T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIZILDAĞ ve KEMİKLİTEPE (AYRANCI-KARAMAN) BOKSİT CEVHERLEŞMELERİ ve İLİŞKİLİ KAYNAK KAYAÇLARININ NADİR TOPRAK ELEMENT İÇERİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bihter HEPVİDİNLİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Nurullah HANİLÇİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 05.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Nurullah HANİLÇİ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Hüseyin ÖZTÜRK
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Mustafa KUMRAL
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin FLY-2018-29207 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Programı'nda "Kızıldağ ve Kemiklitepe (Ayrancı-Karaman) Boksit Cevherleşmeleri ve İlişkili Kaynak Kayaçlarının Nadir Toprak Element İçeriklerinin İncelenmesi" başlıklı Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Akademik anlamda çalışma prensibini sadece kendi çizgisi olarak benimsemeyip, öğrencilerine, çalışma arkadaşlarına ve diğer meslektaşlarına aşılayabilen, çalışma şevkinin kırıldığında dahi, motivasyon konuşmaları ile yılmadan tekrar tekrar "çalış, çalış, çalış" diyebilen, tez çalışmamın başından sonuna kadar maddi, manevi ve en önemlisi akademik olarak bana destek olan, sonrasında dahi başımın her sıkıştığında bana destek verebileceğini bütün içtenliğim ile bildiğim, konferanslara katılma ve kendimi geliştirme adına çok şey öğrendiğim, gönderdiği makaleler sayesinde asla makale okumadan tek bir bile geçirmediğim, yol gösterici olarak saydığım, çok değerli Danışman hocam, Doç. Dr. Nurullah HANİLÇİ'ye

Tez konum ile ilişkili en çok soruyu sorup cevapları ile ufkumu genişleten, Nadir Toprak Elementleri ile ilgili çalışma arazim dışında, beni de arazi çalışmalarına dahil eden Anabilim Dalı Başkanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÖZTÜRK'e,

Lisans döneminden bu günlere, özellikle kamp stajından bu yana her çıkmaza girdiğimde aradığım, yardımlarını istediğim, bana desteklerini asla esirgemediğini bildiğim, üzerimde çok emeği olduğunu düşündüğüm, akıl aldığım, değerli hocam Araş. Gör. Dr. Cem KASAPÇI'ya

Bütün süreçlerde yanımda olan sadece beni değil herkesi "proje yapalım" diyerek teşvik etmeye çalışan, bütün evrak işlerinde bilgili, can kaderdaşım Jeoloji Yük. Müh. Duygu İŞBİL'e,

Arazi çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan, Maden Müh. Olgay Al'a, Maden Müh. Burcu GÖNCÜ'ye ve DEMİRELLER Madencilik'e,

Koç Üniversitesi Yer Yüzü Araştırma Merkezi'ne ve Raman çalışmalarını ve XRF çalışmalarını yürüten ve bana analizler konusunda büyük destekleri olan Dr. Gülsu ŞİMŞEK'e,

İstanbul Teknik Üniversitesi'ne ve bana Jeokimyasal çalışmalarım sırasında ve her konuda yardımcı olmaya çalışan başta Doç. Dr. Mustafa KUMRAL olmak üzere; Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ'ye Jeoloji Müh. Lokman GÜMÜŞ'e, Jeoloji Müh. Sercan ÖZTÜRK'e,

Yaklaşık on yıllık bir süreçte beni asla yalnız bırakmayan, okulda her problem yaşadığımda aradığım, beni sakinleştiren, "Akademisyen olacaksın" diyerek beni tutan, tez çalışmalarımda bana desteğini esirgemeyen tek dostum Jeoloji Müh. Burcu PARLAK'a,

Tez çalışmamın yazım aşamasına geçirdiğim panik halime katlanıp, özellikle geç vakitlere kadar çalışırken beni asla yalnız bırakmayan, kahveyi eksik etmeyen, yapacağıma inanarak beni güçlü kılan sevgili Mert OCAK'a,

Son yirmi yılda olduğu gibi, tez çalışmam boyunca da ilginç fikirler veren, bunları denemek için beni teşvik eden ve tanıdığım en iyi Fizikçilerden biri olacağına inandığım kardeşim Ali Berker HEPVİDİNLİ'ye,

Başlarda pek sıcak bakmasa da her daim arkamda duran, maddi ve manevi yardımlarını asla esirgemeyen, maddi anlamda kötü olduğum son zamanlarımda az kaldı "Her şey çok güzel olacak" diyen, bir tanecik annem, aynı zamanda tek varlığım, Nuran TURKAN'a,

Yaşatmak için çok mücadele ettiğimiz ancak yaşatamadığımız, iki saatlik yolculuğu yalnız kalmasını istemediğim için eve koşarak gittiğim, canımdan çok sevdiğim rahmetli kedim AKÜ'ye,

Çalışmamda bana yardımcı olan herkese, saygıyla, sevgiyle, vefa borcuyla ve gönülden bir o kadar da içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Akademi'de ilerlememi hedeflerim arasında olması gerektiğinin bir zorunluluk olduğunu her zaman dile getirmiş olan, rahmetli anneannem ve rol model olarak aldığım

Penbe TURKAN'ın anısına…

Haziran 2019 Bihter HEPVİDİNLİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1.ÇALIŞMA ALANININ COĞRAFİ KONUMU 1
1.1.1.Topoğrafya 2
1.1.2.Ulaşım 3
1.1.3.İklim ve Bitki Örtüsü 3
1.1.4.Hidrografya 3
1.1.5.Ekonomik Durum 4
2. GENEL KISIMLAR **6**
2.1.ÇALIŞMANIN AMACI 6
2.2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 7
3. MALZEME VE YÖNTEM **10**
3.1.SAHA ÇALIŞMALARI 10
3.2.LABORATUVAR ÇALIŞMALARI 11
3.2.1. Mineralojik-Petrografik İncelemeler 11
3.2.2. Cevher Mikroskobi Çalışmaları 11
3.2.3. X-ışını Kırınım Deseni Çalışmaları 11
3.2.4. Jeokimyasal İncelemeler 12
3.2.5. SEM-EDX Çalışmaları 12
3.2.6. XRF Çalışmaları 12
3.2.7. Raman Spektroskopisi Çalışmaları 13
4. BULGULAR **14**
4.1.BÖLGESEL JEOLOJİ 14
4.2.İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ 18

4.2.1. Karlığıntepe Formasyonu (Pk) 20
4.2.2. Kocatepe Formasyonu ($T_R$ko) 21
4.2.3. Gökkandil Formasyonu (T_Rg) 23
4.2.4. Karagedik Formasyonu ($T_R$ka) 24
4.2.5. Tavşancıdağtepe Formasyonu (JKt) 26
4.3.BOKSİT CEVHERLEŞMELERİ 26
4.3.1. Kızıldağ Boksit Cevherleşmesi 31
4.3.2. Kemiklitepe Cevherleşmesi 34
4.4.PROTOLİT, SAPROLİT, BOKSİT MİNERALOJİSİ 36
4.5.JEOKİMYA 43
4.5.1.Protolit Jeokimyası 46
4.5.2.Saprolit Jeokimyası 51
4.5.3.Boksit Cevherinin Jeokimyası 52
4.5.4.Kütle Transfer İşlemleri ve Elementlerin Davranışları 59
4.6.NADİR TOPRAK ELEMENTLER (NTE) 64
4.6.1. Kızıldağ Protoliti ve Kemiklitepe Boksitinin NTE Mineralojisi 68
4.6.2. NTE Jeokimyası 72
4.6.3. WD-XRF Analizleri 75
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 79
KAYNAKLAR 88
ÖZGEÇMİŞ 92

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Çalışma Alanının Coğrafi Konumu bulduru haritası. 2

Şekil 1.2: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerinin en yakın ulaşım yeri olan Çatköy'e olan uzaklıkları. 4

Şekil 4.1: Bolkardağı bölgesinde yer alan tektono-stratigrafik birliklerin yayılımı (Alan ve diğ., 2007) ve içerisindeki boksit cevherleşmelerinin, bölgede yer alan birliklere göre dağılımları (Hanilçi, 2013). 14

Şekil 4.2: (a) Aladağ Birliğinin (b) Namrun Tektonik Diliminin ve (c) Bolkardağ Birliğinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti. (Ölçeksiz, Alan ve diğ., 2007'den alınmıştır). 16

Şekil 4.3: Namrun Tektonik Dilimi'nin Bolkardağ Birliği üzerine bindirmesi ile gelişen bindirme kuşağının araziden görünümü (Bakış KD).....17

Şekil 4.4: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerinin yer aldığı alanların formasyonlarını gösteren genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti. 19

Şekil 4.5: Kızıldağ bölgesinde yer alan formasyonların arazideki görünümleri (Trko: Kocatepe fm.; Pk:Karlığıntepe fm). 20

Şekil 4.6: Metamorfizma ile yönlenmiş taneler, mika fish yapısı (a: Tek nikol (TN), obj: 4X b: Çift Nikol, obj: 4X (ÇN) c: ÇN, obj: 20X).....21

Şekil 4.7: Kocatepe formasyonuna ait meta şeyller, yönlenme gözlenmekte. 22

Şekil 4.8: Foliasyon göstermeyen şeyl dokusu (TN, obj: 4X) 22

Şekil 4.9: Metaşeyl-sleytlerde gözlenen çubuk deformasyon kırılmaları. 23

Şekil 4.10: Gökkandil Formasyonunun kireçtaşlarında gözlenen iz fosiller. 24

Şekil 4.11: Düşük derceli metamorfizmanın gözlendiği, tanelerin henüz şist dokusu kazanmadığı, sleyt-metaşeylin mikroskop görünümü (TN, obj: 10X). 25

Şekil 4.12: Karagedik Formasyonuna ait meta-şeyl-sleytlerinin görünümü. 25

Şekil 4.13: Tabandan tavana klasik Laterit profili (Ölçeksiz, Paquet ve diğ., 2011).....27

Şekil 4.14: Gibsit-Hematit-Götit üçlü çözünebilirlik Eh-pH dengesini gösteren şema mol^{-1} (Norton, 1972).....28

Şekil 4.15: Kızıldağ boksit cevherleşmesine ait skeç harita. 32

Şekil 4.16: Kızıldağ cevherinin protolitten saprolite geçiş zonu. 33

Şekil 4.17: Kızıldağ cevherleşmesine ait Boksit – Saprolit sınırı. 33

Şekil 4.18: Kızıldağ cevherleşmesinin kaynak kayasından saprolite, saprolitten boksite dönüşüm evreleri. 34

Şekil 4.19: Kemiklitepe cevherleşmesi kaynak kaya – boksit geçişi (bakış K). 34

Şekil 4.20: Kemiklitepe boksit cevherleşmesine ait skeç harita. 35

Şekil 4.21: Kemiklitepe boksitinde limonite dönüşen pizolitler ve alterasyon boşlukları. 36

Şekil 4.22: Metamorfik işlemler sırasında deformasyon geçiren oolitler. 37

Şekil 4.23: Kızıldağ protolitine ait XRD deseni. 37

Şekil 4.24: Kızıldağ'a ait protolit, saprolit ve boksit'ine ait XRD desenleri. 38

Şekil 4.25: Kemiklitepe'ye ait protolit, saprolit ve boksit'ine ait XRD desenleri. 39

Şekil 4.26: Kızıldağ saprolitik bileşimli boksit içerisinde pizolitin genel görünümü. 40

Şekil 4.27: Kızıldağ cevherine ait pizolitlerin manyetit-hematit-maghemit minerallerinin görünümü (40X). 42

Şekil 4.28: Oolit tanesinin merkezinde yer alan mika, kalsit ve kuvars birlikteliği. 42

Şekil 4.29: Pizolitlerde gözlenen konsantrik halkalar (Al-Fe ardalanmaları). 43

Şekil 4.30: Kızıldağ cevherleşmesine ait Al_2O_3'e karşı majör oksitlerin ikili diyagramı. 47

Şekil 4.31: Kemiklitepe cevherleşmesine ait Al_2O_3'e karşı majör oksitlerin ikili diyagramı. 48

Şekil 4.32: Kızıldağ cevherleşmesine ait majör oksitlerin ikili diyagramları. 49

Şekil 4.33: Kemiklitepe cevherleşmesine ait majör oksitlerin ikili diyagramları. 50

Şekil 4.34: Kızıldağ cevherleşmesine ait % TiO_2'ye karşı Nb (ppm), Ta (ppm), Hf (ppm) ve Zr (ppm) ikili diyagramları. 51

Şekil 4.35: Kemiklitepe cevherleşmesine ait % TiO_2'ye karşı Nb (ppm), Ta (ppm), Hf (ppm) ve Zr (ppm) ikili diyagramları. 53

Şekil 4.36: Kızıldağ cevherleşmesine ait protolit, saprolit ve boksite ait Ta (ppm)'a karşı Zr (ppm), Zr (ppm)'karşı Hf (ppm), Nb (ppm)'a karşı, Ta (ppm) ve Zr (ppm)'nun ikili diyagramları. 54

Şekil 4.37: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmesine ait protolit saprolit ve boksitin Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2'nin oranlanması ile elde edilen Lateritleşme ölçütü olan Shellmann (1989)'un üçlü diyagramları.....54

Şekil 4.38: (a) Kızıldağ cevherleşmesine, (b) Kemiklitepe cevherleşmesine ait Üst Kıta Kabuğu değerlerine göre normalizasyon diyagramları (Taylor ve MacLennan, 1985).....55

Şekil 4.39: Kızıldağ ve Kemiklitepe boksitlerinin Cr/Ni oranına göre sınıflandırılması (Schroll & Sauer 1968).....56

Şekil 4.40: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmesinne ait SEM-EDX altında analiz yapılan noktaların görüntüleri. 57

Şekil 4.41: Kimyasal Alterasyon İndeksi denklemi.....59

Şekil 4.42: (a) Kızıldağ cevherleşmesi ve (b) Kemiklitepe boksit cevherleşemsi için hesaplanan Kütle Değişim hesaplamalarının normalleştirilmesi amacıyla hesaplanmış Zenginleştirme Faktörü (R^2) Eğrisi. 61

Şekil 4.43: Periyodik Tablo'da Lantanidler serisinin konumu. 65

Şekil 4.44: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerinin örneklerine ait Raman spektroskopisi tarama hatları (a: KD-07; b: KD-15; c: KD-15C; d: KD-17; e: KM-05; f: KM-15; g: KM-16D; h: KM-17).....70

Şekil 4.45: Kızıldağ cevherleşmesine ait Raman Spektroskopisi şemaları.....71

Şekil 4.46: (a) Kızıldağ cevherleşmesine, (b) Kemiklitepe cevherleşmesine ait, Kondrit, PAAS ve NASC'a göre NTE normalize diyagramı (PAAS: Post Archean Australian Shale, NASC: North American Shale Composit; MacLennan, 1989; (Gromet, Haskin, Korotev, & Dymek, 1984)(Gromet, Haskin, Korotev, & Dymek, 1984). 74

Şekil 4.47: Kızıldağ cevherleşmesine ait örneklerin WDS – XRF grafikleri. 76

Şekil 4.48: Kemiklitepe cevherleşmesine ait örneklerin WDS – XRF grafikleri. 77

Şekil 5.1: Fe-Al-, Eu-, Ce- ve La-H_2O'nun 25°C sıcaklıktaki Eh-pH çözünebilirlik diyagramı (Atlas of Eh-pH diagrams: Intercomparison of Thermodynamic Databases, 2005).....85

Şekil 0.1: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerinin mineral-NTE içerikleri ve NTE-içeren mineraller bakımından toparlanmış özeti…….87

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: Kızıldağ cevherleşmesine ait Jeokimya analiz sonuçları. 44

Tablo 4.2: Kemiklitepe cevherleşmesine ait jeokimya verileri. 45

Tablo 4.3: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerine ait örneklerin SEM-EDX analiz sonuçları. 58

Tablo 4.4: Kemiklitepe ve Kızıldağ cevherleşmelerine ait örneklerin Kimyasal Alterasyon İndeksi (% CIA) değerleri. 60

Tablo 4.5: Kızıldağ Cevherleşmesinin Kütle Değişim Değerleri. 62

Tablo 4.6: Kemiklitepe Cevherleşmesinin Kütle Değişim Değerleri. 63

Tablo 4.7: Nadir Toprak Elementleri'ne ait iyonik yarıçaplar ve elementlerin alabildikleri değerlikleri (Yarıçaplar Å cinsinden ifade edilmiştir; Shannon, 1976). 67

Tablo 4.8: Kemiklitepe cevherleşmesine ait protolit, saprolit ve boksite ait NTE değerlerinin kondrite göre normalize edilmesiyle elde edilen değerler. 67

Tablo 4.9: Kızıldağ cevherleşmesine ait kondrite göre normalize edilmiş değerler. 68

Tablo 4.10: Kızıldağ Kızıldağ boksit cevherleşmesi ve Kemiklitepe boksit yatağına ait örneklerin WD-XRF analiz sonuçları. 78

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

∑ : Toplam
Å : Amstrong
α : Alfa
obj : Objektif

Kısaltmalar **Açıklama**

NTE : Nadir Toprak Elementleri
CIA : Kimyasal Alterasyon İndeksi
KD : Kütle Değişimi
H-NTE : Hafif Nadir Toprak Elementleri
O-NTE : Orta Nadir Toprak Elementleri
A-NTE : Ağır Nadir Toprak Elementleri
TN : Tek Nikol
ÇN : Çift Nikol

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIZILDAĞ ve KEMİKLİTEPE (AYRANCI-KARAMAN) BOKSİT CEVHERLEŞMELERİ ve İLİŞKİLİ KAYNAK KAYAÇLARININ NADİR TOPRAK ELEMENT İÇERİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bihter HEPVİDİNLİ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Nurullah HANİLÇİ

Kızıldağ ve Kemiklitepe boksit cevherleşmeleri Orta Toroslarda yer almaktadır. Bölgede Aladağ Birliği, Namrun Tektonik Dilimi ve Bolkardağ Birliği bulunmaktadır. Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmeleri ise jeotektonik olarak Namrun Tektonik Dilimi içerisinde yer almaktadır.

Kızıldağ cevherleşmesinin bulunduğu bölgede tabanda rekristalize kireçtaşları-meta kireçtaşından oluşan Üst Permiyen yaşlı Karlığıntepe Formasyonu, üzerinde Alt Triyas yaşlı kalkşist-metaşeyllerden oluşan Kocatepe Formasyonu, en üstte ise Üst Triyas yaşlı dolomitik kireçtaşlarından oluşan Gökkandil Formasyonu yer almaktadır. Kemiklitepe cevherleşmesinin yer aldığı bölgede ise altta Üst Triyas yaşlı, tabanı rekristalize kireçtaşı-meta kireçtaşlarıyla başlayan ve meta şeyller ile devam eden Karagedik Formasyonu bulunmaktadır. Karagedik formasyonu ise Jura yaşlı rekristalize kireçtaşları tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir.

Kızıldağ boksit cevherleşmesi K44D doğrulultulu bir hat boyunca yaklaşık 1.6 km devamlılığa sahip, 5-30 metre görünür kalınlığı olan, koyu kırmızı- kahve renkli, masif, oolitik yapılı lateritik tip boksit cevherinden oluşmaktadır. Kemiklitepe cevherleşmesi D-B doğrultulu ve 1.5 km'lik bir hat boyunca birkaç lokasyonda lateritik ve karstik tip olarak gözlenmektedir. Cevher kahve renkli olup, masif, oolitik ve benekli cevher yapısına sahiptir.

Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerinde boksit cevherinin kaynak kayası (protolit), geçiş kayası (saprolit), ve boksit geçişleri yanal yönde ve düşey yönde kesintisiz ve net bir şekilde

gözlenebilmektedir. Kızıldağ cevherleşmesinin protoliti kuvars, amesit, şabazit, kaolinit, albit, allanit ve serit mineralleri; saproliti böhmit, diaspor, muskovit ve klorit; boksit zonu ise diaspor, hematit ve seriyanit minerallerinden oluşmaktadır. Kemiklitepe cevherleşmesinin protoliti kuvars, kalsit, profillit ve illit mineralleri; saprolit zonu böhmit, diaspor, hematit ve muskovit; boksit zonu ise diaspor, hematit, manyetit, maghemit, braicit (braitschite), seriyanit, allanit ve sebait mineralleri içermektedir.

Kızıldağ cevherleşmesinin protolitinde, saprolitinde ve boksitinde ortalama Al_2O_3 değerleri sırasıyla %27,32, %26,54 ve %44,7; ortalama Fe_2O_3 değerleri sırasıyla %10,58, %24,05 ve %26,51; ortalama SiO_2 değerleri sırasıyla %46,43, %34,03 ve %12,98; ortalama TiO_2 değerleri sırasıyla %1,57, %1,77 ve %2,76; Nadir Toprak Element (NTE) içeriği ise sırasıyla 1017 ppm, 883 ppm ve 750 ppm'dir.

Kemiklitepe cevherleşmesinin protolitinde, saprolitinde ve boksitinde ortalama Al_2O_3 değerleri sırasıyla %33,99, %46,38 ve %56,28; ortalama Fe2O3 değerleri sırasıyla %10, %12,12 ve %25; ortalama SiO_2 değerleri sırasıyla %41,48, %28,16 ve %2,84; ortalama TiO_2 değerleri sırasıyla %1,79, %2,2 ve %1,88, ortalama Nadir Toprak Element (NTE) içeriği ise sırasıyla 436 ppm, 423 ppm ve 1043 ppm'dir.

Ortalama 1071 ppm ∑NTE içeren Kızıldağ boksit cevherleşmesinin kaynak kayasında NTE içeren allanit ve serit minerallerinin varlığı Raman spektroskobisi çalışmaları ile tespit edilmiştir. Kızıldağ lateritik boksit zonunda ∑NTE'nin 750 ppm'e düşmesi allanit ve serit minerallerinin boksitleşme sürecinde duraylı olmadığını ve NTE'nin çözünerek ortamdan yıkandığına işaret etmektedir. Kemiklitepe boksit cevherleşmesinin protolitinde NTE içeren bir mineralin varlığı tespit edilememesine karşın boksitte braicit (braitschite), seriyanit, allanit ve sebait minerallerinin varlığı tespit edilmiştir. Kemiklitepe cevherleşmesinin protolitinin, boksitinden daha düşük miktarlarda ∑NTE içermesi; boksitleşme koşullarında olasılıkla kil minerallerinin bünyesinde var olan NTE'lerin iyon olarak ayrılarak boksitleşme sürecinde cevheri içinde kendi minerallerini oluşturduğunu göstermektedir.

Mayıs 2019, 108 sayfa.

Anahtar kelimeler: Nadir Toprak Elementleri, Boksit, Ayrancı, Karaman

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION of RARE EARTH ELEMENT CONTENTS of THE KIZILDAĞ and KEMIKLITEPE (AYRANCI-KARAMAN) BAUXITE MINERALIZATIONS and RELATED SOURCE ROCKS

Bihter HEPVİDİNLİ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Geological Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Nurullah HANİLÇİ

Kızıldağ and Kemiklitepe bauxite mineralizations are located in the Central Tauride. In this region where the study area is located, there are Aladağ Unit, Namrun Tectonic Section and Bolkardağ Unit. The Kızıldağ and Kemiklitepe mineralizations are geotectonically located within the Namrun Tectonic Unit. In the region where Kızıldağ mineralization is located, the Upper Permian Karlığıntepe Formation is called the recrystallized limestones-meta limestones, the Lower Triassic aged Calcschist-metaseyl formation is formed of Kocatepe Formation, and the Upper Triassic dolomitic limestones of the Gökkandil Formation are at the top. In the region where Kemiklitepe mineralization is located, there is the Karagedik Formation, which starts with the Upper Triassic aged, recrystallized limestone-meta limestones and continues with meta shales. On the Karagedik formation, Jurassic aged recrystallized limestones are unconformably overlain.

Kızıldağ mineralization consists of deep red-brown colored, massive, oolitic and bauxite ore with a thickness of 1.6 km and thickness of 5 to 30 meters. Kemiklitepe mineralization is composed of brown-colored, oolithic, spotted bauxite ore with a E-W direction, continuity of 1.5 kilometers and an average width of 200 meters. The source rock (protolite), transition rock (saprolite), and bauxite deposits of the bauxite ore in Kızıldağ and Kemiklitepe mineralizations can be observed continuously and clearly in the lateral direction and in the vertical direction.

The average Al_2O_3 ratio in protolith, saprolite and bauxite of Kızıldağ mineralization is 27,32%, 26,54% and 44,70% respectively. The mean Fe_2O_3 values were; The average SiO_2 ratio is 10.58%, 24.05% and 26.51%. 46,43%, 34,03% and 12,98%. The mean TiO_2 values were; 1.57%, 1.77% and 2.76%.

Rare Earth Element (REE) content is 1017 ppm in protolite, 883 ppm in saprolite and 750 ppm in bauxite. The mineralogical composition of the protolith of the Kizildag bauxite was determined by quartz, amesite, chabazite, kaolinite, albite, allanite, serhite, diaspor, muscovite, chlorite and bauxite mineralization in seritic saprolite. The average Al_2O_3 ratio in protolith, saprolite and bauxite of Kemiklitepe mineralization was 33,99%, 46,38% and 56,28%, respectively. The mean Fe_2O_3 values were; 10%, 12.12% and 25%. The mean SiO_2 ratio is; 41,48%, 28,16% and 2,84%. The mean TiO_2 values were; 1.79%, 2.2% and 1.88%. The Rare Earth Element (REE) content is 436 ppm in protolite, 423 ppm in saprolite and 1043 ppm in bauxite. In the mineralogical composition of the protolite of bonyite, quartz, calcite, profillite, illite, saprolite bismuth, diaspor, hematite, muscovite and bauxite mineralization, diasporic, hematite, magnetite, maghemite, braitshist, seriyanite, allanite, sebaitite minerals were determined. In the investigations, allanite and serite minerals in the protolite constituting Kızıldağ are a source for REE.

However, the decrease in the total REE values observed in the transition to the bottom shows that these minerals are not stable under the conditions of bauxisation. In Kemiklitepe mineralization, the presence of REE-containing minerals in protolite could not be determined, but the presence of braitshist, seryanite, allanite and sebaitic minerals were determined in boxing. This shows that the protolith of the Kemikşitepe mineralization contains lower amounts of REE than its bauxite; In the mineralization conditions of the clay minerals existing in the body of Si, K, Ca and Mg, such as mobility, high-ion separation of the minerals, secondary enrichment formed their own minerals.

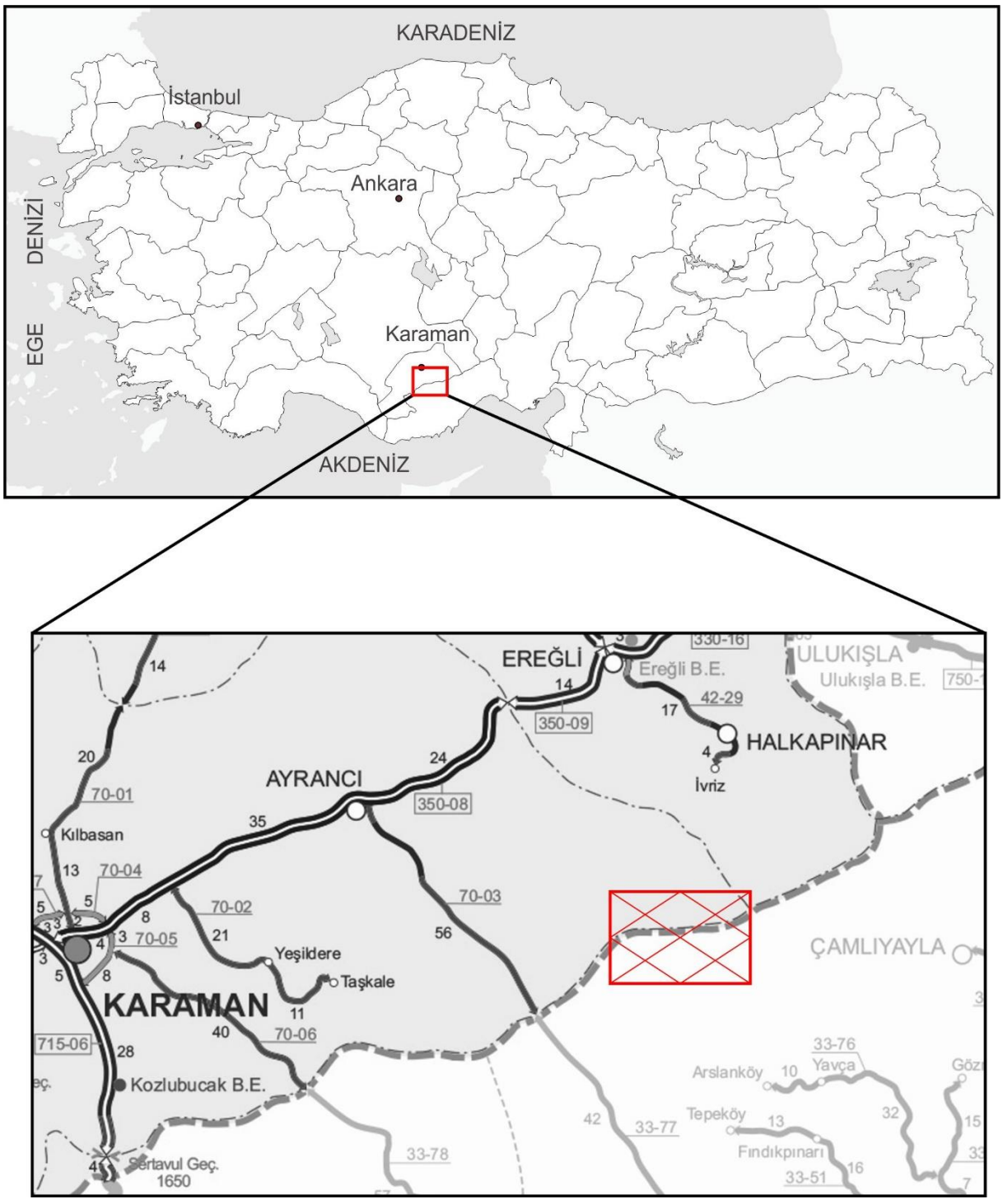
May 2019, 108 pages.

Keywords: Ayrancı, Karaman, Bauxite, Rare Earth Elements

1. GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMA ALANININ COĞRAFİ KONUMU

İnceleme alanı Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde bulunmakta olup, Karaman ilinin Ayrancı ilçesine yakın konumdadır (Şekil 1.1). Karaman ili 37,17593 enlem ve 33,228748 boylamlarında İç Anadolu Bölgesinin güneyinde yer alır. Kuzeyde Konya, güneyde Mersin doğuda Ereğli yer almaktadır. Güneydoğusunda Silifke, batıda ise Antalya yer alır. Deniz seviyesinden yüksekliği 1033 metre olup, yüz ölçümü 9590 km^2'dir (http://www.karamanozelidare.gov.tr/cografi-konum). Karaman ilinin altı ilçesinden biri olan Ayrancı'nın 1,118 metre rakımı bulunmaktadır. Çalışma alanları Ayrancı'ya ve Mersin Çamlıyayla'ya yakın konumdadır. Kızıldağ cevherleşmesi'nin yüksekliği deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 2138 metre, Kemiklitepe Cevherleşmesinin yüksekliği ise 2356 metredir. 1/25000 ölçekli topografik haritaya göre Kızıldağ cevherleşmesi N32-c1 paftasında, Kemiklitepe cevherleşmesi ise N31-c2 ve N32-d1 paftasında yer almaktadır.



Şekil 1.1: Çalışma Alanının Coğrafi Konumu bulduru haritası.

1.1.1. Topoğrafya

Çalışma alanı olan Ayrancı İlçesinde; Musa, Bolkar, Çakırdağ, Bozoğlan, Meke dağlar dizisi bulunmaktadır. Ayrıca Mahlaç Tepesi ve Baştepe, Kızıltepe adlı üç koni, Toroslarda Hacıbaba Dağı, Musa, Çavdarlı ve Yülek Tepeleri ile Geyikdağı ve Bolkardağları bulunmaktadır.

Karaman ili genel olarak ova görünümünde olup yüz ölçümü toplam 1400 km^2 olan Karaman ve Ayrancı Ovaları bulunmaktadır. İnceleme alanı civarında yer alan Ayrancı Ovası ise deniz seviyesinden 1020 m yükseklikte olup, 375 km^2 alana sahiptir.

Kızıldağ cevherleşmesinin bulunduğu alanda en yüksek tepe 2665 m ile Kızıl Dağ'dır. Bunun yanı sıra; 2541 m Kızıldağ Ucu Tepe, 2327 m Kayabaşı Tepe 2461 m İki Kuyu Tepe bulunmaktadır. Kemiklitepe cevherleşmesinin yer aldığı bölgede ise en yüksek tepe 2281 m ile Kabak Tepe'dir. Diğer yükseltiler; 2247 m ile Tek Mezar Tepe, 2265 m yükseklikte Kemikli Tepe'dir.

1.1.2. Ulaşım

İnceleme alanı Karaman İli Ayrancı İlçesi'nin 44 km kuzey batısında yer almaktadır. Karaman'dan Ayrancı'ya 46 km asfalt yol ile ulaşılmaktadır. İnceleme alanına ulaşım en yakın Ayrancı ilçesine bağlı ve ilçeye olan uzaklığı 30 km olan Çatköy'den sağlanmaktadır (Şekil 1.2). Kemiklitepe cevherleşmesinin olduğu bölgeye ulaşım Çatköy'den sonra 12.6 km tali yol ile devam etmektedir. Bölgeye ulaşımın bir kısmı ise araç için zor ancak orman yangın yolu için açılmış yollardan sağlanmaktadır. Kızıldağ cevherleşmesinin bulunduğu bölgeye ulaşım da Çatköy'den sağlanmakta olup köye 41 km uzaklıktadır. Alana ulaşım bölgede meracılık için açılan yollardan sağlanmaktadır.

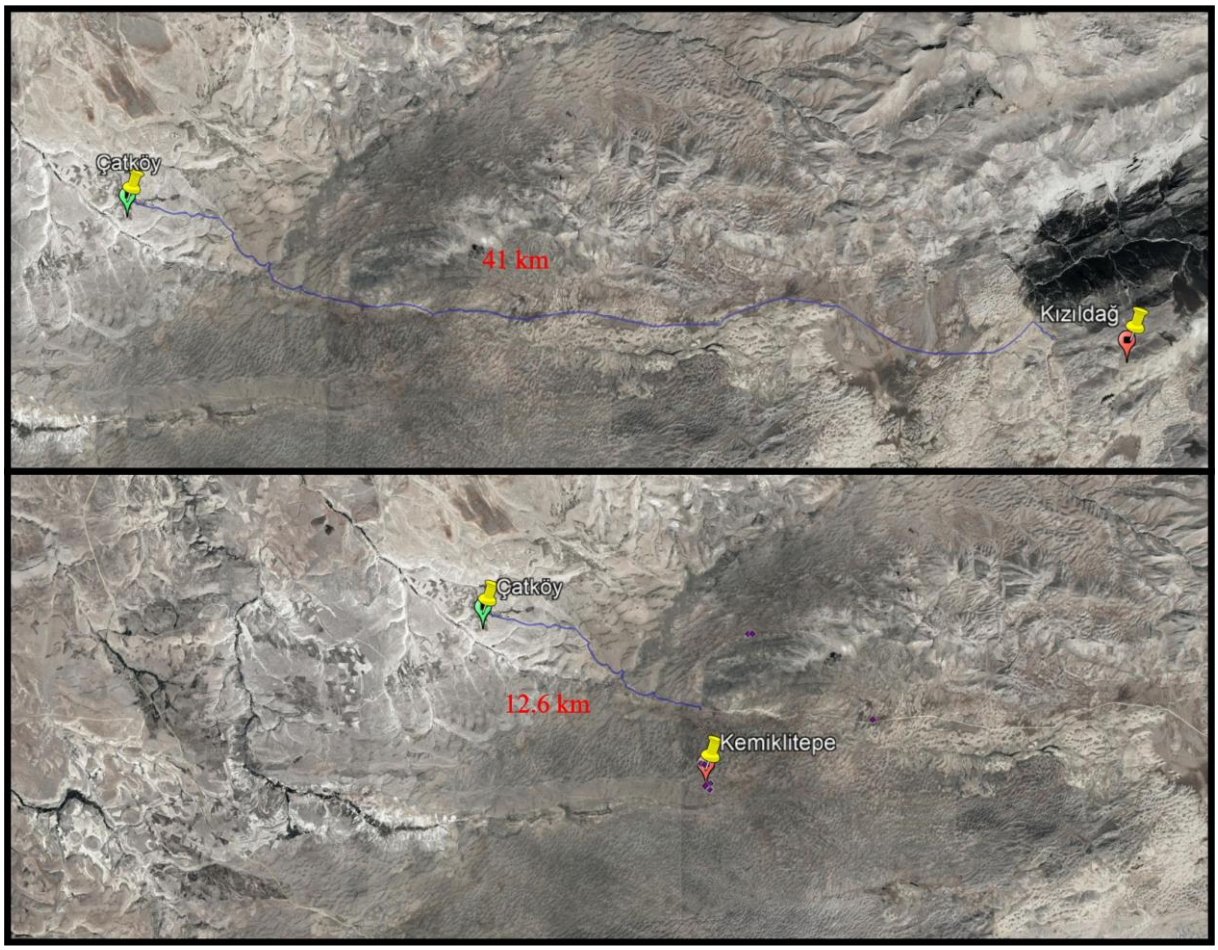
1.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanının yer aldığı Karaman ilinin iklimi İç Anadolu'nun genel iklim yapısına benzer şekilde, kışların soğuk ve kar yağışlı yaz aylarının ise sıcak ve kurak geçtiği karasal iklim özelliklerini taşır. İnceleme alanlarının bulunduğu ilin güney kesimlerinde rakımın kısmen az olduğu Orta Toroslarda, yaz aylarının sıcak ve kurak, kış aylarının ise ılık ve yağışlı geçtiği Akdeniz iklimi gözlenebilir. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 21,7 °C, yağış oranı ortalama 346,3 kg/m^2'dir.

1.1.4. Hidrografya

İnceleme alanının bulunduğu Ayrancı İlçesinde; Milli Park kapsamına alınmış, rakımı 990 m, yüzölçümü 29.8 km^2 olan, yaklaşık üçyüz kuş türüne ev sahipliği yapan Akgöl ve yine aynı sınırlar içerisinde sulama amacıyla yapılmış Ayrancı barajı, 30 hektarlık sulama kapasitesine

sahip Dokuz Yol Gölet'i bulunmaktadır. Kızıldağ cevherleşmesi civarında aynı zamanda bölgenin en önemli akarsuyu olan Cocakdere bulunmaktadır. Cocakdere vadi içerisinde kış aylarında suyun debisi azalmakta yazın ise artmaktadır. Bunun dışında kışın akan ancak yaz ayında kuruyan İki Kuyu dere ile 9 adet de kurak dere bulunmaktadır, Kızıldağ'dan doğan ve kuzey batı (KB) yönelimli dereler artık faaliyet göstermemektedir. Kemiklitepe cevherleşmesinin bulunduğu alanda ise akarsu veya dere bulunmamaktadır.



Şekil 1.2: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerinin en yakın ulaşım yeri olan Çatköy'e olan uzaklıkları.

1.1.5. Ekonomik Durum

Karaman ilinin 2018 nüfus verilerine göre yaşayan sayısı 251.913'tür. Karaman ekonomisi ormancılık, hayvancılık, ziraat, el sanatları ve halıcılık alanları üzerine kuruludur. Tarım alanlarının %71'i başlıca arpa, nohut, buğday, fasulye, şeker pancarı ürünlerinden oluşmaktadır. Ayrancı ilçesinde ise mera ve çayırlık arazilerin varlığı büyükbaş-küçükbaş hayvancılığa oldukça elverişlidir. Meracılık yapılan Ayrancı ovasında yerli halk yaz aylarında

Yörük çadırları kurarak hayvancılık yapmaktadır. Ayrıca iklimin uygunluğu ve bitki örtüsünün çeşitliliği arıcılık yapılmasına da imkân vermektedir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Dünya NTE rezervlerinin %.92'sini elinde bulunduran Çin'in 2035 yılında NTE üretimini durduracağını belirtmesi üzerine dünyada bir kriz meydana geldi. Stratejik ve kritik bir öneme sahip olan NTE'nin tek bir ülke tarafından kontrol edilmesinin sıkıntılarını dikkate alan Avrupa Birliği Ülkeleri ve ABD başta olmak üzere birçok ülke NTE kaynaklarının araştırılmasına hız vermiştir. Bu süreçte ülkemizde de son 10 yıldır NTE araştırmaları hız kazanmıştır. Bu kapsamda ülkemizdeki hidrotermal, karbonatit ilişkili (Kızılcaören-Eskişehir) veya Plaser tip (Çanaklı-Burdur) cevherleşmeler çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır (Öztürk ve diğ. 2019a; Öztürk ve diğ., 2019b). Günümüzde NTE eldesi, (i) gelişen teknoloji ile boksit cevherinin metalürji atığı olan "Kırmızı Çamur"lardan ve (ii) iyon adsorbsiyon tipi killerden elde edilebilmektedir. Bu kapsamda ülkemizdeki boksitler ve killer de NTE açısından potansiyel teşkil etmiş ve önem kazanmıştır. İnceleme alanının içinde yer aldığı Bolkardağ boksit provensindeki boksit cevherleşmeleri, boksitin kaynak kayacı (protolit) ve saprolitleri Hanilçi (2013) tarafından ilk kez çalışılmış ve bölgedeki Kızıldağ lateritik boksitlerin protolitleri ile Kemiklitepe boksit cevherinin NTE içerklerinin yüksek olduğu ortaya konmuştur. Ancak, söz konusu NTE içeriği yüksek olan Kızıldağ protoliti ve Kemiklitepe boksit cevherindeki NTE minerallerinin neler olduğu tespit edilememiştir. Bu tespitler ışığında tezin amacı;

Bu çalışmada;

- Kızıldağ protolitinde yüksek NTE içeriği olduğu halde boksitleşme sürecinde Kızıldağ saprolit ve boksitinde NTE içeriklerinin azalmasının nedenlerinin ortaya konulması,

- Kızıldağ protoliti ile Kemiklitepe boksitinde NTE içeren minerallerin tespit edilmesi,

- Kemiklitepe protolitinin düşük NTE içermesine karşın boksitindeki yüksek NTE içeriğinin nedenlerinin belirlenmesi

Olarak çalışılmıştır.

Bölgede yapılan eski incelemelerden faydalanarak ve dünya çapındaki benzer yataklardan ve çalışmalardan esinlenerek, sahada yer alan boksitin doğru konumlandırılması, Jeokimyasal modellemenin doğru yapılması, çeşitli istatistiksel yöntemlerin kullanılarak modellenmesi ve tartışılması açısından önemli bir konumdadır.

2.2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnceleme alanı ve civarında yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu bölgenin jeolojisi ve yapısal özelliklerine yöneliktir. Bolkardağ bölgesinde bulunan boksit cevherleşmelerinin ise birkaç çalışma kapsamında bölgenin jeodinamik evrimi (Alan ve diğ., 2007), boksitlerin oluşumu (Hanilçi, 2013) ve sınırlı bir alanda boksitlerin NTE içeriklerine genel bir bakışı (Öztürk ve diğ., 2018) içeren incelemeler farklı araştırmacılar tarafından yapılmıştır.

Kronolojik olarak;

Ayrancı – Karaman Bölgesi Jeoloji;

Blumenthal (1956); Bolkar Dağlarını çalışmış ve 'Yüksek Bolkardağ' olarak adlandırdığı, dağ kütlesinde rekristalize kireçtaşları ile şistlerin oluşumuna değinmiştir. Tersiyer yaşlı birimlerden de söz eden yazar "Koşan Ekayı " adını verdiği bindirme hattından da bahsetmiştir.

Demirtaşlı vd. (1973), Bölgede yaptığı çalışmada kuzeyde Bolkardağ Birliği ve güneyde Orta Toros olarak iki farklı tektonik birim ayırtlamış, Bolkardağ Birliği'nin düşük dereceli metamorfizma geçirmiş kireçtaşı ve şeyller ile temsil edildiğini belirterek bu birimlerin Permiyen ve Geç Kretase yaşında olduğunu ortaya koymuştur.

Özgül, (1976); Kambriyen ile Tersiyer zaman aralığında çökelmiş olan birimleri inceleyerek Bolkardağı Birliği, Aladağ Birliği, Geyik dağı Birliği, Alanya Birliği, Bozkır Birliği ve Antalya Birliği adlarıyla birliklere ayırmıştır. Bolkardağı, Aladağ, Geyikdağı ve Alanya birliklerinin karbonatlar ile kırıntılı kayaçlarından, Bozkır ve Antalya birliklerinin derin deniz çökellerinden, volkanik kayaçlardan oluştuğunu belirtmiştir.

Gül ve diğ., (1984); Bolkar Dağı Birliği ve Namrun Tektonik Diliminin Geç Kretase sonrasındaki naplaşma ile ilişkili olarak gömülme metamorfizması geçirdiğini ileri sürmüştür.

Demirtaşlı ve diğ., (1986); Yaptıkları çalışmada bölgeyi "Bolkardağları" ve "Orta Toros Birliği" olarak ikiye ayırmışlardır. Bölgede yer alan kayaları şist ve rekristalize kireçtaşı olarak ayırt etmiş, metamorfizma geçirmiş birimlerin de Permiyen–Geç Kretase yaşında olduklarını söylemişlerdir.

Özgül, (1997); Toroslarda Geyik Dağı Birliği, Bolkar Dağı Birliği, Aladağ Birliği, Bozkır Birliği ile Dipsiz Göl Karışığı'na ait kayaçları irdelemişlerdir. Bu birliklerinin stratigrafik özelliklerini ayrıntılı şekilde ortaya koymuş, Erken Triyas-Senoniyen aralığında güneyden kuzeye; Geyik dağı, Aladağ, Bolkar dağı ve Bozkır Birliği sırasıyla platformdan okyanusa doğru bir havza oluşturduklarını ifade etmişlerdir.

Alan ve diğ. (2005); Namrun Tektonik Dilimi'nin stratigrafisini ortaya koyarak bunların Aladağ Birliği'nin metamorfik karşılığının olduğunu belirtmiştir.

Bilgiç ve Gökten (2005); Bolkar dağlarında, yaptıkları çalışmada Mesozoyik yaşlı iki tektonostratigrafik birim ayrıtlayarak Triyas-Kretase yaşlı birimler üzerine Eğriçayır ofiyolitik melanjının ve Triyas-Kretase yaşlı karbonatların geldiğini, Tersiyer yaşlı birimlerin ise açısal uyumsuzlukla Mesozoyik birimleri örttüğünü tespit etmişlerdir.

Hanilçi ve diğ. (2006); Bolkardağı boksit provensindeki boksitleri detaylı bir şekilde inceleyerek ilk kez boksitlerin kaynak kayaçlarının Alt ve Üst Triyas yaşlı şistler olduğunu ileri sürmüştür. Boksitlerin oluşumlarından sonra geçirdikleri metamorfizma derecesinin Bolkar Dağı Birliği, Namrun Tektonik Dilimi ve Aladağ Birliği'nde farklılıklar gösterdiklerini ve buna bağlı olarak da ilkselde böhmitik olan boksitlerin metamorfizmanın derecesine göre diyaspora dönüştüklerini tespit etmiştir.

Ulu, (2006); Yazar, çalışmasında temele ait kayaların Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı, bazı yerlerde ise Paleosen-Eosen yaşlı "Paleo-otokton" örtüden oluştuğunu ileri sürmüştür. Temel kayaların altında Aladağ Birliği, üzerinde Bolkar Dağı Birliği ve onun da üzerinde Bozkır Birliği'nin tektonik olarak yer aldığını belirtmiştir.

Boksit ve Nadir Toprak Elementleri ile İlgili Eski İncelemeler

Ayhan ve Karadağ, (1985), Şarkikaraağaç (Isparta) güneyinde bulunan boksitli demir ve demirli boksit yataklarının jeolojisi ve oluşumunu inceleyen yazarlar, bölgede kökensel olarak

ilişkili olmayan ve farklı litolojik birimler içinde çökelen iki cevher kuşağının varlığını ortaya koymuşlardır. Boksit zuhurlarını; a) Allokton kökenli boksitli demir zuhurları b) Otokton kökenli demirli boksit olarak ikiye ayırmışlardır.

Öncel, (1995), Yazar doktora çalışmasında Şarkikaraağaç-Yalvaç (Isparta) arasının jeolojisi ve boksit zuhurlarının mineralojik, petrografik, jeokimyasal incelemiştir. Boksitlerin birbirlerini takip eden üç farklı dolerit seviyesi üzerinde yer aldıklarını; doleritlerle ardalanmalı olarak bulunan bu otokton konumlu lateritlerin de; her dolerit gelişiminden sonra ortamda lateritleşme sonucu geliştiklerini ortaya koymuştur

Öztürk ve diğ. (2002), Torosların ve Türkiyenin önemli boksit yataklarından olan Doğankuzu ve Mortaş yataklarının Üst Kretase yaşlı, karstlaşma ile ilişkili uyumsuzluk tipi boksit yatağını olduğunu belirtmişlerdir. Boksitin kalınlığının 1 ila 40 m arasında değişir ve böhmit, hematit, pirit, markazit, anataz, diaspore, alçıtaşı, kaolinit ve smektitten oluştuğunu ortaya koymuşlardır.

Hanilçi, (2013); Bölgede yer alan boksitlerin konumlarını belirlemiş ve kaynak kayaçlarının şeyl olduğunu tespit etmiştir. Bununla birlikte boksit dönüşümünü ve süreçlerini, boksitin geçirdiği Jeokimyasal evrimi açıklamıştır.

Hanilçi (2019); Türkiye'nin boksit potansiyelini ortaya koyduğu çalışmada boksit yataklarını 8 provenste irdelemiş bunlardan 6 tanesinin Toros kuşağı içerisinde, bir tanesinin Arap platformu bir tanesinin de Pontid tektonik kuşağı içerisinde konumlandığını belirtmiştir. Boksit yataklarını; Böhmitik Boksit, Diasporitik boksit ve Demirliboksit olmak üzere üçe ayırmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında boksit cevheri ve yan kayaçlarında toplam 65 adet örnek alınmıştır. Derlenen örnekler İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa (İÜC), Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Yatakları-Jeokimya Anabilim Dalı'nda çeşitli analitik çalışmalar için hazırlanmıştır. Cevher ve yan kayaç örneklerinin mineralojik bileşimlerinin tayini için hazırlanan ince kesit ve parlak kesitler ile öğütülerek toz haline getirilmiş örneklerin X-Işını Kırınım Desenleri (XRD) İÜC Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde yapılmıştır. Cevher ve yankayaçların Jeokimyasal analizleri Kanada Acme Breau Veritas Commodities Canada Ltd. laboratuvarında (ACME) yapılmıştır. SEM-EDX analizleri İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Kültür Varlıkları Daire Başkanlığı, Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü (KUDEB)'nde, XRF ve Raman Spektroskobisi çalışmaları ise ise Koç Üniversitesi, Yüzey Araştırmaları Merkezi (KUYTAM)'da yapılmış laboratuvarlarda elde edilen analitik veriler yorumlanmıştır.

3.1. SAHA ÇALIŞMALARI

Saha çalışmaları 2015 yılı Temmuz ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Sahada yapılan incelemelerde MTA tarafından hazırlanan 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları revize edilmiş, cevherleşmenin bulunduğu alanların ise daha büyük ölçekli skech haritaları hazırlanmıştır. Saha çalışması sırasında örnekleme, inceleme alanındaki kayaç ve cevherleşmeleri temsil edecek şekilde yapılmıştır. İnceleme alanında Kızıldağ ve kemiklitepe boksit cevherleşmelerinde kaynak kayadan (protolit) yarı boksitleşmiş (saprolit) ve boksit cevherine geçiş aşamaları adım adım gözlenebildiği için protolit, saprolit ve boksit arasındaki yanal ve düşey geçişleri dikkate alınarak sistematik örnek alınmıştır. Cevher zonu ve cevherin kaynak kayacının yanı sıra tabanda ve tavanda yer alan kayaçlardan da örneklemeler yapılmıştır. Sahada cevherin konumunu ve yan kaya ilişkisini gösteren jeolojik enine kesitler çizilmiş ve söz konusu ilişkiler fotoğraflanmıştır.

3.2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

İnceleme alanından alınan kayaç ve cevher örneklerinde, cevher oluşum süreçlerini ve NTE'lerin içeriklerini belirlemek için çeşitli laboratuvar teknikleri kullanılarak analitik veriler üretilmiştir.

3.2.1. Mineralojik-Petrografik İncelemeler

Mineralojik-petrografik incelemeler için araziden derlenen örneklerden temsil niteliği olan örnekler seçilmiş ve 2 cm eninde bir parça kesilmiştir. Kesilen parçadan boyutları 3x2x1cm'lik bir dilim hazırlanmıştır. Suda yıkanarak örnekler 30 °C sıcaklıktaki etüvde bir gece kurutulmuştur. Çıkarılan dilimlerin yüzeyleri aseton ile temizlenerek lam üzerine Struers marka epoksi ile yapıştırılmıştır. Bir gece kuruyan örnekler Struers- Discoplan TS marka ince kesit makinesinde 20 μ'a kadar inceltilmiştir. Hazırlanan örnekler inceleme için Leica DP200 marka alttan aydınlatmalı mikroskop kullanılmış, fotoğraflar ise LAS v4.4 adlı program ile alınmıştır.

3.2.2. Cevher Mikroskobi Çalışmaları

Cevher örnekleri İU-C Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden yatakları-Jeokimya Anabilim Dalındaki kesme ve parlatma cihazları kullanılarak hazırlanmıştır. Bu amaç için örneklerden 3x2x1cm boyutlarında dilim hazırlanmıştır. Hazırlanan dilimlerin bir verya iki yüzeyi Al_2O_3 ve SiC tozlarıyla aşındırılarak düzeltilmiş ve daha sonra Struers RotoPOL parlatma cihazıyla örneklerin bir yüzleri 5 aşamada elmas bazlı solüsyonlar kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılmış örnekler üstten aydınlatmalı cevher mikroskobunda incelenerek, mineral tayinleri yapılmıştır.

3.2.3. X-ışını Kırınım Deseni Çalışmaları

Cevher mikroskobisi ve polarizan mikroskota tayin edilemeyen küçük taneli minerallerin tayini için XRD cihazı kullanılarak X-Işını Kırınım Desenleri çekilmiştir. Bu analiz için örnekler Retsch marka havanlı öğütme cihazıyla tane boyu 300 mesh olana kadar öğütülmüş ve örneklerden 5'er gram alınmıştır. Örnekler Etüvde 12 saat 40°C'de bekletilerek kurutulmuştur. Analiz için hazır olan örnekler Philips PW-1730 cihazında (Cu Kα Å anot, Bi filtre, 36kV gerilim, 20mA akım, 2θ=1°/dk gonyometre hızı, 1cm/dk sabit ve 2θ=5°-60°) analizleri yapılmıştır. 16 örnekten elde edilen difraktogramlar Philips High Score Plus yazılımı ile değerlendirilmiştir.

3.2.4. Jeokimyasal İncelemeler

Saha çalışmalarında alınan kayaçları en iyi temsil edecek şekilde kayaçlardan uygun miktardaki numuneler Retsch marka havanlı öğütme cihazıyla tane boyu 700 mesh boyutunda öğütülmüştür. Öğütülen örneklerden 100'er gram tartılarak hava almayacak şekilde paketlenmiş ve analizi yapılması için Kanada'daki Acme Breau Veritas Commodities Ltd. laboratuvarına gönderilmiştir. 22 adet örnekten; Ana oksitler (SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, MnO, CaO, K_2O, Na_2O, P_2O_5), geçiş metalleri (Cr, Ni, V, Cu, Pb), iz elementleri (Ta, Nb, Hf, Zr, Ti Y, Th, U, Rb, Cs, Ba, Sr, Tl, Ga, As, Sb, Bi, In, Sn, W, Mo) ve Nadir Toprak Elementlerin (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) analizi yapılmıştır. Örneklerin ateşte zayiat (LOI) belirlendikten sonra ana oksitler ICP-OES cihazında, iz elementler ve NTE'ler ise ICP-MS cihazında ölçülmüştür.

3.2.5. SEM-EDX Çalışmaları

Taramalı Elektron Mikroskobu-Elektron Dağılımlı X-ışını spektrofotometresi (SEM-EDX) analizleri için bir yüzeyi parlatılmış, 2x3x2 mm'lik örnekler kullanılmıştır. Örneklerin hazırlama işlemleri İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Yatakları-Jeokimya Anabilim Dalı örnek hazırlama laboratuvarında yapılmıştır. Hazırlanan örneklerin analizleri ise KUDEB'in laboratuvarında yapılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM): Carl Zeiss marka ve EVO LS 10 model cihaza monte edilmiş, Bruker marka, Quantax 200 model Enerji Dağılımlı X- Işını Spektrofotometresi (EDX) kullanılmıştır. Elde eidlen analitik veriler Esprit v1.8.5 programı kullanılarak yorumlanmıştır.

3.2.6. XRF Çalışmaları

Dalga Boyu Ayırımlı (WD) XRF çalışmaları; Genel iki XRF tekniğinden biri olup, elemental analiz için kullanılmaktadır. X ışını kullanarak fotonların kopartılıp bir anottan diğer anota doğru geçmesini sağlanmaktadır, bu esnada X-ışını yayılan kristallerin kafes yapıları kullanılarak, açısal olarak farklı düşen ışınların her biri farklı bir dalga boyunda yansımaktadırlar. Bu yansıyan dalga boylarını kullanarak mineral analizi yapılmaktadır. Bu analiz için örnekler Koç Üniversitesi, Yüzey Araştırmaları Merkezi (KUYTAM) laboratuvarlarında hazırlanmış ve analizleri ise Bruker S8 Tiger WD-XRF cihazında yapılmıştır.

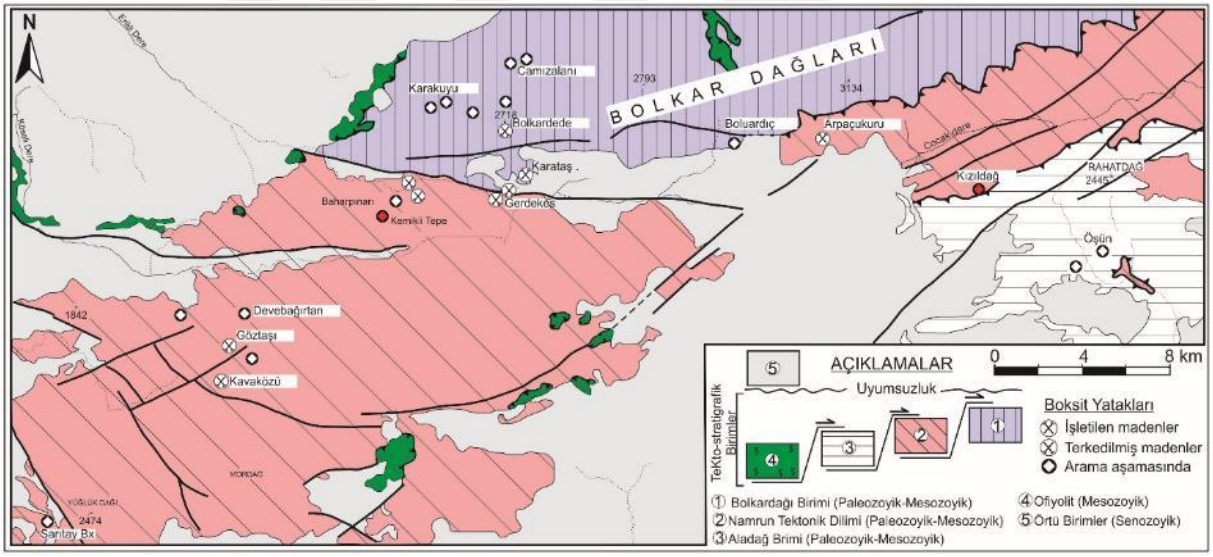
3.2.7. Raman Spektroskopisi Çalışmaları

Raman spektroskopisi çalışmaları; Monokromatik ışınından oluşan bir lazer kaynağı örnekteki molekülleri Rayleigh ve Raman saçılması yapmaya zorlamaktadır. Raman saçılımı, moleküllerin titreşimden kaynaklı enerjileri ile alakalı bilgi vermektedir. Kristal halde olan bir malzemenin karakteri için kullanılmaktadır. Bu yönteme "Raman spektroskopisi" denir. KUYTAM'daki yapılan analiz için kullanılan cihaz Renishaw inVia konfokal Raman mikroskobu, 532 nm dalga boyu, yeşil renkli lazer, 2000 atım, 1 mikron derinlik olarak yapılmıştır. Elde edilen veriler ise Spectragryph 4.6 programı ile RUFF database kullanılarak yorumlanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. BÖLGESEL JEOLOJİ

İnceleme alanının da içinde bulunduğu Bolkardağı bölgesi Alan ve diğ. (2007) tarafından farklı yaş ve kayaç türlerini içeren, farklı jeotektonik konuma sahip tektono-stratigrafik birliklere ayıtlanmıştır (Şekil 4.1). Orta Toroslar tabanda görece otokton Geyikdağı Birliği (GDB) ile başlar ve üzerinde yukarıya doğru allokton konumlu Bolkardağ Birliği (BDB), Namrun Tektonik Dilimi (NTD), Aladağ Birliği (AB) ve Bozkır Birliği (BB) yer almaktadır. Bu tektonostratigrafik birliklerin de üzerinde Pozantı-Karsantı ofiyolit napı yer almakta ve bunların tamamı ise Tersiyer yaşlı çökeller tarafından uyumsuzlukla örtülmeketdir. İnceleme alanının yer adığı bölgede ise BDB, NTD tarafından NTD ise AB tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Bolkardağı bölgesinde yer alan tektono-stratigrafik birliklerin yayılımı (Alan ve diğ., 2007) ve içerisindeki boksit cevherleşmelerinin, bölgede yer alan birliklere göre dağılımları (Hanilçi, 2013).

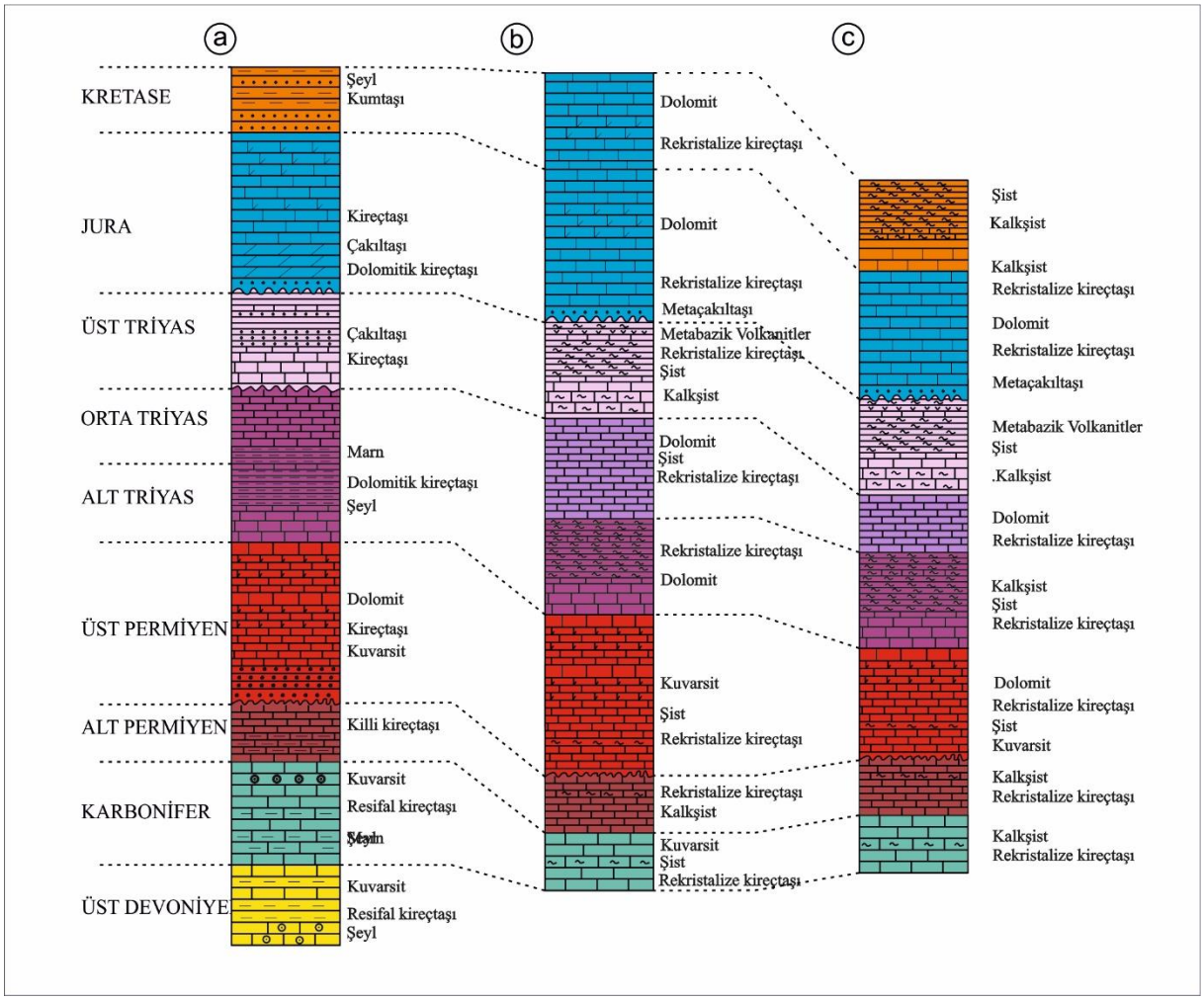
Özgül (1976) tarafından tanımlanan "Bolkar Dağı Birliği" Karbonifer - Geç Kretase aralığında çökelmiş kayaçlarla temsil edilmektedir. BDB, tabanda rekristalize kireçtaşlarından oluşan Karbonifer yaşlı Aykuruşdere formasyonu ile başlamakta Alt Permiyen yaşlı Erenlersırtı formasyonu, Üst Permiyen yaşlı Dumlutepe formasyonu, Şistlerden oluşan Alt-Orta Triyas yaşlı Bastırık formasyonu, rekristalize kireçtaşlarından oluşan Orta-Üst Triyas yaşlı Tozlutepe formasyonu, Üst Triyas yaşlı şistlerin egemen olduğu Metrisyayla formasyonu, Jura-Kretase

yaşlı reskristalize kireçtaşlarından oluşan Koçakkaletepe formasyonu ile devam etmektedir. Üzerinde şist, kalkşist ve rekristalize kireçtaşından oluşan Üst Kretase yaşlı Kaledere formasyonu bulunmaktadır (Şekil 4.2).

Namrun Tektonik Dilimi, Gül ve diğ., (1984) tarafından adlandırılmış olup Karbonifer-Geç Kretase aralığında çökelmiş ve metamorfizma geçirmiş birimlerden oluşmaktadır. Şelf karbonatları ile kırıntılı kaya birimlerini içeren NTD, altındaki ve üstündeki birlikler ile tektonik dokanaklıdır. NTD ilksel stratigrafisi ile üstünde yer alan Aladağ Birliği'ne benzemektedir (Şekil4.4). NTD, Koşan ekayı boyunca D-GB yönlü, Ecemiş Fay zonuna kadar uzanmaktadır (Blumenthal, 1956).

Namrun Tektonik Dilimi, alttan üste rekristalize kireçtaşı, şist, kalkşistlerden oluşan Karbonifer yaşlı Ardıçlı pınar formasyonu, rekristalize kireçtaşından oluşan Erken Permiyen yaşlı Çiğdemgölü formasyonu, kuvarsitten oluşan Geç Permiyen yaşlı Başoluk formasyonu, rekristalize kireçtaşından oluşan Geç Permiyen yaşlı Karlığıntepe formasyonu, şist, kalkşistten oluşan Erken-Orta Triyas yaşlı Kocatepe formasyonu, rekristalize dolomitik kireçtaşından oluşan Orta-Geç Triyas yaşlı Gökkandil formasyonu, şist, kalkşist, meta volkanik kayalardan oluşan Geç Triyas yaşlı Karagedik formasyonu ve rekristalize kireçtaşı ve dolomitten oluşan Jura-Kretase yaşlı Tavşancıdağtepe formasyonlarından oluşmaktadır.

Aladağ Birliği Özgül ve diğ., (1976) tarafından adlandırılmış olup Orta Devoniyen-Geç Kretase aralığındaki birimlerden oluşmaktadır.



Şekil 4.2: (a) Aladağ Birliğinin (b) Namrun Tektonik Diliminin ve (c) Bolkardağ Birliğinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti. (Ölçeksiz, Alan ve diğ., 2007'den alınmıştır).

Birlik içerisinde; kumlu kireçtaşlarından oluşan Geç Devoniyen yaşlı Gümüşali formasyonu, fosilli şeyllerden oluşan Karbonifer yaşlı Belemedik formasyonu, girvenellalı killi kireçtaşından oulşan Erken Permiyen yaşlı Sarıoluk formasyonu, kuvarsitlerden oluşan Geç Permiyen yaşlı Kızılgeriş formasyonu ve fosilli kireçtaşlarından oluşan Yellice formasyonu yer alamaktadır.

Üzerine stromatolitli kireçtaşlarından oluşan Erken-Orta Triyas yaşlı Katarası formasyonu, kireçtaşından oluşan Geç Triyas yaşlı Sarıyarma formasyonu, kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşından oluşan Jura-Kretase yaşlı Çamlık formasyonu ve kireçtaşı, kumtaşı, silttaşından oluşan Geç Kretase yaşlı Yavça formasyonları yer almaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.3: Namrun Tektonik Dilimi'nin Bolkardağ Birliği üzerine bindirmesi ile gelişen bindirme kuşağının araziden görünümü (Bakış KD).

Geyik Dağı Birliği'nde Üst Devoniyen-Alt Karbonifer ile Üst Permiyen dönemlerinde kesikli transgresyon gözlenmekte, Aladağ Birliği'nde ise Üst Devoniyen-Üst Permiyen döneminde kesiksiz istif gözlenmektedir (Özgül, 1976).

Alt Triyas'ta gerileyen okyanus sonucunda sığ çökeller oluşmuştur. Triyasta doğu batı hattında parçalanarak, Paleotetis'in yitilerek Neotetis'in genişlemesine, Karakaya okyanusunun ise Triyas başında açılmasına sebep olmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981).

Geç Triyas başında tektonizma etkisi ile Aladağlar ve Belemedik tektonik dilimlerinde Permo-Karbonifer yaşlı birimler, Triyas yaşlı çökellerin üzerine bindirmiştir. Geç Triyas döneminde Neotetis okyanusunun kuzey ve güney gelişmeye başlamış ve Arap ve Pontid blokları, Toros Anatolid blokundan ayrılmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981).

Erken Jura'da başlayan İç Torid Okyanusu Toros-Anatolid blokunu ikiye bölerek, Kırşehir ve Torid bloklarını oluşturmuşlardır. Neotetis okyanusunun kuzey ve güney kesimi arasında kalan sığ deniz ortam koşullarında Geyik Dağı, Bolkardağı ve Aladağ Birlikleri'nden oluşmuştur (Özgül, 1976).

Kampaniyen-Maestrihtiyen döneminde, Bozkır Ofiyolit Napı Torid-Anatolid bloku üzerine bindirmiş (Graciansky, 1972).

Ofiyolitler Üst Kampaniyen'de tamamen bndirmiş ve Neotetis deformasyonlarından etklilenmişlerdir (Özgül, 1976). Üst Paleosen-Alt Eosen'de, Anatolid-Torid bloku Pontidler ile çarpışmış, Anatolid-Torid platformu dilimlere ayrılmaya başlamıştır.

Doğu Toroslar, Geç Eosen-Oligosen döneminde Göksu ve Değirmentaş doğrultu atımlı faylarından etkilenmiştir (Demirel ve Kozlu, 1997). Orta Miyosenin sonunda, Kuzey Anadolu ile Doğu Anadolu faylarının gelişmesi Türkiye'de yeni tektonik dönemde, günümüzde de devam eden kuzey güney yönlü sıkışma rejiminin sonuçlarındandır.

4.2. İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ

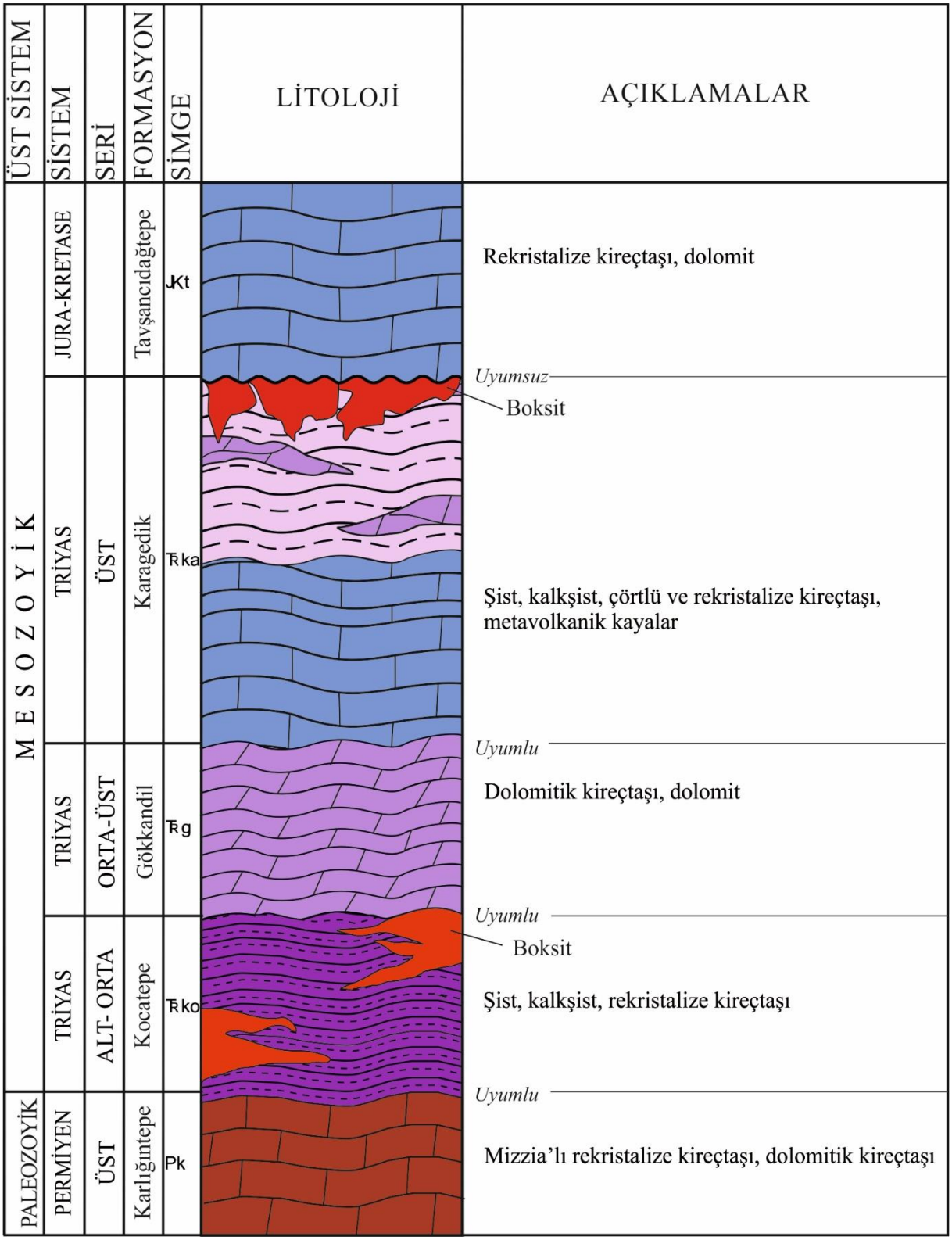
İnceleme alanında 5 farklı birim bulunmaktadır. Birimler yaşlıdan gence doğru; Üst Permiyen yaşlı Karlığıntepe formasyonu, Alt Triyas yaşlı Kocatepe formasyonu, Üst Triyas yaşlı Gökkandil formasyonu, Üst Triyas yaşlı Karagedik formasyonu ve Jura-Kretase yaşlı Tavşancıdağtepe formasyonudur (Şekil 4.4).

MTA tarafından yapılan jeoloji haritaları temel alınarak cevherleşme alanlarının detay jeoloji haritaları oluşturulmuştur. Genelleştirilmiş stratigrafik kesit gerçek ölçeklerine bağlı kalmaksızın birimleri en iyi gösterecek şekilde revize edilmiştir.

Cevherleşme bölgesinde görünür tabanda en yaşlı birim olarak Üst Permiyen yaşlı rekristalize kireçtaşları yüzlek vermektedir (Şekil 4.5).

Bu birim üzerine Alt Triyas yaşlı meta şeyl-kalkşist ardalanmalı ve karbonat ara katmanlı Kocatepe formasyonu gelmektedir. Alt Triyas yaşlı birimler dolomitik kireçtaşlarından oluşan Gökkandil formasyonu tarafından örtülmekte ve üste doğru Üst Triyas yaşlı rekristalize kireçtaşlarıyla başlayan ve meta şeyllerle devam eden Karagedik formasyonu gelmektedir.

Birimleri örten Jura yaşlı Tavşancıdağtepe rekristalize-dolomitik kireçtaşları ise alttaki birimlerin üzerini uyumsuz olarak örtmektedir.



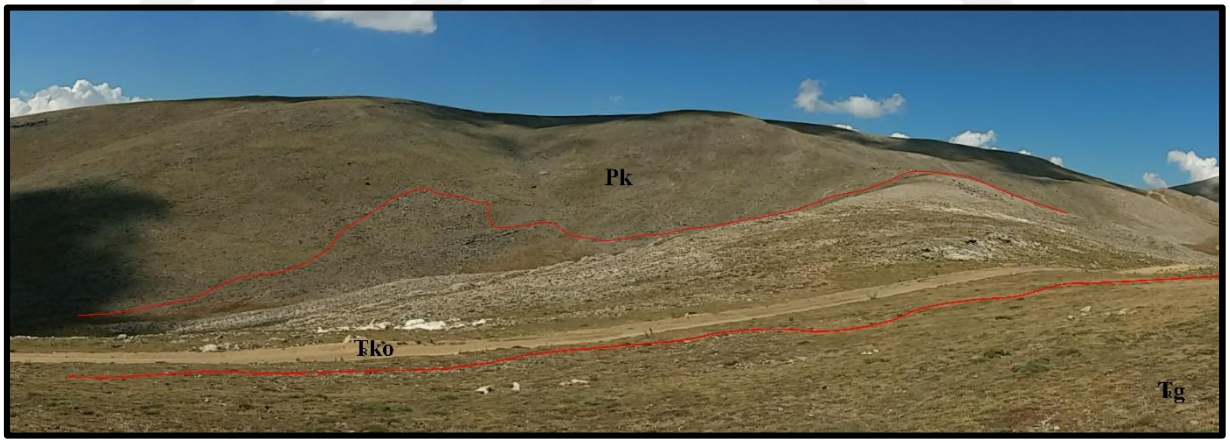
Şekil 4.4: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerinin yer aldığı alanların formasyonlarını gösteren genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti.

4.2.1. Karlığıntepe Formasyonu (Pk)

İlk adlandırılması Ayhan ve Langeranlı (1986) tarafından yapılmış olup tip kesiti Yahyalı (Kayseri)'da Karlığıntepe'de gözlenmektedir.

Birim Mizzia'lı kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ile temsil edilmekte ve çalışma alanının kuzey ve kuzey doğu kesimlerinde yüzlek vermektedir (Şekil 4.8). Birimin taban seviyesi inceleme alanında geniş bir yayılım sunmakta. Yumuşak bir topoğrafya ile belirgin olan birimin ayrışma yüzeyi koyu gri-mavi renkli, taze kırık yüzeyi ise açık gri-gri, mavi renkli, ince-orta tabakalı, sert yapılı rekristalize kireçtaşından oluşmaktadır.

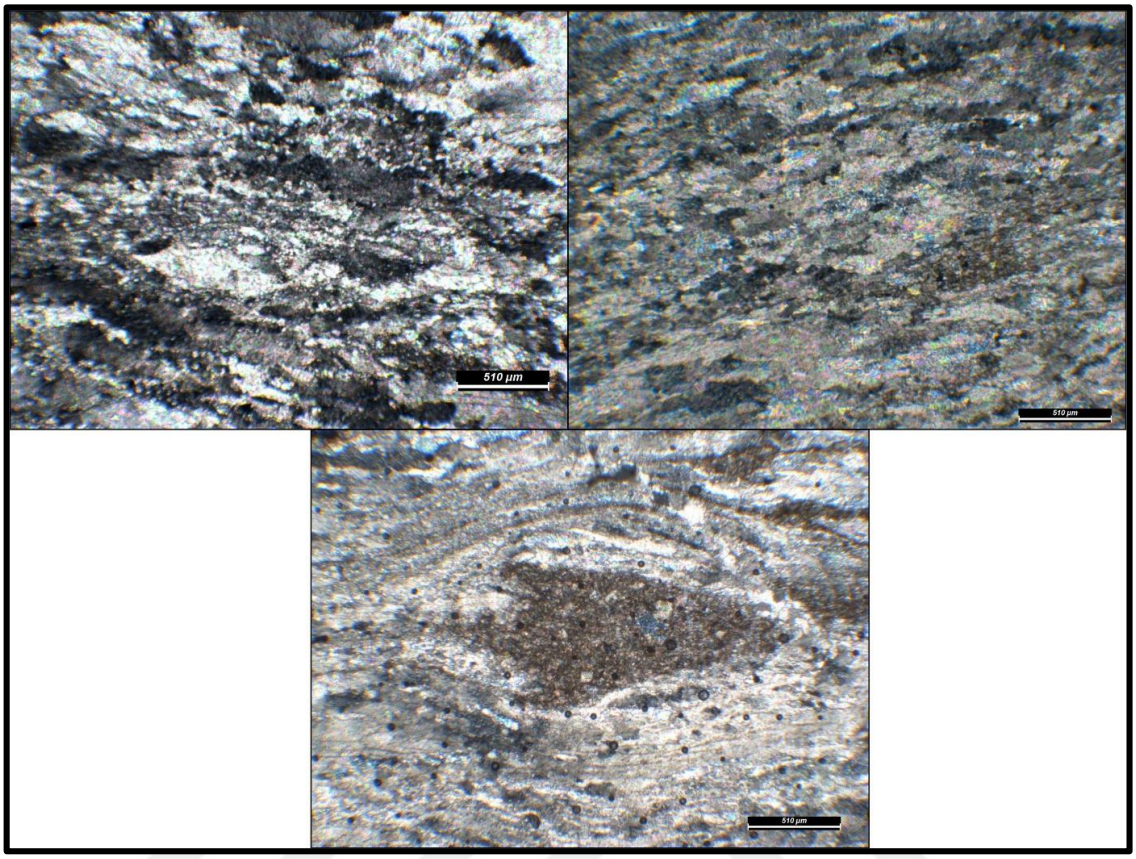
Metamorfizmaya uğramış kireçtaşları bol kırık çatlaklı bir yapıda olup, çatlak dolguları kalsit mineralidir. Yapılan petrografik incelemelerde birim reskristalize olmamış, ilksel dokunun kısmen belirgin olduğu meta kireçtaşı özellikleri göstermektedir. Düşük dereceli metamorfizma özelliği gösteren Karlığıntepe formasyonunda taneler yassılaşmış ve paralellik göstermeye başlamıştır. İnce-orta taneli doku gözlenmekte ve taneler arası dokanaklar kısmen girik yapı göstermektedir. Ayrıca deformasyonla çevrelenmiş profiroklastlar da görülmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.5: Kızıldağ bölgesinde yer alan formasyonların arazideki görünümleri (Trko: Kocatepe fm.; Pk:Karlığıntepe fm).

Birimin üzerine Kocatepe formasyonu geçişli olarak gelmektedir (Şekil 4.7). Birimin en üst seviyeleri Mizzia türü fosil içermekle birlikte, Cancellina sp., Climacammina, Hemigordius, Nankinella, brakiyapod, ostracod, alg ve mercan türleri de tespit edilmiştir (Alan vd.,2007) .

Fosil içeriğine göre birim Geç Permiyen olarak yaşlandırılmıştır. Birimin içerdiği fosil türleri çökelme ortamının sığ denizel-şelf ortamı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.6: Metamorfizma ile yönlenmiş taneler, mika fish yapısı (a: Tek nikol (TN), obj: 4X b: Çift Nikol, obj: 4X (ÇN) c: ÇN, obj: 20X).

Karlığıntepe formasyonu metamorfizma geçirmemiş olan Aladağ Birliği'ne ait Geç Permiyen yaşlı Zindandere formasyonu ile deneştirilebilir (Ayhan ve Lengeranlı, 1986).

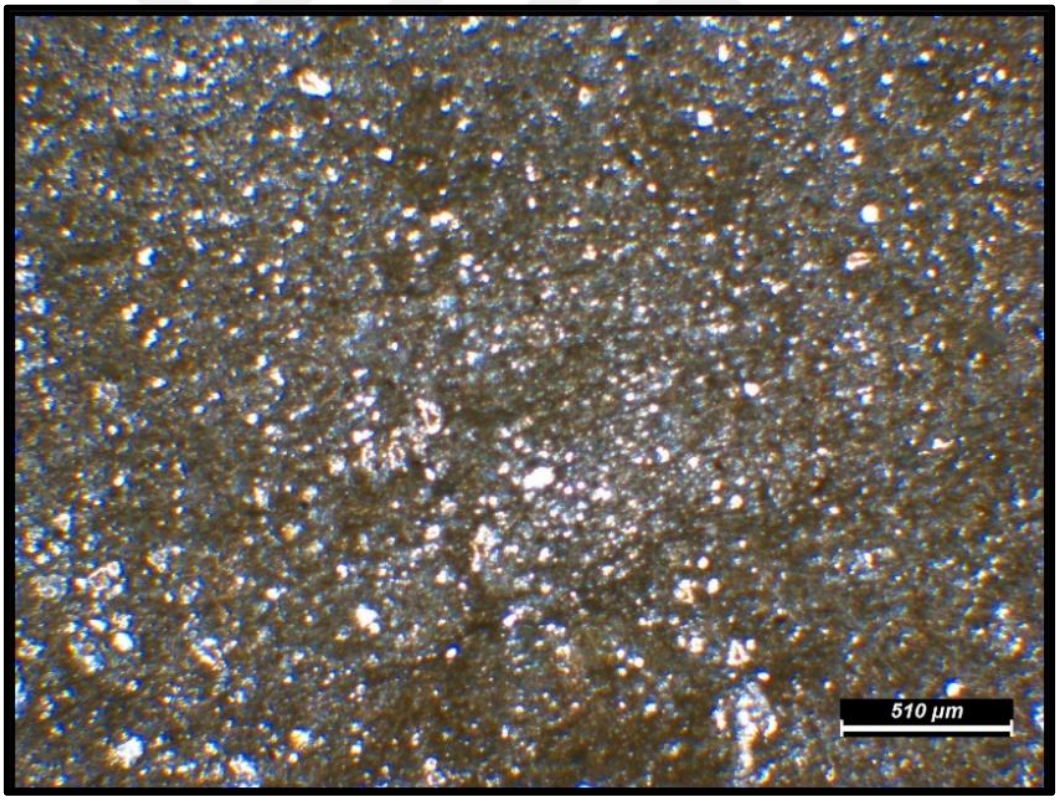
4.2.2. Kocatepe Formasyonu ($T_R$ko)

Formasyon ilk kez Ayhan ve Lengeranlı (1986) tarafından adlandırılmış olup tip kesit yeri Yahyalı (Kayseri)-Kocatepe civarındadır.

İnceleme alanında sınırlı bir alanda yüzlek veren formasyonun kalınlığı 1-5 m arasında değişmektedir. Ayrışma yüzeyi sarımsı-kahverengi renkli, taze kırık yüzeyi yeşilimsi-sarı renkli, bol kırıklı, dayanımsız olan birim inceleme alanında şeyl ve metaşeyllerden oluşmaktadır (Şekil 4.10). Yer yer kireçtaşları ile geçiş göstermektedir. Birimin alt kısımlarında çamurtaşı-şeyllerde çubuk şekilli klivaj gözlenmektedir (Şekil 4.11). Düşük dereceli metamorfizmaya uğramış metaşeyller incelenen mostralarda parçalanmış halde gözlenmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.7: Kocatepe formasyonuna ait meta şeyller, yönlenme gözlenmekte.



Şekil 4.8: Foliasyon göstermeyen şeyl dokusu (TN, obj: 4X)

Altında bulunan Karlığıntepe formasyonu üzerinde uyumlu olup geçişli seviyeleri de gözlenmektedir. Formasyonunun içerisinde tespit edilen fosil topluluğuna göre alt seviyelerin

Erken Triyas (Skitiyen), üst seviyelerin ise Anisiyen yaşında olduğu belirtilerek birime Erken-Orta Triyas yaşı verilmiştir (Alan vd., 2007).

Meta şeyl-şist seviyelerinin bulunduğu zonlara Erken Triyas yaşı verildiği için bu çalışmada kullanılmıştır.



Şekil 4.9: Metaşeyl-sleytlerde gözlenen çubuk deformasyon kırılmaları.

Kocatepe formasyonunun alt seviyesindeki metaşeyller yer yer boksitleşmiş ve metaşeylden itibaren saprolit ve boksit seviyeleri çok iyi bir şekilde gözlenmektedir.

4.2.3. Gökkandil Formasyonu (T_{RG})

Gökkandil formasyonu ilk defa Alan ve diğ. (2007) tarafından adlandırılmıştır. Formasyonun tip kesit yeri inceleme alanının içinde bulunan Cocak dere kuzeybatısında bulunmaktadır.

Ayrışma yüzeyi koyu gri-siyah renkli, taze kırık yüzeyi açık gri renkli, sert ve sağlam yapılı meta kireçtaşı- meta dolomitten oluşmaktadır. Meta kireçtaşları tabanında yer alan Kocatepe formasyonuyla uyumlu olup bol çatlaklı ve kırıklı bir yapıya sahiptir.

Çatlak kalsit dolguludur. Gökkandil formasyonunun içerisinde makro fosil türlerinin izleri görülmektedir (Şekil 4.13). Bol gastrapod fosilli meta kireçtaşlarında elde edilen yaş verileri formasyonun Orta-Geç Triyas yaşlı olduğunu göstermektedir (Alan vd., 2007).



Şekil 4.10: Gökkandil Formasyonunun kireçtaşlarında gözlenen iz fosiller.

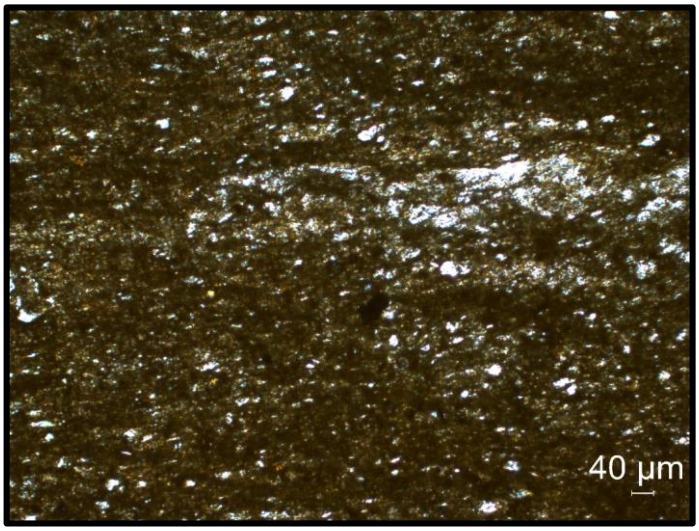
4.2.4. Karagedik Formasyonu ($T_R$ka)

Karagedik formasyonu ilk kez (Alan vd., 2004b) tarafından adlandırılmıştır. İnceleme alanında yerde yüzlek vermektedir.

Birim tabanda kalkşistlerle başlar ve metakireçtaşı ara tabakaları içeren sleytlerle devam eder.

Metaşeyl, kalkşist ve sleytten oluşan birimin ayrışma yüzeyi yeşilimsi kahverengi, taze kırık yüzeyi yeşilimsi renkli, görece sert yapılı, krıklı ve çatlaklıdır (Şekil 4.11). Petrografik incelemelerde yönlenmelerin belirsiz olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.12).

Alan ve diğ. (2007) birim içerisinde metabazik volkanit seviyelerinin varlığında bahsetmektedir. Birimden tespit edilen pelajik pelecipoda kavkıları ve lamellibranş fosillerine göre birime Geç Triyas yaşı verilmiştir.



Şekil 4.11: Düşük derceli metamorfizmanın gözlendiği, tanelerin henüz şist dokusu kazanmadığı, sleyt-metaşeylin mikroskop görünümü (TN, obj: 10X).



Şekil 4.12: Karagedik Formasyonuna ait meta-şeyl-sleytlerinin görünümü.

4.2.5. Tavşancıdağtepe Formasyonu (JKt)

Formasyon, ilk kez Erkan vd., (1978) tarafından tip kesit yeri olan Kayseri ilinin Kuramaz dağlarındaki Tavşancıdağtepe'de tanımlanmış ve adlandırılmıştır.

Birim orta-kalın katmanlı meta kireçtaşlarıyla temsil edilmektedir. Meta kireçtaşlarının ayrışma yüzeyi açık gri renkli olup taze yüzeyi gri renkli olup, oldukça sert ve sağlam yapılıdır.

Birim yer yer boksit içeren seiyelerin veya Karagedik formasyonunun üzerine uyumsuzlukla gelmektedir.

Birimin yaşı; elde edilen fosillere göre boksit seviyesinin üzerine gelen tabandaki meta kireçtaşlarının Aaleniyen yaşında (Hanilçi 2013), tabanın üzerindeki seviyelerin ise Dogger-Senoniyen aralığında olduğu belirltilerek birime Jura-Kretase yaşı verilmiştir (Alan ve diğ., 2007).

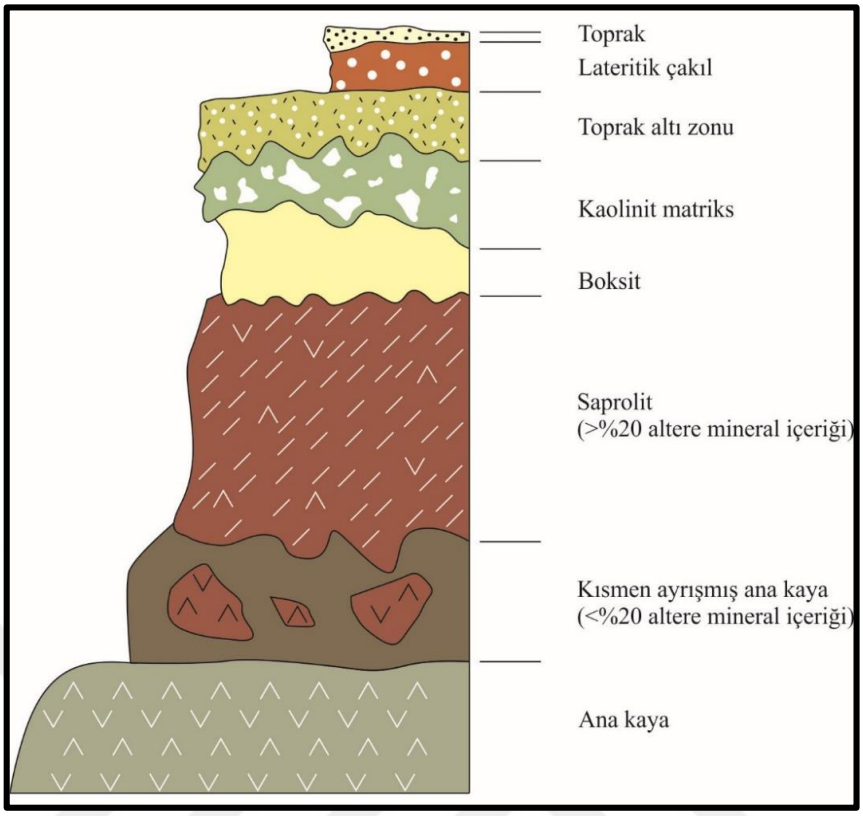
4.3. BOKSİT CEVHERLEŞMELERİ

Boksit oluşumu bir lateritleşme ile başlamaktadır. Laterit terimi ilk kez Francis Buchanan isimli İngiliz kâşif tarafından 1807 yılında Güney Hindistan'da ilk defa "Laterit" olarak adlandırdığı demirli zonlar için kullanmıştır. Daha sonra Schellmann, (1982) tarafından tanımlanan lateritler için; ileri dereceli karasal ortamda ayrışmış kayaçlar tanımlaması yapılmıştır.

Günümüzde kullanılan modern tanımlaması ise; aşırı yağmura ve sıcaklığa maruz kalmış, tropikal veya yarı tropikal bir iklim kuşağının uzun süreli hâkim olduğu alanlarda, fiziksel ve kimyasal değişime uğramış kayaçlardır.

Lateritler Al, Fe, Ni, Nb, Mn, Cu, Au ve Platin grubu Elementleri (PGE)'nce zengin profiller oluşturabilmektedir. Laterit profili, yukarıdan aşağıya doğru; kalıntı toprak zonu, sertleşmiş toprak zonu, boksit zonu, saprolit zonu ve kaynak kayanın bulunduğu protolit zonu olarak devam etmektedir (Şekil 4.13).

Lateritlerin sınıflandırılmasında; oluştuğu ortam, kimyasal olarak içeriği, mineralojik bileşimi göz önünde bulundurulur.



Şekil 4.13: Tabandan tavana klasik Laterit profili (Ölçeksiz, Paquet ve diğ., 2011).

Boksit; alüminyum, demir ve titanyumun oksit ve/veya hidroksit minerallerinin toplam içeriğinin % 50'den fazla olduğu, alüminyum içeren minerallerinin diğer iki elementin (demir ve titan) minerallerinden daha fazla olduğu kalıntı veya tortul bir kaya olarak tanımlanmaktadır (Bárdossy, 1982).

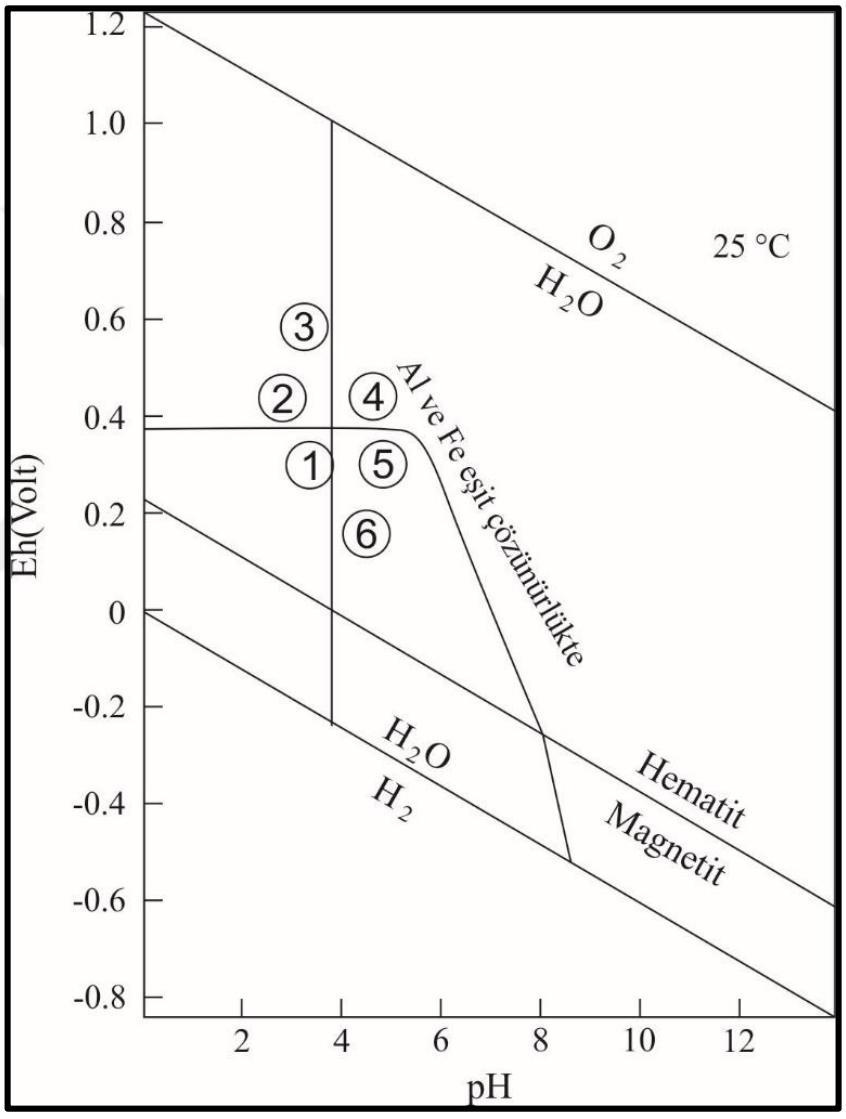
Boksitleşme sürecine; yüzeysel veya yüzeye yakın sığ ortam koşulları, yarı tropik veya yağışlı tropik iklim koşulları, bitki ötüsü, jeomorfolojik, hidrojeolojik faktörler, jeokimyasal ve fizikokimyasal faktörler, kaynak kayacın bileşimi, boksitleşme süresi, boksitleşmenin yönü (yanal veya düşey), Eh ve pH koşulları gibi faktörler etki etmektedir (Norton, 1973; Bárdossy, 1982).

Aluminyum siliktaçe zengin mineraller içeren bir kaynak kayaçtan boksit cevherinin oluşabilmesi için boksitleşme sürecinde mineralin bünyesindeki silisin serbestleşerek iyon halinde ortamdan uzaklaşması gerekmektedir.

Yüzey ortamının pH'sının 4.5 – 9 arasında olduğu koşullşarda kaynak kayaçtaki silisyum yüksek derecede çözünerek iyon halinde ortamdan ayrılmaakta ve alüminyumca zengin

topraklar oluşmaktadır (Şekil 4.14). Silisyum hidrolizle çözülebilmektedir, ancak Al ve Fe'in birlikte konsantre olduğu ve oluştuğu alanlar özel koşullardır. Düşük ve yüksek pH'larda Al çözünebilirliği artmaktadır.

Buna karşın Demir ise düşük Eh ve pH koşullarında çözünebilirdir. Fe'ye karşı Al'nin çözünebilirlik sınırı ve çözündükleri pH-Eh alanları görülmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Gibsit-Hematit-Götit üçlü çözünebilirlik Eh-pH dengesini gösteren şema mol^{-1} (Norton, 1972).

Alüminyum minerallerinden gibbsit, eğrinin altında kalan alanda (1,5,6) Fe'li hematit veya götit minerallerinden daha çözülebilir haldedir. Diyagramda 1 ve 2 alanında Al ve Fe laterit oluşturamaz ancak Si'ca zengin topraklar oluşacaktır.

3 ve 4 numaralı alanlarda ancak ana kaya Al ve Fe'ce zengin minerallerden oluşuyor ise zamana bağlı olarak Laterit oluşabilecektir. Yeraltı ve yüzey sularının etkisi ile 5'nci alanda Al ve Fe'ce zengin lateritler oluşmaktadır.

En uygun koşullar ise 6'ncı alanda oluşmakta, yüzey suları seçimli şekilde Fe'yi yıkayıp Al'ce zengin boksitleri oluşturmaktadır. Alüminyum hidratratlar duraylı iken (pH 5-7) gibbsit oluşmaktadır (Tardy, 1992). Bu modelde yer altı ve yüzey suyunun etkisiyle Eh ve pH koşullarındaki değişimin laterit profili üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Dengenin görülmemesi, organik veya dış etkenlerin varlığı söz konusu olduğunda değişkenlik gösterebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Al'ce zengin olan boksitler, Al dışında Fe, Ti gibi elementleri yüksek konsantrasyonlarda içermektedir. Mevsimsel iklim değişiklikleri; yağışlı ve kuru dönemler ve yüzey sularındaki değişiklikler kütle transferi konusunda, boksit cevheri oluşumunda önemli etkileri bulunmaktadır. Boksiti oluşturan alüminyumlu mineraller gibbsit, böhmit ve diaspor olup, bazı bölgelerde diaspor hematit birlikteliğine karşın gibbsit ve götit baskın mineraller olabilmektedir. Örneğin hidratlı bileşik olan gibbsitin dehidratasyonla böhmit ve diaspora dönüşmesi boksit profillerindeki değişikliklerden kaynaklanmaktadır.

Genel olarak gözlenen işlemlerde mafik silikatler, feldspatlar, kil minerallerinden smektit ve kaolinit gibi ayrışmaya karşı dayanımsız olan mineraller yüzeysel koşullarda dönüşmeye başlar. Buna karşın kuvars, rutil, manyetit gibi mineraller ise çoğunluk olarak ilksel formlarını korumaktadırlar.

Üst pedolit zonu killerden, demirli zonlardan, lateritten ve toprak zonundan oluşmaktadır. Killerin baskın olduğu zonda kaolin grubu minerallerin çoğunlukta olduğunu görmekteyiz. Demirli zonda birden fazla demirli faz bulunmakta bunlar, demir oksitler, demir hidroksitler, silisli demir hidroksitlerdir.

Laterit profilde; demirce zengin yarı toprak zonunda yeni oluşan mineraller daha derin kesimlerdeki kayacın demirli minerallerinden değişime uğrayarak demir oksit ve hidroksitlere dönüşmektedirler (Valeton, 1974).

Bu zon bazı kesimlerde büyük pizolitler halinde de yer alabilmektedir. Boksit yataklarında ince taneli gibbsit, böhmit ve diaspor mineralleri bulunmaktadır.

Dönüşüm reaksiyona örnek olarak; Feldspat veya kaolinit gibi Si içeren minerallerden gibsit gibi boksit minerali oluşabilmektedir;

Feldspat $_{-\text{(Si'nin ayrılması)}}$ → Kaolinit $_{-\text{(Si'nin ayrılması)}}$ → Gibbsit $_{(Al(OH)3)}$ (Bland ve Rolls, 1998)

Boksitleşme yerli yerinde olabileceği gibi oluştuğu yerden taşınıp topoğrafyaya bağlı olarak başka bir yerde depolanarak da oluşabilmektedir. Yerli yerinde oluşmuş lateritlere otokton, taşınmış olan lateritlere ise allokton lateritler adı verilmektedir. Boksitler başlıca üç ana gruba ayrılmaktadır (Bárdossy ve Aleva, 1990).

- Lateritik tip boksitler: kalıntı yataklar olup altındaki alüminyum silikatçe zengin mineraller içeren magmatik, metamorfik veya sedimanter kökenli kayaçlardan türemişlerdir ve korunan dokuları ve bileşimleri ile doğrudan altındaki kaynak kayaçlar ile ilişkilidir. Lateritik boksitler, yüzey sularının ve ortamın pH-Eh değerlerine bağlı olmak kaydı ile Al'lu ana mineralin yapısının bozunması, Na, Ca, K ve Si gibi elementlerin ortamdan uzaklaşması ve görece immobile olan elementlerin OH- iyonu ile bağlanarak boksit minerallerini oluşturması ile oluşmaktadır.

- Karstik tip boksitler: kireçtaşı, dolomit gibi karbonatlı kayaçlardaki karstik boşluklara yüzeysel işlemler sonucnda oluşmuş Al'ca zengin killi toprağın, boksit cevherinin taşınarak depolanması ve/veya Al'ca zenginleşmiş iyonların taşınarak depolanması ile oluşmaktadır.

- Tikvin tip boksitler: taşınmış (allokton) kırıntılı boksit yatakları olup, herahngi bir laterit proflinden taşınarak erozyona uğramış alüminoslikatli kayacın üzerinde birikmiştir.

Türkiye'de boksit yataklarının yaygın olarak gözlendiği 8 metalojenik provens bulunmaktadır (Hanilçi 2019). Bunlar; Muğla-Milas/Yatağan, Yalvaç-Şarkikaraağaç, Seydişehir-Akseki, Alanya, Bolkardağ, Tufanbeyli-Saimbeyli-Kadirli, Payas-Islahiye ve Zonguldak-Kokaksu provensleridir. Türkiye'de çoğunlukla karstik tip boksitler yaygın olarak bulunmakta olup lateritik tip boksitler görece daha azdır.

Tez kapsamında çalışılan Kızldağ ve Kemiklitepe boksit cevherleşmeleri Bolkardağ boksit provensinde yer almaktadır. Bu provens, Toros dağlarının Mersin ile Ayrancı (Karaman) arasındaki Bolkar dağları kesiminde yer almaktadır. Alan ve diğ. (2007) Bolkardağ bölgesinde alttan üste doğru Bolkardağ Birliği, Namrun Tektonik Dilimi ve Aladağ Birliği'nden oluşan üç

tektonostratigrafik istif ayırtlamıştır. Bolkardağ provensinde yüksek kaliteli (Al_2O_3>%55) diasporitik boksitler bulunmakta olup provensin görünür rezervinin yaklaşık 10 milyon ton civarında olduğu belirtilmiştir (Hanilçi 2013).

Bolkardağ provensindeki başlıca boksit cevherleşmeleri; Camızalanı, Karakuyu, Karataş, Göztaşı, Devebağırtan, Baharpınarı, Kemiklitepe, Bolkardede, Boluardıç, Arpaçukuru, Kızıldağ ve Öşün'dür (Şekil 4.18).

İşletilen boksit cevherinin ortalama bileşimi 55% Al_2O_3, 25% Fe_2O_3, 3.5% TiO_2 ve 1–10% SiO_2 şeklindedir. Bölgedeki cevherleşmelerden özellikle Camızalanı, Karakuyu, Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerinde kaynak kayaçtan lateritik boksite dönüşümler sahada çok iyi gözlenmektedir.

4.3.1. Kızıldağ Boksit Cevherleşmesi

Kızıldağ cevherleşmesi Namrun Tektonik Dilimi içerisinde yer almaktadır (Şekil 4.2). Cevherleşme Alt Triyas yaşlı Kocatepe formasyonunun tabanında metaşeyl, sleyt olarak tanımlanan birimlerin bulunduğu seviyede gelişmiştir. Cevher zonu X-Y doğrultusu boyunca kesikli olarak yaklaşık 1200 metre devamlılık göstermektedir (Şekil 4.15). Zonun kalınlığı değişken olmakla birlikte ortalama 5 m'dir.

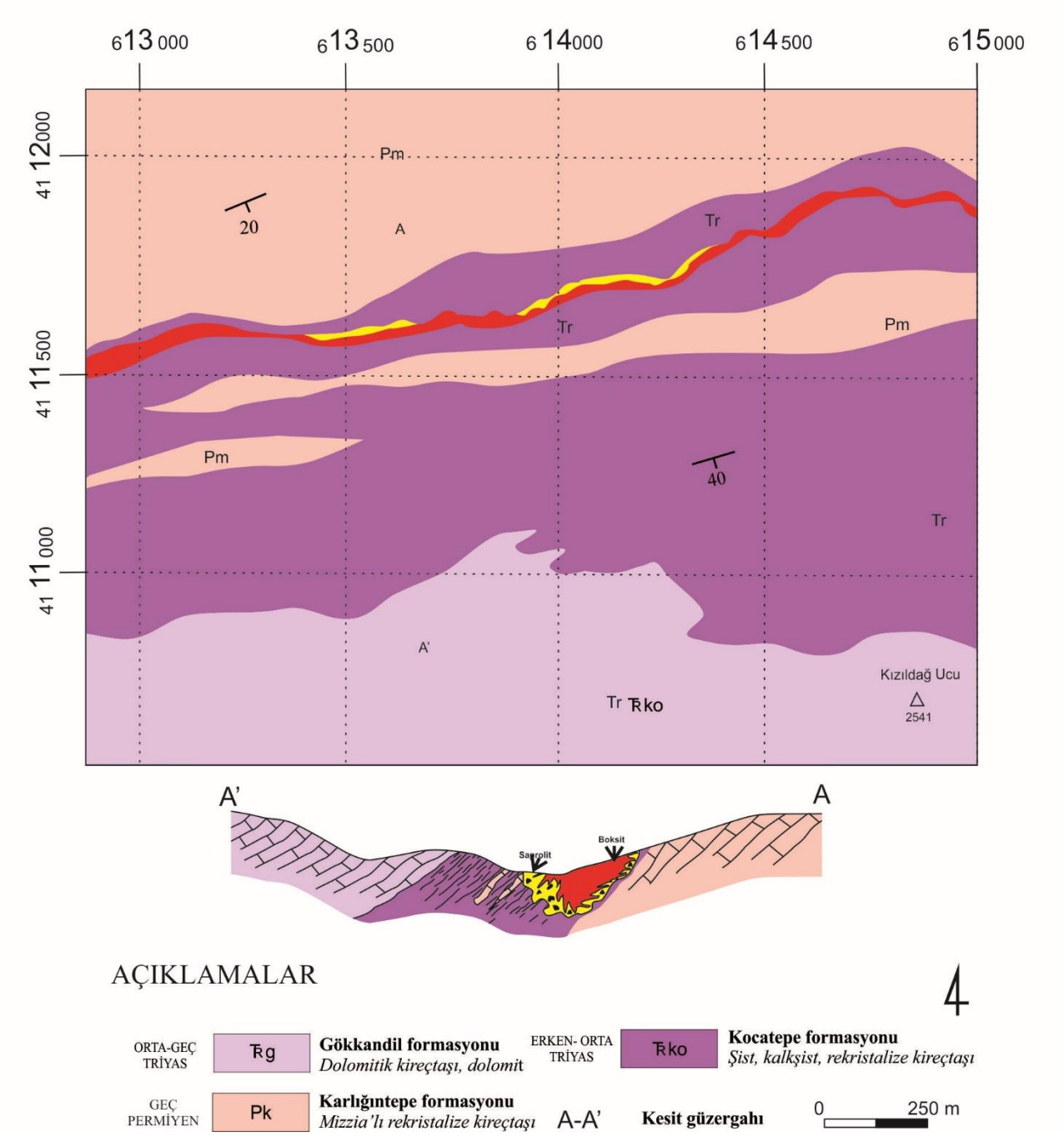
Boksit cevherleşmesi yanal ve düşey yönde saprolit ve kaynak kayaç (protolit) olan sleytlere geçiş göstermektedir. Sleytler sahada sarımsı-kahve renkleri, ince çubuksu klivajlar nedeniyle dağılgan özelliği ile belirgindir (Şekil 4.10; Şekil 4.19).

Saprolitler, ilksel sleyt kayasının dokusal özelliklerinin, çubuk klivajının kısmen korunduğu, kimyasal olarak ayrışmış ve bileşimindeki demiroksitten dolayı sarımsı-kahverengi, yeşilimsi renk kazanmış ayrışmış kayaçtır (Şekil 4.20).

Boksit cevher zonu, koyu kızıl kahverengi, masif görünümlü ve oldukça sert yapılı olması ile saprolitten kolayca ayırt edilebilmektedir (Şekil 4.20). Cevher genellikle oolitik (<2 mm) ve pizolitik (>2 mm) içyapılı, yer yer masif yapılıdır.

Cevher mikroskobisi, ince kesit ve XRD çalışmalarıyla boksit cevherinin diyaspor, hematit, götit, az miktarda pirit, manyetit, mika, anataz, klorit, kuvars, amfibol, profillit ve çok az böhmit

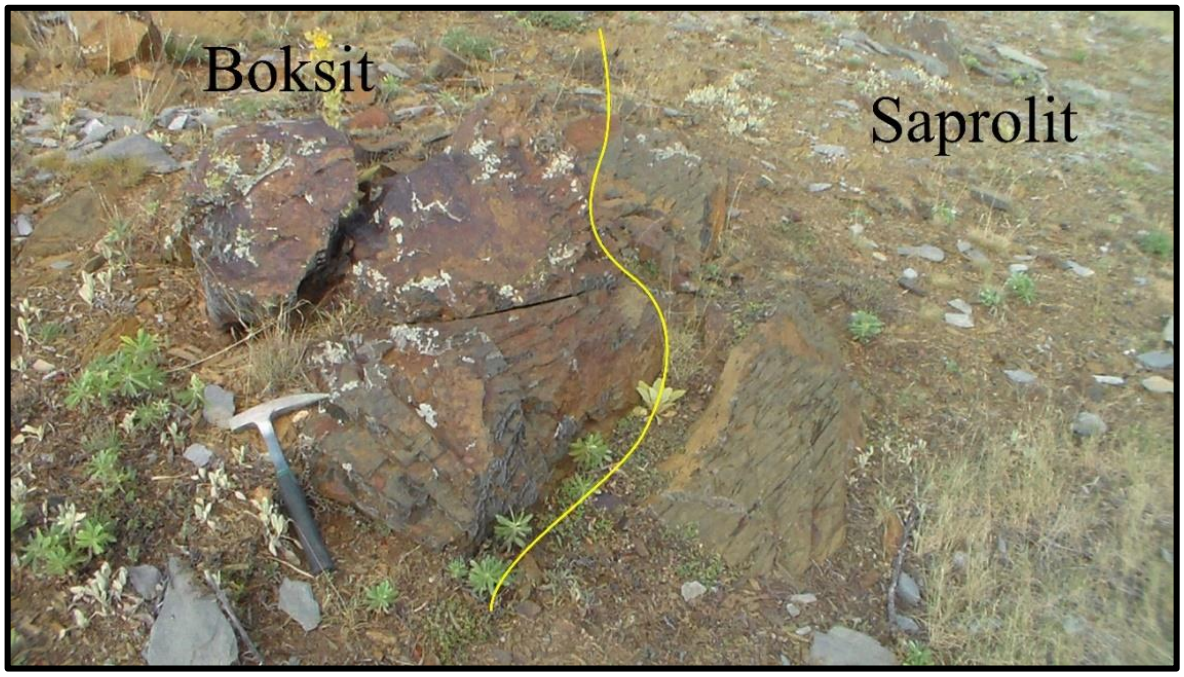
minerallerini içerdiği tespit edilmiştir oolitlerin hematit bileşimli olduğu saptanmıştır (Şekil 4.24).



Şekil 4.15: Kızıldağ boksit cevherleşmesine ait skeç harita.



Şekil 4.16: Kızıldağ cevherinin protolitten saprolite geçiş zonu.



Şekil 4.17: Kızıldağ cevherleşmesine ait Boksit – Saprolit sınırı.



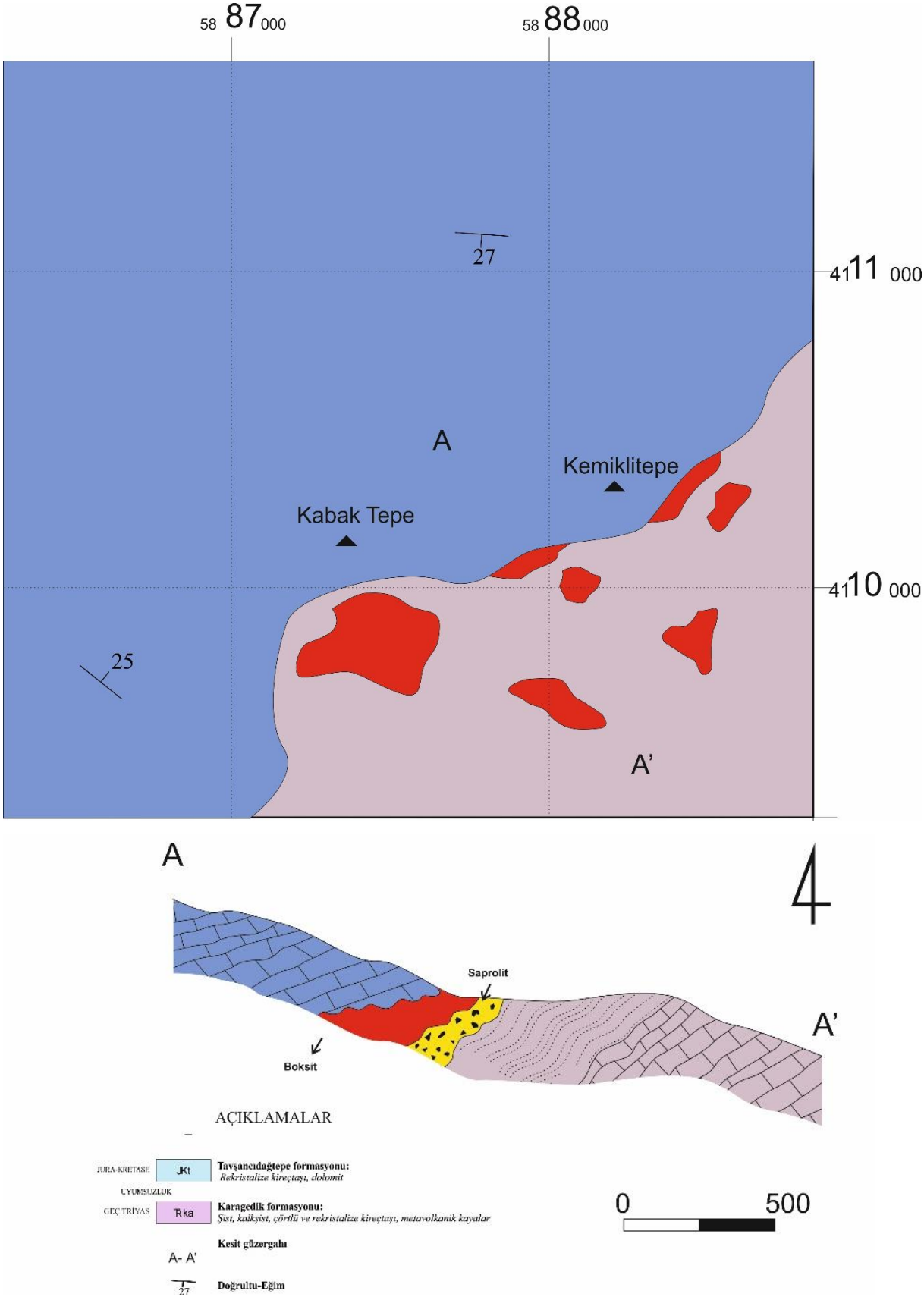
Şekil 4.18: Kızıldağ cevherleşmesinin kaynak kayasından saprolite, saprolitten boksite dönüşüm evreleri.

4.3.2. Kemiklitepe Cevherleşmesi

Kemiklitepe Boksit cevherleşmesinde, cevher gövdesinin devamılığı, 850 metre karelik bir zonda kesikli olarak gözlenmektedir (Şekil 4.19).

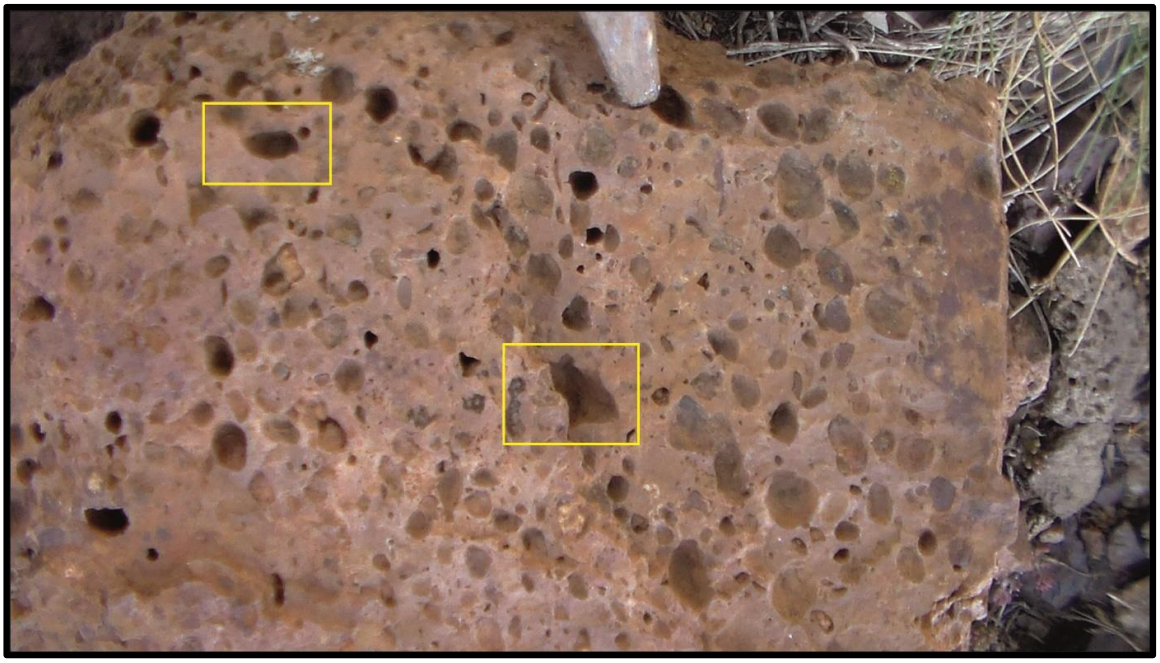


Şekil 4.19: Kemiklitepe cevherleşmesi kaynak kaya – boksit geçişi (bakış K).



Şekil 4.20: Kemiklitepe boksit cevherleşmesine ait skeç harita.

Cevherleşme, koyu kahverengi, masif görünümlü ve oldukça sert yapılıdır. Cevher genellikle pizolitik bir içyapıya sahip olup, bazı pizolitlerin boyutları 2 cm ye kadar çıkmaktadır. Cevher sahada kaynak kayadan saprolite daha sonra da boksite geçmektedir (Şekil 4.20). Cevherin ayrışma yüzeyi koyu kahve renkli, yer yer sarımtırak altere rengindedir. Altere olan kesimlerde pizolitler limonitleşme gösterirken, pizolitik boşluklar gözlenmektedir (Şekil 4.23).



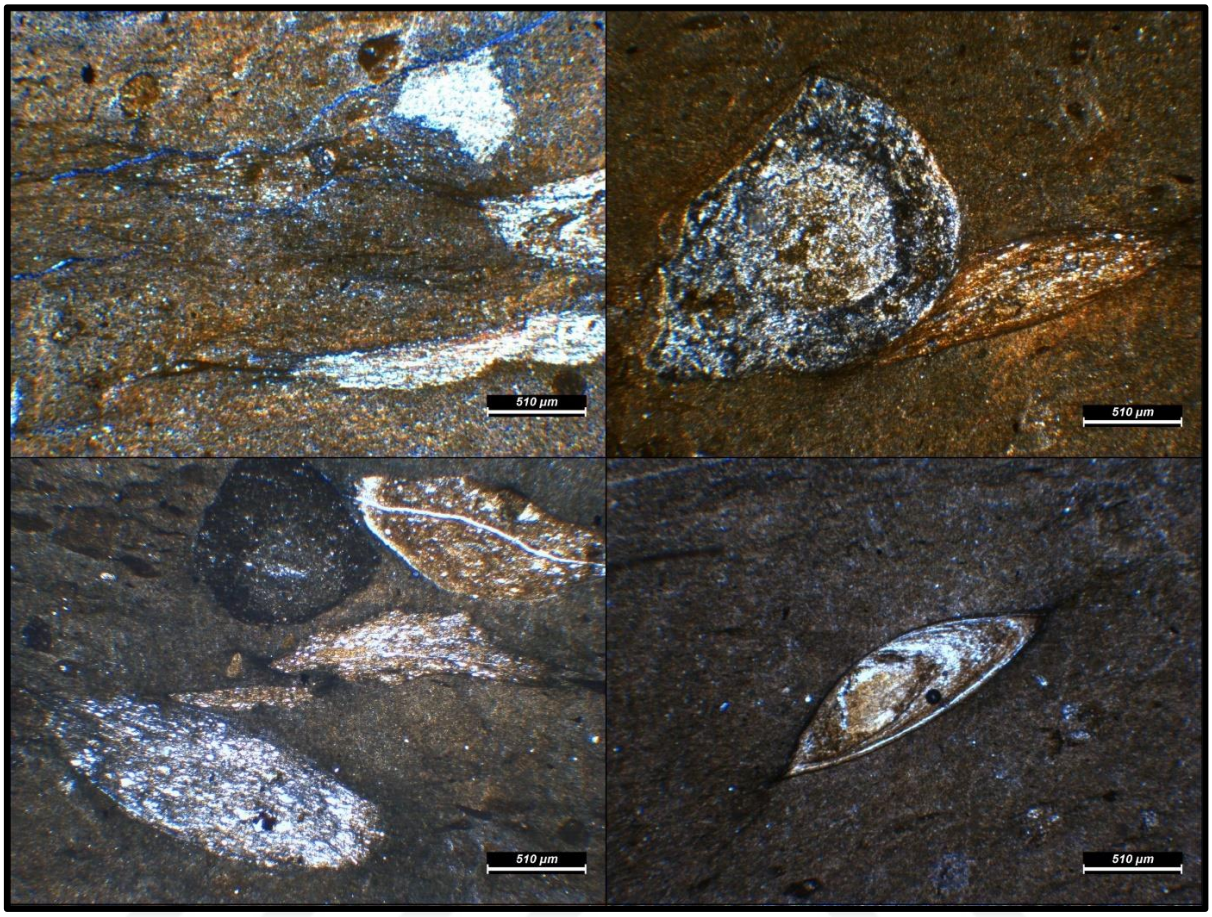
Şekil 4.21: Kemiklitepe boksitinde limonite dönüşen pizolitler ve alterasyon boşlukları.

Cevher mikroskobisi, ince kesit ve XRD çalışmalarıyla cevherde tabanındaki diyasporit, hematit, götit, az oranda pirit, manyetit, mika, anataz, klorit, kuvars, amfibolit, profillit ve çok az böhmitten oluştuğu tespit edilmiştir.

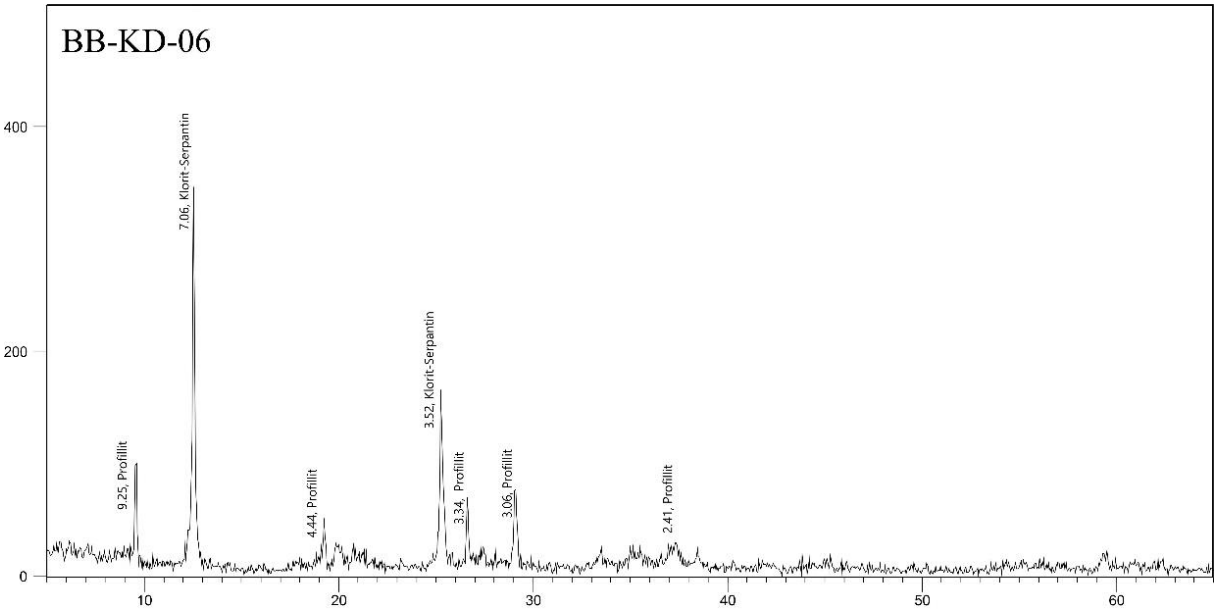
Pizolitler incelendiğinde hematit-manyetit-maghemit bileşimli olduğu saptanmıştır (Şekil 4.25).

4.4. PROTOLİT, SAPROLİT, BOKSİT MİNERALOJİSİ

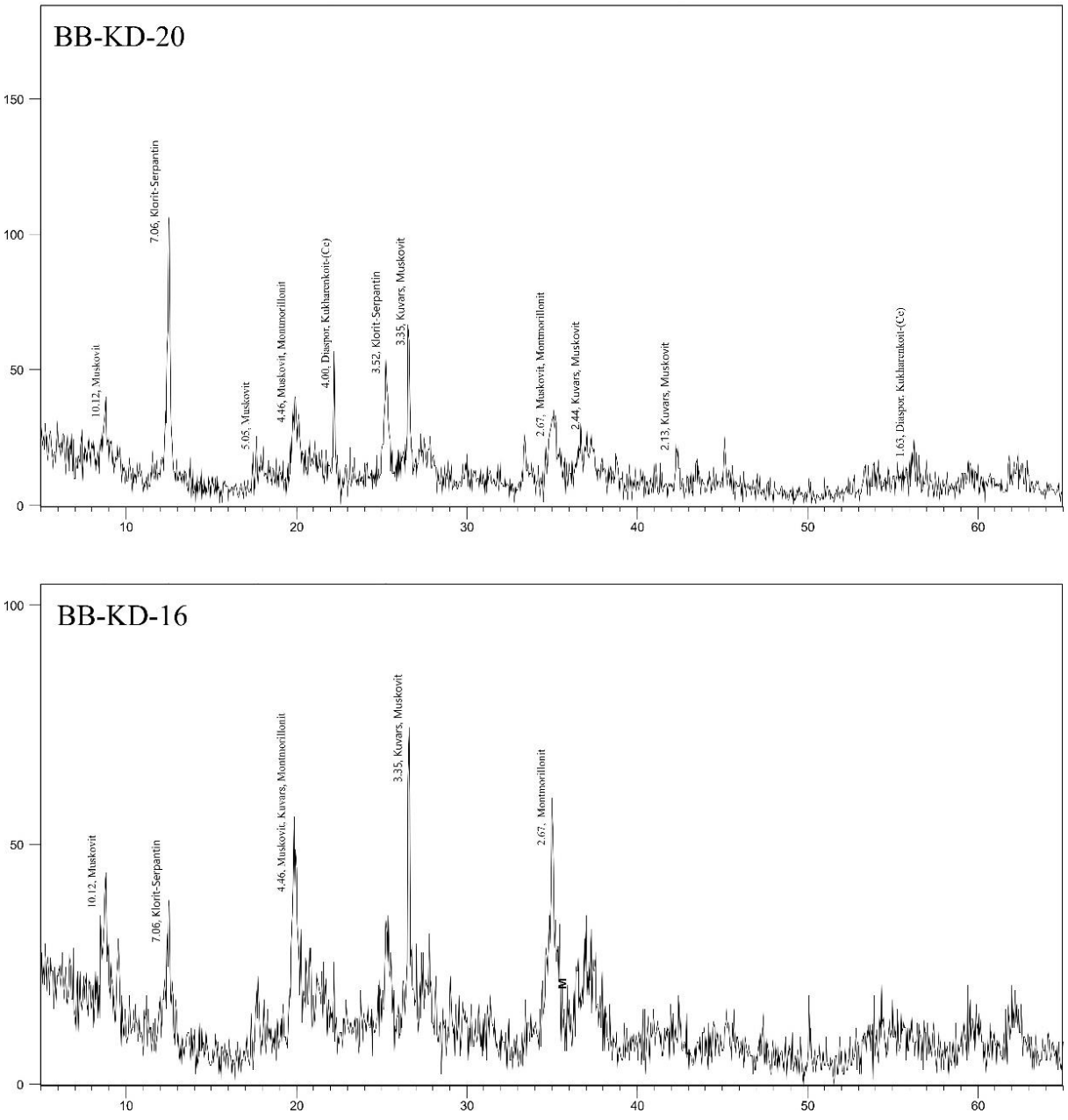
Kızıldağ ve Kemiklitepe protolitlerine ait incelenen örneklerde petrografik olarak şeyl dokusunun korunduğu örnekler, düşük dereceli metamorfizmaya uğramış, yönlenmelerin gözlendiği örnekler bulunmaktadır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22: Metamorfik işlemler sırasında deformasyon geçiren oolitler.



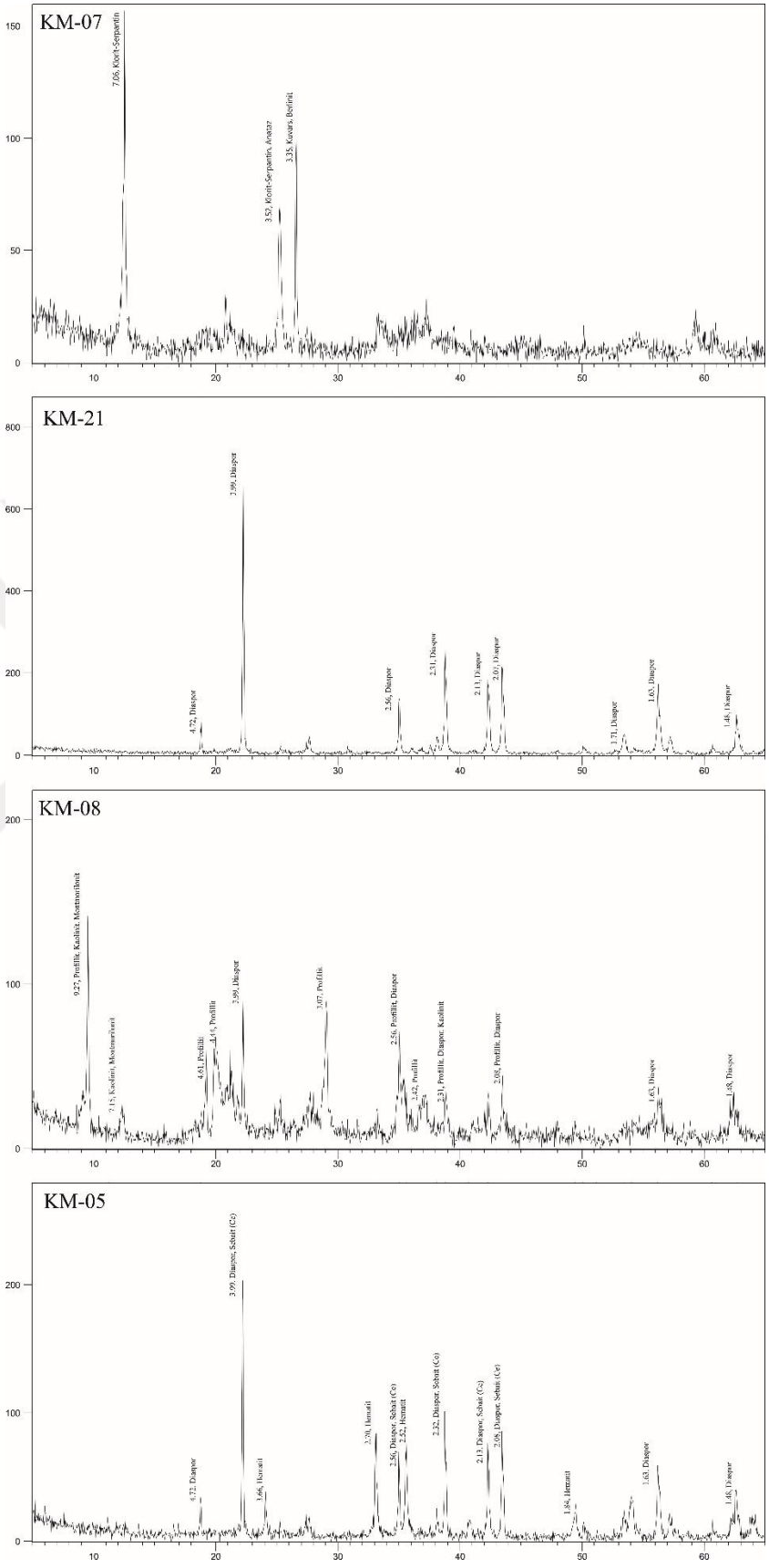
Şekil 4.23: Kızıldağ protolitine ait XRD deseni.



Şekil 4.24: Kızıldağ'a ait protolit, saprolit ve boksit'ine ait XRD desenleri.

Kızıldağ cevherleşmesinin prtolitlerinden elde edilen XRD sonuçlarına göre; Profillit, Kuvars, Klorit Serpantin minerallerinin varlığı tespit edilmiş, saprolitlerinden elde edilen XRD sonuçlarına göre;

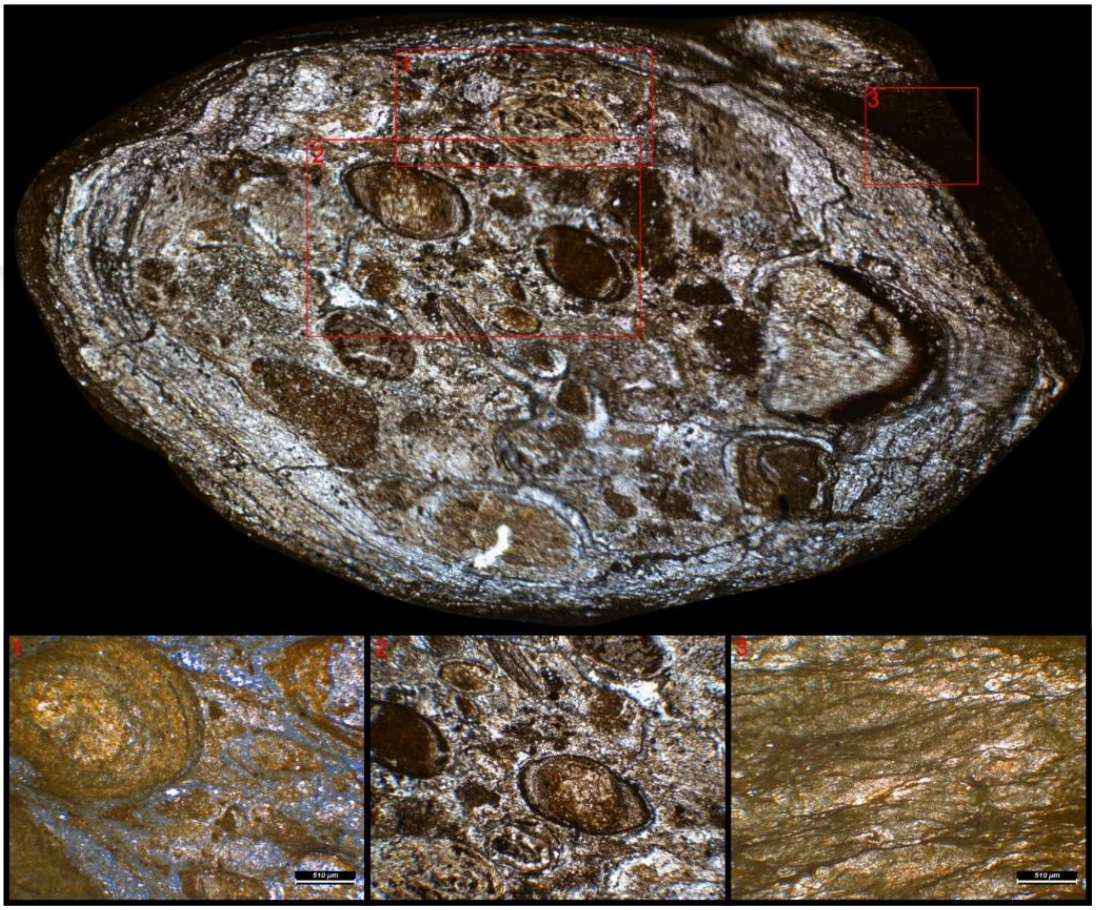
Profillit, Kuvars, Klorit Serpantin mineralleri ve boksitten elde edilen sonuçlara göre Diaspor, Hematit mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.25: Kemiklitepe'ye ait protolit, saprolit ve boksit'ine ait XRD desenleri.

Kemiklitepe cevherleşmesinin prtolitlerinden elde edilen XRD sonuçlarına göre; Profillit, Kaolinit, Montmorilonit, Kuvars, Klorit Serpantin minerallerinin varlığı tespit edilmiştir.

Saprolitlerinden Profillit, Kaolinit, Montmorilonit, Kuvars, Klorit Serpantin mineralleri ve boksitten elde edilen sonuçlara göre Diaspor, Hematit mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.26: Kızıldağ saprolitik bileşimli boksit içerisinde pizolitin genel görünümü.

Cevher mikroskobisi incelemelerinde;

Manyetit: Fe_3O_4 yağ ortamında incelendiğinde kahverengimsi-açık gri renkli olarak tek nikolde gözlenmiştir, izotrop bir mineraldir. Bazı örneklerde hematit ile birkte iç içe görülmektedir.

Hematit: Fe2O3 incelenen örneklerde en yaygın olarak gözlenen mineraldir. Grimsi-beyaz renkli olarak gözlenmektedir. Çift nikolde yağ ortamında kırmızı renkli kuvvetli iç yansıma göstermektedir (Şekil 4.23). Manyetit mineralini replase ettiği gözlenmektedir.

Bazı örneklerde ise hematitten limonite dönüşümler gözlenmiştir.

Diaspor: α- AlO(OH)

Maghemit: $Fe^{3+}_2O_3$ Tek nikolde yağ ortamında mavimsi-gri renkli olarak gözlenmektedir (Şekil 4. 19). İç yansıma gözlenmemiştir. Manyetit ile iç içe geçmiş veya manyetit mineralinin dış kenar zonlarında oksitlenmeye bağlı olarak gelişmiştir.

Pirit: FeS2 Açık sarı-sarı rengiyle tek nikolde görülmektedir. Çift nikolde izotrop mineraldir. Kızıldağ ve Kemiklitepe boksitlerinde nadir olarak gözlenmiştir.

Matriks: Dispor ana mineral olup, kuvarslı, kil malzemeli bir hamur içerisinde pizolitler gelişmiştir.

Boksit cevherinde oolitik- pizolitik dokular gözlenmektedir. Demir'ce zengin pizolitlerde Hematit mineralinin baskınlığı yağ damlatılmış üstten aydınlatmalı mikroskop altında tek nikolde metalik açık gri renkli olarak gözlemekte, çift nikolde ise kırmızı renkli olarak görülmektedir.

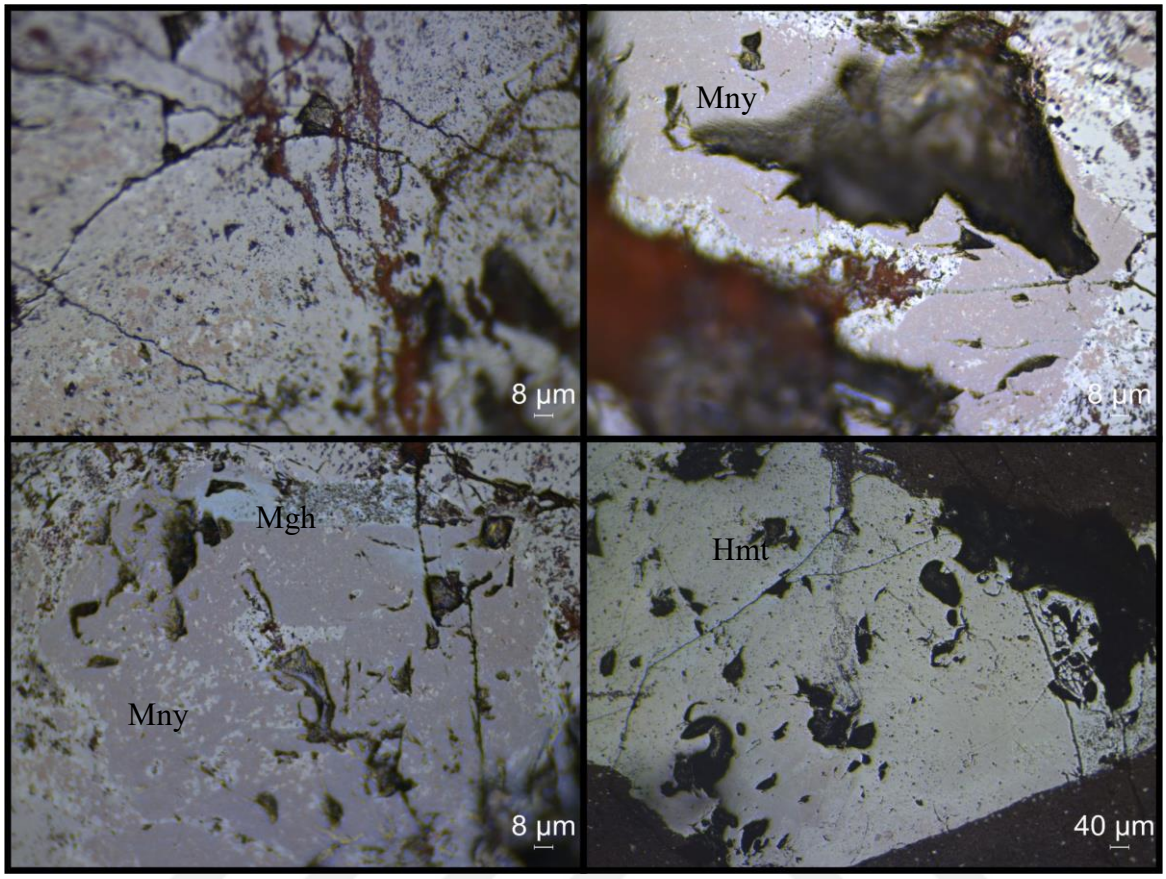
Konsantrik kıvrımlar olarak gözlenen Al-ca zengin pizolitlerin her bir halkası demir-alüminyum ardalanmalıdır (Şekil 4.31).

Cevheri oluşturan dokunun matriksi diaspor ve klorit minerallerinden oluşmakta ve kompleks yapı göstermektedir. Bu matriksin içerisinde yer alan pizolitler ve oolitler bazı örneklerde iyi boylanmalı ve ince taneli gözlenirken bazı örneklerde ise 3-5 mm olarak gözlenmektedir.

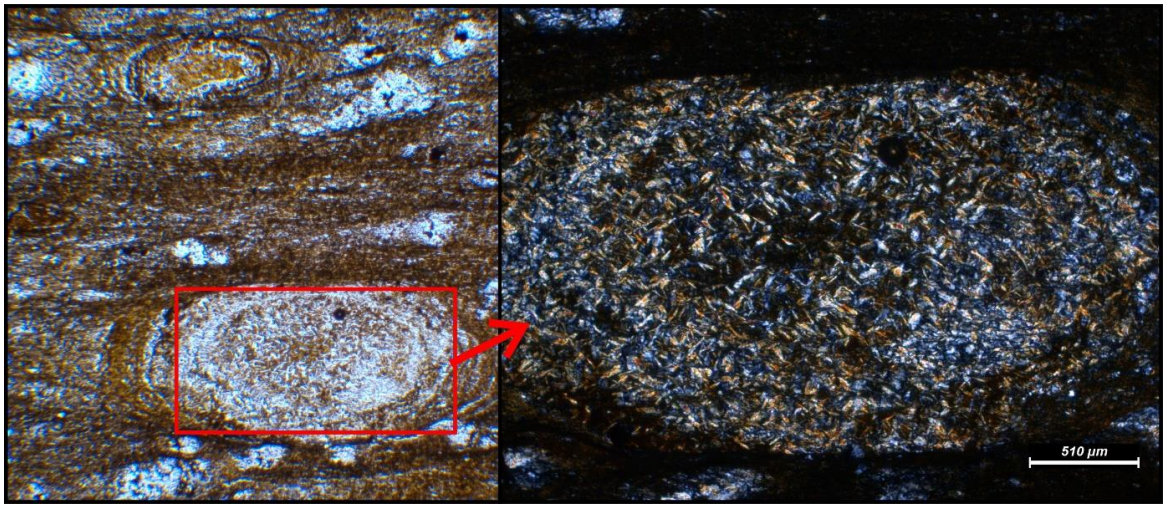
Fe-oksitler oolitik tanelerin etrafında hare oluştumakta ve Al-hidroksiler ile tane sınırları keskin olarak gözlenmektedir.

Pizolitlerin dış halkalarında manyetit minerallerinin geliştiği daha sonra hematit mineraline dönüştüğü anlaşılmıştır (Şekil 4.24).

Daha sonraki evrede devam eden sıkışma, gömülme, metamorfik süreçlerde ise pizolitlerin yassılaştığı düşünülmektedir (Şekil 4.23).

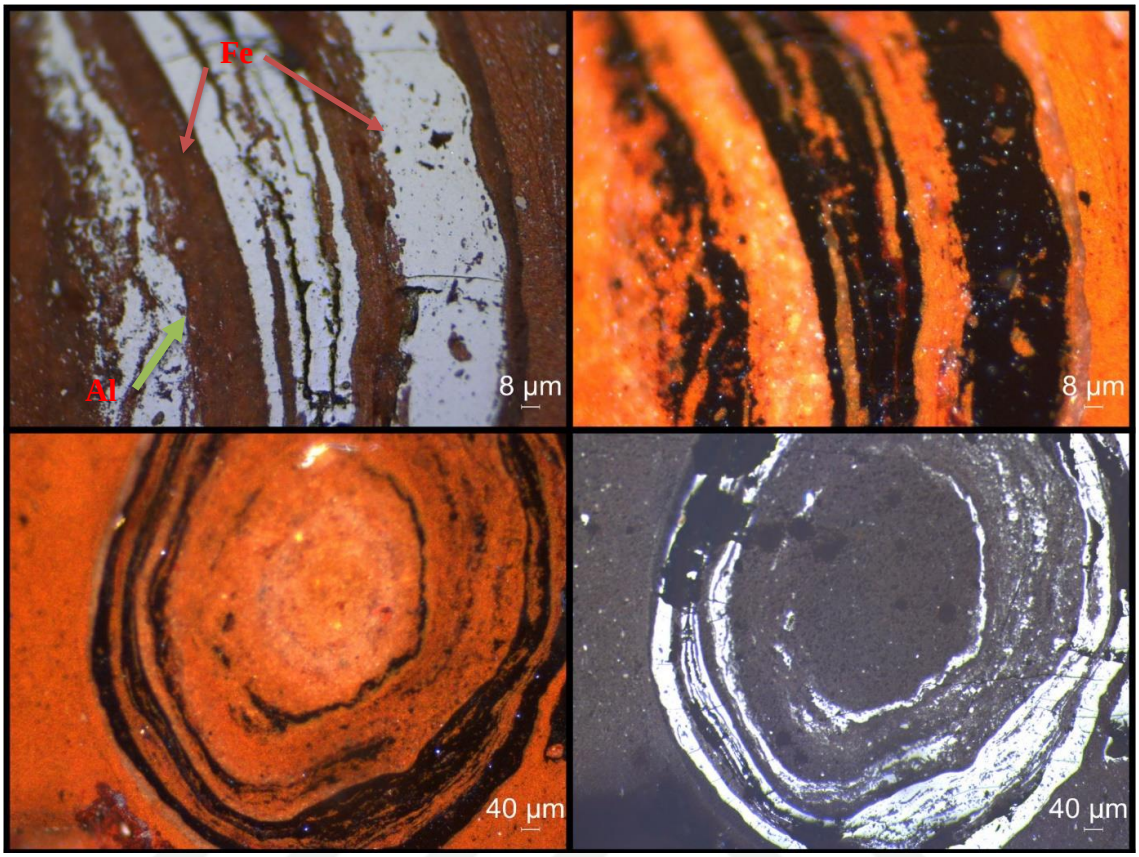


Şekil 4.27: Kızıldağ cevherine ait pizolitlerin manyetit-hematit-maghemit minerallerinin görünümü (40X).



Şekil 4.28: Oolit tanesinin merkezinde yer alan mika, kalsit ve kuvars birlikteliği.

Pizolitlerin çekirdekleri incelendiğinde, Mika, kuvars, kalsit gibi kaotik bir hamurun yer aldığı gözlenmiş, boksitleşme sürecinde ise nükleid olarak kalan hamur malzemesi yuvarlaklaşmıştır (Şekil 4.27).



Şekil 4.29: Pizolitlerde gözlenen konsantrik halkalar (Al-Fe ardalanmaları).

4.5. JEOKİMYA

İnceleme alanından alınan örneklerde cevherleşmenin kaynak kayasından, saprolitinden ve boksitinden alınan toplam 56 örneğin 26'sında tüm kayaç majör oksit, iz element ve nadir toprak elementleri tespit edilmiştir.

ICP-AES ve ICP-MS yöntemleri ile elde edilen analiz sonuçlarına göre değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir ve Tablo 4.1, Tablo 4.2,'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Kızıldağ cevherleşmesine ait Jeokimya analiz sonuçları.

protolit	KD-03	KD-05	KD-13	KD-16	nh	nh1	nh2	saprolit	KD-02	KD-04	KD-12	KD-23	KD-24	nh3	nh4	nh5	nh6	nh7	boksit	KD-15	KD-22	KD-25	KD-26	nh8	nh9
SiO2	36,12	41,13	52,24	42,66	57,24	49,38	46,22	SiO2	35,47	29,87	27,69	37,45	25,76	49	34,71	30,25	31,57	38,51	SiO2	24,66	12,12	20,16	5,3	5,91	9,73
Al2O3	27,77	27,69	26,6	30,35	22,2	31,18	25,57	Al2O3	24,99	22,2	20,86	28,98	33,87	26,92	27,86	24,31	24,03	31,34	Al2O3	30,07	39,19	40,47	54,74	52,93	50,78
Fe2O3	22,11	13,98	6,85	8,97	7,82	3,28	13,86	Fe2O3	25,04	35,94	39,38	14,78	20,23	9,65	21,2	31,93	29,9	12,48	Fe2O3	30,45	32,93	21,8	24,2	25,33	24,37
MgO	0,82	1,43	0,82	0,67	0,96	0,33	0,86	MgO	0,92	1,72	1,48	0,71	0,94	0,86	1,69	1,68	1,69	0,56	MgO	1,26	0,94	1,03	0,12	0,24	0,29
CaO	0,19	0,42	0,19	0,52	0,25	0,2	0,21	CaO	0,27	0,21	0,24	0,37	0,38	0,17	0,31	0,19	0,25	0,24	CaO	0,07	0,11	0,25	0,11	0,11	0,09
Na2O	0,73	0,78	1,13	1,18	0,85	1,46	0,82	Na2O	0,33	0,09	0,26	0,88	0,45	1,1	0,91	0,41	0,49	1,66	Na2O	0,26	0	0,25	0,005	0,03	0,09
K2O	1,31	3,83	4,55	4,79	3,56	4,32	2,72	K2O	0,99	0,28	0,62	4,23	1,95	3,97	2,34	0,95	1,08	2,67	K2O	0,66	0,05	1,23	0,005	0,06	0,39
TiO2	1,75	1,58	1,39	2,16	1,24	1,55	1,3	TiO2	1,79	1,65	1,39	1,81	1,69	1,3	2,2	1,51	1,76	2,56	TiO2	2,92	3,1	2,27	3,05	2,7	2,51
P2O5	0,02	0,05	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	P2O5	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,02	0,07	0,05	P2O5	0,04	0	0,04	0,04	0,09	0,07
MnO	0,01	0,005	0,005	0,02	0,01	0,01	0,01	MnO	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	MnO	0,03	0,05	0,02	0,09	0,09	0,04
Cr2O3	0,051	0,042	0,053	0	0,034	0,029	0,04	Cr2O3	0,063	0,054	0,07	0,053	0,039	0,036	0,044	0,044	0,047	0,035	Cr2O3	0,073	0,06	0,07	0,069	0,071	0,062
LOI	8,9	8,8	5,9	4,1	5,6	7,7	8	LOI	9,7	7,5	6,2	10,3	14,3	6,7	8,4	8,2	8,7	9,6	LOI	9,2	10,4	12,1	11,9	12,1	11,3
Ba	39	73	98	116,9	93	83	54	Ba	28	20	19,2	135	320	105	68	27	26	60	Ba	32	22,5	188	35	38	59
Ni	66	113,0	40,0	117,5	47,8	25,1	100,2	Ni	82,0	71,0	95,1	262,0	110,0	51,2	93,5	94,3	126	53,7	Ni	98	169,0	110	109	0	103,2
Sc	33	28,0	28,0	0,0	22,0	28,0	34,0	Sc	32,0	37,0	54,0	29,0	37,0	28	30	35	28	31	Sc	43	56,0	46	56	49	47
Be	3	5,0	3,0	4,6	4,0	8,0	4,0	Be	0,5	0,5	0,7	8,0	4,0	4	4	2	4	7	Be	4	3,7	5	10	9	8
Co	16,4	37,5	27,4	106,8	40,7	10,8	52,8	Co	45,0	23,3	61,6	109,1	19,6	52,6	46,2	32,1	69,9	9,5	Co	16,5	68,0	21,9	24,2	22,6	21,3
Cs	1,4	6,2	4,2	6,3	3,8	4,5	3,3	Cs	1,4	0,6	0,9	7,1	4,8	5,2	3,8	1,7	1,6	2,7	Cs	2,4	0,3	4,1	1,3	0,9	2,5
Ga	41	34,8	43,6	49,9	37,1	42,6	36,9	Ga	40,2	47,3	52,5	40,9	45,2	47,9	29,7	50,3	43,9	38,2	Ga	55,1	40,8	53,8	73,2	66,3	60,1
Hf	13,2	11,6	9,8	0,0	9,3	10,3	8,7	Hf	15,7	13,8	0,0	14,5	9,5	9,7	15,8	12,4	15,2	19,9	Hf	21,7	0,0	14,9	19,3	18	15,6
Nb	44,8	40,6	47,9	41,0	47,1	45,1	39,5	Nb	45,6	42,9	39,0	49,8	45,9	50,3	57,4	41,1	53,1	75,2	Nb	69,5	81,0	59,3	75,9	76,1	73
Rb	42,4	136,1	142,0	106,8	119,2	146,3	88,4	Rb	35,8	9,8	16,7	116,3	57,3	125,5	71,9	29,5	36,5	78,5	Rb	23,8	1,3	37,2	1,4	2,7	13,6
Sn	6	6,0	5,0	0,0	10,0	6,0	5,0	Sn	5,0	5,0	7,0	7,0	7,0	9,0	9,0	5,0	5,0	8,0	Sn	8,0	0,0	8,0	12,0	14	11
Sr	123	166,2	96,0	103,1	89,8	219,2	134,4	Sr	104,1	74,3	68,7	73,5	75,7	95,5	73,7	90,1	119,7	258,4	Sr	30,9	29,9	57,0	38,8	30,1	57,6
Ta	2,9	2,8	3,1	0,0	3,2	2,9	2,4	Ta	3,0	3,0	0,0	3,5	3,1	3,5	3,7	3,0	3,3	5,2	Ta	4,7	0,0	4,1	5,0	4,9	4,6
Th	27,4	28,3	22,3	24,0	23,6	31,0	24,7	Th	32,6	31,8	34,0	44,3	26,9	22,5	34,6	29,5	34,6	36,9	Th	39,3	32,5	37,7	50,3	47,4	45,2
U	20,5	11,4	8,7	13,9	8,9	10,1	11,6	U	12,1	12,5	15,5	14,9	16,5	8,2	14,5	14,2	17,5	16,0	U	15,7	15,0	20,5	21,3	21,6	20,3
V	456	441,0	203,0	546,0	206,0	179,0	282,0	V	605,0	1089,0	1160,0	943,0	561,0	264,0	376,0	656,0	640,0	156,0	V	597,0	740,0	647,0	635,0	582	535
W	2,9	2,4	3,3	0,0	5,2	5,8	6,6	W	3,4	3,4	0,0	3,6	3,4	4,0	7,0	3,6	5,3	4,6	W	5,4	0,0	4,8	5,3	6	20,9
Zr	506	442,7	366,0	392,0	325,1	383,7	315,4	Zr	590,1	529,1	527,0	535,7	357,8	335,6	556,3	430,4	574,0	748,7	Zr	797,1	839,0	544,2	718,9	647,4	584,5
Mo	5,1	1,9	1,1	0,0	1,0	1,7	2,3	Mo	2,7	6,7	0,0	4,7	2,5	1,3	3,1	8,9	3,0	4,4	Mo	2,6	0,0	1,9	2,0	0	1,1
Cu	36,3	33,3	31,2	277,0	19,5	64,9	93,2	Cu	32,1	32,8	16,2	101,5	25,9	27,5	52,3	31,0	15,7	3,2	Cu	12,2	39,1	34,9	35,3	0	31
Pb	22,9	3,3	20,2	82,9	6,7	10,0	16,8	Pb	19,7	20,2	26,5	20,6	8,4	4,8	10,9	7,1	5,9	3,5	Pb	5,3	42,4	20,1	37,4	0	35
Zn	83	79,0	49,0	116,1	54,0	16,0	69,0	Zn	94,0	149,0	84,1	29,0	49,0	60,0	88,0	93,0	126,0	35,0	Zn	71,0	128,0	60,0	69,0	0	90
As	0,25	7,5	0,3	81,3	0,5	0,5	0,5	As	0,3	0,3	76,2	676,8	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	As	0,3	91,2	0,3	0,3	0	0,5
Y	37,9	36,7	44,6	99,2	49,6	228,0	179,0	Y	66,7	49,3	59,3	55,5	46,9	52,0	70,1	151,7	161,5	60,2	Y	70,1	59,1	58,2	76,8	94,6	91,3
La	33,8	73,3	58,3	131,0	57,6	776,6	362,4	La	96,0	79,1	66,2	134,9	84,2	108,5	68,4	332,4	201,6	54,9	La	61,0	108,8	131,7	144,3	172,3	99
Ce	83,1	174,2	163,6	288,4	157,8	740,2	505,0	Ce	882,7	459,4	308,5	298,5	119,9	118,5	189,0	663,8	278,2	103,0	Ce	397,7	254,8	230,7	405,0	352,7	125,1
Pr	5,33	16,0	11,3	41,5	12,4	195,6	81,6	Pr	30,1	22,5	25,4	31,8	19,1	17,4	15,4	91,0	47,4	9,0	Pr	14,6	26,9	28,0	35,8	42,89	18,19
Nd	16,2	58,5	37,5	174,6	40,2	731,1	312,0	Nd	116,6	93,9	116,0	119,7	70,3	49,0	53,0	370,1	182,0	27,6	Nd	52,8	102,9	98,5	127,7	152,9	58,1
Sm	2,97	9,9	5,7	40,6	6,4	128,2	62,8	Sm	28,5	20,2	26,4	21,7	12,5	7,1	12,0	75,1	38,8	5,3	Sm	11,2	22,7	16,7	25,69	29,29	12,08
Eu	0,61	1,2	0,8	6,9	0,9	22,3	14,4	Eu	5,9	3,4	5,2	3,1	1,8	1,2	2,1	14,8	9,5	0,9	Eu	2,5	4,6	2,9	4,97	5,91	2,71
Gd	4,04	8,0	6,2	41,1	6,2	109,5	60,5	Gd	27,4	17,7	24,1	16,5	10,2	7,3	12,4	72,4	41,2	6,2	Gd	12,4	22,7	13,5	21,29	25,75	14,73
Tb	0,99	1,3	1,2	5,2	1,3	13,6	9,0	Tb	3,6	2,0	3,5	2,1	1,6	1,4	2,4	8,7	6,4	1,6	Tb	2,1	3,4	2,1	3,18	4,07	2,89
Dy	7,72	8,3	7,7	24,0	7,9	62,4	47,1	Dy	17,0	10,1	16,6	11,3	10,0	8,8	14,0	38,0	32,9	10,7	Dy	13,1	16,7	12,9	17,95	20,89	16,9
Ho	1,74	1,8	1,7	3,9	1,7	9,9	8,4	Ho	2,9	1,8	2,7	2,2	2,0	2,0	2,9	5,4	6,2	2,5	Ho	2,8	2,9	2,6	3,37	3,96	3,52
Er	5,84	5,7	5,4	12,0	5,3	21,5	20,4	Er	8,4	5,2	8,3	6,8	6,8	6,0	8,3	11,8	15,9	7,6	Er	8,4	7,9	8,0	10,16	10,72	10,34
Tm	0,89	0,9	0,8	1,4	0,9	2,9	3,0	Tm	1,2	0,8	1,2	1,1	1,0	1,0	1,3	1,7	2,5	1,3	Tm	1,2	1,0	1,2	1,5	1,67	1,63
Yb	6,01	5,6	5,0	9,7	4,8	17,3	18,3	Yb	8,4	5,1	7,7	7,1	6,8	6,1	8,0	10,2	15,9	7,9	Yb	8,0	6,8	8,0	10,24	10,42	9,73
Lu	0,93	0,8	0,8	1,4	0,8	2,6	3,0	Lu	1,2	0,8	1,1	1,1	1,0	1,0	1,2	1,6	2,6	1,2	Lu	1,2	1,0	1,2	1,61	1,58	1,53
Sum	99,76	99,7	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	Sum	99,6	99,6	99,6	99,6	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	Sum	99,7	0,1	99,7	99,64	99,64	99,64
TOT/C	0,04	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	TOT/C	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	TOT/C	0,1	0,1	0,1	0,22	0,2	0,27
TOT/S	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	TOT/S	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	TOT/S	0,02	0,02	0,01	0,12	0,01	0,01
Σ REE	241,07	430,29	378,43	880,8069	375,67	3089,66	1720,79	Σ REE	1328,55	808,17	726,0276	742,48	431,12	415,32	490,4	1883,59	1070,57	330,83	Σ REE	702,03	698,1909	662,03	945,53	978,65	514,75

Tablo 4.2: Kemiklitepe cevherleşmesine ait jeokimya verileri.

SiO2	43,56	37,22	43,65	11,79	12,09	33,84	43,91	40,18	4,58	2,47	2,06	0,68	3,64	1,24	6,08	3,2	1,69	SiO2	0,14
Al2O3	35,82	29,97	36,17	52,76	60,57	50,54	33,42	34,63	60,21	55,62	53,94	62,03	52,38	59,86	58,3	51,67	52,53	Al2O3	0,06
Fe2O3	8,67	18,17	9,51	20,47	10,8	1,64	10,5	9,6	Fe2O3	19,03	26,83	28,78	18,1	28,67	22,04	19,22	30,68	31,95	Fe2O3	0,99
MgO	0,18	0,21	0,36	MgO	0,07	0,2	0,46	0,23	0,19	MgO	0,15	0,11	0,13	0,06	0,13	0,07	0,09	0,3	0,1	MgO	0,27
CaO	0,1	0,09	0,07	CaO	0,16	0,12	0,34	0,07	0,08	CaO	0,14	0,14	0,09	0,7	0,17	0,81	0,15	0,15	0,04	CaO	55,02
Na2O	0,87	0,46	0,15	Na2O	0,18	0,2	0,12	0,25	0,25	Na2O	0,13	0,01	0,005	0,005	0	0,005	0,33	0,005	0,005	Na2O	0,005
K2O	0,45	0,74	0,14	K2O	0,15	0,29	0,42	0,64	0,64	K2O	0,06	0,01	0,005	0,005	0,01	0,005	0,3	0,005	0,005	K2O	0,005
TiO2	1,89	1,37	2,11	TiO2	2,61	2,74	2,45	1,59	1,63	TiO2	2,97	2,82	3,26	4,1	2,9	3,1	2,84	3,05	3,16	TiO2	0,005
P2O5	0,06	0,05	0,07	P2O5	0,09	0,06	0,03	0,03	0,02	P2O5	0,04	0,03	0,06	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03	0,03	P2O5	0,01
MnO	0,005	0,01	0,005	MnO	0,005	0,005	0,005	0,01	0,01	MnO	0,04	0,1	0,3	0,0	0,1	0,005	0,16	0,15	MnO	0,05	
Cr2O3	0,026	0,016	0,03	Cr2O3	0,024	0,023	0,038	0,022	0,024	Cr2O3	0,035	0,048	0,043	0,0	0,0	0,025	0,053	0,048	Cr2O3	0,001	
LOI	8,1	11,5	7,5	LOI	11,4	12,7	9,9	9,2	12,6	LOI	12,2	11,2	11	13,9	11,4	12,4	12,2	10,4	10	LOI	43,5
Ba	16	27	11	Ba	28	28	16	28	26	Ba	25	23	41	13,0	18,1	17,0	49	34	25	Ba	55
Ni	55	20	48	Ni	35	42	36	38	37	Ni	161	82	115	10,0	0,0	67,0	51	124	105	Ni	10
Sc	42	28	38	Sc	44	53	29	25	26	Sc	66	80	72	50,0	82,0	75,0	52	69	61	Sc	0,5
Be	3	2	0,5	Be	7	8	1	2	2	Be	9	9	6	13,0	3,9	9,0	7	7	5	Be	0,5
Co	21,6	3	11,3	Co	9,1	5,9	4,1	9,8	7,9	Co	57,2	26,4	43,3	8,0	60,0	20,5	10,8	33,9	52,4	Co	2,2
Ga	35,4	23,6	39,9	Ga	59	76,1	51,7	26,9	29,3	Ga	72	70,1	62,2	72,6	36,5	64,5	66,4	67,6	75,9	Ga	0,25
Hf	10	8	11,5	Hf	14,1	15,5	12,7	10,3	9,1	Hf	16	17,8	18	22,4		17,7	16,7	17,8	17,9	Hf	0,05
Nb	37,8	32,7	43	Nb	57,4	66,3	50,5	38,9	39,5	Nb	71,7	70,2	68	80,9	63,0	66,1	64,5	65,1	64,3	Nb	0,05
Rb	8,4	17,7	3,1	Rb	3,6	7,5	9	15,2	15	Rb	1,6	0,5	0,4	0,1	0,4	0,1	6,3	0,05	0,05	Rb	0,05
Sn	7	7	6	Sn	11	8	9	5	6	Sn	13	13	13	14,0	0,0	11,0	14	11	10	Sn	0,5
Sr	49	88,1	22,4	Sr	70,4	81,9	22,3	36,5	35	Sr	63,2	49,1	18,3	30,1	39,2	34,5	83,7	40,8	20,9	Sr	14,6
Ta	2,6	2,2	3,1	Ta	3,9	4,3	3,5	2,5	2,7	Ta	5	4,9	4,5	4,7	0,0	4,3	4,5	4,6	4,2	Ta	0,05
Th	27,8	23,2	31,7	Th	35,8	36,4	35,3	23,7	23,4	Th	46,6	48,7	51,6	37,4	31,8	46,5	37,9	46,7	49,8	Th	0,1
U	24,7	19,5	26,4	U	12	11	8,8	22,3	22,4	U	13,4	17,7	10	7,6	9,4	8,3	12	10,9	9,5	U	0,1
V	369	191	359	V	461	355	275	231	222	V	444	558	447	657,0	556,0	423,0	490	489	395	V	25
W	1,7	2	4,1	W	6,6	6,1	5,2	1,7	1,1	W	4,8	5,2	5,3	6,7	0,0	5,1	6,9	4,1	5,5	W	0,25
Zr	364,7	269,7	423,5	Zr	524,4	574,9	467,9	343,6	344,5	Zr	585,7	638,4	662,2	829,2	672,0	627,1	586,3	646,9	646,6	Zr	1,8
Mo	5,8	34,3	11,9	Mo	6,3	1,7	0,8	12,7	13,3	Mo	1	0,7	1,2	7,5	0,0	0,6	6,3	0,5	0,4	Mo	1
Cu	46,8	119,7	47,6	Cu	87,5	100,7	20,3	29,5	21,6	Cu	7	19,2	65,6	67,7	43,8	23,6	84,1	35,5	30	Cu	2,4
Pb	64,7	56,5	80	Pb	68,9	33,4	12,2	54,7	60,2	Pb	45,7	76,8	90	43	135,9	61,8	69,6	85	55	Pb	1,6
Zn	106	12	109	Zn	14	6	63	21	19	Zn	108	86	93	7	158,7	54	19	70	40	Zn	16
Ni	59,7	11,2	34,4	Ni	33,9	16,5	29,4	36,4	28,1	Ni	111	56,7	102,8	21,6	79,6	61	50,7	112,8	101,2	Ni	6,3
As	37,6	24,3	54	As	50,1	2,4	3	24,3	16,5	As	0,5	2,4	1,8	80,9	82,0	0,25	66,3	0,25	0,25	As	19,3
Sb	0,8	1,9	2,2	Sb	2,9	0,9	0,7	2,8	2,6	Sb	1,8	3,2	2,4	4,8	0,0	2,2	4,4	3,1	1,1	Sb	0,3
Bi	1,3	0,7	1,6	Bi	1,2	1,3	0,8	0,8	0,8	Bi	1,2	1,5	2	1,5	0,0	1,7	1,8	1,2	0,8	Bi	0,05
Se	0,25	0,5	0,25	Se	0,25	0,25	0,5	0,5	0,6	Se	0,8	2,9	0,7	0,25	0,0	0,8	0,25	0,25	0,25	Se	0,25
Y	51	22,2	44,6	Y	76,9	90,5	62	27,1	29,2	Y	124,3	258,7	93,3	88,9	65,7	103,9	92,7	72,7	47,1	Y	12,2
La	119,5	31,7	145,7	La	134,6	165,8	78,6	19,1	23,8	La	174,4	499,8	200	145,1	135,7	182,6	157,5	100,2	55,1	La	3,8
Ce	182,3	51	234,3	Ce	252,8	203,8	107,6	49,2	66,1	Ce	454,2	817,2	355,3	161,7	235,1	316,9	279,2	293,4	346,1	Ce	3,5
Pr	18,91	6,2	24,22	Pr	26,43	22,27	17,01	4,62	5,5	Pr	46,27	137,38	41,48	31,6	41,92	28,81	26,44	13,14	Pr	0,62	
Nd	54,7	21,3	75,1	Nd	88	61,7	65,7	17,3	20,2	Nd	174,7	577,4	147,2	26,8	111,8	141	90,6	91,4	45	Nd	3
Sm	7,42	4,38	10,04	Sm	12,97	6,59	11,81	4,18	4,52	Sm	32,16	111,61	27,61	3,46	24,0	29,03	10,88	19,56	9,5	Sm	0,67
Eu	1,37	1,83	2,55	Eu	2,56	1,47	2,35	1,2	1,09	Eu	6,4	23,2	5,76	0,81	4,7	5,86	2,31	3,96	1,93	Eu	0,18
Gd	7,62	3,42	9,26	Gd	11,13	9	10,47	3,69	4,24	Gd	27,59	102,82	23,45	5,14	21,5	21,87	11,88	15,76	8,84	Gd	1
Tb	1,49	0,55	1,53	Tb	1,81	1,82	1,9	0,59	0,64	Tb	4,13	11,96	4,06	1,26	3,6	4,08	2,11	2,73	1,59	Tb	0,16
Dy	10,26	3,52	9,66	Dy	12,12	13,32	11,96	3,72	4,03	Dy	23,99	60,48	24,59	11,51	19,9	26,46	14,63	16,89	10,51	Dy	1,06
Ho	2,22	0,76	1,92	Ho	2,72	3,12	2,61	0,8	0,88	Ho	4,57	9,82	5,15	3,34	3,5	5,6	3,43	3,42	2,13	Ho	0,22
Er	7,19	2,34	6,29	Er	8,74	10,55	7,9	2,61	2,82	Er	13,48	25,01	16,27	13,07	11,5	18,03	10,92	10,67	6,6	Er	0,63
Tm	1,09	0,43	1,01	Tm	1,29	1,52	1,28	0,43	0,45	Tm	2,12	3,7	2,64	2,21	1,7	2,87	1,6	1,7	1,08	Tm	0,09
Yb	7,32	3,04	7,08	Yb	8,95	9,9	8,56	2,98	3,03	Yb	13,31	23,2	18	15,68	11,4	19,08	10,82	11,78	7,21	Yb	0,4
Lu	1,16	0,49	1,11	Lu	1,38	1,55	1,31	0,44	0,46	Lu	1,98	3,34	2,85	2,54	1,6	3,13	1,69	1,78	1,1	Lu	0,06
Sum	99,76	99,86	99,74	Sum	99,72	99,74	99,8	99,87	99,87	Sum	99,63	99,42	99,64	99,67	99,5	99,68	99,7	99,69	99,72	Sum	99,98
TOT/C	0,05	0,1	0,06	TOT/C	0,11	0,08	0,12	0,13	0,06	TOT/C	0,07	0,1	0,07	0,22	0,2	0,27	0,13	0,1	0,04	TOT/C	12,3
TOT/S	0,01	0,04	0,01	TOT/S	0,05	0,12	0,01	0,02	0,02	TOT/S	0,02	0,02	0,01	0,12	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	TOT/S	0,01
Σ REE	515,55	181,16	612,37	Σ REE	686,4	655,91	420,06	162,96	192,96	Σ REE	1169,6	2745,62	1039,66	543,02	765,0	997,33	771,08	741,39	617,93	Σ REE	28,09

4.5.1. Protolit Jeokimyası

Kızıldağ cevherleşmesinin protolitlerine ait seçilmiş örneklerin kızdırma kaybı miktarı % 0,6 – 20,1 arasında değişmektedir.

Protolitlerin Al_2O_3 (%)'e karşı, TiO_2 (%), Fe_2O_3 (%), SiO_2 (%), MgO (%), Na_2O (%), K_2O (%), P_2O_5 (%) (Şekil 4.32), SiO_2 (%)'e karşı, Fe_2O_3 (%) ve TiO_2 (%)'ye karşı Fe2O3 (%) diyagramları Şekil 4.33'te gösterilmiştir.

Bu diyagramlara göre; SiO_2 (%) oranı azaldıkça Fe_2O_3 (%) değerlerinde artış bunun yanı sıra Al_2O_3 (%) oranı attıkça, TiO_2 (%) ve Fe_2O_3 (%), TiO_2 (%) oranı arttıkça da Fe2O3 (%) oranında da artış gözlenmektedir.

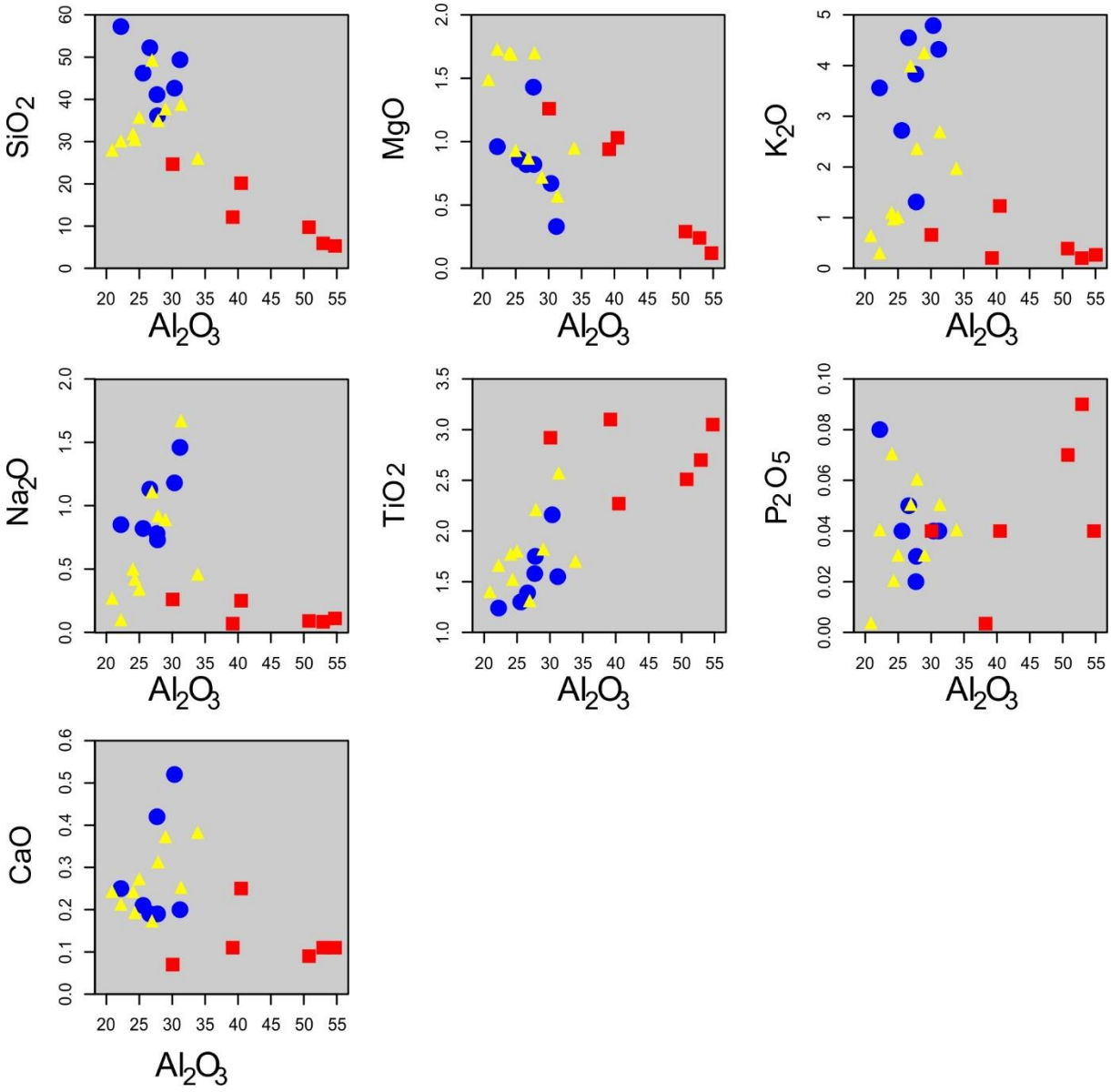
TiO_2 (%)'ye karşı Hf (ppm), Nb (ppm), Ta (ppm) ve Zr (ppm) diyagramları Şekil 4.34 verilmiştir. TiO_2 (%) değerleri arttıkça Hf (ppm), Nb (ppm) ve Zr (ppm) değerleri de artış göstermektedir. Ancak Ta (ppm) değeri sabit kalmaktadır.

Ta (ppm)'a karşı Zr (ppm), Zr (ppm)'karşı Hf (ppm), Nb (ppm)'a karşı, Ta (ppm) ve Zr (ppm)'nun ikili diyagramları şekil 4.29'de gösterilmiştir.

Kemiklitepe cevherleşmesinin protolitlerine ait seçilmiş örneklerin kızdırma kaybı miktarı % 7,5 – 11,5 değişmektedir.

Protolitlerin Al_2O_3 (%)'e karşı, TiO_2 (%), Fe_2O_3 (%), SiO_2 (%), MgO (%), Na_2O (%), K_2O (%), P_2O_5 (%) (Şekil 4.33), SiO_2 (%)'e karşı, Fe_2O_3 (%) ve TiO_2 (%)'ye karşı Fe2O3 (%) diyagramları Şekil 4.35'te gösterilmiştir.

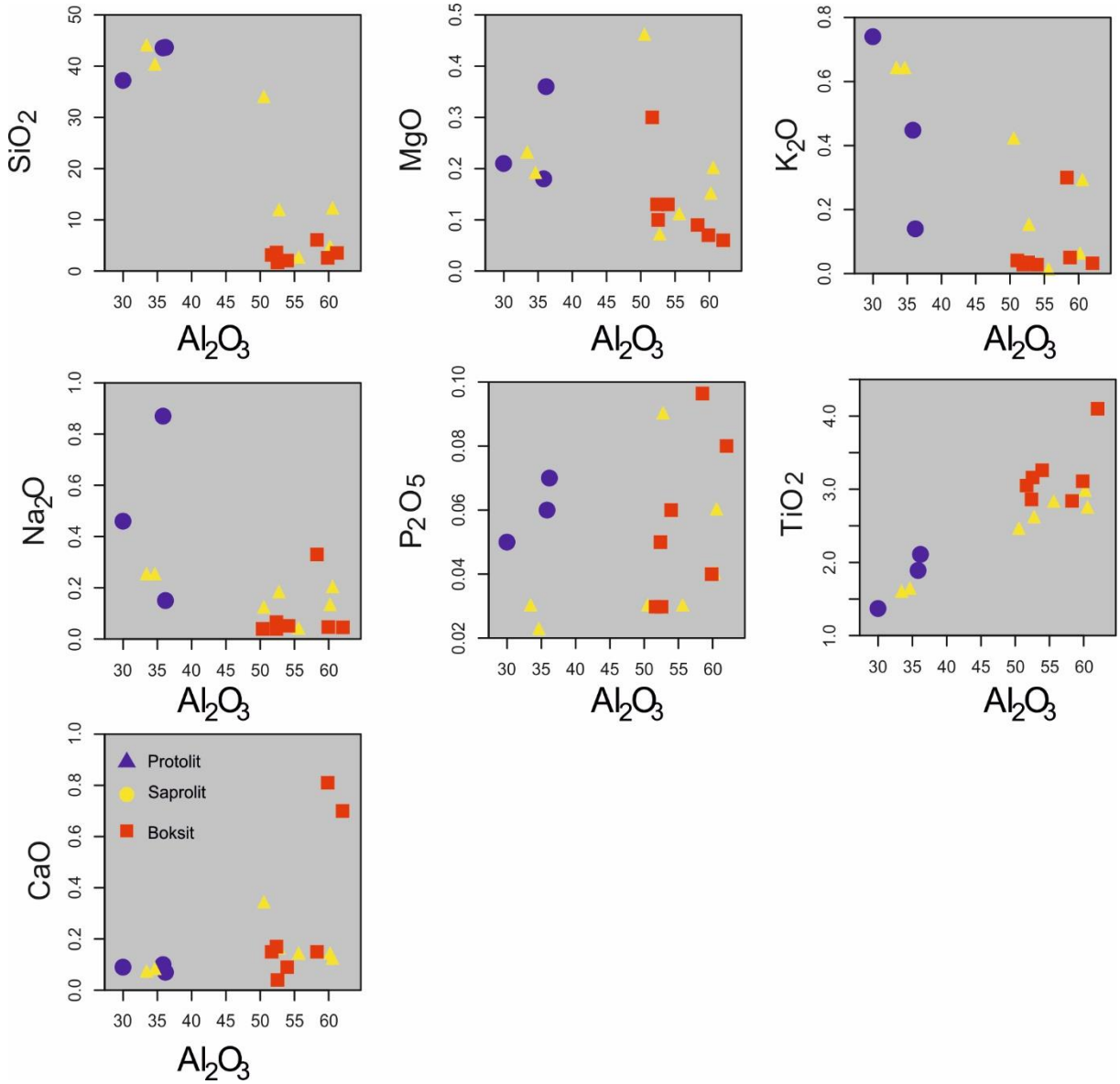
Bu diyagramlara göre; SiO_2 (%) oranı azaldıkça Fe_2O_3 (%) değerlerinde artış bunun yanı sıra Al_2O_3 (%) oranı attıkça, TiO_2 (%) ve Fe_2O_3 (%), TiO_2 (%) oranı arttıkça da Fe2O3 (%) oranında da artış gözlenmektedir.



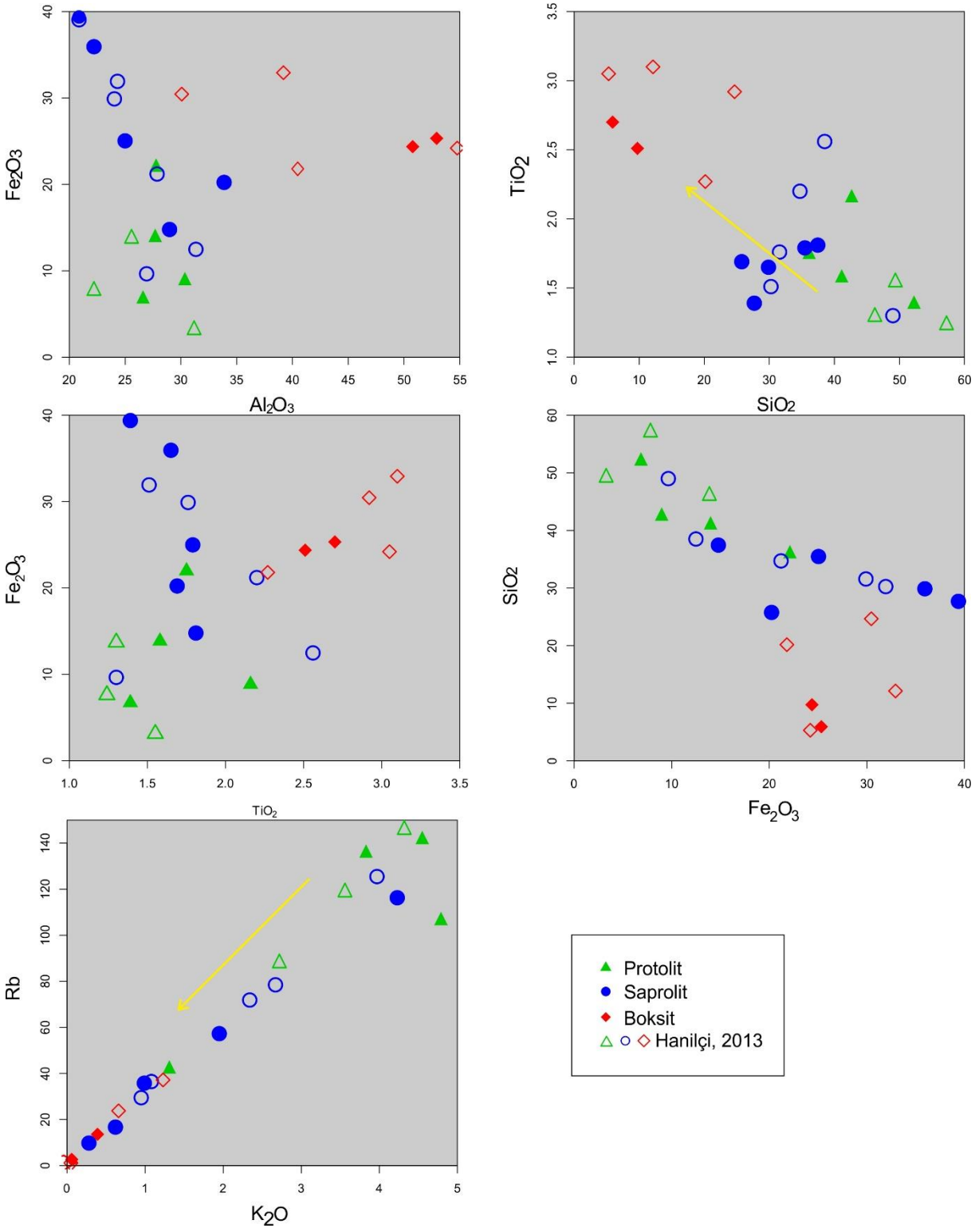
Şekil 4.30: Kızıldağ cevherleşmesine ait Al_2O_3'e karşı majör oksitlerin ikili diyagramı.

TiO_2 (%)'ye karşı Hf (ppm), Nb (ppm), Ta (ppm) ve Zr (ppm) diyagramları Şekil 4.37 verilmiştir. TiO_2 (%) değerleri arttıkça Hf (ppm), Nb (ppm) ve Zr (ppm) değerleri de artış göstermektedir.

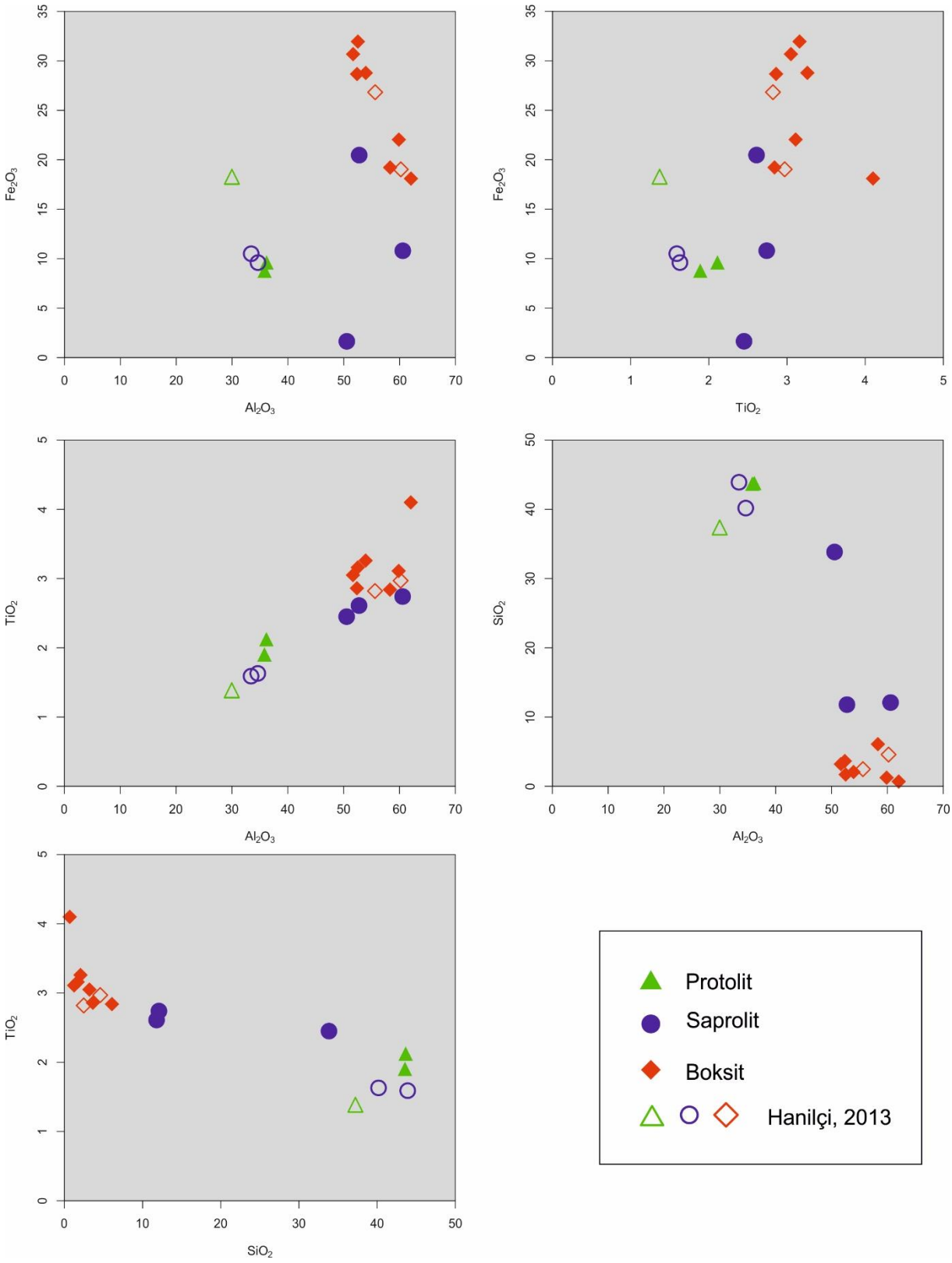
SiO_2 (%) değeri azaldıkça Fe_2O_3 (%) oranındaki artış açıkça gözlenmektedir. TiO_2 (%)'ye karşı Hf (ppm), Nb (ppm), Ta (ppm) ve Zr (ppm) diyagramları Şekil 4.37'de gösterilmiştir. Bazı majör oksit ikili diyagramlarına bakıldığında herhangi bir ilişki gözlenmemektedir. Elementlerin kimyasal özellikleri nedeni ile birlikte davranmamaktadırlar.



Şekil 4.31: Kemiklitepe cevherleşmesine ait Al_2O_3'e karşı majör oksitlerin ikili diyagramı.



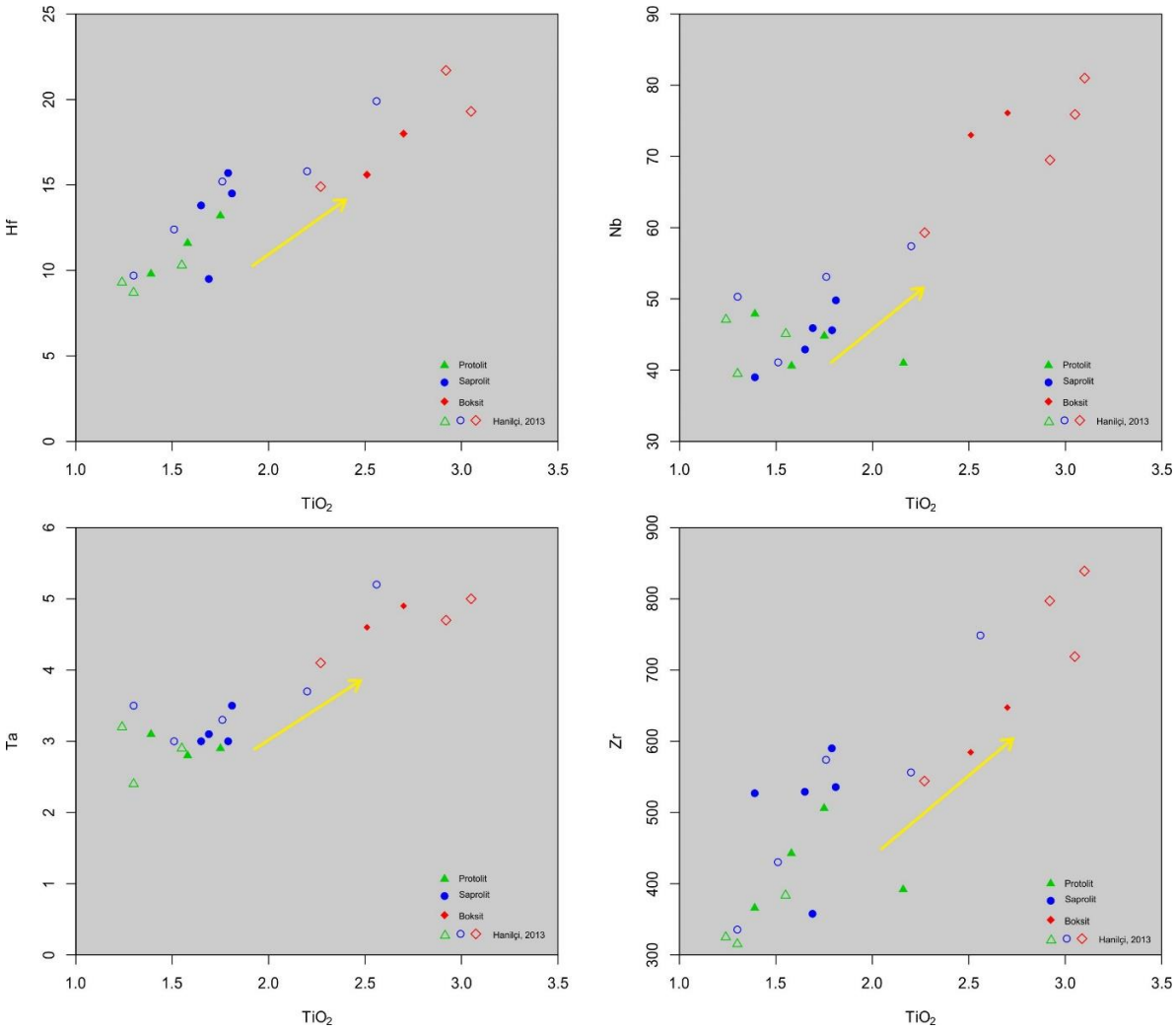
Şekil 4.32: Kızıldağ cevherleşmesine ait majör oksitlerin ikili diyagramları.



Şekil 4.33: Kemiklitepe cevherleşmesine ait majör oksitlerin ikili diyagramları.

4.5.2. Saprolit Jeokimyası

Kızıldağ cevherleşmesinin saprolitlerinde Şekil 4.32 gösterilen diyagramlara göre; geçiş kayası olan saprolitlerde Jeokimyasal davranış belirli bir patern göstermemektedir. SiO_2 (%) değeri azaldıkça Fe_2O_3 (%) oranındaki artış açıkça gözlenmektedir. TiO_2 (%)'ye karşı Hf (ppm), Nb (ppm), Ta (ppm) ve Zr (ppm) diyagramları Şekil 4.37 verilmiştir. TiO_2 (%) değerleri arttıkça Hf (ppm), Zr (ppm), Nb (ppm) ve Ta (ppm) oranında artış görülmektedir.



Şekil 4.34: Kızıldağ cevherleşmesine ait % TiO_2'ye karşı Nb (ppm), Ta (ppm), Hf (ppm) ve Zr (ppm) ikili diyagramları.

Kemiklitepe cevherleşmesinin saprolitlerinde Şekil 4.33 gösterilen diyagramlara göre; geçiş kayası olan saprolitlerde Kızıldağ'a benzer Jeokimyasal davranış belirli bir patern göstermemektedir. SiO_2 (%) değeri azaldıkça Fe_2O_3 (%) oranındaki artış açıkça gözlenmektedir. TiO_2 (%)'ye karşı Hf (ppm), Nb (ppm), Ta (ppm) ve Zr (ppm) diyagramları

Şekil 4.37 verilmiştir. TiO_2 (%) değerleri arttıkça Hf (ppm), Zr (ppm), Nb (ppm) ve Ta (ppm) oranında artış görülmektedir.

4.5.3. Boksit Cevherinin Jeokimyası

Yüzeysel koşullarda Ti elementi görece olarak mobil değildir. Bu nedenle Ti ile yüksek pozitif korelasyon gösteren ve boksitleşme sürecinde beraber davranış gösteren elementlerin tespiti için elementlerin TiO_2'ye karşı diyagramları oluşturulmuştur.

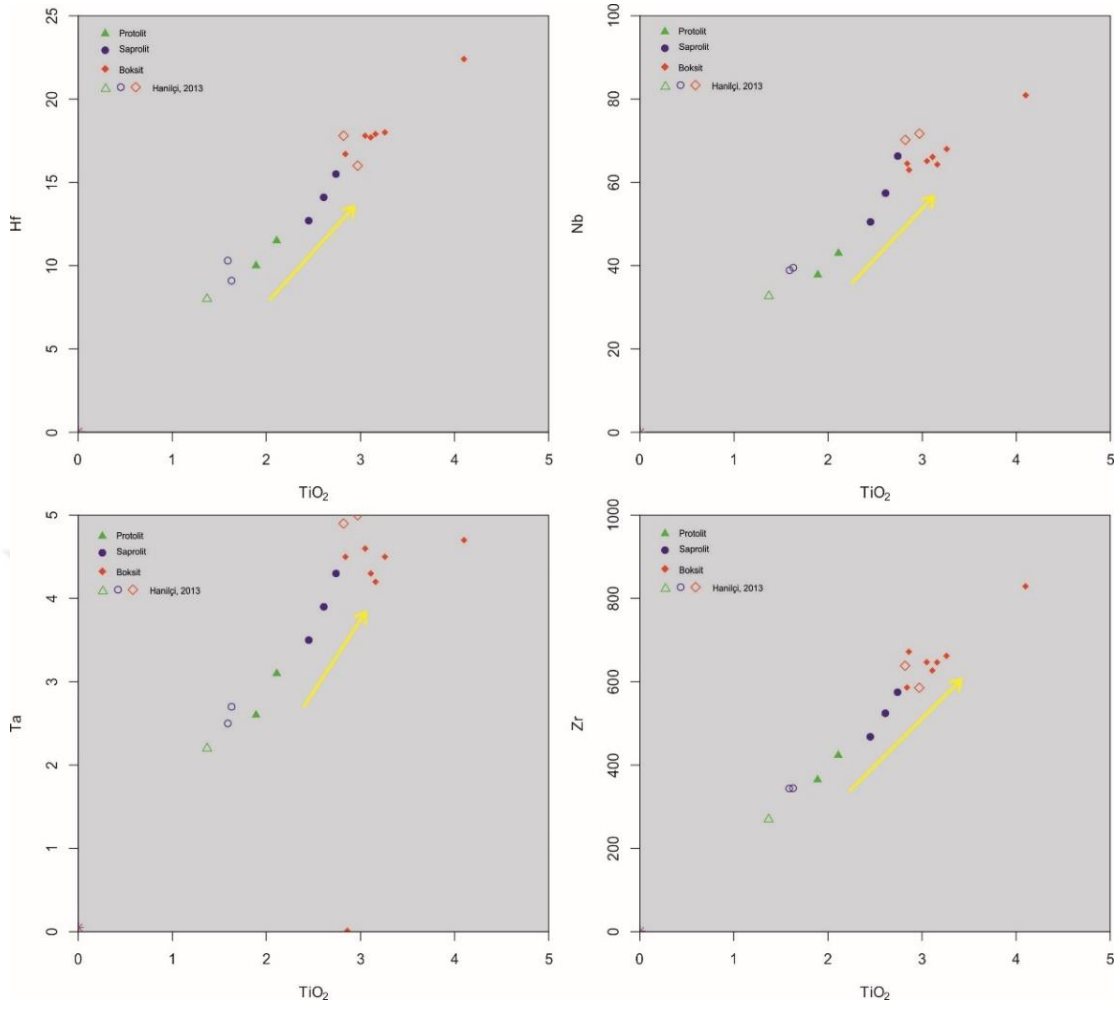
Oluşturulan diyagramlardan Ti'ye karşı Hf, Nb, Zr, Ta elementlerinin yüksek korelasyon gösterdiği tepsit edilmiştir.

Boksitlerde Al_2O_3 (%)'e karşı, TiO_2 (%), Fe_2O_3 (%), SiO_2 (%)'e karşı, Fe_2O_3 (%) ve TiO_2 (%)'ye karşı Fe_2O_3 (%) diyagramları Şekil 4.30 ve 4.32'de gösterilmiştir.

Bu diyagramlara göre; genel olarak gözlenen SiO_2 (%) oranı azaldıkça Fe_2O_3 (%) değerlerinde artış bunun yanı sıra Al_2O_3 (%) oranı attıkça, TiO_2 (%) ve Fe_2O_3 (%), TiO_2 (%) oranı arttıkça da Fe_2O_3 (%) oranında da artış gözlemlenmiştir.

TiO_2 (%)'ye karşı Hf (ppm), Nb (ppm), Ta (ppm) ve Zr (ppm) diyagramları Şekil 4.37 verilmiştir. TiO_2 (%) değerleri arttıkça Hf (ppm), Nb (ppm), Zr (ppm) ve Ta (ppm) oranında artış görülmektedir.

Nb (ppm)'a karşı Ta (ppm) ve Zr (ppm), Zr (ppm)'a karşı Hf (ppm) ve Ta (ppm) diyagramları Şekil 4.36 verilmiştir.

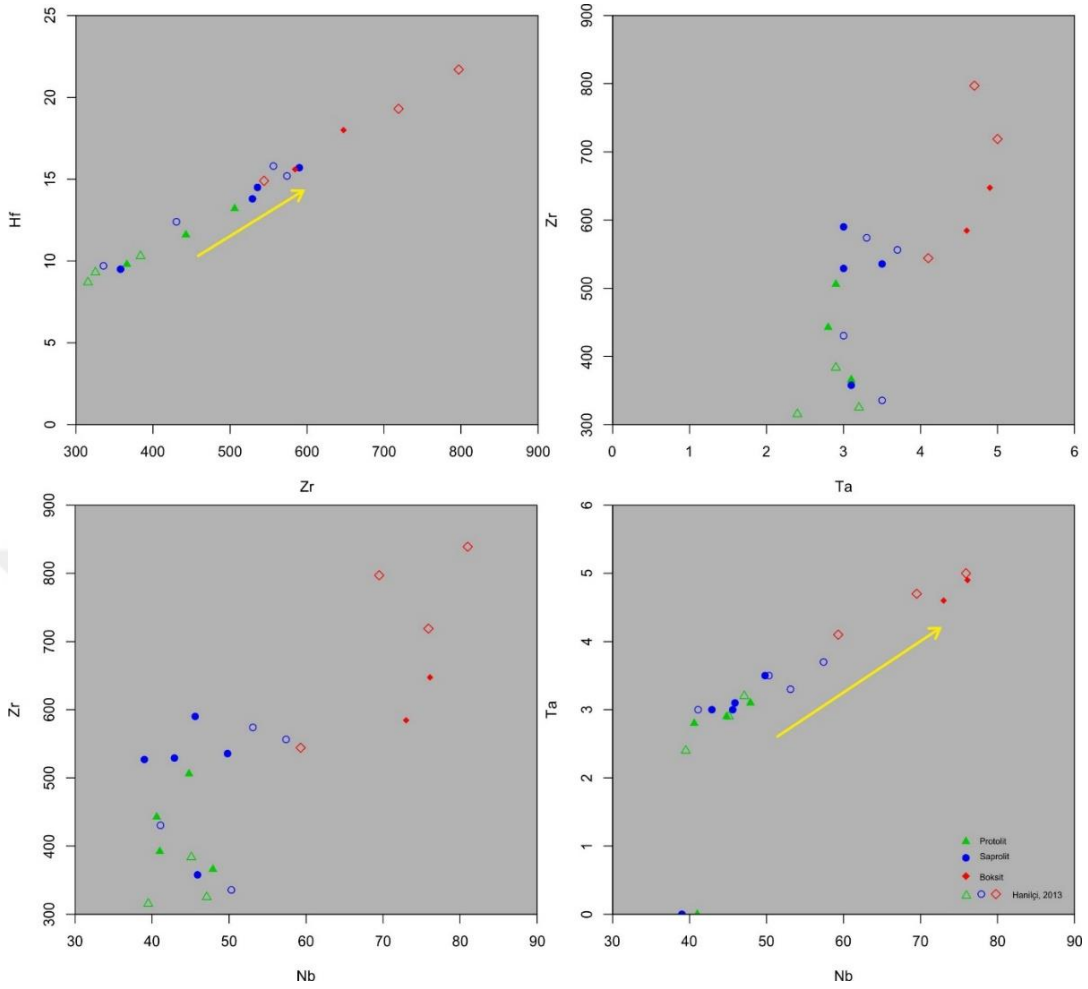


Şekil 4.35: Kemiklitepe cevherleşmesine ait % TiO_2'ye karşı Nb (ppm), Ta (ppm), Hf (ppm) ve Zr (ppm) ikili diyagramları.

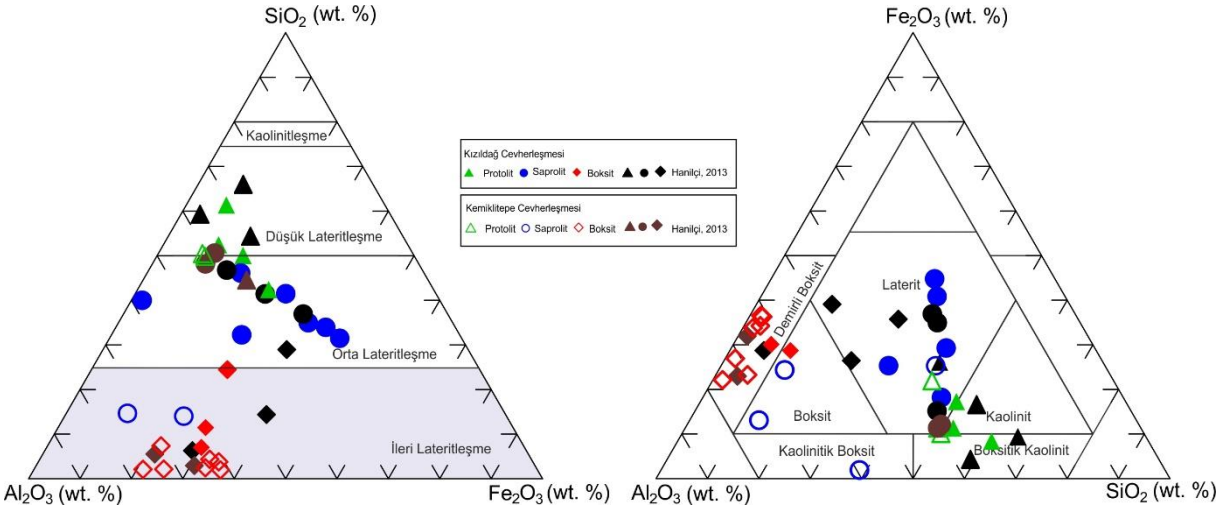
Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmesine ait protolit, saprolit ve boksitlerin SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3 diyagramında değerlendirilmiştir. Bu diyagramda incelenen boksitlerin ileri Lateritleşme alanına ve Lateritten – Demirli boksit alanına düştüğü görülmektedir.

Kemiklitepe cevherleşmesinin jeokimyası incelendiğinde (Tablo 4.6) Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2 diyagramında boksitin ileri Lateritleşme alanında olduğunu görmekteyiz.

Aynı zamanda bu 3 major oksit değerlerinin birbirlerine oransal üçgen diyagramında Demirli boksit alanına düştüğü görülmektedir.

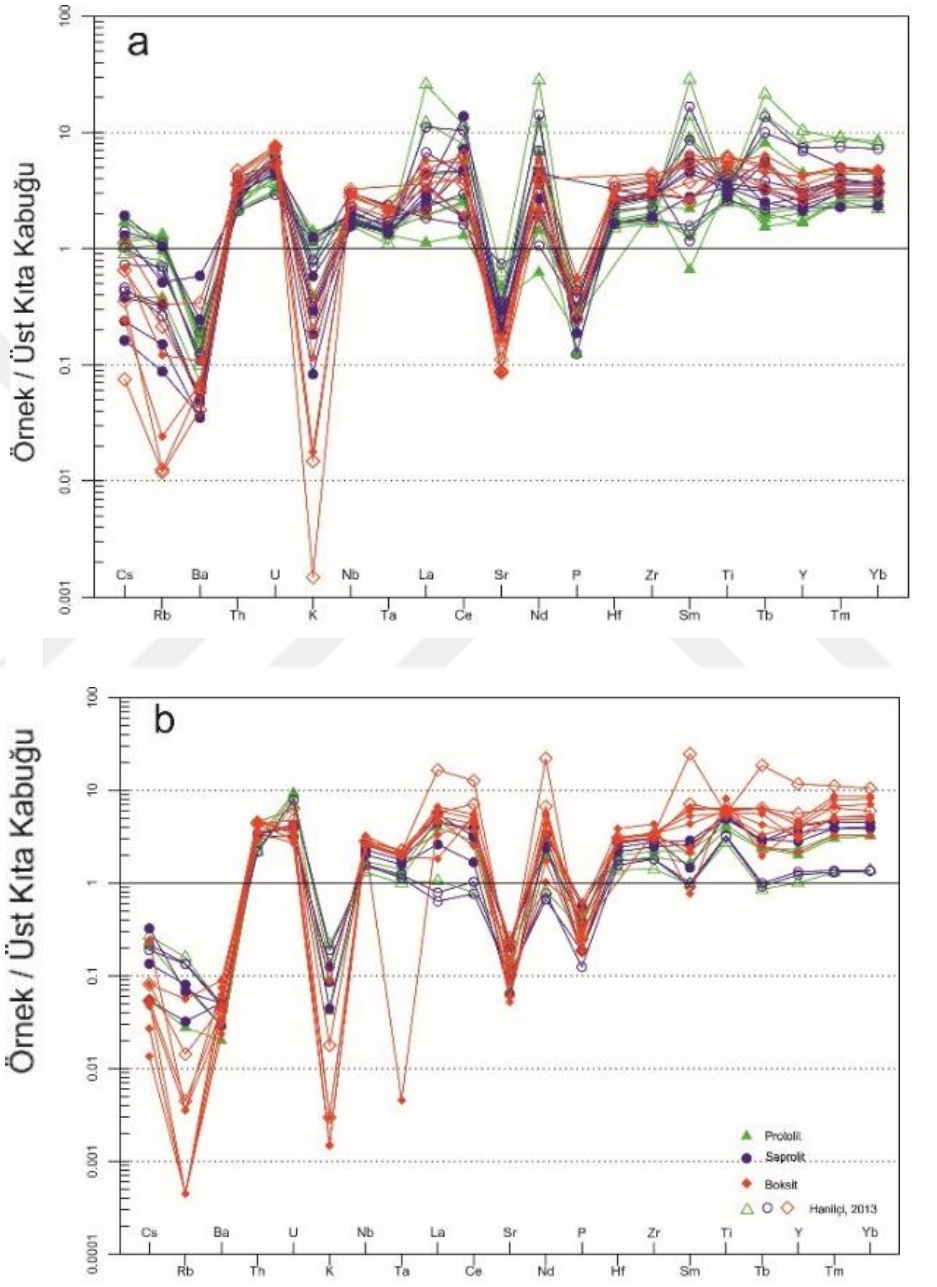


Şekil 4.36: Kızıldağ cevherleşmesine ait protolit, saprolit ve boksite ait Ta (ppm)'a karşı Zr (ppm), Zr (ppm)'karşı Hf (ppm), Nb (ppm)'a karşı, Ta (ppm) ve Zr (ppm)'nun ikili diyagramları.



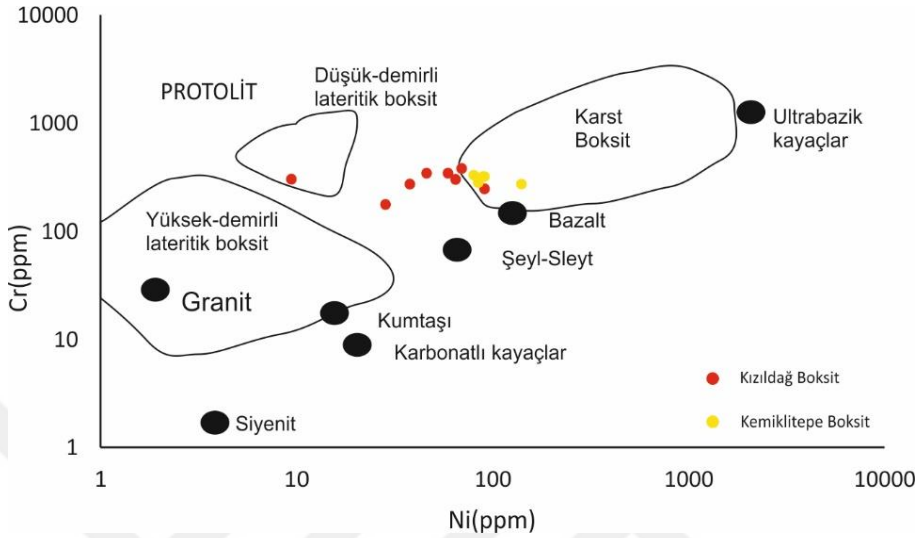
Şekil 4.37: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmesine ait protolit saprolit ve boksitin Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2'nin oranlanması ile elde edilen Lateritleşme ölçütü olan Shellmann (1989)'un üçlü diyagramları.

Kızıldağ ve Kemiklitepe protolit, saprolit ve boksit örneklerini, üst kıta kabuğu değerlerine göre normalize edildiğinde; Th, U, Nd, Tb, Y, Tm ve Yb elementlerinin zenginleşme gösterdiği görülmektedir. Buna karşın K, Sr, P ve Rb değerleri üst kıta kabuğu normalinin altında kaldığı görülmüştür (Şekil 4.37).



Şekil 4.38: (a) Kızıldağ cevherleşmesine, (b) Kemiklitepe cevherleşmesine ait Üst Kıta Kabuğu değerlerine göre normalizasyon diyagramları (Taylor ve MacLennan, 1985).

Kızıldağ ve Kemiklitepe boksitlerinin log Ni/Cr oranına göre ilişkisi Schroll ve Sauer, (1968) diyagramına göre yerleştirilip yorumlandığında, Kemiklitepe boksitinin karstik alanda yoğunlaştığı, Kızıldağ boksitinin ise Laterit-Karst alanında olduğu görülmektedir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39: Kızıldağ ve Kemiklitepe boksitlerinin Cr/Ni oranına göre sınıflandırılması (Schroll & Sauer 1968).

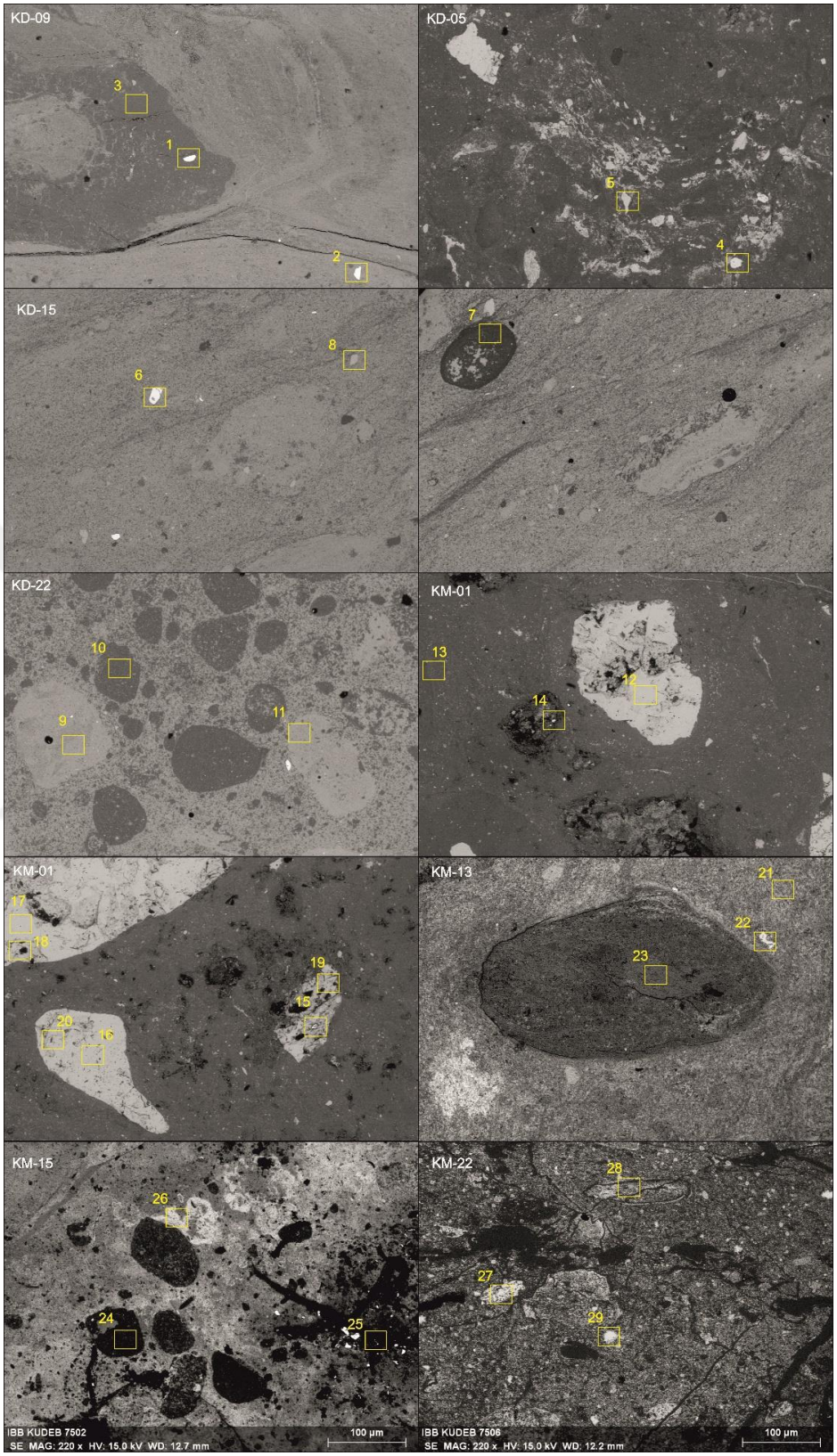
SEM-EDX Analizleri

Cevher mikroskobisi çalışmalarında tanımlanmayacak kadar küçük boyutlu olan mineral fazlarının tespiti için parlatılmış cevher örneklerinde SEM-EDX analizleri yapılmıştır (Şekil 4.40).

SEM-EDX verileri incelendiğinde; Kızıldağ cevherleşemsine ait KD-09 ve KD-15 nolu protolit- saprolit örneklerindeki 1, 2, 4 ve 6 numara ile gösterilen noktaların analizinde zirkon mineralinin varlığı tespit edilmiştir (Tablo 4.10).

KM-01 nolu Kemiklitepe boksit örneğinde 14, 15 ve 19 numaralaı noktaların analizinde ise Zirkon minerali ile birlikte Pb'nin de varlığı tespit edilmiştir.

Aynı noktalardaki analizde SO_3'ün de bulunması bunun galenit (PbS) minerali olabileceğini göstermektedir (Şekil 4.41 ve Tablo 4.10).



Şekil 4.40: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmesinne ait SEM-EDX altında analiz yapılan noktaların görüntüleri.

Tablo 4.3: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerine ait örneklerin SEM-EDX analiz sonuçları.

Örnek	No	Al_2O_3	FeO	TiO_2	BaO	SiO_2	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	P_2O_5	ZrO_2	CaO	Pb	NiO	Sc	Cl	Toplam
KD-09	1	3,38	3,2			36,5	0,51	0,42			6,87	48,8	0,35					100
KD-09	2	4,26	6,38	0,28		31,2	0,66	0,42			6,31	50,5						100
KD-09	3	4,43	5,92	0,88		87,9	0,6		0,22									100
KD-05	4	9,36	3,92	0,64		29	0,51	0,61				56						100
KD-05	5	12,1	77,3	6,49	2,4	1,25	0,34				0,06							100
KD-15	6	5,15	6,19	0,48		31,4	0,66	0,42	0,09			55,6						100
KD-15	7	84,2	8,74	2,62	0,2	4,21												100
KD-15	8	5,26	5,49	85,9		3,03	0,3		0,04									100
KD-22	9	83,2	10,7	2,16		3,95												100
KD-22	10	16,6	9,93	67,1		5,45	0,69	0,27										100
KD-22	11	21,3	67,1	2,44		7,95												100
KM-01	12	11,2	82,4	4,28	1,6	0,63												100
KM-01	13	80	17,1	2,46		0,47												100
KM-01	14	19,9	9,95	0,65		1,16				22,3				46				100
KM-01	15	14,5	20,6	2,52	0,7	0,07				19,9				40,1				99
KM-01	16	15,2	77,9	5,68		0,79	0,26	0,16								0,03		100
KM-01	17	9,36	85,1	4,1		1	0,14	0,12		0,03	0,07		0,09			0,04		100
KM-01	18	24,9	55,2	3,87		4,55	1,21	2,71	0,29	3,74	0,44		1,32			0,01	1,03	98
KM-01	19	17,8	19	1,64	0,8					19				41,7				100
KM-01	20	21,8	59,4	5,24		9,58	0,76	1,06	0,23	0,72	0,1		0,8			0,04	0,15	100
KM-13	21	34,9	22,8	1,26		35,6	1,12	1,45	2,84									100
KM-13	22	14,4	14,1	56,7		13	0,48	0,56	0,78		0,01							100
KM-13	23	37,9	4,9	2,05		46,6	0,76	1,69	6,15									100
KM-15	24	69,1	16,6	1,2		11,5	0,68		1,05									100
KM-15	25	9,17	70,8	0,37	0,1	5,89	0,59	0,19	0,2				0,34		12,34			100
KM-15	26	8,2	84	0,95		6,03	0,51		0,26									100
KM-22	27	22	68,8	7,13	1,7	0,34					0,07							100
KM-22	28	17,5	9,19	72,9		0,13	0,19	0,13										100
KM-22	29	11	84,8	3,87		0,16	0,09	0,06										100

Kemiklitepe'nin saprolitine ait KM-15 numaralı örnekteki 25 numara ile gösterilen noktanın analizinde %12.34 NiO varlığı tespit edilmiştir. Kızıldağ yatağına ait KD-09 nolu örneğin 3 numaralı noktasının analizinde %87.9 SiO_2'nin varlığı kuvars mineraline, yine aynı yatağın KD-15 nolu örneğinin 8 numaralı noktasının analizinde ise %85.9 TiO_2'nin varlığı rutil mineraline işaret etmektedir. Kemiklitepe'nin KM-22 nolu örneği üzeirndeki 28 numaralı noktanın analizinde %72.9 TiO_2'nin varlığı da yine rutil minerali olarak yorumlanmıştır (Tablo 4.10).

4.5.4. Kütle Transfer İşlemleri ve Elementlerin Davranışları

Kimyasal Alterasyon İndeksi (CIA), kayaçlarda bozunma derecesinin hesaplanmasında kullanılan bir indekstir (Nesbitt ve Young, 1982). Bu indeks kullanarak kayaçlarda meydana gelen alterasyon/ayrışma dereceleri belirlenebilmektedir.

Nesbitt ve Young (1982) tarafından oluşturulan CIA'nın belirlenmesi için kullanılan formül;

$$CIA = 100X\left\lfloor \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O} \right\rfloor$$

Şekil 4.41: Kimyasal Alterasyon İndeksi denklemi.

şeklindedir. Bu formüle göre yapılan hesaplamalarda;

CIA = 100 olduğunda kayaç tamamen bozunmuş kabul edilmektedir,

CIA ≥ 70 altere kayacı gösteren değer,

CIA ≤ 70 optimum altere olmamış kayacı göstermektedir (Nesbitt ve Young, 1982).

Bu formül inceleme yaptığımız Kızıldağ ve Kemiklitepe'nin protoliti, saproliti ve boksit cevherlerine uygulanarak CIA hesaplanmıştır (Tablo 4.7).

Tablo 4.7'e bakıldığında CIA değerlerinin ≥ 70'in üzerinde olduğu gözlenmektedir. Boksitleşme sürecinde protolitten son ürün olan boksite geçişte alterasyonun/ayrışmanın %100 gerçekleştiği ve tamamen yeni bir kaya olan boksite dönüştüğü, dolayısıyla şiddetli bir lateritleşme sürecinin gerçekeleştiği anlaşılmaktadır.

Yüzeysel koşullarda elementlerin davranışı ortamın pH değeri, iklim koşulları, topografya, bitkli örtüsü, kaynak kaya tipi, biyolojik aktivite ve boksitleşme süresi gibi parametrelere göre değişmektedir (Bárdossy ve Aleva, 1990; Middelburg ve diğ., 1988). Yüzeyde, ayrışmanın gerçekleştiği fiziksel ve kimyasal koşullar elementlerin davranışını belirlemektedir. Her bir elementin yüzeysel koşullardaki davranışlarının belirlenemsi için yarı ayrışmış geçiş kayası (saprolit) ve tamamen ayrışmış lateritik zonun kaynak kayaya (protolit) göre değişimlerinin incelenemsi gerekmektedir. Boksitleşme sürecinde elementlerin farklı zonlardaki (saprolit,

laterit) kayıp ve kazanımları çeşitli araştırmacılar (MacLean, 1987; 1990; 1997) tarafından "Kütle Transfer İşlemleri" adı altında hesaplanmıştır.

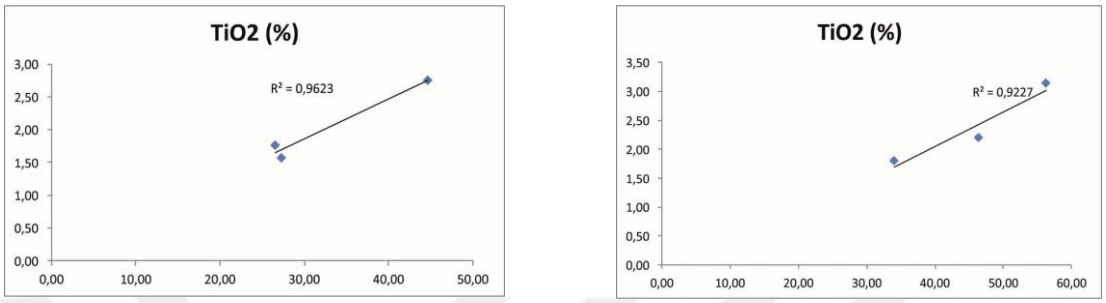
Tablo 4.4: Kemiklitepe ve Kızıldağ cevherleşmelerine ait örneklerin Kimyasal Alterasyon İndeksi (% CIA) değerleri.

Yatak	Zon	Örnek No	CIA (%)	Yatak	Zon	Örnek No	CIA (%)
Kızıldağ	Prolit	KD-03	90,57	Kemiklitepe	Prolit	KM-08	94,82
		KD-05	81,84			nh	94,93
		KD-13	79,14		Sap	KM-07	99,02
		KD-16	79,19			KM-16c	99,02
		nh	80,10			KM-16A	98,80
		nh1	80,93			KM-03A	97,68
		nh2	84,81			nh1	96,65
	Saprolit	KD-02	92,47			nh2	96,65
		KD-04	96,79		Boksit	nh3	99,28
		KD-12	81,40			nh4	99,60
		KD-23	81,39			KM-03	99,90
		KD-24	90,76			KM-09	98,27
		nh3	81,04			KM-10	99,60
		nh4	86,23			KM-11	97,70
		nh5	92,40			KM-16B	98,50
		nh6	91,46			KM-19Ka	99,60
		nh7	84,03			KM-22KA	100,00
	Boksit	KD-15	96,24				
		KD-22	99,36				
		KD-25	95,06				
		KD-26	99,80				
		nh8	99,81				
		nh9	98,90				

Kütle transfer hesaplamaları başlıca iki yaklaşım altında yapılmıştır. Bunlardan ilki izovolumetrik metod (Brimhall ve Dietrich, 1987; Brimhall ve diğ., 1991; Millot ve Bonifas, 1955), ikincisi ise hareketsiz (immobil) element yaklaşımıdır (MacLean ve Barrett, 1993; MacLean ve Kranidiotis, 1987; MacLean ve diğ., 1997; Nesbitt, 1979; Van der Weijden ve Van der Weijden, 1995).

İkili element diyagramlarında (Şekil 4.33, Şekil 4.34) görece hareketsiz kabul edilen Hf, Nb, Ta, Zr ve asıl zenginleşerek cevheri oluşturan Al_2O_3'ün TiO_2'ye karşı davranışı protolit, saprolit ve boksit için yapılmıştır (Şekil 4.29, Şekil 4.30).

Kızıldağ ve Kemiklitepe boskitlerinde Al_2O_3'e karşı TiO_2 diyagramında her iki element arasındaki korelasyon katsayısının $R^2 > 0.95$ olduğu belirlenmiştir (Şekil 4. 39). Bu veriler doğrultusunda görece en hareketsiz elementin Ti olduğu belirlenerek kütle transferi hesaplamalarında indeks element olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.42: (a) Kızıldağ cevherleşmesi ve (b) Kemiklitepe boksit cevherleşemsi için hesaplanan Kütle Değişim hesaplamalarının normalleştirilmesi amacıyla hesaplanmış Zenginleştirme Faktörü (R^2) Eğrisi.

Hesaplamalar MacLean ve Kranidiotis (1987) ve MacLean (1990) tarafından geliştirlen metod ile üç adımda yapılmıştır. Birinci adımda;

$$R\ (Zenginleşme\ Faktörü) = TiO_2\ kaynak\ kaya\ /\ TiO_2\ altere\ kaya$$

formülü kullanılarak R değeri elde edilmiş ve bu R değeri İkinci adımda;

$$YB\ (Yeniden\ yapılandırlmış\ bileşim) = \%\ altere\ kayaç\ içeriği\ x\ R$$

formülünde kullanılarak YB belirlenmiştir. Belirlenen YB ise üçüncü adımda;

$$KD\ (Kütle\ Değişimi) = YB - Kaynak\ Kaya\ Bileşimi$$

formülünde kullanılarak Kütle değişimi (KD) hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda elementler/oksitlerden negatif değerli olanların boksitleşme sürecinde kayıpları, pozitif olanlar ise kazanımları göstermektedir. Buna göre;

a. $\leq$ -70 (%) değerli olanlarda yüksek dereceli kayıp
b. -70 < KD < - 40 (%) değerli olanlarda orta dereceli kayıp
c. > - 40 (%) değerli olanlarda düşük dereceli kayıp
d. Pozitif değerli olanlarda kazanç

olduğu kabul edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerine ait kütle değişim hesaplamalrı yapılarak Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.5: Kızıldağ Cevherleşmesinin Kütle Değişim Değerleri.

	Ortalama Bileşim			**Kütle Değişimi**	
	Protolit (n=7)	Saprolit (n=10)	Boksit (n=6)	Saprolit	Boksit
SiO_2 (%)	46,43	34,03	12,98	-34,96	-84,12
Al_2O_3 (%)	27,34	26,54	44,70	-13,86	-7,11
Fe_2O_3 (%)	10,98	24,05	26,51	94,37	37,17
MgO (%)	0,84	1,23	0,65	29,19	-56,34
CaO (%)	0,28	0,26	0,12	-17,49	-75,23
Na_2O (%)	0,99	0,66	0,11	-41,19	-93,94
K_2O (%)	3,58	1,91	0,40	-52,74	-93,67
TiO_2 (%)	1,57	1,77	2,76	0,00	0,00
LOI (%)	7,00	8,96	11,17	13,55	-9,36
Ba (ppm)	80	80,82	62,42	-9,85	-55,42
Ce (ppm)	301,75	342,15	294,34	0,62	-44,58
Rb (ppm)	111,61	57,78	13,34	-54,06	-93,21
Sn (ppm)	5,43	5,80	8,83	-5,19	-7,55
Sr (ppm)	133,10	103,37	40,72	-31,08	-82,62
Th (ppm)	25,89	32,77	42,07	12,31	-7,70
U (ppm)	12,16	14,19	19,07	3,57	-10,91
V (ppm)	330,43	645,00	622,67	73,22	7,06
Zr (ppm)	390,13	518,47	688,52	17,93	0,27
Y (ppm)	72,80	103,88	98,19	26,62	-23,37
Cu (ppm)	96,42	77,32	75,01	-28,84	-55,80
Pb (ppm)	79,35	33,82	25,42	-62,17	-81,80
Zn (ppm)	23,26	12,76	23,36	-51,32	-42,94
Ni (ppm)	66,58	80,71	69,67	7,57	-40,55
Cr (ppm)	73	103,88	98,19	26,62	-23,37
La (ppm)	213,29	122,62	119,52	-48,98	-68,16
Pr (ppm)	51,96	30,90	27,73	-47,22	-69,67
Nd (ppm)	195,73	119,82	98,81	-45,68	-71,32
Sm (ppm)	36,65	24,75	19,61	-40,07	-69,61
Eu (ppm)	6,72	4,80	3,92	-36,66	-96,09
Gd (ppm)	33,64	23,55	18,39	-37,87	-68,94
Tb (ppm)	4,65	3,33	2,96	-36,52	-63,91
Dy (ppm)	23,57	16,92	16,40	-36,28	-60,46
Ho (ppm)	4,16	3,06	3,19	-34,80	-56,43
Er (ppm)	10,88	8,51	9,24	-30,61	-51,79
Tm (ppm)	1,53	1,29	1,37	-25,04	-48,95
Yb (ppm)	9,53	8,32	8,85	-22,54	-47,22
Lu (ppm)	1,47	1,27	1,36	-23,13	-47,24

Tablo 4.6: Kemiklitepe Cevherleşmesinin Kütle Değişim Değerleri.

	Ortalama Bileşim			**Kütle Değişimi**	
	Protolit (n=3)	Saprolit (n=5)	Boksit (n=9)	Saprolit	Boksit
SiO_2 (%)	41,48	28,36	2,85	-44,46	-96,07
Al_2O_3 (%)	33,99	46,38	56,28	10,84	-5,30
Fe2O3 (%)	12,12	10,60	25,03	-28,94	18,15
MgO (%)	0,25	0,23	0,13	-25,28	-71,02
CaO (%)	0,09	0,15	0,27	-44,31	-75,23
Na2O (%)	0,49	0,20	0,06	-67,07	-93,62
K2O (%)	0,44	0,43	0,05	-21,59	-94,20
TiO2 (%)	1,79	2,20	3,13	0,00	0,00
LOI (%)	9,03	11,16	11,64	0,34	-26,33
Ba (ppm)	18	25,20	27,23	13,70	-13,48
Ce (ppm)	155,87	135,90	362,12	-29,19	32,86
Rb (ppm)	9,73	10,06	1,04	-16,06	-93,87
Sn (ppm)	6,67	7,80	11,00	-4,98	-5,63
Sr (ppm)	53,17	49,22	42,20	-24,81	-54,61
Th (ppm)	27,57	30,92	44,11	-8,90	-8,49
U (ppm)	23,53	15,30	10,97	-47,20	-73,33
V (ppm)	306,33	308,80	495,44	-18,13	-7,51
Zr (ppm)	352,63	451,06	654,93	3,88	6,21
Y (ppm)	39,27	57,14	105,25	18,18	53,29
Cu (ppm)	71,37	51,92	41,83	-40,91	-66,48
Pb (ppm)	67,07	45,88	73,65	-44,44	-37,20
Zn (ppm)	75,67	24,60	70,63	-73,60	-46,62
Ni (ppm)	35,10	28,86	77,49	-33,22	26,25
La (ppm)	98,97	84,38	183,38	-30,75	5,97
Pr (ppm)	16,44	15,17	42,06	-25,09	46,27
Nd (ppm)	50,37	50,58	156,21	-18,44	77,36
Sm (ppm)	7,28	8,01	29,75	-10,60	133,73
Eu (ppm)	1,92	1,73	6,10	-26,52	-91,94
Gd (ppm)	6,77	7,71	26,53	-7,51	124,25
Tb (ppm)	1,19	1,35	3,94	-7,73	89,53
Dy (ppm)	7,81	9,03	23,22	-6,14	69,95
Ho (ppm)	1,63	2,03	4,55	0,74	59,25
Er (ppm)	5,27	6,52	13,95	0,48	51,24
Tm (ppm)	0,84	0,99	2,18	-4,27	47,81
Yb (ppm)	5,81	6,68	14,50	-6,62	42,65
Lu (ppm)	0,92	1,03	2,22	-9,25	38,16

Tablo 4.6'deki verilere göre Kızıldağ cevherleşmesinde;

(a) Protolitten saprolite dönüşüm sürecinde Si, Al, Ba, Sn, Sr, Cu, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu elementlerinde düşük dereceli kayıpların olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.11).
(b) Protolite göre laterittik boksitte Si, Ca, K, Na, Rb, Sr, Pb, Nd yüksek derecede kayıp olduğu; Mg, Ba, Ce, Cu, Zn, Ni, La, Pr, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu elementlerinde orta derecede kayıp olduğu; . Al, LOI, Sn, Th, U, Y, Cr'de ise düşük derece kaybın olduğu belirlenmiştir.
(c) Boksitleşme sürecinde protolitten saprolite geçişte Fe, Mg, Ce, Th, U, V, Zr, Y elementlerinde, boksite geçişte ise Fe, V ve Zr elementlerinde kazanç olmuştur.

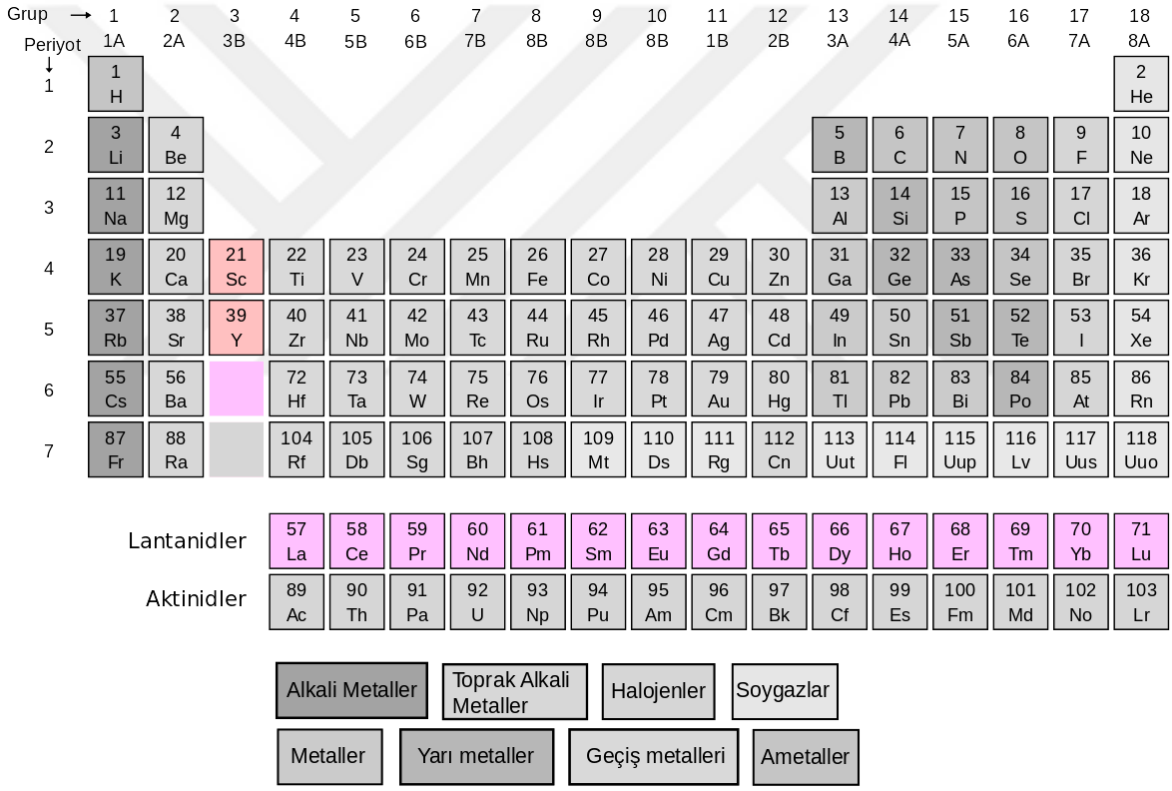
Tablo 4.6'deki verilere göre Kemiklitepe cevherleşmesinde;

(a) Protolitten saprolite dönüşümde Fe, Mg, Na, Ce, Rb, Sn, Sr, Th, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Tm, Yb ve Lu elementlerinde düşük dereceli kayıplar Si, Na, U, Cu ve Pb elementlerinde orta dereceli kayıplar, Zn elementinde ise yüksek dereceli kaybın gerçekleştiği tespit edilmiştir.
(b) Protolite göre lateritik boksit cevherinde Si, Mg, K, Na, Rb, U ve Eu elementlerinde yüksek derecede kayıpların; Mg, Ba, Ce, Cu, Zn ve Ni elementlerinde orta derecede kayıpların; LOI, Ba, Sn, Th, V ve Pb elementlerinde ise düşük derecede kayıpların olduğu tespit edilmiştir.
(c) Boksitleşme sürecinde protolitten saprolite geçişte Al, Ca, Ba, V, Zr, Y, Ho ve Er elementlerinde kazanım olurken, boksite geçişte Fe, Ca, Ce, La, Pr, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu elementlerinde kazanım olduğu belirlenmiştir.

4.6. NADİR TOPRAK ELEMENTLER (NTE)

Nadir toprak elementler ilk kez 1787 yılında Carl Axel Arrhenius tarafından Ytterby (İsveç) Feldspat ocağında tanımlamış ve daha sonra seri tamamlanarak1 949 yılında "Lantanitler" adını almıştır. Periyodik tablonun Lantanitler serisi kısmında yer alır ve 15 elementten oluşur (Şekil 4.43).

Nadir Toprak Elementleri (NTE) veya NTE-metalleri IUPAC'a (International Union of Pure and Applied Chemistry) göre tanımlanmış olup Sc ve Y'yi de içeren toplam 17 elementten oluşmaktadır (Wall, 2013). Bu elementler Lantan (La), Seryum (Ce), Prasedimyum (Pr), Neodimyum (Nd), Prometyum (Pm), Samaryum (Sm), Evropiyum (Eu), Gadolinyum (Gd), Terbiyum (Tb), Disprosyum (Dy), Holmiyum (Ho), Erbiyum (Er), Tamaryum (Tm), İterbiyum (Yb), Lütesyum (Lu)'dur. Bunların dışında NTE elementlerinin iyon yarıçaplarına yakın ve aynı yüküne sahip oldukları için İtriyum (Y) ve Skandiyum (Sc) da NTE grubuna dâhil edilmektedir. Seryum ve Evropiyum ise diğer NTE'lerden farklı olarak, +2 ve +4 değerlikler alabilmektedirler (Tablo 4.14).



Şekil 4.43: Periyodik Tablo'da Lantanidler serisinin konumu.

NTE'ler atomik ağırlıklarına göre La-Eu arasındakiler Hafif - NTE (HNTE) ve Gd-Lu arasındakiler ise Ağır – NTE (ANTE) olarak iki gruba ayrılmaktadır (Chakhmouradian ve Wall, 2012). Bu elementler ortamın redoks koşullarını belirlemede ayrıca indeks görevi görmektedir (Takahashi ve diğ., 2000).

Kıta kabuğunda NTE bolluk değerleri 43 (Ce) ile 0.3 ppm (Tm, Lu) arasında değişmekte olup, ∑HNTE'ler (93 ppm) ∑ANTE'lerden (32 ppm) daha fazla bulunmaktadır (Rudnick ve Gao, 2003). Doğada NTE içeren yaklaşık 270 mineral bulunmaktadır.

Bu minerallerin %43'ü silikatli, %23'ü karbonatlı, %14'ü oksitli ve %14'ü oksalatlıdır. Sc, Y, La, Yb ve Lu haricindeki tüm NTE'ler paramanyetik özellik göstermektedir.

NTE'ler birincil olarak katı ayrışım yoluyla magmadan fraksiyonlaşmaktadır. Bu ayrımlaşma basınç, sıcaklık, kimyasal içerik, sıvıların veya magmanın oksijen fugasitesine bağlı olarak değişmektedir.

NTE yatakları derin plütonik, magmatik hidrotermal, sedimanter ve yüzeysel ayrışma koşullarında oluşmaktadırlar. Bazı bölgelerde ise karmaşık işlemler sonucunda yatağın geliştiği gözlenmiştir. Örneğin Mount Wel Yatağında karbonatit ilişkili NTE'ler magmatik hidrotermal sistemlerle taşınmış ve yüzeysel ayrışma koşullarında zenginleşmişlerdir (Zhang ve diğ., 2012).

Karbonatitlerle ilişkili, peralkalin kayaçlarda, demir oksitli apatitlerde, hidrotermal damarlarda, sedimanter kaynak kayalı hidrotermal sistemlerde, iyon adsorbsiyon tip killerde, plaser bölgelerde, boksitlerde ve sedimanter fosfatların içerisinde oluşmuş yataklar bulunmaktadır (Kanazawa ve Kamitani 2006; Zhang ve diğ., 2012).

İyon adsorbsiyon tipi yatakların ilk keşfedilmesi 1969 yılında ağır-NTE'ce zengin Longnan County of Jiangxi bölgesinde olmuştur (Chen, 2011).

Killerin baskın topluluk olduğu, iyon adsorbsiyon tip yataklarda NTE genel olarak granit gibi magmatik kayaçlardan türemişlerdir. NTE içeren minerallerin yüzeysel işlemler sonucunda halloysit, kaolinit gibi kil minerallerinin içerisinde absorban olmasıyla oluşmaktadır.

Plaser ve karbonatitlerin ayrışması ile oluşan yataklar ile kıyaslandığında bu tip yatakların ayrışma tipi değil kalıntı tip yataklardır (Verplanck, 2017). Kalıntı tip yataklarda monazit, zirkon gibi ayrışmaya dayanımlı mineraller çözünmeden yerli yerinde zenginleşmektedir, ayrışım tip yataklarda ise havza içerisinde sedimantasyonla veya seçimli taşınmayla yer değiştirip yeniden zenginleşmesiyle oluşmaktadır.

Tablo 4.7: Nadir Toprak Elementleri'ne ait iyonik yarıçaplar ve elementlerin alabildikleri değerlikleri (Yarıçaplar Å cinsinden ifade edilmiştir; Shannon, 1976).

Atom Numarası	Sembol	İsim	İyon yarıçapı ve değerlikleri
21	Sc	Skandiyum	Sc^{3+}:0.87
39	Y	İtriyum	Y^{3+}:1.02
57	La	Lantan	La^{3+}:1.16
58	Ce	Seryum	Ce^{3+}:1.14, Ce^{4+}:0,87
59	Pr	Prasedimyum	Pr^{3+}:1.13
60	Nd	Neodimyum	Nd^{3+}:1.11
61	Pm	Prometyum	(Duraylı değil)
62	Sm	Samaryum	Sm^{3+}:1.08
63	Eu	Evropiyum	Eu^{3+}:1.07 Eu^{2+}:1.25
64	Gd	Gadolinyum	Gd^{3+}:1.05
65	Tb	Terbiyum	Tb^{3+}:1.04
66	Dy	Disprosyum	Dy^{3+}:1.03
67	Ho	Holmiyum	Ho^{3+}:1.02
68	Er	Erbiyum	Er^{3+}:1.00
69	Tm	Tamaryum	Tm^{3+}:0.99
70	Yb	İterbiyum	Yb^{3+}:0.99
71	Lu	Lütesyum	Lu^{3+}:0.98

Normalize değerlerin hesaplanması normalize hesaplanacak elementin bir önceki ve bir sonraki elementin analitik değerinin karekökü ile hesaplanmaktadır. Örneğin Eu/EuN* değeri için formül;

$$Eu/Eu_N{}^* = Eu_N / (0.5\ Sm_N + 0.5\ Gd_N) \qquad \text{(Bau, 1999)}$$

şeklindedir.

Tablo 4.8: Kemiklitepe cevherleşmesine ait protolit, saprolit ve boksite ait NTE değerlerinin kondrite göre normalize edilmesiyle elde edilen değerler.

	Eu/EuN	LaN	SmN	YbN	LaN/SmN	LaN/YbN	SmN/YbN
KM08	0,5	385,484	38,051	35,024	10,13072	11,00628	1,086426
nh	1,4	102,258	22,462	14,545	4,552489	7,030457	1,544311
KM07	0,809	470	51,487	33,876	9,128518	13,87413	1,519867
KM16c	0,651	434,194	66,513	42,823	6,527957	10,13927	1,553207
KM16A	0,584	534,839	33,795	47,368	15,82598	11,29115	0,713456
KM03A	0,646	253,548	60,564	40,957	4,186447	6,19059	1,478722
nh1	0,934	61,613	21,436	14,258	2,874277	4,321293	1,503437
nh2	0,761	76,774	23,179	14,498	3,312222	5,295489	1,598772
nh3	0,657	562,581	164,923	63,684	3,411174	8,833946	2,589709

Tablo 4.8: Kemiklitepe cevherleşmesine ait protolit, saprolit ve boksite ait NTE değerlerinin kondrite göre normalize edilmesiyle elde edilen değerler (devam).

nh4	0,662	1612,258	572,359	111,005	2,816865	14,52419	5,156155
KM03	0,692	645,161	141,59	86,124	4,556544	7,491071	1,644025
KM09	0,587	468,065	17,744	75,024	26,37878	6,23887	0,236511
KM10	0,628	437,792	122,918	54,661	3,561659	8,00922	2,248733
KM11	0,711	589,032	148,872	91,292	3,956634	6,452175	1,630723
KM16B	0,621	508,065	55,795	51,77	9,105923	9,813888	1,077748
KM19Ka	0,69	323,226	100,308	56,364	3,222335	5,734618	1,779647
KM22KA	0,644	177,742	48,718	34,498	3,648385	5,152241	1,412198
kçt	0,672	12,258	3,436	1,914	3,56752	6,404389	1,795193

Tablo 4.9: Kızıldağ cevherleşmesine ait kondrite göre normalize edilmiş değerler.

	Eu/EuN	LaN	SmN	YbN	LaN/SmN	LaN/YbN	SmN/YbN
KD03	0,538	109,032	15,231	28,756	7,158558	3,791626	0,529663
KD05	0,422	236,452	50,821	26,842	4,652644	8,809031	1,893339
KD13	0,433	188,065	29,231	23,876	6,433752	7,876738	1,224284
KD16	0,514	422,677	208,205	46,268	2,0301	9,135407	4,499978
nh	0,438	185,806	32,615	23,158	5,696949	8,023404	1,408369
nh1	0,574	2505,161	657,487	82,632	3,810206	30,31708	7,956809
nh2	0,712	1169,032	322,205	87,512	3,628224	13,35853	3,681838
KD02	0,644	309,677	146,256	40,144	2,117363	7,714154	3,643284
KD04	0,551	255,161	103,487	24,45	2,465633	10,43603	4,232597
KD12	0,635	213,613	135,179	36,746	1,580223	5,813231	3,678741
KD23	0,507	435,161	111,179	34,115	3,914058	12,75571	3,258948
KD24	0,481	271,613	64,256	32,344	4,227045	8,397632	1,986644
nh3	0,523	350	36,256	29,33	9,653575	11,93317	1,23614
nh4	0,527	220,645	61,692	38,134	3,576558	5,786044	1,617769
nh5	0,613	1072,258	385,179	48,947	2,783791	21,90651	7,869308
nh6	0,727	650,323	198,923	75,837	3,26922	8,575273	2,623034
nh7	0,491	177,097	27,026	37,799	6,552838	4,68523	0,714992
KD15	0,644	196,774	57,538	38,086	3,419896	5,16657	1,510739
KD22	0,622	350,968	116,41	32,44	3,01493	10,81899	3,588471
KD25	0,581	424,839	85,436	38,086	4,972599	11,15473	2,243239
KD26	0,65	465,484	131,744	48,995	3,533246	9,500643	2,688927
nh8	0,658	555,806	150,205	49,856	3,700316	11,14823	3,012777
nh9	0,621	319,355	61,949	46,555	5,155128	6,859736	1,330663

4.6.1. Kızıldağ Protoliti ve Kemiklitepe Boksitinin NTE Mineralojisi

Çalışma kaspamında incelenen Kızıldağ boksit cevherinin protolitinde ortalama 1017 ∑NTE içeriği, Kemiklitepe boksit cevherinde ise ortalama 1043 ∑NTE içeriği tespit edilmiştir (Tablo 4.1, Tablo 4.2). Bu zonlara ait örneklerin XRD ve SEM-EDX çalışmalarında NTE içeren bir

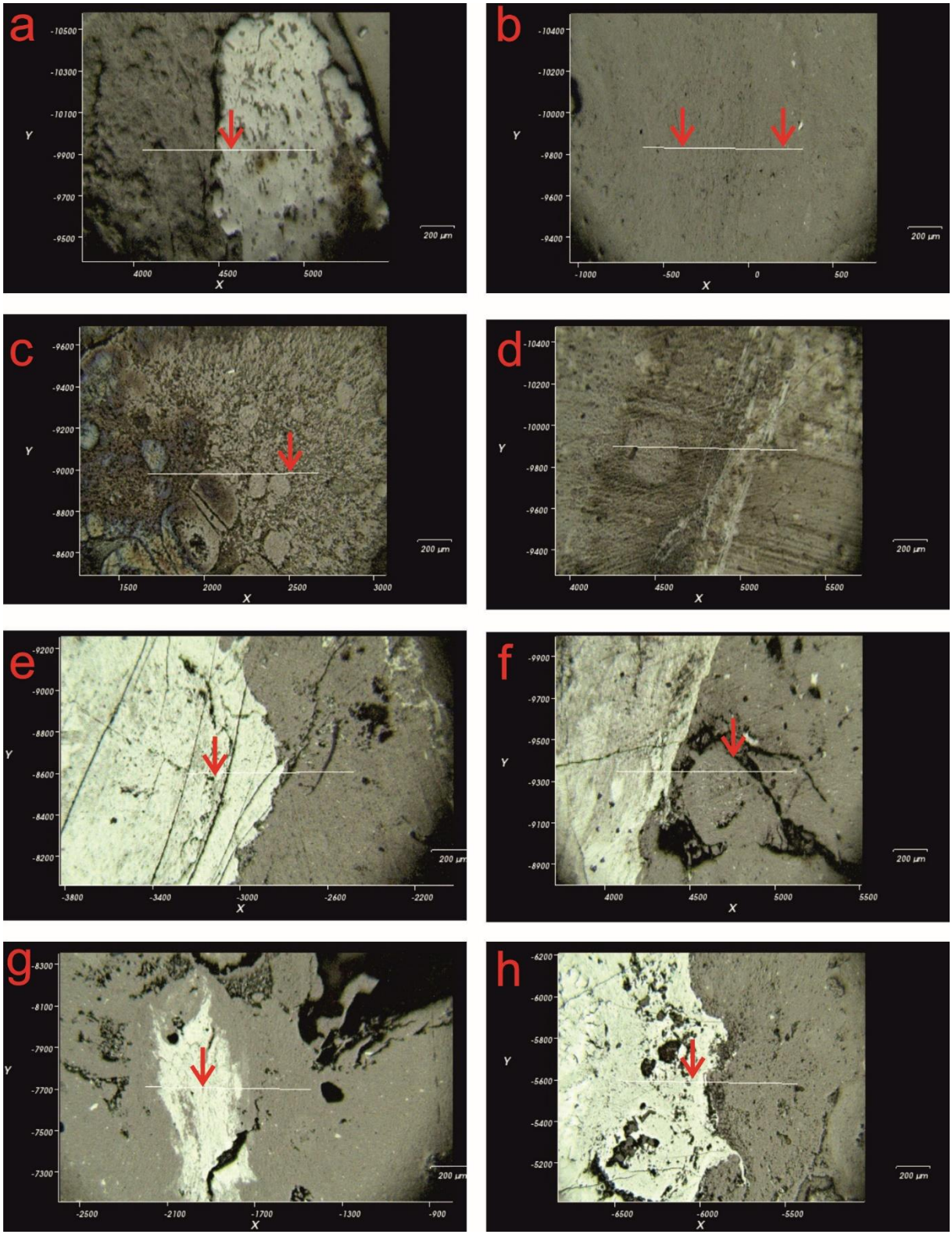
mineral fazı tespit edilememiştir. Bu nedenle NTE içeriği yüksek olan söz konusu zonlara ait örnekeler raman spektroskobisi yöntemi ile incelenmiştir. Parlatılmış cevher örnekleri üzerinde belirlenen hatlar boyunca raman spektroskobisi analizleri yapılmıştır (Şekil 4.43).

Raman spektroskopisi verilerine göre Kızldağ protolitlerinde kuvars, halloysit, şabazit, mineralleri, Kemiklitepe boksitlerinde ise diaspor, hematit, manyetit, anatas, minerallerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 4. 43)

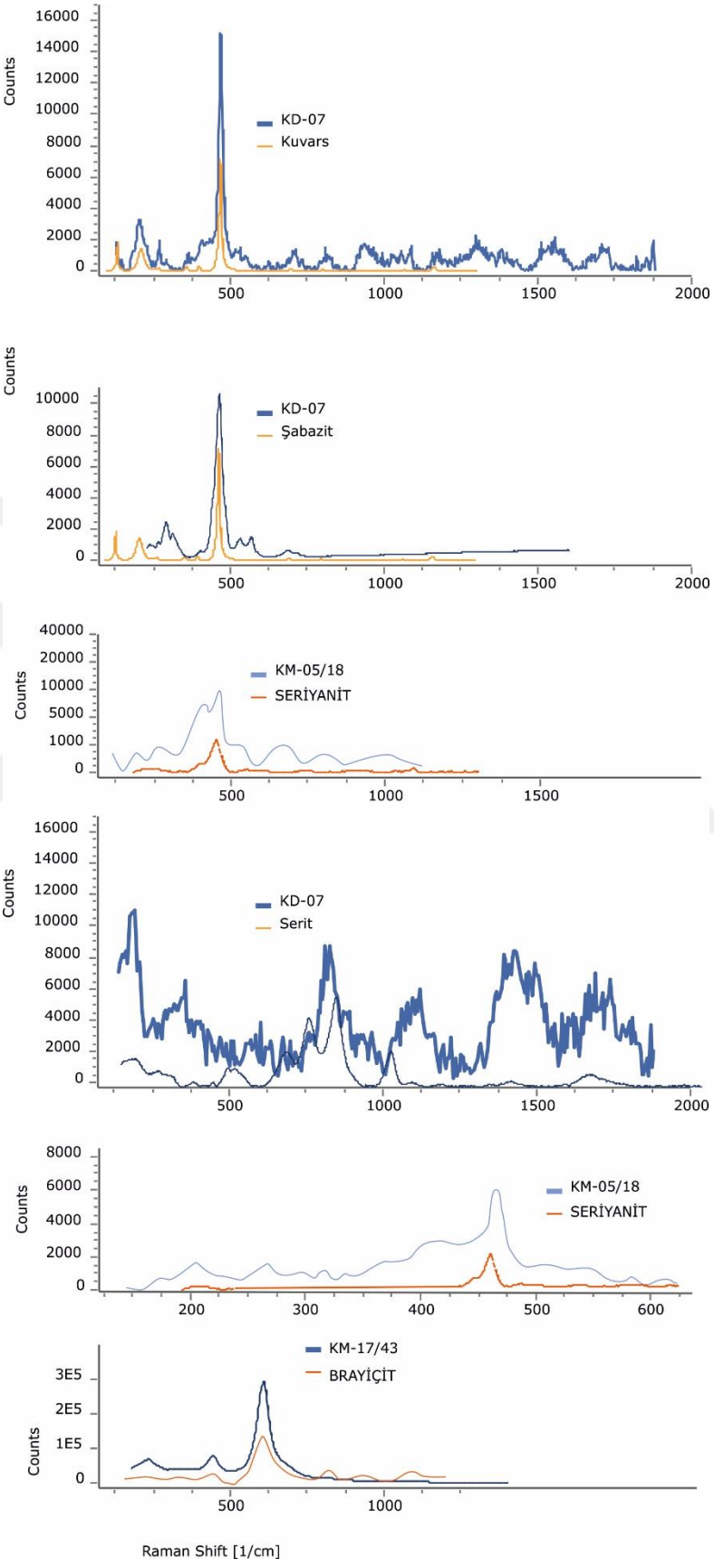
Söz konusu örneklerin raman spektroskobisi incelemelerinde NTE içeren mineral fazları da belirlenmiştir.

Buna göre; Kemiklitepe'nin boksitlerinde seriyanit $(Ce^{4+},Th)O_2$, allanit $\{CaCe\}\{Al_2Fe^{2+}\}(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$, braitşist $(Ca,Na_2)_7(Ce,La)_2B_{22}O_{43}\cdot 7H_2O$, sebayit $Ba_3Ce_2(CO_3)_5F_2$ mineralinin varlığı (Şekil 4.49);

Kızıldağ protolitlerinde ise seriyanit $(Ce^{4+},Th)O_2$ ve allanit $\{CaCe\}\{Al_2Fe^{2+}\}(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$ minerallerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerinin örneklerine ait Raman spektroskopisi tarama hatları (a: KD-07; b: KD-15; c: KD-15C; d: KD-17; e: KM-05; f: KM-15; g: KM-16D; h: KM-17).



Şekil 4.45: Kızıldağ cevherleşmesine ait Raman Spektroskopisi şemaları.

4.6.2. NTE Jeokimyası

Yüzeysel koşullardaki ayrışma derecesi NTE'lerin mobilitesi üzerinde etkisi büyüktür. Toprak zonunun ve yüzey sularını pH'sı, atmosferde bulunan humik maddeler ve CO_2 etki etmektedir.

Yüzeydeki toprak zonunun kısmen ayrışmış zonunun pH'sı 4-6 arasında, ayrışma zonunun pH'sı ise 4,5-6,5 arasında değişmektedir (Hoshino ve diğ., 2016).

Yüzeysel koşullar altında toprak zonunda bulunan sular da pH'sı düşük (4-6) asidik karakterli sulardır.

Biyolojik olarak bitkilerle ilişkili çürüme ve çözünme, CO_2 çözünmesi, humik ve fulvik asit kaynaklı çözünmelerde ayrışmış toprak zonunu oluşturmaktadır. NTE'ler ise genel olarak kısmen ayışmış zonda daha çok zenginleşmektedirler.

Önceki araştırmacıların çalışmalarına göre NTE'lerin suda taşınması; ilksel olarak toprak zonundaki sularda veya yer altı sularında karbonat ve bikarbonat iyonlarına (NTE-CO_3^{+} ve NTE-$HCO_3^{2+)}$ bağlanarak olmaktadır.

Bazı zonlarda ise NTE'ler florit, biyotit, flor-karbonatlı bir mineral ortamda olduğu zaman NTE-F^{2+} ve NTE-F_2 olarak da taşınabilmektedirler (Cantrell ve Byrne, 1987; Wood, 1990; Liu ve Byrne, 1997).

Karbonat kompleksleri pH 6.5 dolaylarında, florlu, fosfatlı ve inorganik komplekslerden daha duraylı olduğu için karbonatlı bileşikleri tercih etmektedirler.

Karbonatlı sularda La'dan Lu'ya doğru duraylılık artmaktadır (Cantrell ve Byrne, 1987; Lee ve Byrne, 1993). Hafif-NTE'ler CO_2'li sularda, özellikle karbonatlı meta sedimentlerde, ayrışmış şistlerde düşük sıcaklıklarda bile taşınabilmektedir (McLennan ve Taylor, 1979, Koppi ve diğ., 1996).

Ağır-NTE'ler hafiflere göre daha seçici davranmaktadır. Burada NTE'nin magmatik veya magmatik/hidrotermal sistemde oluşan ilksel minerallerin varlığı önem taşımaktadır.

Yüzey sularında iyon değişimi sıfır kabul edilir buna göre (Kosmulski, 2009; 2011), Katyon değişim kapasiteleri (PCZ) değerleri toprak zonundan ve yeraltı suyundan NTE'lerin adsorbe olabilme kapasitesini belirlemektedir.

Killerde 2:1 katmanlarında illit ve montmorillonitlerin kapasiteleri, kaolinit ve halloysitlerden daha yüksektir ancak pozitif değişken yükleri yüzünden bazal yüzeylerde adsorbe yapamaz (Carroll, 1959; Kosmulski, 2009, 2011; Laveuf ve Cornu, 2009).

İyon adsorbsiyon tip killerde ise NTE'ler Al^{3+} ve Si^{4+} bazal yüzeylerde katyon değişimi olabilmektedir. Ma ve Eggleton (1999)'a göre kaolinitlerde çoğunlukla NTE'ler kristal katman sınırlarına ve bazal yüzeylerine bağlanmaktadır.

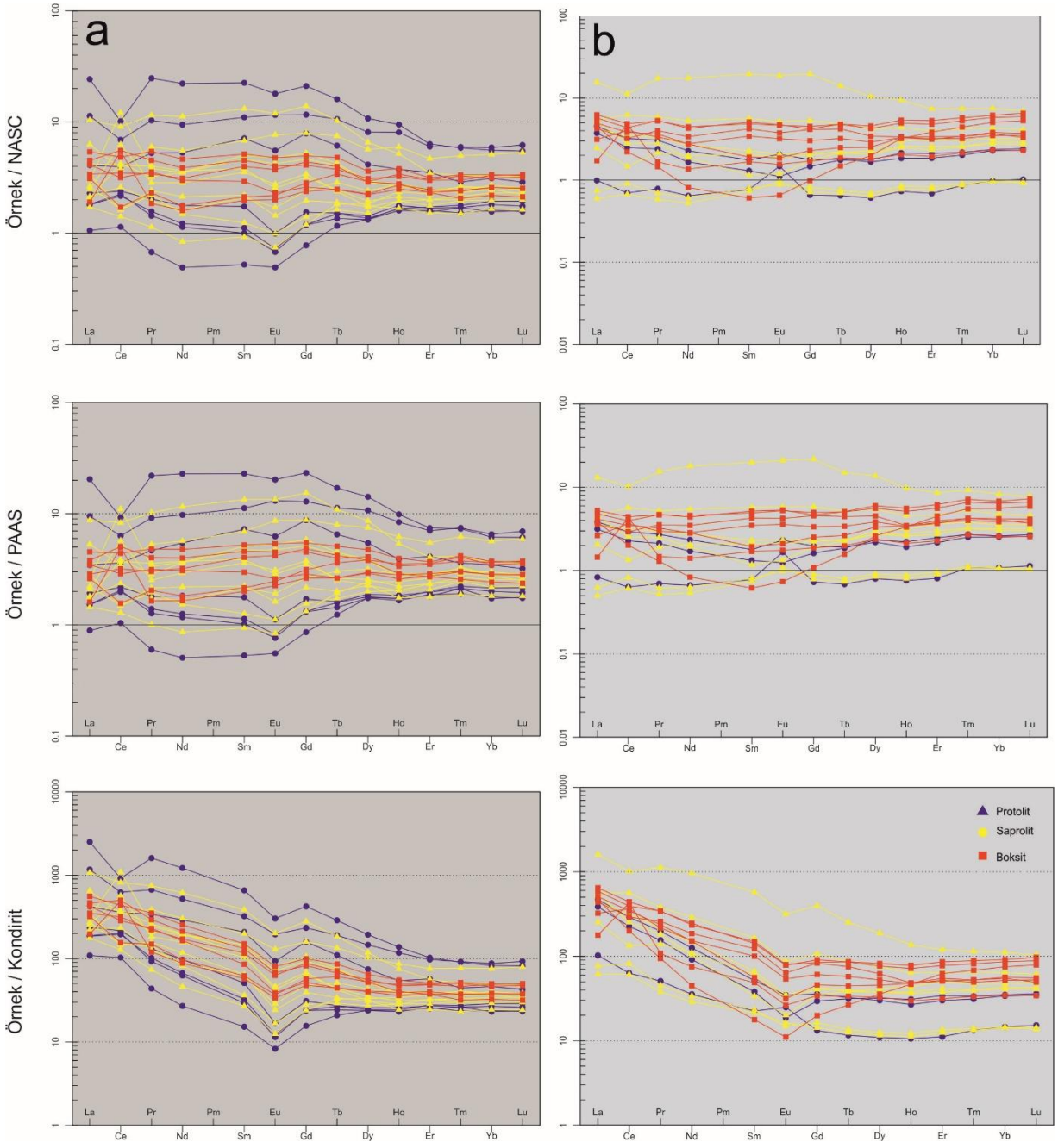
Kaolinit ve halloysitlerin PCZ'si olmasına karşın tüp şekilli halloysitlerde absorbe edilen NTE miktarı bağ şekillerinden dolayı daha fazla olmaktadır (Ma ve Eggleton, 1999; Joussein ve diğ., 2005).

İllit, vermikülit, montmorillonit ve amorf materyaller de katyon değişim kapasitelerine sahiptir.

Bu kapasitler pH'a bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Joussein ve diğ., 2005). Kaolinit halloysit gibi killerin bünyesinde %50 den fazla adsorbe halde NTE bulunabilmektedir (Bao ve Zhao, 2013; Li ve diğ., 2013; Long ve diğ., 2017).

Çeşitli araştırmacılara göre bir iyon adsorbsiyon tipi NTE yatağı olabilmesi için kaynak kayanın 130 ile 810 ppm NTE içermesi yeterlidir. NTE cevher zonu ise 140-6400 ppm ortalama NTE içermektedir (Hongo ve diğ.,. 2007; Chen, 2011; Bao ve Zhao, 2013; Foley ve diğ., 2013; Li ve diğ., 2013).

Ayrışmış zonlarda Ce'un pozitif anomali göstermesinin nedeni CeO_2 olarak oksijene bağlanmış ve 25°C de NTE^{+3}'e göre daha az çözünür halde olduğundan kaynaklanmaktadır (Brookins, 1987). CeO_2 feldspat, Kil, Mn-oksitlerle aynı zonda ve eş zamanlı olarak oluşmaktadır.



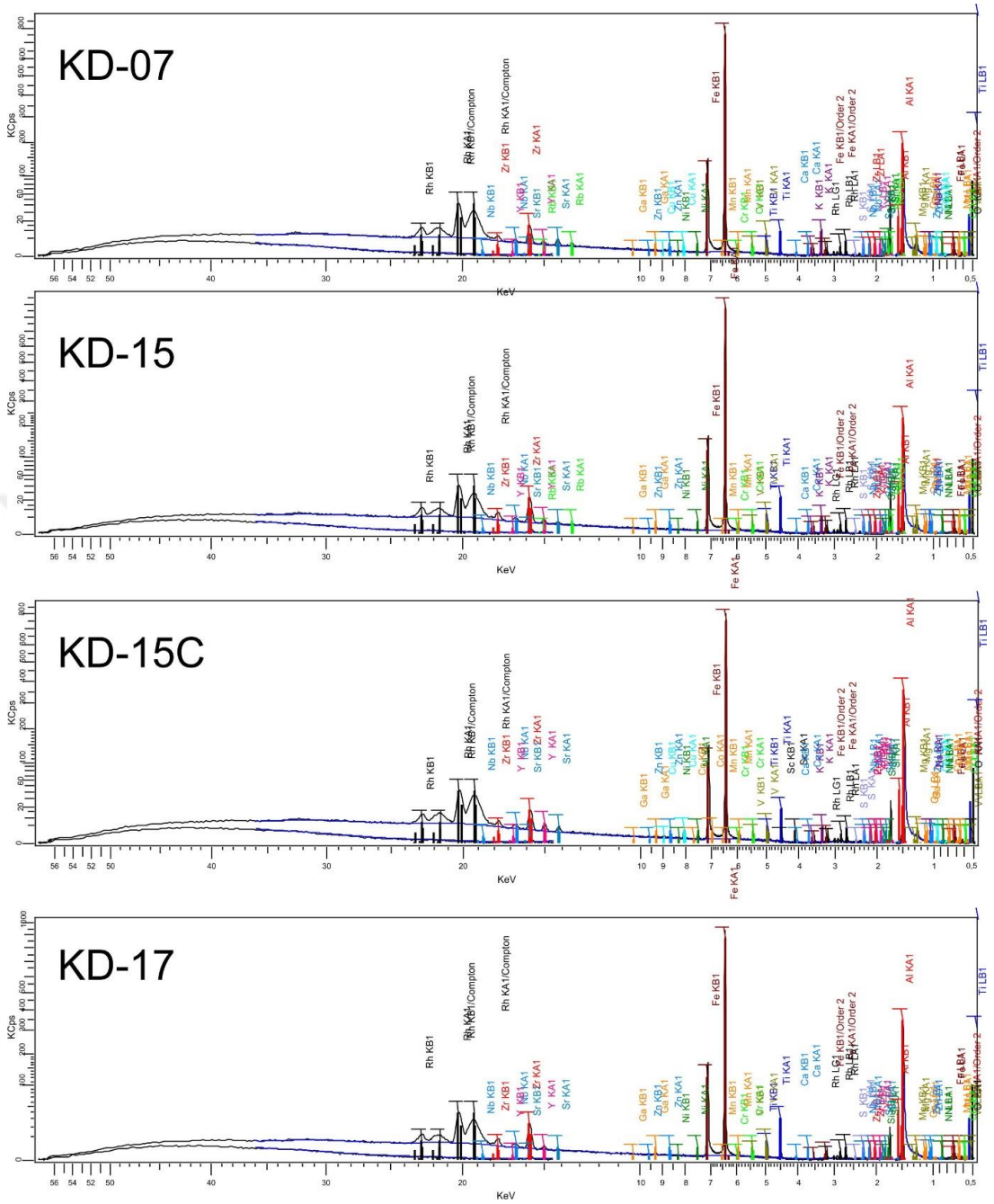
Şekil 4.46: (a) Kızıldağ cevherleşmesine, (b) Kemiklitepe cevherleşmesine ait, Kondrit, PAAS ve NASC'a göre NTE normalize diyagramı (PAAS: Post Archean Australian Shale, NASC: North American Shale Composit; MacLennan, 1989; (Gromet, Haskin, Korotev, & Dymek, 1984)(Gromet, Haskin, Korotev, & Dymek, 1984).

4.6.3. WD-XRF Analizleri

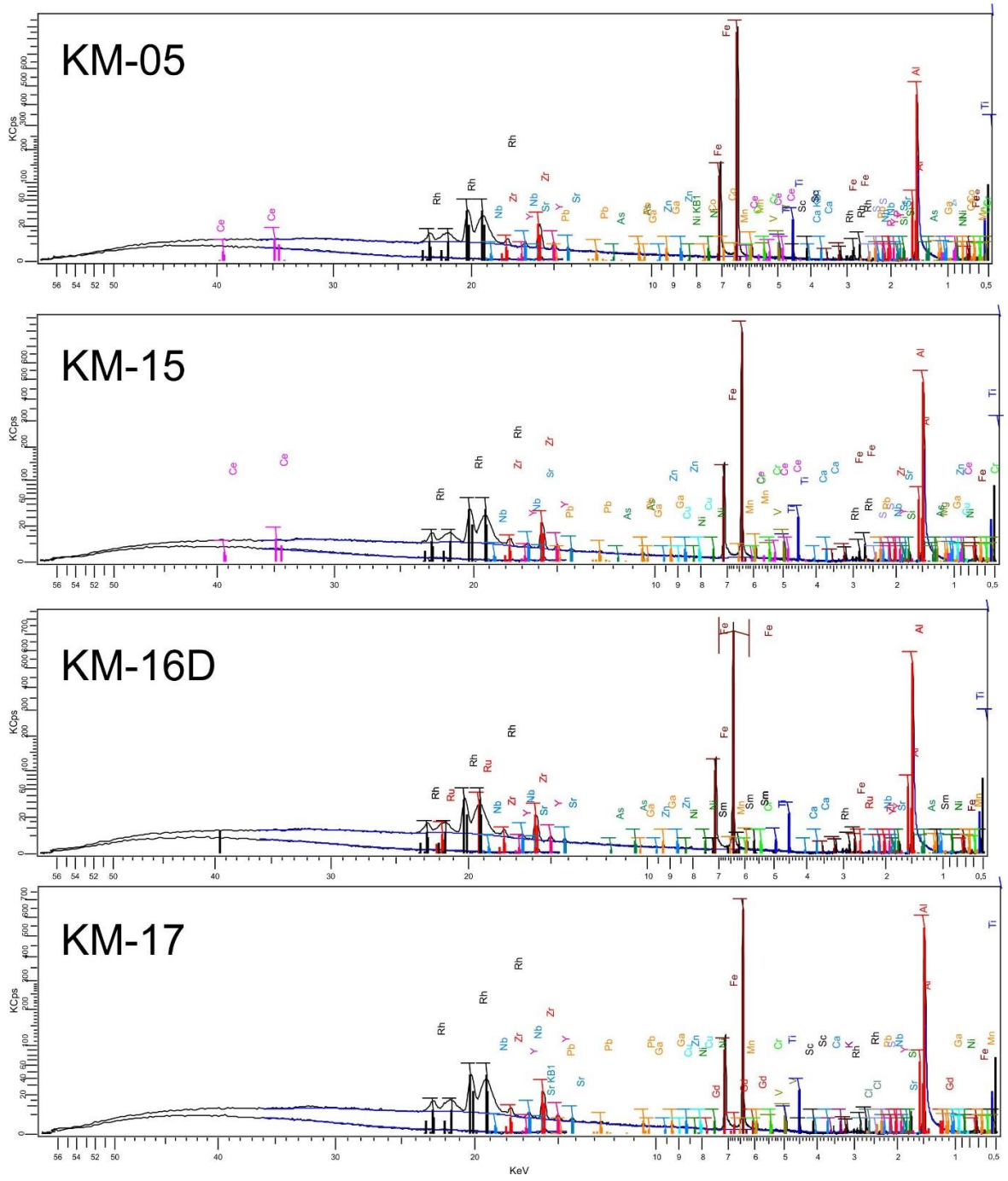
Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmesine ait protolit ve saprolitlerden birer temsili örnek ve boksitlerden ikişer adet temsili örnek olmak üzere toplam 8 adet örneğin WD-XRF analizleri yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen difraktogramlar şekil 4.46 ve 4.47'de verilmiştir.

Majör oksitlere ek olarak Nadir toprak elementlerinin oksitlere ait çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında; KD-15C ve KM-17 numaralı boksit örneklerinde Sc-oksit tespit edilmiştir (Tablo 4.17, 4.18).

Bunun yanı sıra, KD-15C numaralı örnekte, Y, Nb- oksit tespit edilmiştir. Ce-oksit Kızıldağ'a ait örneklerde tespit edilememiş ancak Kemiklitepe boksitlerinde tespit edilebilmiştir (Tablo 4.18).



Şekil 4.47: Kızıldağ cevherleşmesine ait örneklerin WDS – XRF grafikleri.



Şekil 4.48: Kemiklitepe cevherleşmesine ait örneklerin WDS – XRF grafikleri.

Tablo 4.10: Kızıldağ Kızıldağ boksit cevherleşmesi ve Kemiklitepe boksit yatağına ait örneklerin WD-XRF analiz sonuçları.

	Kızıldağ Boksit Cevherleşemsi				Kemiklitepe Boksit Yatağı			
Örnek	**KD07**	**KD15**	**KD15C**	**KD17**	**KM05**	**KM15**	**KM16D**	**KM17**
	% wt	**% wt**	**% wt**	**% wt**	**% wt**	**% wt**	**% wt**	**% wt**
Al_2O_3	25,94	32,06	47,31	46,9	59,69	63,09	66,85	67,07
Fe_2O_3	30,33	35,23	29,49	35,46	33,88	31,08	27,79	24,45
SiO_2	37,23	26,59	18,4	12,8	2,14	1,16	1,69	4,61
TiO_2	1,3	3,04	2,39	3,924	3,54	3,823	3,09	3,24
MnO	0,01	0,03	0,0548	0,0584	0,197	0,182	0,124	0,0815
K_2O	1,69	0,797	0,69					0,043
Na_2O	0,8	0,37	0,34					
V_2O_5	0,257	0,14	0,15	0,16	0,13	0,14	0,11	0,11
ZrO_2	0,0573	0,115	0,0717	0,121	0,107	0,105	0,091	0,0888
MgO	1,92	1,4	0,725	0,351		0,093		
CaO	0,284	0,0708	0,117	0,0905	0,0663	0,0843	0,113	0,0692
P_2O_5			0,049		0,037	0,032		0,032
Cr_2O_3	0,0714	0,0794	0,032	0,0704	0,0347		0,029	0,0359
SO_3	0,02	0,02	0,038	0,022	0,015	0,024	0,028	0,029
NiO	0,019	0,017	0,0468	0,014	0,014	0,015	0,014	0,021
	ppm	**ppm**	**ppm**	**ppm**	**ppm**	**ppm**	**ppm**	**ppm**
Ga_2O_3	70	80	80	80	100	120	110	110
PbO					130	130		110
ZnO	170	120	185	130	100	160	100	150
SrO	171	40	145	30	60	50	78	60
CuO	90		629			90	90	80
CoO			41		48			
As_2O_3					40	30	70	10
Cl							220	110
Rb_2O	60	30						
CeO_2					570	380		
Y_2O_3	40	98	204	100	183	120	108	99
Gd2O3								250
Sc_2O_3			150					150
Nb_2O_5	50	95	77	120	101	92	97	101

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kızıldağ ve Kemiklitepe boksit cevherleşmeleri Bolkardağ boksit provensinde yer almaktadır. Bu provensteki boksit yataklarının oluşumu üzerine Hanilçi (2013) tarafından yapılan çalışmada Kızıldağ boksit cevherleşmesinin protolitinin ve kemiklitepe boksit cevherinin sırasıyla ortalama 1200 ppm ve 1100 ppm NTE içerdikleri belirtilmiş ancak NTE içeren mineral fazları belirlenememiştir.

Bu çalışma kapsamında her iki cevherleşmenin protoliti, saproliti ve boksit cevherinin NTE içerikleri ve NTE'lerin boksitleşme sürecindeki davranışları incelenmiştir.

Ortalama 1071 ppm ∑NTE içeren Kızıldağ boksit cevherleşmesinin kaynak kayasında NTE içeren allanit ve serit minerallerinin varlığı Raman spektroskobisi çalışmaları ile tespit edilmiştir. Kızıldağ lateritik boksit zonunda ∑NTE'nin 750 ppm'e düşmesi allanit ve serit minerallerinin boksitleşme sürecinde duraylı olmadığını ve NTE'nin çözünerek ortamdan yıkandığına işaret etmektedir.

Kemiklitepe boksit cevherleşmesinin protolitinde NTE içeren bir mineralin varlığı tespit edilememesine karşın boksitte braicit (braitschite), seriyanit, allanit ve sebait minerallerinin varlığı tespit edilmiştir.

Kemiklitepe cevherleşmesinin protolitinin, boksitinden daha düşük miktarlarda ∑NTE içermesi; boksitleşme koşullarında olasılıkla kil minerallerinin bünyesinde var olan NTE'lerin iyon olarak ayrılarak boksitleşme sürecinde cevheri içinde kendi minerallerini oluşturduğunu göstermektedir.

Jeokimya incelemelerinde elde edilen değerlerde; major oksitlerin ikili diyagramlarına bakıldığında; Kızıldağ cevherleşmesinde, genel olarak gözlenen SiO_2 (%) oranı azaldıkça Fe_2O_3 (%) ve değerlerinde artış, TiO_2 (%) oranı arttıkça da Fe_2O_3 (%) oranında da artış ve Al_2O_3 (%) oranında artış gözlenmektedir. K_2O (%)'ye karşı Rb değerinde potasyum ve Rb arasında doğrusal ters bir ilişki gözlenmektedir. Al_2O_3 (%) oranı attıkça, TiO_2 (%) ve Fe_2O_3 (%) oranında artış gözlenmektedir.

TiO_2 (%) değerleri arttıkça Hf (ppm), Nb (ppm), Zr (ppm) ve Ta (ppm) oranında artış görülmektedir. Yüzeysel işlemler sırasında maruz kaldıkları kimyasal reaksiyonlarda

duraylılığı yüksek olan Hf, Nb, Zr, ve Ta elementlerin çok küçük bir kısmı yıkanarak uzaklaşmış ancak protolitten saprolite ve boksite geçişte artışları, görece hareketsiz olarak değerlendirilmiştir.

Hareketsiz kabul edilmiş elementlerin birbirleri ile ikili diyagramlarına bakıldığında (Şekil 4.35) Protolit-saprolit arasında pozitif doğrusal bir ilişki görülmektedir.

Kemiklitepe cevherleşmesinde, SiO_2 (%) oranı azaldıkça Fe_2O_3 (%) ve değerlerinde artış, TiO_2 (%) oranı arttıkça da Fe_2O_3 (%) oranında da artış ve Al_2O_3 (%) oranında artış gözlenmektedir. K_2O (%)'ye karşı Rb değerinde potasyum ve Rb arasında doğrusal ters bir ilişki gözlenmektedir. Al_2O_3 (%) oranı attıkça, TiO_2 (%) ve Fe_2O_3 (%) oranında artış gözlenmektedir.

TiO_2 (%) değerleri arttıkça Hf (ppm), Nb (ppm), Zr (ppm) ve Ta (ppm) oranında artış görülmektedir. Yüzeysel işlemler sırasında maruz kaldıkları kimyasal reaksiyonlarda duraylılığı yüksek olan Hf, Nb, Zr, ve Ta elementlerin çok küçük bir kısmı yıkanarak uzaklaşmış ancak protolitten saprolite ve boksite geçişte artışları, görece hareketsiz olarak değerlendirilmiştir.

Hareketsiz kabul edilmiş elementlerin birbirleri ile ikili diyagramlarına bakıldığında (Şekil 4.35) pozitif doğrusal bir ilişki görülmektedir.

Bu haraketsiz olarak kabul edilen elementler ile birlikte kütle değişim hesaplamaları yapılmıştır bu hesaplamalara göre NTE'ler Kızıldağ protolitinden saprolite ve boksite geçişte azaldığı gözlenmektedir.

Kemiklitepe cevherleşmesinde ise tam tersine protolitten boksite dönüşümde NTE'ler pozitif değer göstererek artış olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Bunun dışında SEM-EDX verilerinde Fe ile Sc ilişkisinin varlığı Kemiklitepe boksitinde tespit edilmiştir.

Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmeleri incelendiğinde NTE içerikleri farklılık göstermektedir. Genel olarak NTE içerikleri bileşimlerinde bulunan zirkon, apatit, monazit, ksenotim, alüminyum-fosfat-sülfatlı minerallerin bünyesinde gelmektedir (Lumholt ve diğ., 1995).

Bu mineraller ayrışmaya dayanımlı birincil veya ikincil fazlarda oluşmaktadır. Kızıldağ protolitinde ve Kemiklitepe boksitindeki yüksek NTE içerikleri NTE içeren mineral fazlarının olabileceğini göstermektedir. Kemiklitepe boksitinde yüksek NTE içeriğinin protolitlerde az miktarda olmasına karşın zenginleşmesinin nedenleri;

Boksit cevherinde bulunan pizolitlerin demir halkaları hareket kaynaklı merkezkaç bir kuvvetinin etkisi ile oluşmaktadır. Rijit haldeki nodüller böhmit ve demirce zengin bir hamur tarafından sarılmıştır.

Yumruların merkezi demirce tüketilirken, böhmit istikrarını kaybetmeye başlar ve gibsitik kritsal-hamur ile yer değiştirir.

İç zonlu nodüller oluştuktan sonra, nodül çevresinde oluşan boşlukta böhmit, gibsite dönüşümde stabil kalamaz. Bu pizolitlerin etrafında en dış halkada NTE'ce zengin zonlar ve minerallerin varlığı tespit edilmiştir.

NTE'ler birincil olarak oluşan minerallerin bünyelerinden açığa çıktıklarında kompleksler halinde ikincil veya üçüncül fazlarda mineral oluşturmaktadırlar.

Örneğin her bir mineral fazının kendilerine ait bünyesinde barındırabildikleri NTE'ler vardır (Zirkon mineralinin A-NTE'leri tercih etmesi gibi) ve bir dağılım gösterirler.

Lateritleşme sürecindeki Eh-pH koşullarında NTE içeren birincil ve/veya ikincil minerallerin Kemiklitepe protolitinden çözünmediğini ve kalıntı lateritte görece zenginleşerek boksitte protolitine göre daha yüksek değerlere ulaştığını söyleyebiliriz ancak;

Kemiklitepe boksitinde raman spektroskobisi çalışmalarıyla tespit edilen seriyanit, allanit, sebayit ve braitşist gibi NTE minerallerinin varlığı; süperjen koşullarda üst toprak zonunda çözünme sırasında yan kayaçlardan çözünen karbonat iyonları ile bağlanarak ikincil olarak ve/veya üçüncül minerallerin oluştuklarını işaret etmeketedir.

Kemiklitepe cevherleşmesinde özellikle Ce'nin değeri protolitten boksite geçiş sırasında artmış ancak az olsa da negatif bir eğim göstermiştir (Şekil 4.45).

Bu durum raman spektroskobisi verileri ile desteklenmiş ve protolitte gözlenen allanit minerali, Al-Fe-OH diyagramı ile karşılaştırıldığında Ce^{+4} olarak CeO_2 minerali alanının Al-Fe çözünebilirlik alanının dışında kaldığı gözlenmiştir.

Üst zonlarda beklenen Ce'nin yüksek ve pozitif anomalisinin bazı örneklerde gözlenmeme sebebi; Ce'nin pH değeri arttıkça negatif değer göstermeye başlaması, H-NTE'lerin karbonat anyonları ile bileşikler halinde yıkanması veya bölgede bulunan birki örtüsünün, biyolojik kompleksler halinde bünyelerine alması olasıdır (Ozaki ve diğ., 2006).

Kızıldağ cevherleşmesinin normalize diyagramlarında boksitlerde pozitif Ce anomalisi görülmektedir (Şekil 4.43). Bu durum, lateritleşme sırasında Ce^{+3} olarak serbestleşen Ce'nin Ce^{+4}'e yükseltgenerek CeO_2 şeklinde çökelmiş olabileceğini göstermektedir.

Ancak raman spektroskobisi analizlerinde Ce içeren NTE mineralinin saptanamamış olması Ce'nin pozitif anomali gösteren değerlerinin demir minerallerinden hematitin bünyesine katılmış olması ile açıklanabilir. Buna karşın protolitte gözlenen negatif anomali paternleri beklenildiği gibi Ce'nin kendi minerali olan seriyanit ve allanit minerallerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4. 43).

Kızıldağ ve Kemiklitepe boksitlerinde oolitik ve pizolitik dokular gelişmiştir. Bazı Fe-li mineraller (götit yüzey alanı itibari ile) ve kil mineralleri (smektit, illit, kaolinit, ve halloysit gibi) NTE'leri adsorbe yapabilmektedir (Nesbitt, 1979). Montmorillonit ve kaolinitler pH 5.5 üzerinde O-NTE'leri bünyelerine almaktadır.

H-NTE'ler yüzey sularında taşınabilmektedir ancak A-NTE'ler ancak (SO_4) veya (PO_3) ile kompleks iyon yaparak taşınabilmektedir.

Her iki cevherleşme de düz bir artış veya azalış göstermektedir. Bu da lateritleşme sırasında pH faktörü ile bi-kompleks iyonlar halinde çözünmedikleri hali hazırda boksitleşme sürecinin getirdiği yüzey ve yer altı suyunun etkisini göstermiştir (Elderfield & Greaves, 1982).

Yüzey sularında hafif NTE'lerin taşınması pozitif iyon yüklü karbonat kompleks iyonları ile gerçekleşmektedir (H-NTE-CO^{3+}). A-NTE'lerin taşınması ise negatif yüklü karbonat kompleks iyonları ile taşınmaktadır (A-NTE-$(CO_3)^{2-}$).

A-NTE'lerin karbonat kompleks iyonları halinde taşınabilmesi için pH değerinin 8.0'ın üzerinde olması gerekmektedir. Hafif NTE'lerin karbonat kompleks iyonlar halinde sistemden yıkanabilmesi için çözülmüş organik karbon oranının yüksek olması gerekmektedir (Tang & Johannesson, 2005).

Kızıldağ protolitinin yüksek ∑NTE içeriği (1017ppm), NTE'nin kaynak kaya olan şeylin bünyesindeki killerde iyon adsorbsiyon şeklinde bağlandığı şeklinde açıklanabilir ve bu açıdan dünyadaki benzer iyon adsorbsiyon tipi killere bezerlik göstermektedir.

İyon adsorbsiyon tipi killerin Eu/EuN* değerleri 0.67-0.75 arasında değişmekte olup, Kızıldağ protolitlerinin Eu/EuN* değerleri 0.3-0.8 de bu aralıktadır.

İnceleme alanında bulunan killerde ve boksitlerde NTE mineralleri gözlenmiştir. Bir süreç olarak oluşum ortamına bakıldığında; ayrışma derecesi NTE'lerin mobilitesi üzerinde etkisi büyüktür. Toprak zonunun ve yüzey sularını pH'sı, atmosferde bulunan humik maddeler ve CO_2 etki etmektedir.

Yüzeydeki toprak zonunun kısmen ayrışmış zonunun pH'sı 4-6 arasında, ayrışma zonunun pH'sı ise 4,5-6,5 arasında değişmektedir (Hoshino ve diğ., 2016). .

Kızıldağ cevherleşmesine ait protolitler ortalama 1017 ppm gibi yüksek NTE değerine sahipken saprolitin 8383 ppm, boksit cevherinin ise ortalama 750 ppm olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.4, 4.7).

Kemiklitepe cevherleşmesinde ise protolitlerin NTE içerikleri ise ortalama 436 ppm olup, saprolitlerin 423 ppm, boksit cevherinin ise 1043 ppm olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.8, 4.9).

Yüzeysel koşullar altında toprak zonunda bulunan sular da pH'sı düşük (4-6) asidik karakterli sulardır.

Biyolojik olarak bitkilerle ilişkili çürüme ve çözünme, CO_2 çözünmesi, humik ve fulvik asit kaynaklı çözünmelerde ayrışmış toprak zonunu oluşturmaktadır. NTE'ler ise genel olarak kısmen ayışmış zonda daha çok zenginleşmektedirler.

Önceki araştırmacıların çalışmalarına göre NTE'lerin suda taşınması; ilksel olarak toprak zonundaki sularda veya yer altı sularında karbonat ve bikarbonat iyonlarına (NTE-CO_3^+ ve NTE-$HCO_3^{2+)}$ bağlanarak olmaktadır.

Bazı zonlarda ise NTE'ler florit, biyotit, flor-karbonatlı bir mineral ortamda olduğu zaman NTE-F^{2+} ve NTE-F_2 olarak da taşınabilmektedirler (Cantrell ve Byrne, 1987; Wood, 1990; Liu ve Byrne, 1997).

Karbonat kompleksleri pH 6.5 dolaylarında, florlu, fosfatlı ve inorganik komplekslerden daha duraylı olduğu için karbonatlı bileşikleri tercih etmektedirler.

Karbonatlı sularda La'dan Lu'ya doğru duraylılık artmaktadır (Cantrell ve Byrne, 1987; Lee ve Byrne, 1993). Hafif-NTE'ler CO_2'li sularda, özellikle karbonatlı meta sedimentlerde, ayrışmış şistlerde düşük sıcaklıklarda bile taşınabilmektedir (McLennan ve Taylor, 1979, Koppi ve diğ., 1996).

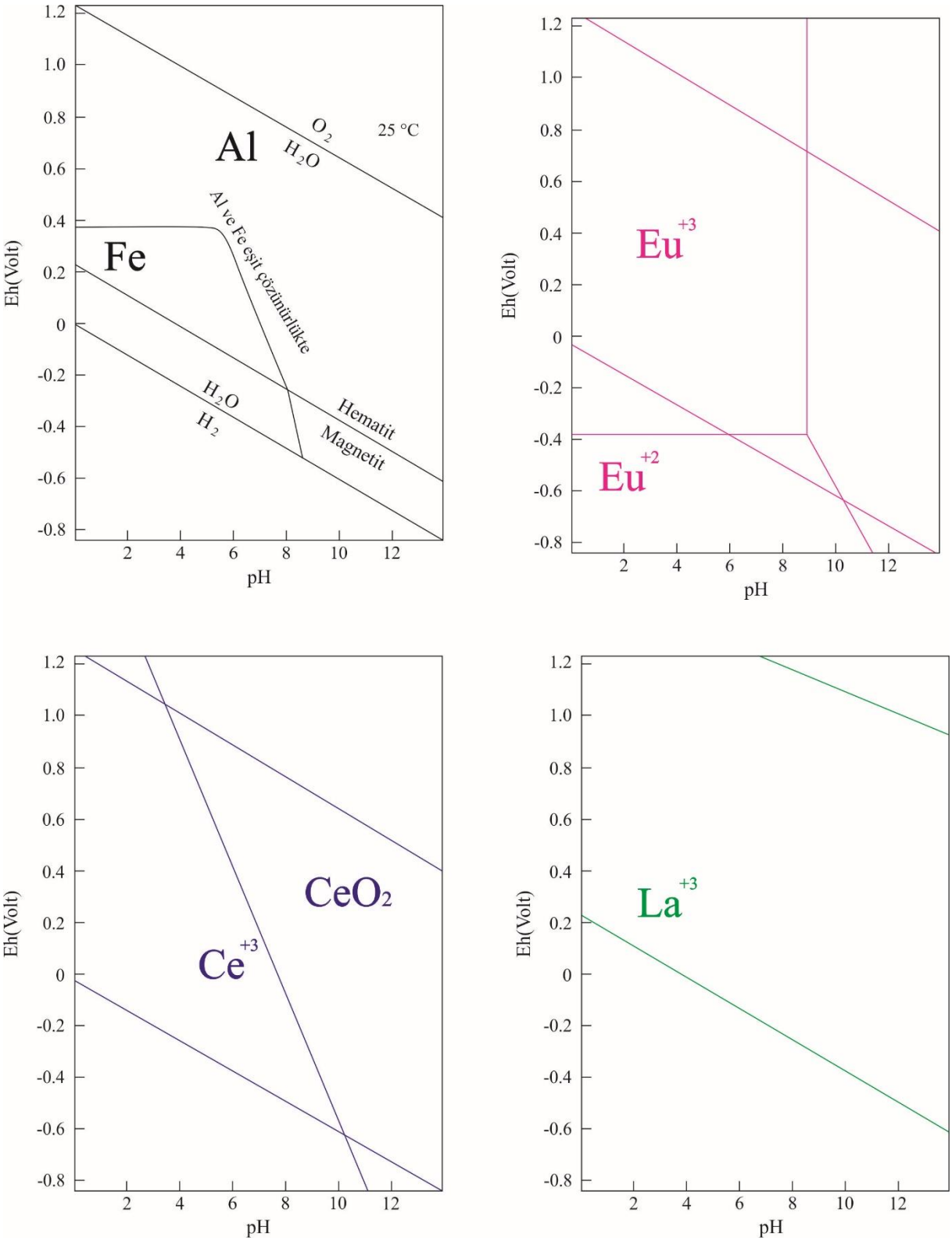
Ağır-NTE'ler hafiflere göre daha seçici davranmaktadır(McLennan ve Taylor, 1979, Koppi ve diğ., 1996).

Burada NTE'nin magmatik veya magmatik/hidrotermal sistemde oluşan ilksel minerallerin varlığı önem taşımaktadır.

Yüzey sularında iyon değişimi sıfır kabul edilir buna göre (Kosmulski, 2009; 2011), Katyon değişim kapasiteleri (PCZ) değerleri toprak zonundan ve yeraltı suyundan NTE'lerin adsorbe olabilme kapasitesini belirlemektedir.

İlişkiler incelendiğinde Eu ile negatif anomali gösteren değerlerde Eu oksitli ve karbonatlı minerallerin çözünebilirlik alanının dışında kaldığını göstermektedir.

Bu koşullar altında Eu çözeltide iyon halinde serbestleşip sistemden yıkanarak bir mineral oluşturamamıştır.



Şekil 5.1: Fe-Al-, Eu-, Ce- ve La-H_2O'nun 25°C sıcaklıktaki Eh-pH çözünebilirlik diyagramı (Atlas of Eh-pH diagrams: Intercomparison of Thermodynamic Databases, 2005).

Killerde 2:1 katmanlarında illit ve montmorillonitlerin kapasiteleri, kaolinit ve halloysitlerden daha yüksektir ancak pozitif değişken yükleri yüzünden bazal yüzeylerde adsorbe yapamaz (Carroll, 1959; Kosmulski, 2009, 2011; Laveuf ve Cornu, 2009).

İyon adsorbsiyon tip killerde ise NTE'ler Al^{3+} ve Si^{4+} bazal yüzeylerde katyon değişimi olabilmektedir.

Ma ve Eggleton (1999)'a göre kaolinitlerde çoğunlukla NTE'ler kristal katman sınırlarına ve bazal yüzeylerine bağlanmaktadır.

Kaolinit ve halloysitlerin PCZ'si olmasına karşın tüp şekilli halloysitlerde absorbe edilen NTE miktarı bağ şekillerinden dolayı daha fazla olmaktadır (Ma ve Eggleton, 1999; Joussein ve diğ., 2005).

İllit, vermikülit, montmorillonit ve amorf materyaller de katyon değişim kapasitelerine sahiptir. Bu kapasitler pH'a bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Joussein ve diğ., 2005).

Kaolinit halloysit gibi killerin bünyesinde %50 den fazla adsorbe halde NTE bulunabilmektedir (Bao ve Zhao, 2013; Li ve diğ., 2013; Long ve diğ., 2017).

Çeşitli araştırmacılara göre bir iyon adsorbsiyon tipi NTE yatağı olabilmesi için kaynak kayanın 130 ile 810 ppm NTE içermesi yeterlidir. NTE cevher zonu ise 140-6400 ppm ortalama NTE içermektedir (Hongo ve diğ.,. 2007; Chen, 2011; Bao ve Zhao, 2013; Foley ve diğ., 2013; Li ve diğ., 2013).

Ayrışmış zonlarda Ce'un pozitif anomali göstermesinin nedeni CeO_2 olarak oksijene bağlanmış ve 25°C de NTE^{+3}'e göre daha az çözünür halde olduğundan kaynaklanmaktadır (Brookins, 1987).

CeO_2 feldspat, Kil, Mn-oksitlerle aynı zonda ve eş zamanlı olarak oluşmaktadır.

Seryum içeren minerallerin oluşum alanları boksitin oluşum alanları ile paralellik göstermektedir. Pozitif anomali gösteren bu cevherleşmelerde seriyanit mineralinin varlığı demir ile olan ilişkilerine de bağlıdır.

	Mineral Parajenezi		∑NTE içeriği (ppm)		NTE mineralleri	
	Kızıldağ Bx	Kemiklitepe Bx	Kızıldağ Bx	Kemiklitepe Bx	Kızıldağ Bx	Kemiklitepe Bx
Protolit	Kaolinit İllit Kuvars Serisit Klorit Albit	Profillit Kaolinit Albit	1017	436	Serit Allanit	
Saprolit	Muskovit Şabazit Kaolinit Böhmit Kuvars Klorit	Profillit Kaolinit Montmorilonit Kuvars Klorit Diaspor	838	423		
Boksit	Diaspor Hematit Anataz Klorit	Diaspor Hematit Anataz Albit	750	1043		Sebayit Brayiçit Seriyanit Allanit

Şekil 5.2: Kızıldağ ve Kemiklitepe cevherleşmelerinin mineral-NTE içerikleri ve NTE-içeren mineraller bakımından toparlanmış özeti.

Kemiklitepe'nin boksitlerinde seriyanit $(Ce^{4+},Th)O_2$, allanit $\{CaCe\}\{Al_2Fe^{2+}\}(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$, braitşist $(Ca,Na_2)_7(Ce,La)_2B_{22}O_{43}\cdot 7H_2O$, sebayit $Ba_3Ce_2(CO_3)_5F_2$ mineralinin varlığı (Şekil 4.49);

Kızıldağ protolitlerinde ise seriyanit $(Ce^{4+},Th)O_2$ ve allanit $\{CaCe\}\{Al_2Fe^{2+}\}(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$ minerallerinin varlığı tespit edilmiş olması hem kendi minerallerini oluşturduğu hem de ikincil fazlardan ayrıldığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

Bao, J., & Zhao, L. (2013). A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.040

Bárdossy, G., Aleva, G.J.J., 1990. Lateritic bauxites. *Developments in Economic Geology*, 27. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam (624 pp.).

Bau, M. (1999). Scavenging of dissolved yttrium and rare earths by precipitating iron oxyhydroxide: Experimental evidence for Ce oxidation, Y-Ho fractionation, and lanthanide tetrad effect. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *63*(1), 67–77. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00014-9

Bland, W., & Rolls, D. (1998). *Weathering: An Introduction to the Scientific Principles*. Arnold. Tarihinde adresinden erişildi https://books.google.com.tr/books?id=b_Fa2SYM9CEC

Brimhall, G.H., Lewis, C.J., Ford, C., Bratt, J., Taylor, G., Warin, O., 1991. Quantitative geochemical approach to pedogenesis: importance of parent material reduction, volumetric expansion and eolian influx in laterization. *Geoderma* 51, 51–91.

Brimhall, G.H., Dietrich, W.E., 1987. Constitutive mass balance Differential feldspar weathering in granites 867 relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: Results on weathering and pedrogenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51, 567–587.

Brookins, D. G. (1987). *Eh-pH diagrams for geochemistry*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90020-3

Buschow, K. H. J. (1980). Rare earth compounds. *Handbook of Ferromagnetic Materials*. https://doi.org/10.1016/S1574-9304(05)80119-1

Cantrell, K. J., & Byrne, R. H. (1987). Rare earth element complexation by carbonate and oxalate ions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. https://doi.org/10.1016/0016-7037(87)90072-X

Carroll, D. (1959). Ioon exchange in clays and other minerals. *Bulletin of the Geological Society of America*. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1959)70[749:IEICAO]2.0.CO;2

Chakhmouradian, A. R., & Wall, F. (2012). Rare earth elements: Minerals, mines, magnets (and more). *Elements*. https://doi.org/10.2113/gselements.8.5.333

Chen, Z. (2011). Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry. *Journal of Rare Earths*. https://doi.org/10.1016/S1002-0721(10)60401-2

Elderfield, H., & Greaves, M. J. (1982). The rare earth elements in seawater. *Nature*. https://doi.org/10.1038/296214a0

Foley, N. K., De Vivo, B., & Salminen, R. (2013). Rare earth elements: The role of geology, exploration, and analytical geochemistry in ensuring diverse sources of supply and a globally sustainable resource. *Journal of Geochemical Exploration*, *133*(3), 1–5. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.08.001

Goldschmidt, V. M. (1930). Geochemische Verteilungsgesetze und kosmische Häufigkeit der Elemente. *Klinische Wochenschrift*. https://doi.org/10.1007/BF01733729

Gromet, L. P., Haskin, L. A., Korotev, R. L., & Dymek, R. F. (1984). The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90298-9

Hanilçi, N. (2013). Geological and geochemical evolution of the Bolkardaği bauxite deposits, Karaman, Turkey: Transformation from shale to bauxite. *Journal of Geochemical Exploration*, *133*, 118–137. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.04.004

Hanilçi, N. (2019). Bauxite Deposits of Turkey. Içinde *Modern Approaches in Solid Earth Sciences*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02950-0_15

Hongo, Y., Obata, H., Gamo, T., Nakaseama, M., Ishibashi, J., Konno, U., … Tsunogai, U. (2007). Rare earth elements in the hydrothermal system at Okinawa Trough back-arc basin. *Geochemical Journal*. https://doi.org/10.2343/geochemj.41.1

Hoshino, M., Sanematsu, K., & Watanabe, Y. (2016). *REE Mineralogy and Resources*. *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths* (1. baskı, C. 49). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/bs.hpcre.2016.03.006

Jong Hyeon Lee, & Byrne, R. H. (1993). Complexation of trivalent rare earth elements (Ce, Eu, Gd, Tb, Yb) by carbonate ions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90432-V

Joussein, E., Petit, S., Churchman, J., Theng, B., Righi, D., & Delvaux, B. (2005). Halloysite clay minerals — a review. *Clay Minerals*. https://doi.org/10.1180/0009855054040180

Kanazawa, Y., & Kamitani, M. (2006). Rare earth minerals and resources in the world. Içinde *Journal of Alloys and Compounds*. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.04.033

Kosmulski, M. (2009). *Surface charging and points of zero charge*. *Surface Charging and Points of Zero Charge*. https://doi.org/10.1201/9781420051896

Kosmulski, M. (2011). Journal of Colloid and Interface Science The pH-dependent surface charging and points of zero charge V . Update. *Journal of Colloid And Interface Science*. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.08.023

Laveuf, C., & Cornu, S. (2009). A review on the potentiality of Rare Earth Elements to trace pedogenetic processes. *Geoderma*. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.10.002

Li, Z., Din, J., Xu, J., Liao, C., Yin, F., Lǔ, T., … Li, J. (2013). Discovery of the REE minerals in the Wulong-Nanchuan bauxite deposits, Chongqing, China: Insights on conditions of formation and processes. *Journal of Geochemical Exploration*, *133*, 88–102.

https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.06.016

Liu, X., & Byrne, R. H. (1997). Rare earth and yttrium phosphate solubilities in aqueous solution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(97)00037-9

Long, Y., Chi, G., Liu, J., Jin, Z., & Dai, T. (2017). Trace and rare earth elements constraints on the sources of the Yunfeng paleo-karstic bauxite deposit in the Xiuwen-Qingzhen area, Guizhou, China. *Ore Geology Reviews*, *91*(September), 404–418. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.09.014

Lumholt, O., Bjarklev, A., Rasmussen, T., & Lester, C. (1995). Rare Earth-Doped Integrated Glass Components: Modeling and Optimization. *Journal of Lightwave Technology*. https://doi.org/10.1109/50.365216

Ma, C., & Eggleton, R. A. (1999). Cation exchange capacity of kaolinite. *Clays and Clay Minerals*.

MacLean, W.H., 1990. Mass change calculations in altered rock series. *Mineralium Deposita* 25, 44–49.

MacLean,W.H., Barrett, T.J., 1993. Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Geochemical Exploration* 48, 109–133.

MacLean, W.H., Kranidiotis, P., 1987. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit. Matagami. Quebec. *Economic Geology* 82, 951–962.

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.

Middelburg, J.J., Van derWeijden, C.H., Woittiez, J.R.W., 1988. Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during the weathering of granitic rocks. *Chemical Geology*, 68, 253–273.

Nesbitt, H.W., 1979. Mobility and fractionation of rare elements during weathering of a granodiorite. *Nature* 279, 206–210.

Nesbitt, H. W., & Young, G. M. (1982). Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. https://doi.org/10.1038/299715a0

Ozaki, T., Suzuki, Y., Nankawa, T., Yoshida, T., Ohnuki, T., Kimura, T., & Francis, A. J. (2006). Interactions of rare earth elements with bacteria and organic ligands. Içinde *Journal of Alloys and Compounds*. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.04.142

Öztürk, H., Hein, J. R., & Hanilçi, N. (2002). Genesis of the Doğankuzu and Mortaş bauxite deposits, Taurides, Turkey: Separation of Al, Fe, and Mn and implications for passive margin metallogeny. *Economic Geology*. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.97.5.1063

Paquet, H., Clauer, N., Boulange, B., Ambrosi, J.-P., & Nahon, D. (2011). Laterites and Bauxites. Içinde *Soils and Sediments*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60525-3_3

R. G. M. (1985). S. R. Taylor & S. M. McLennan 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. *Geological Magazine*. https://doi.org/10.1017/S0016756800032167

Rudnick, R. L., & Gao, S. (2003). Composition of the Continental Crust. Içinde *Treatise on Geochemistry* (ss. 1–64). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03016-4

Takahashi, Y., Shimizu, H., Kagi, H., Yoshida, H., Usui, A., & Nomura, M. (2000). A new method for the determination of Ce(III)/Ce(IV) ratios in geological materials; application for weathering, sedimentary and diagenetic processes. *Earth and Planetary Science Letters*, *182*(3–4), 201–207. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(00)00250-8

Tang, J., & Johannesson, K. H. (2005). Adsorption of rare earth elements onto Carrizo sand: Experimental investigations and modeling with surface complexation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.06.021

Van der Weijden, C.H., Van der Weijden, R.D., 1995. Mobility of major, minor and some redox-sensitive trace elements and rare-earth elements during weathering of four granitoids in central Portugal. *Chemical Geology* 125, 149–167.

Verplanck, P. L. (2017). The Role of Fluids in the Formation of Rare Earth Element Deposits. *Procedia Earth and Planetary Science*. https://doi.org/10.1016/j.proeps.2017.01.014

Wall, F. (2013). Rare earth elements. Içinde *Critical Metals Handbook*. https://doi.org/10.1002/9781118755341.ch13

Wood, S. A. (1990). The aqueous geochemistry of the rare-earth elements and yttrium. 1. Review of available low-temperature data for inorganic complexes and the inorganic REE speciation of natural waters. *Chemical Geology*. https://doi.org/10.1016/0009-2541(90)90080-Q

Zhang, Z., Mei, Y., Zhang, W., Wu, Q., & He, D. (2012). Recovery of rare earths from phosphogypsum. *Beneficiation of phosphates: new thought, new technology, new development.*, 149–152.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Bihter HEPVİDİNLİ
Doğum Yeri	Manisa
Doğum Tarihi	10.10.1990
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	05062708993
E-Posta Adresi	bihterhepvidinli@gmail.com
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Jeoloji Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler

Öztürk H., Cansu Z., Özbaş F., Hepvidinli B., 2017 The Ore Structures and Types Of The Kızılcaören REEs-F-Ba-Th Deposıt: Implıcatıons For Carbonatıte Ore Injectıons, International Symposium of Subduction Related Ore Deposit Abstract Book, p 27.

Hepvidinli B., Hanilçi N., 2018 Behaviour of the Rare Earth Elements (REE) in Kızıldağ and Kemiklitepe Bauxite Deposits: Preliminary Data 8. Geochemistry Symposium Abstracts Book, p 191-192.