

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİGADIÇ (BALIKESİR) ÇEVRESİ BORAT YATAKLARININ MİNERALojİK
VE JEOKİMYASAL İNCELENMESİ**

İsmail KOÇAK

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2009**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİGADIÇ (BALIKESİR) ÇEVRESİ BORAT YATAKLARININ MİNERALojİK VE JEOKİMYASAL İNCELENMESİ

İsmail KOÇAK

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şükrü KOÇ

Volcano-sedimanter havzasının temelinde Paleozoyik-Mezozoyik üzerine Miyosen uyumsuzlukla oturmaktadır. Miyosen yaşlı birimlerin alttan üste doğru taban volkaniti birimi, taban kireçtaşı, alt tuf birimi, alt boratlı zon, üst tuf, üst boratlı zon, bazalt ve bütün bunların uyumsuzlukla gelen genç alüvyonlar şeklinde sıralanmışlardır. Bor cevherleri kilitaşı, çamurtaşı, tuf ve ince katmanlı kireçtaşı ile ardalanmalı olup, genel olarak mercekli yapılar sunarlar. Her iki cevher zonunda da kolemanit ve üleksit baskın mineraller olup, reedmergnerit (NaBSi_3O_8), searlesit ($\text{NaBSi}_2\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$), kalsit, kuvars, hidrohalit, analsim, montmorillonit ve illit mineralleri borat çökeline eşlik etmektedir. Reedmergnerit ve searlesit mineralleri ilk defa bu çalışmada bulunmuştur.

Bigadiç boratlarının içerdiği ana elementler bolluklarına göre Tülü örneklerinde Ca, Si, Mg, Al, Fe, S, Na, P ve Mn şeklinde, Simav örneklerinde Ca, Na, Si, Mg, S, Al, P ve Mn şeklinde, Acep örneklerinde ise Ca, Na, Si, Mg, S, Al ve Mn şeklinde sıralanmaktadır. Eser elementler açısından yerkaşu ve andezitlerdeki ortalamalara göre Sr, Li, Se, As ve Mo haricindeki tüm eser elementlerde üç ocaktada büyük oranda azalmalar kaydedilmiştir. Eser elementlerden Sr, As, Li, Mo ve özellikle Se önemli oranda zenginleşmişlerdir. Ana ve eser elementlerin tümünün ele alındığı korelasyonlarda Tülü'de iki grup, Simav ve Acep'de 5 grup belirlenmiştir.

Gerek element bollukları ve gerekse elementlerin jeokimyasal eğilimleri Tülü, Simav ve Acep ocaklarında farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar beslenme rejiminde ve kaynağındaki değişiklerin etkisiyle çökeltme ortamındaki fizikokimyasal şartların değişkenliğini açıklamaktadır.

Sıvı kapanım çalışmalarında yüksek homojenleşme sıcaklıkları ($>200^\circ\text{C}$) ölçülmüştür. Bu yüksek sıcaklık verileri hidrotermal çözeltilerin etkisiyle açıklanmıştır. Kolemanit ve üleksit minerallerinin oluşum sürecinde yüksek sıcaklıktaki çözeltiler kristallere sızma şeklinde katılarak yarı ikincil (pseudo secondary) kapanımların oluşmasını sağlamıştır.

Bor örneklerinin ($2\text{CaO}.3\text{B}_2\text{O}_3.5\text{H}_2\text{O}$) ESR incelemeleri kapsamında, Mn^{+2} manyetik merkezlerin olduğu gözlenmiştir. Örneklerin sıfır alan yarıлма parametrelerinin sıfırdan büyük olmaları doğal olarak manyetizma göstermelerinin bir sonucudur.

Haziran 2009, 105 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bor, mineraloji, jeokimya, elektron paramanyetik rezonans, Bigadiç.

ABSTRACT

Master Thesis

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL INVESTIGATIONS OF BORATE DEPOSITS AROUND BİGADIÇ (BALIKESİR)

İsmail KOÇAK

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Şükrü KOÇ

Miocene placed onto Palozoik-Mesozoik of the volcano-sedimentary basin basement with discordance. The Miocene aged volcano-sedimentary sequence consists of (from bottom to top) basement volcanics, lower limestone, lower tuff, lower borate zone, upper tuff, upper borate zone, basalt and alluvion. Boron ore deposits which are intercalated with claystone, mudstone, tufa and fine layered limestone show lens shape. Colemanite and ulexite are dominant minerals at all ore zones and reedmergnerite (NaBSi_3O_8), searlesite ($\text{NaBSi}_2\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$), calcite, quartz, hidrohalite, analcime, montmorillonite and illite minerals are paragenesis with borates. Reedmergnerite and searlesite are found first time in this study. The major elements of Bigadiç borates contain Ca, Si, Mg, Al, Fe, S, Na, P and Mn at Tülü, Ca, Na, Si, Mg, S, Al, P and Mn at Simav, Ca, Na, Si, Mg, S, Al and Mn at Acep samples respectively. Except for Li, Mo, Sb, As, Sr and Se, concentrations of other trace elements are significantly lower than averages of earth crust and andesite at three mines. With respect to averages of earth crust and andesite, Mo, Sr, As, Li and particularly Se are significantly enriched in the Bigadiç. At correlation diagrams all major and trace elements evaluated two groups at Tülü and five groups determined at Simav and Acep. Whether elements abundances or elements geochemical trends show differences at Tülü, Simav and Acep mines. These differences can be explained with the diversity of physicochemical conditions at deposition environment by the effect of differences at recharge regime and recharge source. At fluid inclusions studies high homogeneous temperatures ($>200^\circ\text{C}$) are measured. These high temperatures are explained by effects of hydrothermal solutions. At occurrence processes of colemanite and ulexite minerals high temperatured solutions supplied the formation of pseudo secondary inclusions by leaking into crystals. Magnetic features of boron samples ($2\text{CaO}\cdot 3\text{B}_2\text{O}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) from Kestelek (Bursa) region were investigated. Mn^{+2} magnetic centers were observed in boron samples. Spectra of Mn^{+2} magnetic centers were measured by Electron Spin Resonance (ESR). ESR parameters were determined independently from temperature.

June 2009, 105 pages

Key Words: Borate, mineralogy, geochemistry, electron paramagnetic resonance, Bigadiç.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, ‘‘Bigadiç (Balıkesir) çevresi borat yataklarının mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, bunların derinliğe bağlı değişimleri ile manyetik rezonans yöntemiyle bazı yüksek teknolojik özelliklerinin incelenmesi.’’ konulu 2008-Ç0050 kod nolu BOREN projesi tarafından desteklenmiştir.

Çalışmalarımın her aşamasında bilgilerini, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik rehberliğinin yanında her konuda engin fikirleriyle yol gösteren ve gelişmeye katkıda bulunan danışman hocam Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Öğretim Üyesi sayın Prof. Dr. Şükrü KOÇ’a, manyetik rezonans çalışmalarımın katkıda bulunan Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Öğretim Üyesi sayın Doç. Dr. Mehmet BİREY’e, proje çalışmalarımızda yardımlarından ötürü sayın Levent ÖZMEN’e, örnek teminde yardımlarını esirgemeyen sayın Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Genel Müdürü Orhan YILMAZ’a, Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü çalışanlarına, XRD çalışmalarındaki desteğinden dolayı Yük. Jeo. Müh. Doğan ALAYGUT’a (TPAO), sıvı kapanım çalışmalarındaki desteklerinden dolayı Dr. A. Zeynep AYAN (MTA) ve Yük. Jeo. Müh. Ebru COŞKUN’a (MTA) ve Etimaden İşletmeleri Teknoloji Geliştirme Dairesi Başkanlığı çalışanlarına, çalışmalarım süresince birçok fedakârlıklar göstererek beni destekleyen aileme en derin duygularla teşekkür ederim.

İsmail KOÇAK
ANKARA, Haziran 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	10
4. JEOLJİK KONUM.....	12
5. BORAT CEVHERLEŞMESİNİN MİNERALOGİSİ.....	17
5.1 Makroskobik ve Mikroskobik İncelemeler.....	17
5.1.1 Alt Borat Zonu.....	17
5.1.2 Üst Boratlı Zonu.....	20
5.1.2.1 Simav Ocağı.....	20
5.1.2.2 Acep Ocağı.....	24
5.2 Konfakol Raman Spektroskopisi İncelemeleri.....	27
5.3 X-Işın Difraktometresi (XRD) İncelemeleri.....	31
5.3.1 Bigadiç Bor Minerallerinin Kil içerikleri ve bunların ortamsal anlamları.....	31
6. SIVI KAPANIM İNCELEMELERİ.....	46
6.1 Tülü Ocağı.....	47
6.2 Simav Ocağı.....	49
6.3 Acep Ocağı.....	50
6.4 Sıvı Kapanım Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	51
7. ELEKTRON PARAMANYETİK REZONANS (EPR) İNCELEMELERİ.....	54
8. BİGADIÇ BORAT YATAĞININ JEOKİMYASI.....	61
8.1 Bigadiç Borat Yatağının Ana Element Bollukları.....	62
8.2 Bigadiç Borat Yatağının Eser Element Bollukları.....	68
8.3 Ana ve Eser Element Korelasyonları.....	75
8.4 Elementlerin Derinliğe Bağlı Değişimleri.....	86
8.5 Bigadiç Boratların B ₂ O ₃ İçeriği ve Bunun Derinliğe Bağlı Dağılımı.....	92
9. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	95
KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	105

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Al	Alüminyum
As	Arsen
Au	Altın
B	Bor
Ba	Baryum
Be	Berilyum
Ca	Kalsiyum
Ce	Seryum
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Cs	Sezyum
Cu	Bakır
Dy	Disprosiyum
Er	Erbiyum
Eu	Yuropiyum
Fe	Demir
Gd	Gadolinyum
K	Potasyum
La	Lantan
Li	Lityum
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Na	Sodyum
Nb	Niyobiyum
Nd	Neodmiyum
Ni	Nikel
P	Fosfor
Pb	Kurşun
Pr	Praseodmiyum
Rb	Rubidyum
Re	Renyum
S	Kükürt
Sb	Antimuan
Sc	Skandiyum
Se	Selenyum
Si	Silisyum
Sm	Samaryum
Sr	Stronsiyum
Te	Tellür
Tl	Talyum
U	Uranyum
V	Vanadyum
Y	Yitriyum
Yb	İtterbiyum
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum
SANAEM	Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
ANTE	Ağır Nadir Toprak Elementleri

EPR	Elektron Paramanyetik Rezonans
ESR	Elektron Spin Rezonans
HNTE	Hafif Nadir Toprak Elementleri
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
ICP-ES	Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NTE	Nadir Toprak Elementleri
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TPAO	Türk Petrolleri Anonim Ortaklığı
XRD	X-Ray Difraktometre
XRF	X-Ray Floresans

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 İnceleme alanı yer bulduru haritası.....	2
Şekil 4.1 Bigadiç borat yatağı jeolojik haritası.....	13
Şekil 4.2 Çalışma bölgesi genelleştirilmiş kolon kesiti	15
Şekil 5.1 Beyaz ışınsal kolemanit arazi görüntüsü.....	18
Şekil 5.2 Beyaz ışınsal kolemanit el örneği.....	18
Şekil 5.3 Nodüler kolemanit arazi görüntüsü.....	18
Şekil 5.4 Nodüler kolemanit el örneği.....	18
Şekil 5.5 Kristal kolemanit arazi görüntüsü.....	19
Şekil 5.6 Kristal kolemanit el örneği.....	19
Şekil 5.7 Tek nikol altında ışınsal kolemanit.....	19
Şekil 5.8 Çift nikol altında ışınsal kolemanit.....	19
Şekil 5.9 Nodüler kolemanit tek nikol altında.....	20
Şekil 5.10 Çift nikol altında nodüler kolemanit.....	20
Şekil 5.11 Tek nikol altında kristal kolemanit.....	20
Şekil 5.12. Çift nikol kristal kolemanitin görüntüsü.....	20
Şekil 5.13 Işınsal üleksit minerali.....	21
Şekil 5.14 Işınsal üleksit minerali el örneği.....	21
Şekil 5.15 Kristal kolemanit minerali.....	21
Şekil 5.16 Kristal kolemanit minerali el örneği.....	21
Şekil 5.17 Beyaz renkli kristal kolemanit.....	22
Şekil 5.18 Beyaz kristal kolemanit el örneği.....	22
Şekil 5.19 Sarımsı beyaz renkli üleksit.....	22
Şekil 5.20 Sarımsı beyaz üleksitin el örneği.....	22
Şekil 5.21 Işınsal üleksitin tek nikol görüntüsü.....	23
Şekil 5.22 Işınsal üleksitin çift nikol görüntüsü.....	23
Şekil 5.23 Kristal kolemanit tek nikol.....	23

Şekil 5.24 Kristal kolemanit çift nikol.....	23
Şekil 5.25 Beyaz kristal kolemanit tek nikol.....	24
Şekil 5.26 Beyaz kristal kolemanit çift nikol.....	24
Şekil 5.27 Beyaz kristal kolemanit tek nikol.....	24
Şekil 5.28 Beyaz kristal kolemanit çift nikol.....	24
Şekil 5.29 Üleksit seviyesinin görüntüsü.....	25
Şekil 5.30 Araziden alınan el örneğinin görüntüsü.....	25
Şekil 5.31 Araziden alınan örneğin tek nikol görüntüsü.....	25
Şekil 5.32 Araziden alınan örneğin çift nikol görüntüsü.....	25
Şekil 5.33 Sondaj örneği tek nikol görüntüsü	26
Şekil 5.34 Sondaj örneği çift nikol görüntüsü.....	26
Şekil 5.35 SS2-3 örneğine ait kolemanit pikini gösteren Raman spektrumu.....	27
Şekil 5.36 SS2-3 cevher örneğindeki kolemanit pikini gösteren Raman spektrumu..	28
Şekil 5.37 AY2 örneğine ait üleksit pikini gösteren Raman spektrumu.....	28
Şekil 5.38 TY1 örneğine ait kalsit pikini gösteren Raman spektrumu.....	29
Şekil 5.39 AS2-6 örneğine ait üleksit pikini gösteren Raman spektrumu.....	29
Şekil 5.40 AY1 örneğine ait üleksit pikini gösteren Raman spektrumu.....	30
Şekil 5.41 Tülü ocağı örneğine ait XRD diyagramı.....	34
Şekil 5.42 Tülü ocağı örneğine ait XRD diyagramı.....	35
Şekil 5.43 Simav ocağı örneğine ait XRD diyagramı.....	36
Şekil 5.44 Simav ocağı örneğine ait XRD diyagramı.....	37
Şekil 5.45 Acep ocağı örneğine ait XRD diyagramı.....	38
Şekil 5.46 Acep ocağı örneğine ait XRD diyagramı.....	39
Şekil 5.47 Tülü Ocağına ait etilen glikollü kil örneği XRD diyagramı.....	40
Şekil 5.48 Tülü Ocağına ait fırınlanmış kil örneği XRD diyagramı.....	41
Şekil 5.49 Acep Ocağına ait etilen glikollü kil örneği XRD diyagramı.....	42
Şekil 5.50 Acep Ocağına ait fırınlanmış kil örneği XRD diyagramı.....	43
Şekil 5.51 Simav Ocağına ait etilen glikollü kil örneği XRD diyagramı.....	44

Şekil 5.52 Simav Ocağına ait fırınlanmış kil örneği XRD diyagramı.....	45
Şekil 6.1. Bigadiç boratları sıvı kapanımlarının homojenleşme sıcaklıkları.....	47
Şekil 7.1 SS1-7 kolemanit örneğine ait EPR spektru.....	56
Şekil 7.2 AS1-1 üleksit örneğine ait EPR spektrumu.....	57
Şekil 7.3 AS1-2 üleksit örneğine ait EPR spektrumu.....	58
Şekil 7.4 AS2-7 üleksit örneğine ait EPR spektrumu.....	59
Şekil 8.1 Tülü ocağı elementlerine ait dendoğram.....	78
Şekil 8.2 Simav ocağı elementlerine ait dendoğram.....	82
Şekil 8.3 Acep ocağı elementlerine ait dendoğram.....	85
Şekil 8.4 Tülü ocağı elementleri derinliğe bağlı değişimleri.....	88
Şekil 8.5 Simav ocağı elementleri derinliğe bağlı değişimleri.....	89
Şekil 8.6 Acep ocağı elementleri derinliğe bağlı değişimleri.....	91
Şekil 8.7 Tülü borat örnekleri derinliğe bağlı değişimi.....	92
Şekil 8.8 Acep borat örnekleri derinliğe bağlı değişimi.....	93
Şekil 8.9 Simav borat örnekleri derinliğe bağlı değişimi.....	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6.1 Bigadiç boratları Th (°C) (homojenleşme sıcaklığı) değerleri.....	48
Çizelge 6.2 Bigadiç boratları Tm (°C) (Ergime sıcaklıkları) ve %NaCl değerleri..	49
Çizelge 7.1 Örneklerin ESR parametreleri.....	59
Çizelge 8.1 Tülü ocağı örneklerine ait ana element jeokimyası sonuçları.....	63
Çizelge 8.2 Simav ocağı örneklerine ait ana element jeokimyası sonuçları.....	64
Çizelge 8.3 Acep ocağı örneklerine ait ana element jeokimyası sonuçları.....	65
Çizelge 8.4 Tülü ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları.....	69
Çizelge 8.4 Tülü ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları(devam).	70
Çizelge 8.5 Simav ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları.....	71
Çizelge 8.6 Acep ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları.....	72
Çizelge 8.6 Acep ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları(devam)	73
Çizelge 8.7 Tülü ocağı örneklerine ait korelasyon katsayıları.....	77
Çizelge 8.8 Simav ocağı örneklerine ait korelasyon katsayıları.....	81
Çizelge 8.9 Acep ocağı örneklerine ait korelasyon katsayıları.....	83
Çizelge 8.10 Bigadiç borat örnekleri B ₂ O ₃ içerikleri.....	94

1. GİRİŞ

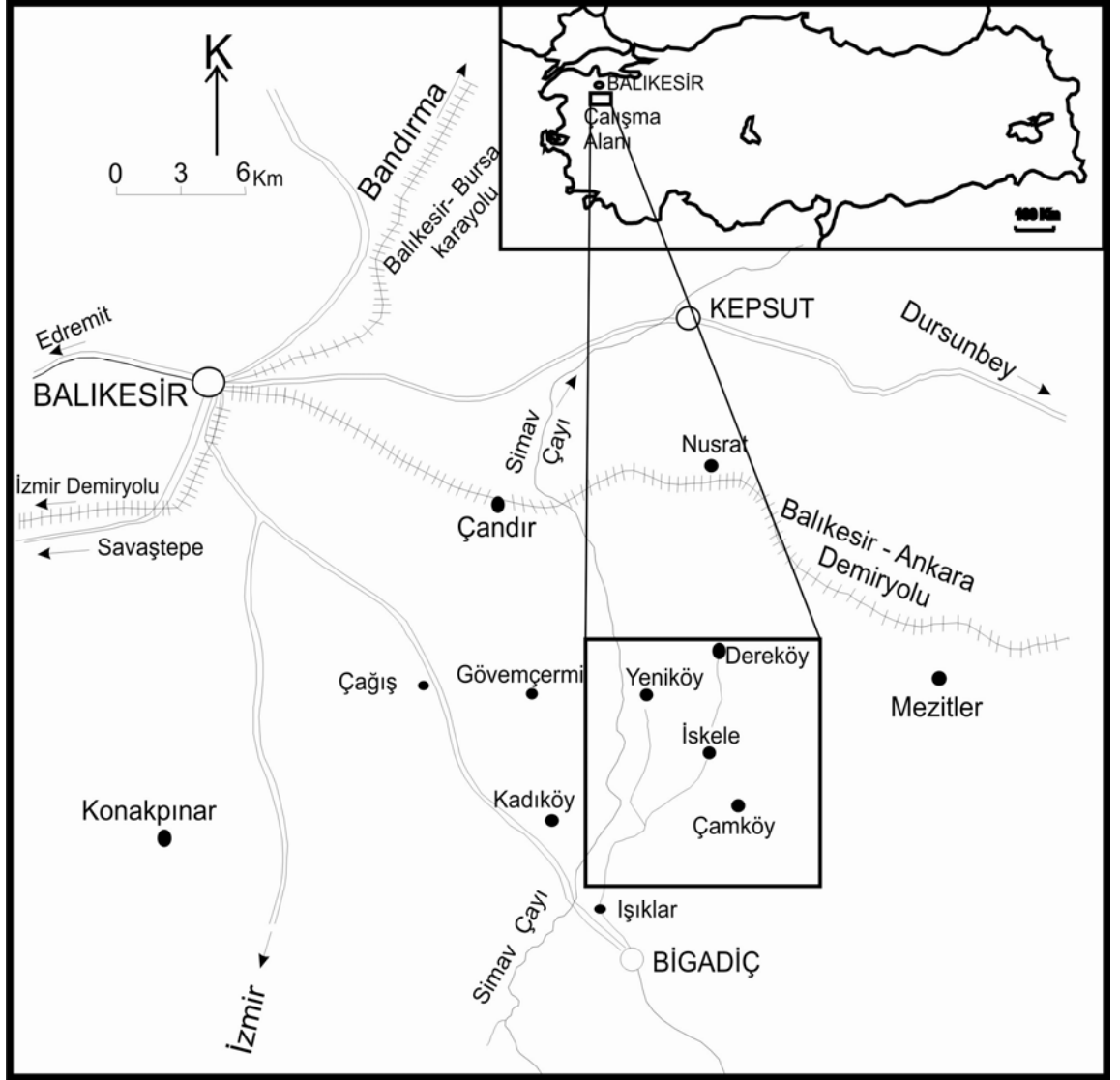
1.1 Amaç ve Kapsam

Bu tez çerçevesinde, Bigadiç (Balıkesir) borat cevherleşmesinin mineralojisi, oluşum sürecindeki fizikokimyasal etkiler, ana ve eser element jeokimyası ortaya konulacaktır. Ayrıca bölgedeki bor minerallerin manyetik rezonans araştırması yapılarak, madenin teknolojik kullanımına yönelik olarak manyetik özelliğinin olup olmadığı belirlenecektir.

İnceleme alanı Balıkesir'in güney doğusunda, Balıkesir-İzmir karayolu üzerinde ve Balıkesir'e 37 km uzaklıkta olan Bigadiç ilçesinin K-KD'sunda yer almaktadır (Şekil 1.1). Türkiye'nin bilinen bor yatakları, Tersiyer'de başlayan ve Kuvaterner başlangıcına kadar devam eden volkanik aktivitelerin yer aldığı dönemlerde Miyosen gösel (lakustrin) ortamlarda depolanmıştır. Cevherleşmelerin tümü volkanik aktivite ile ilgili olarak sınıflandırılmıştır (Özpeker 1969, Helvacı 1995, 2001). Bölgedeki boratlı volkanosedimanter basenin oluşumu farklı doğrultuda uzanan kırık sistemleri ile kontrol edilmiştir.

Bigadiç volkano-sedimanter havzasında Miyosen yaşlı birimler Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı kayalar üzerine uyumsuzlukla otururlar. Miyosen yaşlı birimlerin alttan üste doğru dizilimi ise şöyledir; taban volkanik birimi, taban kireçtaşı birimi, alt tuf birimi, alt boratlı birim, üst tuf birimi, üst boratlı birim ve bazalt. Miyosen yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak genç tortullar ve genç tortulların üzerine yine uyumsuz olarak alüvyon gelir. Bölgede, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kayalardan oluşan temelde, Miyosen öncesinde meydana gelen blok faylanmalar ve dislokasyon sonucu farklı yükselme ve alçalmalar meydana gelmiştir. Bunun sonucu irili ufaklı birçok dağ arası playa göl tipi çökelim havzaları oluşmuştur. Buralarda Miyosen tortulları çökelmiştir (Helvacı ve Alaca 1991).

Bu tez kapsamında Bigadiç borat yatakları daha önce ele alınmayan özellikleri açısından araştırılacaktır. Bu çerçevede borat çökelimlerine faylar boyunca yükselerek ortama katılması muhtemel hidrotermal eriyiklerin tesirlerinin belirlenmesi, derinliğe bağlı mineralojik değişimler, ana ve eser element jeokimyası çalışması yapılacaktır. Ayrıca borat minerallerinin yüksek teknolojideki kullanımda gerekli olacak manyetik özellikleri incelenecektir. Bu şekilde proje çalışmasının sonucunda bir taraftan yeni jeolojik, mineralojik bilgilere ulaşılabilecek, diğer taraftan da boratın teknolojideki kullanımına yönelik veriler elde edilecektir.



Şekil 1.1 İnceleme alanı yer bulduru haritası

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnceleme alanı ve çevresinde bugüne kadar bölgede yaygın olarak bulunan volkanitlerle ilgili (Borsi *et al.* 1972, Yılmaz 1977) ve genel jeolojik bazı çalışmalar (Kalafatoğlu 1964) yapılmıştır. Ayrıca borat yatakları ve yantaşlarını arazi gözlemleriyle açıklayan bazı MTA raporları (Bekişoğlu 1961, Kutlu 1963) bulunmaktadır.

Doğrudan Bigadiç borat cevherleşmeleri ve bunlarla ilgili mineralojik incelemelerin en eskileri Meixner (1952, 1953, 1956) ve Helke (1955)'ye aittir. Meixner(1956) özellikle İskeleköy (Bigadiç) cevherleşmelerinin mineralojik incelemelerini yaparak yatakta kolemanit, üleksit, meyerhofferit, inyoit, hidroborasit, terçit ve pandermitten oluşan bir parajenez belirlemiştir. Helke (1955) ise borat tabakalanmasının Üst Tersiyer yaşlı marn ve kireçtaşlarıyla ardalanmalı olarak yer aldıklarını bildirmiştir.

Bölgedeki daha yeni ve önemli bilimsel araştırmaların ilki Özpeker'e (1969) ait olup, Bigadiç yöresini de kapsayan bu çalışmada Batı Anadolu borat cevherleşmelerinin Neojen yaşlı göl tortulları içerisinde volkanik faaliyetin son evrelerinde olduğu ve ana cevher minerali olan kolemanitin üleksit ve inyoitten türediği ortaya konulmuştur.

İnan (1975) sulu bor minerallerinin oluşum modelini incelemiş, yapılan deneyler ve saha gözlemlerine dayanarak Türkiye borat yataklarının $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ sisteminde Ca, Na-Ca ile Na boratları birlikte veren tam çökeltme gösteren (Kırka) ve Na boratları içermeyen yataklar olarak ikiye ayırmıştır. Çökeltim koşullarında etkin olabilecek unsurları bor veren sıvının bileşimi, pH ve sıcaklığı olarak belirtmiş ve irdelemiştir. Çökeltim havzasının derin kesimlerinde Na boratların hâkim olduğunu, kenar ve sığ alanlarında Na-Ca ve Ca boratların hâkim olduğunu belirtmiştir.

Özpeker ve İnan (1978) Türkiye borat yataklarının üçüncü zamanın sonlarına doğru Batı Anadolu'da gelişen göl ortamlarında kimyasal çökeltimler şeklinde meydana geldiğini, ortaya konan mineral birliklerinin yatakların gömülme sürecinde yüksek

sıcaklık ve basınç etkisinde kalmadıklarını açıklamış, ancak gömülmeden sonra ilk oluşan minerallerin yerlerini daha duraylı minerallere bıraktıklarını belirtmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca yatakların gelişim sürecinde B_2O_3 , Na_2O ve CaO 'in ana bileşenler olduğu, tali olarak SrO , MgO , ve Al_2O_3 'in bileşime katıldıkları ileri sürülmüştür.

Bigadiç bor madenlerini inceleyen Yılmaz vd. (1982) istifi yaşlıdan gence doğru; taban volkanitleri, alt kireçtaşları, alt tuf, alt borat zonu, üst tuf, üst borat zonu ve olivin bazalt şeklinde tanımlanmışlardır. Buradaki alt ve üst borat seviyelerinin kuru iklim şartlarında lokal volkanik aktivitelerle birlikte, hidrotermal kaynaklarla beslenen göl ortamı çökelimleri olduğu bu incelemede vurgulanmıştır.

Batı Anadolu'daki borat yataklarının evaporit yataklarına benzer şartlarda oluşmalarına rağmen trona ve halit gibi tipik evaporitik mineralleri izlediklerini açıklayan Helvacı (1983) Kırka yöresi dışında kalan tüm yataklarda egemen mineralin kolemanit olduğunu, kolemanitin çökmesinden sonra Na-Ca boratların çökeldiğini ileri sürmüştür. Buna ilaveten parajenezde genellikle kalsit, dolomit, anhidrit, jips, sölestin, realgar, orpiment, illit ve montmorillonit minerallerinin yaygın olarak bulunduğunu açıklamıştır.

Helvacı ve Alaca (1984) Bigadiç borat yataklarının jeoloji ve mineralojisini açıklamışlardır. Yatakların tuf, tüfit, kil, marn ve kireçtaşlarıyla arakatlı olduklarını belirtmişlerdir. Bor mineralizasyonunun alt boratlı zonda kolemanit, üleksit, havlit, probertit ve hidroborsit; üst boratlı zonda ise inyoit, meyerhofferit, pandemit, terçit (?), hidroborsit, havlit ve tünellit bulunduğunu ayrıca kalsit, anhidrit, jips, höylandit, montmorillonit ve kloritin birlikte bulunduğunu belirtmişlerdir.

Helvacı ve Dora (1985) Bigadiç borat yataklarında kolemanit ve üleksitin baskın mineral olduğunu, özellikle alt boratlı zonda kimi üleksit seviyelerinde 1 m'ye ulaşan probertit bantlarına rastlandığı ve bunların üleksitle aynı kimyasal şartlarda, buharlaşmanın daha yüksek olduğu bir dönemi simgelediğini açıklamışlardır. Sr'ca

zengin kimi seviyelerde ise çözünüp yeniden kristallenmelerle öz şekilli tünellit kristallerinin oluştuğunu belirtmişlerdir. Ayrıca hidroborasitin kolemanitten türediğini, gerekli Mg'un tuf ve killerden sağlandığını ve diyajenez sonucunda küçük havlit nodüllerinin henüz tam katılaşmamış kolemanit yumruları içinde gömülmüş olduklarını ileri sürmüşlerdir.

Baysal vd. (1985)'ne göre Bigadiç borat havzası ve yakın çevresindeki litolojiler alttan üste doğru Miyosen öncesi üç adet temel birimleri, Alt Miyosen yaşında iki, Orta Miyosen yaşında bir adet taban birimi ile Üst Miyosen yaşında borat içeren seviyelerin bulunduğu dört adet volkanosedimanter birim şeklinde sıralanmıştır. Yazarlar en üstte görülen Pliyokuvaterner ve Kuvaterner oluşukların da en genç örtü kayalar olarak gelmesiyle dizilenimin tamamlandığını belirtmişler ayrıca işletilen ocaklardaki mineral türlerini tayin etmişler ve bölgenin jeolojik haritalarını yapmışlardır.

Akyol vd. (1990) Bigadiç, Kestelek, Emet ve Kırka borat yataklarını da içeren Neojen yaşlı sedimanter birimleri palinolojik yönden incelemişlerdir. Bu çalışmada birbirinden farklı iki polen topluluğu olduğu belirlenerek, yaş, paleoklim ve paleocoğrafya konusunda yorumlamalar yapılmıştır.

Helvacı ve Alaca (1991) Bigadiç volkano-sedimanter havzasının temelindeki Paleozoyik-Mesozoyik birimleri üzerine Miyosenin uyumsuzlukla oturduğunu belirtmişlerdir. Miyosen yaşlı birimlerin alttan üste doğru taban volkaniti birimi, taban kireçtaşı, alt tuf birimi, alt boratlı zon, üst tuf, üst boratlı zon ve bazalttan oluştuğu ve bütün bunların üzerine uyumsuzlukla genç alüvyonların geldiği açıklanmıştır. Borat yatakları, birbirlerinden üst tuf birimi ile ayrılan alt ve üst boratlı birim içinde iki ayrı zon halinde görüldükleri, her iki zonunda da kolemanit ve üleksit baskın mineraller olduğu ve bunların yanında bulunan diğer bor minerallerinin ise pandemit, probertit, havlit, tunelit, meyerhofferit, hidroborasit ve inyoittir olduğunu belirtmişlerdir.

Kistler and Helvacı (1994), bu çalışmada borat minerallerinin oluşum koşulları, kimyası ve oluşma şekillerini incelemişlerdir. Dünyadaki tüm yataklar ile özellikle Türkiye ve

Amerika'daki yataklar hakkında bilgilerin bulunduğu araştırmada ticari mineraller ve bunlardan elde edilen ürünlerden de söz edilmiştir.

Helvacı (1995), Bigadiç borat havzasının stratigrafisini, mineralojisini ve oluşumunu depolanma modellemesi yaparak ortaya koymuştur. Yazar daha önceki yayınlarında olduğu gibi stratigrafiyi vermiş, yatakta gözlenen mineralleri alt zonda kolemanit, üleksit, havlit, probertit ve hidroborasit; üst boratlı zonda ise inyoit, meyerhofferit, pandemit, terçit (?), hidroborasit, havlit ve tünellit şeklinde vermiştir. Havzayı irdeleyerek oluşum koşullarını açıklamış ve şematik şekillerle ortaya koymuştur.

Floyd *et al.* (1997) çalışmalarında Kırka borat yataklarıyla bölgedeki ignimbiritler arasında bir ilişki kurmuşlardır. Buradaki borat yataklanmasında hidrotermal çözeltilerin katkısına ilaveten “verimli ignimbirit” olarak tanımlanan volkanitlerin yıkanmasıyla ortama B sağladığı açıklanmıştır. Ayrıca Orta Anadolu'nun B'suz olduğu için “verimsiz ignimbirit” olarak tanımlanan volkanitleri ve dünya'daki benzer borat yataklarıyla karşılaştırmalar da yapılmıştır.

Helvacı and Orti (1998), Miyosen kolemanit-üleksit havzalarının sedimantolojik ve diyajenetik incelemesini yapmışlar, borat havzalarında kenarlarında Ca boratların merkezde ise Na boratların oluştuğunu ve nodüler kolemanit ile nodüler üleksitin birincil olduğunu belirtmişlerdir. Makroskobik olarak ikincil kolemanitlerin üleksitin yerini almasının lokal olduğunu ve bunun erken ve geç diyajenez için kesin kanıt olamayacağını ifade etmişlerdir.

Helvacı and Alonso (2000) Türkiye ve Arjantin' de bulunan borat yataklarını karşılaştırmış, Miyosen boyunca her iki ülkede volkanizma, gerilmeli havzalar ve kimyasal çökeline uygun eksojenik benzer olayların hüküm sürdüğü açıklanmıştır. Bu genel benzerliğe karşılık; iki ülkenin borat yataklarının stratigrafik, mineralojik ve ekonomik yönden farklılıklar gösterdiği ayrıntılı bir şekilde yine bu çalışmada belirtilmektedir.

Helvacı (2001), bu araştırmada Batı Anadolu borat yataklarının jeolojik konumu, ekonomik önemleri ve bor politikaları ile ilgili bilgiler vermektedir. Bor yataklarının Tersiyer başında tüm Batı Anadolu'yu etkileyen büyüme fayları ve grabenleşme ile volkanik ve sismik yönden aktif sahalarda gelişmiş dağ arası kapalı havzalardaki ayırık veya birbiriyle bağlantılı olabilen playa göllerinde oluştuğu belirtilmektedir. Bor minerallerinin çökeliminde önce Ca-boratlar sonra sırasıyla Ca-Na ve Na-boratların geldiği açıklanan bu çalışmada, hakim minerallerin boraks, üleksit ve kolemanit olduğu da vurgulanmaktadır.

Erkül vd. (2002a) Bigadiç, Soma, Sındırgı çevresinde yüzlek veren bor çökelleriyle ilişkili volkanik kayaların stratigrafisi incelenmiştir. Çalışma alanında birbirinden uyumsuzlukla ayrılan üç farklı volkanik istif belirlenmiştir. Bunlar yaşlıdan gence doğru; andezitik-bazaltik seri, dasitik volkanosedimanter seri ve riyolitik seriden oluşur. Dasit bileşimli volkanitler KD doğrultulu kırık hatları boyunca sırtlar oluşturacak şekilde yerleşmiştir. Bu zonlar borlu hidrotermal akışkanların havzaya getirilmesinde etkin olmuştur. Volkanik sırtların varlığı çok sayıda ve KD doğrultulu bor çanaklarının gelişmesini sağlamıştır.

Erkül vd. (2002b) Bigadiç'te Miyosen yaşlı bor içeren volkanosedimanter evaporitik gölssel tortulların temelini oluşturan andezitik-bazaltik bileşimli volkanitleri sınıflandırmış, bor mineralleri içeren gölssel volkanosedimanter istifin litolojik ve stratigrafik olarak birbirinden ayrılan iki piroklastik seviye ile ardalandığı, ayrıca gölssel tortullar içerisinde ara düzeyler şeklinde volkanojenik epiklastik tortulların yer aldığını ileri sürmüşlerdir.

Helvacı (2003) bu çalışmada Türkiye borat yataklarının jeolojik konumundan, ekonomik öneminden ve bor politikasından söz etmiştir. Ayrıca Miyosen gölssel ortamında depolanan bor minerallerinin çakıltası, kumtaşı, kıltaşı, şeyl, marn, kireçtaşı ve tüf ardalı istifte; çamurtaşı, kıltaşı, şeyl ve tüfler içinde oluştuğunu belirtmiştir.

Helvacı *et al.* (2004), bu çalışmada Batı Anadolu Neojen havzalarında lityum ve dağılımını araştırmak amacıyla Beypazarı trona yatağı, Soma linyit yatağı ve Türkiye borat havzalarından alınan kil örnekleri ile Acıgöl, Salda, Yarışçı, Burdur, Eğirdir, Tersakan, Bolluk, Karapınar (Acıgöl) ve Tuzgözü'nden alınan su örneklerini incelemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, borat yataklarından alınan killerdeki lityum değerlerinin %0.58-0.17 arasında, göl suyundaki lityum değerlerinin ise 0.30 - 325 mg/l arasında değiştiğini saptamışlardır.

Helvacı (2004) 2003'de yapılan yayınla aynı başlıklı olan bu çalışmada bor yataklarının çökeltim koşulları ile karasal, denizel ve magmatik kaynakları açıklanmıştır. Bor minerallerinin dağılımını, mineralojisini açıklayan yazar ayrıca Türkiye borat yataklarının jeolojik konumu ve dağılımını belirtmiştir.

Erkül *et al.* (2005a) Bigadiç bor havzasındaki volkanizmanın 23 My önce başlayıp 17,8 My'a kadar süren iki evreli bir faaliyet olduğunu ifade etmişlerdir. Bu evrelerin ürünleri Kocaışkan volkanitleri ve Bigadiç volkano-sedimanter serisi olarak belirtilmiştir. Bigadiç volkanitlerinin İzmir-Balıkesir transfer kuşağının bir parçası KD doğrultulu kırıklar boyunca oluştuğunu ve bu kuşağın Geç Kretase'den günümüze kadar aktif olduğunu belirtmişlerdir.

Erkül *et al.* (2005b) Batı Anadolu'nun Miyosenden beri K-G açılma rejiminin etkisinde olduğunu, Kocaışkan volkanitlerinin 23 My yaşında, Bigadiç volkano-sedimanter serisinin ise 20,6-17,8 My arasında yaşa sahip olduğunu K/Ar ile belirlemişlerdir. Kocaışkan volkanitlerinin, karasal sokulumlar, domlar, lav akıntıları ve piroklastiklerden oluştuğunu, ikinci evre volkanizmanın da gölsel- evaporitik çökeltim eşlik eden bazalttan riyolite kadar değişen bileşimdeki lav akıntıları ve piroklastik çökellerden oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Gemici *et al.* (2008) Bigadiç yatağı bölgesi yer altı sularını incelemişlerdir. Yer altı suyu kirlenmelerinde yatağın etkili olduğu ve su kalitesini doğrudan etkilediğini belirtmişler, Tülü'de suyun Ca-SO₄ ve HCO₃, Simav ve Acep ise Na-HCO₃-SO₄ tipte olduğunu açıklamışlardır. Bu çalışmada ayrıca yüksek SO₄'un kaynağının anhidrit, jips

ve sölestin olabileceği ifade edilmiştir. B ve As iki önemli kirlilik nedeni olarak belirtilmiş; As kireçtaşı ve tufün yıkanmasıyla, B ise akiferin borat zonuna kadar uzamasıyla ilişkilendirilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bigadiç yatağının oluştuğu basenin stratigrafisini ortaya koyan çalışmalarda (Çakır ve Dünder, 1982; Helvacı ve Alaca,1984) bildirdiği gibi biri alt diğeri üst olmak üzere iki farklı borat zonu bulunmaktadır. Araştırmanın materyalini Bigadiç borat yatağının alt ve üst borat zonunu temsil eden örnekler oluşturmaktadır. Örnekler Etibank Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nün yapmış olduğu sondajlardan temin edilmiştir. Buna göre üst borat zonunu temsil eden Simav Ocağından 8, Acep Ocağından 12 adet ve alt borat zonunu temsil eden Tülü Ocağından 22 adet olmak üzere toplam 42 örnek üzerinde mineralojik ve jeokimyasal incelemeler yapılmıştır.

Örneklerden çok sayıda ince kesit yapılarak polarizan mikroskopunda incelenmiştir. Mineralojik incelemelerde mikroskop yanında X- ışını difraktometresi (XRD) ve Konfakol Raman yönteminden de yararlanılmıştır. XRD incelemeleri TPAO Laboratuvarlarında Rigaku D marka Max 2200 Ultima/Pc cihazında yapılmıştır. Raman yöntemi ise A.Ü Müh. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Petrografi Araştırma ve Uygulama Labratuarı'nda Olympus BX41 model Konfakal Raman Spektrometre cihazında gerçekleştirilmiştir.

Bigadiç bor minerallerinin içerdiği killerin belirlenmesi amacıyla X-ışını difraktometresi (XRD) yönteminden yararlanılmıştır. Bunun için örnekler TPAO laboratuvarlarında önce 0,062 mm'lik elekten geçirilmiştir. Öğütülmüş kısımdan tüm kaya toz paketleri hazırlanmıştır. Mekanik ve kimyasal yöntemlerle elde edilen killerden de oluklu camlar üzerine sıvamayla yönlendirilmiş kil paketleri hazırlanmıştır. Tüm kaya ve kil paketleri ve normal, etilen glikollü ve fırınlama koşullarında ayrı ayrı analiz edilmiş ve elde edilen X-ışını difraktogramları birlikte değerlendirilmiştir. Difraktogramlar Rigaku D/Max-2200 Ultima+/PC marka cihaz kullanılarak ve Cu-tüpü, 40 Kv, 20mA, 1,54059A⁰ (CuK_{α1}) dalga boyu ve 2^o/dk tarama hızı aletsel koşullarda elde edilmiştir. Sonuçlar difraktometreye bağlı PC'de Jade-7.0 programında değerlendirilmiştir.

Sıvı kapamın çalışmaları MTA Labratuvarlarında yapılmıştır. Ölçümler Olympus BX60 model polarizan mikroskop üzerine monte edilmiş FLUID Inc. Firmasına ait ısıtma-soğutma ünitesi ve Sony video görüntüleme ünitesinden oluşan düzenekte yapılmıştır.

Jeokimyasal incelemeler için hazırlanan örneklerin analizleri ACME (Kanada) ve Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Teknoloji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Labaratuvarı'nda yapılmıştır. ACME Laboratuvarı'nda, Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) yöntemiyle yapılan analizler, katologlarında 1F olarak tanımlanan 53 elementi kapsamaktadır. Ayrıca Inductively Coupled Plasma- Emission Spectrometry (ICP-ES) yöntemiyle yapılan analizler de, kataloglarında 4A+4B olarak tanımlanan major oksitler, eser elementler ve nadir toprak elementlerini kapsamaktadır. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Teknoloji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Laboratuvarı'nda ise B₂O₃ analizi yaptırılmıştır. Bu analiz için numune toz haline getirildikten sonra 0,5 gram numune ısıtılarak çözülür. 0,5 N NaOH ile fenolftaleyn indikatörü ile titre edilir. %B₂O₃ miktarı aşağıdaki formülle bulunur.

$$\%B_2O_3 = \frac{0.017405 \times F_{NaOH} \times V_{NaOH}}{T} \times 100$$

F_{NaOH} = NaOH'ın faktörü

V_{NaOH} = 0,5 N NaOH sarfiyatı

T = Numune miktarı

0,017405 = 1 mol NaOH'e karşılık gelen B₂O₃ miktarı.

Bor minerallerinin Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) yöntemiyle enerji seviyeleri, faz geçişleri, izotropik-anizotropik etkileşme faktörleri ve spin yoğunlukları belirlenmiştir. Bu incelemeler TAEK'e bağlı SANAEM'de yapılmıştır. Deneyi yapılmak üzere alınan toz halindeki toplam 20 adet bor cevheri örneğinin deneyleri, 300 °K sıcaklığında 72 saat süreyle 2.41 kGyh-1 doz şiddetindeki ⁶⁰Co-g radyasyon kaynağı kullanılarak ışınlanmıştır. Örneklerin spektrumları 6.331 mW mikrodalga gücünde Bruker model EMX081EPR spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Deneyler esnasında manyetik alanın modülasyon frekansı 100 kHz ve modülasyon genliği 10 G alınmıştır.

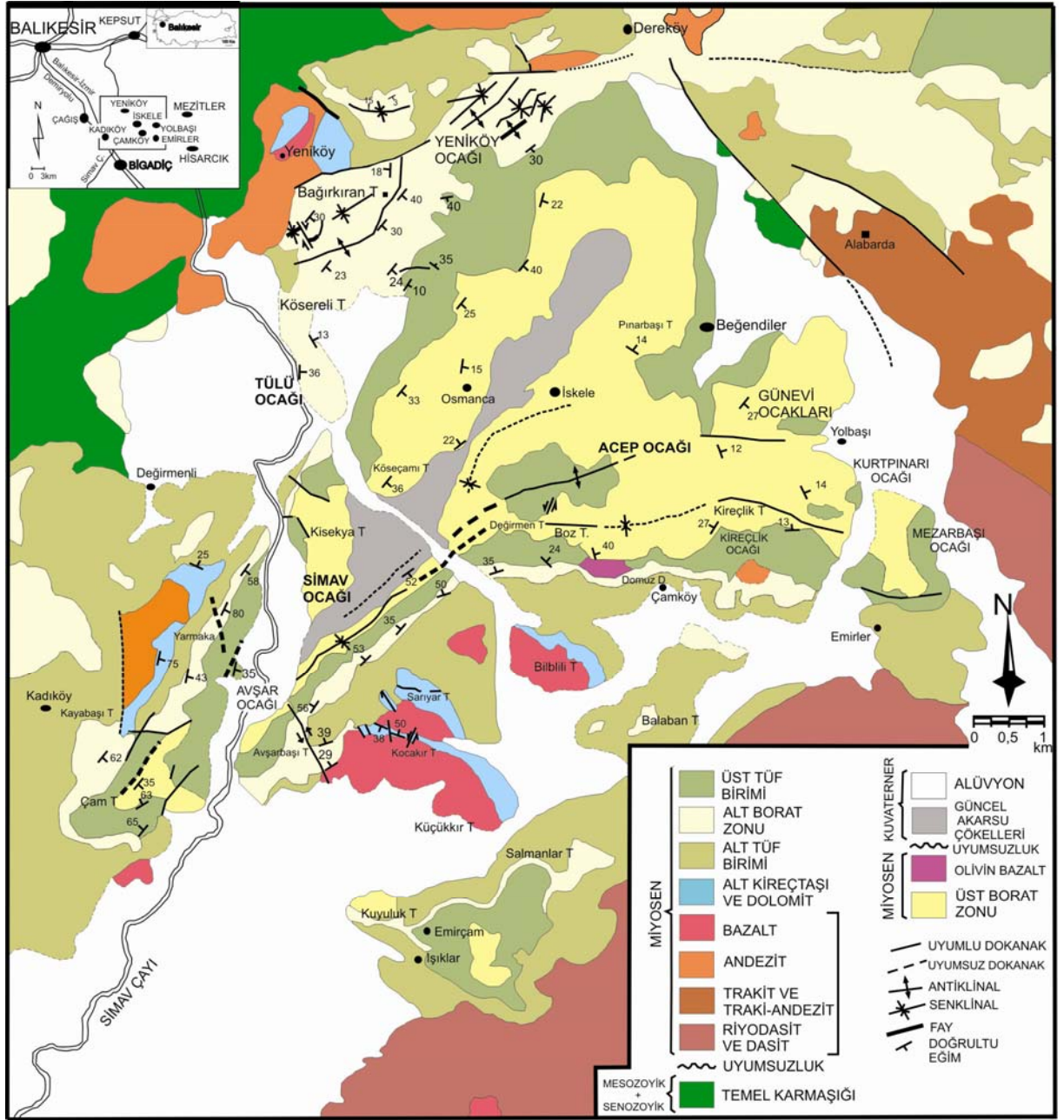
4. JEOLJİK KONUM

Bigadiç borat yatağı ile ilgili yapılan çalışmalarda (MTA raporları, Bekişoğlu 1961, Kutlu 1963, Kalafatoğlu 1964, Özpeker 1969, Yılmaz vd. 1982, Helvacı 1983, Helvacı ve Alaca 1984, Baysal vd. 1985, Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995, Helvacı 2001, Helvacı 2003, Helvacı 2004) stratigrafik istifin temelini Paleozoyik ile Mesozoyik yaşı kayaçlar oluşturmakta, uyumsuzlukla gelen borat içeren Neojen birimleri ve bunları da uyumsuzlukla üzerleyen Kuvaterner birimleri ile istif tamamlanmaktadır. Bu tez kapsamında jeolojik konumu belirlenmesi için Neojen boratlı birimini detaylı olarak inceleyen Baysal vd. (1985), Helvacı ve Alaca (1991), ve Helvacı (1995)'dan yararlanılacaktır. Bigadiç borat yatağının jeolojik kesiti Şekil 4.1'de verilmiştir.

İnceleme alanında Helvacı ve Alaca 1991 ve Helvacı 1995'e göre; Őiřt, mermer (Paleozoyik) ve ofiyolit, kireçtaşı, radiolarit, kumtaşından (Mesozoyik) oluşan temel kayaçları üzerine uyumsuzlukla gelen Neojen yaşı volkanik ve volkano-sedimanter kayaçları yer alır (Şekil 4.2). Neojen yaşı volkanik ve volkano-sedimanter kayaçlar kendi aralarında alttan üste doğru şu kaya birimlerine ayrılmışlardır: taban volkanitli birimi, taban kireçtaşı birimi, alt tuf birimi, alt boratlı birim, üst tuf birimi, üst boratlı birim ve bazalt.

Baysal vd. (1985)'e göre ise istifin en altında temel metamorfiti bulunmaktadır. Temel metamorfiti üzerinde rekristalize kireçtaşları, bunların üzerinde ise serpantinitleşmiş ofiyolitler yer almaktadır. Miyosen öncesi bu birimler üzerine Alt Miyosen yaşı taban volkanitleri gelmektedir. Çalışma alanında geniş yayılım gösteren bu birim bazalt, andezit, aglomera ve tüflerden oluşmaktadır (Baysal vd. 1985). Buna karşılık Helvacı ve Alaca 1991'e göre bu birim yeşilimsi gri, gri, pembe, siyah renklere andezit, bazalt trakiandezit, trakit, dasit, aglomera ve tüflerden oluşmaktadır. Yine Helvacı 1995'e göre bu birim riyoudasit, dasit, trakit, trakiandezit, bazalt, aglomera ve tufden ibarettir. Bu birimi çakıl, blok ve iri blok boyutlarına sahip gri-beyaz renkli çimentolu kayaçların oluşturduğu taban volkanoklastiti takip eder (Baysal vd. 1985). Taban volkanoklastitine Helvacı ve Alaca 1991 ve Helvacı 1995' de ayrıca değinilmemiş olup, bunlar tahminen

taban volkanitleri içine dâhil edilmiştir. Taban volkanoklastiti üzerinde taban kireçtaşı yer alır.



Şekil 4.1 Bigadiç borat yatağı jeolojik haritası (Helvacı 1995)

Taban kireçtaşı karbonat kayalardan ve tüfitlerden meydana gelmektedir. Dolomitik karakterde kayaların ağırlıklı olduğu bu birim üst kesimlerinde gölsel fasiyesteki alt tüf birimine geçmektedir (Baysal vd. 1985).

Alt tuf birimi birbiri ile yanal geçiş gösteren gösel tuf ve karasal tufden oluşmaktadır. Karasal tuf alt kesimlerinde yeşilimsi gri ve sarı, üst kesimlerinde yeşil ve kırmızı renktedir. Gösel tuf altta koyu gri renkte iri taneli olup üstte krem beyaz renkli ince tanelerden oluşmaktadır. Bu birimin yaşı kesin olmamakla birlikte Alt Miyosen olarak düşünölmüştür (Baysal vd. 1985).

Alt boratlı birim sarımsı beyaz renkte, orta iyi sıkışmış ince orta katmanlı ve laminalıdır. Alt seviyelerinde borat içeren birim killi kireçtaşı, marn, kiltatı, çamurtaşı ve tuf arđalanmasından oluşmaktadır (Helvacı ve Alaca 1991 ve Helvacı 1995). Alt boratlı birimin en iyi gözlendiği yer Tülü açık ocağı ve Yeniköy kapalı ocağıdır. Birim tabanda ince tabakalı yer yer laminalı marn-kireçtaşı-tuf arđalanmasıyla başlar. Bu arđalanma üzerine kalınlığı 0.20-76.00 m arasında değişen cevher zonu gelir. Cevher zonu içinde boratlarla birlikte gri renkli tuf, plaketsiz kiltatı-kireçtaşı arđalanması ve ince tabakalı kireçtaşı, kiltatı arabantları bulunur. Cevher zonu üzerinde laminalı kahverengi kiltatı, grimsi beyaz renkli kireçtaşı arđalanması gelir. Birim, üst seviyelere doğru orta katmanlı çört bantlı kireçtaşı, kiltatı, kireçtaşı arđalanmasıyla devam eder (Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995).

Üst tuf birimi tabanda kaba taneli tüflerle başlar ve kaba taneli tüfler sarımsı yeşil renkleri koyu yeşil renkli pomza parçaları içermeleri ve buna bağlı olarak gelişen gözenekli yapıları ile tipiktir. Kaba taneli tüflerde iki veya üç yönde izlenebilen çatlak sistemleri iyi gelişmiş olup, bu yüzeyler demiroksitli suların dolaşımı sonucunda kırmızımsı kahverengiye boyanmış olarak görülürler (Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995). Bu tüflerin önemli oranda pomza, hoylandit, klinoptilolit ve analsim, az miktarda sanidin, kuvars, plajiyoklaz ve biyotit içerdđi görölmüştür. Alt boratlı birimin çökeli mi sırasında sakin bir dönem geçiren volkanizmanın yeniden yoğun bir şekilde faaliyete geçmesi sonucu çökelen üst tuf birimi içinde karbonat veya epiklastik arakatkıların bulunmaması volkanizmanın kesintisiz devam ettiğini gösterir (Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995). Orta kesimlerinde borat katmanları içeren Üst boratlı birim, kireçtaşı, kiltatı, killi kireçtaşı, marn ve tuf arđalanmasından oluşur (Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995).

		JEOLOJİK ZAMAN				KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT						
S E N O Z O Y İ K	KUVATERNER				0-70		Çakıl, kum ve silt	ALÜVYON	
					50-180		Kıltaşı Kumtaşı Konglomera	GENÇ TORTULLAR	
	N E O J E N	ÜST MİYOSEN	GEÇ PANNONIYE	ÜST PANN	ALT PON	0-50		BAZALT	
					20-110	Boratlı Zon, kıltaşı, marn kireçtaşı, tuf		ÜST BORATLI BİRİM	
					90-410	İnce taneli tuf		ÜST TÜF BİRİMİ	
					60-350	Kaba taneli tuf			
					35-130	Boratlı Zon, marn, kıltaşı, killi kireçtaşı, çamurtaşı, tuf		ALT BORATLI BİRİM	
					Cevher Zonu 0.20-76				
	ORTA MİYOSEN	ALT MİYOSEN			100-150		alg:gösel alt tuf alk:karasal alt tuf alkk:kömürlü fasiyes	ALT TÜF BİRİMİ	
					50-90		Kireçtaşı, kıltaşı, tuf, marn, dolomit	TABAN KİREÇTAŞI BİRİMİ	
				250 +		Bazalt, andezit, traki-andezit, trakit, dasit, tuf, aglomera	TABAN VOLKANİTİ BİRİMİ		
MESO						Ofiyolit, kireçtaşı, radyolarit, kumtaşı	TEMEL KAYALAR		
PALEO						Şist, mermer			

Şekil 4.2 Çalışma bölgesi genelleştirilmiş kolon kesiti (Helvacı ve Alaca 1991)

Tabanda ince katmanlı tuf bantlı kıltaşı-kireçtaşı-marn ardalanmasıyla başlayıp üzerine sabunsu plaketli kıltaşı ve cevher zonu gelmektedir. Cevher zonu üzerine sırasıyla kırmızımsı kahverengi laminalı kıltaşı, irice ve orta katmanlı tuf ve kireçtaşı bantlı kıltaşı-kireçtaşı ardalanması, yer yer çört bantlı kalın katmanlı kireçtaşı gelir (Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995). Cevher zonu kalınlığı 0.10-80.00 m arasındadır. Cevher zonunda görülen bor mineralleri kolemanit, üleksit, meyerhofferit, pandemit, probertit, havlit, tunelit, hidroborasit ve inyoittir. Birim içinde üretim yapılan ocaklarda borat katmanlarının kalınlıkları, katman sayıları ve katmanların dizilişi oldukça farklıdır. Borat katmanlarının genel görünüşü mercekler şeklinde gözlenir(Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995).

Üst boratlı birim, üst tuf birimini oluşturan volkanizma sonunda, çökme ortamında yeniden başlayan kırıntılı ve kimyasal çökme ürünüdür. Birim içinde görülen karbonatlı kayaçlarla, kırıntılı kayaçların laminalı ardalanmaları birimin çökme esnasındaki mevsimsel iklim değişikliklerini, fasiyes değişimini ve havzadaki su seviyesinin değişimini gösterir. Birim içindeki tuf bantları ise birimin çökme esnasında kısa aralıklarla da olsa volkanizmanın devam ettiğini gösterir.

Bazalt, siyah ve grimsi siyah renkli ve kendisinden daha yaşlı olan tüm birimleri kesmiştir. Bazalt feldispat mikrolitlerinin gelişigüzel dağılımı ile ofitik yapı göstermekte olup, feldispat kristalleri arasında ojit ve olivin kristalleri görülmüştür (Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995).

Genç tortullar tabanda çakıllarını kireçtaşının oluşturduğu konglomera ile başlayıp sırasıyla kıltaşı, kumtaşı ve çakıltaşı bantlı silttaşı gelir. Birim içindeki silttaşı parlak gri, yer yer sarımsı kırmızı renkli olup ince katmanlıdır. Kıltaşı ise sarımsı kırmızı olup laminalıdır. Çakıltaşının bileşenlerinin bağlayıcı malzemesi killeşmiş tüftür. Birimin kalınlığı 3-180 m arasında değişmektedir. Birim tabanda üst boratlı birim üzerine uyumsuzlukla oturur. Tavanda ise birimin üzerine uyumsuzlukla alüvyon gelir. Birim, Neojen öncesi ve Neojen yaşlı birimlerinden türemiştir. Tüm birimlerin üzerini uyumsuzlukla örten alüvyon, temel kayaların ve Neojen yaşlı birimlerin çakıl, kum ve killere ibarettir (Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995).

5. BORAT CEVHERLEŞMESİNİN MİNERALOGİSİ

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi Bigadiç yataklarında alt ve üst borat zonlarına ait cevherleşmeler benzer litolojiler içerisinde ardışıklı olarak yer almaktadır. Daha öncede belirtildiği gibi (Özpeker 1969, Özpeker ve İnan 1978, Yılmaz vd. 1982, Helvacı 1983, Baysal vd. 1985, Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995, Floyd vd. 1997, Helvacı 2003, Helvacı 2004), çeşitli kalınlıktaki (birkaç cm.-8m) seviyelerde ve daha çok merccekler halindeki oluşumlarda hâkim mineral olarak kolomanit ve üleksit belirlenmiştir. Parajenezde alt boratlı zonda havlit, probertit ve hidroborasit; üst boratlı zonda meyerhofferit, pandemit, probertit, tunelit, hidroborasit ve inyoit minerallerinin çok az da olsa varlığına işaret edilmiş (Özpeker 1969, Özpeker ve İnan 1978, Yılmaz vd. 1982, Helvacı 1983, Baysal vd. 1985, Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı 1995, Floyd *et al.* 1997, Helvacı 2003, Helvacı 2004) olmasına karşılık tez kapsamında incelenen sondajlara ait ve yüzeyden toplanan örneklerde bu minerallere rastlanmamıştır. Sondaj loglarında gösterilen meyerhofferit ve havlit gibi bazı minerallerin tabaka kalınlıklarının çok ince olması ve bu ince seviyelerin daha önceden alınmış olması, ayrıca işletme sürecindeki olası kayıplar, zaten son derece sınırlı miktarda olan bu minerallerin incelemelerde görülmemesine yol açmıştır. Mineralojik incelemelerimiz ince kesitlerle başlamış, daha sonra Raman yöntemi uygulanmış ve ayrıca XRD yönteminden de yararlanılmıştır.

5.1 Makroskobik ve Mikroskobik İncelemeler

5.1.1 Alt Borat Zonu

Bigadiç borat cevherleşmesinde alt boratlı zonu temsil eden ve halen işletilmekte olan Tülü açık işletmesinde yapılan arazi gözleminde 3 seviye belirlenmiştir. Bu seviyelerden en altta bulunan kolemanit cevheri yaklaşık 3,7 m kalınlıktadır. Cevher beyaz renkte olup ışınal bir doku göstermektedir (Şekil 5.1- 5.2).



Şekil 5.1 Beyaz ışımsal kolemanit arazi görüntüsü



Şekil 5.2 Beyaz ışımsal kolemanit el örneği

Orta seviyedeki cevher ise 1,5 m. ile 3 m. arasında değişen kalınlıklara sahip kolemanit mineralidir. Bu seviyede cevher beyaz renkli ve nodüler bir yapıya sahiptir (Şekil 5.3-5.4).



Şekil 5.3 Nodüler kolemanit arazi görüntüsü



Şekil 5.4 Nodüler kolemanit el örneği

En üst seviyede 2 m. kalınlığındaki kristalize kolemanit yer almaktadır. Cevher sarımsı beyaz renkte, kristal büyüklükleri birkaç mm'den 3-4 cm ye kadar değişmektedir (Şekil 5.5-5.6).



Şekil 5.5 Kristal kolemanit arazi görüntüsü



Şekil 5.6 Kristal kolemanit el örneği

İşletim alanında en alt seviyede bulunan ışınal kolemanitin mikroskop görüntüsü tek nikelde sarımsı beyaz renkte çift nikelde ise ikinci dizi ortası girişimlerini göstermektedir (Şekil 5.7-5.8)



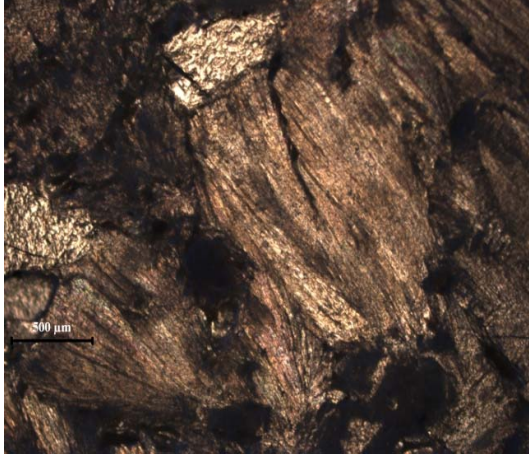
Şekil 5.7 Tek nikel altında ışınal kolemanit



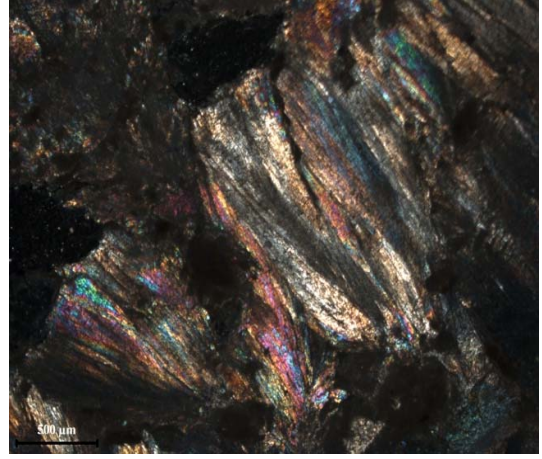
Şekil 5.8 Çift nikel altında ışınal kolemanit

Ortada yer alan ve arazide nodüler halde bulunan kolemanit minerali tek nikelde sarımsı beyaz renkte görülmektedir (Şekil 5.9). Şekil 5.10'da ise ikinci dizi girişim renkleriyle görülmektedir.

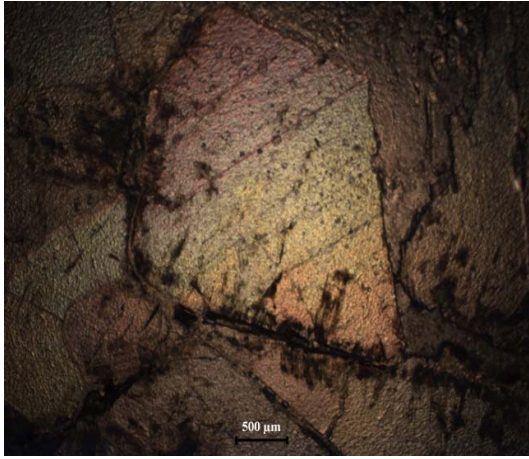
Arazi gözlemlerinde sarımsı beyaz renkteki kristal kolemanit tek nikelde soluk sarımsı beyaz bir renk sergilemektedir (Şekil 5.11). Çift nikel altında ise ikinci dizi ortası girişim renklerini göstermektedir (Şekil 5.12).



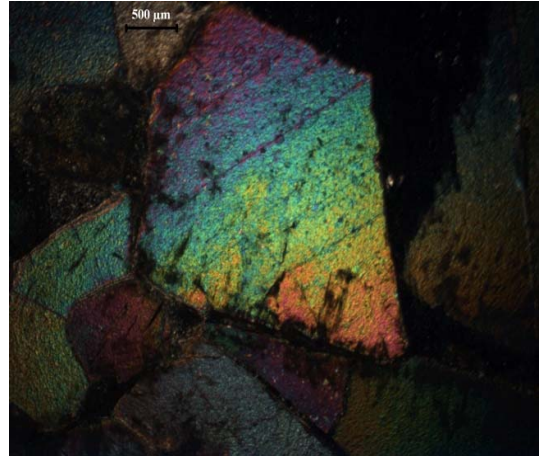
Şekil 5.9 Nodüler kolemanit tek nikol altında



Şekil 5.10 Çift nikol altında nodüler kolemanit



Şekil 5.11 Tek nikol altında kristal kolemanit



Şekil 5.12 Çift nikol kristal kolemanitin görüntüsü

5.1.2 Üst Boratlı Zonu

Üst boratlı zonu Simav ve Acep açık işletmeleri temsil etmektedir. Simav Ocağı ağırlıklı olarak kolemanit bulunurken, Acep ocağında üleksit minerali yer almaktadır.

5.1.2.1 Simav Ocağı

Simav Açık Ocağında 4 seviyede bor minerali işletilmektedir. Ancak yapılan iki farklı zamanlı arazi çalışmasında da üstte bulunan kolemanit seviyesinden örnek temin etmek

mümkün olmamıştır. Bu yüzden incelemeler mevcut sondajlardan alınan örnekler üzerinde yapılmıştır. Üst boratlı zona ait seviyelerde düşey ve yatay olarak kolemanit üleksit geçişleri görülmektedir. 2–2,5 metrelik bir seviyedeki yatay değişim (kolemanit-üleksit) Şekil 5.13'te görülmektedir. Burada kıvrımlı yapıdan dolayı üleksit deniz seviyesinden 43 m, kolemanit ise 52 m yükseklikte bulunmaktadır. Üleksit sarımsı beyaz renklidir ve bir düzlemde büyüyen ışınsal bir yapıya sahiptir (Şekil 5.14). Kolemanit beyaz renkte olup kristal özelliği sergilemektedir (Şekil 5.15–5.16).



Şekil 5.13 Işınsal üleksit minerali



Şekil 5.14 Işınsal üleksit minerali el örneği



Şekil 5.15 Kristal kolemanit minerali



Şekil 5.16 Kristal kolemanit minerali el örneği

Bu seviyenin üstünde ocağın en kalın (4m) cevher oluşumu olarak gözlemlenebilen 2. seviyedeki kolemanitlerde beyaz renkli kristalli bir yapı göstermektedir (Şekil 5.17-5.18).



Şekil 5.17 Beyaz renkli kristal kolemanit



Şekil 5.18 Beyaz kristal kolemanit el örneği

Üçüncü seviyede görülen bor minerali ise üleksittir. Sarımsı beyaz renkte olan üleksitin bu seviyede ışınallığı daha bariz bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 5.19-5.20).



Şekil 5.19 Sarımsı beyaz renkli üleksit



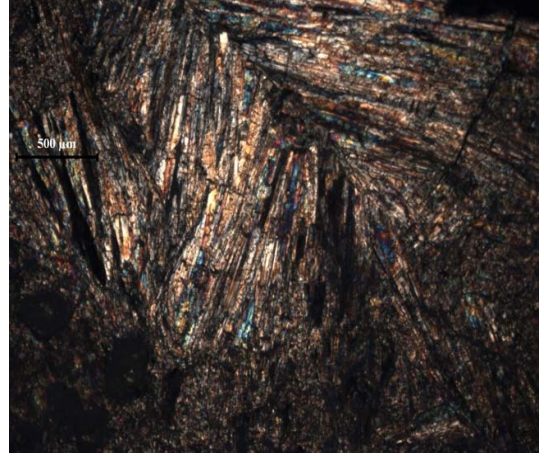
Şekil 5.20 Sarımsı beyaz üleksitin el örneği

En alt seviyedeki ışınal üleksit mikroskop altında tek nikolde içerdiği kil minerallerinden dolayı gri renkte görülmekte (Şekil 5.21), çift nikol altında ise 2.dizi girişim renkleri göstermektedir (Şekil 5.22).

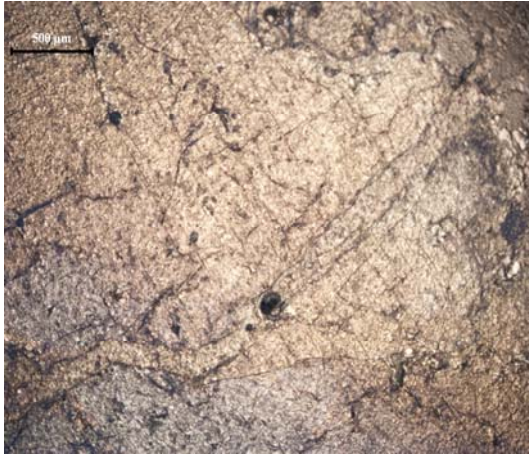
Aynı seviyede yer alan beyaz kristal kolemanit tek nikol altında Şekil 5.23'de sarımsı beyaz rengi ve çift nikol altında ikinci dizi ortası renkleriyle Şekil 5.24'de görülmektedir.



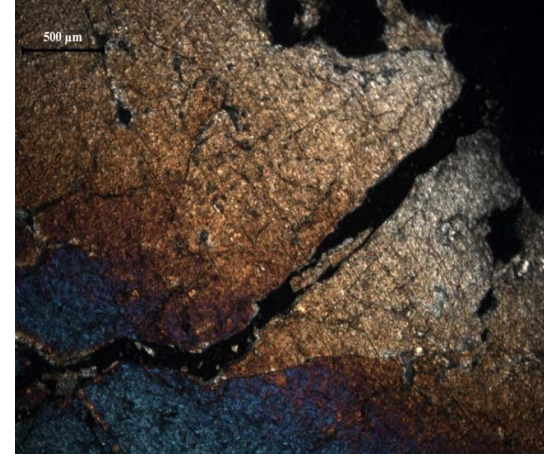
Şekil 5.21 Işınsal üleksitin tek nikol görüntüsü



Şekil 5.22 Işınsal üleksitin çift nikol görüntüsü



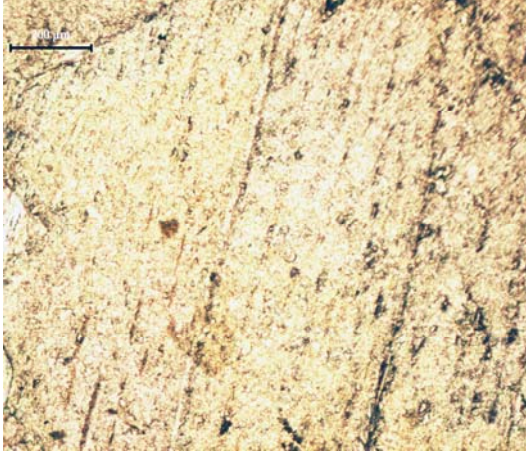
Şekil 5.23 Kristal kolemanit tek nikol



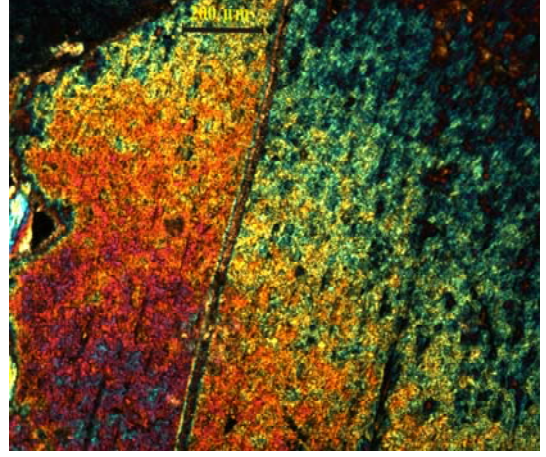
Şekil 5.24 Kristal kolemanit çift nikol

Bu seviyenin üzerinde yer alan beyaz renkli kristalli kolemanit tek nikol altında sarımsı beyaz rengeyle görülmektedir (Şekil 5.25). Çift nikol altında ise ikinci dizi ortası renkleriyle Şekil 5.26'de görülmektedir.

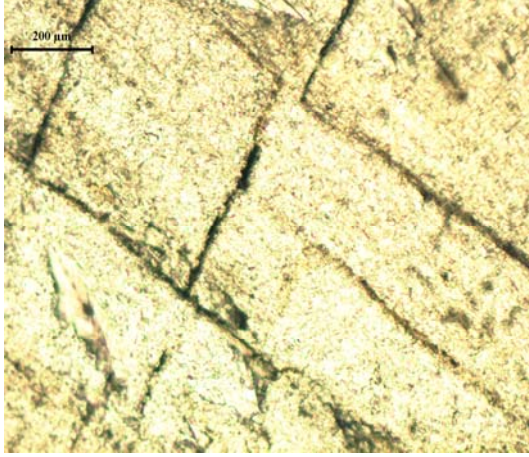
Simav yatağının en üst seviyesinde beyaz renkli kristal kolemanit bulunmaktadır. Bu örnek tek nikol altında sarımsı beyaz renkte görülmektedir (Şekil 5.27). Çift nikol altında ise ikinci dizi girişim renklerini göstermektedir (Şekil 5.28).



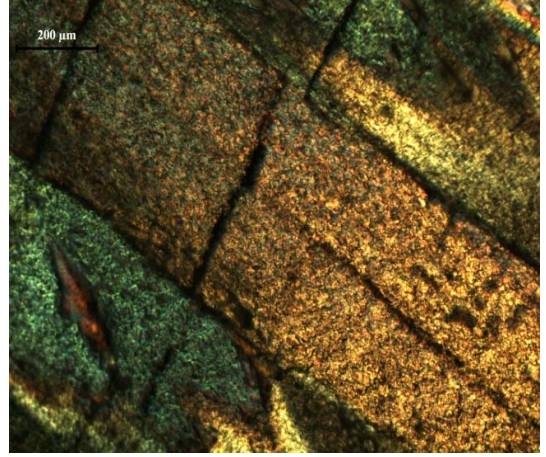
Şekil 5.25 Beyaz kristal kolemanit tek nikol



Şekil 5.26 Beyaz kristal kolemanit çift nikol



Şekil 5.27 Beyaz kristal kolemanit tek nikol



Şekil 5.28 Beyaz kristal kolemanit çift nikol

5.1.2.2 Acep Ocağı

Acep açık ocağı daha öncede belirtildiği gibi üleksit minerali ile temsil olunur. Ocağa yaklaşık 8 metre kalınlığındaki üleksit seviyesinde üretim yapılmaktadır (Şekil 5.29). Şekil 5.30'da ise araziden alınan el örneği görülmektedir. Üleksit esasen beyaz renkte olur ancak burada kil içermesinden dolayı sarımsı renk gösteren kısımları da görülmektedir.

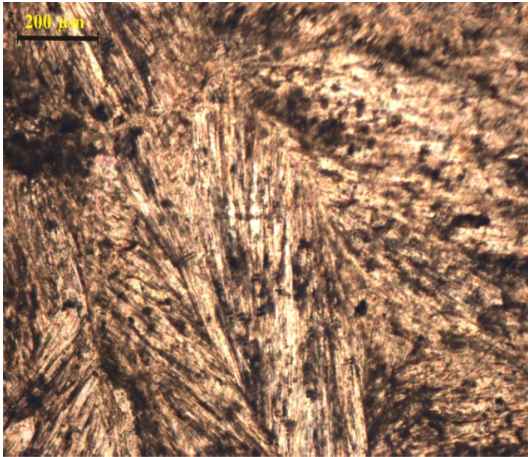


Şekil 5.29 Üleksit seviyesinin görüntüsü

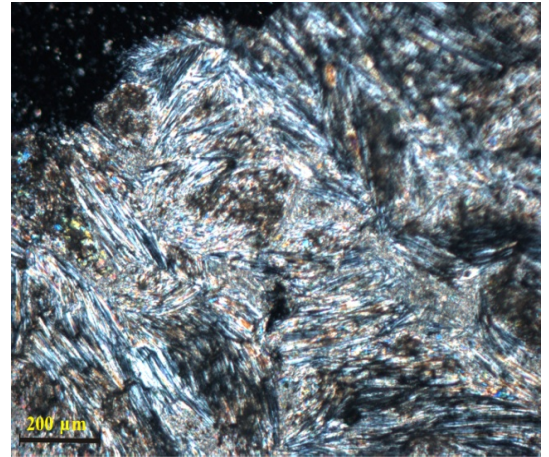


Şekil 5.30 Araziden alınan el örneğinin görüntüsü

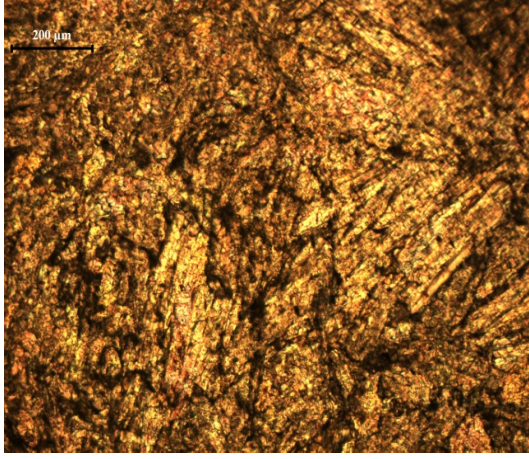
Arazide farklı iki seviyeden alınan üleksit minerallerinin mikroskop altındaki görüntüleri kil içeriklerine göre değişmektedir. Kil varlığının fazla olmasından dolayı üleksit griye yakın bir renk sergilerken (Şekil 5.31), kil oranı daha az olan diğer örnek (Şekil 5.32) daha beyazımsı renkte izlenmektedir. Çift nikol altında ise, kil oranı fazla olan örnek (Şekil 5.33) daha soluk girişim renkleri gösterirken, kil oranı az örnek (Şekil 5.34) daha canlı renkler sergilemektedir.



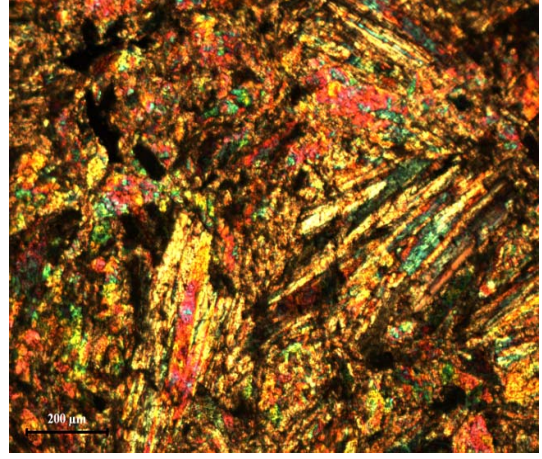
Şekil 5.31 Araziden alınan örneğin tek nikol görüntüsü



Şekil 5.32 Araziden alınan örneğin çift nikol



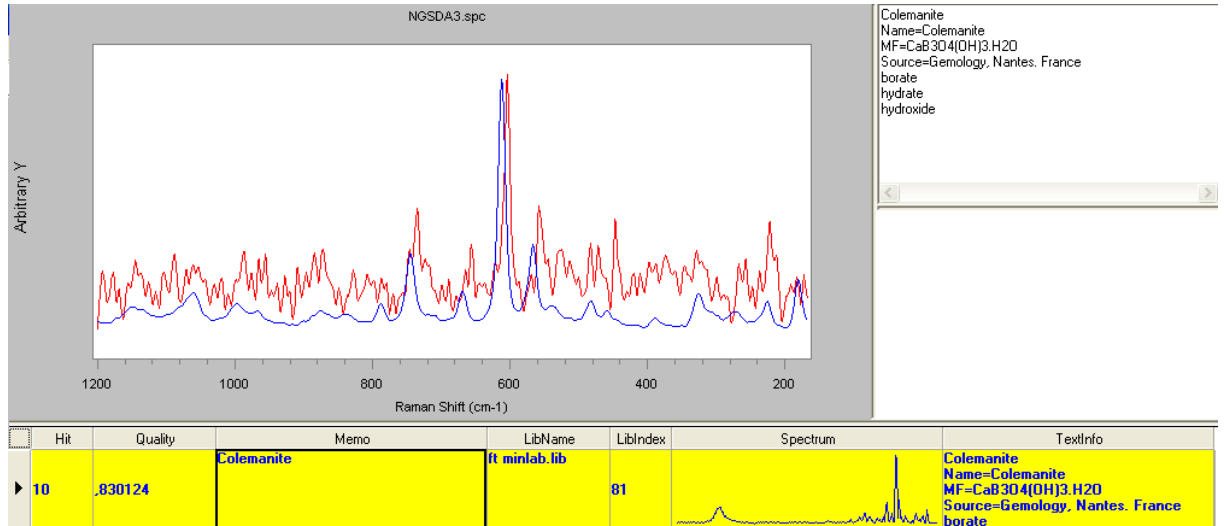
Şekil 5.33 Sondaj örneği tek nikol görüntüsü



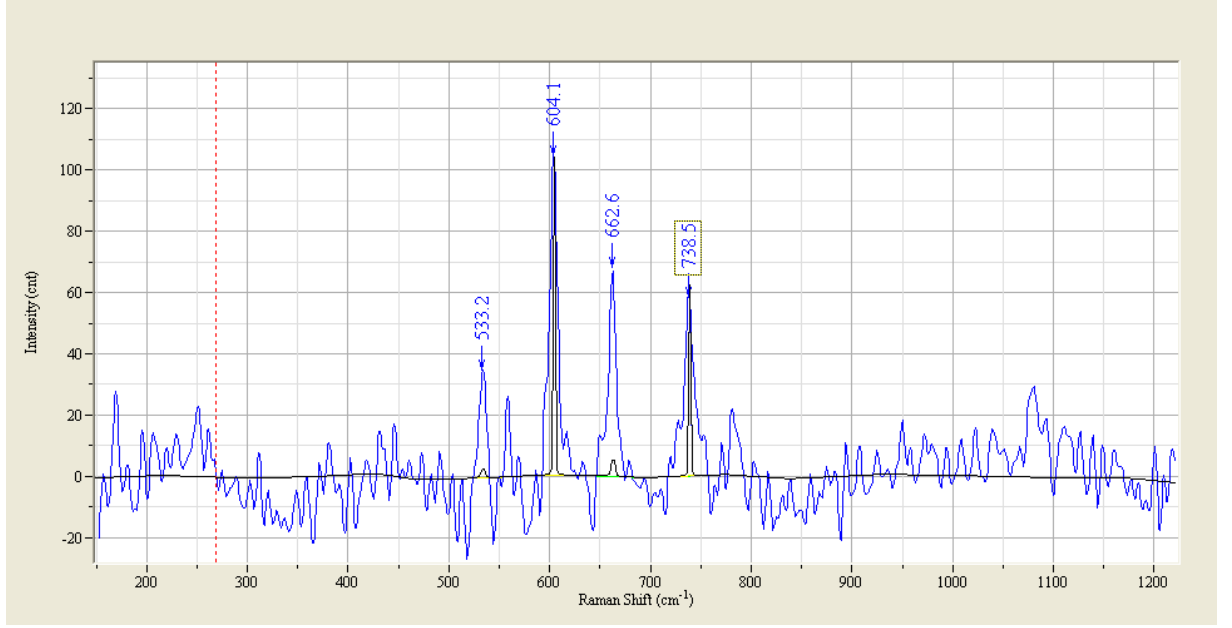
Şekil 5.34 Sondaj örneği çift nikol görüntüsü

5.2 Konfakol Raman Spektroskopisi İncelemeleri

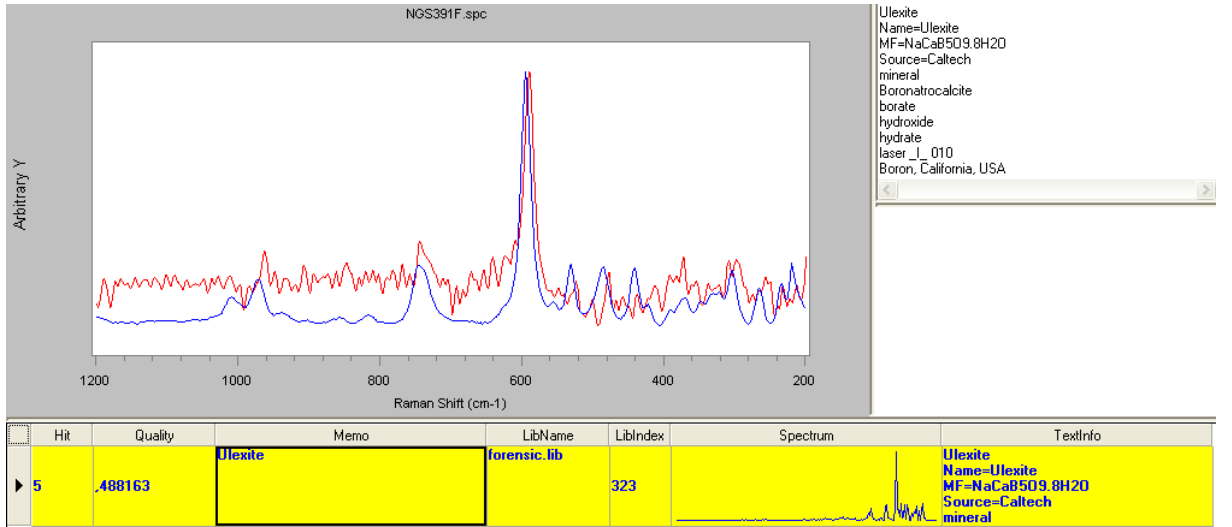
Bigadiç (Balıkesir) borat yataklarından 3 açık işletmeden farklı derinlik ve tipteki bor cevheri örneklerinin mineralojisinin saptanmasında Raman yöntemi de kullanılmıştır. Raman yöntemi incelenen örnek üzerinde nokta analizi yaparak, örneğin mineralojisinin saptanmasını sağlamaktadır. Öncelikle bu yöntemde, örneklerde kolemanit ve üleksitten başka bir bor mineralinin bulunup bulunmadığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, analizi yapılan örneklerin tamamının kolemanit ve üleksitten oluştuğu saptanmıştır. 3 farklı ocağa ait Raman spektrumları bu sonucu göstermektedir (Şekil 5.35–5.40).



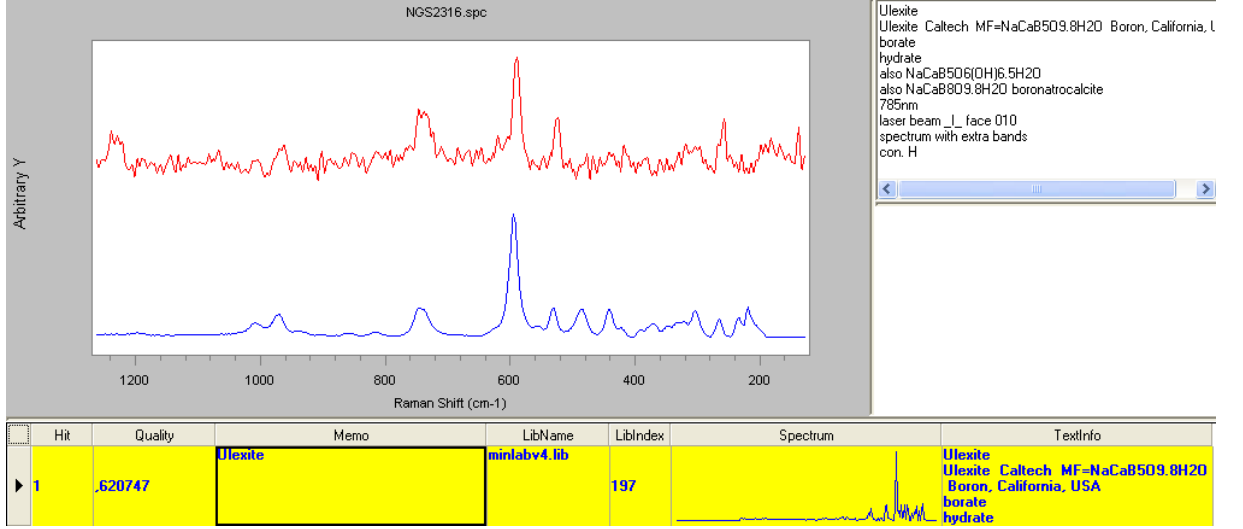
Şekil 5.35 SS2-3 örneğine ait kolemanit pikini gösteren Raman spektrumu (kırmızı renkli eğriler cevhere ait olup, mavi renkli eğriler ise referans alınan örneğe aittir)



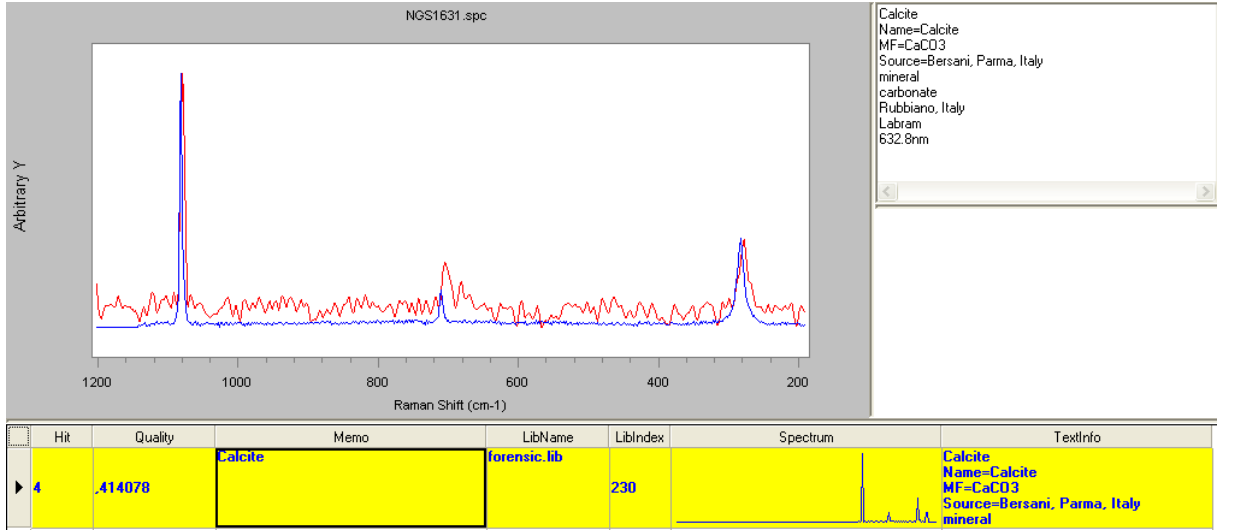
Şekil 5.36 SS2-3 cevher örneğindeki kolemanit pikini gösteren Raman spektrumu



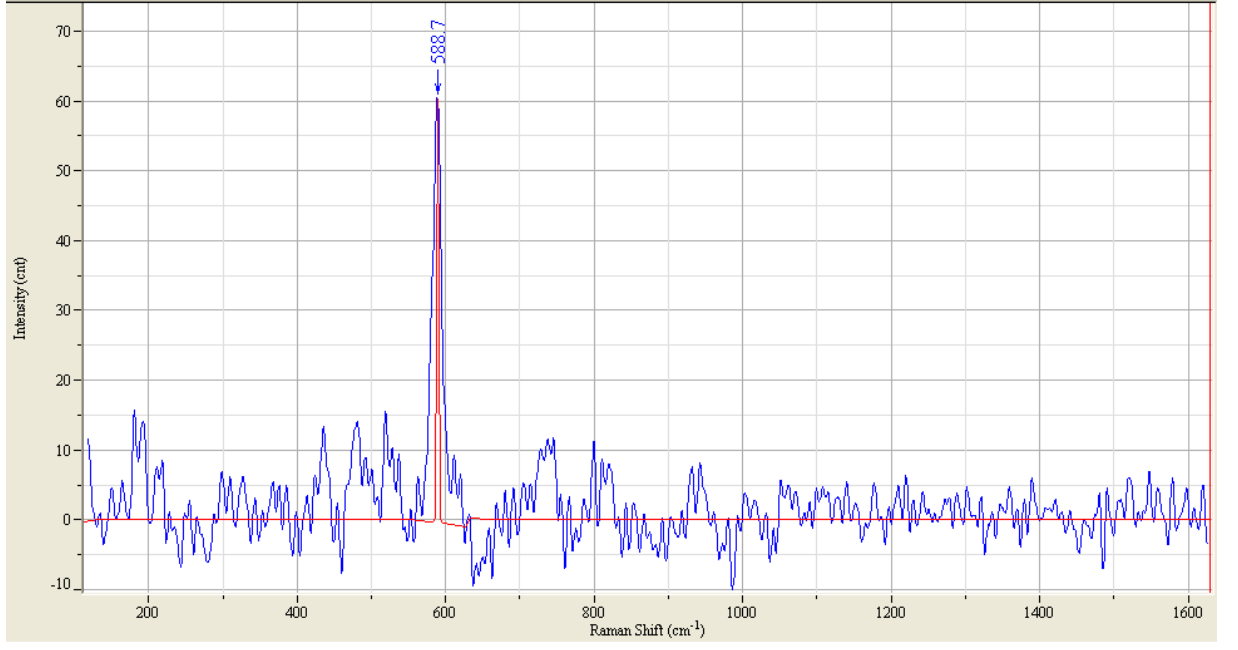
Şekil 5.37 AY2 örneğine ait üleksit pikini gösteren Raman spektrumu



Şekil 5.38 AS2-6 örneğine ait üleksit pikini gösteren Raman spektrumu



Şekil 5.39 TY1 örneğine ait kalsit pikini gösteren Raman spektrumu



Şekil 5.40 AY1 örneğine ait üleksit pikini gösteren Raman spektrumu

5.3 X-Işını Difraktometresi (XRD) İncelemeleri

Bigadiç boratlarına ait tüm örneklerin XRD incelemeleri yapılmış ve baskın olarak kolemanit (Şekil 5.41–5.44) ve üleksit (Şekil 5.45–5.46) mineralleri belirlenmiştir. Ayrıca üst boratlı zondan (Acep kesimi) alınan bir örnekte reedmergnerit (NaBSi_3O_8) ve searlesit ($\text{NaBSi}_2\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$) minerallerine rastlanmıştır. Bu mineraller Na-Ca minerali olan üleksitin kalın tabakalı çökelim gösterdiği Acep Ocağında üleksitle birlikte dirler (Şekil 5.46). Böylece ilk defa bu tez kapsamında Bigadiç boratları parajenezine iki yeni mineral eklenmiş olmaktadır.

XRD incelemelerinde ayrıca kalsit, kuvars, hidrohalit, analsim, montmorillonit ve illit minerallerinin borat çökeline eşlik ettiği saptanmıştır.

5.3.1 Bigadiç Bor Minerallerinin Kil İçerikleri ve bunların ortamsal anlamları

Volkanik bölgelerdeki laküstrin sedimanların çoğu kez smektit içerdikleri, ancak smektitin kökeninin belirlenmesinin zor olduğu Chamley(1989) tarafından açıklanmıştır. Krauskopf (1989) kil minerallerinin oluşumunda alüminyum silikatların ayrışımı ve zincir yapısının değişimi ile ayrıca sulu Al-O ve Si-O gruplarının bölünerek sonradan kil yapısı haline dönüşebileceklerini, yani sıvılardan silis ve koloidal Al tepkimeleri ile çökme sonucu oluşabileceklerini belirtmektedir. Bu bilgilere göre Bigadiç bor minerallerinin oluşum ortamını açıklamaya bir katkı koyabilmek için söz konusu killerin kökeninden çok, ortamsal özelliklerinin yorumlanması mümkün görünmektedir.

Batı Anadolu borat yataklarının özellikle bor minerallerini konu alan çalışmalarda Ca-borat, Ca-Na-borat ve Na-borat çökme ortamlarının fizikokimyasal şartlarıyla ilgili yorumlara rastlanmaktadır. Örneğin Baysal (1973) Sarıkaya (Kırka) borat yataklarının oluşumunu incelediği çalışmada göl suyunun pH'nın daima 8,5'ten yüksek olduğunu, sıcaklığının 30–40 °C arasında değiştiğini ve asla 60 °C'ye ulaşmadığını ileri sürmüştür. Özpeker ve İnan (1978) Batı Anadolu'da yer alan tüm yatakların benzer şartlarda

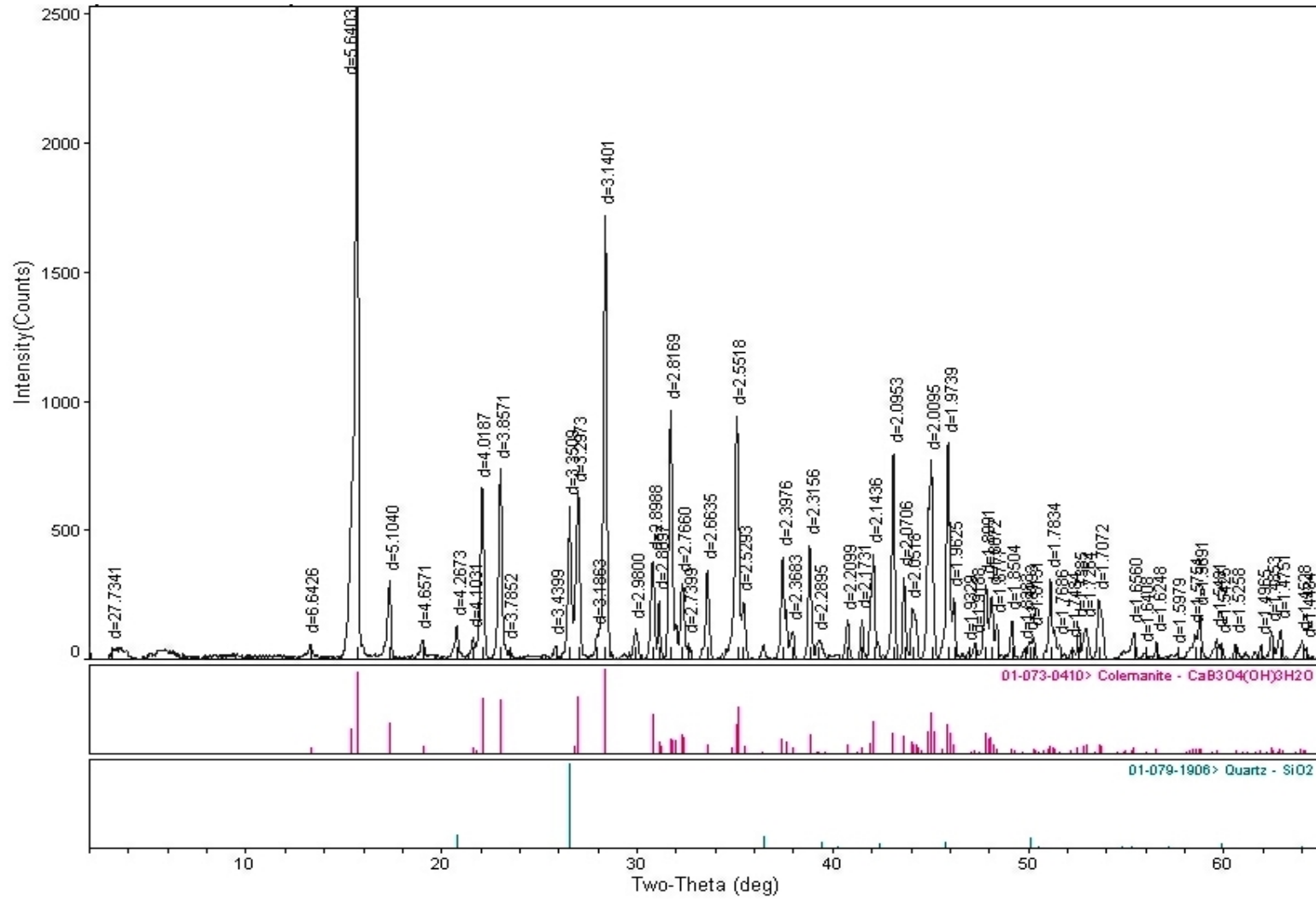
oluşturduğunu açıklayarak borat yataklarının belirlenen parajenezlerine göre düşük sıcaklık ve yüksek pH'lı ortamlarda oluştuğunu yorumlamışlardır. Sarıkaya (Kırka-Eskişehir) yatağında yapılan başka bir mineralojik incelemeye göre parajenezde boraksın egemen olmasından dolayı suyun sıcaklığının 25–45°C ve pH'nın 8,5-10 olduğu belirtilmiştir (Sunder 1980).

Batı Anadolu yataklarında borat mineralleri yanında kil minerallerinin konu edildiği bazı çalışmalar da bulunmaktadır (Ataman ve Baysal 1978, Helvacı 1983, Yalçın vd. 1989, Yalçın ve Baysal 1991, Helvacı ve Alaca 1991, Helvacı and Alanso 2000 ve Helvacı 2003). Bu çalışmalarda hâkim kil minerali olarak genel olarak smektit grubu minerallerinin yer aldığını açıklanmıştır (Helvacı and Alanso 2000). Bigadiç yöresinde bor mineralleri ile birlikte bulunan montmorillonit, klorit ve illit (Helvacı ve Alaca 1984, Helvacı *et al* 1993, Helvacı 1995), Batı Anadolu'daki tüm yataklarda da montmorillonit ve illit minerallerine işaret etmişler (Helvacı 1983, Helvacı *et al* 1993), fakat bu veriyi ortamsal şartlarla ilgili olarak kullanmamışlardır.

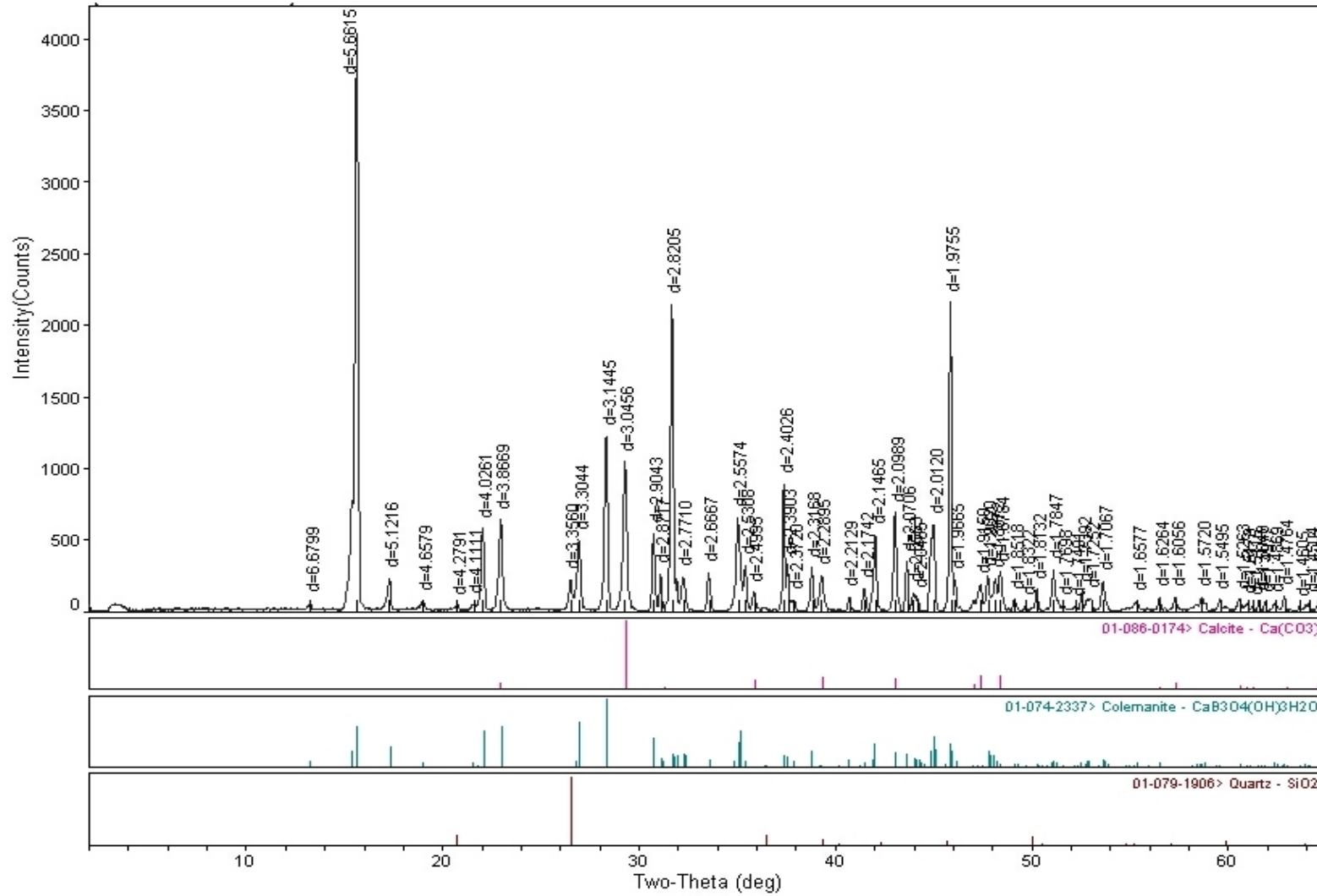
Killerin ortamsal özellikleri bor çökeltim ortamları için ilk defa bu araştırmada ele alınmaktadır. Bu amaçla Bigadiç borat yatağına ait Tülü, Acep ve Simav ocaklarına ait 13 adet örnek analiz edilmiştir. Bunların 12'sinde kil minerali olarak montmorillonit belirlenmiştir. Bu örneklerin 6'sında ise montmorillonite eşlik eden eser miktarda illite rastlanmıştır. Şekil 5.47 ve 5.48'de Tülü, Şekil 5.49 ve 5.50'da Acep ve Şekil 5.51 ve 5.52'de Simav ocaklarına ait örneklerin etilen glikollü ve fırınlanmış difraktogramları görülmektedir. Şekillerde montmorillonitin d:17 ve illitin d:10 değerleri net bir şekilde görülmektedir.

İnceleme alanındaki boratların parajenezine eşlik eden kil minerallerinin tamamının montmorillonit oluşu ortamdaki bazik çözeltileri işaret etmektedir. Eser miktardaki illit oluşumları ise ortama K katkısını göstermektedir. Baysal (1974) kalıntı silikatları içeren marn ve killerde daha çok K'lu feldispatların bulunması gerektiğini belirterek, bunların da ileri evrelerde kısmen ayrışarak lokal illit oluşumları için K kaynağı teşkil edeceklerini vurgulamıştır.

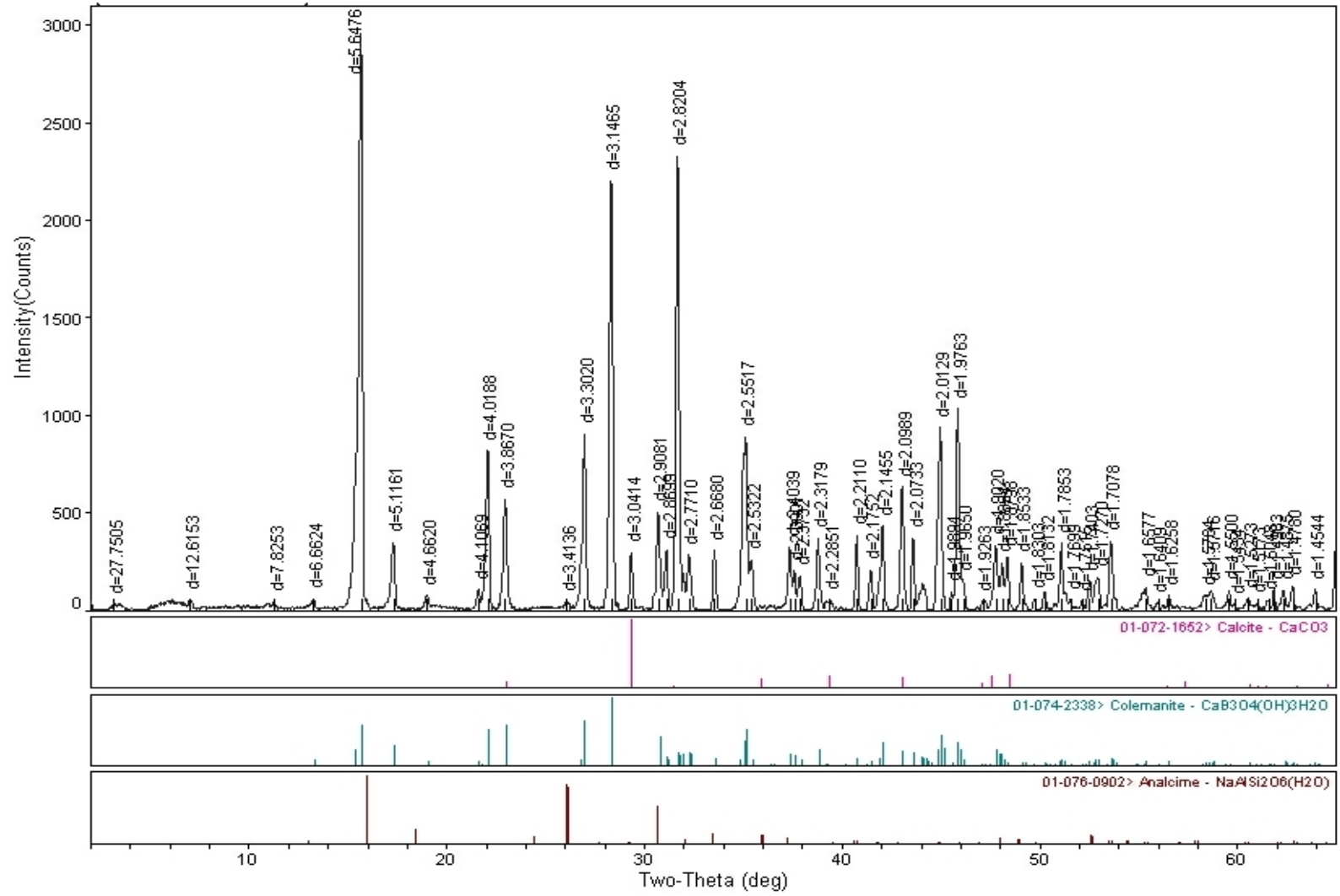
Krauskopf (1989) ise montmorillonitin sudaki K^+ sayesinde illitte dönüşebileceğini açıklamaktadır. Oluşum ortamı sıcaklığının borat minerallerinden yola çıkarak 60 °C'nin altında kaldığı ileri sürülmesine (Baysal 1973, Sunder, 1980) karşılık Krauskopf (1989) kil minerallerinin alüminyum silikatlardan sular vasıtasıyla birkaç yüz derecede oluştuklarını, düşük sıcaklıklarda ise oluşumun çok uzun zamanda gerçekleşebileceğini ifade etmektedir. O halde, sonuç olarak Bigadiç yatağındaki hâkim borat (kolemanit, üleksit) ve kil mineralleri (montmorillonit) birlikte değerlendirildiğinde oluşumun bazik çözeltilerden birkaç yüz °C sıcaklıkta, ya da 60 °C'nin altında, fakat çok uzun zaman alan bir süreçte gerçekleştiği ileri sürülebilir.



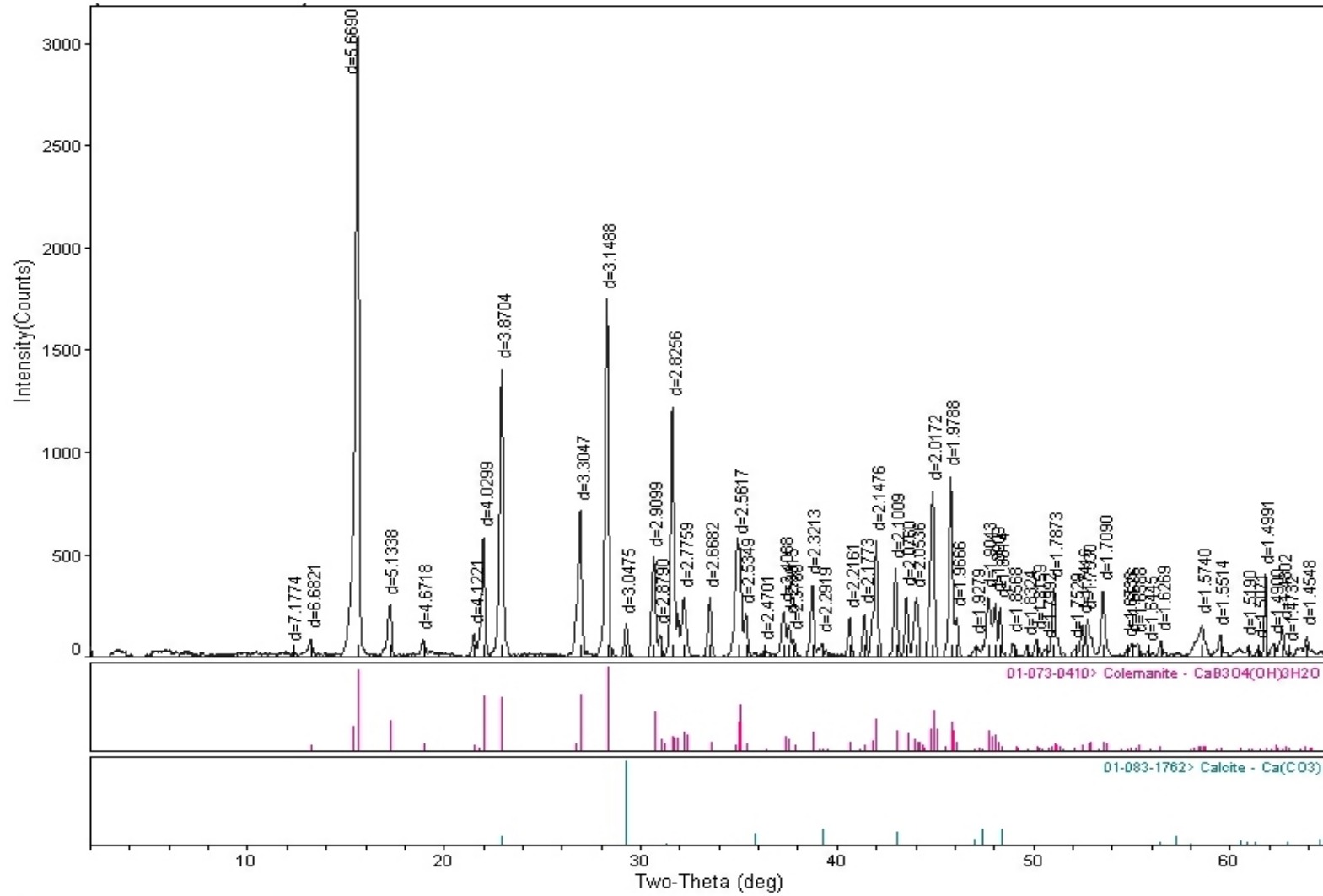
Şekil 5.41 Tülü ocağı örneğine ait XRD diyagramı



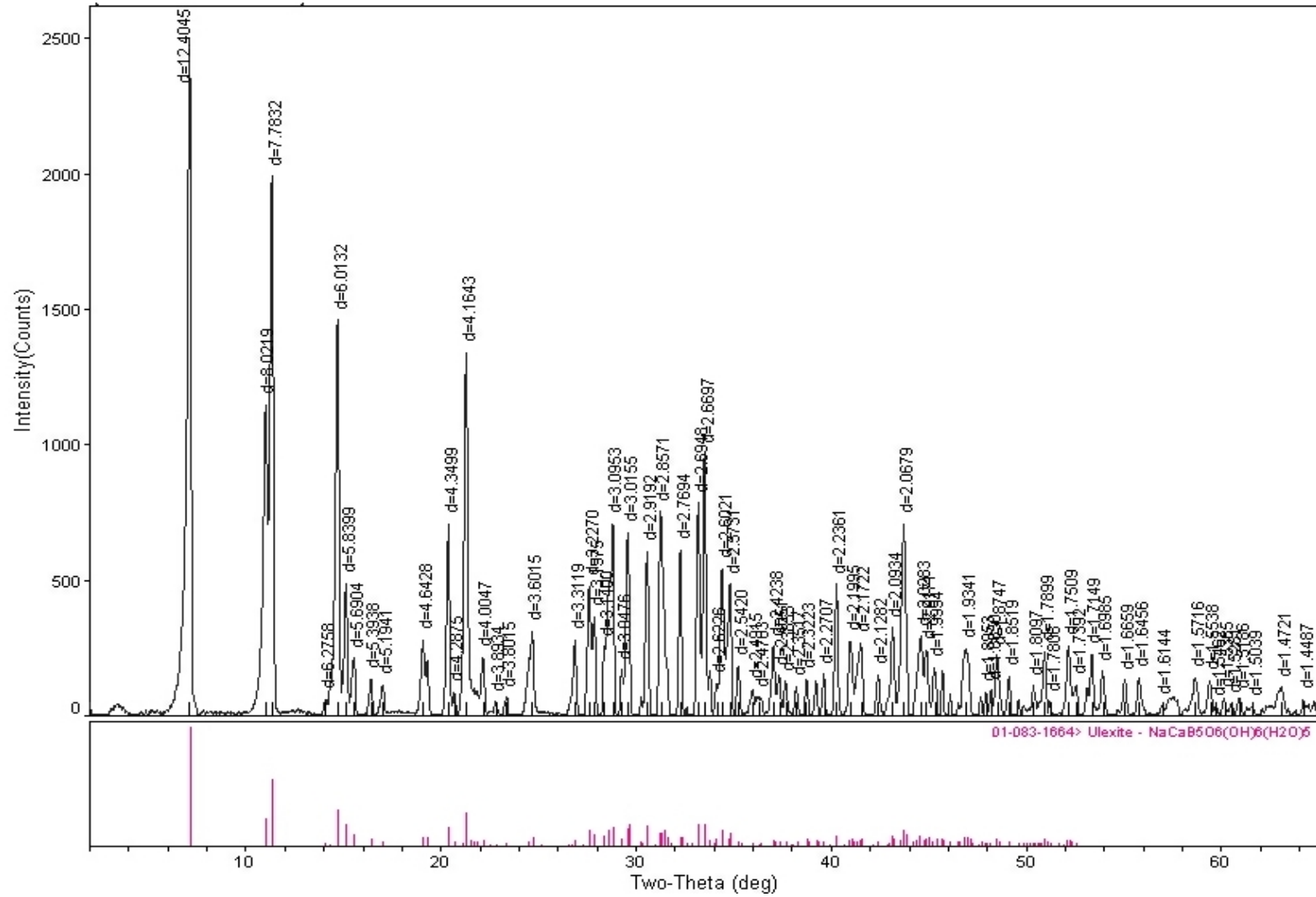
Şekil 5.42 Tülü ocağı örneğine ait XRD diyagramı



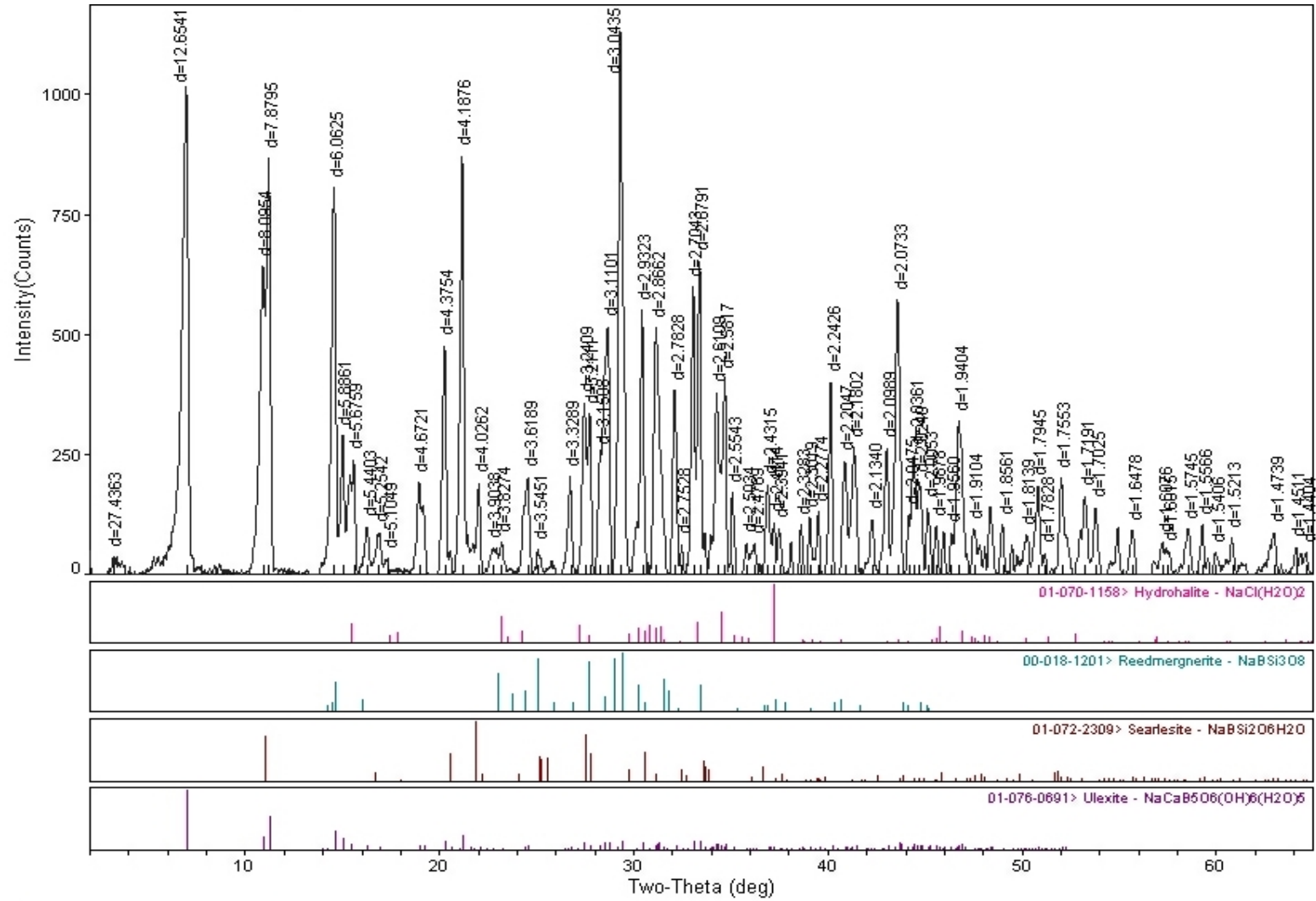
Şekil 5.43 Simav ocağı örneğine ait XRD diyagramı



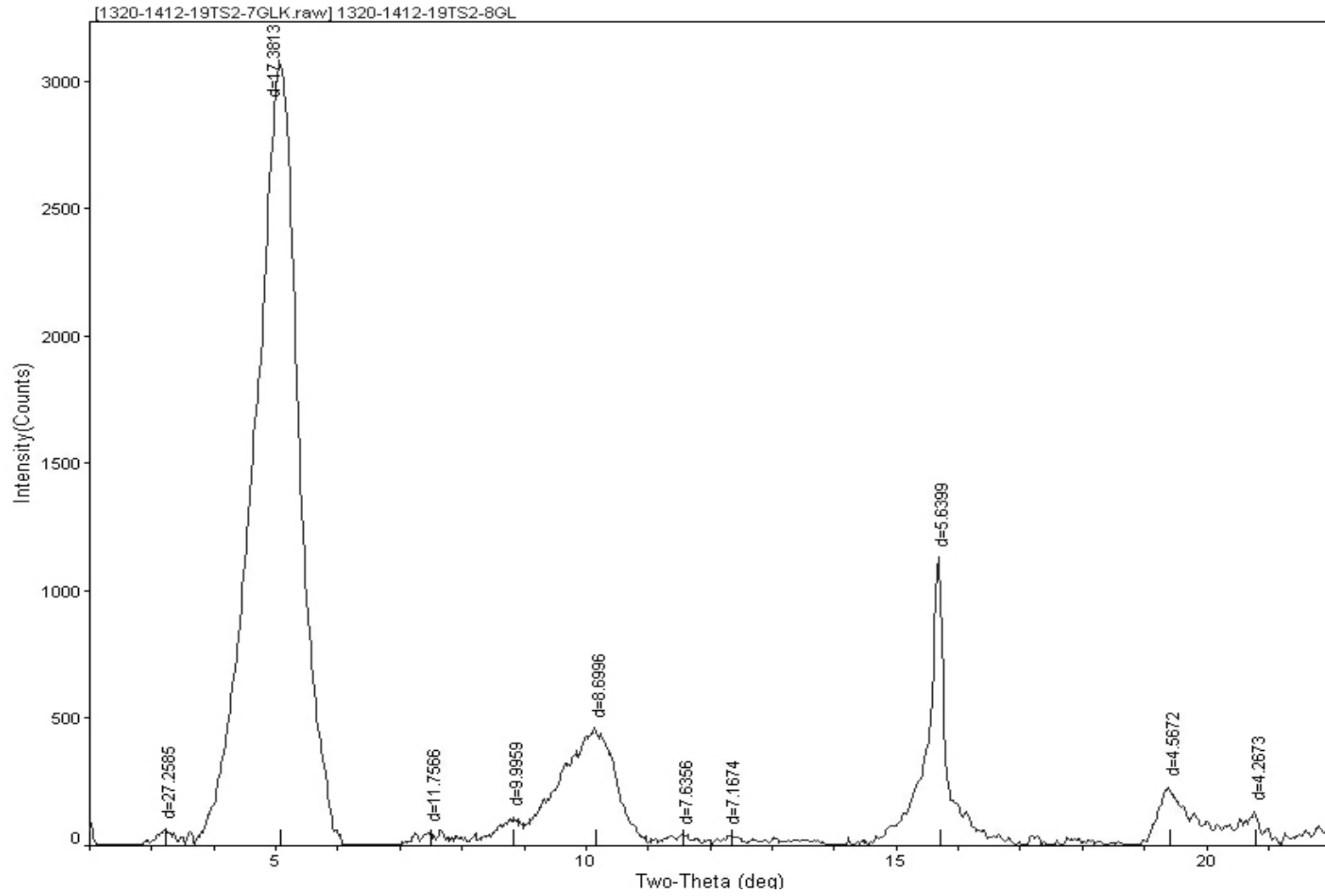
Şekil 5.44 Simav ocağı örneğine ait XRD diyagramı



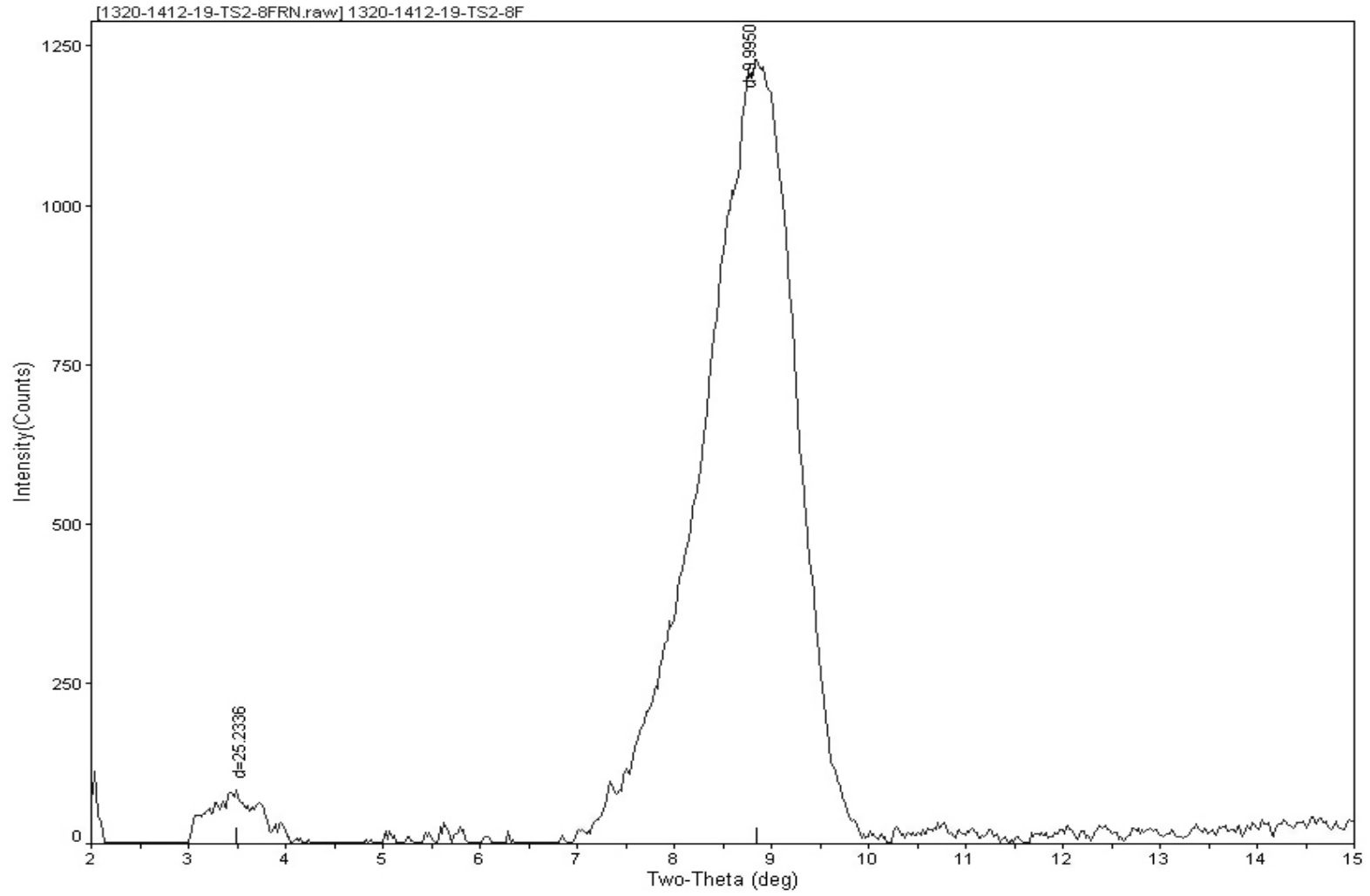
Şekil 5.45 Acep ocağı örneğine ait XRD diyagramı



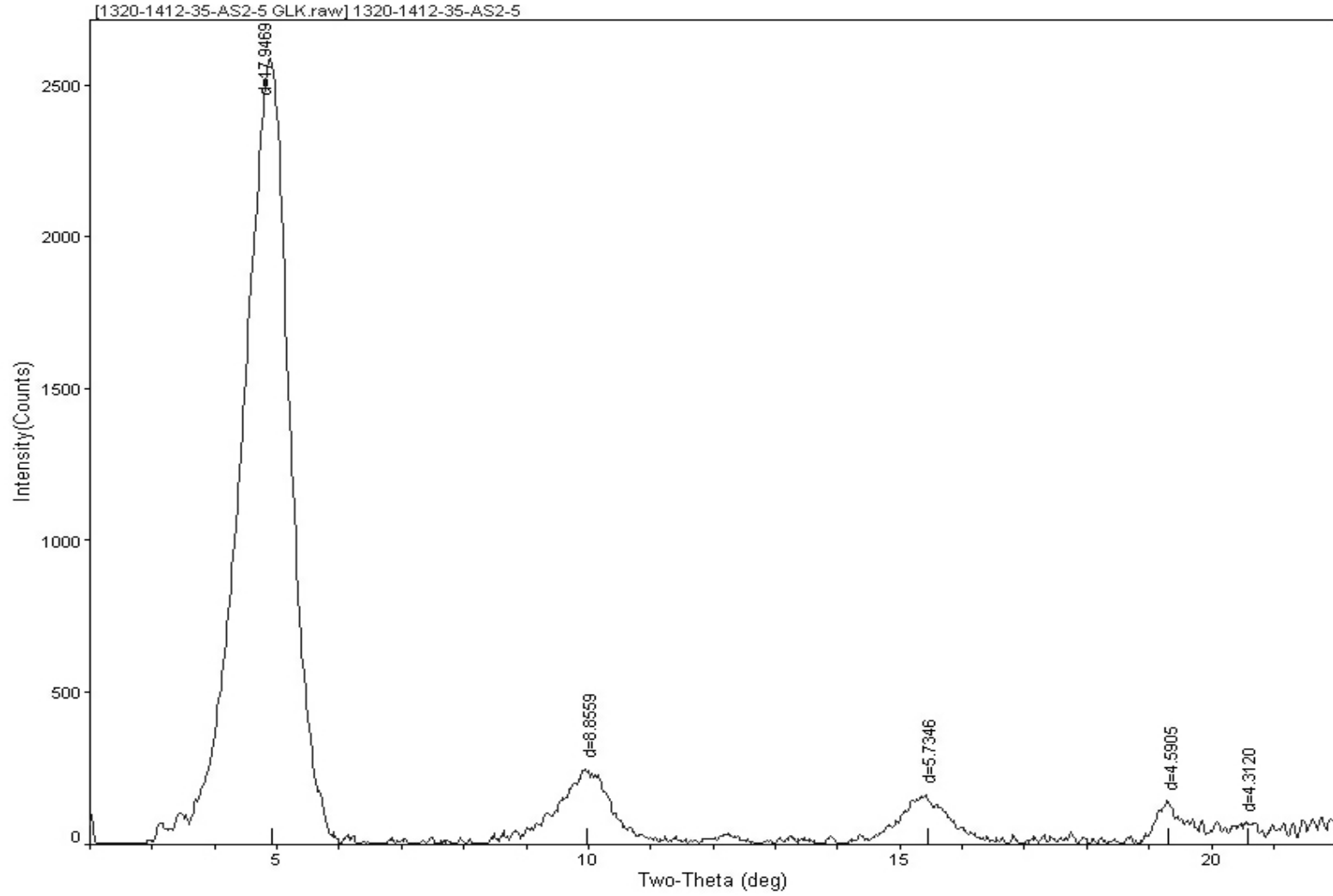
Şekil 5.46 Accep ocağı örneğine ait XRD diyagramı



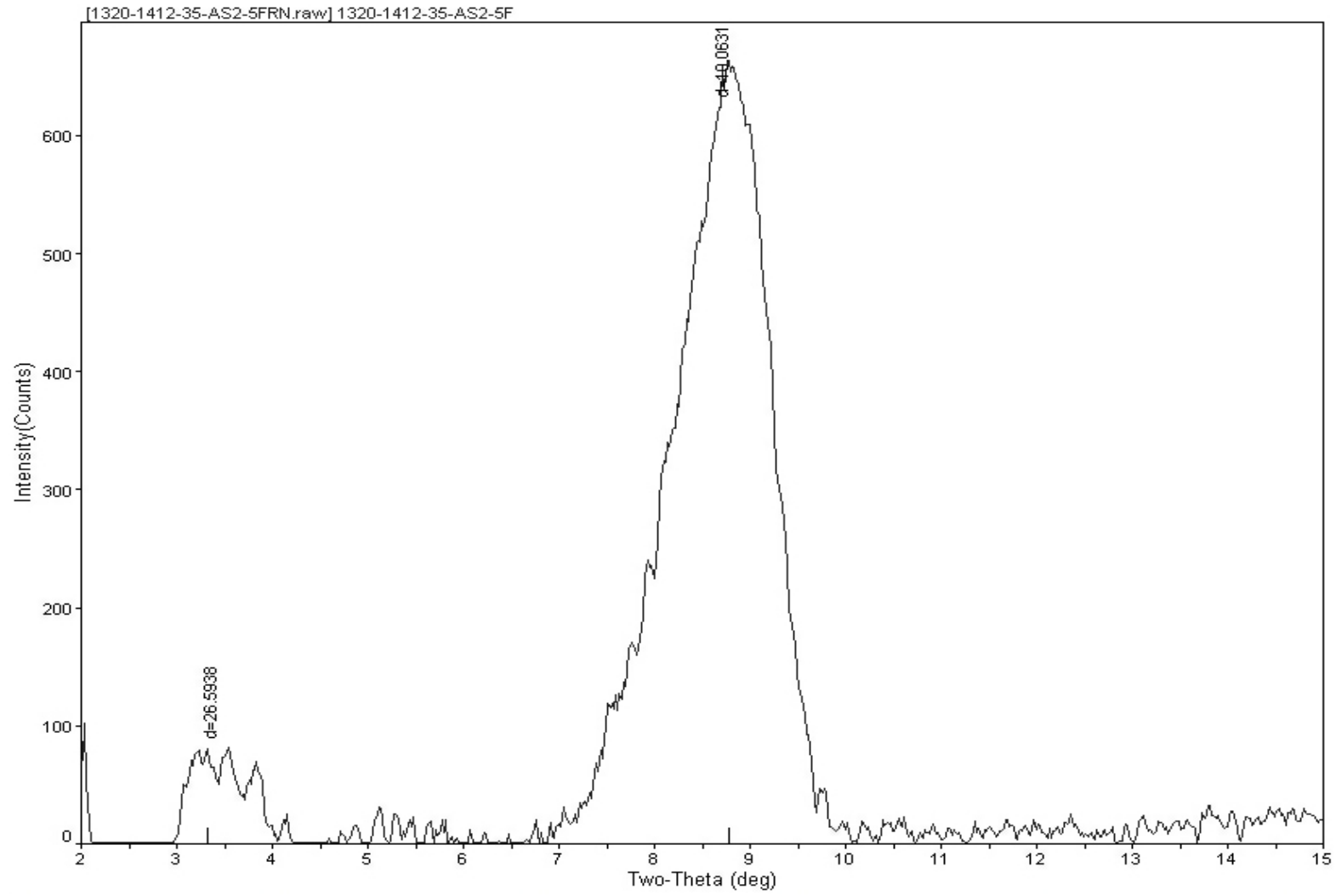
Şekil 5.47 Tülü Ocağına ait etilen glükollü kil örneği XRD diyagramı



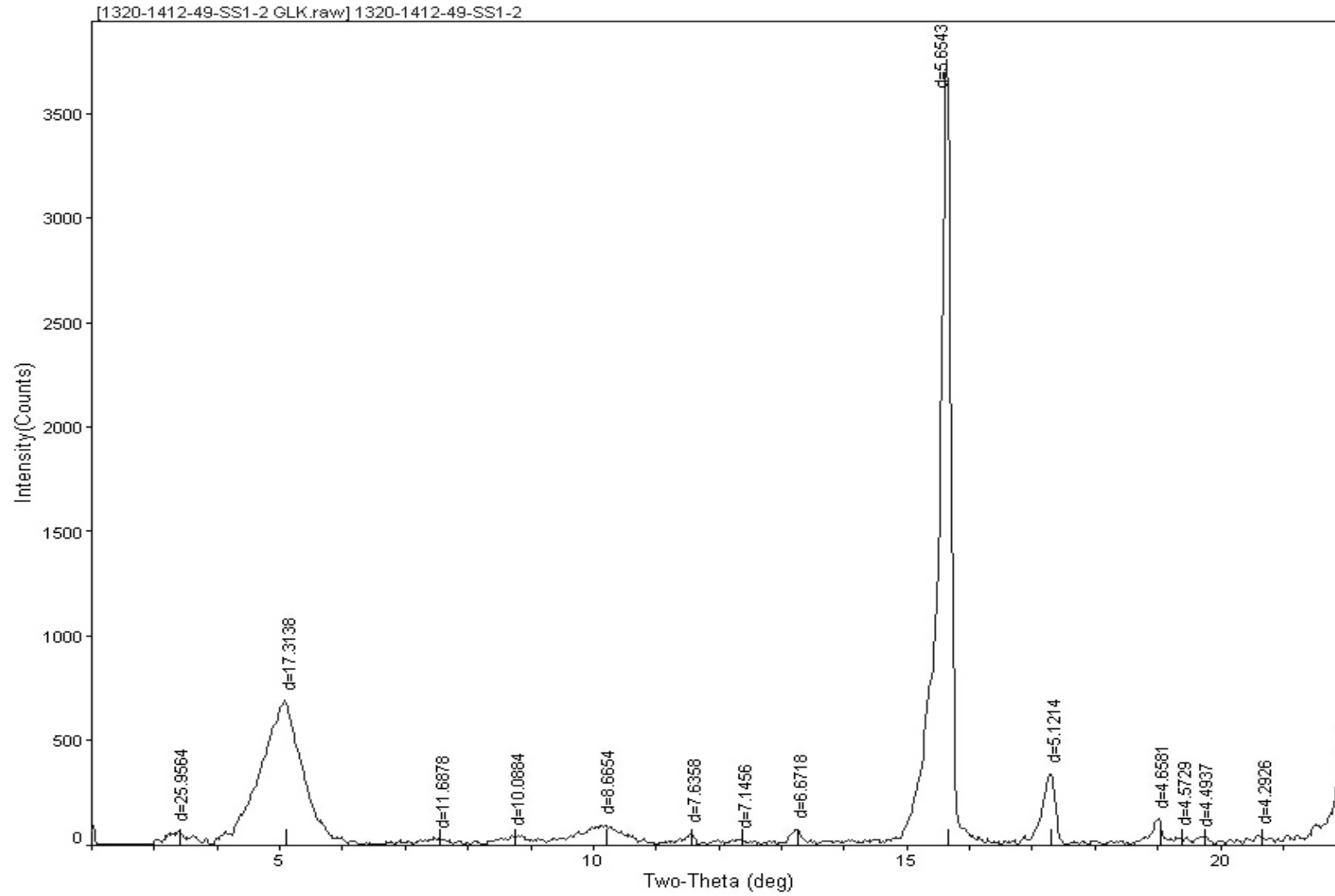
Şekil 5.48 Tülü Ocağına ait fırınlanmış kil örneği XRD diyagramı



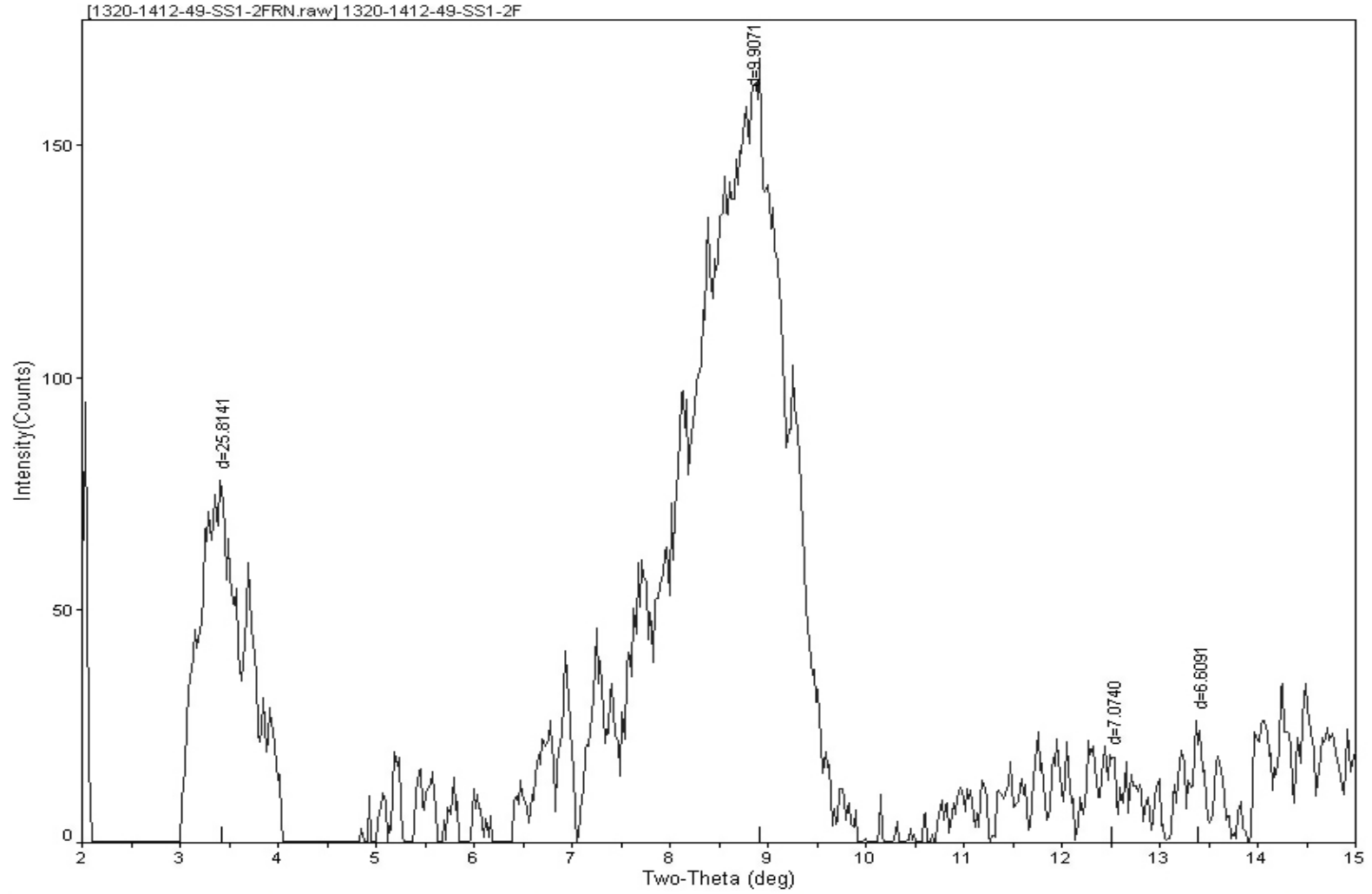
Şekil 5.49 Acep Ocağına ait etilen glikollü kil örneği XRD diyagramı



Şekil 5.50 Acep Ocağına ait fırınlanmış kil örneği XRD diyagramı



Şekil 5.51 Simav Ocağına ait etilen glikollü kil örneği XRD diyagramı



Şekil 5.52 Simav Ocağına ait fırınlanmış kil örneği XRD diyagramı

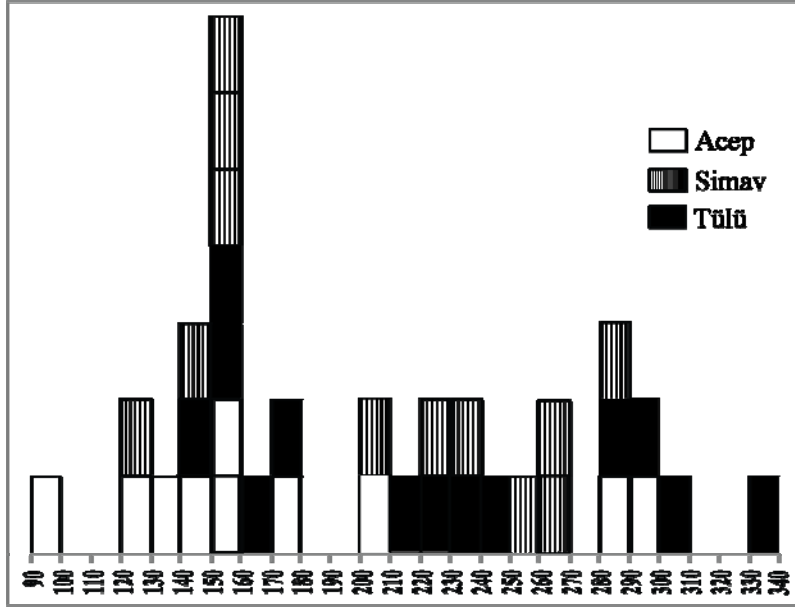
6. SIVI KAPANIM İNCELEMELERİ

Bigadiç yöresinde yapılan sıvı kapanım ölçümleri Simav ve Tülü ocaklarında kolemanit minerali, Acep ocağında ise üleksit minerali üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu mineraller daha önce Helvacı (1995, 2004) tarafından da belirtildiği üzere birincil oluşumludur.

Sıvı kapanım incelemeleri yukarıda da belirtildiği gibi birincil kökenli kolemanit ve üleksit mineralleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kuzey Sonora'da (Meksika) ikincil kolemanitlerinde yapılan bir araştırmada Gasca *et al.* (1998) iki farklı kapanımlardan elde ettikleri sonuçlara göre epijenetik kolemanitlerin homojenleşme sıcaklıklarının 60–180 °C arasında, büyük oranda ise 100–140 °C arasında olduğunu belirtmişlerdir. Daha önce Barker and Barker (1985) Kaliforniya'daki Ölüm Vadisinde (Death Valley) yaptıkları araştırmada benzer sıvı kapanımlardan bahsetmişlerdir, ancak bir homojenleşme sıcaklığı vermemişlerdir. Bu araştırmacılar boratların gömülme sıcaklığını smektitin illite dönüşmesinden ve vitrinit yansımasından 70 ile 120 °C olarak hesaplamışlardır. Gasca *et al.* (1998) boratlarla ilgili homojenleşme sıcaklıklarının literatürde bulunmadığını açıklayarak çalışmalarını Barker and Barker (1985)'in verileriyle kıyaslamış ve sonuçların birbirine kısmen uyduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmanın materyalini oluşturan boratlar (kolemanit, üleksit) sediment-su ara yüzeyi altında pekişmemiş sedimentler içinde olasılıkla doğrudan doğruya çözeltilerden oluşmuş birincil mineraller olup, bunlar sedimentlerin pekişmesi sırasında büyümelerine devam etmişlerdir (Helvacı 1995, 2004).

O halde burada yapılan sıvı kapanım incelemeleri sonucunda elde edilen verilerden homojenleşme sıcaklıkları ve tuzluluk miktarlarıyla ilgili bilgilerin kullanılması diğer ortamsal şartların da göz önünde bulundurulmasıyla yararlı hale gelebilir.



Şekil 6.1. Bigadiç boratları sıvı kapanımlarının homojenleşme sıcaklıkları

6.1 Tülü Ocağı

Tülü örneklerinde yapılan ölçümlerde az bollukta birincil ve orta bollukta ikincil kökenli kapanımlara rastlanmıştır. Birincil kökenli kapanımların çoğunluğunu tek fazlı (sıvı) kapanımlar, daha az oranda da tek fazlı (gaz) kapanımlar oluşturmaktadır. İki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar ise oldukça tali miktarda izlenmiştir. Birincil kökenli 2 fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda çoğunlukla sıvı fazın gaz faza oranı fazla olup, kapanımlar sıvı faza homojenleşmiştir. Ölçüm yapılan sıvı kapanımlar 2 fazlı (sıvı+gaz) kapanımlardır ve boyutları 6- 80 mikron arasında değişmektedir. İki fazlı kapanımların üç grupta homojenleşme gösterdikleri gözlenmiştir. İlk grup 150 °C, ikinci grup 220 °C ve üçüncü grup 290 °C civarındadır (Şekil 6.1). 296 °C ve 301 °C'ye kadar ısıtılan örneklerde homojenleşme sağlanamamış ve kapanımlar bu sıcaklıklara erişildiğinde bozulmuştur (decrepitation).

Bu örneklerdeki 2 fazlı (sıvı+gaz) kapanımların bazıları sıvı azot kullanılarak dondurulmuş ve ergime sıcaklıkları (T_m °C) ölçülmüştür. Ölçülen ergime sıcaklıklarından (T_m °C) bunlara karşılık gelen % NaCl eşdeğerleri, Bodnar (1993)'ün eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.2). Buna göre T_m değerleri -1,6 ile -0,3

arasında, bunlara karşılık gelen % NaCl değerleri ise 0,53 ile 2,74 arasında değişmektedir.

Çizelge 6.1 Bigadiç boratları Th (°C) (homojenleşme sıcaklığı) değerleri

TÜLÜ OCAĞI	SİMAV OCAĞI	ACEP OCAĞI
Th °C	Th °C	Th °C
141	126	97*
155	140	128*
158	156	138*
164	156	142*
172	158	151*
217	203	155*
227	228	173*
230	238	203*
248	257	289**
287	263	292**
297	266	
303	270	
331		

* Şeffaf kristal değerleri

** Yarı şeffaf kristal değerleri

Çizelge 6.2 Bigadiç boratları Tm (°C) (Ergime sıcaklıkları) ve %NaCl değerleri

TÜLÜ OCAĞI		SİMAV OCAĞI		ACEP OCAĞI	
Tm(°C)	% NaCl eşdeğeri	Tm(°C)	% NaCl eşdeğeri	Tm(°C)	% NaCl eşdeğeri
- 0.3	0,53	- 0.4	0,7	-0,8*	1,39*
- 0.4	0,70	- 0.4	0,7	-0,8*	1,39*
- 0.4	0,70	- 0.5	0,88	0*	0*
- 0.4	0,70	- 0.5	0,88	- 0,9**	1,57**
- 0.5	0,88	- 0.6	1,05	0**	0**
- 0.5	0,88	- 0.6	1,05		
- 0.5	0,88	- 0.6	1,05		
- 0.5	0,88	- 0.6	1,05		
- 0.6	1,05	- 0.7	1,22		
- 0.6	1,05	- 0.8	1,39		
- 0.7	1,22	- 1.0	1,73		
- 0.8	1,39	- 1.1	1,9		
- 0.9	1,57	- 1.1	1,9		
- 1.0	1,73	- 1.2	2,07		
- 1.0	1,73	- 1.4	2,41		
- 1.1	1,90				
- 1.5	2,57				
- 1.6	2,74				

* Şeffaf kristal değerleri

** Yarı şeffaf kristal değerleri

6.2 Simav Ocağı

Simav örneklerinde orta bollukta birincil ve ikincil kökenli kapanımlara rastlanmıştır. Birincil kökenli kapanımların çoğunluğunu tek fazlı (sıvı) kapanımlar oluşturmaktadır. Daha az oranda da tek fazlı (gaz) ve iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar izlenmektedir. İkincil kökenli kapanımlar ise tek fazlı (sıvı) ve tek fazlı (gaz) kapanımlardan oluşmaktadır. İki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların hacim doldurma oranları oldukça değişkendir. Çoğu kapanımda sıvı fazın gaz faza oranı fazla olabildiği gibi, bazı kapanımlarda ise gaz fazın oldukça fazla olduğu görülmektedir. Ölçüm yapılan sıvı

kapanımların boyutları 4-100 mikron arasında değişmektedir. 8-24 mikron arasında değişen büyüklüklerdeki kapanımlar daha yoğun gözlenmektedir. İki fazlı kapanımların üç grupta homojenleşme gösterdikleri gözlenmiştir. İlk grup 150 °C, ikinci grup 220 °C ve üçüncü grup 260 °C civarındadır (Şekil 6.1). Beş farklı örnek 279 °C ve 350 °C'ye aralığında değerlere kadar ısıtılmış ancak kapanımlar bu sıcaklıklara erişildiğinde bozulmuştur (decrepitation). Örneklerdeki 2 fazlı (sıvı+gaz) kapanımların bazıları sıvı azot kullanılarak dondurulmuş ve ergime sıcaklıkları (T_m °C) ölçülmüş, Bodner (1993)'in eşitliği kullanılarak bunlara karşılık gelen % NaCl eşdeğerleri hesaplanmıştır (Çizelge 6.2). Buna göre tuzluluk değerleri 0,7 ile 2,4 arasında değişmektedir. T_m değerleri de -1,4 ile -0,4 °C arasındadır.

6.3 Acep Ocağı

Acep örneklerinde hem şeffaf hem de yarı-şeffaf kristalli kesimler izlenmiştir. Şeffaf kristalli kesimler, yarı-şeffaf kristalli kesimlere göre daha prizmatik şekilli ve küçük tane boyutundadır. Yer yer örnekte deformasyonlar (uzamalar, üçgen şekilli kopmalar) görülmektedir. Her iki kristalli kesimde de sıvı kapanım çalışmaları yapılmıştır. Yarı şeffaf kesimlerde nispeten az bollukta birincil ve orta bollukta ikincil kökenli kapanımlara rastlanmıştır. Birincil kökenli kapanımların çoğunluğunu tek fazlı (sıvı) kapanımlar oluşturmaktadır. İki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar ise oldukça az miktarda izlenmiştir. Birincil kökenli 2 fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda çoğunlukla sıvı fazın gaz faza oranı fazla olup, kapanımlar sıvı faza homojenleşmiştir. Ölçüm yapılan sıvı kapanımların boyutları 2–28 mikron arasında değişmektedir. Örnekte yer yer boyunlanma (necking down) olmuş kapanımlar gözlenmiştir.

Yapılan 8 adet ölçümden elde edilen sıcaklıklarının 97–203 °C arasında değiştiği izlenmektedir. 3 adet T_m (°C) değeri 0,0, -0,8 ve -0,8 şeklinde elde edilmiştir. Buna göre, yarı-şeffaf kesimi oluşturan eriyiğin tuzluluğu % 0-% 1.39 NaCl eşdeğeri arasında değişmektedir (Çizelge 6.2).

Şeffaf kesimler küçük kristalli olup, izlenebilen kapanımların boyutları da küçüktür. Nispeten az bollukta birincil ve ikincil kökenli kapanımlara rastlanmıştır. Birincil kökenli kapanımların çoğunluğunu tek fazlı (sıvı) kapanımlar oluşturmaktadır. İki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar ise oldukça eser miktarda izlenmiştir. Birincil kökenli 2 fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda çoğunlukla sıvı fazın gaz faza oranı fazla olup, kapanımlar sıvı faza homojenleşmiştir. Ölçüm yapılabilen sıvı kapanımların boyutları 2-8 mikron arasında değişmektedir.

Şeffaf kristallerde yapılan mikrotermometrik ölçümler sonucu 2 adet sıcaklık değeri (T_h °C) elde edilmiştir. Bu sıcaklıklar sırasıyla 289 ve 292 °C' dir. Bu şekilde şeffaf ve yarı şeffaf örneklerle göre 140 ve 290 °C olmak üzere iki farklı homojenleşme sıcaklığına ait grubu ortaya çıkarmaktadır (Şekil 6.1). İki fazlı (sıvı) kapanımlar sıvı azot kullanılarak dondurulmuş ve 2 adet ergime sıcaklık değeri (T_m °C) 0 ile -0,9 olarak ölçülmüştür. Elde edilen 2 adet T_m (°C) sonucuna göre, şeffaf kristalli kesimi oluşturan eriyiğin tuzluluğu % 0-% 1.57 NaCl eşdeğeri arasında değişmektedir (Çizelge 6.2).

6.4 Sıvı Kapanım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bigadiç borat yataklarına ait örneklerde ölçülen homojenleşme sıcaklıklarında oldukça yüksek değerler (Şekil 6.1) elde edilmiştir. Sedimenter koşullarda oluşan borat minerallerinin oluşum sıcaklıkları göz önüne alındığında, bu yüksek sıcaklıkların kaynağının açıklanması problemi ortaya çıkmaktadır. Bilindiği üzere üleksit 25°C, kolemanit 38°C'de oluşmaktadır. Boraksın dönüşüm ürünleri olan kernit sıcaklığın 58,5°C'ye, tinkalkonit ise 60,8°C'ye erişmesi halinde ortaya çıkmaktadır. Diğer borat mineralleri de 25–45°C de oluşmaktadır (Bowser 1964). Genel olarak söylenirse borat minerallerinin oluşum sıcaklıkları 25–60,8°C arasındadır.

Bigadiç boratlarının sıvı kapanımları daha çok birincil kökenli tek faz (sıvı) kapanımlardır. Tek fazlı (sıvı) kapanımların iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlardan çok daha fazla oluşu ortamda sıcaklığın genel olarak 100°C hatta 65 °C'nin altında olduğunu göstermektedir (Roedder 1984). Gerek çökeltme ortamında oluşan minerallerin ve

gerekse tek fazlı (sıvı) kapanımların işaret ettiği düşük sıcaklıklara rağmen Bigadiç örneklerinde birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan ölçümlerde yüksek homojenleşme sıcaklıkları (Şekil 6.1) elde edilmiştir. Ayrıca borat minerallerinin kil içeriklerine (Bölüm 5.3.1) göre oluşumun ya birkaç yüz °C ya da düşük sıcaklıklarda olmak şartıyla çok uzun zamanda gerçekleşebileceği de bildirilmiştir (Krauskopf 1989).

Elde edilen yüksek homojenleşme sıcaklıkları yok sayılamayacağına göre; jeolojik ortam, mineralojik bileşim (borat ve kil mineralleri) ve sıvı kapanım verilerinden yararlanılarak yapılacak en uygun açıklamaya ihtiyaç vardır.

Kolemanit üst ve alt boratlı zonlarda muhtemelen tortul-su ara yüzeyinin altında, pekişmemiş tortullar içinde, tortullaşmayla yaşıt olarak doğrudan doğruya çözeltilerden oluşmuştur ve yumrular tortulların pekişmesine koşut olarak büyümelerini sürdürmüşlerdir. Üleksit oluşumu da kolemanite benzer şekilde Na konsantrasyonu arttığı evrelerde gelişmiştir (Helvacı ve Alaca 1991). Borat oluşum ortamı volkanik aktivitelerin sürekli aktif olduğu bir göl ortamıdır. Helvacı ve Alaca (1991) bu göl ortamını volkanik bakımdan etkin sahalarda gelişmiş ayrık ve birbirleriyle bağlantılı olabilen playa gölleri olarak tanımlamışlardır. Yataklar tüf, tüfit, kiltaş, marn ve kireçtaşları ile ara katkılıdır. Bu bilgilere göre Bigadiç boratlarında birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlardan elde edilen yüksek sıcaklık değerleri borat kristalleşmesi sırasında oluşuma katılan hidrotermal çözeltileri işaret edebilir. Kristalleşme sürecinde meydana gelen kırık ve çatlaklar mineralin içinde bulunduğu çözeltilerin sızarak ikincil kapanım gibi hapsolmalarını sağlayabilir. Bunlar aslında kristal büyümesi ile aynı dönemde oluştuklarından gerçekte birincil kapanımlardır ve yarı ikincil (pseudo secondary) kapanımlar olarak tanımlanırlar (Roedder 1984).

Bigadiç boratlarının tuzluluk değerlerini bulmak için iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarından bazıları sıvı azot kullanılarak dondurulmuş ve ergime sıcaklıkları (T_m °C) ölçülmüştür. Ölçülen ergime sıcaklığı değerlerinden bunlara karşılık gelen % NaCl değerleri Bodnar (1993)'ın eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.2). Buna göre Tülü ocağı kolemanitleri üzerinde yapılan ölçümlerde tuzluluk % 0,53–2,74,

Simav ocağı kolemanitlerinde % 0,7–2,41 ve Acep ocağı üleksitlerinde ise % 0–1,57 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Bigadiç boratlarının tuzluluk değerlerinin çok düşük olduğunu göstermektedir. Ortamda tespit edilen düşük tuzluluk değerleri sulu akışkanların çok düşük miktarda çözünen madde içerdii anlamına gelmektedir (Gasca *et al.* 1998).

7. ELEKTRON PARAMANYETİK REZONANS (EPR) İNCELEMELERİ

Mn geçiş elementleri grubunda yer alan kübik kristal yapıda olan bir elementtir. Bu element ve oluşturduğu bileşikler üzerine, çeşitli analiz yöntemleri kullanılarak çalışmalar yapılmış ve çalışmalar devam etmektedir. Fiziksel açıdan yapılan çalışmalarda birçok analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bu kullanılan yöntemlerden biri de Elektron Spin Rezonans (ESR) yöntemi olup bu yöntem kullanılarak örneklerin manyetik özellikleri incelenmiştir.

ESR tekniğinin temelinde spin manyetik momentine sahip bir malzemenin, manyetik alan ile etkileşmesini inceler. Klasik olarak dairesel bir yörüngede hareket eden elektron, proton'a (protonun sahip olduğu manyetik moment çekirdek manyetik momentini olarak adlandırılır) bir manyetik moment eşlik eder. μ spin manyetik momentine sahip bir elektron, \vec{H} manyetik alanı içerisine konulduğu zaman manyetik alan ile manyetik moment arasında meydana gelen etkileşme sonrasında elektrona bir enerji aktarılması olur. Bu enerji,

$$E = - \vec{\mu} \cdot \vec{H}_0$$

şeklinde ifade edilir. Burada μ , $\gamma m_s (h/2\pi)$ şeklinde ifade edilen elektron spin manyetik momentidir. Bu enerji ifadesinin Hamiltonyen operatörü cinsinden yazılması benzer şekilde

$$\vec{H} = - \vec{\mu} \cdot \vec{H}_0$$

biçiminde yazılır. Biz buradaki ESR çalışmalarımızda genel olarak teorik bazda,

$$\vec{H} = \beta \vec{H} \cdot \vec{g} \cdot \vec{S} + a \vec{s} \cdot \vec{I} + \vec{S} \cdot \vec{D} \cdot \vec{S}$$

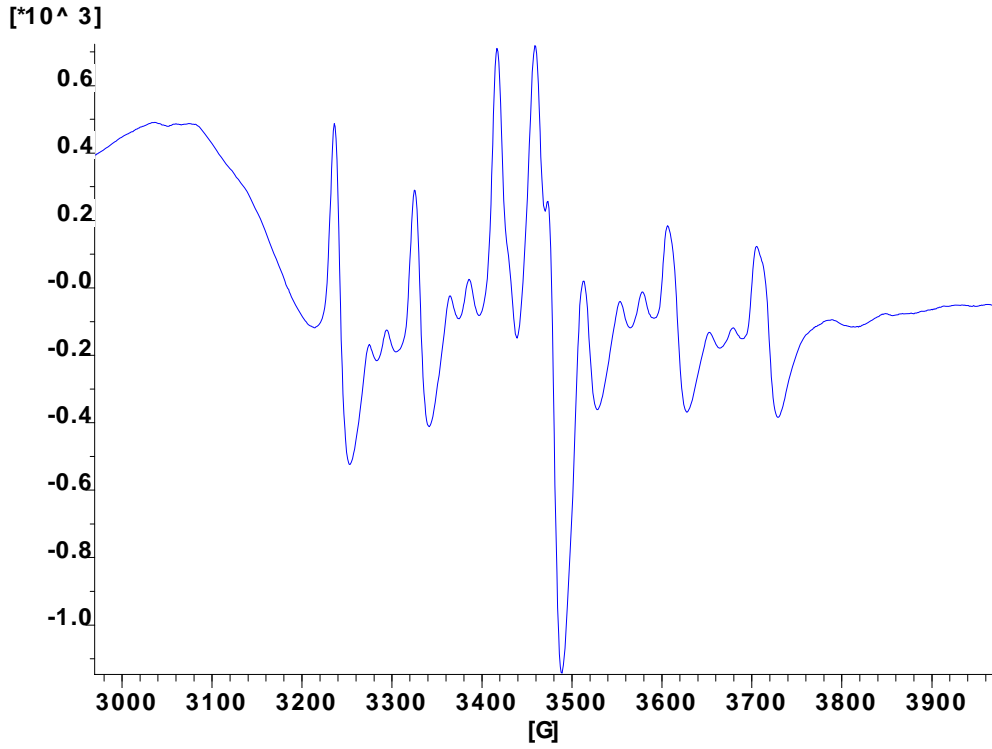
şeklinde ifade ettiğimiz spin hamiltonyen operatör ifadesi kullanılır. Burada β ile gösterilen elektronun Bohr magnetonu olarak adlandırılır ve serbest elektron için $927,400 \cdot 949 \times 10^{-26}$ J/T sabit değerine sahiptir. g ile gösterilen parametre ile spektroskopik yarıma faktörü olarak adlandırılır. Farklı manyetik yapılarda çiftlenmemiş elektronların farklı g – faktörlerine sahip olmasından dolayı g - faktörü ESR'de önemli bir parametredir. S , spin açılal momentum vektörü, a ise aşırı ince yarıma sabiti, D sıfır alan yarıma parametresi olarak adlandırılır. ESR çalışmalarında

Spin Hamiltonyen parametreleri önemlidir. Çünkü deneysel olarak elde edilen ESR spektrumları genel olarak bu ve benzeri Spin Hamiltonyen parametreleri ile karakterize edilirler (Atherton 1973).

ESR tekniği ile madde içindeki manyetik merkezin yani Mn^{2+} den kaynaklanan serbest radikalın manyetik alan ile etkileşme parametrelerini vermesi dolayısıyla sistemin içyapısı hakkındaki önemli manyetik bilgiler vermesinden dolayı çok önemlidir (Keeble *et al.* 2005). Mn ve bileşikleri üzerine Keeble ve arkadaşları tarafından 1995 yılında yapılmış çalışmada (Keeble *et al.* 1995) Mn iyonuna ait ESR pikleri tespit etmişlerdir. ESR kullanılarak yapılan diğer çalışmalardan biri de midyeler üzerinde yapılmış (Ch. Linga Raju *et al.* 2002). Bu araştırma sonucunda midye kabuklarında Mn iyonları ve bu iyonların sıcaklıkla değişiklik gösterdiği, Mn'nın radikal özellikleri manyetik öneme sahip olduğu için bulunmuştur. Bazı araştırmalarda mangani katkılayarak yeni özelliklerde malzeme üretim çalışmaları yapılmıştır (Vijay Singh *et al.* 2008). Yukarıda belirtilen çalışmalarda görüldüğü gibi, manganın demir çelik sanayisi dışında önemli teknolojik kullanım alanları da mevcut olup bu konu üzerinde çalışmalar hala devam etmektedir.

Sunulan tez kapsamında Bigadiç boratlarından alınan kolemanit ve üleksit numunelerinde doğal olarak veya radyasyonun oluşturacağı etkiler ve maruz kalınan ışığa sonucunda yapı içinde paramagnetik bir yapının oluşup oluşmayacağı ESR tekniği kullanılarak incelenmiştir. Değişik bölgelere ait numuneler 3 gün boyunca oda sıcaklığı civarında, gamma kaynağına maruz bırakıldı. Örneklerin incelenmesi, TAEK'in SANAEM ESR laboratuvarlarında Bruker model EMX081 EPR (ESR) spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerden alınan ESR spektrumları incelendiğinde ve bu spektrumlar literatür ile karşılaştırıldığında örneklerin tümünde Mn^{+2} iyonunun varlığı ortaya çıkmaktadır. Mn elementi +5/2 çekirdek spinine (I) sahip olmasından dolayı spektrumlarında 12 seviye izinli ve 6 tane soğurma pik'i görülmesi gerekmektedir. Örneklerimizi ele aldığımızda,

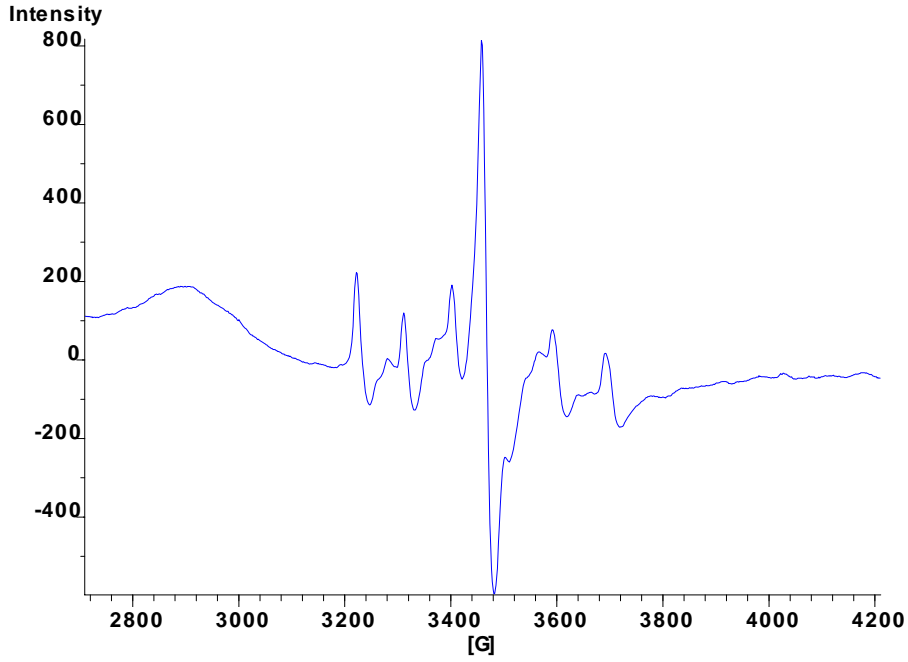
SS1-7:



Şekil 7.1 SS1-7 kolemanit örneğine ait EPR spektrumu

SS1-7 örneği ^{60}Co - γ radyasyon kaynağında 48 saat ışınlamaya maruz kaldı. Daha sonra Bruker model EMX081EPR (X-band) spektrometresi ile örneklerin spektrumları alındı. ESR spektrumları karakteristik Mn^{2+} spektrumları vermektedir. Örnekler oda sıcaklığında $H= 3350\text{G} - 3700\text{G}$ büyüklüğündeki alternatif bir manyetik alan ile tarandı. Şekil6.1'de görüldüğü gibi $+5/2$, $+3/2$, $+1/2$, $-1/2$, $-3/2$, $-5/2$ yarımları gözlemlendi. Dolayısıyla da spektrumda 6 adet soğurma pik'i bulunmaktadır. Spektrumlar $\Delta M_I=0$, $\Delta M_S= +1/2, -1/2$ izinli geçişleri, ayrıca $\Delta M_I \neq 0$ kuralı gereği 8 tane yasak geçişe ait spektrumda pik görülmektedir. Bu yasak geçişler SS1-7 örneğinde görüldüğü halde AS1-1, AS1-2 ve AS2-8 örneklerinde görülmedi. Örneğe ait spektroskopik yarımlama sabiti $g = 2,0080$ ve aşırı ince yapı (hyperfine structure) sabiti $a= 93$ Gauss civarında bulundu. Spektrumda Mn soğurma pikleri arasındaki mesafelerin eşit bulunmamasının sebebi malzeme içinde bulunan diğer manyetik yapıların radikal yapı üzerinde az da olsa etkileyici bir duruma sahip olduklarını göstermektedir. Ayrıca literatür ile yapılan karşılaştırmalarda, malzeme üzerine yapmış olduğumuz analizin literatür ile uyumlu olduğu görüldü(Linga Raju *et al.* 2002).

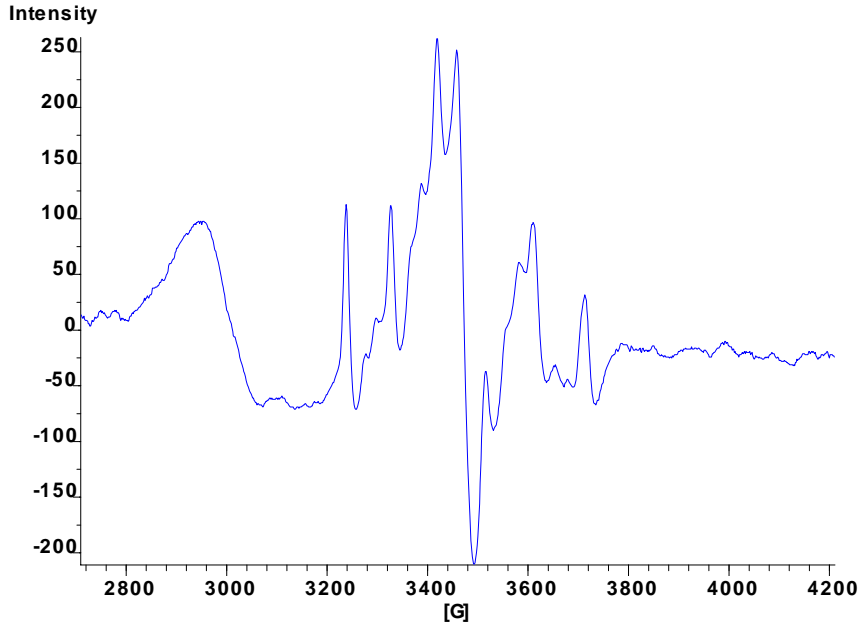
AS1-1:



Şekil 7.2 AS1-1 üleksit örneğine ait EPR spektrumu

AS1-1 örneği $^{60}\text{Co}-\gamma$ radyasyon kaynağında 48 saat ışınlamaya maruz kaldı. Daha sonra Bruker model EMX081EPR (X-band) spektrometresi ile örneklerin spektrumları alındı. AS1-1 örneğine ait spektrumlar detaylı incelendiğinde Mn^{+2} 'ye ait manyetik moment ile manyetik alanın etkileşmesi sonucu 6 tane soğurma pikinin oluştuğu görüldü (Şekil 7.2). Bu 6 pik Mn atomunun çekirdek spininin $I=5/2$ olması ve manyetik alan ile etkileşince $M_I = \pm 5/2, 3/2$ ve $\pm 1/2$ seviyelerine yarılması sonucu oluştuğu sonucuna varıldı. Burada $\Delta M_I = 0$ ve $\Delta M_S = \pm 1/2$, ile ifade edilen geçiş kuralları gereği izinli geçişler olarak meydana geldiği sonucuna varıldı. Bu örnekte yasak geçişler gözlenmedi. Mn^{+2} 'nin oluşturduğu manyetik merkeze ait spektroskopik yarıлма sabiti $g=2,0155$ ve izotropik etkileşme sabiti ise $a \approx 94$ Gauss olarak ölçüldü.

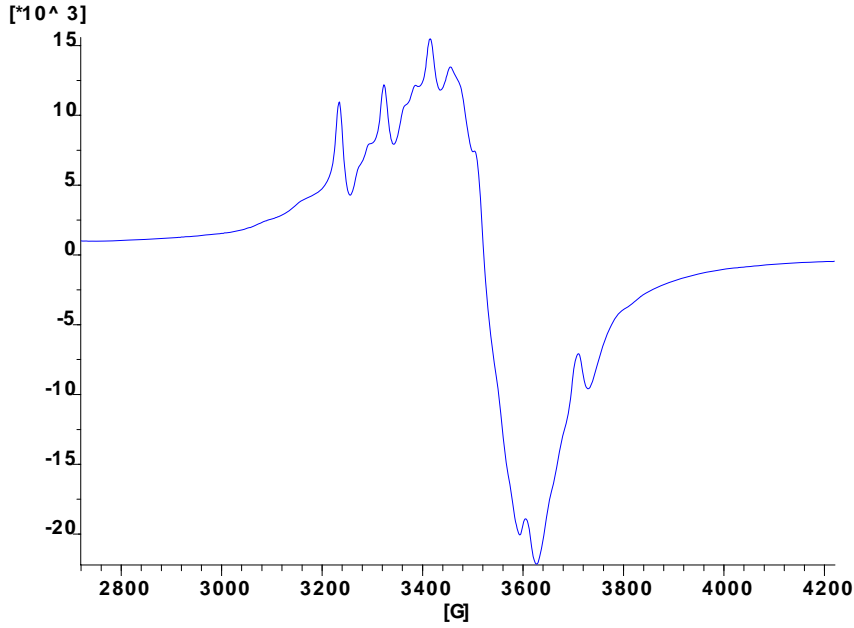
AS1-2:



Şekil 7.3 AS1-2 üleksit örneğine ait EPR spektrumu

AS1-2 örneğine ait spektrumlar detaylı incelendiğinde Mn^{+2} 'ye ait manyetik moment ile manyetik alanın etkileşmesi sonucu 6 tane soğurma pikinin olduğu görüldü (Şekil 6.3). Bu 6 pik Mn atomunun çekirdek spininin $I=5/2$ olması ve manyetik alan ile etkileşince $M_I = \pm 5/2, 3/2$ ve $\pm 1/2$ seviyelerine yarılması sonucu olduğu sonucuna varıldı. Burada $\Delta M_I = 0$ ve $\Delta M_S = \pm 1/2$, ile ifade edilen geçiş kuralları gereği izinli geçişler olarak meydana geldiği sonucuna varıldı. Bu örnekte yasak geçişler gözlenmedi. Mn^{+2} 'nin oluşturduğu manyetik merkeze ait spektroskopik yarıma sabiti $g=2,0158$ ve izotropik etkileşme sabiti ise $a \approx 93$ Gauss olarak ölçüldü.

AS2-8:



Şekil 7.4 AS2-7 üleksit örneğine ait EPR spektrumu

AS2-7 örneğine ait spektrumlar detaylı incelendiğinde Mn^{+2} 'ye ait manyetik moment ile manyetik alanın etkileşmesi sonucu 6 tane soğurma pikinin oluştuğu görüldü. Bu 6 pik Mn atomunun çekirdek spininin $I=5/2$ olması ve manyetik alan ile etkileşince $M_I = \pm 5/2, 3/2$ ve $\pm 1/2$ seviyelerine yarılması sonucu oluştuğu sonucuna varıldı. Burada $\Delta M_I = 0$ ve $\Delta M_S = \pm 1/2$, ile ifade edilen geçiş kuralları gereği izinli geçişler olarak meydana geldiği sonucuna varıldı. Bu örnekte yasak geçişler gözlenmedi. Mn^{+2} 'nin oluşturduğu manyetik merkeze ait spektroskopik yarıma sabiti $g=2,0133$ ve izotropik etkileşme sabiti ise $a \approx 95$ Gauss olarak ölçüldü. ESR spektrumları alınan bu malzemelere ait spektrum parametreleri aşağıda çizelge şeklinde verilmektedir.

Çizelge 7.1 Örneklerin ESR parametreleri

Örnek	g - Parametresi	a – Aşırı İnce Yapı Sabiti	D parametresi
SS1-7	2,0164	93,77	39,50
AS1-1	2,0155	93,95	42,00
AS1-2	2,0158	93,07	42,00
AS2-8	2,0133	94,98	38,00

Örneklere ait spektroskopik ESR parametreleri Çizelge 7.1’de görülmektedir. Çizelge 7.1’de görüleceği gibi her bir numune farklı bir g parametresi ile karakterize edilmektedir. Sıfır alan parametrelerinden E ve D ölçülmeye çalışılmıştır. Bunlardan D parametresi ölçüldüğü halde E parametresi spektrumların superpoze olup ters fazda birbirlerini söndürmeleri sonucu ölçülememiştir.

8. BİGADİÇ BORAT YATAĞININ JEOKİMYASI

Batı Anadolu borat yataklarının jeolojisi ve mineralojisi ile ilgili deyatlı çalışmalar (Meixner 1952, 1953, 1956, Helke 1955, Özpeker 1969, Özpeker ve İnan 1978, Helvacı 1983, 1995, Helvacı ve Alaca 1984, 1991, Helvacı ve Dora 1985, Helvacı and Orti 1998, Helvacı and Alonso 2000) bulunmasına karşılık boratların jeokimyasal özelliklerini açıklayan kapsamlı araştırmalar henüz başlangıç aşamasındadır. Bugüne kadar yapılan jeokimyasal çalışmaların cevherleşmeyle ilişkili olduğu kabul edilen volkanitlerde sınırlı olduğu görülmektedir (Özpeker 1969, Helvacı *et al.* 1993, Helvacı and Alonso 2000). Borat yataklarından alınan kil örneklerinin lityum içerikleri ise Koçak (1969) ve Helvacı *et al.* (2004) tarafından incelenmiştir. Cevherleşmenin ana ve eser element jeokimyasını ele alan ilk kapsamlı çalışma Koç vd. (2007) tarafından başlatılmış olup, Kestelek Borat yataklarını konu alan bu proje içerisinde bir yüksek lisans tezi (Kavrazlı 2007) ve bir TÜBİTAK raporu (Koç vd. 2008) tamamlanmıştır. Ayrıca sonuçlar ulusal ve uluslar arası bilimsel toplantılarda sunulmuş ve sonuç kitaplarında basılmıştır (Koç vd. 2008a,b).

Bigadiç borat yataklarının jeokimyasal özellikleri de ilk defa Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) tarafından desteklenmekte olan bu araştırmada incelenmektedir. Bigadiç yataklarının birbirlerinden üst tuf birimi ile ayrılan alt ve üst boratlı birim içinde iki kuşak halinde bulunduğu bilinmektedir. Helvacı ve Alaca (1991)'ya göre alt boratlı birim 35–130 metre, üst boratlı birim ise 20–110 metre arasında değişmektedir. Bigadiç cevherleşme alanında yer alan Simav, Acep ve Tülü ocakları havzanın değişik ortamsal şartlarını temsil etmektedir. Mineralojik incelemelerde Tülü ocağında Kolemanit, Simav'da kolemanit +üleksit ve Acep'te uleksit mineralleri tespit edilmiştir. Bu husus dikkate alınarak jeokimyasal incelemelerde söz konusu üç farklı bölge önce ayrı ayrı ele alınmış ve sonrasında tüm havzanın özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. İncelemelerde derinliğe bağlı değişimleri de görebilmek için Etibank tarafından yapılmış sondaj örnekleri kullanılmıştır.

Bigadiç borat yataklarının farklı üç kesimine ait sondaj örneklerinden ana ve eser ve nadir toprak elementleri analizleri yapılarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Bu şekilde

elementlerin bolluk oranları yerkabuğu, göl suları ve andezit ortalamalarına göre tartışılmış korelasyonları yapılarak benzer hareket eden element grupları belirlenmiştir.

8.1 Bigadiç Borat Yatağının Ana Element Bollukları

Bigadiç boratlarına ait ana element bollukları, değişim aralıkları, ortalama değerleri ile yerkabuğunda, andezitlerde ve göl sularında bulunan ortalama değerleri Tülü ocağı için Çizelge 8.1, Simav ocağı için Çizelge 8.2 ve Acep ocağı için Çizelge 8.3'de verilmektedir.

Çizelge 8.1 Tülü ocağı örneklerine ait ana element jeokimyası sonuçları

ÖRNEK	Derinlik	Ca(ppm)	Si (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	Al (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	P (ppm)	S (ppm)	TOT/C %	TOT/S %	LOI %	SUM %
TS2-1	39,5	195300	9255,29	3900	50	200	6	200	30	1	0,1	<0,02	0	27,21
TS2-2	40	197900	7525,77	2200	30	100	1	1	20	1	0,04	<0,02	0	28,17
TS2-3	41	201700	3459,05	2400	40	300	4	300	20	1	0,04	<0,02	0	27,2
TY1	(102 KOT)	199400	2477,43	1500	50	1	0,9	1	1	100	0,13	<0,02	0	27,94
TS2-4	44,5	187300	22811,02	12300	50	1300	26	800	70	600	0,26	0,07	0	32,63
TY2	98(KOT)	219100	38937,67	24200	110	800	164	200	90	600	2,46	0,03	0	39,47
TS2-5	45,5	175200	5328,80	4500	50	100	9	100	30	1	0,57	<0,02	0	36,29
TS2-6	46,5	190400	13976,43	7400	20	300	11	200	30	1	0,27	<0,02	0	30,53
TS2-7	47,6	200000	15939,67	9000	50	300	24	200	30	1	0,94	0,02	0	33,23
TS2-8	48,7	156100	76753,48	39300	60	1400	92	800	60	600	1,54	0,07	0	47,56
TY3	93(KOT)	192700	6590,89	4600	50	100	0,9	1	40	100	0,12	<0,02	0	26,5
TS2-9	52	155300	107697,95	14900	50	200	31	200	30	1	0,77	0,02	0	47,12
TS2-10	53	187700	9442,27	5800	10	200	3	200	20	1	0,07	<0,02	0	27,38
TS2-11	54	192300	11125,05	6200	20	200	4	200	50	1	0,1	<0,02	0	29,99
TS2-12	54,2	178800	16360,37	9300	20	200	5	200	20	1	0,12	<0,02	0	29,67
TS2-13	55	244000	5001,60	3800	50	1	36	200	20	1	2,99	<0,02	0	33,12
TS2-14	56,6	231800	327,21	2400	30	1	31	200	10	1	2,24	<0,02	0	32,14
TS2-15	59	203700	1823,01	700	1	1	0,5	200	1	1	0,08	<0,02	0	27,12
TS2-16	59,8	210200	5328,80	3400	10	100	20	200	20	1	0,7	<0,02	0	30,08
TS2-17	60	175500	13135,04	7600	20	300	8	300	50	1	0,25	<0,02	0	29,63
TS2-18	62,8	216300	31271,67	6500	50	300	49	100	50	1	2,34	0,05	0	37,44
TS2-19	63,8	202100	13041,55	7500	40	600	30	100	70	1	0,79	0,03	0	32,35
Ortalama		196036,36	18982,27	8154,55	39,14	318,36	25,29	222,86	34,64	91,68	*	*	*	*
Std Sapma		21259,56	25947,61	8709,09	23,20	384,84	37,69	204,39	23,10	208,75	*	*	*	*
(1)Kabuk ortalama		41000	282000	23000	24000	81000	1000	54000	1100	300	*	*	*	*
(2)Andezit Ortalama		46500	260000	21800	30000	88500	1200	58500	1600	200	*	*	*	*
(3)Tathsu Ortalama		1,8-49,29;13,22	5,33	0,8-15,07;3,64	1,15-36,78;5,28	<30.10 ⁻³	4,99 .10 ⁻³	<30.10 ⁻³	*	*	*	*	*	*

(1). Krauskopf, K. B. 1989, (2). Schroll, E. 1975, (3). Abollino, O., *et al.* 2004.

Çizelge 8.2 Simav ocağı örneklerine ait ana element jeokimyası sonuçları

Örnek no	Derinlik	Si (ppm)	Ca (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	P (ppm)	Al (ppm)	Mn (ppm)	S (ppm)	TOT/C %	TOT/S %	SUM %
SS2-2	149	4767,88	186100	30	2600	40	1	0,9	300	0,36	0,05	29,40
SS2-3	158,5	9068,32	196400	67010	5500	20	100	9	4100	0,31	0,15	28,31
SS2-4	163	13322,01	97200	49970	5800	1	1	6	0,001	0,08	<0,02	24,23
SS2-5	167,5	2898,12	100700	48590	5000	1	1	8	0,3	0,41	<0,02	23,34
SS2-6	176,5	3692,77	3692,77	66930	2600	1	100	0,9	1700	0,05	0,03	22,65
SS2-7	179	3318,82	3318,82	120	2200	10	100	1	1000	0,08	0,05	22,40
SS2-8	185,5	9675,99	181000	40	5800	1	1	5	0,5	0,21	<0,02	26,83
SS2-9	192	9255,29	9255,29	90	7100	50	200	2	300	0,29	0,01	27,84
Ortalama		6999,90	97208,36	29097,50	4575	15,5	63	4,1	925,10	*	*	*
Std Sapma		3832,00	84574,64	31746,01	1846,04	19,57	73,92	3,34	1415,91	*	*	*
(1)Kabuk ortalama		282000	41000	24000	23000	1100	81000	1000	300	*	*	*
(2)Andezit Ortalama		260000	46500	30000	21800	1600	88500	1200	200	*	*	*
(3)Tatlısu Ortalama		5,33	1,8-49,29;13,22	1,15-36,78;5,28	0,8-15,07;3,64	*	<30.10 ⁻³	4,99 .10 ⁻³	*	*	*	*

(1). Krauskopf, K. B. 1989, (2). Schroll, E. 1975, (3). Abollino, O., *et al.* 2004.

Çizelge 8.3 Acep ocağı örneklerine ait ana element jeokimyası sonuçları

Örnek no	Derinlik	Si (ppm)	Ca (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	P (ppm)	Al (ppm)	Mn(ppm)	S (ppm)	TOT/C %	TOT/S %	SUM %
AS2-1	75,5	3365,56	101900	50960	2400	1	1	2	1	0,03	<0.02	22,41
AS2-2	76,5	12246,90	97600	47410	7100	1	1	10	1	0,12	0,02	24,71
AS2-3	81,5	2711,15	102300	51400	1600	1	1	0,01	1	0,03	<0.02	22,25
AS2-4	87,5	10470,63	124700	42660	5800	20	100	23	1	1,44	<0.02	28,29
AS2-5	101	39031,16	184000	32800	21800	70	200	43	1	3,81	0,02	41,98
AS2-6	111	8413,90	93900	54520	4900	1	1	0,9	200	0,04	0,02	23,99
AS2-7	113,5	10143,43	103800	63550	6400	1	1	0,9	200	0,10	<0.02	25,04
AS2-8	127,5	52680,38	142000	36630	31100	30	1	64	1	2,88	0,02	42,45
AS2-9	133	11125,05	83600	48180	6000	1	1	1	700	0,01	0,02	25,36
AS2-10	134	8787,85	95700	54030	5300	10	1	1	1900	0,09	0,02	23,25
AS2-11	135,5	7899,72	99900	58980	4900	1	1	0,9	1800	0,04	0,02	23,18
AS2-12	143	13041,55	103900	55890	7700	10	1	5	200	0,41	0,04	27,16
Ortalama		14993,11	111108,33	49750,83	8750,00	12,25	25,83	12,64	417,17	*	*	*
Std. Sapma		15035,10	27499,30	8925,12	8678,24	20,46	61,79	20,65	698,81	*	*	*
(1)Kabuk ortalama		282000	41000	24000	23000	1100	81000	1000	300	*	*	*
(2)Andezit Ortalama		260000	46500	30000	21800	1600	88500	1200	200	*	*	*
(3)Tatlısu Ortalama		5,33	1,8-49,29;13,22	1,15-36,78;5,28	0,8-15,07;3,64	*	<30.10 ⁻³	4,99 .10 ⁻³	*	*	*	*

(1). Krauskopf, K. B. 1989, (2). Schroll, E. 1975, (3). Abollino, O., *et al.* 2004.

Ana elementler çokluk sırasına göre Tülü örneklerinde Ca(%19,6), Si (%1,9), Mg(%0,8), Al(318ppm), Fe(223ppm), S(92ppm), Na(39ppm),P(35ppm) ve Mn(25ppm); Simav örneklerinde Ca(%9,7) Na(%2,9), Si(%7), Mg(%4,6), S(925ppm), Al(63ppm), P(15ppm), Mn(4ppm); Acep örneklerince Ca(%11), Na(%4,5), Si(%1,5), Mg(%0.87), S(417ppm), Al(26ppm), Mn(12,6ppm) ve P(12ppm) şeklinde sıralanmaktadır.

Simav ve Acep örnekleri bolluk sıralamasında birbirine benzemekte fakat Tülü’de bazı farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu farklılığın en önemlisi şüphesiz Na’un Tülü’de 39 ppm lik bir değerde iken, Simav’da %2,9 ve Acep’te %4,5 değerinde olmasıdır. Ayrıca Simav ve Acep’te bulunmayan Fe’in Tülü’de 223 ppm’lik varlığı da görülmektedir.

Mineralojik olarak kolemanitlerden oluşan ve alt borat zonunu temsil eden Tülü kesiminde %19,6 olan Ca miktarı, hem kolemanit hem de uleksitin bulunduğu üst boratlı zonu oluşturan Simav’da %9,7ye ve Acep’te %11’e düşmektedir. Buna karşılık Na değerleri Simav’da %2,9, Acep’te %4,5 değerinde iken Tülü’de sadece 39 ppm kadardır. Ayrıca Mg değeri de Simav’da %4,6, Acep’te %0.87, Tülü’de %0,8 değerindedir. Borat oluşum ortamında özellikle Ca, Na ve Mg gibi katyonlar önemlidir. Bowser (1964) ve Christ *et al.* (1967) Na₂O /CaO oranlarının mineral oluşturmada ki önemlerini ortaya koymuştur. Buna göre Eskişehir yöresi boratları üyesi üzerinde çalışan bazı araştırmacılar (Baysal ve Ataman 1975, İnan 1975, Sunder 1980) Na₂O /CaO oranları %5–95 arasında olanları %5in altında kalanları Ca-boratlar, %5–95 arasında olanları Na-Ca boratlar ve %95’in üzerindeki ise Na-boratlar olarak ayırt etmişlerdir. Benzer bir çalışma Kestelek boratlarına da uygulanmıştır (Kavrazlı 2007, Koç vd. 2008).

Bigadiç boratları Na/Ca oranlarına göre değerlendirilir ve Tülü kesiminde oran %5’in çok altında sifıra yakın bir değerdedir ki bu (Ca)-boratlara karşılık gelmektedir. Simav’da oran %30, Acep’te ise %40 olup, bunlar da (Na-Ca)-boratları işaret etmektedir.

Mineralojik bileşenlerde belirleyici olan Ca, Na ve Mg'un dışındaki ana elementlerin oranının farklı kesimlerindeki bolluğu karşılaştırıldığında; Si, Al, Mn ve P'un alt boratlı zonda (Tülü) daha fazla, S'ün ise üst boratlı zonda(Simav +Acep) daha fazla olduğu görülmektedir (Çizelge 8.1–8.3).

Ana elementler yer kabuğu, andezit ve tatlı su ortamlarıyla karşılaştırılarak Bigadiç borat çökelme ortamındaki element azalma ve çoğalmaları belirlenmiştir.

Alt boratlı zon(Tülü) örneklerinde sadece Ca'da her üç ortalama değerlerine göre de artma kaydedilmiştir. Tatlısu ortalamalarına göre Ca gibi diğer elementlerde de çok yüksek artma katsayıları belirlenmiştir. Ca yerkabuğu ortalamasına göre 4,8 kez artış göstermiştir. Çizelge 8.1'de yer alan diğer elementler ise (Na, Mg, Si, Al, Mn, Fe, S) yerkabuğu ve andezit ortalamalarına göre azalmışlardır.

Azalma katsayıları; birinci rakam yer kabuğu, ikinci rakam andezitler olmak üzere Si 14,9–13,7, Mg 2,8–2,7, Na 613,2–766,6, Al 254,4–278,0, Mn 39,5–47,5, Fe 242,3–262,5, P 31,8–462 ve S 3,3–2,2 şeklindedir.

Üst boratlı zonda (Simav+Acep) tüm elementlerde alt boratlı zonda olduğu gibi tatlı su ortalamalarına göre çok yüksek katsayılı artışlar görülmektedir. Yer kabuğu ve andezit ortalamaları dikkate alındığında ise, Ca, Na ve S'de artış, diğer elementler Si, Mg, P, Al, Mn'da azalma olduğu gözlenmektedir. Ca yerkabuğu ortalamalarına göre Simav'da 2,37 kez, Acep'te 2,71 kez; Na, Simav'da 1.21 kez, Acep'te 1,88 kez ve S Simav'da 3.08 kez, Acep'te 1,39 kez artmıştır. Andezit ortalamalarına göre Ca, Simav'da 2,09 kez, Acep'te 2,39 kez; Na, Acep'te 1,51 kez; S, Simav'da 4,63 kez, Acep'te 2,09 kez artış göstermiştir. Simav'da Na değeri çok az andezit ortalamalarının değeri altındadır.

Üst boratlı zona ait örneklerde, Si, yerkabuğu ortalamalarına göre Simav'da 40,29 kez, Acep'te 18,8 kez; Mg Simav'da 5,03 kez, Acep'te 2,6 kez; P, Simav'da 70,97 kez, Acep'te 89,8 kez; Al, Simav'da 1285,71 kez, Acep'te 3135,5 kez; Mn, Simav'da 243,9 kez Acep'te 79,1 kez azalma göstermişlerdir. Andezit ortalamalarında da benzer sonuçlar alınmış olup; Si Simav'da 37,14 kez, Acep'te 17,3 kez; Mg, Simav'da 4,77

kez, Acep'te; P, Simav'da 103,23 kez, Acep'te 130,6 kez; Al, Simav'da 1404,76 kez, Acep'te 3425,8 kez; Mn, Simav'da 292,68 kez, Acep'te 94,9 kez azalmıştır.

Bu verilerden şu sonuçlar çıkarılabilir:

1. Alt boratlı zonda Ca-boratların, üst boratlı zonda ise Ca-Na boratların çökmesine uygun ortam koşulları bulunmaktadır.

2. Tatlı su ortalamalarına göre analizde çıkan tüm ana elementlerde çok yüksek artışlar bulunmaktadır. Bu da Bigadiç boratlarını oluşturan göl ortamına dış etkenlerle önemli oranda element transfer edildiğini göstermektedir.

3. Alt boratlı zonda, üst boratlı zonda hiç bulunmayan 223,86 ppm değerinde bir Fe katkısı vardır.

4. Si, Mg, P, Al ve Mn her iki zonda da yerkabuğu ve andezit ortalamalarına göre yaklaşık benzer katsayılarla azalma göstermişlerdir.

5. Her iki zonda artış gösteren S ortama ilave edilen hidrotermal bir katkıyı işaret edebilir.

8.2 Bigadiç Borat Yatağının Eser Element Bollukları

Bigadiç boratlarına ait eser element bollukları, değişim aralıkları, ortalama değerleri ile yerkabuğu, andezit ve göl sularında bulunan ortalama değerleri Tülü ocağı için Çizelge 8.4, Simav için Çizelge 8.5 ve Acep ocağı için Çizelge 8.6'da verilmektedir.

Eser elementler çokluk sırasına göre Tülü örneklerinde ppm olarak; Sr(6531,40), Li(124,15), Ba(65,93), Se(32,83), As(12,00), Nb(3,96), Mo(2,89), V(2,50), Cs(1,65), Zr(1,57), Zn(1,53), Sc(1,41), Co(0,70), Rb(0,63), U(0,54), Rb(0,37), Te(0,25), Cu(0,25), Tl(0,22), Y(0,18), Sb(0,01), Cd(0,02), Au(0,002) şeklinde, nadir toprak elementleri de Ce(0,87), La(0,54), Nd(0,34), Pr(0,09), Sm(0,07), Gd(0,06) ve Er(0,04) şeklinde sıralanmaktadır.

Çizelge 8.4 Tülü ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları

ÖRNEK	Derinlik	Mo(ppm)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Co(ppm)	As(ppm)	U(ppm)	Au(ppb)	Sr(ppm)	Cd(ppm)	Sb(ppm)	V(ppm)	Ba (ppm)	Sc(ppm)	Tl(ppm)
TS2-1	39,5	0,73	0,009	0,24	1,1	0,2	9,8	0,3	0,0005	6226	0,02	0,13	3	9,8	1,4	0,3
TS2-2	40	0,24	0,17	0,15	0,6	0,4	9,2	0,1	0,0157	10128	0,0001	0,04	2	8,4	1,7	0,001
TS2-3	41	1,09	0,24	0,36	0,9	0,4	11,3	0,001	0,0021	7790	0,0001	0,08	0,5	5,2	1,5	0,04
TY1	(102 KOT)	0,09	0,1	0,43	0,5	0,3	0,7	0,09	0,0007	5132,10	0,01	0,02	5	9,70	0,3	0,01
TS2-4	44,5	4,63	0,72	1,08	2,5	0,5	22,9	0,5	0,00001	5428	0,02	0,24	4	873,5	2,2	0,13
TY2	98(KOT)	1,91	0,53	0,83	1,8	0,6	7,5	1	0,0015	5032,70	0,05	0,09	6	23,50	0,4	0,51
TS2-5	45,5	1,13	0,14	0,1	0,7	0,5	8,8	0,5	0,0007	9093	0,0001	0,05	0,5	8,7	1,8	0,04
TS2-6	46,5	3,03	0,18	0,21	0,9	0,7	12,6	0,7	0,001	8364	0,0001	0,08	3	8,9	1,8	0,04
TS2-7	47,6	1,16	0,23	0,28	1,3	0,3	12,6	0,4	0,0009	9941	0,01	0,04	2	19,6	1,8	0,08
TS2-8	48,7	11,84	0,9	1,88	7,6	0,5	25,3	3,4	0,0009	5449	0,09	0,25	15	28,3	2	1,25
TY3	93(KOT)	0,27	0,15	0,35	0,3	0,9	1,3	0,1	0,0023	7175,20	0,0001	0,03	4	4,40	0,3	0,05
TS2-9	52	4,03	0,14	0,26	0,8	0,6	14,6	0,3	0,00001	6319	0,03	0,07	2	5,3	1,8	0,17
TS2-10	53	5,79	0,08	0,25	0,8	4	13	0,2	0,00001	6518	0,01	0,15	0,5	63,6	1,5	0,37
TS2-11	54	6,25	0,22	0,27	1,9	0,8	13,3	0,4	0,0003	5748	0,03	0,28	0,5	4,8	1,7	0,26
TS2-12	54,2	3,27	0,17	0,19	1,2	0,3	11,4	0,3	0,0067	5450	0,03	0,14	2	0,7	1,6	0,19
TS2-13	55	0,36	0,04	0,09	0,8	0,9	9,1	0,2	0,00001	6871	0,02	0,03	0,5	6,8	1,3	0,09
TS2-14	56,6	0,3	0,05	0,08	0,6	0,7	8,7	0,2	0,00001	6287	0,02	0,0001	2	219,4	1,5	0,06
TS2-15	59	0,2	0,05	0,07	0,6	0,4	9	0,4	0,0025	3468	0,01	0,001	0,5	43,4	1,9	0,05
TS2-16	59,8	5,8	0,013	0,12	1,6	0,5	11,1	1,7	0,0061	4775	0,05	0,16	0,5	20,5	1,8	0,2
TS2-17	60	2,48	0,16	0,2	1,1	0,5	13,4	0,3	0,00001	10579	0,04	0,09	0,5	13,2	1,7	0,16
TS2-18	62,8	6,58	0,52	0,44	2,5	0,8	18,4	0,5	0,0011	2739	0,03	0,14	0,5	10,2	0,6	0,75
TS2-19	63,8	2,5	0,64	0,41	1,5	0,7	16,1	0,3	0,0007	5178	0,02	0,06	0,5	40,7	0,5	0,27
Ortalama		2,895	0,248	0,377	1,436	0,705	11,823	0,541	0,002	6531,409	0,022	0,099	2,500	64,936	1,414	0,228
Std Sapma		2,958	0,249	0,413	1,504	0,763	5,691	0,735	0,004	2072,910	0,022	0,080	3,244	186,311	0,588	0,291
(1)Kabuk ortalama		1,5	50	12,5	70	22	1,8	2,7	0,003	375	0,15	0,2	110	500	20	0,8
(2)Andezit Ortalama		0,9	35	15	72	10	1,9	1,8	*	800	*	0,2	100	714	20	0,55
(3)Tathsu Ortalama		1.10^{-3}	$1,8.10^{-3}$	$0,2.10^{-3}$	$0,5.10^{-3}$	$0,05.10^{-3}$	2.10^{-3}	$0,05.10^{-3}$	$0,01.10^{-3}$	50.10^{-3}	$0,07.10^{-3}$	$0,1.10^{-3}$	$0,9.10^{-3}$	10.10^{-3}	*	$0,004.10^{-3}$

(1). Krauskopf, K. B. 1989, (2). Schroll, E. 1975, (3). Abollino, O., *et al.* 2004.

Çizelge 8.4 Tülü ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları (devam)

ÖRNEK	Derinlik	Se(ppm)	Te(ppm)	Cs(ppm)	Nb(ppm)	Rb(ppm)	Zr(ppm)	Y(ppm)	Li(ppm)	La(ppm)	Ce(ppm)	Pr(ppm)	Nd(ppm)	Sm(ppm)	Gd(ppm)	Er(ppm)
TS2-1	39,5	32,2	0,27	0,45	1	0,3	0,8	0,12	81,8	0,01	0,01	0,002	0,03	0,005	0,005	0,05
TS2-2	40	31	0,34	0,21	0,5	0,2	3,8	0,09	51,3	0,01	0,01	0,002	0,03	0,005	0,005	0,05
TS2-3	41	32,5	0,28	0,67	0,2	0,7	1,9	0,2	29,3	0,01	0,01	0,002	0,03	0,005	0,005	0,05
TY1	(102 KOT)	34,9	0,1	0,52	0,01	0,1	2	0,02	28,9	1,1	0,01	0,04	0,03	0,005	0,005	0,003
TS2-4	44,5	29,6	0,21	2,74	2,3	2	2,4	0,49	176,9	0,9	2,2	0,21	0,6	0,15	0,15	0,13
TY2	98(KOT)	29	0,16	6,74	0,01	2,2	0,8	0,33	279	0,01	0,8	0,09	0,03	0,005	0,08	0,003
TS2-5	45,5	27,3	0,34	0,62	3,2	0,3	0,001	0,15	89,6	0,1	0,4	0,03	0,03	0,06	0,05	0,05
TS2-6	46,5	32,5	0,32	0,96	2,7	0,5	0,8	0,22	148,8	0,4	0,6	0,04	0,03	0,07	0,06	0,07
TS2-7	47,6	33,6	0,34	1,18	2,9	0,5	2,3	0,14	136,7	0,4	0,6	0,02	0,03	0,06	0,005	0,06
TS2-8	48,7	24	0,2	9,4	1,2	3,7	5,1	0,49	484,8	1,5	1,7	0,18	0,7	0,1	0,13	0,07
TY3	93(KOT)	39,5	0,24	0,78	0,01	0,3	0,1	0,11	72,2	0,01	0,01	0,03	0,03	0,005	0,005	0,003
TS2-9	52	25	0,27	3,47	0,2	0,6	0,6	0,11	227,2	0,01	0,01	0,002	0,03	0,005	0,005	0,04
TS2-10	53	31,9	0,28	0,59	0,2	0,3	0,9	0,1	104,2	0,01	0,01	0,002	0,03	0,005	0,005	0,05
TS2-11	54	31,2	0,23	0,7	4,9	0,4	0,7	0,1	112,1	0,01	0,01	0,002	0,03	0,005	0,06	0,04
TS2-12	54,2	29,4	0,22	1,14	1,5	0,4	7,3	0,12	122,3	0,3	0,4	0,03	0,03	0,005	0,005	0,06
TS2-13	55	29,6	0,29	0,3	6,7	0,2	0,001	0,08	62,8	0,7	0,8	0,1	0,4	0,09	0,08	0,06
TS2-14	56,6	33	0,28	0,26	5,8	0,1	0,1	0,05	37	0,7	1	0,08	0,6	0,09	0,08	0,003
TS2-15	59	37,8	0,15	0,09	8,8	0,001	1,9	0,02	15,3	1,3	2,9	0,3	1,5	0,19	0,17	0,06
TS2-16	59,8	32,5	0,19	0,3	28,7	0,02	0,001	0,06	71,8	2,1	4	0,53	1,9	0,36	0,28	0,06
TS2-17	60	28,6	0,39	0,99	0,2	0,06	0,5	0,23	120,1	0,01	0,01	0,002	0,03	0,005	0,005	0,003
TS2-18	62,8	50,6	0,2	1,93	0,2	0,07	1,3	0,16	153,2	0,1	0,01	0,002	0,03	0,005	0,005	0,04
TS2-19	63,8	46,5	0,21	2,4	4,1	1	1,4	0,49	126,1	2,4	3,7	0,42	1,4	0,27	0,19	0,09
Ortalama		32,8	0,3	1,7	3,4	0,6	1,6	0,2	124,2	0,5	0,9	0,096	0,34	0,068	0,063	0,048
Std Sapma		6,2	0,07	2,3	6,2	0,9	1,8	0,1	103,4	0,7	1,2	0,1	0,6	-	0,077	0,031
(1)Kabuk ortalama		0,05	*	3	20	90	165	35	20	35	70	8	30	7	7	3,5
(2)Andezit Ortalama		0,05	*	2,3	20	72	260	25	20	*	*	*	*	*	*	*
(3)Talışu Ortalama		0,1.10 ⁻³	*	1,8.10 ⁻³ (4)	*	*	*	*	1.10 ⁻³	*	*	*	*	*	*	*

(1). Krauskopf, K. B. 1989, (2). Schroll, E. 1975, (3). Abollino, O., *et al.* 2004, (4). Şahinci, A. 1991.

Çizelge 8.5 Simav ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları

Örnek no	Derinlik	Mo(ppm)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Co(ppm)	As(ppm)	Sr(ppm)	Sb(ppm)	Ba (ppm)	Sc(ppm)	Se(ppm)	Te(ppm)	Cs(ppm)	Rb(ppm)
SS2-2	149	0,06	0,05	0,18	0,3	0,4	4,2	3202,90	0,015	8,20	0,7	53,5	0,11	0,08	0,09
SS2-3	158,5	1,21	0,1	0,24	0,4	0,6	8,7	15501,90	0,13	96,90	0,3	54,3	0,65	0,52	0,4
SS2-4	163	0,91	0,81	0,06	0,5	0,1	6,8	928,1	0,09	36,8	0,9	17,8	0,04	1,09	0,3
SS2-5	167,5	1,56	0,96	0,08	0,5	7,2	9,6	1153	0,17	1,9	0,7	21,4	0,04	0,05	0,001
SS2-6	176,5	1,24	1,17	0,36	0,7	0,2	8,7	4797,10	0,18	13,80	0,7	31,4	0,13	0,51	0,3
SS2-7	179	1,17	1,13	0,17	0,4	0,1	6,1	3725,00	0,14	1,60	0,5	27,3	0,18	0,46	0,3
SS2-8	185,5	0,13	0,16	0,15	0,4	0,3	20,1	27108	0,21	11,6	0,9	36,5	1,02	0,98	0,5
SS2-9	192	15,38	0,22	0,13	0,6	0,3	16,7	18128,10	1,56	255,50	0,6	51,3	0,43	0,9	0,5
Ortalama		2,708	0,575	0,171	0,475	1,150	10,113	9318,013	0,312	53,288	0,663	36,688	0,325	0,574	0,299
Std Sapma		5,149	0,488	0,095	0,128	2,450	5,470	9699,152	0,508	87,592	0,200	14,702	0,352	0,392	0,179
(1)Kabuk ortalama		1,500	50,000	12,500	70,000	22,000	1,800	375,000	0,200	500,000	20,000	0,050	*	3,000	90,000
(2)Andezit Ortalama		0,900	35,000	15,000	72,000	10,000	1,900	800,000	0,200	714,000	20,000	0,050	*	2,300	72,000
(3)Talışu Ortalama		1.10 ⁻³	1,8.10 ⁻³	0,2.10 ⁻³	0,5.10 ⁻³	0,05.10 ⁻³	2.10 ⁻³	50.10 ⁻³	0,1.10 ⁻³	10.10 ⁻³	*	0,1.10 ⁻³	*	1,8.10 ⁻³ (4)	*

(1). Krauskopf, K. B. 1989, (2). Schroll, E. 1975, (3). Abollino, O., *et al.* 2004, (4). Şahinci, A. 1991.

Çizelge 8.5 Simav ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları (devam)

Örnek no	Derinlik	Y(ppm)	Re(ppm)	Li(ppm)	U(ppm)	Au(ppm)	Tl(ppm)	Pd(ppm)	Be(ppm)	Zr(ppm)	Cd(ppm)	La(ppm)	Ce(ppm)	Pr(ppm)
SS2-2	149	0,02	1	55	0,1	0,00001	0,01	0,5	0,1	0,5	0,0001	2,9	0,7	0,1
SS2-3	158,5	0,10	3	113,5	0,2	0,00001	0,22	0,5	0,0001	0,2	0,0001	0,8	0,01	0,03
SS2-4	163	0,04	0,01	105,8	0,1	0,001	0,0001	21	0,0001	0,001	0,01	0,2	0,3	0,02
SS2-5	167,5	0,01	1	40,1	0,2	0,0002	0,0001	26	0,0001	0,001	0,0001	0,2	0,6	0,04
SS2-6	176,5	0,18	3	39,3	0,09	0,00001	0,01	33	0,2	0,2	0,01	0,01	0,9	0,1
SS2-7	179	0,06	3	26,7	0,09	0,0027	0,09	29	0,0001	0,5	0,01	0,01	0,01	0,02
SS2-8	185,5	0,12	1	98,3	0,4	0,0004	0,0001	0,5	0,0001	0,001	0,0001	0,1	0,4	0,04
SS2-9	192	0,18	8	118,1	0,3	0,001	0,02	0,5	0,1	0,6	0,0001	0,01	0,01	0,04
Ortalama		0,089	2,501	74,600	0,185	0,001	0,044	13,875	0,050	0,250	0,004	0,529	0,366	0,049
Std Sapma		0,067	2,506	37,901	0,115	0,001	0,077	14,677	0,076	0,250	0,005	0,993	0,346	0,033
(1)Kabuk ortalama		35	*	20	2,7	0,003	0,8	*	3	165	0,15	35	70	8
(2)Andezit Ortalama		25	*	20	1,8	*	0,55	*	1,8	260	*	*	*	*
(3)Talışu Ortalama		*	*	1.10 ⁻³	0,05.10 ⁻³	0,01.10 ⁻³	0,004.10 ⁻³	*	1.10 ⁻³	*	0,07.10 ⁻³	*	*	*

(1). Krauskopf, K. B. 1989, (2). Schroll, E. 1975, (3). Abollino, O., *et al.* 2004.

Çizelge 8.6 Acep ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları

Örnek no	Derinlik	Mo(ppm)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Co(ppm)	As(ppm)	Sr(ppm)	Sb(ppm)	Ba (ppm)	Sc(ppm)	Se(ppm)	Te(ppm)
AS2-1	75,5	0,13	0,8	0,04	0,3	0,001	5,1	2461	0,03	118,8	0,8	20,6	0,09
AS2-2	76,5	0,47	0,85	0,08	0,5	0,01	7,2	4246	0,04	55,8	0,9	16,9	0,13
AS2-3	81,5	0,54	0,88	0,08	0,4	0,001	5,5	1249	0,06	16,7	0,8	21,1	0,05
AS2-4	87,5	0,55	0,72	0,11	0,3	0,001	10,4	15011	0,07	320,3	0,4	29,3	0,5
AS2-5	101	0,65	0,48	0,15	0,5	0,2	12,4	3243	0,09	261,7	0,5	21	0,14
AS2-6	111	0,24	0,83	0,22	0,4	0,1	4	1720,00	0,02	74,90	0,5	20,3	0,04
AS2-7	113,5	0,56	1	0,2	0,4	0,1	2,9	1749,20	0,06	16,90	0,5	22,6	0,04
AS2-8	127,5	2,15	0,94	0,24	0,7	0,2	31,9	3592,40	0,17	74,60	0,6	22,8	0,06
AS2-9	133	0,28	0,8	0,1	0,3	0,1	11,6	2124,00	0,02	61,40	0,5	18,3	0,05
AS2-10	134	0,14	0,74	0,14	0,4	0,1	9,5	5018,20	0,02	77,90	0,3	19,8	0,14
AS2-11	135,5	0,17	0,88	0,09	0,4	0,1	10,2	4210,80	0,015	67,90	0,3	19,5	0,05
AS2-12	143	0,2	0,75	0,39	0,1	0,001	6	1211,10	0,03	56,90	0,3	28,9	0,06
Ortalama		0,51	0,81	0,15	0,39	0,08	9,73	3819,64	0,05	100,32	0,53	21,76	0,1125
S. Sapma		0,55	0,13	0,10	0,14	0,07	7,64	3744,46	0,04	93,89	0,21	3,80	0,1280004
(1)Kabuk ortalama		1,50	50,00	12,50	70,00	22,00	1,80	375,00	0,20	500,00	20,00	0,05	*
(2)Andezit Ortalama		0,90	35,00	15,00	72,00	10,00	1,90	800,00	0,20	714,00	20,00	0,05	*
(3)Talışu Ortalama		1.10^{-3}	$1,8.10^{-3}$	$0,2.10^{-3}$	$0,5.10^{-3}$	$0,05.10^{-3}$	2.10^{-3}	50.10^{-3}	$0,1.10^{-3}$	10.10^{-3}	*	$0,1.10^{-3}$	*

(1). Krauskopf, K. B. 1989, (2). Schroll, E. 1975, (3). Abollino, O., *et al.* 2004.

Çizelge 8.6 Acep ocağı örneklerine ait eser element jeokimyası sonuçları (devam)

Örnek no	Derinlik	Cs(ppm)	Rb(ppm)	Y(ppm)	Re(ppm)	Li(ppm)	U(ppm)	Au(ppm)	V(ppm)	Tl(ppm)	Pd(ppm)	Zr(ppm)
AS2-1	75,5	0,23	0,001	0,02	0,01	40,4	0,001	0,0007	0,1	0,0001	28	0,001
AS2-2	76,5	0,34	0,2	0,04	0,01	146,4	0,001	0,0025	21	0,0001	18	0,01
AS2-3	81,5	0,34	0,2	0,01	0,01	23,1	0,001	0,0009	11	0,0001	32	0,001
AS2-4	87,5	0,34	0,3	0,15	1	102	0,2	0,0004	16	0,0001	15	0,02
AS2-5	101	1,36	0,8	0,2	0,01	425,1	0,6	0,0003	13	0,02	5	1,1
AS2-6	111	0,03	0,001	0,02	1	109	0,09	0,00001	2	0,01	21	0,8
AS2-7	113,5	0,18	0,1	0,02	0,01	134,9	0,3	0,0002	2	0,01	30	0,1
AS2-8	127,5	1,66	1	0,04	2	587,9	0,09	0,0016	5	0,05	5	0,2
AS2-9	133	0,11	0,1	0,03	2	130,3	0,09	0,0007	2	0,01	19	0,001
AS2-10	134	0,07	0,1	0,02	2	136,4	0,09	0,003	2	0,07	22	0,001
AS2-11	135,5	0,07	0,1	0,02	3	113,9	0,1	0,00001	2	0,01	20	0,001
AS2-12	143	0,29	0,2	0,02	3	181,8	0,09	0,0022	3	0,01	20	0,001
Ortalama		0,42	0,26	0,05	1,17	177,60	0,14	0,00	6,59	0,02	19,58	0,19
S. Sapma		0,53	0,31	0,06	1,19	163,35	0,17	0,00	6,87	0,02	8,48	0,37
(1)Kabuk ortalama		3	90	35	*	20	2,7	0,003	110	0,8	*	165
(2)Andezit Ortalama		2,3	72	25	*	20	1,8	*	100	0,55	*	260
(3)Tathısu Ortalama		$1,8 \cdot 10^{-3}$ (4)	*	*	*	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,05 \cdot 10^{-3}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$0,004 \cdot 10^{-3}$	*	*

(1). Krauskopf, K. B. 1989, (2). Schroll, E. 1975, (3). Abollino, O., *et al.* 2004, (4). Şahinci, A. 1991.

Simav örneklerinin eser elementlerinin bolluklarında; Sr(18128,10), Ba(255,50), Li(74,60), Se(51,30), As(16,70), Mo(15,38), Pd(13,87), Re(2,50), Sb(1,56), Cs(0,90), Zn, Cs, ve Rb(0,50), Te(0,43), Co(0,30), Zr(0,25), Cu(0,22), U(0,18), Pb(0,17), Y(0,08), Be(0,05), Tl(0,04), Au(0,001), Cd(0,004) şeklinde nadir toprak elementleri ise La(0,53), Ce(0,37), Pr(0,05) şeklinde bir sıralanma vardır.

Acep örneklerinde ise eser elementler, Sr(3819,64), Li(177,60), Ba(100,32), Se(21,76), Pd(19,58), As(9,73), V(6,59), Re(1,17), Cu(0,81), Sc(0,53), Mo(0,51), Cs(0,42), Zn(0,39), Rb(0,26), Zr(0,19), Pb(0,15), U(0,14), Te(0,11), Co(0,08), Sb ve Y (0,05) ve Tl(0,02) olarak sıralanmaktadır. Acep kesiminde nadir toprak elementleri analiz sonucunda belirlenememiştir.

Eser elementleri bollukları ve buna göre sıralanmalarına dikkat edilirse, Sr, Li, Ba, Se, As gibi elementlerin bolluğu her üç kesimde de göze çarpmaktadır. Tülü'de 3,96 ppm'lik bir değere ulaşan Nb'un Simav ve Acep'te 1,17 ppm değerine Re'un Tülü'de yer almayışı dikkat çekmektedir. Ayrıca Tülü ve Simav ocaklarında bollukları belirlenen nadir toprak elementleri Acep'te belirlenememiş, Be ise Sadece Simav kesiminde 0,05 ppm'lik bir değerde tespit edilmiştir.

Tüm eser elementler tatlı su ortalamalarına göre Bigadiç boratlarında çok fazla artma göstermektedir(Çizelge 8.4–8.6). Yer kabuğu ve andezit ortalamalarına göre kıyaslama yapıldığında Sr, Li, Se, As ve Mo'nin artma, diğer elementlerin azalma gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Birinci rakam yer kabuğu, ikincisi andezit ortalamalarına göre olmak üzere Sr Tülü'de 17,41–8,16 kez, Simav'da 24,84–11,64 kez, Acep'te 10,19–4,77 kez; Li Tülü'de 6,20–6,21 kez, Simav'da 3,73–3,73 kez, Acep'te 8,88–8,88; Se Tülü'de 656,55–656,55 kez, Simav'da 733,75–733,75 kez, Acep'te 435,17–435,17 kez; As Tülü'de 6,56–6,22 kez, Simav'da 5,61–5,32 kez, Acep'te 5,40–5,12 kez; Mo Tülü'de 1,93–3,21 kez, Simav'da 1,80–3,00 kez artmıştır (sadece Acep'te Mo 7,2–5,5 kez azalmıştır). Bu veriler göre en çok artan element Se olup, bunu Sr, As, Li ve Mo takip etmektedir.

Çizelgelerde ortalama değerleri bulunmayan Pd'a Tülü kesiminde hiç rastlanmazken Simav'da 13,87 ppm ve Acep'te 19,58 ppm değerinde bulunması önemli bir bolluk ve farklılıktır. Platin grubu elementlerden olan Pd'un 5–10 g/ton değerleri birincil yataklarda dahi ekonomik olarak kabul edilmektedir (Petraschech ve Pohl 1982). Aynı şekilde Re ve Te'de ortalamaları çizelgelerde bulunmayan elementler olup, Re'un Simav (2,50 ppm) ve Acep'teki Li (1,17ppm) bollukları da genel olarak cevherler içindeki 5,50 ppmlik asgari işletme tenörü (Temur 1997) dikkate alındığında önemli olabilir.

Yerkabuğu ve andezit ortalamalarına göre Bigadiç boratlarında azalma gösteren elementler Cu, Pb, Zn, Co, U, Au, Cd, Sb, V, Ba, Sc, Tl, Cs, Nb, Rb, Zr, Y ve nadir toprak elementleri olup yaklaşık üç kesime ait örneklerde de aynıdır (Çizelge 8.4–8.6).

8.3 Ana ve Eser Element Korelasyonları

Bigadiç borat yatağı oluşumlarında yer alan elementlerin jeokimyasal eğilimlerinin belirlenmesi, birlikte ya da ters hareket eden elementlerin ve oluşan grupların değerlendirilmesi için korelasyon kat sayıları hesaplanmış, ayrıca cluster analizi yöntemi uygulanmıştır. Hesaplama ve değerlendirmeler Bigadiç Borat Yatağının Alt borat zonunu temsil eden Tülü kesimi ve Üst borat zonunu temsil eden Simav ile Acep kesimleri için ayrı ayrı yapılmıştır.

Değerlendirmeler korelasyon katsayısı 0,60 ve üzerinde olanları dikkate alarak yapılmış olup, kuvvetli-çok kuvvetli derecesindeki ilişki gösteren elementler *italik* yazılmıştır.

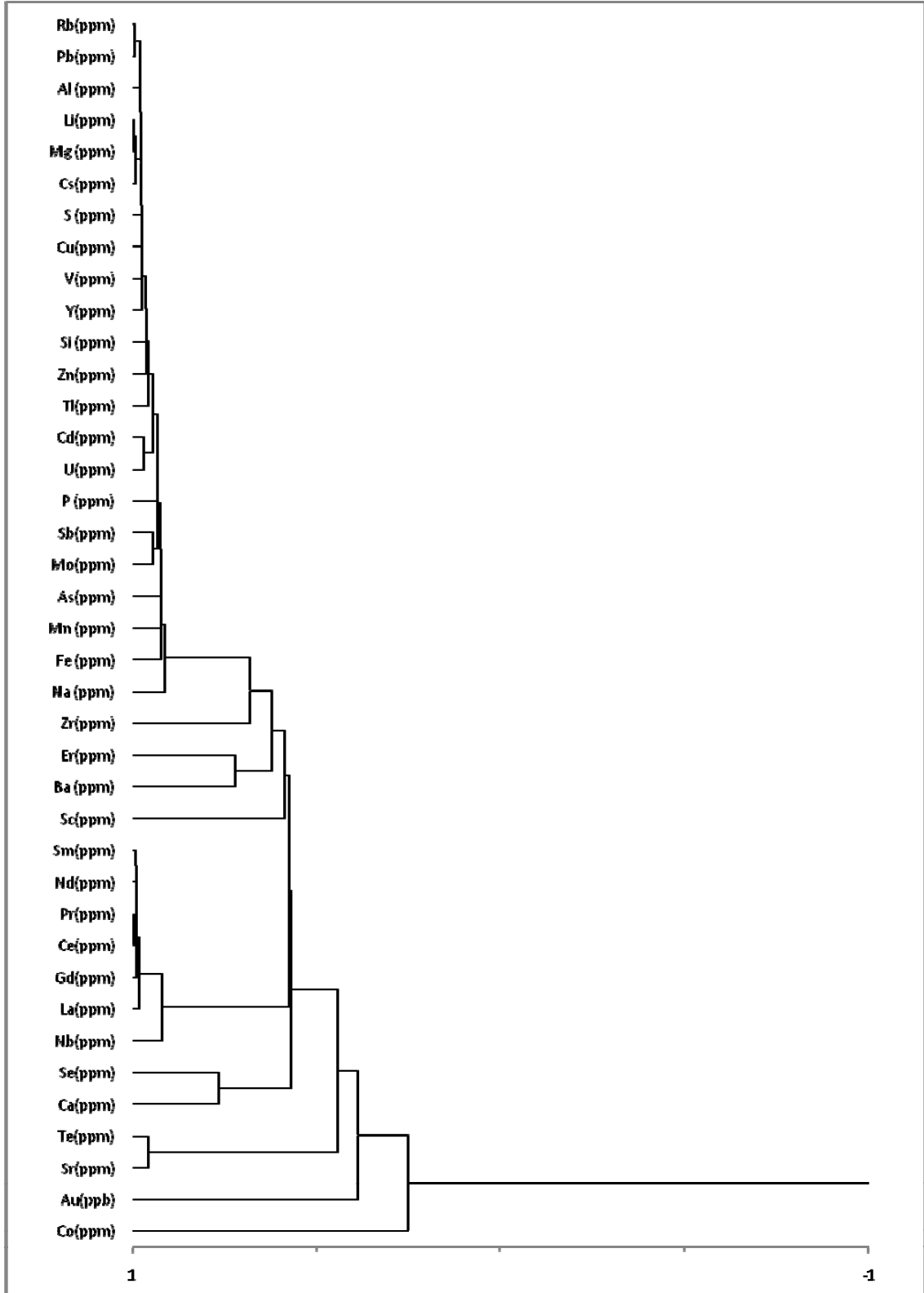
Alt Boratlı Zon Tülü element içeriklerine ait korelasyon katsayıları çizelge 8.7'de gösterilmektedir. Buna göre ana elementlerden Ca diğer elementlerle herhangi bir ilişki göstermemektedir.

Si; Mn, Cs ve **Li** ile **Mg; Si, Al, Mn, Fe, P, S, Mo, Cu, Pb, Zn, U, Cd, V, Tl, Cs, Rb, Y** ve **Li** ile **Na; sadece Mn** ve **Cs** ile **Al; Mg, Fe, P, S, Mo, Cu, Pb, Zn, As, U, Sb, V, Tl, Cs,**

Rb, *Y* ve *Li* ile **Mn**; *Mg*, *Na*, *S*, *Cs* ve *Li* ile **Fe**; *Mg*, *Al*, *S*, *Mo*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *As*, *U*, *Sb*, *Rb*, *Y* ve *Li* ile **P**; *Mg*, *Al*, *Mn*, *S*, *Cu*, *Pb*, *Cs*, *Rb*, *Y* ve *Li* ile **S**; *Mg*, *Na*, *Al*, *Mn*, *Fe*, *P*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *V*, *Cs*, *Rb*, *Y* ve *Li* ile pozitif ilişki göstermektedir.

Eser elementlerden **Mo**; *Mg*, *Al*, *Fe*, *Pb*, *Zn*, *As*, *U*, *Cd*, *Sb*, *Tl*, *Cs* ve *Li* ile pozitif, **Cu**; *Mg*, *Al*, *Fe*, *P*, *S*, *Pb*, *Zn*, *As*, *V*, *Tl*, *Cs*, *Rb*, *Y* ve *Li* ile pozitif, **Pb**; *Mg*, *Al*, *Fe*, *P*, *S*, *Mo*, *Cu*, *Zn*, *As*, *U*, *Cd*, *V*, *Tl*, *Cs*, *Rb*, *Y* ve *Li* ile pozitif, **Zn**; *Mg*, *Al*, *Fe*, *S*, *Mo*, *Cu*, *Pb*, *As*, *U*, *Cd*, *Sb*, *V*, *Tl*, *Cs*, *Rb*, *Y* ve *Li* ile pozitif, **As**; *Al*, *Fe*, *Mo*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *Sb*, *Tl*, *Y* ve *Li* ile pozitif, **U**; *Mg*, *Al*, *Fe*, *Mo*, *Pb*, *Co*, *Cd*, *V*, *Tl*, *Cs*, *Rb* ve *Li* ile pozitif; **Sr**; sadece *Te* ile pozitif, **Cd**; *Mg*, *Mn*, *Mo*, *Pb*, *Zn*, *U*, *V*, *Tl*, *Cs*, *Rb* ve *Li* ile pozitif, **Sb**; *Al*, *Fe*, *Mo*, *Zn* ve *As* ile pozitif, **V**; *Mg*, *Al*, *S*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *U*, *Cd*, *Tl*, *Cs*, *Rb* ve *Li* ile pozitif, **B**; sadece *F* ile pozitif, **Tl**; *Mg*, *Al*, *Mn*, *Mo*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *As*, *U*, *Cd*, *V*, *Cs*, *Rb* ve *Li* ile pozitif, **Te**; sadece *Sr* ile pozitif, **Cs**; *Si*, *Mg*, *Na*, *Al*, *Mn*, *P*, *S*, *Mo*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *U*, *Cd*, *V*, *Tl*, *Rb*, *Y* ve *Li* ile pozitif, **Nb**; sadece *Ce*, *Pr*, *Nd*, *Sm* ve *Gd* gibi nadir toprak elementleriyle pozitif, **Rb**; *Mg*, *Al*, *Mn*, *Fe*, *P*, *Mo*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *U*, *Cd*, *V*, *Tl*, *Cs*, *Y* ve *Li* ile pozitif **Y**; *Mg*, *Al*, *Fe*, *P*, *S*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *As*, *Cs*, *Rb* ve *Li* ile pozitif, **Li**; *Si*, *Mg*, *Al*, *Mn*, *Fe*, *P*, *S*, *Mo*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *As*, *U*, *Cd*, *V*, *Tl*, *Cs*, *Rb* ve *Y* ile pozitif, **La**; *Ce*, *Pr*, *Nd*, *Sm*, *Gd* ile pozitif, **Pr**; *Nb*, *La*, *Ce*, *Nd*, *Sm* ve *Gd* ile pozitif. **Nd**; *Nb*, *La*, *Ce*, *Pr*, *Sm* ve *Gd* ile pozitif, **Sm**; *Nb*, *La*, *Ce*, *Pr*, *Nd*, *Gd* ile pozitif, **Gd**; *Nb*, *La*, *Ce*, *Nd* ve *Sm* ile pozitif ilişki göstermektedir.

Korelasyon katsayılarının irdelenmesi ana ve eser elementlerin birbirleriyle pozitif ilişkili büyük bir grup olduğunu, buna karşılık *Cu*, *Au*, *Sc*, *Se* ve *Zr* gibi elementlerin herhangi bir ilişki göstermediklerini ortaya koymuştur. Bu ilişkiler ve birlikte hareket eden element gruplaşmaları kolay anlaşılır bir şekilde korelasyon matrisi dendogramında (Şekil 8.1) görülebilmektedir. Buna göre biri, *Nb* ile birlikte nadir toprak elementleri (*Nb*, *La*, *Ce*, *Pr*, *Nd*, *Sm*, *Gd*, *Er*) diğeri ise (*Rb*, *Pb*, *Al*, *Li*, *Mg*, *Cs*, *S*, *Cu*, *V*, *Y*, *Si*, *Zn*, *Tl*, *Cd*, *V*, *P*, *Sb*, *Mo*, *As*, *Mn*, *Fe*, *Na*)’dan oluşan büyük bir gruptur.



Şekil 8.1 Tülü ocağı elementlerine ait dendoğram

Üst boratlı zonun Simav kesimine ait korelasyon katsayıları Çizelge 8.8’de görülmektedir. Buna göre **Ca**, Al, Cu, Zn, Pd ve Cd ile negatif ilişki göstermektedir. **Si**; Mg, Cs, Rb ve Li ile, **Mg**; Si, As, Ba, Cs, Li ve U ile **P**; Mo, Sb, Ba, Se, Re ve Zr ile **Al**; Mo, Sb, Ba, Y, Re ve Zr ile, **S**; Pb ve Tl ile **Mo**; P, Al, Sb, Ba, Re ile **Cu**; Pd ve Cd ile pozitif, Ca, P, Sr, Se, Te ve Li ile negatif, **Pb**; S, Be ve Pr ile pozitif, **Zn**; Y ile pozitif Ca ile negatif, **Co**; CS ve Rb ile negatif, **As**; Mg, Sr, Rb, U, Au ile pozitif, **Sr**; As, Te, Li, U ile pozitif, Cu ile negatif, **Sb**; Ba, Y, Re ile pozitif, **Ba**; Mg, P, Al, Mo, Sb, Re ve Li ile Pozitif, **Se**; P ile pozitif, Cu ile negatif, **Te**; Sr, Rb, U, ve Au ile pozitif, Cu ile negatif, **Cs**; Si, Mg, Rb ve Li ile pozitif Co ile negatif, **Rb**; Si, As, Te, Cs, Y ve Li ile pozitif, Co ile Negatif, **Y**; Al, Zn, Si, Rb, Re, ile pozitif, **Re**; P, Al, Mo, Sb, Ba, Y ve Zr ile pozitif, **Li**; Si, Mg, Sr, Ba, Cs, Rb ile pozitif, Cu ile negatif, **U**; U, As, Sr, Te ve Au ile pozitif, **Au**; As ve Te ile pozitif, **Tl**; S ile pozitif, **Pd**; S ile negatif Ca ile Negatif, **Be**; Pb ile pozitif Mn ile negatif, **Zr**; P, Al ve Re ile pozitif, Mn ile negatif, **Cd**; Cu ve Pd ile pozitif, Cd ve negatif, **La**; Ca ile pozitif, **Pr**; Pb ve Ce ile pozitif ilişki göstermektedir.

Simav kesimine ait elementlerden Na ve Sc da herhangi bir ilişki belirlenememiş olup, buradaki korelasyon ilişkileri Alt Boratlı zona benzemektedir. Ayrıca Alt Boratlı Zonda herhangi bir ilişki göstermeyen Zr ve Ba burada yukarıda belirtildiği gibi birçok elementle birlikte hareket etmektedir. Re ve Au ise Alt Boratlı Zonda olmayan ancak Simav’da bulunan elementler olarak göze çarpmaktadır.

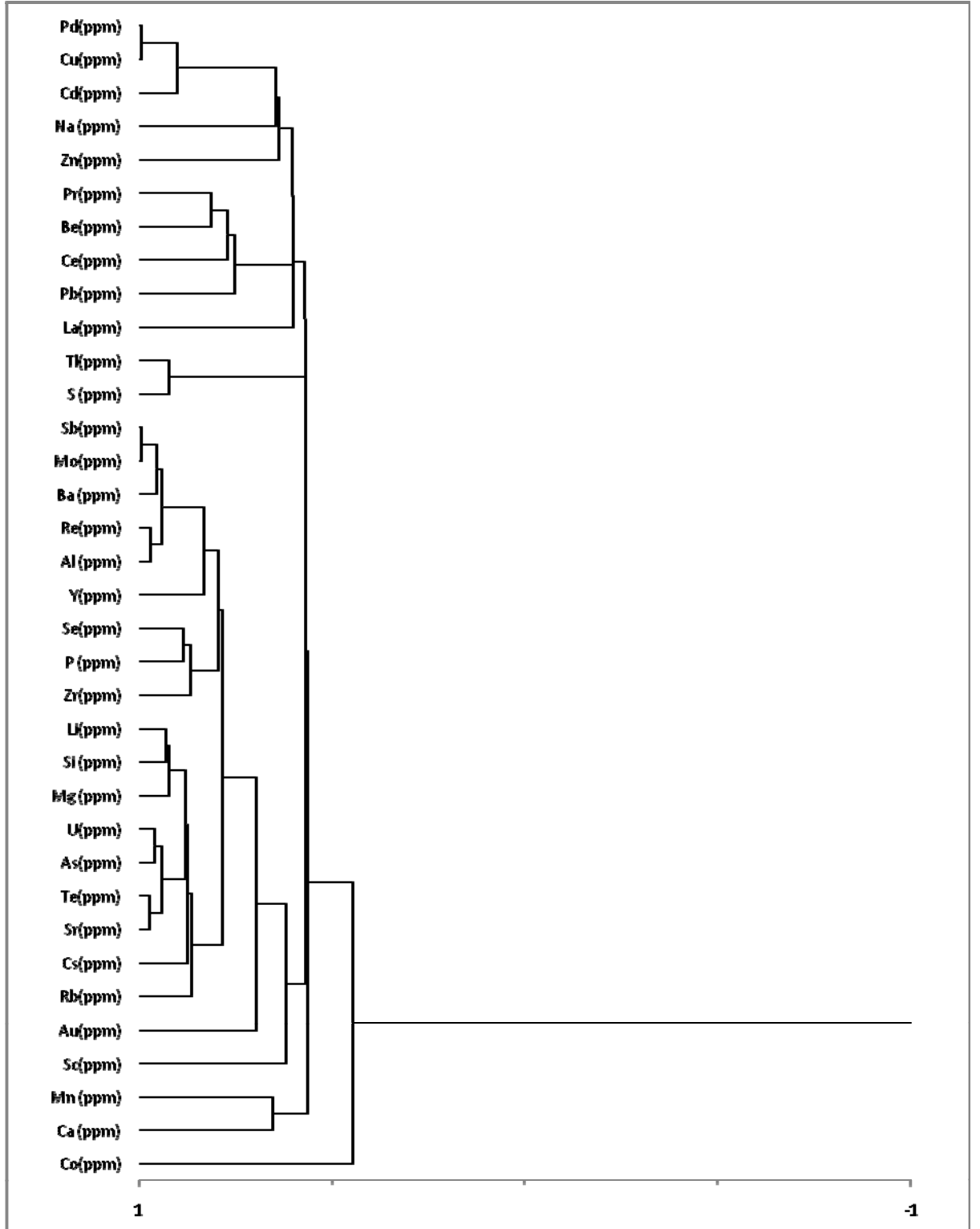
Elementlerin jeokimyasal eğilimine uygun olarak oluşturdukları gruplar üst Boratlı Zon (Simav) için çizilen korelasyon matrisi dendogramında görülmektedir(Şekil 8.2). Buna göre yüksek katsayılı ilişkileri bulunan elementler (Pd, Cu, Cd), (Pr, Be, Ce, Pb), (Tl, S), (Sb, Mo, Ba, Re, Al, Y, Se, P, Zr) ve (Li, Si, Mg, U, As, Te, Sr, Cs, Rb) şeklinde beş ayrı grupta kümelenmişlerdir.

Üst Boratlı Zonun Acep kesimine ait korelasyon katsayıları Çizelge 8.9’da verilmiştir. Buna göre **Ca**; Mg, P, Al, Mn, Sb, Ba, Cs, Rb, Y, Li, U ve Zr ile pozitif, Cu ve Pd ile negatif, **Si**; Ca, Mg, P, Mn, Mo, Zn, Co, As, Sb, Cs, Rb ve Li ile pozitif, Pd ile negatif, **Na**; Pb ve Se ile negatif, **Mg**; Si, Ca, P, Mn, Mo, Zn, Co, As, Sb, Cs, Rb ve Li ile

pozitif, **P**; *Si, Ca, Mg, Co, Ba, Cs, Rb, Y, Li, U* ve Zr ile pozitif Pd ile negatif, **Al**; *Ca, P, Ba, Y, U* ve Zr ile pozitif *Cu* ve Pd ile negatif, **Mn**; *Si, Ca, Mg, P, Mo, Zn, Co, As, Cs, Rb* ve *Li* ile pozitif, *Pd* ile negatif, **S**; Re ile pozitif, Sc ile negatif, **Mo**; *Si, Mg, Mn, Zn, As, Sb, Cs, Rb* ve *Li* ile pozitif, **Cu**; *Ca, Al, Ba, Y, U* ve Zr ile negatif, **Pb**; sadece Na ile negatif, **Zn**; *Si, Mg, Mn, Mo, Co, As, Sb, Cs, Rb* ve *Li* ile pozitif, **Co**; *Si, Mg, P, Mn, Zn, As, Cs, Rb, Li* ve Zr ile pozitif, Pd ile negatif, **As**; *Si, Mg, Mn, Mo, Zn, Co, Sb, Cs, Rb* ve *Li* ile pozitif, Pd ile negatif, **Sr**; *Ba* ve *Te* ile pozitif, **Sb**; *Si, Ca, Mg, Mn, Mo, Zn, As, Cs, Rb* ve *Li* ile pozitif, Pd ile negatif, **Ba**; *Ca, P, Al, Sr, Te, Y* ile pozitif, *Cu* ve Pd ile negatif, **Sc**; Au ile pozitif, S ile negatif. **Se**; sadece Na ile negatif, **Te**; *Sr, Ba, Y* ile pozitif, **Cs**; *Si, Ca, Mg, P, Mn, Mo, Zn, Co, As, Sb, Rb* ve *Li* ile pozitif Pd ile negatif, **Rb**; *Si, Ca, Mg, P, Mn, Mo, Zn, Co, Sb, Cs* ve *Li* ile pozitif Pd ile negatif, **Y**; *Ca, P, Al, Ba, Te* ve *U* ile pozitif, *Cu* ve Pd ile negatif, **Re**; S ile pozitif **Li**; *Si, Ca, Mg, P, Mn, Mo, Zn, Co, As, Sb, Cs, Rb* ile pozitif, Pd ile negatif, **U**; *Ca, P, Al, Y* ve Zr ile pozitif, Cu ile negatif, **Au**; *Ba, V* ile pozitif, **V**; Au ile pozitif, **Pd**; *Si, Ca, P, Al, Mn, Mo, Co, As, Sr, Sb, Cs, Rb, Y* ve *Li* ile negatif **Zr**; *Ca, P, Al, Co, U* ile pozitif, Cu ile negatif ilişki görülmektedir.

Çizelge 8.8 Simav ocağı örneklerine ait korelasyon katsayıları

	Si	Ca	Na	Mg	P	Al	Mn	S	Mo	Cu	Pb	Zn	Co	As	Sr	Sb	Ba	Sc	Se	Te	Cs	Rb	Y	Re	Li	U	Au	Tl	Pd	Be	Zr	Cd	La	Ce	Pr	
Si	1,000	0,297	0,040	0,739	0,056	-0,019	0,368	-0,021	0,205	-0,445	-0,383	-0,028	-0,428	0,358	0,422	0,226	0,410	0,277	0,068	0,402	0,842	0,603	0,157	-0,005	0,903	0,364	0,062	0,055	-0,476	-0,325	-0,275	-0,048	-0,156	-0,434	-0,463	
Ca		1,000	0,029	0,188	0,017	-0,599	0,539	0,184	-0,471	-0,706	-0,149	-0,714	0,063	0,031	0,297	-0,448	-0,243	0,039	0,375	0,446	-0,125	-0,100	-0,413	-0,534	0,354	0,289	0,385	0,253	-0,648	-0,416	-0,365	-0,612	0,584	0,063	0,031	
Na			1,000	0,028	-0,482	-0,070	0,536	0,551	-0,300	0,355	0,343	0,439	0,259	-0,312	-0,326	-0,345	-0,156	-0,183	-0,263	-0,247	-0,086	-0,190	0,040	-0,234	0,015	-0,347	-0,237	0,305	0,407	0,105	-0,562	0,258	-0,222	0,258	0,042	
Mg				1,000	0,170	0,171	0,563	-0,097	0,549	-0,452	-0,512	0,166	0,109	0,669	0,561	0,576	0,661	0,133	0,120	0,462	0,603	0,489	0,240	0,297	0,859	0,708	0,298	0,001	-0,506	-0,348	-0,268	-0,467	-0,355	-0,456	-0,528	
P					1,000	0,526	-0,355	0,031	0,674	-0,627	-0,030	-0,159	-0,270	0,039	0,196	0,641	0,709	-0,364	0,805	0,034	-0,099	0,149	0,189	0,655	0,323	0,111	-0,427	0,121	-0,644	0,289	0,821	-0,487	0,496	-0,304	0,213	
Al						1,000	-0,322	0,374	0,779	-0,015	0,349	0,487	-0,333	0,224	0,272	0,762	0,784	-0,588	0,420	0,107	0,207	0,544	0,729	0,958	0,218	0,094	-0,482	0,349	-0,078	0,381	0,651	0,045	-0,349	-0,495	-0,081	
Mn							1,000	0,301	-0,218	-0,171	-0,356	-0,160	0,499	0,124	0,138	-0,225	-0,024	-0,122	-0,139	0,256	0,054	-0,058	-0,311	-0,331	0,417	0,295	0,326	0,384	-0,157	-0,662	-0,694	-0,364	-0,181	-0,229	-0,535	
S								1,000	-0,140	-0,133	0,628	-0,012	-0,222	-0,221	0,134	-0,170	0,123	-0,805	0,434	0,236	-0,127	0,235	0,268	0,185	0,156	-0,163	-0,378	0,906	-0,105	0,040	0,055	-0,015	0,027	-0,267	-0,018	
Mo									1,000	-0,223	-0,165	0,447	-0,089	0,458	0,322	0,992	0,935	-0,172	0,356	0,076	0,313	0,430	0,546	0,902	0,434	0,369	-0,234	-0,092	-0,298	0,260	0,545	-0,257	-0,269	-0,428	-0,140	
Cu										1,000	0,113	0,507	0,268	-0,362	-0,639	-0,253	-0,426	0,115	-0,817	-0,616	-0,135	-0,338	-0,078	-0,160	-0,672	-0,551	-0,173	-0,231	0,994	0,120	-0,203	0,784	-0,534	0,255	-0,061	
Pb											1,000	0,319	-0,371	-0,132	0,072	-0,152	-0,098	-0,374	0,334	0,096	-0,198	0,167	0,570	0,200	-0,266	-0,245	-0,272	0,314	0,153	0,686	0,182	0,221	0,059	0,346	0,616	
Zn												1,000	0,055	0,225	-0,073	0,446	0,335	0,126	-0,285	-0,231	0,269	0,198	0,656	0,445	-0,008	-0,039	-0,188	-0,292	0,480	0,590	-0,089	0,377	-0,631	0,233	0,162	
Co													1,000	-0,031	-0,312	-0,112	-0,219	0,039	-0,366	-0,296	-0,558	-0,668	-0,467	-0,233	-0,341	0,074	0,340	-0,188	0,286	-0,270	-0,397	-0,344	-0,101	0,265	-0,097	
As														1,000	0,872	0,561	0,437	0,267	0,152	0,771	0,553	0,668	0,577	0,372	0,510	0,949	0,683	-0,207	-0,429	-0,074	-0,164	-0,441	-0,474	-0,204	-0,223	
Sr															1,000	0,419	0,439	-0,026	0,492	0,963	0,513	0,797	0,578	0,365	0,627	0,898	0,542	0,177	-0,689	-0,124	-0,014	-0,527	-0,213	-0,364	-0,189	
Sb																1,000	0,922	-0,116	0,358	0,175	0,366	0,497	0,600	0,896	0,456	0,464	-0,130	-0,127	-0,333	0,256	0,507	-0,286	-0,306	-0,415	-0,138	
Ba																	1,000	-0,318	0,528	0,235	0,398	0,560	0,567	0,870	0,668	0,398	-0,296	0,172	-0,489	0,168	0,480	-0,339	-0,185	-0,555	-0,207	
Sc																		1,000	-0,509	-0,060	0,358	-0,081	-0,121	-0,471	0,012	0,171	0,493	-0,879	0,118	0,047	-0,470	0,156	-0,075	0,503	0,145	
Se																			1,000	0,432	-0,121	0,309	0,329	0,492	0,400	0,274	-0,207	0,432	-0,805	0,268	0,579	-0,630	0,548	-0,216	0,321	
Te																				1,000	0,452	0,733	0,436	0,160	0,564	0,837	0,603	0,297	-0,652	-0,268	-0,147	-0,490	-0,168	-0,354	-0,239	
Cs																					1,000	0,819	0,482	0,191	0,705	0,416	0,143	-0,099	-0,201	-0,142	-0,191	0,238	-0,526	-0,420	-0,456	
Rb																						1,000	0,753	0,515	0,670	0,563	0,114	0,251	-0,409	-0,006	0,119	0,005	-0,452	-0,555	-0,331	
Y																							1,000	0,705	0,327	0,373	-0,047	0,053	-0,124	0,574	0,223	0,056	-0,450	-0,090	0,180	
Re																								1,000	0,278	0,268	-0,344	0,187	-0,229	0,377	0,682	-0,165	-0,278	-0,459	-0,044	
Li																									1,000	0,560	0,064	0,223	-0,707	-0,233	-0,104	-0,379	-0,093	-0,512	-0,386	
U																										1,000	0,743	-0,076	-0,606	-0,263	-0,183	-0,661	-0,285	-0,270	-0,279	
Au																											1,000	-0,326	-0,190	-0,384	-0,572	-0,415	-0,232	0,164	-0,158	
Tl																												1,000	-0,226	-0,306	0,150	-0,112	0,039	-0,582	-0,332	
Pd																													1,000	0,148	-0,233	0,778	-0,458	0,332	0,010	
Be																														1,000	0,376	0,183	0,155	0,571	0,838	
Zr																															1,000	-0,055	0,324	-0,312	0,217	
Cd																																1,000	-0,380	0,089	-0,053	
La																																		1,000	0,299	0,551
Ce																																			1,000	0,809
Pr																																				1,000



Şekil 8.2 Simav ocağı elementlerine ait dendoğram

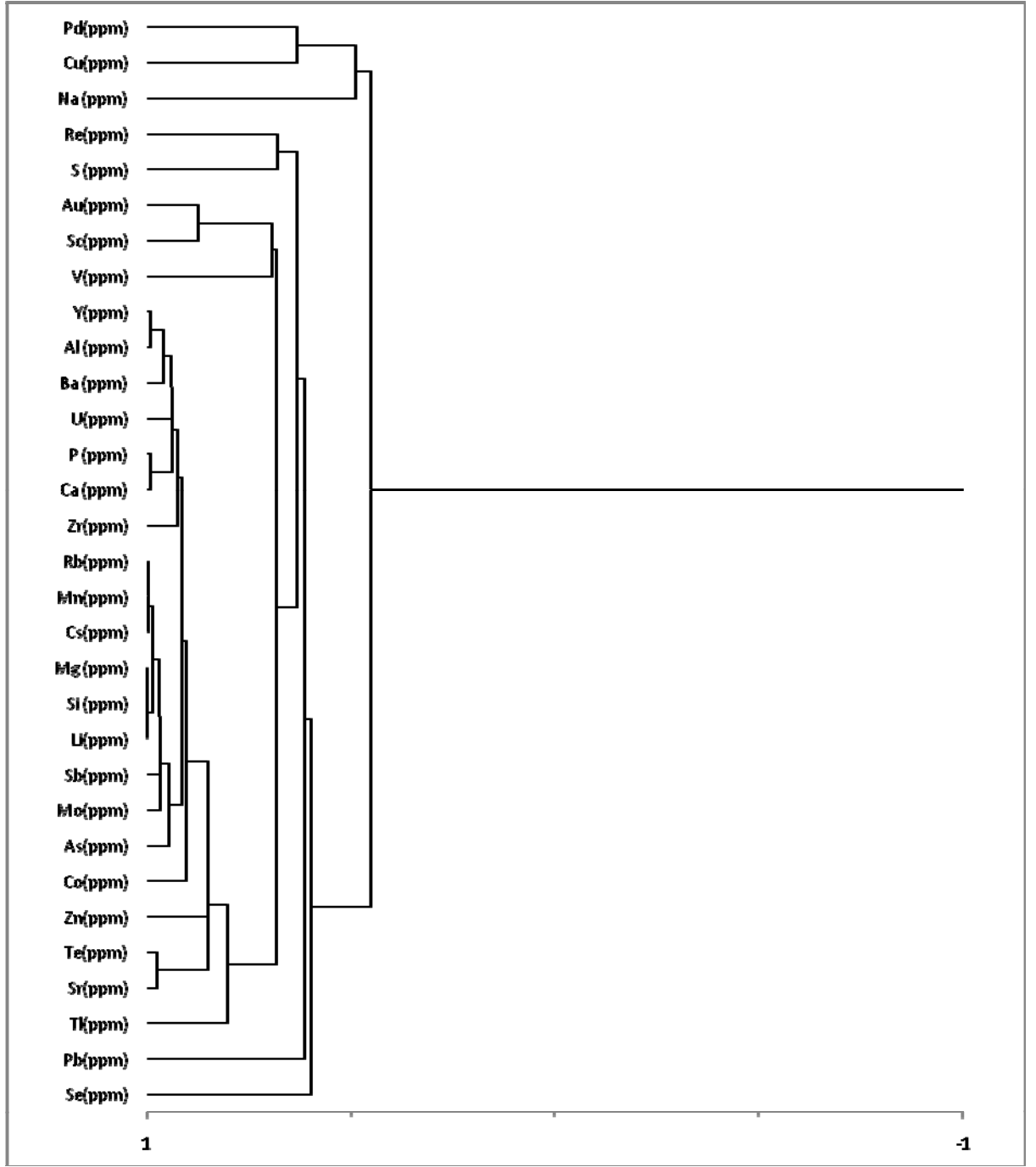
Çizelge 8.9 Acep ocağı örneklerine ait korelasyon katsayıları

	Si	Ca	Na	Mg	P	Al	Mn	S	Mo	Cu	Pb	Zn	Co	As	Sr	Sb	Ba	Sc	Se	Te	Cs	Rb	Y	Re	Li	U	Au	V	Tl	Pd	Zr
Si	1,000	0,781	-0,184	0,999	0,766	0,424	0,953	-0,259	0,844	-0,204	0,339	0,671	0,769	0,854	-0,002	0,860	0,259	-0,029	0,087	-0,030	0,953	0,960	0,453	0,086	0,995	0,468	-0,171	0,151	0,465	-0,857	0,462
Ca		1,000	-0,294	0,765	0,966	0,848	0,826	-0,355	0,526	-0,580	0,127	0,451	0,568	0,487	0,200	0,704	0,643	-0,037	0,243	0,267	0,858	0,854	0,824	-0,230	0,746	0,781	-0,094	0,365	0,184	-0,729	0,647
Na			1,000	-0,181	-0,293	-0,240	-0,146	0,346	-0,012	0,261	-0,678	0,460	0,176	0,080	0,084	-0,130	-0,112	0,242	-0,667	-0,048	-0,207	-0,218	-0,219	-0,167	-0,207	-0,308	0,077	-0,096	0,175	0,142	0,011
Mg				1,000	0,743	0,391	0,951	-0,252	0,858	-0,167	0,348	0,680	0,766	0,861	-0,013	0,868	0,233	-0,026	0,089	-0,047	0,951	0,955	0,421	0,095	0,996	0,444	-0,176	0,129	0,477	-0,841	0,440
P					1,000	0,881	0,776	-0,237	0,422	-0,720	0,160	0,373	0,614	0,468	0,182	0,593	0,661	-0,153	0,196	0,261	0,804	0,815	0,849	-0,132	0,740	0,812	-0,156	0,324	0,286	-0,781	0,689
Al						1,000	0,504	-0,261	0,088	-0,820	-0,075	0,127	0,341	0,115	0,390	0,311	0,844	-0,142	0,231	0,504	0,502	0,523	0,975	-0,307	0,376	0,856	-0,040	0,472	-0,050	-0,582	0,662
Mn							1,000	-0,363	0,868	-0,236	0,210	0,661	0,620	0,857	0,238	0,918	0,447	0,048	0,214	0,219	0,961	0,972	0,568	-0,013	0,926	0,427	-0,073	0,309	0,364	-0,857	0,398
S								1,000	-0,370	0,036	-0,144	-0,079	0,174	-0,026	0,015	-0,470	-0,219	-0,597	-0,305	-0,146	-0,409	-0,327	-0,299	0,607	-0,197	-0,138	-0,355	-0,430	0,503	0,113	-0,265
Mo									1,000	0,244	0,228	0,745	0,539	0,872	0,066	0,960	0,046	0,196	0,132	-0,004	0,844	0,851	0,167	-0,008	0,825	0,117	-0,060	0,171	0,366	-0,580	0,125
Cu										1,000	0,017	0,185	-0,148	0,039	-0,243	0,057	-0,723	0,234	-0,147	-0,389	-0,251	-0,264	-0,768	0,069	-0,182	-0,591	0,039	-0,294	-0,066	0,481	-0,553
Pb											1,000	-0,206	0,181	0,147	-0,250	0,205	-0,165	-0,477	0,567	-0,215	0,208	0,241	-0,090	0,460	0,396	0,144	-0,446	-0,272	0,242	-0,235	0,179
Zn												1,000	0,663	0,659	-0,019	0,689	-0,020	0,347	-0,445	-0,127	0,664	0,652	0,156	-0,255	0,653	0,167	0,181	0,261	0,419	-0,478	0,321
Co													1,000	0,624	-0,190	0,514	0,085	-0,275	-0,261	-0,276	0,634	0,649	0,298	0,141	0,785	0,577	-0,467	-0,211	0,588	-0,640	0,601
As														1,000	0,158	0,801	0,150	-0,047	0,048	0,042	0,793	0,830	0,202	0,327	0,848	0,072	-0,200	0,042	0,547	-0,751	0,068
Sr															1,000	0,147	0,753	-0,229	0,455	0,965	0,015	0,116	0,548	0,019	-0,042	0,118	0,070	0,475	-0,021	-0,301	-0,155
Sb																1,000	0,237	0,192	0,251	0,128	0,912	0,911	0,371	-0,146	0,828	0,305	-0,056	0,265	0,306	-0,601	0,228
Ba																	1,000	-0,199	0,425	0,825	0,324	0,361	0,909	-0,169	0,204	0,565	-0,050	0,437	-0,082	-0,544	0,389
Sc																		1,000	-0,433	-0,155	0,156	0,038	-0,129	-0,727	-0,084	-0,317	0,772	0,423	-0,388	0,206	-0,063
Se																			1,000	0,524	0,119	0,178	0,293	0,240	0,083	0,169	-0,352	0,040	-0,101	-0,121	-0,105
Te																				1,000	0,029	0,111	0,643	-0,123	-0,079	0,197	0,131	0,551	-0,108	-0,269	-0,073
Cs																					1,000	0,983	0,516	-0,105	0,927	0,460	-0,035	0,277	0,334	-0,771	0,445
Rb																						1,000	0,553	-0,004	0,937	0,479	-0,079	0,318	0,381	-0,821	0,410
Y																							1,000	-0,276	0,400	0,790	0,014	0,557	-0,058	-0,652	0,572
Re																								1,000	0,150	-0,239	-0,541	-0,458	0,375	-0,235	-0,286
Li																									1,000	0,452	-0,205	0,095	0,517	-0,847	0,444
U																										1,000	-0,293	0,172	0,081	-0,474	0,699
Au																											1,000	0,744	-0,395	0,101	-0,180
V																												1,000	-0,296	-0,315	0,105
Tl																													1,000	-0,357	0,064
Pd																														1,000	-0,492
Zr																															1,000

Acep kesimine ait bu korelasyon ilişkilerinde birkaç farklı durum ortaya çıkarmıştır. Örneğin Alt Boratlı Zonda (Tülü) bulunmayan Pd 'un birçok elementle negatif ilişkisi, Alt Boratlı zonda pozitif ilişkileri ile göze çarpan Cu'nun Simav' a benzer şekilde gösterdiği negatif ilişkiler, önemli farklılıklardır. Ayrıca Acep'te belirginleşen Ba, Al, P, Sr, Y, Te ve hatta U birlikteliği ve Cs, Rb, Li beraberliğinin Simav'da tam görülmemesi buna karşılık Cs, Pb, Ci ve Y beraberliği Alt Boratlı Zonda da görülmesi dikkati çekmektedir.

Acep örneklerine ait elementlerin, korelasyon matrisi dendogramı Şekil 8.3'de verilmiş olup, burada oluşan başlıca gruplar görülmektedir. Buna göre (Pd, Cu, Na),(Re, S),(Au, Sc, V), (Y, Al, Ba, U, P, Ca, Zr) (Rb, Mn, Cs, Mg, Si, Li, Sb, Mo, As, Co, Zn, Te, Sr, Tl) şeklinde beş grup oluştuğu görülmektedir.

Stratigrafik dizilime göre Üst Tüf Biriminin (Şekil 4.2) ayırdığı Alt ve Üst Boratlı Zonların element korelasyonları ve bunların gruplaşmaları bu iki zonun jeokimyasal özelliklerinin de farklı olduğunu göstermektedir. Tamamen aynı olmasa da Simav ve Acep kesimleri olarak incelenen Üst Boratlı Zonun birbirine benzer element gruplaşmaları olduğu buna karşılık Alt Boratlı Zonun bunlardan farklı olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 8.3 Acep ocağı elementlerine ait dendoğram

8.4 Elementlerin Derinliğe Bağlı Değişimleri

Alt Boratlı Zona (Tülü kesimi) ait bir, Üst Boratlı Zona (Simav ve Acep kesimi) ait iki sondajdan derlenen ve çeşitli derinlikleri temsil eden boratların element içeriklerinin derinliğe bağlı dağılımları bu bölümde incelenmektedir. Yapılan kimyasal analiz sonucunda varlıkları belirlenen tüm elementlerin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 8.4-8.6'da görülmektedir.

Alt Boratlı Zonun(Tülü) dağılımını gösteren Şekil 8.4'deki eğilimler başlıca iki benzer grup oluşturmaktadır. Li, Mg, Cs, Rb, Pb, Al, S, Cu, V, Y, Si, Zn, Tl, U, Cd, Mo, Sb, P, As, Mn, Fe, Na ve Zr eğilimleri birbirine çok benzeyen 1.grubu; Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, La ve Nb 2.grubu oluşturmaktadır. Davranışları tamamen olmasa da ikinci gruba benzetilebilen Se ve Ca'un eğrileri hemen hemen birbirinin aynıdır. Bunlar gibi birbirinin aynı olan Sr ve Te ikilisinin eğrileri de Se-Ca ikilisine ve dolayısıyla 2.gruba benzemektedir. Diğer elementler ki, bunlar Sc, Er, Ba, Au ve Co olup, yukarıda sayılanlardan ve birbirlerinden farklı eğriler oluşturmuşlardır. Şekil 8.4'den çıkarılabilen bu sonuçlar Cluster analizleri sonuçlarını (Şekil 8.1) desteklemektedir.

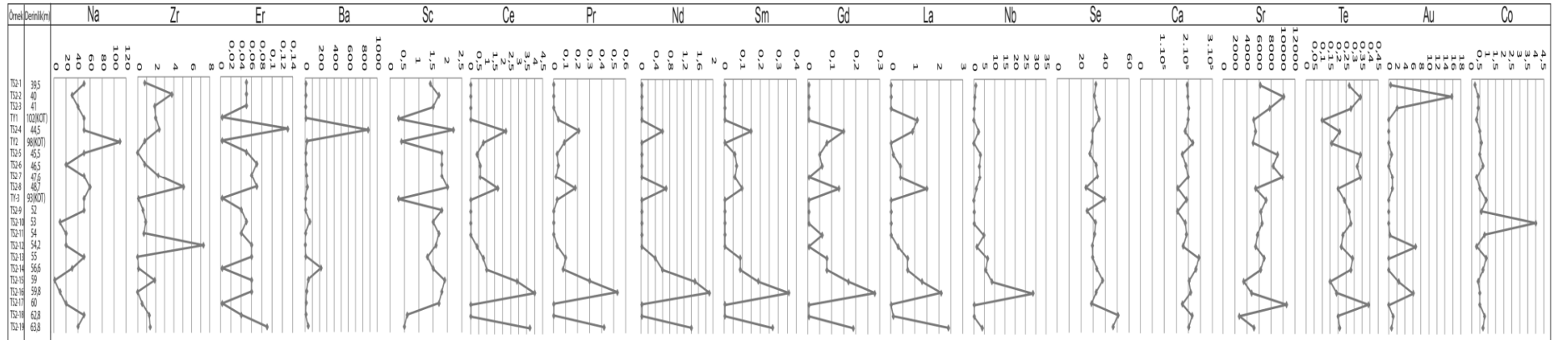
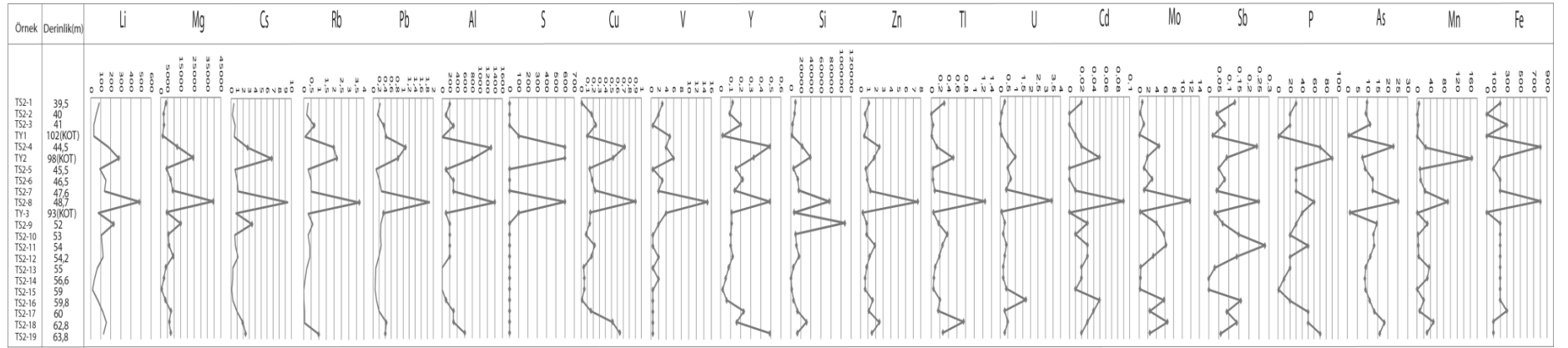
Tülü sondajının Alt Boratlı Zonda 39,5 ve 63,8 m arasındaki derinliklerini temsil eden örneklerin içerdiği element davranışları, tanımlanan iki farklı grup ve münferit hareket eden elementler olarak az çok farklı sonuçlar vermektedir.

1.grubu oluşturan elementlerin yaklaşık 52 m derinliğe kadar oldukça değişken davrandıkları görülmektedir. Bu derinlikten 63,8 m'ye kadar dağılım aralığı nispeten sabitleşen Li, Mg, Cs, Rb, Pb, Al, Cu ve Y'un son metrelerde arttığı gözlenmektedir. S, V ve Fe ise 52 m'den sonra yaklaşık aynı değişim aralığında kalmışlardır. 1.gruba ait Mo, Sb, P, As ve Mn'in bütün derinliklerde değişken oldukları gözlenmektedir.

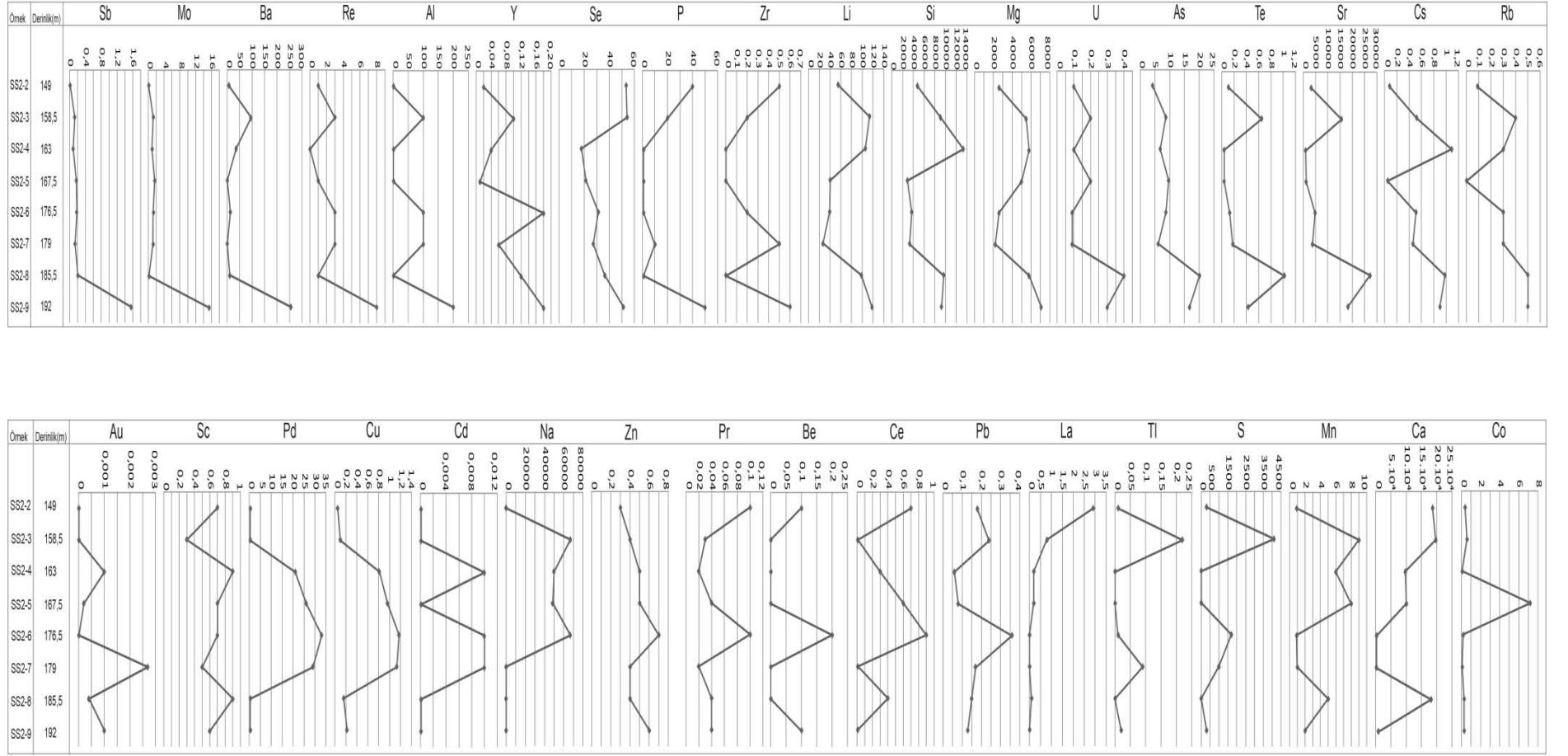
Üst Boratlı Zonu temsil eden Simav ve Acep sondajlarına ait eğilimler burada ayrı ayrı incelenmektedir. Şekil 8.5'de Simav sondajının verilerine göre hazırlanmış dağılım diagramı görülmektedir. Benzerliklerine göre eğriler 5 grup oluşturmaktadır. Bunlar;

1.grup; (Sb, Mo, Ba, Re, Al, Y, Se, P, Zr), 2.grup; (Li, Si, Mg, U, As, Te, Sr, Cs, Rb), 3.grup; (Pr, Be, Ce, Pb), 4.grup; (Pd, Cu, Cd) ve 5.grup; (Tl, S) olarak gruplanmışlardır. İlk iki büyük grup kendi içinde yüksek benzerlik gösteren alt gruplara ayrılabilir. Örneğin; 1.grup önce (Sb, Mo, Ba, Re, Al) ve (Y, Se, P, Zr) şeklinde ayrılabilir, daha sonra (Se, P, Zr), (Sb, Mo, Ba) ve (Re, Al) şeklinde yüksek benzerlik ilişkilerine göre ayrılabilir. 2. grupta ise (Li, Si, Mg), (U, As, Te, Sr) ve (Cs, Rb) alt grupları göze çarpmaktadır.

Simav ocağına ait örnekler 140–192 m arasından derlenmiştir. Dağılım eğrileri be derinliklerde genel olarak inişli çıkışlı bir desen sunmaktadır. Bu desenler ortamın fizikokimyasal şartlarının değişkenliğine işaret edebilir. Bu genel eğilim dışında dağılımları daha az değişen elementler de vardır. Örneğin Sb, Mo ve As dağılımları 185,5 m'lere kadar yaklaşık sabit bir aralıkta iken, bundan daha derinlerde büyük artış göstermektedir. La ise 149m'de en yüksek değeri göstermekte, ortam derinleştikçe azalarak 163-193m arasında en yüksek ve sabit değerler almaktadır.



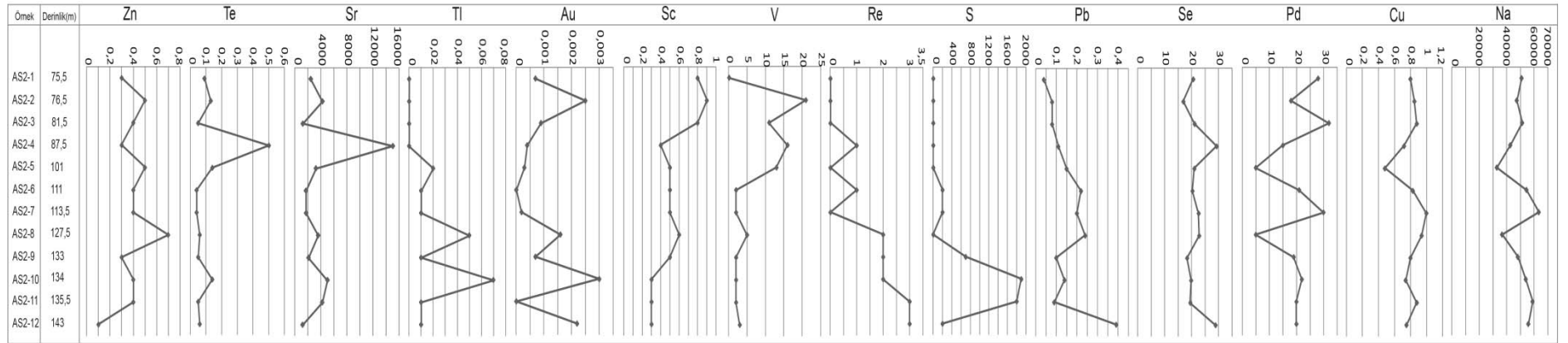
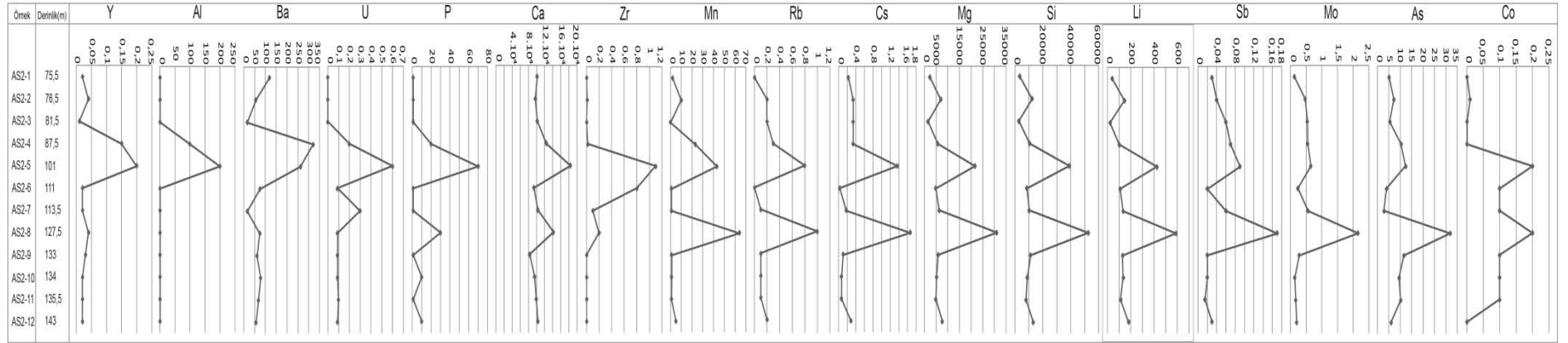
Şekil 8.4 Tülü ocağı elementleri derinliğe bağlı değişimleri



Şekil 8.5 Simav ocağı elementleri derinliğe bağlı değişimleri

Acep sondajına ait örnekler 75,5–143 m’ler arasında derlenen boratlara aittir. Benzerliklerine göre elementler bu kesimde dört belirgin grup oluşturmaktadır (Şekil 8.6). Birinci ve en büyük grupdan (Mn, Rb, Cs, Mg, Si, Li, Sb, Mo, As, Co, Zn, Te, Sr) oluşmakta, bu gruba benzemekle birlikte (Y, Al, Ba, U, P, Ca, Zr) ise ikinci grup olarak ayrılmaktadır. Bunları üçüncü grup olarak (Sc, V) ve dördüncü grup olarakta (Na, Cu, Pd) üçlüsünü ekleyebiliriz. Birbirlerine benzeyen birinci ve ikinci grup elementlerin eğilimlerine göre 75,5–81,5 m’lerde ve yaklaşık 130–143 metreler arasında hem miktar olarak, hem de değişim aralığı yaklaşık sabit olan elementlerin orta kesimlerde (81,5–130 m) inişli çıkışlı bir desen sergiledikleri görülmektedir. Sc ve V’un eğrileri başlangıçta yüksek değerler göstermekte, derinliğe bağlı olarak giderek azalmakta ve en düşük değerlere ulaşmaktadır. Na, Cu ve Pd üçlüsü ise derinliğe göre çok değişken bir desen göstermektedir.

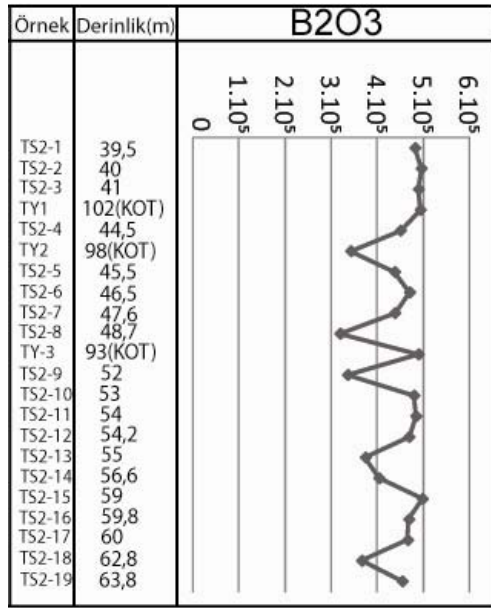
Her üç kesim (Tülü, Simav, Acep) için, derinliğe bağlı dağılımların bir sonucu olarak; elementlerin büyük bir çoğunluğunun değişken davrandıkları söylenebilir. Bu değişkenlik borat oluşum ortamlarında birkaç metrelik farklı derinliklerde bile etkin olan fizikokimyasal şartların değişken olduğunu açıklamaktadır.



Şekil 8.6 Acep ocağı elementleri derinliğe bağlı değişimleri

8.5 Bigadiç Boratların B₂O₃ İçeriği ve Bunun Derinliğe Bağlı Dağılımı

Alt boratlı zona (Tülü kesimi) ait örneklerin B₂O₃ içerikleri ve bunun derinliğe göre dağılımı Şekil 8.7’de görülmektedir. Bu zonda B₂O₃’ün dağılım aralığı 343900–499300 ppm (Çizelge 8.10) olup, 39,5–102 (Kot) metreler arasındaki derinliklerde en fazla ve sabit değerlerde (490000 ppm) kalmaktadır. 102 (Kot) metreden daha derinlerde ise, 63,8 m’ye kadar B₂O₃ bolluğunda inişli-çıkışlı bir desen görülmektedir.

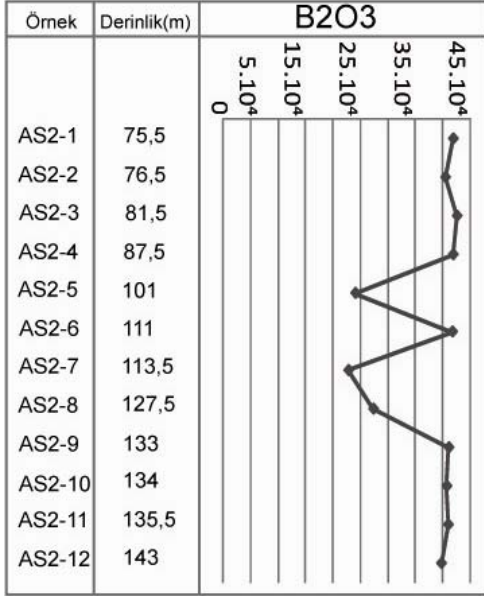


Şekil 8.7 Tülü borat örnekleri derinliğe bağlı değişimi

Üst boratlı zonun Acep kesimi B₂O₃ dağılımının görüldüğü Şekil 8.8 verilmiştir. B₂O₃’ün değişim aralığı bu zonda 228200- 426300 ppm (Çizelge 8.10) olduğu, 75,5–87,5 metreler ve 133–143 metreler arasında sabit değerler (yaklaşık 410000 ppm) gösteren B₂O₃’ün, orta derinliklerde (87,5-133 metreler arası) değişken değerler aldığı izlenmektedir. Söz konusu orta derinliklerde üç örneğin B₂O₃ içeriği ortalama 250000 ppm’e kadar düşmüştür.

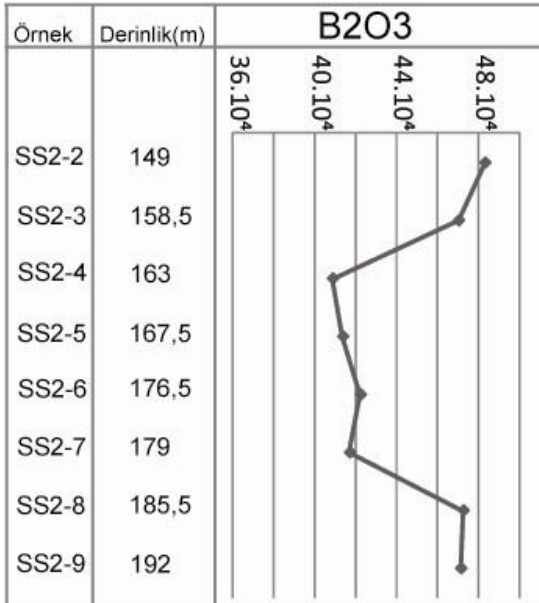
Üst borat zonun Simav Kesimine ait dağılım grafiği Şekil 8.9’da verilmiştir. B₂O₃’ün değişim aralığı bu zonda 408800- 483600 ppm’dir (Çizelge 8.10). Derinliğe göre değişim eğrilerinin genel eğilimi Acep kesimine benzemektedir. 149. ile 158.5. metreler ve en derin olan 185.5 ile 192. metrelerde yaklaşık 475000 ppm’lere yakın olan B₂O₃

değerleri; 163-179 metrelerde ise 400000-420000 ppm civarında dar bir aralıkta değişen değerler almaktadır.



Şekil 8.8 Acep borat örnekleri derinliğe bağlı değişimi

Bu veriler, Bigadiç boratlarını oluşturan göl ortamının değişik kesimlerinin (Tülü, Simav, Acep) hem B₂O₃ içeriklerinde hem de derinliğe bağlı dağılımlarında farklılıklar bulunduğunu açıklamaktadır.



Şekil 8.9 Simav borat örnekleri derinliğe bağlı değişimi

Çizelge 8.10 Bigadiç borat örnekleri B₂O₃ içerikleri (Tülü: TS2, Acep: AS2 ve Simav : SS2)

ÖRNEK	Derinlik	B ₂ O ₃ (ppm)	Örnek no	Derinlik	B ₂ O ₃ (ppm)	Örnek no	Derinlik	B ₂ O ₃ (ppm)
TS2-1	39,5	483000	AS2-1	75,5	419400	SS2-2	149	483600
TS2-2	40	496800	AS2-2	76,5	405200	SS2-3	158,5	470600
TS2-3	41	490600	AS2-3	81,5	426300	SS2-4	163	408800
TY1	(102 KOT)	494600	AS2-4	87,5	419300	SS2-5	167,5	413800
TS2-4	44,5	451500	AS2-5	101	240800	SS2-6	176,5	422500
TY2	98(KOT)	343900	AS2-6	111	418000	SS2-7	179	417200
TS2-5	45,5	439000	AS2-7	113,5	228200	SS2-8	185,5	472900
TS2-6	46,5	471500	AS2-8	127,5	273700	SS2-9	192	471700
TS2-7	47,6	439500	AS2-9	133	411400			
TS2-8	48,7	320600	AS2-10	134	407600			
TY3	93(KOT)	490600	AS2-11	135,5	410300			
TS2-9	52	337200	AS2-12	143	397700			
TS2-10	53	480800						
TS2-11	54	484900						
TS2-12	54,2	470100						
TS2-13	55	375600						
TS2-14	56,6	405100						
TS2-15	59	499300						
TS2-16	59,8	469900						
TS2-17	60	467200						
TS2-18	62,8	367700						
TS2-19	63,8	455400						
Ortalama		442491	Ortalama		371492	Ortalama		445138
Std Sapma		57235	Std. Sapma		75769	Std Sapma		32070
(1)Kabuk ortalama		10	(1)Kabuk ortalama		10	(1)Kabuk ortalama		10
(2)Andezit Ortalama		15	(2)Andezit Ortalama		15	(2)Andezit Ortalama		15
(3)Talışu Ortalama		0,01	(3)Talışu Ortalama		0,01	(3)Talışu Ortalama		0,01

(1). Krauskopf, K. B. 1989, (2). Schroll, E. 1975, (3). Abollino, O., *et al.* 2004.

9. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bigadiç yataklarında boratlar alt ve üst olarak ayırt edilen iki zonda yer almaktadır. Üst Miyosen yaşlı marn, kıltaşı, killi kireçtaşı, çamurtaşı ve tuf gibi benzer birimler içinde borat seviyelerinin kalınlıkları 10-800 cm'dir. Yatakların kurak ve yarı kurak iklim koşullarında yerel volkanik etkinlikler ile bağlantılı olan hidrotermal çözeltiler ve sıcak su kaynaklarıyla beslenen volkanik bakımdan etkin sahalarda gelişmiş ayrık veya birbirleriyle bağlantılı olabilen playalarda oluştuğu önceki araştırmacılar (Baysal 1973, Helvacı ve Alaca 1984) tarafından açıklanmıştır. Bigadiç yataklarında hakim mineraller kolemanit ve üleksittir. Ayrıca üst boratlı zona ait bir örnekte reedmergnerit ve searlesit mineraline rastlanmıştır. Yatağın hâkim mineralleri olan kolemanit ve üleksit önceki yazarlarca da (Baysal 1973, Helvacı ve Alaca 1991) belirtilmiş ve bunların birincil oluşumlu oldukları vurgulanmıştır (Helvacı 1977, 1984, 1991). Baysal (1973)'ın da açıkladığı gibi Bigadiç yataklarında kimyasal karbonat çökeltimlemini Ca zenginliğinden dolayı playa göl suyunda Ca-boratların çökeltimi takip etmiştir. Çökeltim sürecinde ortamda Na artması olacağından buharlaşmanın da katkısıyla (Ca-Na)-boratların çökeltimi gelişmiş olup, Na'ca yeterince zenginleşme olmamasından dolayı beklenen Na-boratlar yerine tekrar (Ca-Na)-boratlar çökelmiştir. Bu açıklamaya Helvacı (1989)'da katılmaktadır. Bor minerali olarak ilk defa bu araştırmada searlesit ($\text{NaBSi}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$) ve reedmergnerit (NaBSi_3O_8) mineralleri belirlenmiştir. Searlesit Hay (1966)'ya göre denizel olmayan yüksek tuzluluğa sahip ortamlarda otijenik silikatlar şeklinde bulunmaktadır (Yang and Rosenberg 1992). Searlesitin bazı alkalin göllerde (Kaliforniya'daki Searles gölü) gelişen sedimanlarda oluştuğu ve otijenik K-feldispat ve zeolitlerle birlikte bulunduğu da bildirilmektedir (Hay and Moiola 1963, Taylor and Surdam 1981). Ayrıca searlesit Tecopa gölü tüfitlerinden alterasyonla oluşan otijenik zeolitlerle de birlikte bulunmaktadır (Shepper and Gude 1968). Boratlardan başka kalsit, kuvars, hidrohalit, analsim, killerden montmorillonit ve illit mineralleri parajenezle eşlik etmektedir. Killerin hemen hemen tamamı montmorillonit olup, illit eser miktardadır. Montmorillonit çözeltilerin bazik karakterini, eser de olsa illit ortama K katkısını göstermektedir. Bigadiç boratlarının oluşum sıcaklığı, kil mineralleri ve sıvı kapanım incelemelerinden elde edilen homojenleşme sıcaklıkları birlikte değerlendirilerek

tartışılmıştır. Sıvı kapanım sonuçları bir göl ortamındaki tortul boratlar için oldukça yüksek değerler (>200°C, Çizelge 6.1) vermiştir.

Oysa borat mineralleri sedimanter ortamlarda 25–45–60,8°C’lerde oluşmaktadırlar (Bowser, 1964). Bigadiç örneklerinde tek fazlı (sıvı) kapanımların iki fazlılardan (sıvı+gaz) çok fazla oluşu sıcaklığın genel olarak 100 °C hatta 65 °C’nin altında olduğunu göstermekte (Roedder 1984) ise de bazı örneklerde iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yüksek homojenleşme sıcaklığı (>200 °C) elde edilmiştir. Krauskopf (1989) kil mineralleri oluşumunun ya birkaç yüz °C’de ya da düşük sıcaklıklarda ama uzun zamanda gerçekleşebileceğini açıklamıştır. Burada jeoloji (volkanik aktivite ve hidrotermal çözelti etkisi), mineraloji (borat ve kil mineralleri) ve sıvı kapanım verileri birlikte değerlendirilerek bir sonuca varılmaya çalışılmıştır. Buna göre oluşumdaki yüksek sıcaklık verileri ancak hidrotermal çözeltilerin etkisiyle açıklanabilmektedir. Kolemanit ve üleksit minerallerinin oluşum sürecinde yüksek sıcaklıktaki çözeltiler kristallere sızma şeklinde katılarak yarı ikincil (pseudo secondary) kapanımların oluşmasını sağlamıştır. Bu kapanımlar Roedder (1984) tarafından birincil kapanımlar olarak tanımlanmış olup, bundan dolayı elde edilen sıcaklıkların dikkate alınması gerekmektedir. Önceki araştırmalarda (Barker and Barker 1985, Gasca *et al.* 1998) incelenen borat oluşumlarının ikincil olmaları yüzünden bir homojenleşme sıcaklığı verilmesinden kaçınılmıştır. Bu yüzden Gasca *et al.* (1998) literatürde borat oluşumlarıyla ilgili olarak sıvı kapanım çalışmalarına dayanan bir homojenleşme sıcaklığı olmadığını açıklamışlardır.

Ana ve eser element jeokimyası incelemelerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Bigadiç boratlarının içerdiği ana elementler bolluklarına göre Tülü örneklerinde Ca, Si, Mg, Al, Fe, S, Na, P ve Mn şeklinde, Simav örneklerinde Ca, Na, Si, Mg, S, Al, P ve Mn şeklinde, Acep örneklerinde ise Ca, Na, Si, Mg, S, Al ve Mn şeklinde sıralanmaktadır. Buna göre Simav ve Acep birbirine benzemekte fakat Tülü’de Si’un Mg’la yer değiştirerek ikinci sıraya çıktığı görülmektedir.
- Alt boratlı zonda Ca-boratların, üst boratlı zonda ise Ca-Na boratların çökmesine uygun ortam koşulları bulunmaktadır.

- Tatlı su ortalamalarına göre analizde çıkan tüm ana elementlerde çok yüksek artışlar bulunmaktadır. Bu da Bigadiç boratlarını oluşturan göl ortamına dış etkenlerle önemli oranda element transfer edildiğini göstermektedir.
- Alt boratlı zonda, üst boratlı zonda hiç bulunmayan 223,86 ppm değerinde bir Fe katkısı vardır.
- Si, Mg, P, Al ve Mn her iki zonda da yer kabuğu ve andezit ortalamalarına göre yaklaşık benzer katsayılarla azalma göstermişlerdir.
- Her iki zonda artış gösteren S ortama ilave edilen hidrotermal bir katkıyı işaret edebilir.
- Tüm eser elementler tatlı su ortamlarına göre Bigadiç boratlarında çok fazla artış göstermektedir. Yer kabuğu ve andezit ortalamalarına göre Se, Sr, As, Li ve Mo'de önemli artışlar, diğer elementlerde (Cu, Pb, Zn, Co, U, Au, Cd, Sb, V, Ba, Sc, Tl, Cs, Nb, Rb, Zr, Y ve NTE) ise azalmalar kaydedilmiştir.
- Elementlerin korelasyon ilişkilerine göre çeşitli gruplar oluşturdukları görülmüştür. Buna göre Alt boratlı zonda (Tülü) (Nb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Er) ve (Rb, Pb, Al, Li, Mg, Cs, S, Cu, V, Y, Si, Zn, Tl, Cd, V, P, Sb, Mo, As, Mn, Fe, Na) şeklinde iki grup belirlenmiştir. Üst boratlı zonda (Simav) (Pd, Cu, Cd), (Pr, Be, Ce, Pb), (Tl, S), (Sb, Mo, Ba, Re, Al, Y, Se, P, Zr) ve (Li, Si, Mg, U, As, Te, Sr, Cs, Rb) şeklinde beş grup bulunmaktadır. Üst boratlı zonun Acep kesiminde ise (Pd, Cu, Na),(Re, S),(Au, Sc, V),(Y, Al, Ba, U, P, Ca, Zr) (Rb, Mn, Cs, Mg, Si, Li, Sb, Mo, As, Co, Zn, Te, Sr, Tl) şeklinde beş grup oluşmaktadır. Tamamen aynı olmasa da Simav ve Acep kesimlerinin (Üst boratlı zon) birbirine benzer element gruplaşmaları olduğu, buna karşılık Alt boratlı zonun bunlardan farklı olduğu ortaya çıkmıştır. Stratigrafik dizilime göre Üst tuf biriminin ayırdığı Alt ve Üst boratlı zonların; element korelasyonları ve bunların

gruplaşmaları bu iki zonun jeokimyasal özelliklerinin de farklı olduğunu işaret etmektedir.

- Gerek B_2O_3 ve gerekse diğer ana ve eser elementlerin derinliğe bağlı dağılımlarının farklı olduğu ve elementlerin büyük bir çoğunluğunun değişken davrandıkları belirlenmiştir. Bu değişkenlik Bigadiç borat oluşum ortamlarındaki birkaç metrelik farklı derinliklerde bile etkin olan fizikokimyasal şartların değişkenliğini göstermektedir.

Benzer bir çalışma (Kavrazlı 2007, Koç vd. 2008,a,b) Batı Anadolu borat yataklarının önemli bir temsilcisi olan Kestelek yatağında yapılmıştır. Kestelek havzası jeolojik özellikler bakımından Bigadiç havzasına benzemektedir. Bor minerali olarak sadece kolemanitin depolandığı Kestelek yatağı Bigadiç gibi Miyosen gölsel (Lakustrin) ortamda oluşmuştur. Benzer olan Kestelek ve Bigadiç ortamlarının jeokimyasal özelliklerinde farklılıklar bulunmaktadır. Ana element bolluk oranlarında Bigadiç'in farklı ocaklarında dahi az çok farklılıklar göze çarpmaktadır. Örneğin Tülü, Simav ve Acep örneklerinin Ca, Si, Mg ve Na gibi ana element bolluklarında farklılıklar vardır (Çizelge 8.1–8.3). Bigadiç ile Kestelek (Koç vd. 2008) ana element bakımından karşılaştırıldığında Ca, Si, Mg'un yaklaşık aynı değerlerde olduğu, buna karşılık Na, Al, Ti ve Cr gibi elementlerde büyük farklılıklar olduğu görülür. Özellikle Bigadiç'te en fazla 318 ppm kadar Al değerinin Kestelek'te 2778 ppm olması, Bigadiç'te olmayan Ti ve Cr'un sırasıyla 310 ppm ve 20 ppm kadar da olsa Kestelek'te bulunması önemli farklılıklar olmaktadır. Al, Ti ve Cr içeriklerinin Bigadiç'ten fazla oluşu, Kestelek göl ortamına karasal katkının (detritik) daha fazla olduğunu göstermektedir.

Eser elementler açısından bakıldığında Bigadiç'in her üç ocağına ait örneklerde de Se, Sr, As, Li ve Mo'in yerkaşuğu, andezit ve tatlı su ortamlarına göre önemli ölçüde zenginleştiği dikkati çekmektedir. Kestelek'te ise Cs, Se, Sr, As ve Li zenginleşmesi olduğu açıklanmıştır (Koç vd. 2008b). Burada Se, Sr, As ve Li'un hem Kestelek'te hem de Bigadiç'te zenginleştiği ortaya çıkmaktadır.

Element konsantrasyonlarında Kestelek'te elementlerin büyük bir bölümünün birlikte hareket eden tek bir grubu oluşturduğu, yalnızca B-Se ikilisinin büyük gruptan farklı

hareket ettiği bilinmektedir (Koç vd 2008). Elementlerin bu eğilimi ortama madde sağlayan ana bir kaynağın olduğunu ve daha az oranda etkin olabilen ikinci bir kaynağın bulunduğunu işaret etmektedir (Koç vd. 2008). Bigadiç'in element korelasyonları ise az da olsa hem kendi içinde Tülü, Simav ve Acep ocaklarında hem de Kestelek'e göre farklı jeokimyasal eğilimler bulunduğunu göstermektedir. Tülü'de biri (Nb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Er) diğeri (Rb, Pb, Al, Li, Mg, Cs, S, Cu, V, Y, Si, Zn, Tl, Cd, V, P, Sb, Mo, As, Mn, Fe, Na) olmak üzere iki; Simav'da (Pd, Cu, Cd), (Pr, Be, Ce, Pb), (Tl, S), (Sb, Mo, Ba, Re, Al, Y, Se, P, Zr) ve (Li, Si, Mg, U, As, Te, Sr, Cs, Rb) şeklinde beş; Acep'te (Pd, Cu, Na),(Re, S),(Au, Sc, V),(Y, Al, Ba, U, P, Ca, Zr) (Rb, Mn, Cs, Mg, Si, Li, Sb, Mo, As, Co, Zn, Te, Sr, Tl) şeklinde beş grup belirlenmiştir. Elementlerin Kestelek ve Bigadiç'te farklı hatta Bigadiç'in alt ve üst boratlı zonlarında gösterdiği kısmen farklı jeokimyasal eğilimler beslenme rejiminde ve kaynağındaki değişikliklerin etkisiyle çökeltme ortamındaki fizikokimyasal şartların değişkenliğini göstermektedir.

Göl ortamının iklim koşullarını bağlı olarak çeşitli periyotlarda sellenme-buharlaştırma dönemleri geçirmiş olması bu değişikliklerin sebeplerinden biri olabilir. Borat oluşum sürecinde bölgede volkanizmanın yoğun bir şekilde faaliyete geçmesi sonucunda çökelen üst tuf birimi içinde karbonat veya epiklastik arakatkıların bulunmaması volkanizmanın kesintisiz devam ettiğini göstermektedir. İşte ikinci sebep bu volkanik aktivitenin ve buna bağlı olarak oluşuma katılan hidrotermal çözeltilerin etkisi olabilir.

Ülkemizin önemli zenginliklerinde biri olan Bigadiç boratlarının kullanım alanlarıyla ilgili olarak yeni bir açılım yapılabilmesi için kolemanit ve üleksitlerde ESR incelemeleri yapılmış ve bu minerallerin manyetik özellikleri olduğu belirlenmiştir. Manyetik malzemeler hızla gelişmekte olan en önemli malzemeler arasındadır. Örneğin elektronik endüstrisinde, çelik üretiminde, korozyona karşı önlem geliştirilmesinde manyetik özelliğin önemli teknolojik katkı sağladığı bilinmektedir. Bigadiç boratlarının bu açıdan değerlendirildiğinde bor tabanlı manyetik malzemeler üretilmesini sağlayabileceği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abollino, O., Aceto, M., Buoso, S., Gasparon, M., Green, W. J., Malandrino, M. and Mentasti, E. 2004. Distribution of major, minor and trace elements in lake environments of Antarctica. *Antarctic Science* 16 (3): 277–291.
- Akyol, E. ve Akgün, F. 1990. Bigadiç, Kestelek, Emet ve Kırka boratlı Neojen tortularının palinolojisi, *MTA Dergisi*, 111, 165-173.
- Atherton, N.M. 1973. *Electron Spin Resonance Theory and Applications*, Halsted Press, 438 p. New York.
- Barker, C. E. and Barker, J. M. 1985. A re-evaluation of the origin and diagenesis of borate deposits, Death Valley region, California, in J. M. Barker and S. J. Lefond, eds., *Borates: economic geology and production: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum Engineering*, p. 101-135.
- Baysal, O. 1973. Sarıkaya (Kırka) Borat Yataklarının Oluşumu, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik III. Kongresi*, ss. 255-277.
- Baysal, O. 1974. Kırka Borat Yataklarındaki Kil Mineralleri Üzerine Önçalışma, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 17/1, s18-30.
- Baysal, O., Salancı, B., Batman, B., Yılmaz, O., Kasapoğlu, K.E., Şahbaz, A., Görmüş, S., Kocaefe, S., Gündoğdu, M.N., Kazanoğlu, H., Şentürk, A., Öner, M., Bayhan, H., Cerit, O., Karayığit, A.İ., Yalçın, H., Tolluoğlu, Ü., Demirel, İ.H., Genç, Y., Dilaver, T., Temel, A., Çetin, H. ve Bağcı, G. 1985. Bigadiç borat havzası jeolojisi ve ekonomik potansiyelinin tesbit edilmesi projesi. H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Beytepe-Ankara, Proje No: YUVAM/84-3(yayınlanmamış), 256 s.
- Bekişoğlu, K.A. 1961. Türkiye’de bor yatakları ve bunların ettiği ehemmiyet. M.T.A. Rapor no.3400 (yayımlanmamış), Ankara.
- Bodnar, R.J. 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 57, p. 683-684.
- Borsi, S., Ferrar, G., Innocenti, F. and Mazzuoli R. 1972. Petrology and geochronology of recent volcanism of Eastern Aegean Sea (Wet Anatolia and Lesvos Island). *Bull. Volcanol.* 36: 473-496.
- Bowser, C.J. 1964. *Geochemistry and petrology of the sodium borates in the non-marine evaporite environment*, (Ph. D.) 110 p, Dissertation, University of California, Los Angeles.
- Chamley H. 1989. *Clay Sedimentology*, Springer Verlag Berlin, 623p, Germany.

- Christ, C.L., Truesdell, A.H. and Erd, R.C. 1967. Borate mineral assemblages in the system Na₂O-CaO-MgO-B₂O₃-H₂O. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* vol. 31, pp. 313-339.
- Erkül, F., Helvacı C. ve Sözbilir, H. 2002a. Bor çökelleriyle ilişkili volkanik kayaların stratigrafisi ve tektonik ortamı, Bigadiç-soma-Sındırgı sahası: T.J.K. 55. Bilimsel ve Teknik Kurultay Bildiri Özetleri, 80-81.
- Erkül, F., Helvacı C. ve Sözbilir H.,2002b. Bigadiç bor havzası ve çevresindeki volkanik fasiyesler: T.J.K. 55. Bilimsel ve Teknik Kurultay Bildiri Özetleri, 83-84.
- Erkül, F., Helvacı C. and Sözbilir, H. 2005a. Stratigraphy an Geochronology of the Early Miocene Volcanic Units in the Bigadiç Borate Basen western Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, vol. 14, pp. 227-253.
- Erkül, F., Helvacı C. and Sözbilir, H. 2005b. Evidence for two episodes of volcanizm in the Bigadiç borate basin and tectonic implications for western Turkey, *Geological Journal*, 40: 545-570.
- Floyd, P.A., Helvacı, C. and Mittwede, S.K. 1997. Geochemical Discrimination Of Volcanic Rocks Associated With Borate Deposits: an exploration tool?, *Journal of Geochemical Exploration* 60,185–205.
- Gasca, M.A.M., Caballero, J.A.G, and Eastoe, C.J. 1998. Borate deposits of northern Sonora, Mexico; stratigraphy, tectonics, stable isotopes, and fluid inclusions, *Economic Geology*; v. 93, no. 4; p. 510-523.
- Gemici, Ü., Tarcan, G., Helvacı, C. and Somay, A.M. 2008. High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the Bigadiç borate deposits (Western Turkey), *Applied Geochemistry*, 23 (8), p.2462-2476.
- Hay, R. L. and Moiola, R.J. 1963. Authigenic silicate minerals in Searles Lake, California, *Sedimentology*, 2, 312-332.
- Helke, A. 1955. Beobachtungen an Türkische minerallagersteatten II. *N. Jb. Min. Abh.*:178-180.
- Helvacı, C. 1983. Türkiye borat yataklarının mineralojisi. *Jeo. Müh. Derg.*, 17, 37-54.
- Helvacı, C. ve Alaca, O. 1984. Bigadiç borat yataklarının jeolojisi ve mineralojisi: T.J.K. 38. Bilimsel ve Teknik Kurultay Bildiri Özetleri, 110-111.
- Helvacı, C. ve Dora, Ö. 1985. Bigadiç borat yalaklarında mineral oluşumları hakkında yeni görüşler: TJK 39. Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri özleri, 75-76.
- Helvacı, C. ve Alaca, O. 1991. Bigadiç Borat Yatakları ve Çevresinin Jeolojisi ve Mineralojisi, *MTA Dergisi* 113, 61-92.
- Helvacı, C., Stamatakis, M., G., Zagouroglou, C. and Kanaris, J. 1993. Borate minerals and related authigenic silicates in northeastern Mediterranean Late Miocene continental basins. *Explor. Mining Geology* 2, 171-178.

- Helvacı, C. 1995. Stratigraphy, mineralogy and genesis of the Bigadiç borate deposits, Western Turkey. *Economic Geology* 90, 1237-1260.
- Helvacı, C. and Orti, F. 1998. Sedimentology and diagenesis of Miocene colemanite-ulexite deposits (western Anatolia, Turkey). *Journal of Sedimentary Research* 68, 1021-1033.
- Helvacı, C. and Alonso, R.N. 2000. Borate deposits of Turkey and Argentina: A summary and geological comparison. *Turkish Journal of Earth Sciences*, no: 9, 1-27.
- Helvacı, C. 2001. Türkiye Borat Yatakları. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, no: 71, 34s., Ankara.
- Helvacı, C. 2003. Türkiye Borat Yatakları. Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası, BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. 5.1, s. 4-41.
- Helvacı, C., Mordoğan, H., Çolak, M. and Gündoğan, İ. 2004. Presence and distribution of lithium in borate deposits and some recent lake waters of West-Central Turkey. *International Geology Review*, vol., 46 pp.177-190.
- Helvacı, C. 2004. Türkiye Borat Yatakları. Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs, İzmir, Türkiye, s.11-27.
- İnan, K. 1975. Sulu bor mineral yataklarının oluşum modeli, *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 18, 165-168.
- Kalafatoğlu, A. 1964. Balıkesir- Kütahya arasındaki bölgenin jeolojisi. *T.J.K. Bült.* : 46-63.
- Kavrazlı, Ö., Birey, M., Koç, Ş. ve Özmen, L. 2006. Kestelek (Bursa) bor örneklerinin manyetik özellikleri. 3.Uluslararası Bor Sempozyumu, Ankara (2-4 Kasım 2006.)
- Kavrazlı, Ö. 2007. Kestelek (Bursa) çevresi borat yataklarının mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi.(yayınlanmamış) 89 sayfa, Ankara.
- Keeble, D.J. and Li, Z. 1995. Electron paramagnetic resonance of Mn⁴⁺ in PbTiO₃. *J.Phys: Condens. Matter* 7, 6327-6333.
- Keeble, D.J., Loyo-Menoyo, M., Furukawa, Y. and Kitamura K. 2005. Electron paramagnetic resonance of Fe³⁺ in LiNbO₃. *Phys. Rev. B* 71.
- Kistler, R.B. and Helvacı, C. 1994. Boron and Borates. in: *Industrial Minerals and Rocks* (Donald D. Carr editor) 6 th Edition. Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 171-186.
- Koç, Ş., Birey, M., Kavrazlı, Ö. ve Koçak, İ. 2008. Kestelek (Bursa) Çevresi Borat Yataklarının Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri, Bunların Derinliğe Bağlı Değişimleri ile Manyetik Rezonans Yöntemiyle Bazı Yüksek Teknolojik

- Özelliklerinin İncelenmesi. TÜBİTAK Proje no: 105M356 (yayınlanmamış), 89s, Ankara.
- Koç, Ş., Kavrazlı, Ö. and Koçak, İ. 2008. Geochemistry of colemanite deposit of Kestelek, Bursa, Turkey. 33rd. International Geological Congress, Oslo, Abstracts MRB-01(<http://www.cprm.gov.br/33IGC/1352424.html>).
- Koç, Ş., Koçak, İ. and Kavrazlı, Ö. 2008b. Trace Elements Concentrations of Colemanite in Kestelek Borate Deposit. 16th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials.,Matsue,Shimane,Japan.Abstract p.57-58.
- Krauskopf, K. B. 1989. Introduction to Geochemistry.McGrow-Hill international editions, Pp. 617.
- Kutlu, R., M. 1963. Ali Meydan'a ait bor tuzu ruhsat sahası (Balıkesir). M.T.A. Rap. No. 1001 (yayınlanmamış), 25 s., Ankara.
- Linga Raju, Ch., Narasimhulu K.V., Gopal, N.O., Rao, J.L. and Reddy, B.C.V. 2002. Elektron paramagnetic resonance, optical and infrared spectral studies on the marine mussel *Arca burnesi* shells. Journal of Molecular Structure, 608p, pp. 201-211.
- Meixner, H. 1952. Einige boratminerale (colemanitund tertschit, ein neues mineral) aus der Turkei. Fortschr. Mineralogie., 31: 39-42.
- Meixner, H. 1953. Neue Türkische boratlagerstätten Berg. U. Hüttenmann. Monatsh. 98: 86-92.
- Meixner, H., 1956. Die neue Türkische boratprovinz in İskeleköy bei Bigadiç im Vilayet Balıkesir. Sonerabdruck aus Kaliund Steinsals, part 2, p. 43-47, Essen, Verlag Glöckauf.
- Özpeker, I. 1969. Batı Anadolu Borat Yataklarının Mukayeseli Jenetik Etüdü. Dok.Tezi, İTÜ Ak Matbaası, 116 s., İstanbul.
- Özpeker, I. ve İnan, K. 1978. Batı Anadolu Borat Yataklarında İzlenen Mineral Birlikteliklerinin Yatak Evrimiyle İlişkileri, Bulletin of the Geological Society of Turkey, v. 21, 1-10.
- Petrascheck, E.W. and Pohl, W., 1982. Lagerstättenlehre, E., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Pp. 441, Germany.
- Roedder, E. 1984. Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy, Vol. 12, 644 p.
- Taylor, M.W. and Surdam, R.C. 1981. Zeolite reactions in the tuffaceous sediments at Teels Marsh, Nevada. Clays and Clay Minerals, 29, 341-352.
- Temur, S. 1997. Metalik Maden Yatakları, Selçuk Üniversitesi Basımevi, Konya.
- Schroll, E. 1975. Analytische Geochemie, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, p. 292.

- Sheppard, R.A. and Gude, A.J. 1968. Distribution and genesis of authigenic silicate mineral in tuffs of Pleistocene Lake Tecopa, Inyo County, California. U.S. Geological Survey Professional Paper 597, 38 p.
- Sunder, M. 1980. Sarıkaya (Kırka-Eskişehir) borat yataklarının jeokimyası, Türkiye Jeol. Kur. Bült., 2, 19-34.
- Şahinci, A. 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, s.548, İzmir.
- Singh, V., Chakradhar, R.P.S., Rao, J.L. and Dong-Kuk Kim. 2008. EPR and luminescence properties of combustion synthesized $\text{LiAl}_5\text{O}_8\text{:Mn}$ phosphors, Materials Chemistry and Physics 110,(43–51).
- Weaver, C.E. 1983. Developments in sedimentology 44, Clays, Muds and Shales, Elsevier, 818p, Newyork.
- Yang W. and Rosenberg P.E. 1992. The free energy of formation of searlesite, $\text{NaBSi}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$, and its implications, American Mineralogist, v. 77, p. 1182-1190.
- Yılmaz, O. 1997. Bigadiç bölgesi bazaltik volkanizmasının mutlak yaşı. Doğa Temel Bilim., 210-212, Ankara.
- Yılmaz, O., Gündoğdu, M. ve Gümüş, S. 1982. Neojen Yaşlı Bigadiç Volkanosedimanter Havzasının Jeolojisi, Etibank Proj. (yayımlanmamış), 89 s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İsmail Koçak

Doğum Yeri : Gürün-SİVAS

Doğum Tarihi : 15 Mart 1982

Medeni Hali : Bekar

Eğitim Durumu

Lise : İbrahim Turhan Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi, 1996–2000.

Lisans : Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, 2000–2004.

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, 2005-....

Projeler

- 1- TÜBİTAK-BOREN 2006-2008 Destekli, “Kestelek (Bursa) çevresi borat yataklarının mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, bunların derinliğe bağlı değişimleri ile manyetik rezonans yöntemiyle bazı yüksek teknolojik özelliklerinin incelenmesi. Yardımcı araştırmacı, 2006-2008.
- 2- BOREN 2008 Destekli, “Bigadiç (Balıkesir) çevresi borat yataklarının mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, bunların derinliğe bağlı değişimleri ile manyetik rezonans yöntemiyle bazı yüksek teknolojik özelliklerinin incelenmesi. Yardımcı araştırmacı, 2008-Devam ediyor.

Yayımları :

- Koç, Ş., Kavrazlı, Ö. and Koçak, İ. 2008. Geochemistry of colemanite deposit of Kestelek, Bursa, Turkey. 33rd. International Geological Congress, Oslo, August 6-14th, 2008, Abstracts MRB-01(<http://www.cprm.gov.br/33IGC/1352424.html>)

-Koç, Ş., Koçak, İ. and Kavrazlı, Ö. 2008. Trace Elements Concentrations of Colemanite in Kestelek Borate Deposit.16th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials.September 7-12th 2008,Matsue,Shimane,Japan.Abstract p.57-58.