinden çıkarılmış olup, cevher işletmeciliği için önemli bir avantaj sağlayan özellik olarak ortaya çıkarılmıştır. Mikroskop görüntülerinde diyaspor mineraline rastlanılmamıştır.

Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 diyagramları, jeokimyasal veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Boksit örneklerinin, demirin ortamdan ayrılması sonucu orta ve güçlü laterizasyon geçirmiş oldukları ve laterit (B42, B47, B51, B67), ferritik boksit (B55), kaolinitik boksit (B29, B31, B33, B38) ve boksit (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, B12, B13, B14, B15, B16, B17, B18, B19, B20, B21, B22, B23, B24, B25, B26, B27, B28, B30, B32, B34, B35, B36, B37, B39, B40, B42, B43, B44, B45, B46, B48, B49, B50, B52, B53, B54, B56, B57, B58, B59, B60, B61, B62, B63, B64, B65, B66, B68) olmak üzere 4 grup altında toplandığı ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca Sütleğen numunelerinin çoğunlukla boksit ve killi boksit aralığına düştükleri görülmüştür (Şekil 4.8). Terra-rossa ve yan kayaçlardan alınan örnekler de bu diyagramlara yerleştirilmiştir. Genel ortalama

dağılımları boksit örneklerine benzer seyrettiği görülmüş olup; terra-rossa ve kireçtaşı örneklerindeki sınıflama laterit, ferritik boksit, kaolinitik boksit, boksit aralıklarına düştükleri saptanmıştır. Laterizasyon aralıkları zayıftan-çok yükseğe seyretmekte olup, en fazla oranda orta laterizasyon sınıflamasına düşmektedirler.

Dört grup altında toplanan boksit örneklerinin genel olarak jeokimyasal majör bileşenleri Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 'dir. Sınıflanan boksit örneklerinin ortalama Al_2O_3 ve Fe_2O_3 değerleri şöyledir; lateritik (% wt 43.52, 33.02), ferritik (% wt 53.10, 19.70), kaolinitik (% wt 49.47, 8) ve boksit (% wt 50.81, 19.41). Laterizasyon süreçleri geçiren boksitlerin, Al_2O_3 artışı oluşum mekanizmasıyla doğru orantılıdır. Lateritik malzeme taşınarak, Sütleğen bölgesinde bulunan karstik tipte kireçtaşlarının boşluk ve gözeneklerine dolmuştur. Boksitik malzeme bu boşluklarda birikerek karstik tipteki boksitleri oluşturmuştur. Karstik tipteki boksitlerin bölgede oluşmuş olan diğer boksit çeşitlerinden daha yüksek SiO_2 konsantrasyonu bulunmaktadır (% wt 25.43). Bunun sebebi olarak, oluşum ortamında bulunan karstik tipteki tortullar ve karbonatlı diğer kayaçlar gösterilmiştir (alkalin koşullar ve pH dengesi). TiO_2 içerikleri ise büyükten küçüğe doğru şöyle sıralanmaktadır; lateritik boksit (% wt 6.6), boksit (% wt 3.7), kaolinitik boksit (% wt 2.8) ve ferritik boksit (% wt 2.6). Sütleğen bölgesi için boksit oluşum mekanizmasının ilk ürünü olan lateritik boksitin en yüksek oranlarda TiO_2 içermesi ve laterizasyon süreçlerinde ortamdan ayrılması kütle değişim hesabı ile de kanıtlanmıştır. Boksit örneklerinin jeokimyasal analiz verileri, cevher bileşiminde majör rol oynayan bileşenlerin Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 olduğunu ortaya çıkarmıştır. Duraylı element analizleri ve üst kıtasal kabuğa göre (ÜKK) karşılaştırılmış analiz verileri, V, Ni, Zn, Sr, Co, Y, Nb zenginleştiğini, buna karşın Rb, Eu, Tb, Hf, K, P elementlerin fakirleştiği ortaya çıkarılmıştır.

Sütleğen boksitlerine ait jeokimyasal verilerin LogCr-Ni diyagramından karstik ve ultrabazik kaynaklı bir oluşum mekanizmasına sahip olduğu çıkarılmıştır (Şekil 5.1-a). LogCr-R ikili diyagramına göre ise, magmatik kökeninin ultrabazik kayaçlarla ilişkisi olduğunu kanıtlamıştır (Şekil 5.1-b). Th'a göre yapılan kütle değişim hesaplamalarında ise, Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Cr, Mn, Co, As, Se, Au, Hg, Pb, Th, U ortamda zenginleşme eğiliminde; P_2O_5 , K_2O , CaO, SO_3 , TiO_2 , Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Sn, Te tükenme eğiliminde oldukları görülmüştür. MgO, Cd, In, Ta, Pt, Ir, TI ise boksit oluşumunda hareketsiz eleman oldukları çıkarılmıştır. Kütle değişimleri verileri ile de ultrabazik magma bileşimli kayalardan köken aldıkları düşüncesi kuvvetlenmiştir.

Sütleğen boksit örneklerinin jeokimyasal analiz verilerinin, Pearson korelasyon analizi sonucuna göre, P_2O_5 -Sr ve K_2O -Rb ($r = 0.902-0.988$) arasında çok yüksek; Al_2O_3 -Ga, Fe_2O_3 -Co, MgO- K_2O ve Rb, Cu-Cd yüksek pozitif korelasyon ilişkisi belirlenmiştir ($r = 0.706-0.758$). Ayrıca SiO_2 -Cl, Fe_2O_3 , V, Co, As ve U; B-Au; TI-Hg ortalama bir negatif korelasyon ilişkisi gösterirler. Bu sonuçlara bakılarak, Al elementinin Ga ve Co elementi ile pozitif ilişki göstermesi, Al ile taşınan ve miktarı artan Ga ve Co'nun da ortamda taşındığını göstermiştir. Boksit örnekleri için Ga konsantrasyonu en fazla boksit

sınıflamasına giren örneklerde görülmektedir (61.15 ppm), bunu ferritik boksit örneği (60 ppm), kaolinitik boksitler (59.27 ppm) ve son olarak ise lateritik boksit örnekleri takip eder (46.45 ppm). Boksitlerin oluşumu laterizasyon tepkimeleri ile başlamış olup, oluşan ilk boksitin sınıflaması lateritik boksit olarak çıkarılmıştır. Ayrıca Si'in Fe ile negatif korelasyon içinde bulunması jeokimyasal süreçler boyunca ortamdan silisin ayrılması ve Fe, Al ve Ti'un zenginleşmesi ile açıklanabilir. Fe ortamda ferrit mineralini oluşturmuştur. Ayrıca Si, Fe dışında Cl, V, Co, As ve U ile de negatif korelasyon durumundadır. Ortamda böylelikle ağır metal birikimi fazlalaşmıştır.

Sütleğen bölgesinde oluşmuş olan boksit yatakları, Toros kuşağındaki Üst Kretase kireçtaşları içerisinde bulunmaktadır. Boksitlerin sınırında bulunan birim, Üst Lütasiyen-Alt Burdigaliyen kumtaşı, kıltaşı, siltaşı ve kireçtaşından oluşan Elmalı formasyonudur. Senomaniyen ve Turoniyen yaşlı kireçtaşları arasındaki diskordans düzleminde yer alan Sütleğen boksitleri, lateritleşme süreçleri sonrası tabanda yer alan kireçtaşlarının tropikal iklim şartlarında dolin, düden ve karstik çanaklara (karstik boşluklara/karstik mercceklere) biriken boksitik malzemeden türemiştir. Alüminyumun, kireçtaşı ve dolomitlerin içerisinde var olan boşluklarına dolarak oluşturduğu lateritik malzeme, Sütleğen bölgesinin ana cevher karakteristiğini oluşturur. Alüminyumu başka ortam koşullarında çözmüş olan asidik karakterli yüzey suları, kireçtaşları içerisinde nötrleşerek alüminyumca zenginleşmesine neden olurlar.

Ultrabazik magma özelliği gösteren kayalardan köken alan lateritik zonda gerçekleşen tepkimeler sonucunda oluşan lateritik ve ferritik tipteki boksitler düşük Ce anomalisi göstermektedir. Laterizasyon ve kaolinizasyon tepkimelerinin devam etmesi üzerine alkali koşullar altında oluşmuş olan kaolinitik boksit ve boksit örneklerinde Ce konsantrasyonu en yüksek seviyelere ulaşmıştır. Ce'nin TiO_2 ile olan pozitif korelasyonu ($r=0.61$), boksit oluşumunda önemli bir rol oynamış olduğunu ve kaolinit yapılı killer tarafından Ce'nin taşındığının kanıtı olarak gösterilmiştir. Sütleğen boksit oluşumlarının en son ürünü olan boksit sınıflamasına giren örnekler Ce bakımından en zengin cevherlerdir. Ce'nin taşınım mekanizması ise karbonatlı ana kayaç (kireçtaşı) parçalarının boksit oluşum mekanizmasına katılması ve sonuçta Ce miktarını yükseltmesi ile açıklanabilir. Bölgede oluşmuş olan lateritik tipteki boksitin en yüksek WIP değerlerine sahip olduğu ve oluşum evrelerinin devam ettiği süreçlerde ise (boksit sınıflamasına giren örneklerin oluşmasına kadar ki süreçte) azalan oranlara sahip olduğu görülmüştür. R oranı da WIP değerlerine benzer bir davranış göstermiş olup, lateritik tipte gözlenen boksitlerden başlanarak, kaolinit, ferritik ve boksit sınıflamasına giren örneklerde azalma eğiliminde bulunmuştur.

Boksit örneklerinin içinde bulunduğu bölgedeki lateritik toprak, boksit oluşumunun ilk aşama ürünüdür. Oluşum ortamındaki uygun koşullar (tropikal ortam şartları) sağlandığında ise toprak zonunda kaolinit minerali oluşmaya başlamıştır. Sütleğen boksitleri için jeokimyasal veriler, bölgede oluşmuş olan laterizasyonun kökenini, ultrabazik magma bileşimli kayaların olduğunu verir. Bölgede doğrudan

ultrabazik kaya kanıtı yoktur. Laterizasyonun devam eden süreçlerinde, transgresif hareketler sonucu (yüzeysel taşınma (mekanik hareketlilik) kumtaşı, kıltaşı, silttaşı ve kireçtaşı üzerine taşınan lateritik oluşumlar, karstik boşluklarda birikerek metamorfizmanın da etkisiyle farklı kaolinitik ve boksit sınıfına giren karstik boksitleri oluşturur.

Türkiye’de var olan alüminyum hammadde yataklarının, detaylı jeolojik incelemeleri ve sanayi kollarında sürdürülebilir kullanılabilirliğinin araştırılması, bu ham maddenin dışa bağımlılığının azaltılması ve ülke ekonomisine yarar sağlaması yönünde katkı sağlayacaktır. Bu kapsamda, Sütleğen köyü boksit rezervinin yüksek alüminyum minerali kapasitesi ve REE bakımından zengin olması ekonomik bir kaynak olarak çevreye zarar vermeden işletilmesi açısından önem arz etmektedir. Sütleğen boksitlerinin Al_2O_3/SiO_2 modül değeri ortalama 2.38 olarak bulunmuştur. Al_2O_3/SiO_2 modül değerlerinin sınıflandırılmasına göre, boksitler, endüstriyel boksit ve alüminyum hammaddesi olan boksit aralığına düşmüştür. BEV sınıflamasına göre yapılan $Al_2O_3-SiO_2$ hesaplamasının ortalama değeri, 24.74 olarak çıkartılmıştır. BEV sınıflamasının üst değerlerini aşan bir değer aralığına düştüğü için BEV’e göre sınıflama yapılamamıştır. Majör oksit değerlerine (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 ve TiO_2) bakılarak yorumlanan boksitler ise, Al_2O_3 değerleri için metalürjik-çimento; Fe_2O_3 değerleri için metalürjik-çimento ve TiO_2 değerleri için ise aşındırıcı, metalürjik, kimyasal ve çimento olarak kullanılan boksit aralıklarına düşmektedirler (SiO_2 değerleri sınıflama diyagramının üzerinde çıkmıştır). Sütleğen boksitleri, sanayi ve endüstriyel kullanımların pek çok alanına hizmet edebilen bir ekonomik kaynak olması nedeniyle, sürdürülebilir kullanım açısından önem arz etmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Aleva, G.J.J. 1994. Laterites: concepts, geology, morphology and chemistry. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC).
- Bahlburg, H., Dobrzinski, N. 2011. Chapter 6. A review of the Chemical Index of Alteration (CIA) and its application to the study of Neoproterozoic glacial deposits and climate transitions. Geological Society, London, Memoirs, 36: 81-92.
- Bárdossy, G. 1959. The geochemistry of Hungarian bauxites, Parts III and IV: Acad. Sci. Hungaricae Acta Geol., 6 (1-2): 1-50.
- Bárdossy, G. 1973. Bauxite formation and plate tectonics: Acta Geol. Acad. Sci. Hung., Budapest, 17: 141–154.
- Bárdossy, G. 1982. Karst Bauxites, Bauxite Deposits on Carbonate Rocks, Developments in Economic Geology, Elsevier, Amsterdam, Vol. 14, 441 p.
- Bárdossy, G., Aleva, G.J.J. 1990. Lateritic Bauxites: Developments Economic Geology 27. Elsevier, Amsterdam, pp. 624 pp.
- Bauer, A.V.B.D. 2014. Geochemistry at the Earth's Surface.
- Baykal, F., Önal, M. 1979. Şile sedimenter karışığı (Şile Olistostromu). In: Türkiye Jeoloji Kurumu Altın Sempozyumu; Ankara, Turkey. pp. 15-25.
- Beauvais, A., Colin, F. (1993). Formation and transformation processes of iron duricrust systems in tropical humid environment. Chemical Geology, 106(1-2), 77-101.
- Bland, W., Rolls, D. 1998. Weathering: An Introduction to Scientific Principles. Arnold, London (271 pp.).
- Bogatyrev, B.A., Zhukov, V.V., Tsekhovsky, Y.G. 2009. Formation conditions and regularities of the distribution of large and superlarge bauxite deposits. Lithology and Mineral Resources 44: 135-151.
- Boulangé, B., Carvalho, A. 1997. The bauxite of Porto Trombetas. Brazilian Bauxites. USP/FAPESP/ORSTOM, Brazil, 55-73.
- Braun, J.J., Pagel, M., Muller, J.P., Bilong, P., Michard, A., Guillet, B., 1990. Cerium anomalies in lateritic profiles. Geochim. Cosmochim. Acta 54. 781–795.
- Brough, D., Jouhara, H. 2020. The Aluminium Industry: A Review on State-of-the-Art Technologies, Environmental Impacts and Possibilities for Waste Heat Recovery. International Journal of Thermofluids, 100007.
- Calagari, A.A., Abedini, A. 2007. Geochemical investigations on Permo-Triassic bauxite horizon at Kanisheeteh, east of Bukan, West-Azarbaidjan, Iran. Journal of Geochemical Exploration, 94(1-3), 1-18.
- Caner, G. 1971. Boksitin Bileşimine Giren Kimyasal Elementler ve Bu Elementlerin Teşkil Ettikleri Mineraller Bilimsel Madencilik Dergisi, 10(5), 13-20.
- Cawley, F.X. Baumgardner, L.H, 1985, Alüminium, Mineral Facts and Problems, Bureau of Mines, Bulletin 675, p.9-31.
- Chittleborough, D.J. 1991. Indices of weathering for soils and 1012 paleosols formed on

- silicate rocks. Australian Journal of Earth 1013 Sciences 38, 115 – 120.
- Compton, J.S., White, R.A., Smith, M. 2003. Rare earth element behavior in soils and salt pan sediments of a semi-arid granitic terrain in the Western Cape, South Africa. Chemical Geology, 201(3-4), 239-255.
- Condie, K.C. 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. Chem. Geol. 104, 1–37.
- Cusano, G., Gonzalo, M.R., Farrell, F., Remus, R., Roudier, S., Sancho, L.D. 2017. Best available techniques (BAT) reference document for the non-ferrous metals industries. doi:10.2760/8224.
- Çağatay, A., Arman, B. 1982. Boksit ve Türkiye’deki Boksit Yatakları [Bauxite and bauxite deposits of Turkey]. Geol Eng Turk 14:28–33.
- Çiftçi, E. 2003. Yer Bilimleri Teknik Terimler Sözlüğü, Hamle Ofset, Nigde, 580s.
- Drew, L.J., Grunsky, E.C., Sutphin, D.M., vd. 2010. Multivariate Analysis of the Geochemistry and Mineralogy of Soils along Two Continental-Scale Transects in North America. Science of the Total Environment, 409(1): 218–227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.004>
- Duzgoren-Aydin, N.S., Aydin, A., Malpas, J. 2002. Re-assessment of chemical weathering indices: case study of pyroclastic rocks of Hong Kong. Engineering Geology 63, 99–119.
- Ellahi, S.S., Taghipour, B., Nejadhadad, M. 2017. The Role of organic matter in the formation of high-grade Al deposits of the Dopolan karst type bauxite, Iran: mineralogy, geochemistry, and sulfur isotope data. Minerals 7, 97. <https://doi.org/10.3390/min7060097>.
- Erkan, Y. 1998. Metamorfik petrografi. Hacettepe Üniversitesi.
- Eswaran, H., Stoops, G., De Paepe, R. 1973. A contribution to the study of soil formation on Isla Santa Cmz, Galiipagos. Pedologie, 23:100- 122.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., Young, G.M. 1995. Unravelling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. Geology 23, 921–924.
- Gamaletsos, P.N., Godelitsas, A., Filippidis, A., Pontikes, Y. 2019. The rare earth elements potential of Greek bauxite active mines in the light of a sustainable REE demand. Journal of Sustainable Metallurgy, 5(1), 20-47.
- Garzanti, E., Andó, S., France-Lanord, C., Censi, P., Vignola, P., Galy, V., Lupker, M. 2011. Mineralogical and chemical variability of fluvial sediments 2. Suspended-load silt (Ganga–Brahmaputra, Bangladesh). Earth and Planetary Science Letters, 302(1-2), 107-120.
- Gow, N.N., Lozej, G.P. 1993. Bauxite. Geoscience Canada [S.l.], Mar. pp. 1911–4850.
- Grubb, P. L. C. 1971. Genesis of the Weipa bauxite deposits, NE Australia. Mineralium Deposita, 6(4), 265-274.
- Gu, J., Huang, Z., Fan, H., Jin, Z., Yan, Z., Zhang, J. 2013. Mineralogy, geochemistry, and genesis of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan-Zheng’an-Daozhen area,

- Northern Guizhou Province, China. *J. Geochem. Explor.* 130: 44–59.
- Güleç, N. 2001. Magmatik Kayaçların İzotop Jeokimyası. Magmatik Petrojenez, Tübitak Lisansüstü Yaz Okulu, Haziran, Akçakoca-Düzce, 3943-381.
- Günay, Y., Bölükbaşı, S., Yoldemir, O. 1982. Beydağlarının stratigrafisi ve yapısı: Abstracts of the 6th Petroleum Congress of Turkey, p. 91–101.
- Gürsaka, N. 2012. Betimsel istatistik: İstatistik I. Dora Basım Yayın Dağıtım.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., William, C. 1998. Multivariate data analysis.
- Hanılçı, N. 2013. Geological and geochemical evolution of the Bolcardağı bauxitedeposits, Karaman, Turkey: transformation from shale to bauxite. *J. Geochem. Explor.* 133: 118–137.
- Harder, E.C. 1952. Examples of bauxite deposits illustrating variations in origin. In Problems of clays and laterite origin (Symp) Amer. Inst. Mins. Metall (pp. 35-64).
- Harnois, L. 1988. The CIW index: a new Chemical Index of Weathering. *Sedimentary Geology* 55, 3 19-322.
- Haskins, D. 2006: Chemical and mineralogical weathering indices as applied to a granite saprolite in South Africa. – IAEG2006, Paper number 465, Geological Society of London
- Hose, H.R. 2016. Bauxite mineralogy. In Essential Readings in Light Metals (pp. 21-29). Springer, Cham.
- Haraldsson, J.M.T. 2018. Review of measures for improved energy efficiency in production-related processes in the aluminium industry From electrolysis to recycling, *Renew. Sustain. Energy Rev.* doi: 10.1016/j.rser.2018.05.043.
- Jadhav, G.N., Sharma, N., Priyanka, S. 2012. Characterization of Bauxite deposit from Kachchh Area, *Gujara Journal of Geological Society of India*, 80, pp. 351-362.
- Jayawardena, U.D.S., Izawa, E. 1994. A new chemical index of weathering for metamorphic silicate rocks in tropical regions: a study from Sri Lanka. *Engineering Geology*, 36(3-4), 303-310.
- Kalaycı, Ş. 2010. SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri (Vol. 5). Ankara, Turkey: Asil Yayın Dağıtım.
- Karadağ, M.M., Kupeli, S., Arik, F., Ayhan, A., Zedef, V., Doyen, A., 2009. Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas bauxite deposit (Seydisehir/Konya-Southern Turkey). *Chem. Erde-Geochem.* 69, 143-159.
- Koç, S., Deger, M.A. 1991. Payas (Hatay) bölgesi boksitli demir cevherlesmesinin oluşumu; *Maden Tetkik ve Arama. Gen. Müd. Derg.*, 113, 115-126
- Köroğlu, O. 2012. Beydağları Otoktonu Doğal Taş Potansiyeli. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüyüksek Lisans Tezi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Isparta
- Laznicka, P. 2006. Giant metallic deposits: Future sources of industrial metals. Springer Science & Business Media.

- Lelong, F., Tardy, Y., Grandin, G., Trescases, J.J., Boulange, B. 1976. Pedogenesis, chemical weathering, and processes of formation of some supergene ore deposits, pp. 93-173 in K. H. Wolf, Ed., Handbook of Stratabound and Stratiform Deposits, vol. 6, New York: Elsevier. Lindgren, W., 1933. Mineral Deposits, 4th ed.
- Levitan, D.M., Zipper, C.E., Donovan, P., vd. 2015. Statistical Analysis of Soil Geochemical Data to Identify Pathfinders Associated with Mineral Deposits: An Example from the Coles Hill Uranium Deposit, Virginia, USA. *Journal of Geochemical Exploration*, 154: 238–251. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.012>.
- Ling, K.Y., Zhu, X.Q., Tang, H.S., Du, S.J., Gu, J. 2018. Geology and geochemistry of the Xiaoshanba bauxite deposit, Central Guizhou Province, SW China: Implications for the behavior of trace and rare earth elements. *Journal of Geochemical Exploration*, 190, 170-186.
- Liu, X.F., Zhu, X.Q., Tang, H.S., Du, S.J., Gu, J., 2018. Geology and geochemistry of the Xiaoshanba bauxite deposit. Central Guizhou Province. SW China: implications for the behavior of trace and rare earth elements. *China. J. Geochem. Explor.* 190. 170–186.
- Long, Y., Yang, X., Yang, M., Zhang, D. 2019. Exploration and Sources of Bauxite Deposit in the Boloven Plateau, Southern Laos. *Journal of Earth Science*, 30(1), 121-130.
- MacLean, W.H. 1990. Mass change calculations in altered rock series. *Mineralium Deposita* 25: 44–49.
- MacLean, W.H., Bonavia, F.F., Sanna, G. 1997. Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo Deposit, Sardinia. *Mineralium Deposita* 32: 607–616.
- Mameli, P., Mongelli, G., Oggiano, G., Dinelli, E. 2007. Geological, geochemical and mineralogical features of some bauxite deposits from Nurra (Western Sardinia, Italy): insights on conditions of formation and parental affinity. *International Journal of Earth Sciences*, 96(5), 887-902.
- Maynard, J.B., Sutton, S.J., Robb, L.J., Ferraz, M.F., Meyer, E.M. 1995. A paleosol developed on hydrothermally altered granite From the hinterland of the Witwatersrand basin: characteristics of a source of basin fill. *Journal of Geology* 103, 357-377.
- Melo, V.F., Batista, A.H., Barbosa, J.Z., Barbeiro, L., Gomes, R., Dutra M.T.M. 2018. Soil quality and reforestation of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*).
- Meshram, R.R., Randive, K.R. 2011. Geochemical study of laterites of the Jamnagar district, Gujarat, India: implications on parent rock, mineralogy and tectonics. *Journal of Asian Earth Sciences* 42: 1271–1287.
- Meşhur, M. ve Akpınar, M. 1984, Yatağan-Milas-Bodrum ve Karacasu-Kale-Acıpayam-Tavas civarlarının jeolojisi ve petrol olanakları: TPAO Arama Grubu Rap., 1963.
- Meyer, F.M. 2004. Availability of bauxite reserves. *Nat. Resour. Res.* 13, 161–172.
- Mondillo, N., Balassone G., Boni M., Rollinson, G.G. 2011. Karst bauxites in the Campania Apennines (southern Italy): a new approach. *Periodico di Mineralogia*,

80 (3), 407-432.

- Mongelli, G., Acquafredda, P., 1999. Ferruginous concretions in Late Cretaceous karst bauxite: composition and conditions of formations. *Chemical Geology* 158. 315–320.
- Mongelli, G., Boni, M., Buccione, R., Sinisi, R., 2014. Geochemistry of the Apulian karst bauxites (Southern Italy): chemical fractionation and parental affinities. *Ore Geol. Rev.* 63. 9–21.
- Mongelli, G., Boni, M., Oggiano, G., Mameli, P., Sinisi, R., Buccione, R., Mondillo, N., 2017. Critical metals distribution in Tethyan karst bauxite: the cretaceous Italian ores. *Ore Geol. Rev.* 86. 526–536.
- Mordberg, L.E., Nesterova, E.N. 1996. Palaeozoic bauxite deposits of North Onega basin, Russia: evidence as to genesis. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section B-Applied Earth Science* 105, B200–B205.
- Negrao, L.B.A., Costa, M.L.D., Pöllmann, H. 2018. The Belterra Clay on the bauxite deposits of Rondon do Pará, Eastern Amazon. *Brazilian Journal of Geology*, 48(3), 473-484.
- Neil, N.G., Gian, P.L. 1993. *Geoscience Canada* Volume 20 Number 1.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutite. *Nature* 299, 715–717.
- Nesbitt, H.W., Wilson, R.E. 1992. Recent chemical weathering of basalts. *American Journal of science*, 292(10), 740-777.
- Newsome, J.W., Heiser, H.W., Russell, A.S., Stumpf, H.C. 1960. Alumina properties: Alcoa Research Lab. Tech. Paper 10 [2d revision], 88 p.
- Novikov, V.M., Boeva, N.M., Bortnikov, N.S., Zhukhlistov, A.P., Krupskaya, V.V., Bushueva, E.B. 2018. Chai Mat Kaolin–Bauxite Deposit (South Vietnam): Typomorphic Features of Kaolinite and Formation Mechanism of the Zonal Profile of the Bauxite-Bearing Weathering Crust of Granites. *Geology of Ore Deposits*, 60(6), 513-526.
- Nyakairu, G.W., Koeberl, C., Kurzweil, H. 2001. The Buwambo kaolin deposit in central Uganda: Mineralogical and chemical composition. *Geochemical Journal*, 35(4), 245-256.
- Nyamsari, D.G. 2015. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Minim-Martap Boksit Yataklarının (Adamawa Bölgesi, Kamerun) Jeolojisi, Jeokimyası, Yatak Özellikleri ve Kökeni Yüksek Lisans Tezi Jeoloji Mühendisliği.
- Nyamsari, D.G., Yalçın, F., Mboh, M.T., Alfred, F.G., Yalçın, M.G. 2019. Natural radioactive risk assessment in top soil and possible health effect in Minim and Martap villages, Cameroon: using radioactive risk index and statistical analysis. *Kerntechnik*, 84(2), 115-122.
- Nyamsari, D. G., Yalçın, M. G., Wolfson, I. 2020. Alteration, Chemical Processes, and Parent Rocks of Haléo-Danielle Plateau Bauxite, Adamawa–Cameroon. *Lithology and Mineral Resources*, 55, 231-243.
- Özer, Ö., Yalçın, F., Tarınc, O.K., Yalçın, M.G. 2020. Investigation of suitability of

- marbles to standards with inequality expressions and statistical approach using some physical and mechanical properties. *Journal of Inequalities and Applications*, 2020(1), 1-15.
- Özer, Ö., Yalçın, M.G., 2019. Modeling of elemental distribution of Kas (Antalya) bauxite deposit II. *International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM)*. Rhodes. Greece. 23-28 September. ISBN 978-9925-7552-1-9. pp. 24-25
- Özer, Ö., Yalçın, M.G., 2020. Correlation of chemical contents of Sütleğen (Antalya) bauxites and regression analysis. *AIP Conference Proceedings*. no. pp. (Accepted).
- Özlü, N. (1983). Trace-element content of “Karst Bauxites” and their parent rocks in the mediterranean belt. *Mineralium Deposita*, 18(3), 469-476.
- Öztürk, H., Hein, J.R., Hanilci, N., 2002. Genesis of the Doğankuzu and Mortas bauxite deposits, Taurides, Turkey: separation of Al, Fe, and Mn and implications for passive margin metallogeny. *Econ. Geol.* 97, 1063–1077.
- Parker, A. 1970. An index of weathering for silicate rocks. *Geological Magazine* 107, 501-504.
- Patterson, S.H. 1967. Bauxite Reserves and Potential Aluminum Resources of the World. *Geological survey bulletin* 1228. Washington.
- Patterson, S.H., Kurtz, H.F., Olson, J.C., Neeley, C.L. 1986. World bauxite resources. U.S. Geological Survey. Professional paper no. 1076B. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Price, J.R., Velbel, M.A. 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chemical Geology* 202, 397–416.
- Putzolu, F., Piccolo Papa, A., Mondillo, N., Boni, M., Balassone, G., Mormone, A. 2018. Geochemical characterization of bauxite deposits from the abruzzese mining district (Italy). *Minerals*, 8(7), 298.
- Raiswell, R.W., Brimblecombe, P., Dent, D.L., Liss, P.S., 1980. *Environmental Chemistry: The Earth Air–Water Factory*. J. Wiley&Sons (184 pp.).
- Raporu, A. 2013. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Alüminyum Komisyonu.
- Rivera, R.M., Ounoughene, G., Malfliet, A., Vind, J., Panias, D., Vassiliadou, V., Van Gerven, T. 2019. A Study of the Occurrence of Selected Rare-Earth Elements in Neutralized–Leached Bauxite Residue and Comparison with Untreated Bauxite Residue. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 5(1), 57-68.
- Ruxton, B.P. 1968. Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *Journal of Geology* 76, 518–527.
- Salamab-Ellahi, S., Taghipour, B., Mongelli, G. 2019. Clayey bauxite from the Irano-Himalayan belt: Critical metals provenance and palaeoclimate in the Upper Cretaceous Semirum ore deposit. Zagros Mountain. Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. 172. 126-142.
- Schellmann, W. 1982. Eine neue Lateritdefinition. *Geologisches Jahrbuch — Reihe D*

58, 31–47.

- Schroll, E., Sauer, D. 1968. Beitrag zur Geochemie von Titan, Chrom, Nickel, Cobalt, Vanadium und Molybden in bauxitischen Gesteinen und das Problem der stofflichen Herkunft des Aluminiums. *Travaux du ICSOBA*, 5 83–96.
- Shao, J., Yang, S. 2012. Does chemical index of alteration (CIA) reflect silicate weathering and monsoonal climate in the Changjiang River basin?. *Chinese Science Bulletin*, 57(10), 1178-1187.
- Sharma, S., Sharma, S. 1996. *Applied multivariate techniques*.
- Sidibe, M., Yalçın, M. G. 2019. Petrography, mineralogy, geochemistry and genesis of the Balaya bauxite deposits in Kindia region, Maritime Guinea, West Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 149, 348-366.
- Sinisi, R. 2018. Mineralogical and Geochemical Features of Cretaceous Bauxite from San Giovanni Rotondo (Apulia, Southern Italy): A Provenance Tool. *Minerals*, 8(12), 567.
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, vol. 42. *Geological Society, London, pp. 313–345 Special Publications*.
- Şenel, M. 1986. 1/250000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası no 2 ila 6: Fethiye Sayfaları. MTA Yayınları, Ankara.
- Şenel, M. 1989. 1/250000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası no 2 ila 6: Fethiye Sayfaları. MTA Yayınları, Ankara.
- Şenel, M. 1991. 1/250000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası no 2 ila 6: Fethiye Sayfaları. MTA Yayınları, Ankara.
- Şenel, M. 1994. 1/250000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası no 2 ila 6: Fethiye Sayfaları. MTA Yayınları, Ankara.
- Şenel, M. 1997. 1/250000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası no 2 ila 6: Fethiye Sayfaları. MTA Yayınları, Ankara.
- Şenel, M., Serdaroglu, M., Kengil, R., Ünverdi, M., Gözler, M.Z. 1981. Teke Torosları güneydogusunun jeolojisi: Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Bulletin, v. 95–96, p. 13–43.
- Tardy, Y., 1997. *Petrology of Laterites and Tropical Soils*. Balkema, Rotterdam, 408 pp.
- Tardy, Y., Valetton, I., Melfi, A. 1988. Climats et paleoclimats tropicaux piriatlantiques. Rôle des facteurs climatiques et thermodynamiques: température et activité de l'eau, sur la répartition et la composition minéralogique des bauxites et des cuirasses ferrugineuses, au Brésil et en Afrique. *Comptes Rendus. Académie des Sciences* 306-11, 289–295.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M. 1981. The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 301(1461), 381-399.
- Teşkilatı, D.P. 1991. *Boksit Raporu*.

- Trolard, F., Tardy, Y. 1989. A model of Fe^{3+} — kaolinite, Al^{3+} — goethite, Al^{3+} — hematite equilibria in laterites. *Clay Minerals* 24, 1–21.
- Tugal, T. 1964. Alanya Bölgesi Diyasporitleri. MTA Maden Etüd Arsiv No: m192.
- Tutmez, B. 2018. Bauxite quality classification by shrinkage methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 191, 22-27.
- Valeton, I., Biermann, M., Reche, R., Rosenberg, F., 1987. Genesis of nickel laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous their relation to ultrabasic parents rocks. *Ore Geology Reviews* 2. 359–404.
- Vogt, T. 1927. Sulitjelmafeltets geologi og petrografi. – Norges Geologiske Undersøkelse 121: 1–560 (in Norwegian, with English abstract).
- Weisse, J.G.D. 1948. Bauxites of Central Europe (Dinaric province and Hungary). *Societe Vaudoise des Sciences Naturelles*, Thesis 58, 9, 162 pp.
- World Aluminium. Primary Aluminium Production 2019. <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/#map> (accessed August 2).
- Yalçın, F., Ulkutanir Y., Özer Ö. 2019. An empirical application for some parametric tests in statistical analysis: assessment of academic success, *International Symposium on Advanced Engineering Technologies*, Kahramanmaraş, Turkey, 2-4 May 2019, pp.1446-151.
- Yalçın, M.G., İlhan, S. 2013. Major and trace element geochemistry of bauxites of Ayrancı, Karaman, Central Bolukdağ, Turkey.
- Yang, S., Huang, Y., Wang, Q., Deng, J., Liu, X., Wang, J. 2019-b. Mineralogical and geochemical features of karst bauxites from Poci (western Henan, China). Implications for parental affinity and bauxitization. *Ore Geology Reviews*. 105. 295-309.
- Yang, S., Wang, Q., Deng, J., Wang, Y., Kang, W., Liu, X., Li, Z. 2019-a. Genesis of karst bauxite-bearing sequences in Baofeng, Henan (China) and the distribution of critical metals. *Ore Geology Reviews*. 115. 103161.
- Yuste, A., Bauluz, B., Mayayo, M.J., 2017. Origin and geochemical evolution from ferrallitized clays to karst bauxite: An example from the Lower Cretaceous of NE Spain. *Ore Geol. Rev.* 84, 67-79.
- Zamanian H., Ahmadnejad, F., Zarasvandi, A. 2015. Mineralogical and geochemical investigations of the Mombi bauxite deposit, Zagros Mountains, Iran. *Chemie der Erde – Geochemistry*, 76: 13-37.
- Zans, V.A. 1961. Classification and genetic types of bauxite deposits: Inter-Guiana Geological Conference, 5th, Georgetown, British Guiana, 1959, Proceedings, p. 205-211.
- Zarasvandi, A., Zamanian, H., Hejazi, E., 2010. Immobile elements and mass changes geochemistry at Sar-Faryab bauxite deposit. Zagros Mountains. Iran. *J. Geochem. Explor.* doi:10.1016/j.gexplo.2010.06.007
- Zhang, X.Y., Ma, H.Z., Ma, Y.Q. vd. 2013. Origin of the Late Cretaceous Potash-Bearing Evaporites in the Vientiane Basin of Laos: $\delta^{11}\text{B}$ Evidence from Borates. *Journal*

of Asian Earth Sciences, 62: 812–818.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.11.036>.

Zhukov, V.V., Bogatyrev, B.A. 2012. Dynamic models of lateritic bauxite formation. Geology of Ore Deposits, 54(5), 370-397.



8. EKLER

EK-1. Sütleğen bölgesi boksitleri, yan kayaç örnekleri ve terra-rossa örneklerinin major iz ve REE (ppm) jeokimyasal analizi

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
Al2O3	438000	438000	449000	479000	476000	522000	505000	473000	486000	492000	487000	491000	486000	495000	480000
SiO2	329000	332000	331000	319000	315000	255000	251000	230000	292000	277000	281000	292000	285000	287000	274000
Fe2O3	188000	185000	179000	168000	174000	188000	200000	231000	186000	186000	186000	176000	182000	173000	198000
TiO2	26100	25000	23500	186000	19000	24600	29400	48300	24300	25900	28100	23000	27800	25200	28300
MgO	4710	4830	4180	3600	3550	0	3050	3770	0	4460	4330	4440	4570	4420	4430
P2O5	1310	1360	1230	1260	1290	1380	1350	1740	1270	1900	1890	1990	2040	2000	1980
SO3	321	337	332	290	293	367	393	457	332	396	394	396	413	446	400
Cl	55.5	75.8	84.5	73.4	74.2	84.3	72	78	60.4	60.5	70.7	63.7	62.2	61.1	67.1
K2O	3930	4410	3640	2610	2640	818	655	850	1000	4060	4200	4230	4360	4470	4330
CaO	2770	3020	3380	2210	2300	2580	3090	2600	2940	2160	1950	2180	1880	2140	2050
Br	0	34366	0	17227	43894	12875	0	0	0	0	0	0	0	0	13210
V	879	961	756	764	767	851	606	1430	617	598	0	548	620	813	741
Cr	509	420	351	319	401	527	649	638	491	502	653	526	518	448	515
Mn	568	535	469	438	518	453	494	674	529	682	564	484	591	747	662
Co	465	543	471	458	471	465	464	557	439	446	427	387	402	461	439
Ni	436	447	422	409	451	342	343	357	380	314	319	329	335	335	306
Cu	102	87.5	92.2	104	92.5	91.1	109	123	132	86.4	96	94.6	92.6	97.6	118
Zn	345	333	296	259	298	219	243	300	271	365	350	332	392	387	357
Ga	51.7	48.5	54.6	56.7	59.6	55.8	59.2	56.3	58.4	63.9	61.5	59.2	59	63.3	57.4
Ge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
As	102	95.9	86.1	77	83.6	98	90	137	113	53.1	52.2	56.7	59.9	76.1	48.8
Se	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rb	44.4	43.6	40.9	32.8	31.4	43990	10	43840	43995	48.1	48	48.5	51.7	50.7	49.4
Sr	119	119	110	107	111	123	135	171	127	256	250	262	257	264	271
Y	126	128	110	103	112	134	140	184	131	95.9	96.4	93.9	101	104	98.8
Nb	106	109	97.6	86.4	80.5	94.1	131	152	109	114	89.8	105	116	0	112
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
In	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sn	40.4	44	42.9	42.2	36.7	33.6	43.4	43.4	47.4	40.8	33.6	40.7	48.8	35	47.4
Sb	43907	44062	44032	0	43875	0	43972	43945	44091	0	0	0	0	0	44023
Te	15	0	0	0	43842	0	43876	0	14	0	0	0	43931	43962	0
Ba	0	0	0	0	68.3	0	43.6	73.5	0	112	103	0	122	86.1	125
La	103	78.3	0	0	109	0	0	0	0	139	125	112	145	0	168
Ce	193	203	130	126	172	146	0	208	0	211	196	169	227	177	263
Hf	35	49.8	43945	0	33.5	37.6	40.3	54.2	44036	41.7	43859	33.1	31.9	31.2	44038
Ta	0	37.2	0	0	0	33.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	44095	43941	43914	43879	44093	0	0	43909	43881	43967	43849	43938	22	43970	43856
Pt	44057	0	12632	14427	43871	0	43902	44026	45901	12	43846	28004	44085	43933	44054
Ir	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Au	44049	0	0	20972	23924	20333	43874	43875	31959	21732	43932	45139	46966	43871	9
Tl	0	0	0	0	11444	0	0	0	0	0	15493	19876	0	44051	12571
Hg	43960	36008	25416	15493	0	0	28004	43841	14093	0	0	0	33786	0	0
Pb	92.2	89.6	83.2	73.1	75.9	81.7	90.1	107	95.2	90.7	86	78.8	87.8	89.2	88.3
Bi	0	0	0	0	0	0	0	0	44077	43936	43845	0	35125	0	0
Th	50.7	51.5	50.1	44.1	49.7	52.8	60.5	67.6	51.8	0	0	54.5	54.7	57.4	60.5
U	20241	43839	32325	25324	18080	44085	43844	44064	44090	43961	11902	44054	43900	44084	11

	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32	B33
Al2O3	537000	541000	522000	480000	480000	512000	504000	529000	523000	504000	481000	493000	481000	479000	484000	483000	510000
SiO2	198000	202000	209000	311000	311000	265000	267000	209000	215000	257000	285000	272000	380000	381000	389000	315000	318000
Fe2O3	220000	216000	213000	172000	174000	184000	191000	210000	215000	198000	185000	188000	96000	94400	79800	167000	126000
TiO2	32100	30200	39500	23400	21900	27000	25300	33500	31200	29900	28900	27500	26100	27700	29900	24700	29000
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4280	4560	4410	3460	
P2O5	2250	2100	2850	2800	2790	2570	2960	5710	4500	2130	5640	5500	1890	1990	1960	1450	1990
SO3	506	473	539	520	493	469	538	732	669	541	750	788	951	1040	936	289	378
Cl	70.6	72	63.8	60.5	63.8	72	68.7	80.7	68.1	81.4	73.1	72.9	52	53.2	46.6	69	74.4
K2O	275	0	376	1120	1140	284	1140	1400	952	264	1990	1910	3210	3390	3230	1520	2450
CaO	1560	1440	1710	2560	2380	2280	2120	2530	2230	1390	3980	3910	2360	2370	2440	2050	1900
Br	16528	27120	0	0	0	15766	45017	17227	0	23071	45748	0	44317	34090	19085	0	43525
V	874	1130	1290	783	686	1010	931	311	712	819	426	672	383	0	260	569	419
Cr	653	662	579	497	610	852	748	842	913	842	602	617	502	517	519	474	462
Mn	1080	814	1520	467	447	370	721	1260	961	454	725	1020	118	111	264	553	895
Co	590	473	562	358	411	390	461	550	519	455	476	425	247	280	322	311	363
Ni	362	362	0	241	243	231	246	242	300	211	328	338	366	371	380	268	297
Cu	110	76	136	113	106	88.3	131	290	95.8	51.4	130	209	84.8	99.3	95.6	87.1	98
Zn	281	270	293	218	219	203	267	335	281	191	423	389	168	178	175	231	368
Ga	67	66.3	65.7	61.1	61	65.5	65.8	64.7	72.7	54	62.6	56.7	53.8	57.2	59.4	59.1	61.2
Ge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23102	0
As	141	122	175	45	46.7	63.5	57	50.1	63.2	56.1	44.8	53.6	34.1	43852	44006	49.2	33.4
Se	15827	47209	44079	0	0	0	0	0	0	0	0	44256	0	0	0	0	0
Rh	24808	47209	46874	44058	43906	31898	43904	43875	43902	22767	43914	44007	36.9	38.4	40.1	44000	43920
Sr	482	394	588	428	411	307	363	1000	775	310	1040	1140	602	639	602	136	275
Y	109	102	151	81	82.3	93	103	310	136	107	240	283	77.7	66.8	76.1	64.8	111
Nb	134	114	135	86.7	85.5	126	133	169	156	130	143	135	102	103	104	98.5	122
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
In	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sn	40.2	42.7	37.7	42.8	40.3	42.9	43.1	44.1	45.5	35.2	42.3	39.4	33	43889	36.4	45.2	37.6
Sb	43851	0	0	44056	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Te	43936	43965	0	0	0	13	0	44033	43908	26177	44090	43840	0	0	0	43842	0
Ba	90.1	79.9	0	0	82	65.9	0	152	0	68	142	0	96.3	101	100	92.3	118
La	208	140	0	0	150	0	146	229	269	144	220	181	141	0	0	189	212
Ce	312	334	240	146	240	167	246	348	306	247	295	197	195	197	220	197	261
Hf	34.2	45.3	48.8	44028	37.5	39.6	0	54.1	41.7	55.9	33.6	36.7	33.1	19	43855	35.6	36.8
Ta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43861	0	0	0	0	0	0	0
W	43972	0	21	0	43876	43843	0	43969	0	43846	44003	44040	44087	44027	44060	0	44029
Pt	0	0	0	0	44174	45505	0	16285	0	0	0	44022	28976	0	33756	4408	

EK-1. Sütleşen bölgesi boksitleri, yan kayaç örnekleri ve terra-rossa örneklerinin major iz ve REE (ppm) jeokimyasal analizi (devamı)

	B34	B35	B36	B37	B38	B39	B40	B41	B42	B43	B44	B45	B46	B47	B48
Al2O3	477000	477000	473000	522000	504000	519000	506000	476000	485000	528000	527000	512000	493000	352000	485000
SiO2	300000	300000	311000	224000	262000	246000	281000	395000	181000	238000	234000	270000	286000	135000	307000
Fe2O3	178000	178000	171000	212000	19500	193000	174000	184000	307000	195000	198000	177000	184000	484000	173000
TiO2	28100	28100	26200	29200	27600	29400	27000	27100	16000	28100	29900	28500	24300	19600	25100
MgO	0	0	3390	0	0	0	0	3030	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	3870	3870	3660	2190	2380	2310	2410	1410	1830	1540	2070	2400	2350	1860	1360
SO3	726	726	694	520	454	497	494	355	1980	329	343	402	381	602	307
Cl	64.8	64.8	67.6	67.5	83.5	68.1	68.8	67.3	103	64.8	83.4	115	103	129	90.9
K2O	1790	1790	1800	1150	470	1310	1430	841	882	695	695	835	1090	237	1230
CaO	2890	2890	2470	1740	1830	2090	2050	2210	1290	1970	2110	2550	2530	978	1970
Br	0	0	0	0	43895	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	626	626	735	870	884	913	655	480	230	890	837	832	807	624	648
Cr	561	561	431	502	657	666	542	507	534	485	703	593	627	669	396
Mn	642	642	615	635	527	562	625	4350	280	671	769	422	446	459	535
Co	395	395	408	508	455	458	403	435	761	437	459	389	357	806	312
Ni	354	354	369	312	288	298	277	337	245	273	315	265	255	168	245
Cu	107	107	100	98.5	135	107	85.9	94.9	214	102	108	96.9	91.2	93.7	72.1
Zn	368	368	375	268	276	268	267	243	198	270	279	191	206	198	216
Ga	56.7	56.7	53.8	63.8	62.7	56.8	60.1	60.6	40.5	61.7	62.3	66	62.1	39.4	60.5
Ge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47300	0
As	72.2	72.2	68.6	82.5	71.8	52.4	39.7	81.2	95.8	81.6	92.7	75.6	75.2	194	45.8
Se	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rb	44096	44096	44005	43938	34912	44095	43879	43876	43995	44054	44054	43932	44026	0	44089
Sr	980	980	881	340	375	431	416	173	521	163	176	370	366	215	146
Y	412	412	458	192	113	117	115	138	157	83.2	88.1	70.2	68.9	86.7	60.9
Nb	146	146	144	117	123	139	118	113	86	119	128	110	90.9	90.2	93.3
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
In	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43989	0	0
Sn	43.6	43.6	37.3	42.2	41.4	44.2	38	41.1	38.5	39.1	46.5	47.6	47	46.6	35.4
Sb	43934	43934	0	0	43930	0	0	44061	44058	0	44067	43846	43941	0	0
Te	0	0	0	0	0	0	0	43902	0	0	44084	0	44057	0	43905
Ba	127	127	96.1	96.8	0	95.9	114	209	0	0	0	87.3	0	0	0
La	191	191	172	169	115	191	195	160	97	109	90.3	148	122	220	183
Ce	292	292	268	298	191	295	276	191	0	230	190	240	175	244	238
Hf	35.8	35.8	44.3	45.3	34.7	43890	38.5	43914	0	34.3	37.4	36.1	43860	0	43861
Ta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	23	23	43999	44061	43844	44093	43934	0	0	44061	0	44026	0	0	43996
Pt	43872	43872	29099	0	29830	44090	43928	0	43933	44088	30926	0	0	0	19207
Ir	0	0	0	0	0	43997	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Au	44022	44022	36039	26816	44054	11933	16285	19238	13	44023	44086	44051	44055	0	26115
Tl	0	0	0	0	43897	42125	31533	0	0	15523	0	0	43252	0	0
Hg	32021	32021	0	0	0	0	32690	23255	0	0	44021	44083	0	0	0
Pb	102	102	91.5	93.4	93.3	107	99.7	85.7	71.2	102	103	90.9	89	65	77.1
Bi	0	0	5	0	20972	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Th	56.5	56.5	51.2	56.8	55.3	0	54.9	52.8	51.2	59.9	56.7	59.9	57.3	79.1	58.5
U	43841	43841	43931	43933	43935	43933	43874	43992	44027	43877	43996	44086	43905	0	43841
Al2O3	514000	493000	433000	540000	527000	531000	543000	520000	508000	534000	533000	562000	540000	547000	589000
SiO2	257000	291000	236000	223000	212000	228000	23000	221000	193000	205000	194000	220000	217000	251000	228000
Fe2O3	193000	181000	297000	193000	197000	197000	199000	239000	238000	222000	206000	212000	230000	223000	238000
TiO2	24800	24100	20800	28300	32600	29200	26100	27200	369000	38800	34900	28400	26500	29600	34600
MgO	0	0	0	3320	0	3280	3420	0	0	3340	0	0	3980	0	4990
P2O5	1570	1490	2240	2290	2990	2670	2140	1570	1480	1490	1270	1400	1350	1490	2020
SO3	374	390	951	554	824	657	699	445	494	452	418	443	540	620	771
Cl	99.7	84.6	147	115	138	118	151	102	118	113	97.7	93.8	84.8	110	101
K2O	1420	1130	1330	1420	2450	2340	1320	710	170	589	969	1180	997	1430	1390
CaO	1960	1950	1990	1730	1730	2070	2780	1730	1750	1400	2520	2440	2610	3520	2280
Br	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12936	46844	0	0
V	958	748	1380	1070	934	1120	903	986	1480	1430	1050	1200	473	1040	1140
Cr	554	400	564	615	473	546	601	521	557	685	673	523	520	616	509
Mn	623	614	572	847	2870	1040	645	643	1600	645	1460	731	247	309	349
Co	407	383	637	499	520	519	453	453	529	543	520	450	455	432	373
Ni	285	213	276	404	442	385	308	394	310	260	535	456	313	407	441
Cu	78.3	86.3	140	197	225	245	98.2	134	89.3	106	139	113	176	172	139
Zn	256	229	217	323	371	322	307	249	191	257	329	270	173	187	185
Ga	56.9	65.6	56.3	57.2	66.5	61.5	60	67.2	61.7	65.5	64.3	59.1	58.9	67.7	69
Ge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
As	79.7	49.6	164	92.8	103	95.5	75.7	101	141	99.8	122	102	170	113	61
Se	0	0	0	0	0	0	0	32203	0	0	0	11810	0	0	44079
Rb	19	43996	43877	43879	34.1	43861	43846	43872	27513	22463	43873	43904	43994	43844	43997
Sr	165	176	445	307	472	442	341	201	166	183	141	161	252	324	455
Y	66	63.5	163	140	160	158	129	99.8	72.6	90.3	131	77	57.5	75.7	154
Nb	113	102	96.1	126	140	137	115	117	119	142	135	114	89.9	111	140
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
In	0	0	0	0	0	0	0	0	44054	0	0	0	0	0	0
Sn	48	38.9	49.4	43.9	46.1	57.1	48	41.7	48.9	48.5	41.8	46.4	39.7	37.8	48.2
Sb	43907	0	0	0	43908	0	44029	0	27	43943	0	0	38.8	0	43845
Te	43962	0	43937	43873	43971	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43852
Ba	0	114	0	71.1	166	0	0	0	0	94.6	0	51.5	68.6	75.9	0
La	0	202	0	168	238	113	113	0	0	0	0	115	0	139	0
Ce	185	248	192	216	363	194	233	229	298	280	286	204	0	183	158
Hf	59.5	43951	0	58	51.2	44.7	32.4	32.8	47.8	33.5	43.4	41	35.6	44011	43919
Ta	43861	0	0	44104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	0	43937	44061	0	43941	43852	44088	44094	0	43967	0	43912	44062	43890	43968
Pt	0	0	0	30498	43994	43965	43901	0	43996	43843	44029	15585	0	0	44084
Ir	0	0	0	0	0	0	43903	0	0	0	0	0	0	0	0
Au	12	43869	43843	43931	43933	13	24624	43933	44086	43966	43903	11	44348	0	43991
Tl	0	43836	0	0	0	0	23193	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	43841	0	0	43962	44022	41518	0	12601	0	0	43872	26908	0	0	0
Bi	91.2	79	76.6	112	142	123	87.4	99.6	122	117	124	115	100	105	109
Th	0	0	0	31625	41395	0	0	0	0	20576	20241	0	44713	45678	43987
U	60.7	57.2	70.7	69	106	73	64	64.9	58.4						

EK-1. Sütleğen bölgesi boksitleri, yan kayaç örnekleri ve terra-rossa örneklerinin major iz ve REE (ppm) jeokimyasal analizi (devamı)

	KCT1	KCT2	KCT3	KCT4	KCT5	KCT6	KCT7	KCT8	KCT9	KCT10	KCT11	KCT12	KCT13	KCT14	KCT15	KCT16	KCT17	
MgO	5610.0	5420.0	4650.0	4460.0	4090.0	5050.0	3570.0	3490.0	3070.0	2490.0	2350.0	1990.0	1770.0	2060.0	2150.0	2560.0	2400.0	
Al2O3	4360.0	4370.0	10600.0	3500.0	2150.0	2010.0	2170.0	2760.0	3740.0	1430.0	1720.0	1830.0	1600.0	1860.0	1170.0	1200.0	1460.0	
SiO2	7660.0	6820.0	10700.0	5810.0	2810.0	2870.0	2690.0	3850.0	4170.0	1430.0	1610.0	1650.0	1460.0	2000.0	1540.0	912.0	1470.0	
P2O5	264.0	260.0	275.0	251.0	255.0	426.0	208.0	237.0	231.0	210.0	209.0	190.0	212.0	221.0	187.0	195.0	243.0	
SO3	231.0	229.0	278.0	373.0	229.0	628.0	296.0	353.0	266.0	193.0	192.0	178.0	281.0	247.0	212.0	201.0	253.0	
Cl	0.0	47.1	66.5	52.3	56.6	47.6	0.0	57.8	61.8	0.0	52.0	49.3	79.3	62.6	61.3	53.7	46.7	
K2O	242.0	292.0	307.0	320.0	221.0	236.0	193.0	320.0	268.0	134.0	209.0	186.0	174.0	171.0	249.0	156.0	222.0	
CaO	97900.0	98000.0	96900.0	97900.0	98800.0	98700.0	98900.0	98700.0	98600.0	99200.0	99200.0	99300.0	99200.0	99100.0	99300.0	99400.0	99300.0	
TiO2	91.4	121.0	527.0	61.6	0.0	0.0	0.0	47.0	77.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Fe2O3	1980.0	1200.0	2790.0	4930.0	1460.0	813.0	608.0	882.0	1360.0	774.0	864.0	481.0	1440.0	880.0	520.0	277.0	421.0	
Br	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
V	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Cr	19.8	36.0	23.1	20.3	0.0	29.5	28.6	9.3	32.2	10.7	14.3	0.0	9.3	13.6	0.0	0.0	0.0	
Mn	177.0	161.0	176.0	116.0	57.7	142.0	88.2	85.5	177.0	53.1	0.0	0.0	143.0	118.0	184.0	91.8	56.9	
Co	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Ni	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Cu	30.4	18.8	22.3	13.4	19.7	29.9	22.8	31.4	28.9	18.0	25.4	21.0	24.8	21.5	21.7	15.6	22.5	
Zn	32.3	27.1	31.2	32.1	28.8	37.4	28.0	29.5	29.4	27.2	30.0	25.0	74.9	38.2	31.0	21.9	25.2	
Ga	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Ge	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
As	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	
Se	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Rb	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Sr	96.2	71.0	114.0	360.0	103.0	232.0	282.0	258.0	184.0	126.0	146.0	117.0	80.9	88.9	101.0	156.0	145.0	
Y	52.9	28.4	33.3	23.0	0.0	0.0	24.9	0.0	0.0	39.4	39.9	35.6	15.8	38.8	0.0	27.1	0.0	
Nb	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Cd	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.2	9.5	63.9	119.0	20.8	0.0	10.0	
In	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Sn	50.2	58.7	55.4	61.7	52.2	59.4	58.3	59.8	45.0	53.1	57.9	61.7	65.9	53.8	53.5	49.3	0.0	
Sb	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Te	0.0	0.0	0.0	24.0	20.8	0.0	27.2	30.5	0.0	37.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
La	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Ce	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Hf	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Ta	0.0	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	0.0	0.0	0.0	14.2	28.5	0.0	0.0	
W	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.9	
Pt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Ir	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Au	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Tl	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Hg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Pb	19.1	0.0	14.7	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	11.2	0.0	0.0	0.0	
Bi	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Th	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
U	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	KCT18	KCT19	KCT20	KCT21	KCT22	KCT23	KCT24	KCT25	KCT26	KCT27	KCT28	KCT29	KCT30	KCT31	KCT32	KCT33	KCT34	KCT35
MgO	2400.0	2400.0	2410.0	2090.0	1980.0	2530.0	2700.0	2550.0	11100.0	3480.0	12000.0	3660.0	4040.0	5330.0	2990.0	5620.0	2480.0	4030.0
Al2O3	1660.0	1620.0	1240.0	2520.0	1600.0	12400.0	1870.0	2310.0	2350.0	1350.0	3240.0	1890.0	3010.0	2290.0	1290.0	3680.0	1380.0	2880.0
SiO2	1650.0	1380.0	868.0	2370.0	1350.0	15000.0	1710.0	2050.0	2940.0	1160.0	5100.0	1700.0	2870.0	2020.0	894.0	4340.0	1050.0	2680.0
P2O5	209.0	234.0	198.0	222.0	220.0	637.0	222.0	240.0	160.0	218.0	1490.0	221.0	219.0	236.0	189.0	231.0	185.0	224.0
SO3	240.0	223.0	191.0	221.0	173.0	291.0	239.0	291.0	1250.0	318.0	1350.0	381.0	317.0	489.0	236.0	521.0	219.0	460.0
Cl	43.8	66.6	0.0	67.6	0.0	50.6	0.0	0.0	65.1	49.8	79.6	52.2	54.5	70.6	66.8	66.0	95.0	95.0
K2O	207.0	240.0	219.0	302.0	187.0	682.0	230.0	200.0	363.0	263.0	284.0	246.0	242.0	268.0	241.0	316.0	283.0	224.0
CaO	99200.0	99200.0	99400.0	99100.0	99300.0	96000.0	99100.0	98200.0	97800.0	99100.0	97400.0	98600.0	98700.0	98700.0	99300.0	98300.0	99300.0	94500.0
TiO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	595.0	0.0	0.0	59.1	0.0	81.0	0.0	0.0	54.9	0.0	123.0	0.0	0.0
Fe2O3	430.0	886.0	367.0	773.0	753.0	6520.0	925.0	9190.0	735.0	889.0	1270.0	4220.0	643.0	581.0	297.0	852.0	277.0	1190.0
Br	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cr	8.0	0.0	0.0	12.3	0.0	24.1	0.0	0.0	43.3	19.7	20.5	0.0	11.5	11.5	15.1	0.0	17.0	0.0
Mn	0.0	209.0	109.0	61.5	110.0	240.0	208.0	68.6	152.0	122.0	121.0	1060.0	191.0	125.0	249.0	83.7	4.2	1360.0
Co	0.0	0.0	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0	29.4	0.0	0.0	0.0	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.9
Ni	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cu	17.7	21.3	25.4	19.8	27.2	24.6	11.2	19.5	2.1	24.0	17.2	27.0	20.1	233.0	23.8	27.3	26.8	23.7
Zn	26.8	31.5	29.9	29.5	28.4	36.7	28.3	23.0	31.4	27.3	26.9	30.5	23.9	30.4	33.1	28.7	25.1	27.5
Ga	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ge	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
As	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	25.9
Se	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rb	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.7	0.0	0.0	0.0
Sr	158.0	150.0	148.0	0.0	156.0	123.0	138.0	136.0	663.0	0.0	699.0	338.0	355.0	384.0	210.0	429.0	186.0	327.0
Y	0.0	9.1	0.0	0.0	0.0	29.6	30.7	29.6	8.8	0.0	28.5	28.8	0.0	12.0	0.0	11.5	0.0	51.3
Nb	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
In	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			

EK-1. Sütleğen bölgesi boksitleri, yan kayaç örnekleri ve terra-rossa örneklerinin major iz ve REE (ppm) jeokimyasal analizi (devamı)

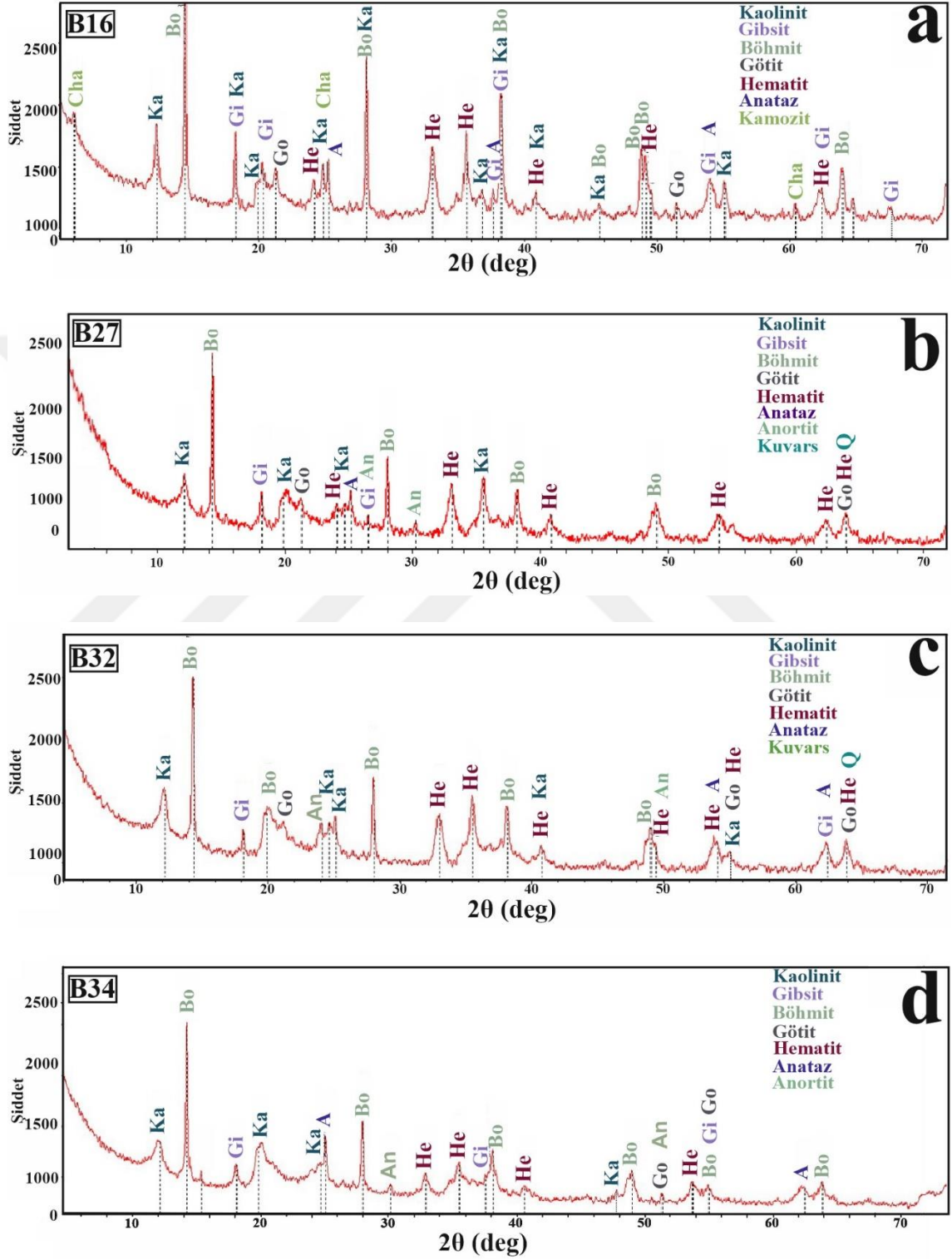
Numune No	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9	TR10	TR11	TR12	TR13	TR14	TR15	TR16	TR17	TR18	TR19	TR20	TR21	TR22	TR23	TR24	TR25	TR26-a	TR26-b
MgO	5500	11400	8570	3820	9080	8930	11500	5530	4850	5440	5150	4910	5450	4830	5050	4430	5520	5000	6870	0	9560	3720	5430	0	3370	4650	3710
Al2O3	448000	578000	404000	508000	420000	450000	372000	441000	454000	448000	435000	476000	471000	460000	455000	520000	457000	474000	446000	538000	374000	446000	476000	513000	498000	486000	512000
SiO2	347000	409000	382000	285000	359000	355000	433000	349000	335000	345000	342000	326000	312000	311000	346000	247000	308000	254000	303000	208000	373000	339000	293000	237000	246000	262000	227000
P2O5	1400	1810	1810	1510	2570	2660	2200	2290	2170	1990	2260	2270	2250	2090	2910	1950	2120	2840	3430	2530	3270	3090	2410	3270	3430	4070	3530
SO3	405	975	727	393	1270	1140	1300	736	565	605	586	616	660	482	1380	610	616	872	1170	630	1710	1450	997	723	927	1220	1100
Cl	89,6	103	90,4	74,9	88,6	113	154	80,7	70	91,1	82,9	77,7	71	68,2	60,8	78,5	69,4	68,3	73,4	79,2	79,6	81,7	78,1	70,5	93,3	109	86,3
K2O	4330	9670	6680	1840	6960	6130	9250	5000	4260	5010	5270	3590	4000	5630	3670	2630	4940	1940	3640	796	7160	3400	2650	1020	1250	2410	1920
CaO	3990	7910	6050	3000	8500	6220	31700	4510	3230	3660	3400	3450	3480	2810	4440	2600	8130	19900	3280	2310	43900	6640	3870	3280	6540	6480	4940
TiO2	19400	21800	20600	21400	23700	24100	19200	24700	24400	26890	29590	22590	25000	28900	25100	25700	28600	35700	35200	29100	23200	25200	23900	31700	33900	32200	29100
Fe2O3	164000	154000	164000	169000	164000	166000	115000	160000	164000	157000	171000	155000	170000	180000	146000	189000	179000	199000	192000	212000	158000	163000	186000	204000	200000	194000	208000
Br	8,12	18,7	12,9	7,95	13,4	10,1	23,7	14,7	7,92	8,68	6,09	6,77	6,19	4,48	10	6,82	4,84	4,63	0	0	22,2	7,23	5,5	0	0	5,09	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	646	501	678	781	595	611	138	526	595	469	602	376	478	475	463	426	0	0	0	987	502	441	654	230	89,9	436	716
Cr	347	352	366	391	541	512	368	407	483	491	417	492	484	466	521	616	592	873	738	654	545	676	576	822	812	892	715
Mn	496	636	579	536	1020	975	730	1590	1760	838	832	541	694	747	1590	704	1030	1000	963	863	1630	912	935	734	982	1130	1790
Co	436	424	397	441	468	456	325	398	427	386	408	361	393	398	470	463	380	466	438	534	392	400	505	493	450	490	529
Ni	414	352	390	0	472	465	337	363	383	274	295	301	319	341	349	316	331	358	362	364	249	290	418	223	250	271	371
Cu	104	84,6	90,8	113	122	91,7	125	153	152	115	115	120	111	122	129	113	121	97,3	85,7	99,5	110	117	126	96,2	96,9	85,2	114
Zn	296	280	257	257	343	358	295	319	331	344	367	226	248	321	357	296	313	281	260	266	255	270	296	242	258	266	374
Ga	55,9	48,3	48,6	69,2	51,4	48,9	53,6	55,6	55,3	53,9	58	62,7	56,9	57,9	53,9	58,9	61,8	59	42,2	68,2	50,2	61,6	69,2	67,4	71,4	0	56,8
Ge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
As	59,2	73,1	65,9	68,7	65	70,3	60,1	66,4	69,2	43	41,2	41,9	46,3	51,1	71,3	62,9	62,1	104	87,9	112	53,5	47,5	88,6	58,7	54,9	41	88,1
Se	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,98
Rb	39,5	70,9	53,5	18,9	45,4	36,9	67,6	42,5	41,2	41,8	46,7	37,8	40,4	55,4	33,9	32,7	47,2	13,2	22,3	8,32	42,3	26,2	21	11,5	14,2	15,4	16,6
Sr	130	169	297	124	293	268	309	393	384	267	297	286	266	264	533	235	274	478	470	366	445	411	346	454	510	657	903
Y	98,7	118	102	146	188	203	147	167	172	112	120	91,7	92,6	93,3	94	108	100	112	110	115	127	119	191	105	119	128	181
Nb	102	82,6	81,6	108	105	116	89,7	101	116	101	113	97,5	108	98	94,1	109	106	110	130	128	88,7	97,2	126	140	144	135	130
Rh	5,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cd	6,15	6,34	0	0	4,88	0	0	8,28	0	0	0	12,3	5,76	5,93	15,5	0	6,24	0	0	11,4	8,67	6,9	0	0	0	0	0
W	0	0	0	0	8,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,3	0	0	0	0	0	0	0	0
Sn	40,3	38	35,1	45	44,4	33,9	32,1	37,5	34,1	41,3	32,6	38	36,9	35,5	29,6	40,5	44,1	37,2	36	50,6	35,9	37,5	44,9	42,3	45,2	0	48,5
Sb	17,8	17	0	21,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	16,1	0	26,9	0	0	0	0	0	19,7
Te	0	0	0	0	0	0	14,6	0	0	0	10,5	0	11,2	0	0	0	0	0	11,7	26,3	0	9,33	0	0	0	0	0
Ba	0	172	113	46,6	147	129	166	119	0	110	115	104	110	130	114	98,9	138	103	119	0	166	127	0	116	119	127	0
La	72,8	0	127	0	0	243	265	91,5	133	0	116	135	133	142	151	129	170	129	169	152	0	138	185	135	124	256	217
Ce	158	170	0	169	194	197	0	216	155	199	243	201	222	241	179	249	230	338	311	361	208	240	209	331	365	283	272
Hf	229	28,8	23,1	29,6	27,2	46,1	22	29,5	27,2	36,5	37,2	32,1	36,9	32,5	32	26,2	30,9	39,6	47	32	30,5	26,3	37,2	36,9	45,2	63	76,4
Ta	0	0	0	0	0	0	29,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51,4	0	0	0	0	0	0	0	50,8
W	18	18,9	26,2	19,4	28,3	0	20,1	19	0	18,4	18,4	0	14,7	0	21,6	15,7	17,9	0	0	22,2	20,7	0	18	14,4	20	15,7	0
Pt	764	10,2	10,8	11	0	6,71	0	10,5	11,8	15,3	10,5	1	7,59	11,2	0	10,2	9,64	16,8	0	0	11,8	0	0	11	0	13,4	0
Ir	0	0	0	0	11,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,4	0	0	0	0	0	0	0
Au	6,66	6,61	0	8,47	7,26	9,41	0	8,65	11,6	9,88	10,1	8,66	9,03	13,8	5,9	9,63	7,66	15,1	12,6	9,37	0	10,9	8,74	12,1	9,2	9,82	12,5
Tl	0	0	0	0	6,92	0	4,55	0	5,16	0	5,16	0	3,66	4,96	6,57	5,82	5,15	6,89	0	9,36	0	0	0	6,37	0	0	0
Hg	8,24	0	0	0	0	7,19	0	6,89	0	7,88	0	0	0	0	0	0	0	12	0	11,3	0	7,29	7,97	0	11,1	9,36	12,4
Pb	84	71,4	72,6	92,5	84,5	92,2	62,1	86,8	85,6	93,4	101	75,7	87,6	97,8	83,7	83	81,9	107	101	103	81,8	98,6	100	116	119	129	115
Bi	4,99	0	0	4,85	0	0	0	3,68	4,12	0	0	0	0	0	0	0	4,98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Th	46,2	40,3	38,7	46,9	48	49	38,1	47,1	44,8	47,3	48,2	42,5	48,1	49,5	47,3	51,4	47,6	65,8	63,9	67,9	0	52,9	56,4	64,6	64,2	62	67,2
U	6,51	5,87	7,05	5,96	4,89	8,17	0	7,43	5,23	7,65	7,4	8,17	6,74	7,15	11,9	10,2	10	15,6	14,4	15,4	9,63	11	12,5	18,2	19,1	16,7	20

Numune No	TR27	TR28	TR29	TR30	TR32	TR33	TR34	TR36	TR37	TR38	TR39	TR40	TR41	TR42	TR43	TR44	TR45	TR46	TR47	TR48	TR49	TR50	TR51	TR52
MgO	4020	0	5910	5190	4230	4410	4340	6620	5860	6290	6210	15500	6770	0	3330	3480	4410	3530	7950	5080	4950	3600	12400	0
Al2O3	496000	498000	421000	45000	467000	473000	469000	426000	439000	433000	445000	328000	438000	517000	491000	521000	413000	524000	451000	501000	498000	519000	380000	521000
SiO2	243000	274000	313000	329000	348000	357000	284000	342000	32000	341000	335000	469000	336000	309000	290000	241000	435000	237000	299000	247000	255000	244000	399000	236000
P2O5	4800	2330	3720	3480	3470	3720	3380																	

EK-1. Sütleğen bölgesi boksitleri, yan kayaç örnekleri ve terra-rossa örneklerinin major iz ve REE (ppm) jeokimyasal analizi (devamı)

Numune No	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sc	Sm	Tb	Th	Tm	U	Y	Yb
B3	81,8	21,3	11,4	3,9	17,7	1,9	4,3	22	1,6	70	11,8	26,4	18,6	3,3	2,6	1,8	1,5	104	10,2
B8	52,1	14,7	7,9	2,8	13,4	5,1	2,9	9,1	1,2	46,5	7,7	36,6	11,5	2,4	20,6	1,1	3,5	139	7,1
B19	48,4	21,2	12,6	2,8	13,2	3,5	4,6	17,6	1,8	19,3	3,4	24,4	10,2	3	31,3	2,1	4,7	88,4	11,2
B55	10	10,6	6,6	1,1	6	3,1	2,4	8	1	7,4	1,4	25,9	3,4	1,4	27,9	1,1	8,5	71,1	6,8
B62	5,2	1,1	0,6	0,2	0,9	1,5	0,2	2,7	<0,1	3,7	0,7	10,1	1,1	0,2	27,5	<0,1	2,1	3,7	0,6
B21	6,2	4	2,5	0,4	2,4	2,7	0,8	5,2	0,4	4,2	0,9	21,7	1,2	0,5	20,6	0,4	6,1	17,9	2,7
B33	60,8	14,3	8,4	2,3	9,7	2,6	3	12,4	1,3	27,4	4,4	19,5	9,2	2	24,4	1,4	2,2	58,7	8,6
B42	9	6,3	4,1	0,8	4,6	0,9	1,5	2,9	0,5	5,7	0,9	14	2,8	0,9	8,3	0,6	4,2	50,1	3,4
B44	45	9,3	5,6	1,6	6,3	2,7	1,9	11,8	1	22,3	3,5	24,1	7,4	1,4	21,8	1	4,3	31,6	6,6
B50	31,7	4,6	2,9	0,8	2,9	2,8	1	9,3	0,6	12,6	2,5	23,9	3,6	0,6	28,1	0,6	3	19	4
B49	39,2	4,1	2,4	0,7	2,7	6,5	0,8	4,9	0,6	9,5	1,6	26,8	3,2	0,5	15,6	0,4	2,1	19,1	2,9
B37	46,3	23,6	13,1	3,7	18,8	3,6	5	12,5	1,8	32,5	4,2	25,4	14	3,5	28,2	2,1	2,7	130	11,6
B64	105	16,1	8,4	3,4	14,6	2,8	3,2	22,5	1,2	64,1	11,7	18,5	16,3	2,6	26,8	1,4	2,6	48,1	8,1
B66	105	20,2	10,1	3,9	16,8	3,1	3,9	18	1,4	64,1	11,2	20,5	18	3,2	28,2	1,7	2,2	73,8	9,5
B52	10,4	15,3	9,7	1,7	9,1	4	3,4	8,3	1,5	9,1	1,7	21,5	5,2	2,1	33,6	1,6	3,9	73,4	9,5
B30	13,7	2,7	1,9	0,3	1,5	1,5	0,7	4,6	0,3	5,3	1,2	10,2	1,4	0,4	15,3	0,3	2,9	11,9	2,2
B9	20,9	15,8	8	3,2	16,1	1,6	3,2	9,8	1,1	52,5	6,9	20,4	14,5	2,6	22,7	1,2	5	85,6	7,1

EK-2. XRD spektrumları **a)** B16 örneği **b)** B27 örneği **c)** B32 örneği **d)** B34 örneği (**Bo:** böhmite; **Ka:** kaolinite; **He:** hematite; **Gi:** gibbsite; **Go:** goethite; **A:** anatase; **An:** anorthite; **Q:** quartz; **Cha:** kanozit)



EK-3. Majör element oksitlerin ve iz elementlerin Pearson korelasyon analizi (Özer ve Yalçın 2020)

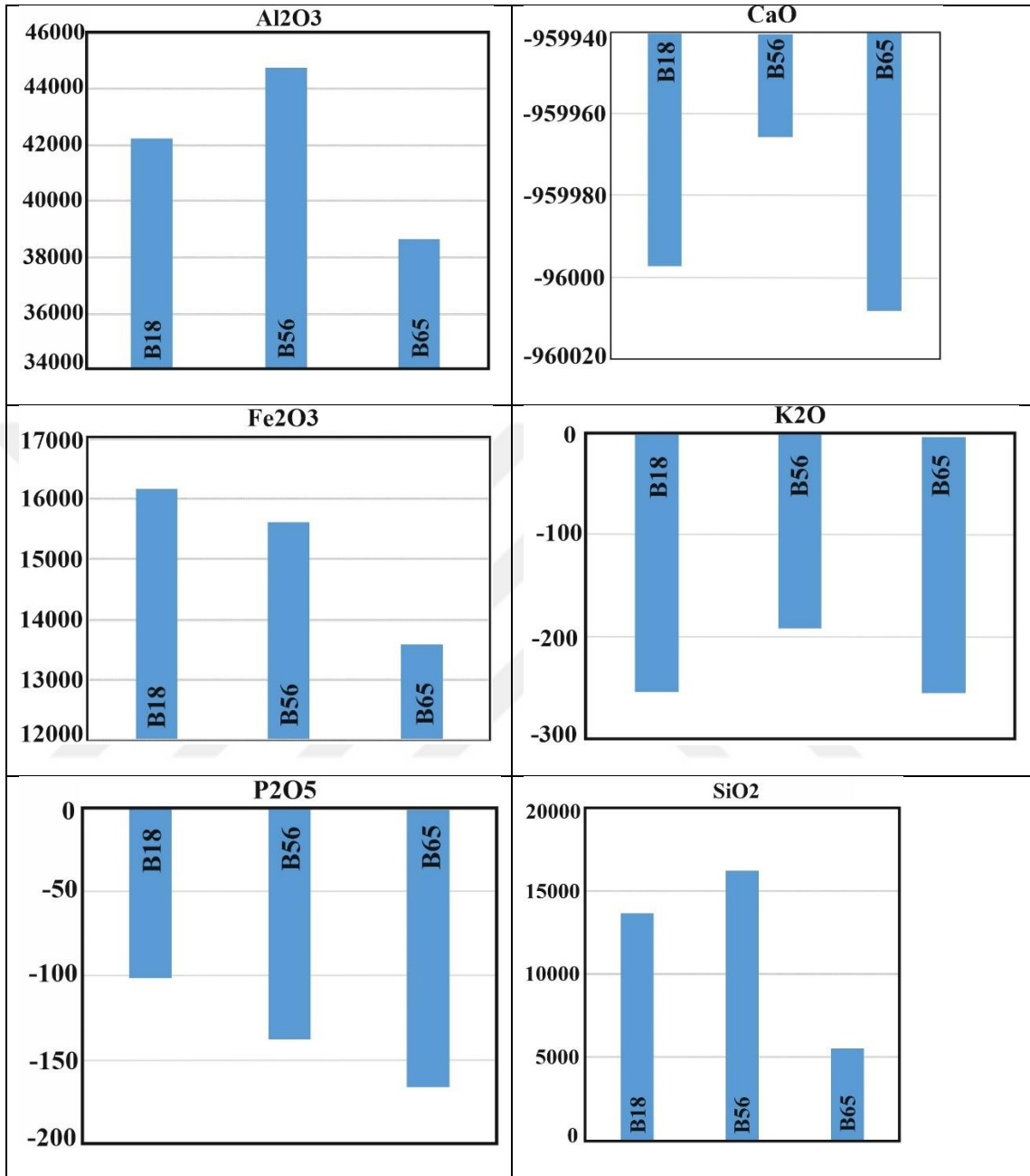
	MO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	FeO	P ₂ O ₅	Br	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Sb	Bi	Sr	Y	Mo	Ag	Cd	Sn	Pb	Tl	Hg	In	Th	U
MO	1																																	
Al ₂ O ₃	0.05	1																																
SiO ₂	0.02	-0.01	1																															
P ₂ O ₅	-0.01	-0.09	-0.01	1																														
SO ₃	-0.01	-0.09	-0.01	0.36	1																													
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																												
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																											
CaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																										
FeO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																									
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																								
Br	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																							
V	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																						
Cr	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																					
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																				
Co	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																			
Ni	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																		
Cu	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																	
Zn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1																
Ga	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1															
As	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1														
Sb	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1													
Bi	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1												
Sr	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1											
Y	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1										
Mo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1									
Ag	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1								
Cd	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1						
Sn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1					
Pb	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1				
Tl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1			
Hg	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1		
In	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1	
Th	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1
U	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

EK-4. Nadir toprak elementleri Pearson korelasyon analizi

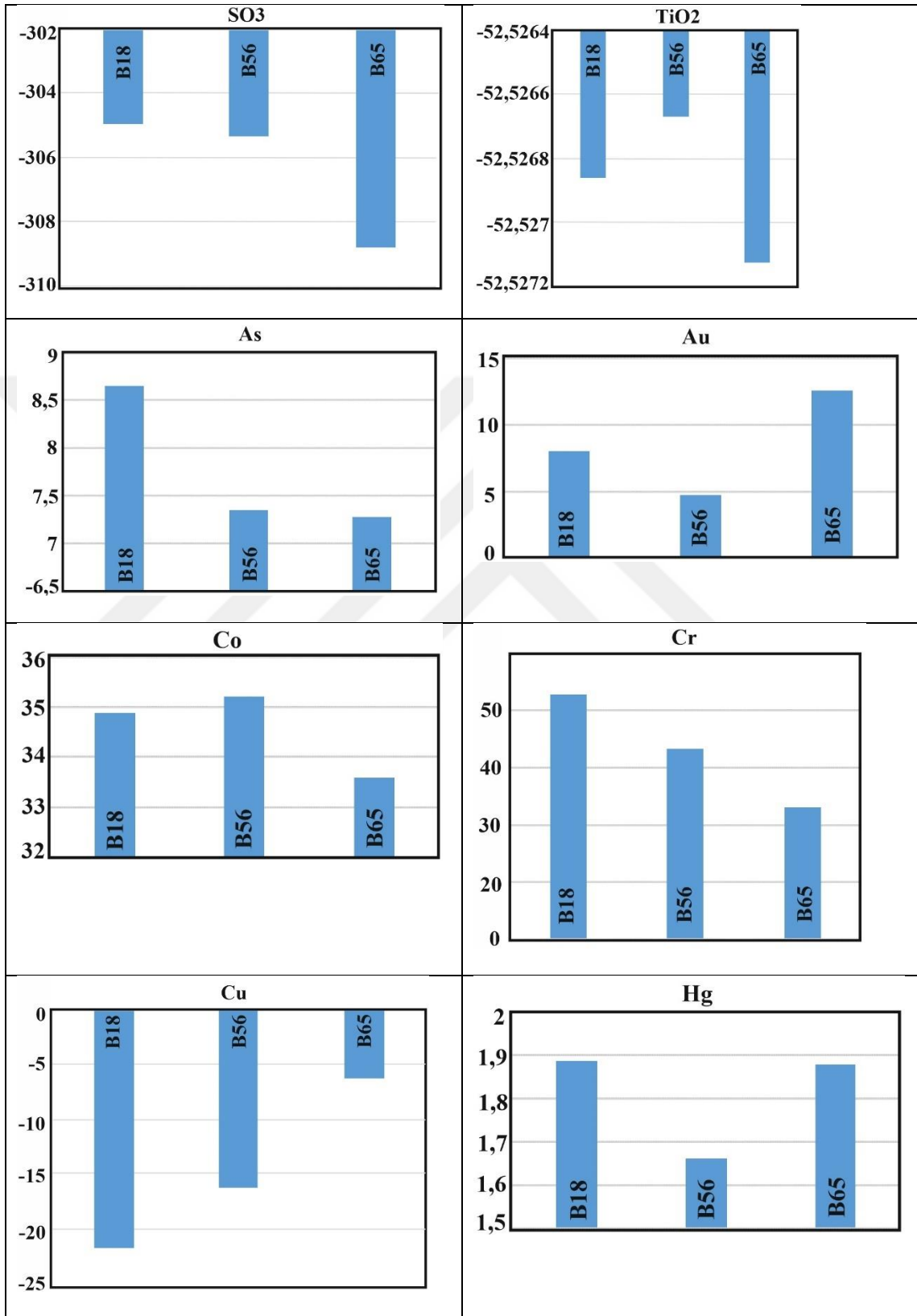
	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sc	Sm	Tb	Th	Tm	U	Y	Yb
Ce	1																		
Dy	.631**	1																	
Er	.559*	.989**	1																
Eu	.775**	.943**	.888**	1															
Gd	.679**	.958**	.911**	.989**	1														
Hf	.182	.144	.160	.092	.084	1													
Ho	.573*	.995**	.997**	.910**	.934**	.133	1												
La	.878**	.790**	.752**	.844**	.780**	.028	.759**	1											
Lu	.568*	.966**	.985**	.858**	.871**	.275	.975**	.752**	1										
Nd	.839**	.717**	.620**	.899**	.853**	-.008	.655**	.816**	.587*	1									
Pr	.886**	.678**	.583*	.860**	.801**	.006	.614**	.847**	.555*	.987**	1								
Sc	.276	.433	.437	.403	.411	.705**	.417	.293	.521*	.315	.294	1							
Sm	.831**	.871**	.797**	.982**	.953**	.034	.825**	.866**	.765**	.960**	.930**	.348	1						
Tb	.669**	.993**	.966**	.973**	.983**	.113	.979**	.804**	.936**	.787**	.746**	.421	.917**	1					
Th	-.018	.186	.221	.072	.081	.246	.205	.073	.258	-.138	-.133	.033	-.019	.149	1				
Tm	.576*	.978**	.993**	.868**	.882**	.158	.987**	.778**	.987**	.594*	.565*	.411	.779**	.948**	.273	1			
U	-.515*	-.124	-.068	-.274	-.202	-.063	-.082	-.279	-.076	-.373	-.394	.156	-.342	-.162	.226	-.070	1		
Y	.353	.846**	.841**	.783**	.842**	.243	.848**	.463	.813**	.572*	.507*	.634**	.687**	.848**	.040	.783**	.025	1	
Yb	.582*	.971**	.988**	.866**	.876**	.198	.979**	.774**	.994**	.602*	.572*	.465	.777**	.941**	.274	.994**	-.056	.793**	1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50								
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50								
2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50							
3	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50						
4	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50					
5	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50				
6	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50			
7	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
8	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42							

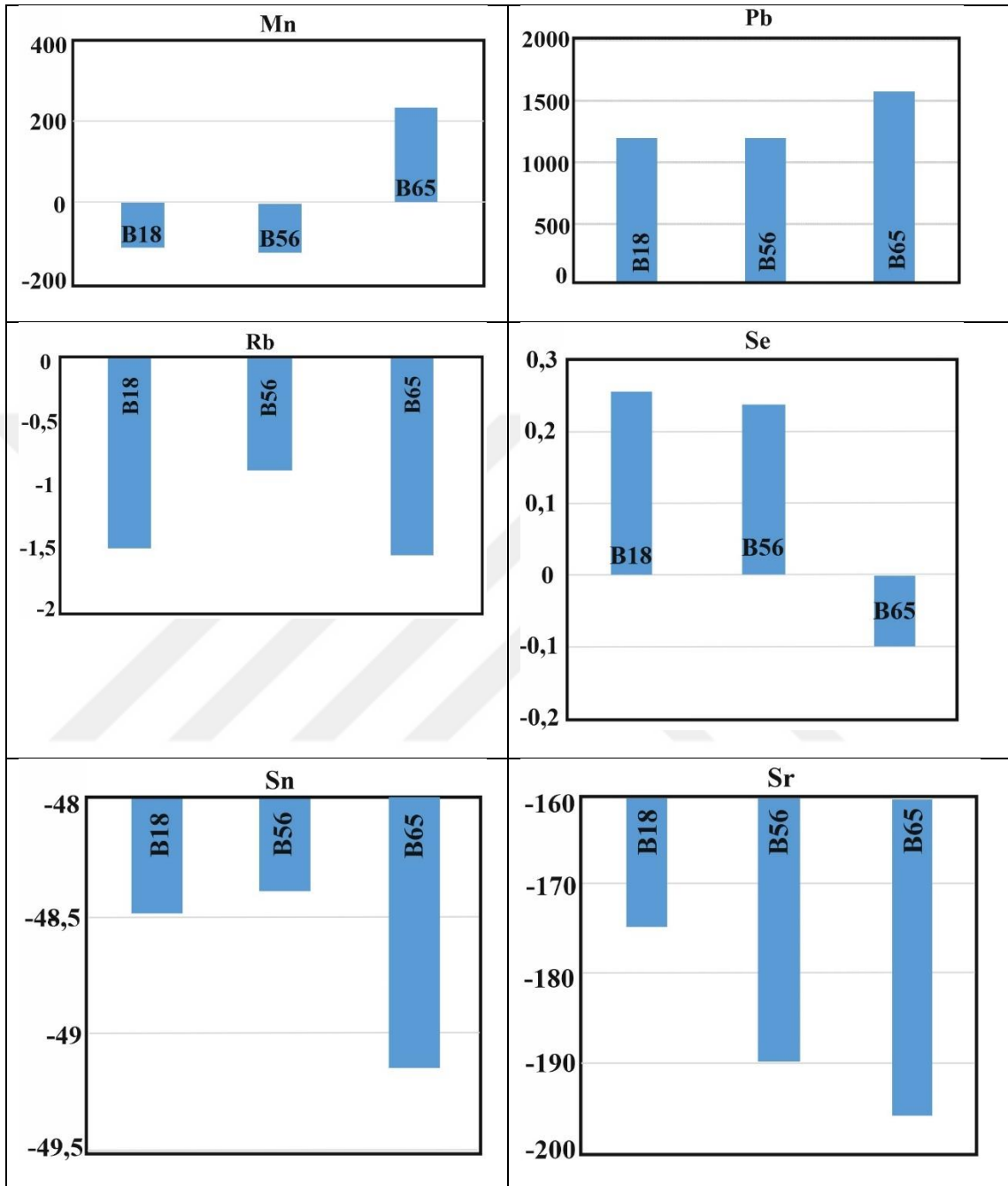
EK-6. Zenginleşme ve fakirleşme gösteren elementlerin MC değerlerinin grafiksel olarak gösterimleri



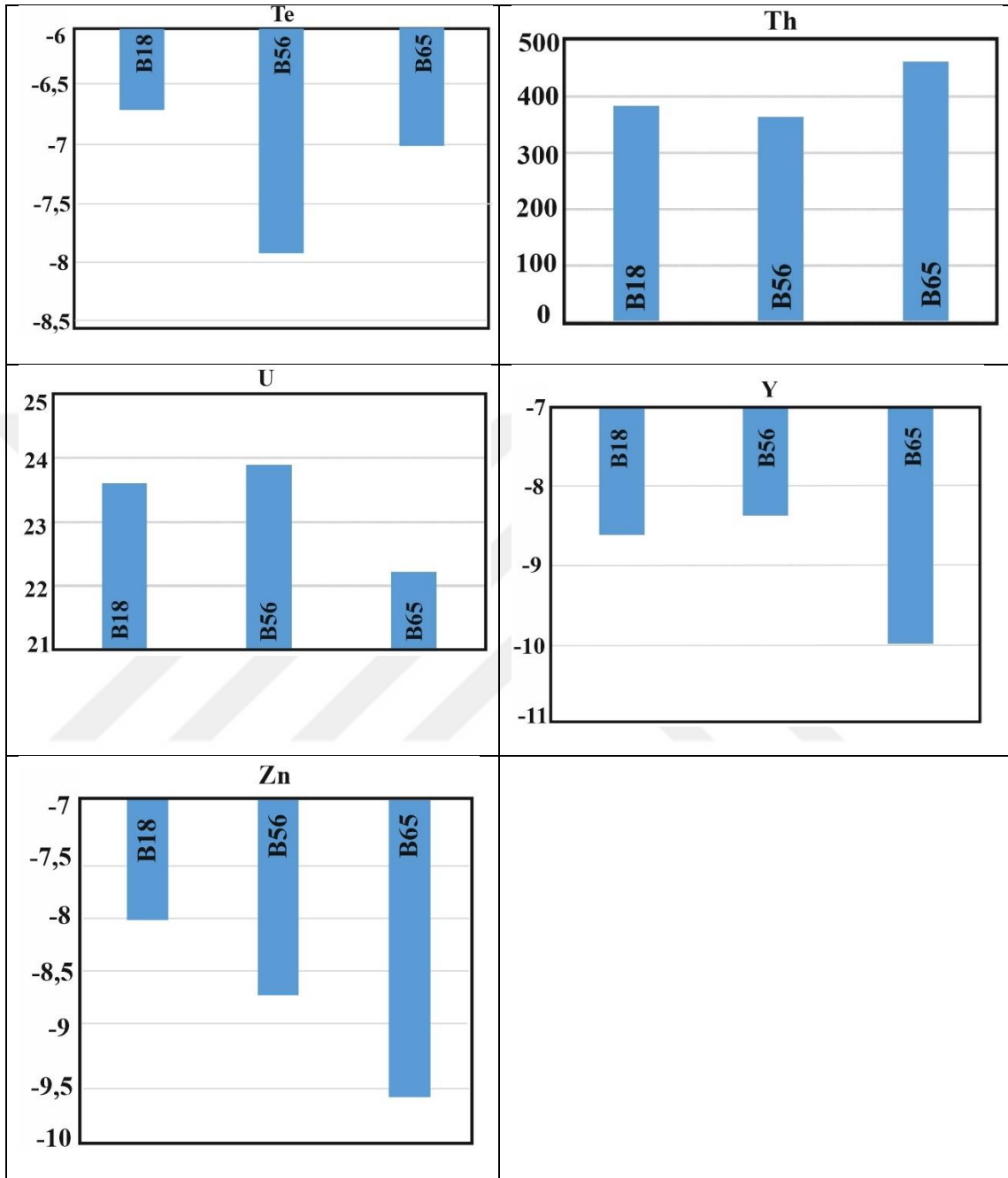
EK-6. Zenginleşme ve fakirleşme gösteren elementlerin MC değerlerinin grafiksel olarak gösterimleri (devamı)



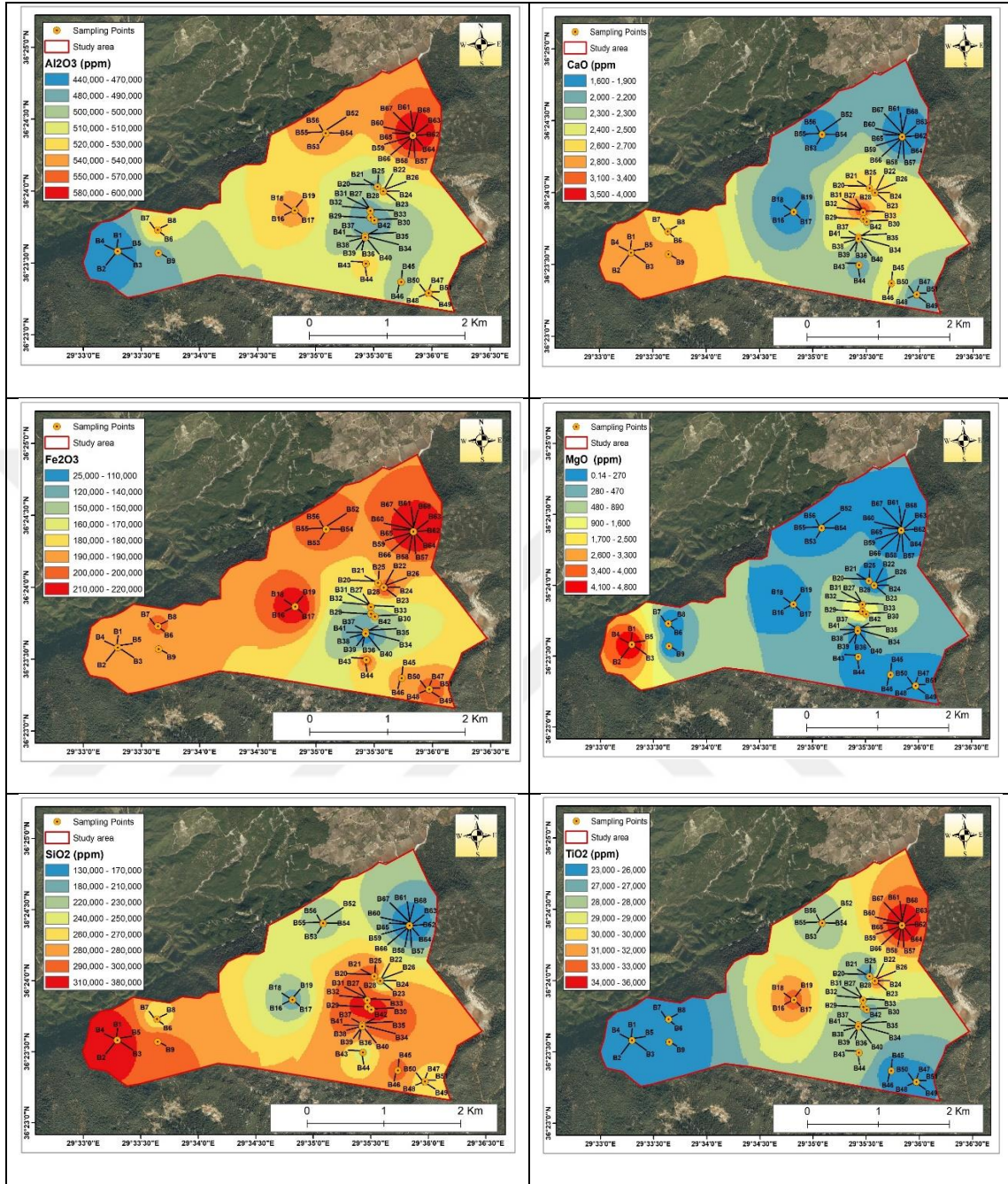
EK-6. Zenginleşme ve fakirleşme gösteren elementlerin MC değerlerinin grafiksel olarak gösterimleri (devamı)



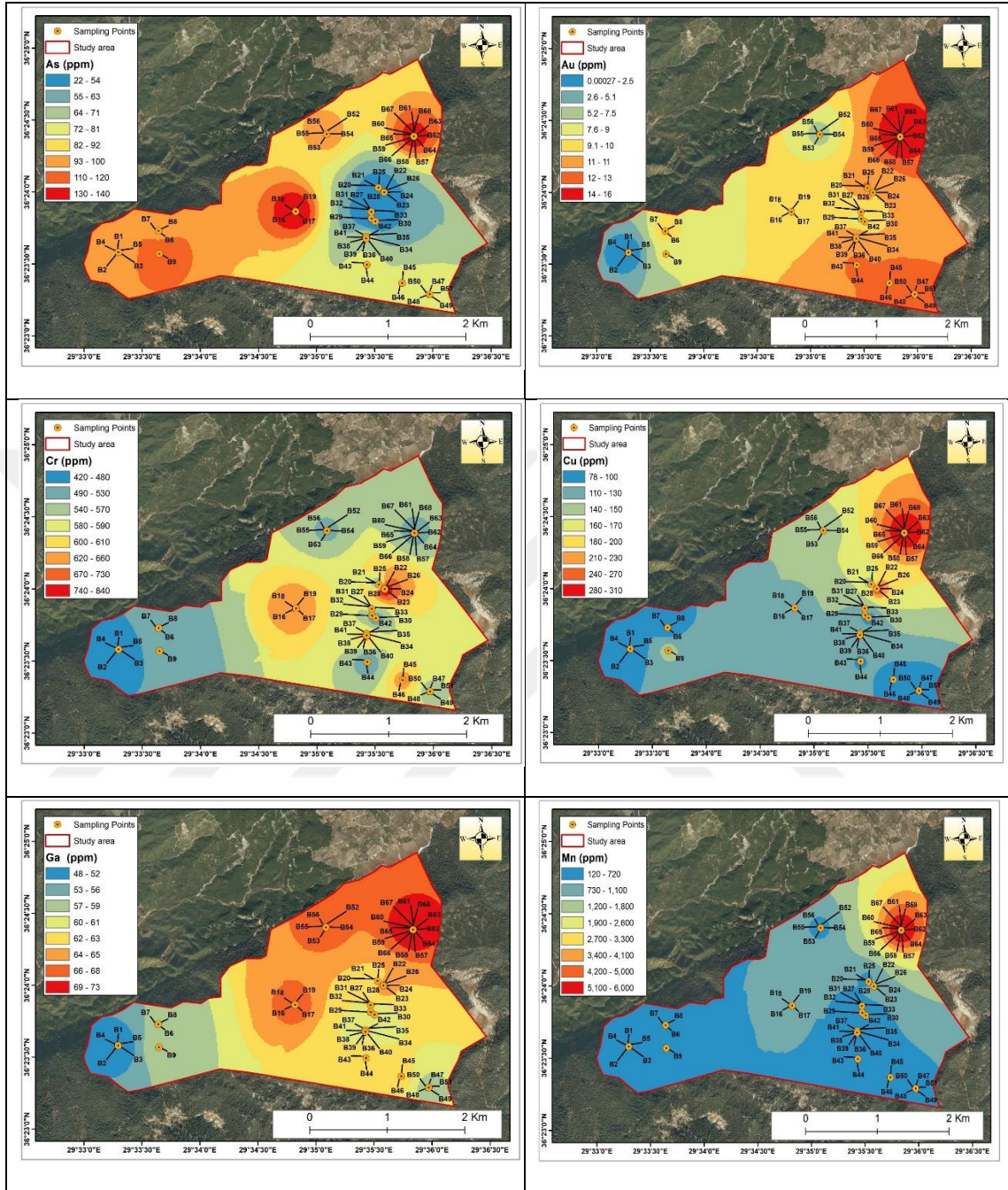
EK-6. Zenginleşme ve fakirleşme gösteren elementlerin MC değerlerinin grafiksel olarak gösterimleri (devamı)



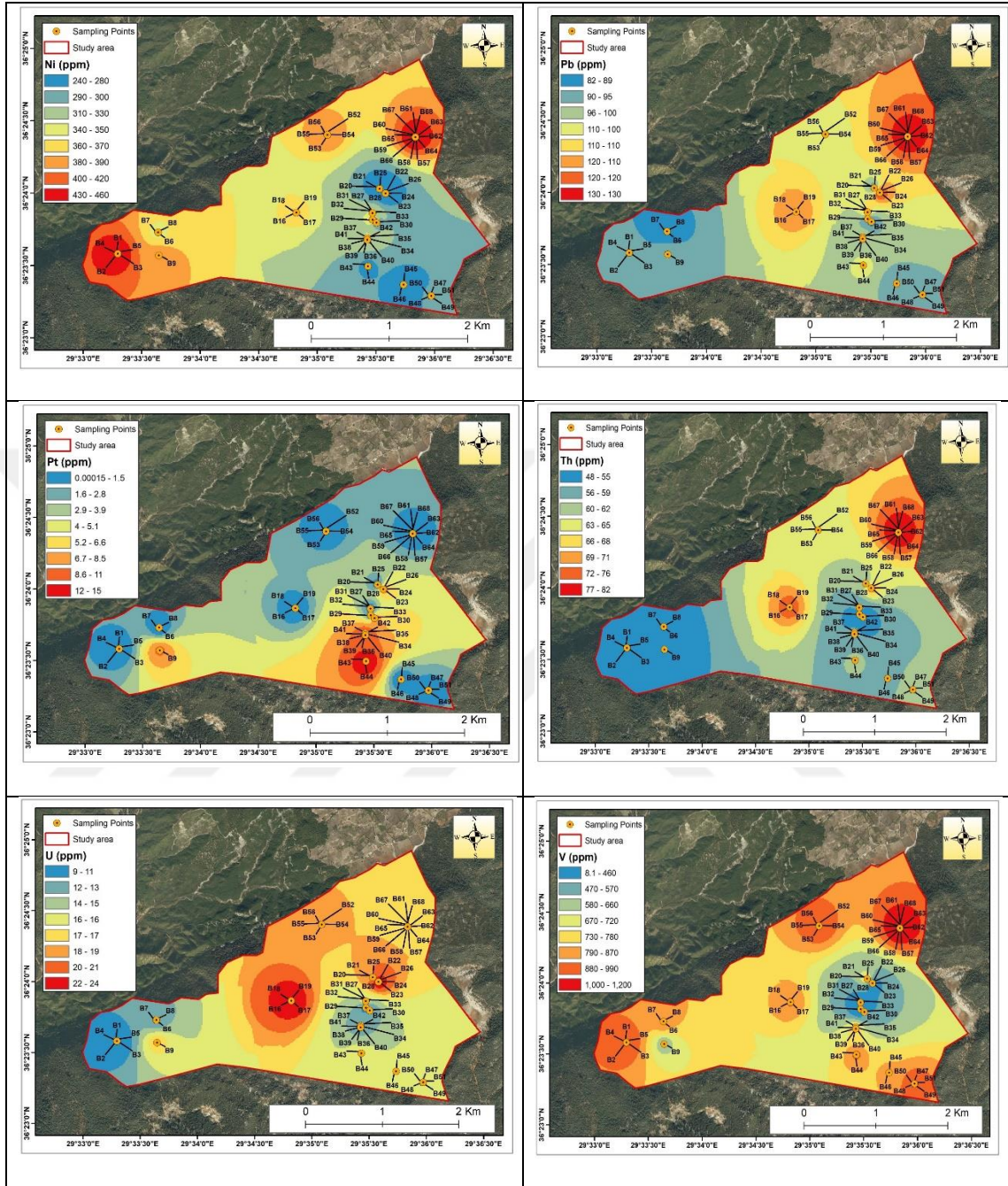
EK-7. Majör oksit ve iz elementlerin Sütleğen bölgesindeki dağılım haritaları



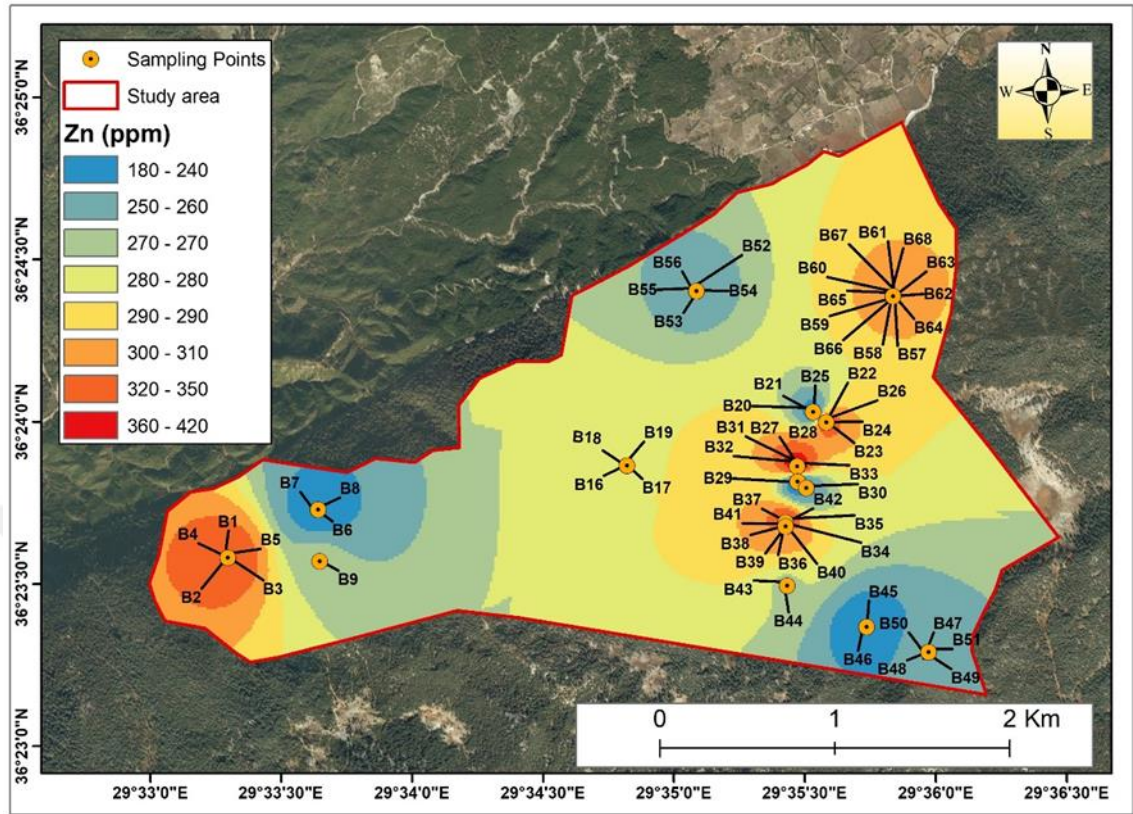
EK-7. Majör oksit ve iz elementlerin Sütleğen bölgesindeki dağılım haritaları (devamı)

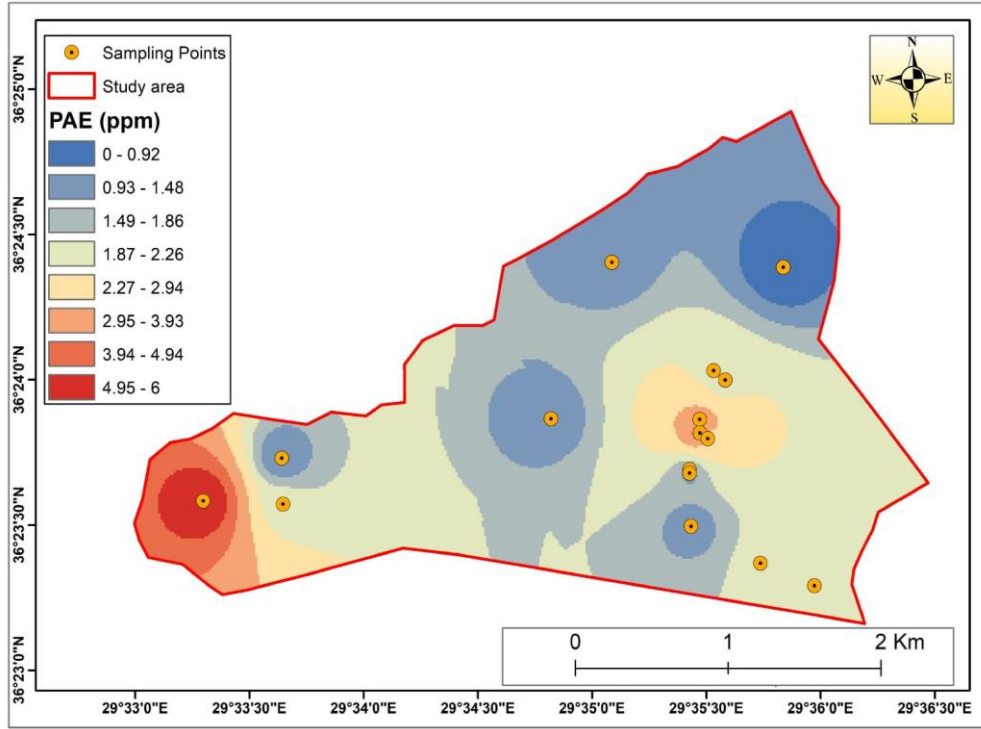


EK-7. Majör oksit ve iz elementlerin Sütleğen bölgesindeki dağılım haritaları (devamı)

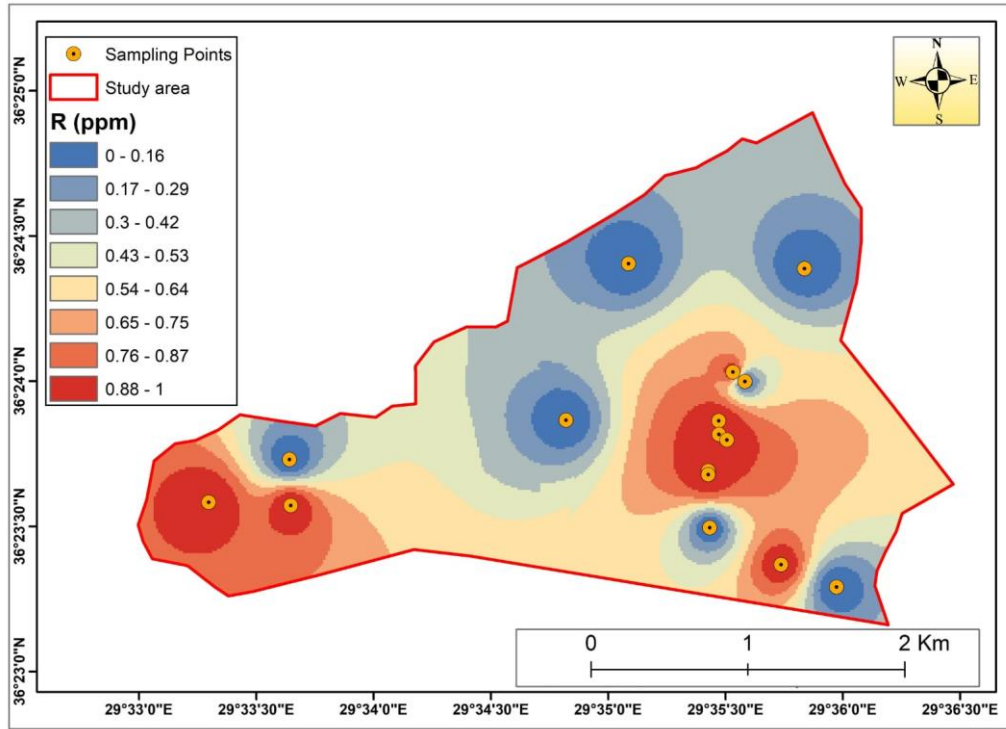


EK-7. Majör oksit ve iz elementlerin Sütleğen bölgesindeki dağılım haritaları (devamı)



EK-8. PAE dağılım haritası

EK-9. R dağılım haritası



ÖZGEÇMİŞ

ÖZGE ÖZER

oozer@akdeniz.edu.tr



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
Araştırma Görevlisi	Fen Bilimleri Enstitüsü
2018-2020	Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Lisans	Hacettepe Üniversitesi
2012-2016	Mühendislik Fakültesi
	Jeoloji Mühendisliği Bölümü

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- **Özer Ö.**, Yalçın F., Tarınc O.K., Yalçın M.G., "Investigation of Suitability of Marbles to Standards with Inequality Expressions and Statistical Approach Using Some Physical and Mechanical Properties", Journal of Inequalities and Applications, vol.97, pp.1-15, 2020
- 2- Öz C., **Özer Ö.** "Seramik Arkeometrisi'nde Spektroskopik Yöntemlerin Uygulanması ve Yorumlanması: XRF, XRD", Seramik Araştırmaları Dergisi, ss.136-153, 2019
- 3- Yalçın F., **Özer Ö.**, Nyamsari D., Yalçın M.G. "Statistical Evaluation Of The Geochemical Content Of Beach Sand Along the Sarisu - Kemer Coastline of Antalya, Turkey", AIP Conference Proceedings, pp.100005-1-100005-4, 2019

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Özer Ö.,** Yalçın M.G. "Modeling of Elemental Distribution of Kas (Antalya) Bauxite Deposit ", International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics 2019 (ICNAAM 2019), Rhodes, Yunanistan, 23-28 Eylül 2019, no. ISBN 9789925755219, pp.24-25
- 2- Tarınc O.K., Özer Ö.,** Aydın B., Yalçın M.G. "Comparison of Physico-Mechanical Properties of Clova and Lyca Marbles in Akçay (Antalya) Region by Using Independent-Samples T-test Statistics", The 2nd Mediterranean International Conference of Pure&Applied Mathematics and Related Areas, Paris, Fransa, 28-31 Ağustos 2019, pp.28-31
- 3- Özer Ö.,** Yalçın F., Nyamsari D., Yalçın M.G. "Contrasting Contamination Indices and Principal Component Analysis in Metal Elements Accumulation Study of Beach Sand on Kemer -Sarısu Coast Line, Antalya", The 2nd Mediterranean International Conference of Pure&Applied Mathematics and Related Areas, Paris, Fransa, 28-31 Ağustos 2019, pp.32-35
- 4- Yazıcı İ., Özer Ö.,** Yalçın M.G. "Alanya (Antalya) Bölgesi Koyu Füme Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin TSE Standartlarına Göre Değerlendirilmesi", International Symposium on Advanced Engineering Technologies, Kahramanmaraş, Türkiye, 2-4 Mayıs 2019, pp.1339-1344
- 5- Özdemir B., Özer Ö.,** Yalçın F. "Kız Kalesi (Mersin) Plaj Kumu Örneklerine Ait Elementel Sonuçların Hipotez Testleri", International Symposium on Advanced Engineering Technologies, Kahramanmaraş, Türkiye, 2-4 Mayıs 2019, pp.1345-1349
- 6- Tarınc O.K., Özer Ö.,** Yalçın F., Yalçın M.G. "Akçay Köyü (Elmalı, Antalya) Bölgesi Mermerlerinin Kimyasal Özellikleri Kullanılarak İstatistiksel Değerlendirmesi", International Symposium on Advanced Engineering Technologies, Kahramanmaraş, Türkiye, 2-4 Mayıs 2019, pp.1333-1338
- 7- Gökdal İ., Özçelik E.C., Özer Ö.,** Yalçın M.G. "Kiriş (Antalya) Plaj Kumlarının Jeobirikim İndeksi (Igeo) ve İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi ", 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 28 Ocak-1 Şubat 2019, pp.1061-1064
- 8- Gökdal İ., Özçelik E., Özer Ö.,** Yalçın M.G. "Çamyuva (Antalya) Plaj Kumlarının Hiyerarşik Dendrogram Analizi ve Sağlık Açısından Değerlendirilmesi", 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 28 Ocak-1 Şubat 2019, pp.1057-1060
- 9- Özer Ö.,** Yalçın F., Nyamsari D., Yalçın M.G. "Kemer-Sarısu (Antalya) Sahil Şeridindeki Plaj Kumlarının İstatistiksel Anomalileri ile İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi", 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 28 Ocak-1 Şubat 2019, pp.1065-1069
- 10- Yalçın F., Ülkütanir Y., Özer Ö.** "İstatistiksel Analizde Bazı Parametrik Testler İçin Ampirik Bir Uygulama: Akademik Başarı Değerlendirmesi", International Symposium on Advanced Engineering Technologies, Kahramanmaraş, Türkiye, 2-4 Mayıs 2019, pp.1446-1512
- 11- Aydın B., Yalçın., F., Özer Ö.,** Yalçın., M.G. "Statistical Classification of Turuncova Marbles with Physical- Mechanical Properties, Finike, Antalya", The Mediterranean International Conference of Pure&Applied Mathematics and related areas, Antalya,

Türkiye, 26-29 Ekim 2018, pp.208-211

12- Tarinc O.K., **Özer Ö.**, Yalçın M.G. "Physical-Mechanical And Chemical Properties of Akcay Village Elmalı Antalya Region Marble Block Receiving and Working Principles", International Congress On Engineering and Architecture (ENAR 2018) Alanya/Turkey, Antalya, Türkiye, 14-16 Kasım 2018, pp.2116-2122

13- Özer Ö., Tarinc O.K, Yalçın M.G. "Field Work in Elmalı (Antalya) Clova Marble Quarries", 9th International Symposium of the Eastern Mediterranean Geology, Antalya, Türkiye, 7-11 Mayıs 2018, pp.211-211

14- İlbeyli N., Yalçın F., Nyamsari D., Battaloglu R., **Özer Ö.** "Origin of Elements from the Hamit Plutonic (Turkey) Rocks By Multivariate Analysis", 9th International Symposium On Eastern Mediterranean Geology, Antalya, Türkiye, 7-11 Mayıs 2018, pp.240-241

15- Gökdağ İ., Özçelik E.C., İlbeyli N., Güneş A., **Özer Ö.** "The Origin Of Feldspar and Quartz Deposits in The Soke Region (Aydın, Turkey)", 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Antalya, Türkiye, 7- 11 Mayıs 2018, pp.221-222

16- Unal S., Yalçın M.G., **Özer Ö.** "Investigation Of Lifetime Size Cancer Risk With Radioactivity Values of Serpentin Rocks in Antalya- Kumluca Region", 9th International Symposium of the Eastern Mediterranean Geology, Antalya, Türkiye, 7-11 Mayıs 2018, pp.234-234

17- Yalçın F., İlbeyli N., Nyamsari D.G., Battaloglu R., **Özer Ö.** "Statistical Investigation and Origin of Elements From The Hamit Plutonic (Turkey) Rocks by Multivariate Analysis", 9th International Symposium of the Eastern Mediterranean Geology, Antalya, Türkiye, 7-11 Mayıs 2018, pp.117-117

18- Nyamsari D.G., Yalçın M.G., **Özer Ö.** "238U – 237Th Activity Risk Evaluation of the Bauxite Samples of Plateau Deposit", 9th International Symposium of the Eastern Mediterranean Geology, Antalya, Türkiye, 7-11 Mayıs 2018, pp.15-15

19- Aydın B., Yalçın M.G., **Özer Ö.** "Block Taking and Rehabilitation Lyca Beige (Elmalı, Antalya) Marble Quarry", 9th International Symposium of the Eastern Mediterranean Geology, Antalya, Türkiye, 7-11 Mayıs 2018, pp.185-185

20- Ocak S., Unal S., Yalçın M.G., **Özer Ö.** "Dose Rates and Activity Concentrations of Natural Rocks ", 9th International Symposium of the Eastern Mediterranean Geology, Antalya, Türkiye, 7-11 Mayıs 2018, pp.226-226