KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EMET-HİSARCIK(KÜTAHYA) BOR YATAKLANMASINI OLUŞTURAN BOR MİNERALLERİNİN DAĞILIMLARI, JEOKİMYASI VE OLUŞUM ORTAMLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Müh. Nihat İmdat ERDEM

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Ercan ALDANMAZ

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EMET-HİSARCIK(KÜTAHYA) BOR YATAKLANMASINI OLUŞTURAN BOR MİNERALLERİNİN DAĞILIMLARI, JEOKİMYASI VE OLUŞUM ORTAMLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Müh. Nihat İmdat ERDEM

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 03 Aralık 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 15 Ocak 2010

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ercan ALDANMAZ

(.....)

Üye

Yrd.Doç.Dr. Nezihi KÖPRÜBAŞI

(.....)

Üye

Yrd.Doç.Dr. Şefik RAMAZANOĞLU

(.....)

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ

Başta ailem ve hocalarım olmak üzere bugüne kadar bana emeği geçen, bir şeyler öğreten herkese teşekkür ederim. Onlar olmasa bu satırları yazılamazdı.

Bu çalışmada değerli görüşlerini ve katkılarını esirgemeyen tez eski danışmanım Sayın Prof. Dr. Selçuk TOKEL ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Ercan ALDANMAZ hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmaların çeşitli aşamalarında katkılarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Cafer ÖZKUL' a teşekkür ederim.

Ayrıca arazi çalışmalarım sırasında yardımcı olan MTA jeologlarından Altan Curanlı' ya ve MTA Marmara bölge müdürlüğü çalışanlarına, arazi çalışmalarımda bana yardımları olan yöre halkına teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında katkıları bulunan ismini burada yazamadığım tüm kişi ve kuruluşlara teşekkürü bir borç bilirim.

Nihat İmdat ERDEM

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ…… i
İÇİNDEKİLER… ii
ŞEKİLLER DİZİNİ..... iv
TABLOLAR DİZİNİ v
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISATLMALAR..... vii
ÖZET…… viii
ABSTRACT…..... ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ..... 1
1.1. Çalışmanın Amacı..... 1
1.2. İNCELEME ALANI..... 1
1.3. Önceki Çalışmalar …….3
BÖLÜM 2. GENEL JEOLOJİ..... 6
2.1. Giriş..... 6
2.1.1. Temel Kayaçlar..... 6
2.1.2. Taşbaşı Formasyonu 8
2.1.3. Köprücek Volkanitleri..... 8
2.1.4. Yeniceköy Kireçtaşı 10
2.1.5. Beyköy Formasyonu 11
2.1.6. Hisarcık Kireçtaşı..... 12
2.1.7. İğdeköy Formasyonu 13
2.1.8. Emet Kireçtaşı..... 16
2.1.9. Merkezşıhlar Formasyonu..... 18
2.1.10. Dereköy Bazaltı..... 19
2.1.11. Traverten 20
2.1.12. Eski Nehir Çökeli..... 21
2.1.13. Alüvyon..... 22
2.2. Yapısal Jeoloji..... 22
BÖLÜM 3. BOR MİNERALLERİ VE DAĞILIMLARI 24
3.1. Giriş..... 24
3.2. Bor Mineralerinin Tarihcesi..... 24
3.3. Bor Mineralleri 25
3.3.1. Kolemanit..... 26
3.3.2. Probertit..... 27
3.3.3. Üleksit 28
3.3.4. Viçit-A 30
3.3.5. Hidroborasit 31
3.3.6. Meyerhofferit 32
3.3.7. Tünellit 33
3.3.8. Terujit..... 34
3.3.9. Kahnit..... 35
BÖLÜM 4. BORATLARIN JEOKİMYA SI VE OLUŞUM ORTAMLARI 36
4.1. Giriş..... 36

4.2. Jeokimya 37
4.3. Oluşum Ortamları 41
4.3.1. Derinlik kayaları ile ilişkili yataklar 42
4.3.2. Denizel tortullar ile ilişkili yataklar 42
4.3.3. Volkanik etkinlikler ile ilişkili yataklar 43
4.4. Emet Bortuzu Yataklarının Oluşumu 45
4.4.1. Kolemanit Oluşumu 48
SONUÇLAR VE ÖNERİLER 50
KAYNAKLAR 52
EKLER……..... 57
ÖZGEÇMİŞ……..... 58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası 2
Şekil 2.1: Çalışma Alanının Genelleştirilmiş Stratigrafik Sütun Kesiti..... 7
Şekil 4.1: Neojen yataklarda sodyumlu bor mineralleri baskın olduğu bölge sağ alt köşedir. Ancak sodyum kalsiyum ve sadece kalsiyumlu bor mineralleri de oluşmaktadır 39
Şekil 4.2: Neojen yataklarda kalsiyumlu bor minerallerinin baskın olduğu bölgeler görülmektedir 40
Şekil 4.3: Neojen yataklarda magnezyumlu bor minerallerinin baskın olduğu bölgeler sağ alt köşedir. Ancak magnezyum- kalsiyum ve sadece kalsiyumlu bor mineralleri de oluşmaktadır 41
Şekil 4.4: Bor elementinin devirselliği ve konsantrasyonu 44
Şekil 4.5: Na2O. 2B2O3— 2CaO. 3B2O3 — H2O sisteminin yaklaşık 40° C de faz diyagramı……..……47

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 4.1: Madenden alınan numunelerin XRF analiz sonuçları 37
Tablo 4.2: Bor minerallerinin kimyasal içerikleri ……38
Tablo 4.3: Bor minerallerinin ısı ile su moleküllerini kaybettiği sıcaklık aralığı ve molekül formülü……38

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotograf 2.1: Tüflerin beyaz görüntüsü, Eskibeyköy'ün 2km güneyi yaklaşık doğudan batıya bakış 9
Fotograf 2.2: Yeniceköy Kireçtaşlarının belirgin laminaları ve çatlaklı görüntüsü ... 10
Fotograf 2.3: Beyköy Fornasyonunun en iyi göründüğü yer(Kırmızı renkli kısım): Beyköy'ün kuzeyi ; yaklaşık doğudan batıya bakış 11
Fotograf 2.4: Hisarcık kireçtaşları; Hisarcık güneyi yaklaşık doğudan batıya bakış 12
Fotograf 2.5: Değişik renk ve boyutta kolemenit mineralleri ve arsenik mineralleri turuncumsu, kahverengimsi renklerde 14
Fotograf 2.6:Cevherli birimde arseno sülfür bantlarının görünümü: Hisarcık işletmesinden 15
Fotograf 2.7: Yeşil kilin içinde kolemenit cevheri mor renkte gözükmekte: Espey işletmesinden 16
Fotograf 2.8: Birimin kalın katmanlı görüntüsü: (Kahverengi çört: Kalsedon, Opal) 2006 yılında Hisarcık Açık İşletmesinden bir görünüm 17
Fotograf 2.9: Emet Kireçtaşı Merkezşıhlar Formasyonu dokanağı (Bahatlar güneyi)……..... 18
Fotograf 2.10: Dereköy bazatları grimsi-kahve, taze yüzeyler siyah renkte (Çalışma alanı Güneyi) 20
Fotograf 2.11: Traverten:Hisarcık- Hamanköy yolu (Hamamköy'e 2km) …..…...21
Fotograf 3.1: Kolemanit minerali 26
Fotograf 3.2: Probertit minerali 27
Fotograf 3.3: Üleksit minerali 28
Fotograf 3.4: Vicit-A. minerali 30
Fotograf 3.5: Hidroboraksit minerali 31
Fotograf 3.6: Meyerhofferit minerali 32
Fotograf 3.7: Tunellit minerali 33
Fotograf 3.8: Terujit minerali 34
Fotograf 3.9: Kahnit minerali 35

SEMBOLLER

As	: Arsenik
B	: Bor
Ca	: Kalsiyum
Fe	: Demir
H	: Hidrojen
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Na	: Sodyum
O	: Oksijen
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
Sr	: Stronsiyum

Kısaltmalar

XRF	:X-Ray Flurescent
ICP – MS	: Inductively Caupled Plasma Mass Spectroscopy
PPM	: Part Per Million
REE	: Rare Earth Element
X-RD	: X-Ray Diffraction
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ESP	: Espey
HİS	: Hisarcık

EMET-HİSARCIK(KÜTAHYA) BOR YATAKLANMASINI OLUŞTURAN BOR MİNERALLERİNİN DAĞILIMLARI, JEOKİMYASI VE OLUŞUM ORTAMLARININ İNCELENMESİ

Nihat İmdat ERDEM

Anahtar Kelimeler: Emet, Espey, Hisarcık, İğdeköy- Doğanlar, Neojen, Kolemanit, Probertit

Özet: Bu çalışma, Emet borat yatakları ve onların jeolojik kökeni, jeokimyası (Tablo 4.1) ve içerdiği mineraller (Tablo 4.2) hakkındadır. Emet havzası Neojen yaşlı göl tortulları içinde volkanizma eşlikli yataklanmıştır. Neojen çökelleri konglomera, kum, kil, marn, kireçtaşı, tüf ve volkaniklerden oluşur.

Ekonomik değeri olan borat yataklarının büyük çoğunluğu kimyasal çökelme ile göl ortamında oluşmuşlardır ve volkanik aktivitelerle ilişkili yataklar grubundandır. Türkiye deki tüm yataklar bu gruptandır. Bunların oluşmasında ana sıvının bileşimi, pH ve sıcaklık etkilidir.

Emet Neojeni üç bölgeye ayrılabilir. Bunlar; Espey(Emet), Hisarcık, İğdekoy-Doğanlar. Çalışma alanı dokuz bor minerali içerir. Bunlar; Kolemanit, Probertit, Üleksit, Viçit-A, Hidroborasit, Kurnakovit, Tünellit, Terujit ve Kahnittir. Espey ve Hisarcıkta kolemanit baskın mineraldir. Fakat İğdeköy-Doğanlar bölgesinde ise Probertit baskındır.

INVESTIGATION OF BORON MINERALS WITH SATURATION, GEOCHEMISTRY AND GEOLOGIC ORIGIN OF EMET-HİSARCIK (KÜTAHYA) NEOGEN BASIN

Nihat İmdat ERDEM

Key Words: Emet, Espey, Hisarcık, İğdeköy-Doğanlar, Neogen, Colemanit, Probertite

Abstract: This study is about Emet borate deposits and their geologic origin, geochemistry (Tablo 4.1.) and including borate minerals (Tablo 4.2.). Borate deposist of Emet region have been deposited into the lake sediments of Neogen age with volcanism. Neogen deposits usually consists of conglomerates, sandstones, clays, marl, limestones, tüff and volcanics.

Economicallay important borate deposits were generally formed as chemical precipitates in lacustrine environments and they have been classified as deposits related to volcanic activity. All of Turkey borate deposits are in this group. Factors controlling the formation of these deposits are composition, pH and temperature of main liquids.

There are three region in the Emet Neogen. They are, Espey(Emet), Hisarcık and İğdeköy- Doğanlar. The study area including nine minerals. Those are Colemanite, Probertite, Ulexite, Veatchite-A, Hydroboracite, Kurnakovite, Tunellite, Teruggite and Cahnit. Espey and Hisarcık regions Dominated by Colemanite. But İğdeköy, Doğanlar region domanited by Probertite.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

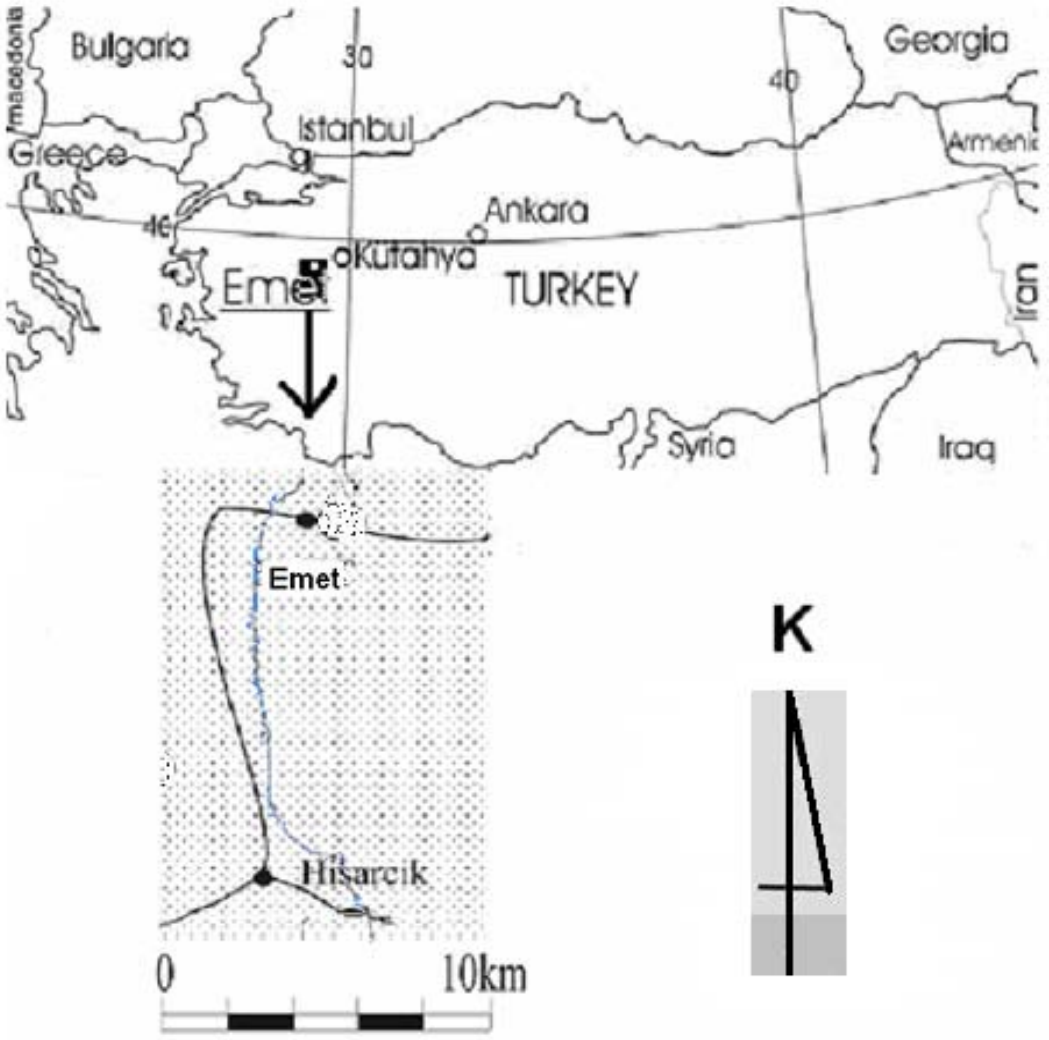
Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada önceki araştırıcıların genelde Emet Neojeni olarak isimlendikleri birimin içerdiği bor minerallerinin çeşitleri, yayılımları, jeokimyası ve oluşum ortamları konu edilmiştir. Bu nedenle jeoloji ve stratigrafisi ayrıntılı anlatılmayacak sadece bor minerali içeren birimle alt üst ilişkisi olan birimler kısaca açıklanacaktır. Çalışmalar 1/25000 lik 6 pafta jeolojik harita üzerinde yapılmış, yaklaşık 160 km^2 alanın jeolojik harita alımı gerçekleştirilmiştir. Alanın jeolojik haritası alımında Dündar ve diğ. (1986) ve Özkul (2008)'den çok geniş ölçüde faydalanılmıştır. Çalışmalar sonunda tekrar düzenlenen bu jeolojik veriler yaklaşık 1/45000 ölçekle sunulmuştur(EK-1).

1.2. İnceleme Alanı

İnceleme alanı, Kütahya ili sınırları içerisindeki Emet-Hisarcık ilçeleri ve civarıdır. Kütahya'nın 98 km güneybatısında yer alan Emet ilçesinin kuzeyinde Tavşanlı, doğusunda Çavdarhisar, güneybatısında Simav ve Hisarcık, güneyinde Gediz ilçeleri bulunmaktadır. Gediz ve Simav' dan 55 km. uzaklıkta bulunan Emet ilçesi bölgedeki en büyük ve en önemli yerleşim merkezidir. Emet'e 13 km. uzaklıktaki Hisarcık ilçesi borat madeninin bulunmasından sonra hızla gelişmiş kasaba iken ilçe olmuş önemli yerleşim birimidir. Hisarcık – Gediz arası 35km, Hisarcık - Simav arası 40km'dir(Şekil 1.1.).

Yaklaşık K – G doğrultusunda bir ova şeklinde uzanan inceleme alanı batı ve güneyden yüksek tepelerle çevrilmiştir. Doğudan batıya ve kuzeyden güneye doğru dereceli olarak yükselerek engebeli bir topografya kazanmaktadır. En düşük topografik seviyeyi Emet Çayı' nın (730 m) yatağı, en yüksek kesimi Eğrigöz Dağ'ı

(2000 m) oluşturur. Bölgenin en önemli akarsuyu güneyden kuzeye doğru akan Emet Çayı (Koca Çay)'dır.



Şekil 1.1: Yer bulduru haritası (Gemici ve diğ., 2003) den değiştirilerek.

Kütahya da karasal iklim hüküm sürmektedir. Yani kışları soğuk ve yağışlı yazlar ise sıcak ve kurak. Fakat inceleme alanında Marmara ve Ege Bölgeleri iklimlerinin etkisiyle daha ılıman bir iklim söz konusudur. Yıllık ortalama sıcaklık 11 ºC civarındadır.

Çalışma alanı tarlalar ve seyrek meşe, köknar ağaçları, bazı yerler geçit vermeyecek sıklıklarda çam, ardıç, meşe, köknar ağaçları ve fundalıklarla örtülüdür. Tarla ve

bahçelerinde sulu tarım yapılmaktadır. En fazla yetiştirilen ürünler buğday, arpa, şeker pancarı, baklagiller ve az miktarda tütün ile haşhaştır. Ayrıca halk kendine yetecek sebzesini de yetiştirmektedir.

1.3. Önceki Çalışmalar

Emet havzasındaki ilk incelemeler Gawlik (1956) tarafından yapılmış olup jeolog MTA için linyit yatakları araştırması yaparken Emet borat yataklarını rastlantı sonucu bulmuştur.

Özpeker (1969), Emet bölgesindeki bor yataklarının mineralojisi ve kökenini incelemiştir. 200 km^2'lik bir alanı haritalayarak bölgenin jeolojisini belirleyen istifi oluşturmuştur. Jeoloji haritasını 1/25000 ölçekli yapmış ve 7 litostratigrafik birim ayırtlamıştır. Bunlar alttan üste doğru, Paleozoyik yaşlı mermer, kalkşist, çeşitli şistler ve mikalı kuvarsitlerden oluşan metamorfikler; Neojen yaşlı taban kireçtaşları, kırmızı seri, pembe renkli dasit, genç riyolit ve ojit andezit karakterindeki volkanikler ile Kuvaterner nehir konglomerası, taraça molozu ve alüvyondur.

Helvacı ve Firman (1977), Emet borat yataklarının mineralojisi ve jeolojik konumlarını incelemişlerdir. Bu havzadaki bor oluşumlarının içinde yer aldığı tortul kayaçlara göre daha yaşlı ve Orta Oligosen'in playa göllerinin çamurlarında oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

Helvacı (1977), Emet ve çevresindeki Neojen tortulların yaklaşık K-G yönünde uzanan bir havzada, birbirine zincir şeklinde bağlı göllerde çökeldiğini ifade etmiştir. Yazara göre Neojen istif, Paleozoyik(?) ve Mesozoyik yaşlı temel üzerine açılı bir uyumsuzlukla oturur ve alttan üste doğru:

- Üst kesimleri kömür ara bantları içeren çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı,
- Tüf ve marn mercekli ince katmanlanmış "alt kireçtaşı",
- Kömür ve jips bantları içeren kumtaşı, çakıltaşı, kireçtaşı, kiltaşı, marn ve tüften oluşan "kırmızı birim",
- Kiltaşı, tüf, tüfit, marn ve ince katmanlı kireçtaşı ile aratabakalı "borat zonu",
- Kiltaşı, marn ve çört katmanları içeren "üst kireçtaşı" olarak dizilir.

Ercan (1983), Batı Anadolu'daki diğer volkanik kayaçlarla birlikte; Gediz, Simav ve Emet çevresindeki volkanitlerde petrokimyasal çalışmalar yapmışlardır. Bölgede Orta Miyosen'den itibaren oluşmaya başlayan kalkalkalin nitelikli kıta kabuğu ürünü volkanizmanın gençleştikçe alkalin nitelik kazandığını ve Pliyosen'den itibaren Kuvaterner'e doğru alkali bazaltik volkanitlerin egemen olduğunu da ileri sürmüştür.

Yalçın (1984), Emet Neojen gölsel baseninin genelleştirilmiş stratigrafik istifini ve bu istifi oluşturan birimlerin; jeolojik, mineralojik – petrografik özelliklerini belirlemiştir. Bu amaç doğrultusunda inceleme alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritasını oluşturarak formasyon mertebesinde dokuz litostratigrafik birim ayırtlamıştır. Litostratigrafik birimlerden aldığı 530 örneğin tüm kayaç ve mineral fraksiyonlarında (kolemanit, karbonat, kil) optik ve elektron mikroskop, X-RD, ana ve iz element çözümlemelerini yaparak, istifteki mineralojik – petrografik ve jeokimyasal değişimlerini incelemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre çalışma alanında volkanizmanın üç ana evrede etkin olduğunu belirlemiş ve Emet sedimanter baseninin jeolojik evrimi ve paleocoğrafik gelişimini ortaya koymuştur.

Yalçın ve diğ. (1985), Neojen yaşlı Emet gölsel baseninin güney kesiminin (Hisarcık) 1/25000 ölçekli jeoloji haritasını yaparak sedimantolojik – tektonik özelliklerini ortaya çıkarmışlardır. Bölgede Alt Miyosen (Taban volkanitleri), Orta Miyosen (Köpenez Formasyonu) ve Pliyosen' de (Dereköy Bazaltı) olmak üzere üç ana devrede etkin olan volkanizmanın yanı sıra sedimantasyonla çağdaş tektonik etkinliğin varlığını belirlemişlerdir.

Helvacı (1986), Emet sahasının jeoloji ve stratigrafisi, genel yapısı, civarındaki termal kaynaklarını incelemiş, borat zonunu kısmen açıkladıktan sonra borat çökelim havzasının ayrıntılı olarak ne şekilde oluştuğunu ve ne gibi tektonik safhalardan geçtiğini anlatmıştır. Emet bölgesi bor yataklarını içeren ve Miyosen yaşını verdiği seriyi, 1977 yılında verdiği stratigrafik istifi revize ederek yeniden vermiştir.

Dündar ve diğerleri (1986), Emet bortuzu yataklarının Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik temelin üzerine diskordan olarak gelen Neojen formasyonları içerisinde

yer aldığını ve Neojen formasyonlarının volkanitler, klastik ve kimyasal göl çökelleri olarak üç ayrı fasiyeste oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

Bölgede volkanizmanın üç ayrı zamanda devam ettiğini ve volkanizma sonrası çıkan eksolüsyonların bortuzlarını oluşturduğunu belirtmişlerdir. 1983–1985 yılları arasında bölgede yaptıkları toplam 12 adet sondaj sonucunda Doğanlar – İğdeköy bölgesinde ayrı bir cevherli seviyenin daha olduğu ve en kalın cevherleşmenin bu seviyede olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca Emet bölgesinde Na ve Ca' lu bor minerali olan "probertiti" ilk defa Doğanlar – İğdeköy bortuzu sahasında bulunmuşlardır. Hisarcık cevherli zonunda ve Doğanlar – İğdeköy bölgesinde cevher ve killer içerisinde ekonomik boyutta elde edilebilecek oranda arsenik (orpiment ve realgar) bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Helvacı and Orti (1998), Miyosen kolemanit-üleksit havzalarının sedimantolojik ve diyajenetik incelemesini yapmışlardır. Emet bölgesi bor yataklarının yörede Espey yataklarının bulunduğu Kuzey Bölgesi ile Hisarcık yataklarının bulunduğu Güney Bölgesi olmak üzere iki ayrı alanda ortaya çıktığını ve bor mineralizasyonlarının Orta Oligosen'deki iki ayrı playa gölünün çamurlarında oluştuğunu savunmuşlardır.

Floyd ve dig. (1998), borat içeren kayaçlar üzerinde jeokimyasal arastırmalar yapmışlar ve Batı Anadolu'daki borat yataklarının orta-yüksek K'lu kalkalkali ignimbiritik volkanizma ve ayrımlaşmış eşmağmatik alkali trakibazalt-trakidasit lav serileri ile ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Helvacı ve Alonso (2000), Türkiye'deki Miyosen tortul istifi içinde yer alan tüf ve killerle ardışık bor yatakları (Emet, Bigadiç, Kestelek, Kırka) ile Arjantin'deki benzer özelliklere sahip bor yatakları (Sijes Tepesi, Loma Blanca, Tincalayu) arasında karşılaştırmalar yapmışlardır.

BÖLÜM 2. GENEL JEOLOJİ

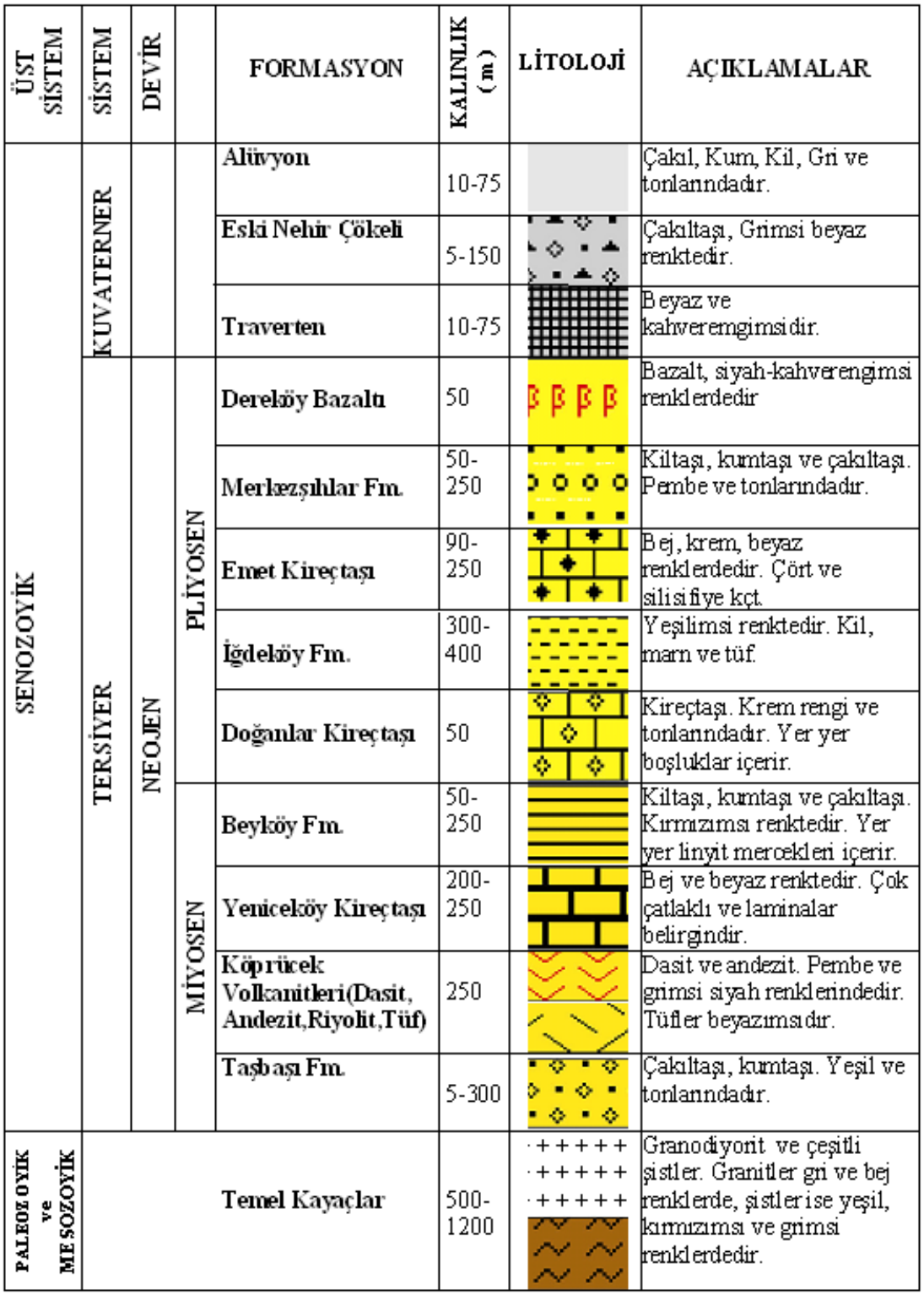
2.1. Giriş

Bu çalışmada önceki araştırıcıların genelde Emet Neojeni olarak adlandırdıkları birimin içerdiği bor minerallerinin çeşitleri, yayılımları, jeokimyası ve oluşum koşulları konu edilmiştir.

Boratları içeren Neojen birimler üzerinde yoğunlaşılmış ve özellikle bor minerallerini barındıran birim ayrıntılı incelenmiştir. Diğer birimlerin özelikleri yeniden belirlenmeye dönük çalışılmamış; kendi saha verilerim ve önceki araştırıcılar özellikle MTA'nın yaptığı çalışmalar çok sayıda sondaj verilerini de içerdiği için öncelik verilerek değerlendirilmiş ve kısaca raporlanmıştır. Çalışma alanı 13 litolojik birim altında açıklanmıştır(Şekil 2.1.).

2.1.1. Temel Kayaçlar (PMt)

Emet Neojen havzasının altındaki kayaçlar Paleozoyik yaşlı metamorfikler: çeşitli şistler, kristalize kireç taşları ve Mesozoyik yaşlı Eğrigöz granadioritidir. İnceleme alanında daha önce çalışmış olan araştırmacılardan Özpeker (1969) birimi metamorfik kayaçlar, Helvacı (1977) ile Gün ve diğ., (1979) temel kayaçlar olarak adlandırmıştır. Akdeniz ve Konak (1979), yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş şistleri Sarıcasu formasyonu, dolomitik kireçtaşlarını Budağan kireçtaşı, granitoyidleri Eğrigöz granitoyidleri adı altında incelemiştir. Diğer araştırmacılardan Yalçın (1989) tarafından temel kayaçlar olarak adlandırılan birim, Dündar ve diğ., (1986) tarafından eski temel olarak isimlendirilmiştir. Bu çalışmada, Neojen öncesi birimler ayırtlanmadan temel kayaçlar olarak adlandırılmıştır. Metamorfik ve granitik birimlerin toplam kalınlığı için 500-1200m gibi bir aralık söz konusudur. İnceleme alanında yüksek kısımları bu kayaçlar oluşturur. Şistler kirli beyaz, krem, açık yeşil, gri, kırmızımsı renklerde ve çok ince taneli gözlenmektedir. Neojen birimleri, bu kayaçların üzerine uyumsuz olarak gelmektedir.



Şekil 2.1: Çalışma Alanının Genelleştirilmiş Stratigrafik Sütun Kesiti.

2.1.2. Taşbaşı Formasyonu (Tt)

Neojen istifinin tabanını oluşturan temel kayaçları diskordan olarak üzerleyen çakıltaşı birimidir. Metamorfik şist, kristalize kireç taşı ve granitoid çakıllarından oluşur. Çakıllar genelde köşeli; grimsi, yeşilimsi, pembemsi ve tonları renklerde yer yer hidrotermal suların etkisiyle koyu kızıl-kahvemsidir. Kaba çakıl taşları ile kaba kum taşlarından oluşur.

Akdeniz ve Konak (1979) Taşbaşı formasyonu olarak adlandırdıkları birime, üzerinde yer alan Kızılbük formasyonu ile geçiş seviyelerinden alınan örnekler içerisinde Orta – Üst Miyosen yaşını veren polenlerin bulunması nedeniyle, Alt – Orta Miyosen yaşını vermektedirler. Gün ve diğ., (1979) birime Orta Miyosen, Ercan ve diğ., (1983) Alt Miyosen yaşını vermektedirler. Diğer araştırmacılardan Yalçın (1984) fosillerle yaşı Orta Miyosen olarak belirlenen Beyköy formasyonunun altında yer alması nedeniyle birime Alt – Orta Miyosen yaşını vermektedir.

Bu çalışmada, Paleozoyik yaşlı metamorfik temel kayaçları üzerinde ve Neojen sedimanter istifinin tabanında yer alan birimin yaşı stratigrafik ilişkilere dayanarak Alt – Orta Miyosen olarak kabul edilmektedir. Kalınlığı için 5-300m arası değerler verilmiştir.

2.1.3. Köprücek Volkanitleri (Tk)

Dasit, andezit, tüfit ve tüf ile temsil edilir. Tüflerin onların üzerine gelen birimlerde de bulunması tüf çıkışlarının aralıklarla Neojen boyunca devam ettiğini göstermektedir. Birimde yapılan incelemelerde, dasitler-andezitler büyük bloklar halinde masif yapılı ve taze yüzeyleri pembe renklidir. Atmosferik nedenlerle feldispatların ayrıştığı gözlenmektedir. Tüfler genellikle beyazdır(Fotograf 2.1.), ve tabakalanma göstermezler. Tüfitler ise açık bej ve gri renklerde, ince tanelidir. İnceleme alanı içerisindeki andezitler masif yapılıdırlar. Taze yüzeyleri koyu pembe renkli, ayrışmış kısımları koyu yeşil yer yer koyu gri renklerdedir. İçerisindeki biyotit fenokristalleri gözle ayırt edilebilmektedir. Andezitlerin dış yüzeylerinde atmosferik olaylara bağlı gelişen bozunmalar gözlenmektedir.



Fotograf 2.1: Tüflerin beyaz görüntüsü, Eskibeyköy'ün 2 km güneyi yaklaşık D-B bakış.

Bölgede daha önce inceleme yapmış olan Özpeker (1969), dasit ve andezitleri " Volkanikler " olarak adlandırmakta ve tüfleri taban kalkeri içine dahil etmektedir. Helvacı (1977) tüflerin plaket kireçtaşları içerisinde mercekler şeklinde bulunduğunu ileri sürmektedir. Volkanikler, Akdeniz ve Konak (1979) tarafından " Akdağ Volkanikleri ", tüfler " Civanadağ Tüfleri " olarak adlandırılmaktadır. Birim, Gün ve diğerleri (1979) tarafından " volkanikler ", Yalçın (1984) tarafından " Taban Volkanikleri " olarak adlandırılmıştır. Yalçın (1984) tüfleri Köpenez Formasyonu'na dahil etmekte ve çalışmasında Abdüsselemoğlu'nun (1977) Yayla formasyonu olarak adlandırdığı birimin tüf ve aglomeralar ile temsil edilen üst kısmına eşdeğer olduğunu belirtmektedir. Ercan (1983) dasit ve andezitleri " Karaboldere Volkanikleri " olarak adlandırmıştır. Dündar ve diğerleri (1986) ise inceleme alanındaki ilk volkanizma ürünleri olarak belirttikleri birimi " Dasit ve Andezitler " olarak, tüfleri " tüf ve tüfitler "olarak adlandırmaktadır. Bu çalışmada Dasit, Andezit, Tüfit ve Tüfler Köprücek Volkanitleri olarak adlandırılmıştır.

Dündar ve diğerleri (1986) dasit ve andezitlerin taban konglomerasından sonra çıkan volkanizmanın ilk ürünleri ve yaşının Alt – Orta Miyosen olduğunu, tüflerin ise üstündeki birimlere göre Orta – Üst Miyosen yaşlı olduğunu belirtmektedir. Seyitoğlu ve diğerleri (1997) K/Ar yöntemi ile tespit ettikleri 20.2 ± 0.4 (biyotit)

milyon yıllık radyometrik yaşlara dayanarak birimin Erken Miyosen yaşlı olduğunu kabul etmişlerdir. Helvacı ve Alonso (2000) K/Ar yöntemi ile yapılan radyometrik yaş ölçümü ile 19.0 ± 2 (biyotit) milyon yıllık bir değer elde etmişlerdir. Tarafımızdan yapılan arazi çalışmasında, dasit ve andezitlerin yaşı, Cevizdere kuzeyinde, taban konglomerası üzerinde görülmeleri nedeniyle Orta Miyosen olarak kabul edilmektedir.

2.1.4. Yeniceköy Kireçtaşı (Ty)

Bej, kirli sarı, açık gri renklerinde kum, marn, kil, tüf ara katkılı kireçtaşlarından oluşur ve ince taneli, laminalı, mikritik dokuludur. Krem renkli, ince, düzgün plakalar halinde ayrılabilen kireçtaşlarıyla başlar ve devamlı olmayan linyit ve jips tabakalarına rastlanılan esmer kil, kireçtaşı, marn, tüf ve konglomera ardalanmalı tabakalara geçiş gösterir. Tabakalaşmanın yumuşak, belirgin ve bol çatlaklı (Fotograf 2.2.) olması bölgenin hareketliliğini gösterir.



Fotograf 2.2: Yeniceköy Kireçtaşlarının belirgin laminaları ve çatlaklı görüntüsü

Bölgede inceleme yapmış olan Özpeker (1969) birime 150 – 200 m., Yalçın (1984) 60 m. Dündar ve diğ., (1986) 50 – 250 m. arasında, kalınlık vermektedirler. Birim Beyköy Formasyonu tarafından üzerlenir.

2.1.5. Beyköy Formasyonu (Tb)

Kırmızı renkli genellikle tabakalaşma göstermeyen, gevşek yapılı kum, çakıl, kırmızı kil, gri renkli linyit mercekli kil, marn, tüf, kireçtaşı içerir. Birim inceleme alanı içerisinde, Beyköy – Yoncaağaç Köy'leri arasında, Doğanlar Köy'ü ve civarında, Emet ilçesinin kuzeyinde ve batısında yayılım göstermektedir. Çapı 5 cm' ye varan köşeli çakıllarda içerir. Doğanlar kireçtaşları ile uyumludur.

Birim bölgede daha önce çalışmış olan Özpeker (1969)' in tanımladığı kırmızı seri ile eşdeğerdir. Helvacı (1977)' nın kırmızı formasyon olarak adlandırdığı birim, Akdeniz ve Konak (1979) tarafından yaklaşık aynı birimlerle Kızılbük formasyonuna dahil edilmektedir. Diğer araştırmacılardan Yalçın (1984)' ın çalışmasına göre birim Beyköy formasyonunun üst kısmına karşılık gelmektedir. Dündar ve diğ., (1986) ise birimi kırmızı seri olarak adlandırmaktadırlar. Bu çalışmada, kırmızı seri Beyköy formasyonu olarak isimlendirilmiştir(Fotograf 2.3.).



Fotograf 2.3: Beyköy Fornasyonunun en iyi göründüğü yer (Kırmızı renkli kısım): Beyköy'ün kuzeyi; yaklaşık doğudan batıya bakış.

Birim inceleme alanı içerisinde, Beyköy – Yoncaağaç Köy'leri arasında, Doğanlar Köy' ü ve civarında, Emet ilçesinin kuzeyinde ve batısında yayılım göstermektedir.

Beyköy formasyonunun alt sınırı Yeniceköy kireçtaşı ile üst sınırı ise Hisarcık kireçtaşı ile uyumludur.

Bölgede çalışmış araştırmacılardan Özpeker (1969) birimin kalınlığını 100 – 150m, Helvacı (1977) 125m, Yalçın (1984) 294m., Dündar ve diğ., (1986) ise 70 – 250m. olarak belirtmektedir.

2.1.6. Hisarcık Kireçtaşı (Th)

Birçok araştırıcı bu birimi ayrı olarak görmez. Bazıları kırmızı birim içinde kabul eder. Beyazımsı, gri, bej renklerde kireçtaşı birimidir. Oldukça sert görünüme sahip kireçtaşları, orta – kalın tabakalıdır. Kireçtaşları boşluklu ve çatlaklı bir yapı göstermektedir. Boşluklarında kalsit kristalleri gözlenmektedir



Fotograf 2.4: Hisarcık kireçtaşları; Hisarcık güneyi yaklaşık doğudan batıya bakış

Bölgede çalışmış araştırmacılardan Özpeker (1969) alt kireçtaşlarından hiç söz etmemektedir. Helvacı (1977) birimi alt kireçtaşı olarak adlandırmaktadır. Akdeniz ve Konak (1979) birimi Hisarcık formasyonuna dahil etmektedir. Yalçın (1984) çalışmasında birimin, Emet formasyonu olarak adlandırdığı birimin alt kısmını

oluşturan tabakalı kireçtaşlarına eşdeğer olduğunu savunmaktadır. Dündar ve diğ., (1986) ise Alt kireçtaşı olarak adlandırmaktadır. Bu çalışmada, Hisarcık ilçesi civarında tipik yüzlekler vermesi nedeniyle Hisarcık kireçtaşı olarak isimlendirilmiştir.

Birim inceleme alanı içerisinde Hisarcık güneyi, Tuzla tepe ve Büyükardıç tepe civarında, Doğanlar köyü civarında küçük yüzlekler halinde gözlenmektedir.

Birimin kalınlığı Helvacı (1977) tarafından 150 m., Dündar ve diğ., (1986) tarafından 50 m. olarak verilmiştir. İğdeköy Formasyonu tarafından üzerlenir.

2.1.7. İğdeköy Formasyonu (Ti)

İğdeköy Formasyonu, Hisarcık kireçtaşı üzerinde konkordan olarak bulunan ve Emet kireçtaşı tarafından uyumlu olarak üzerlenen, bor tuzlarını içeren yeşil renkli kil ve marn birimi olarak tanımlanmaktadır. Helvacı (1977), kil minerallerini montmorillonit ve illit olarak belirtmektedir.

Kolemanit genellikle killer içerisinde 3-50cm çapında patates şeklinde ve çoğunlukla, merkezden dışa doğru uzanan ışınsal yapılı yumrular halindedir. Yumrular birbirleri ile bağlantısız olup kil örtüsüyle ayrılmış görülmektedir. Kolemanit yumrularının çatlak ve boşluklarında sarı veya sarımsı – turuncu renkli orpiment, kırmızımsı – sarı – turuncu renkli realgar yaygın olarak gözlenmektedir.

Bu zon gerek kolemanitin fiziksel özellikleri gerekse cevherleşmeye eşlik eden çökel kayaçların oransal dağılımına göre iki kaliteye ayrılmıştır. İkinci kalite kolemanit zonu lifli yapılı ve kırılgandır. Yan çökel kayaçları (kum, kil, marn, tüf) kolemanit seviyelerine göre çoğunluktadır. Oysa birinci kalite kolemanit zonunda kolemanit yumruları daha kompakt, tenörü yüksek ve yan kayaçlar azınlıktadır.

Birim içerisinde kolemanit yumruları arasında bor minerallerinden üleksit gözlenmektedir. Üleksit beyaz renkli, şeffaf cam parlaklığında ve birbirine paralel sıralanmış iğneler şeklinde gözlenmektedir. Emet neojeninde terujit (Negro ve diğ.,

1973), meyerhofferit, probertit, tünellit, kahnit, hidroborasit ve viçit – A gibi yerel oluşumlar şeklinde borat mineralleri de belirlenmiştir (Helvacı ve Firman, 1977; Helvacı ve Orti, 1998; Çolak ve diğ., 2000). Ayrıca Kalsit, jips, elementer kükürt, realgar, orpiment borat olmayan ana minerallerdir (Helvacı, 2003). Ancak Hisarcık ve Espey işletmelerinde kolemanit baskın, yeni keşfedilen Doğanlar-İğdeköy civarında ise onlar kadar yüksek oranda olmasa da probertit minerali baskındır. Birim içerisindeki marnlar, kirli beyaz renkte ve ince bantlar şeklinde gözlenmektedir. Ayrıca yer yer 2-10 cm çaplı viçit minerelleri gözlenmektedir; bu kesimlerde işletme yüksek tenörlü cevher elde etmektedir. Çünkü viçit mineralinin tenörü kolemanitten yüksektir.



Fotograf 2.5: Değişik renk ve boyutta kolemanit mineralleri ve arsenik mineralleri turuncumsu, kahverengimsi renklerde.

Yer yer arsenik mineralleri (realgar-orpiment) kolemanit seviyelerine uyumlu olarak ya 3-10cm kalınlığında (Fotograf 2.6.) ince tabaka halinde ya da kolemanit cevherini saran killer içerisinde merceksi birikimler şeklinde gözlenmektedir. Bazen cevherle iç içe geçmiştir ve arseniği çok olan yerlerde kızılımsı kahve, sütlü kahve renklerde gözlenir (Fotograf 2.5.). Ayrıca XRF sonuçları her renkten bor cevherinde arseniğin az ya da çok bulunduğunu göstermektedir. Akbulut ve diğ. (1984) gerek tüf, kil, gerekse kristal kolemanit kafa ve yumrularında % 10-46 arsenik, % 3-20 kükürt

saptamıştır. Espey açık işletmesinde ise cevherli seviye Hisarcık' tan daha az arsenik içermektedir.



Fotograf 2.6: Cevherli birimde arseno sülfür bantlarının görünümü: Hisarcık işletmesinde.

İnce taneli kil ve marnlarla ara tabakalı kolemanit merceklerinden oluşan birimin tortullaşması göl ortamında, kimyasal yolla ve yavaş meydana gelmiştir. Birim içerisinde gözlenen kolemanit yumruları kimyasal çökelmenin gerçekleştiği göl ortamını yansıtmaktadır. Birim içerisindeki diğer bileşenlerin, kimyasal çökellerle ardalanmalı ve düzgün tabakalanmalı gözlenmeleri, tortullaşmanın gölün derince kısımlarında ve yavaş gerçekleştiğini göstermektedir. Yalçın (1984) birim içerisinde saptadığı ostrakodlardan Heterocypris cinslerinin ortam suyu sıcaklığının 35 – 51.5 ºC arasında bulunduğu koşullarda yaşadığını belirtmektedir. Van Morkhoven (1962) ise 40 ºC de ideal olduğunu söyler.

Birim kil, marn, tüf, yer yer kireçtaşı, kumtaşı ardalanması şeklindedir. Killer yeşil, gri, yer yer siyah renklerde ince-orta tabakalıdır. Killer içerisinde kahverengimsi – sarı renklerde, dağılmış kristaller halinde jips oluşumlarına rastlanılmaktadır. Bor mineralleri değişik şekil ve büyüklüklere sahip yumrular halinde gözenmektedir.

Bazı yerlerde düzensiz tabakamsı yapıda özellikle Espey işletmesinde morumsu (Fotograf 2.7.), değişken kalınlıkta tabakamsı olarak da görülür.



Fotograf 2.7: Yeşil kilin içinde kolemenit cevheri mor renkte gözükmekte: Espey işletmesinde.

Birim, bölgede daha önce çalışmış araştırmacılardan Özpeker (1969)' in boratlı kil, marn, kalker, tüf ve örtü kalkeri olarak tanımladığı birimin boratlı kil, marn, kalker, ve tüften oluşan kısmına eşdeğerdir. Helvacı (1977) tarafından boratlı zon olarak adlandırılan birim Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Hisarcık formasyonuna, Yalçın (1984) tarafından Emet formasyonuna dahil edilmektedir. Dündar ve diğ., (1986) ise birimi boratlı yeşil kil zonu olarak adlandırmaktadır. Bu çalışmada İğdeköy Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Birimin kalınlığını, Özpeker (1977) 40m., Helvacı (1977) 100m., Akdeniz ve Konak (1979) 60 – 80m., Dündar ve diğ., ise 50m olarak belirtmektedir. Birim Emet kireçtaşı tarafından üzerlenir.

2.1.8. Emet Kireçtaşı (Te)

Beyaz – Gri – Krem - Bej renkli kireçtaşı serisi; küresel çört, silisifiye kireç taşı, marn içerir. İşletmedeki yarmalarda yer yer yeşil kil, beyazımsı marn ve 3-4m ye ulaşan kalınlıkta kolemanitli birimde gözlenmektedir. Kahverengi – duman rengindeki çörtler; kalsedon, opal ve kuvarstan ibarettir. Silisli bu çökeller yer yer bantlar (20-40cm kalınlığında) ve yumrular halindedir. Silisli mikrokristalin kireçtaşları ise erime boşluklu gözenekli bir yapı kazanmışlardır. Krem renkli kireçtaşları çok ince taneli ve masif yapılıdır. Boşluk ve çatlaklarında kalsedon veya kalsit oluşmuştur

Bölgede çalışmış araştırmacılardan Özpeker (1969) birimi, Örtü kalkeri, Helvacı (1977) üst kireçtaşı, Ercan ve diğ., (1983) Ulubey formasyonu olarak adlandırmışlardır. Yalçın (1984) tarafından Emet formasyonu olarak adlandırılan birimin bol çörtlü en üst kesimine eşdeğer olan birim, Dündar ve diğ., (1986) tarafından Üst örtü kireçtaşı olarak adlandırılmaktadır.



Fotograf 2.8: Birimin kalın katmanlı görüntüsü: (Kahverengi çört: Kalsedon, Opal) 2006 yılında Hisarcık Açık İşletmesinden bir görünüm

Gün ve diğ., (1979) bu fosillere dayanarak birime Orta – Üst Pliyosen yaşını vermektedir. Ercan ve diğ., (1983) bol gastrpod ve lamellibranş fosilleri kapsadıklarını belirttikleri birimin yaşını Alt – Orta Pliyosen olarak vermektedirler. Dündar ve diğ., (1986) ise birime Pliyosen yaşını vermektedir. Bu çalışmada birimin yaşı Pliyosen olarak kabul edilmiştir.

Birimin kalınlığı Özpeker (1969) tarafından 100 m., Helvacı (1977) tarafından 400 m., Akdeniz ve Konak (1979) tarafından 50 – 250 m., arasında verilmektedir. Yalçın (1984) Emet formasyonunun bol çört seviyeleri içeren en üst kısmının 15 m. kalınlığa sahip olduğunu belirtmektedir. Dündar ve diğ., (1986) ise birim için 50 – 150 m. kalınlık vermektedir.

2.1.9. Merkezşıhlar Formasyonu (Tm)

Emet kireçtaşları üzerinde yer alan ve Dereköy bazaltları tarafından üzerlenen, mostralarda pembe rengin hakim olduğu, düzensiz yığışımlar halinde gözlenen çakıltaşı, pembe kil, kireçtaşı, marn birimi olarak tanımlanmaktadır. Çakıllar genelde kireçtaşıdır ancak köşeli, yeşil renkli şistlerde vardır.



Fotograf 2.9: Emet Kireçtaşı Merkezşıhlar Formasyonu dokanağı (Bahatlar güneyi)

Birim, Neojen göl havzasında Emet kireçtaşlarının çökelmesinden sonra nispeten düzleşen göl ortamında çökelmiştir. Birim içerisindeki detritiklerin köşeli olmaları, kötü boylanma göstermeleri ve düzensiz bir yığışım sergilemeleri yüksek enerjili bir akarsu ağıyla taşındıklarını ve zaman zaman sakinleşen göl ortamında çökeldiklerini göstermektedir. Birimin yaşı Neojen sonu Kuvaterner başlangıcıdır.

Bölgede çalışmış araştırmacılardan Akdeniz ve Konak (1979) birimi Toklargölü formasyonu, Gün ve diğ., (1979) tutturulmamış detritikler, Ercan ve diğ., (1983) Asartepe Formasyonu, Yalçın (1984) Merkezşıhlar Formasyonu olarak adlandırmıştır. Yalçın (1984) çalışmasında birimin Abdüsselamoğlu (1977) tarafından Altıntaş Formasyonu olarak adlandırıldığını belirtmiştir. Dündar ve diğ., (1986) ise birimi Pembe Seri olarak adlandırmışlardır.

Birimin kalınlığı Akdeniz ve Konak tarafından 160 m., Ercan ve diğ., (1983) tarafından 200m., Yalçın (1984) tarafından 50 m., Dündar ve diğ., (1986) tarafından 30 – 80 m. olarak belirtilmektedir. Alt sınırı Emet kireçtaşları ile uyumlu, üst sınırı ise Dereköy Bazaltları ile uyumsuzdur.

2.1.10. Dereköy Bazaltı (Td)

Dereköy Bazaltları, Neojen sedimanter istifinin en üstünde yer alan ve Kuvaterner oluşukları tarafından üzerlenen gri – siyah renkli bazalt birimi olarak tanımlanmaktadır.

Bölgede daha önce inceleme yapan araştırmacılardan Akdeniz ve Konak (1979) ile Ercan ve diğ., (1983) birimi " Naşa Bazaltı " olarak adlandırmaktadır. Ercan ve diğ., (1983) çalışmasında Naşa bazaltlarının Simav Grabeninin kuzeyinde yer alan Kula Bazaltlarının birinci evresi olan Burgaz Volkanikleri (Ercan, 1980) ile eşlenebileceğini belirtmektedir. Yalçın (1984) en geniş yayılıma Dereköy civarında ulaştığından birimi " Dereköy Bazaltı " olarak adlandırmaktadır. Gün ve diğ., (1979) ile Dündar ve diğ., (1986) ise birimi "Bazaltlar " olarak adlandırmaktadır.

Daha yaşlı gölsel sedimanter birimler üzerine uyumsuzlukla gelen birim, Kuvaterner oluşukları tarafından da uyumsuzlukla üzerlenmektedir.



Fotograf 2.10: Dereköy bazatları grimsi-kahve, taze yüzeyler siyah renkte (Çalışma alanı Güneyi).

Birimin görünür kalınlığını Yalçın (1984) 25 – 50m. arasında değiştiğini belirtmektedir. Gemici (2003) birimin kalınlığını 50 m., Gün ve diğ., (1979) 0 - 25m olarak vermektedir.

2.1.11. Traverten (Qt)

Daha yaşlı birimler üzerine uyumsuzlukla gelen Kuvaterner oluşuklarından travertenler inceleme alanı içerisinde Hamamköy ve Yeniceköy ılıcaları civarında yayılım göstermektedir.

Travertenler kahverengi – sarımsı, grimsi – beyaz renklerde, belirsiz tabakalanmalı, kompakt kütleler halinde gözlenmektedir. Sıcak sular etkisiyle oluşan travertenler boşluklu yapı göstermektedir.



Fotograf 2.11: Traverten: Hisarcık- Hamanköy yolu üzerinde(Hamamköy'e 2 km).

İnceleme alanında daha önce çalışmış araştırmacılardan Akdeniz ve Konak (1979) birimin kalınlığını 10 – 12m., Gün ve diğ., (1979) 75m., Yalçın (1984) 50m., Dündar ve diğ., (1986) 60 m. olarak belirtmektedirler.

2.1.12 Eski Nehir Çökeli (Qn)

Birim karbonatlı ve kumlu çimento ile iyi tutturulmuş, gri – bej renklerde, ince taneliden iri taneliye kadar değişen boyutlarda, yuvarlak ve köşeli, temel kayaçlardan çakıllar, kireçtaşı parçaları, taban ve tavan volkaniklerine ait çakıllardan oluşmaktadır. Çakıllarda G – K yönlenmeleri gözlenmektedir.

İnceleme alanı içerisinde, Malı çiftliğinin güneyi ve hisarcık yerleşim alanında gözlenen birimin yer değiştiren akarsuların yataklarında oluştuğu düşünülmektedir (Yalçın, 1984).

Birimin kalınlığı Gün ve diğ., (1979) 150m, Yalçın (1984) 25m, Dündar ve diğ., (1986) 5 – 15m olarak vermektedir.

2.1.13 Alüvyon (Qa)

Birim Emet çayı ve yan kollarının oluşturduğu düzlüklerde, yarı yuvarlak – köşeli çakıllar, silt ve kil boyutundaki pekişmemiş sedimanlardan oluşur ve kötü boylanmaya sahiptir. Birim içerisinde temel kayaçlara ve volkanik kayaçlara ait çakıllar gözlenmektedir. Birime hakim olan renk gridir.

Bölgede çalışmış araştırmacılardan Akdeniz ve Konak (1979) birimin kalınlığını 40 m., Gün ve diğ., (1979) 0 – 75 m., Yalçın (1984) 0.5 – 20 m., Dündar ve diğ., (1986) 10m olarak belirtmektedir.

2.2 Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı, Ketin (1966)' in Anadolu'da ayırdığı tektonik birliklerden Anatolitler içerisinde yer almaktadır. Tektonik yapı, uyumsuzluklar, çatlaklar, faylar ve kıvrımlar içerir.

Batı Anadolu' da Emet Neojen havzası K – G uzanımıyla, kuzeyde Tavşanlı havzası, doğuda Çerte Neojeni ve güneyde Gediz havzasıyla oldukça geniş bir alanda birleşmektedir. Havzanın batısında ise Eğrigöz granitoyidi yer almaktadır. K – G uzanımlı Emet Neojen havzası metamorfik ve metamorfik olmayan temel kayaçları üzerine uyumsuz olarak açılmıştır. Miyosen başlarında etkin olan epirojenik hareketler temel kayaçların yer yer kırılıp parçalanmasını sağlamış, denizin çekildiği bölgede yapısal çanakları dolduran sular birbirleriyle bağlantısız Neojen göllerini oluşturmuştur. Emet Neojen havzasında volkanizmanın oluşması, zayıf zonlardan sıcak suların çıkması ve bunun sonucunda bor tuzlarının oluşumu faylanmalarla ilişkilendirilmektedir.

İnceleme alanında, KB – GD ve KD – GB doğrultulu eğim atımlı normal faylar egemendir. Yer yer K – G doğrultulu faylarda belirlenmiştir. Bölgedeki KB – GD ve KD – GB doğrultulu eğim atımlı normal faylar, doğu – batı doğrultulu bir gerilme rejiminin ürünleridir. Dündar ve diğ., (1986) açık işletme civarında KD – GB doğrultulu birkaç sıra basamak fay bulunduğunu tespit etmişlerdir. Yalçın (1984)' da

çalışmasında Emet Formasyonu içerisinde fayların birbirine paralel sıralanarak basamak fayları oluşturduğunu ve bu normal faylara bağlı olarak da " horst – graben " oluşumunun geliştiğini belirtmiştir.

İnceleme alanında, Paleozoyik yaşlı birimler Hersiniyen, Mesozoyik yaşlı birimler Laramiyen ve Neojen birimleri de Alpin hareketlerine maruz kalmışlardır(Akkuş, 1962).

Temel kayaçlar inceleme alanının batı, doğu ve güneyinde sedimanter baseninin yayılımını sınırlayan bir set oluştururlar. Temel kayaçlar ve taban volkanikleri inceleme alanının en yüksek ve sarp yamaçlı tepelerini oluştururken Neojen birimleri düzlükleri, alüvyon ise ovaları oluşturmaktadır.

Havza içerisindeki sedimanter birimlerin doğrultu ve eğimleri havza ortasına doğrudur. Havza ortasındaki birimler ise yataya yakın eğimlidirler. Tabaka doğrultuları KB – GD olan sedimanter birimler, genellikle yataya yakın kuzeydoğu eğimlidirler. Yeniceköy kireçtaşları ve Emet kireçtaşlarının eğim miktarları 7 º – 30 º arasında değişmektedir. Hisarcık kireçtaşlarında yapılan ölçümlerde ise tabaka eğimleri 23 °-27° olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanında temel kayaçlar ile Neojen çökel kayaçları arasında açısal uyumsuzluk bulunmaktadır. Neojen yaşlı sedimanter birimler ile Kuvaterner oluşuklarının dokanağı da açısal diskordansın tanımına uymaktadır. Neojen çökelleri ise kendi içerisinde uyumlu bir istifin özelliği göstermektedir.

BÖLÜM 3. BOR MİNERALLERİ VE DAĞILIMLARI

3.1. Giriş

Bor mineralleri, günümüz endüstriyel mineralleri içinde 250'den fazla kullanım alanıyla Türkiye için en göze çarpanıdır. Başta cam sanayi olmak üzere seramik sanayi, deterjan sanayi, ilaç sanayi gibi hemen her yerde kullanılan bor ve bileşikleri ister istemez araştırma konusu olmuştur ve olacaktır da.

B_2O_3 bazında en büyük üretici 2001 yılı itibariyle, 650.000 ton ile ABD'dir. Onu 517.000 ton ile Türkiye izlemektedir. Toplam üretimde (1.546.000 ton) ABD ve Türkiye'nin payları sırasıyla %42, %33.4' tür. Parasal bazda ise Eti Holding pazarın %20-23'üne sahipken , US Borax %65-70 'ine sahip durumdadır (Helvacı, 2003).

3.2. Bor Minerallerinin Tarihçesi

Bor bileşikleri çok eski zamanlardan beri biliniyor ve kullanılıyordu. Mısırlıların ölülerin mumyalanmasında boraks kullandıkları bilinmektedir. Babillerin Himalayalardan getirtip altın işlemede kullandıkları kristallerin boraks olduğu tahmin edilmektedir. M.Ö. 800 yıllarında Çinliler porselen cilası olarak kullanmışlardır. Yine M.Ö. 1. yüzyılın Roma imparatorlarından Caligula ve Neron'un gladyatör savaşlarında arena tabanına antiseptik etkisinden dolayı boraks serptikleri söylenir.

Bor minerallerinin dünyadaki tarihçesi 13.'üncü yüzyılda, doğrudan doğruya kendisini getirmemiş olsa bile, Marco Polo zamanında cevherin Tibet'ten Avrupa'ya getirilmesi ile başlar.

18. yy başlarında İtalya'da Sessolite (boraksit) yatakları açılmış, daha sonraları bor Güney Amerika piyasalarında görülmeye başlamıştır ve İtalya'nın Toscana bölgesinde sıcak sulardan elde edilmiştir. Daha sonra 1852'de endüstriyel anlamda ilk boraks madenciliği Şili'de başlar. 1864'te Kaliforniya'daki tuzlu göllerde borun varlığı saptanır ve aralıklı üretime geçilir.

Türkiyede borun tarihçesi Romalılar'a kadar uzanır. Bununla beraber ilk madencilik 1865'te Fransız kuruluşunun (Dezmazures) çalışması ile başlar, daha sonra 1887'de Fransızlar tarafından işletilen ocaklar İngilizler'in (boraks consolidated) eline geçmiştir. 1944'te yabancı şirketler millileştirilmiş ve yabancılara işletme imtiyazı verilmemiştir. Bir süre sonra Türk Boraks A.Ş. burada faaliyet göstermiştir. 1935'te MTA ve Etibank'ın kurulması ile bölgede arama ve işletme faaliyetleri genişlemiştir. 1968'de Etibank ruhsat sahalarını devralmıştır. Nihayet 1979'daki devletleştirilme ile Etibank bor mineralleri yataklarını işletme ve entegre tesisi kurma görevini üstlenmiştir.

Türkiyede ilk bor cevheri Balıkesir-Susurluk ilçesine bağlı Sultançayır yöresinde kesin olarak bilinmeyen bir tarihte bulunmuştur. Bununla beraber Türkiye bor minerallerinin Doğu Roma İmparatorluğu sürecinde işletilmeye başlandığı sanılmaktadır. 1815 yılında sürekli işletmeye başlandığı, 1865 yılında da dış piyasalara cevher satışı yapıldığını gösterir belgelere rastlanmıştır.

Ocaklar Birinci ve İkinci Dünya Savaşları sırasında kısmen, bazen de tamamen çalışmalarını durdurmuşlardır. Bölge rezervinin 1954 yılında tükendiği, bundan sonra cevherin konsantresinin zorunlu olduğu yabancılar tarafından söylenmektedir. 1950 yılında Bigadiç dolaylarında bulunan kolemanit cevheri pandermite(priseit) benzemediğinden ilgi görmemiş, sonraları kimya mühendisi H.Yakal 'ın bunu bir bor minerali olduğunu meydana çıkarması üzerine cevher önem kazanmış ve bölgede 12 Ocak açılarak çalıştırılmaya başlanmıştır.

3.3. Bor Mineralleri

Bilinen 200'den fazla bor minerali çeşidi olmasına karşın, ticari değeri olan ve geniş şekilde yararlanılan, bor ürünleri genellikle sulu boratlardan kazanılır. Çalışma alanında ki 9 sulu borat minerali sırasıyla incelenecektir. Bunlar; Kolemanit, Probertit, Üleksit, Vicit-A, Hidroborasit, Meyerhofferit, Tünellit, Terujit ve Kahnittir. Açıklamaların büyük kısmı http://bor.balikesir.edu.tr adresinden 24 / 05 / 2009 tarihinde derlenmiş ve eksikler diğer kaynaklardan tamamlanarak sunulmuştur.

3.3.1. Kolemanit



Fotograf 3.1: Kolemanit minerali

Kimyasal Bileşimi: $Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$

Kristal Sistemi: Monoklinik, hücre parametreleri: a=8.74, b=11.26, c=6.10 Å, β=110 ˚ 07'.

Kristal Yapısı: Kolemanitte a ekseni doğrultusunda uzanan zincirler Ca iyonları ile yatay olarak iyonik bağlanarak tabaka oluştururlar. Tabakalar zincirlerdeki hidroksil gruplar ve su molekülleri nedeni ile H bağları ile tutulurlar. Zincir biçimi $(B_3O_4(OH)_3)$-2 bileşimindedir. Burada bir BO_3 üçgeni bir $BO_3(OH)$ dörtyüzlüsü ve bir $BO_2(OH)_2$ dörtyüzlüsü köşe paylaşarak bir halka oluştururlar (Gmelin, 1981).

Kimyasal Bileşimi: % 27.28 CaO , % 50.81 B_2O_3, % 21.91 H_2O.

Sertlik: 4.5 Mohs.

Özgül Ağırlık: 2.42 gr / cm3.

Dilinim: { 010} Mükemmel

Renkler ve Şeffaflık: Renksiz, beyaz; şeffaf - yarı şeffaf.

Parlaklık: Camsı.

Ayırıcı Özellikleri: Kristal formu, mükemmel dilinimi, diğer boratlardan daha sert olması, üfleç alevinde çatırdar, kıvrılır, sinterleşir ve erir. Sıcak HCl' de çözünür. Çözelti soğuyunca borik asit ayrılır. Ayrışınca kalsite dönüşür. İnyoit üzerinde kolemanit

psödomorfları gözlenir. Üleksit ve Hidroborasitten oluşabilir. Kolemanit üzerinde Hidroborasit ve Veaçit-A ornatmalarına rastlanır.

Bulunuşu: Kurak iklim bölgelerindeki playa ve tuz göllerinde boraks ile birlikte oluşur. Türkiye' de Emet, Bigadiç, Kestelek, Kırka, Sultançayır, borat yataklarında yaygın olarak oluşmuştur. Kırka hariç diğer yatakların esas cevheridir. Buralardaki kolemanitlerde izlenen görünümler; ışınsal dokulu yumrular(nodül), masif taneli saçılmış kristaller yıldızsal, nodüllerin etrafında lifsel tabakalar, kil ara katkılı tabakalar bazen breşler halinde, boşluklarda, yassı öz biçimli kristaller halindedir (http://www.etiholding.gov.tr).

DTA ile yapılan çalışmada 400 ˚C' de su ayrışmasının tamamlandığı görülür. İkinci endotermik reaksiyon ile kafes değişimi ve arkadan yeni kristal oluşumu(yeni kafes oluşumu) kademeli ekzotermik pikler ile görülmektedir. İlk eriyik başlangıcı 960 ˚C iken ana eriyik bölgesi yaklaşık 1100 ˚C' de oluşmaktadır(Greenwood, N.N, 1975).

3.3.2. Probertit



Fotograf 3.2: Probertit minerali (http://www.mindat.org/min-3285.html)

Kimyasal Bileşimi: $NaCaB_5O_7(OH)_4 \cdot 3H_2O$

Kristal Sistemi: Monoklinik, hücre parametreleri: a=13.42, b=12.58, c= 6.60 Å , α =90˚ 16' , β= 100 ˚ 25'

Kristal Biçimi: Kristal şekli ve biçimi tek kristaller ender, prizmatik; iğnemsi, ışınsal gruplar, lifsi kümelerdir.

Kristal Bileşimi: % 8.67 Na_2O, % 15.53 CaO, % 50.02 B_2O_3, % 25.68 H_2O

Sertlik: 3.5 Mohs.

Özgül Ağırlık:2.14 gr / cm3

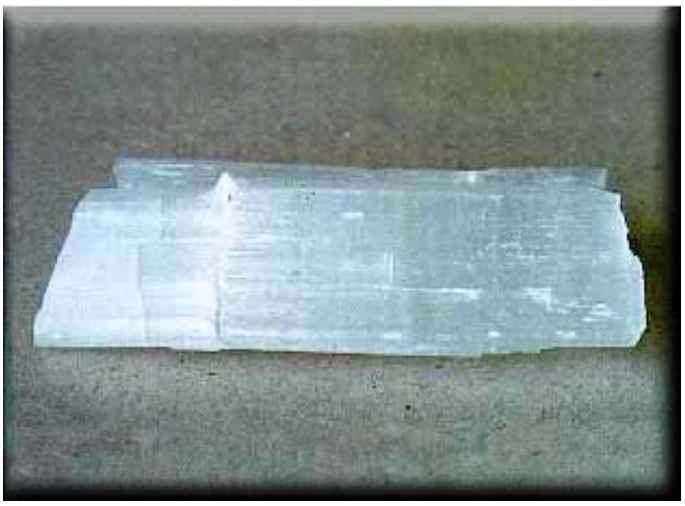
Dilinim: { 110} Mükemmel

Renk ve Şeffaflık: Renksiz, kirli beyaz ve açık sarımsı ışınsal ve lifsi ve saydamdır

Parlaklık: Camsı

Bulunuşu: Türkiye'de Emet, Kırka, Bigadiç borat yataklarında yaygın olarak ve Bigadiç yatağında ikinci cevher olarak bulunur. Emet yataklarında üç farklı düzeyde rastlanır. Burada kolemanit ve hidroborasit ile birliktedir; tekdüze tabakalı birincil olarak ve Doğanlar, İğdeköy bölgesinde kalın tabakalı olarak oluşmuştur. Kırka' da borat yatakları içinde boraks, kolemanit ve inyonit; kil tabakaları içinde ise kurnakovit ve inderit ile birlikte bulunur(http://www.etiholding.gov.tr).

3.3.3. Üleksit



Fotograf 3.3: Üleksit minerali

Kimyasal Bileşimi: $NaCaB_5O_9.8H_2O$

Kristal Sistemi: Triklinik, hücre parametreleri: a=8.73, b=12.75, c= 6.70 Å , $\alpha = 90^\circ 16'$, $\beta = 109^\circ 08'$, $\gamma = 105^\circ 07'$.

Kristal Biçimi: Genellikle iğnemsi kristalli; merceksi ya da nodüler, ışınsal, pamuk yumağı şekilli.

Kristal Yapısı: Yapıdaki $B_5O_6(OH)_6$ polianyonu izoledir ve 2 B-O üçgeni ve 3 B-O dörtyüzlüsünden oluşur(Gmelin, 1981).

Kristal Bileşimi: % 7.65 Na_2O, % 18.85 CaO, % 42.95 B_2O_3, % 35.55 H_2O

Sertlik: 2.5 Mohs.

Özgül Ağırlık:1.955 gr / cm3

Dilinim: { 010} Mükemmel, { 1-10} iyi.

Renk ve Şeffaflık: Beyaz, renksiz, ipeksi; şeffaf

Parlaklık: Camsı

Ayırıcı özellikleri: Pamuk yumağı şekli, düşük yoğunluğu, soğuk suda çözünmeyip sıcak suda çözünmesi.

Ayrışması: Ayrışarak jips ve Kolemanit' e dönüşür.

Bulunuşu: Türkiye'de Emet, Kırka, Bigadiç borat yataklarında yaygın olarak ve Bigadiç yatağında ikinci cevher olarak bulunur. Masif, karnabahar, lifsel, koni, rozet, pamuk yumağı ve çubuksal görünümler sergiler. Emet yataklarında üç farklı düzeyde rastlanır. Burada kolemanit ve hidroborasit ile birliktedir. Kırka' da borat yatakları içinde boraks, kolemanit ve inyonit; kil tabakaları içinde ise kurnakovit ve inderit ile birlikte bulunur(http://www.etiholding.gov.tr).

Üleksit ısıl bozulmasını 60-500 ˚C arasında iki aşamalı dehidrasyon ve iki aşamalı dehidroksilasyon reaksiyonları ile olup, 151˚C ve 180 ˚C 'de endotermik DTA piki verir. Bu esnada üleksitin yapısı önce dehidrasyonun ilk aşamasında (60-180 ˚C) $NaCaB_5O_6(OH)_3.3H_2O$, daha sonra dehidrasyonun ikinci aşamasında (151-260 ˚C) $NaCaB_5O_6.H_2O$ kristal fazına dönüşmüştür(Şener, 1997 ve Tunç, 1997).

Yapı önce dehidrosiklasyonun ilk aşamasında (180-260 ˚C) $NaCa_5O_6(OH)_6.H_2O$ ve amorf fazlarından oluşan çok fazlı heterojen bir yapıya, dehidrosiklasyonun ikinci aşamasında da (260-500 ˚C) tamamen amorf yapıya dönüşmüştür. Bu aşamalı su buharı çıkışı sırasında yapıda çok sayıda mikron boyutlu çatlaklar oluşmuş ve yapı parçalanmadan tane şeklini korumuştur. Oluşan çatlaklar üleksitin porozite derecesini

arttırmıştır. Amorflaşan yapı önce 636˚C' de $NaCaB_5O_9$ şeklinde kristallenmiş, 855 ˚C' de ise CaB2O4 şeklinde yeniden kristallenip NaB_3O_5 amorf fazda kalmıştır(Matkovich, 1977).

3.3.4 Viçit-A



Fotograf 3.4: Viçit-A minerali (http://www.mindat.org/min-4165.html)

Kimyasal Bileşimi: $Sr_2\ B_{11}O_{16}(OH)_5.H_2O$

Kristal Sistemi: Triklinik, hücre parametreleri: a=20.82, b=11.75, c=6.65 Å, β=9208'.

Görünüm: Kristalleri (001) doğrultusunda uzun ve {010}'e paralel yassıdır. Genellikle lifler ışınsal veya çubuksal topluluklar oluşturur.
Sertlik: 2 Mohs

Özgül Ağırlık:2.62 gr /cm3

Dilinim: {010} mükemmel.

Parlaklık: inci gibi

Renkler: Renksiz, beyaz, saydam.

Kimyasal Bileşimi: % 31.45 SrO, % 58.52 B_2O_3, % 9.93 H_2O

Bulunuşu: Söz konusu mineral, çapları 2-10 cm. arasında nodüllü, genellikle kil kapsamlı beyaz bir mineral olarak gözlenmektedir. Bazen çok küçük nodüller birleşmekte ve agrega benzeri (mammilary) bir görünüm göstermektedirler

3.3.5. Hidroborasit



Fotograf 3.5: Hidroborasit minerali (www.mta.gov.tr)

Kimyasal Bileşimi: CaMgB6O11. 6H2O

Kristal Sistemi: Monoklinik, hücre parametreleri: a=11.76, b=6.68, c=8.20 Å, β=102 ˚ 48'.

Kristal Yapısı: $B_3O_4(OH)_3$ polianyonu bir üçgen ve iki dörtyüzlüden oluşur. Bunlar c ekseni boyunca uzanan zincirler yaparlar (Gmelin 1981).
Görünüm: Kristalleri (001) doğrultusunda uzun ve {010}'e paralel yassıdır. Genellikle lifler ışınsal veya çubuksal topluluklar oluşturur. Kompakt ince taneli olabilir

Dilinim: {010} mükemmel.

Parlaklık: Cam, telsel kitlelerde ipek.

Renkler: Saf, renksiz-beyaz, saydam.

Kimyasal Bileşimi: % 13.57 CaO, % 75 MgO, % 50.53 B_2O_3, % 26.15 H_2O

Özellikleri: Üfleç alevinde erir ve saydam cam verir. Kapalı tüpte asit karakerli su verir. Asitlerde kolayca erir. Soğuk suda hemen hemen hiç çözünmez. Kaynar suda kısmen çözünür.

Bulunuşu: Bir merkezden ışınsal ve iğne şeklindeki kristallerin rasgele yönlenmiş ve birbirini kesen kümeler halinde bulunur. Türkiye'de Emet, Kırka, Bigadiç borat yataklarında oldukça sık görülür. Kolemanit, Üleksit bazen Tünellit ve Veaçit-A ile birlikte rastlanır. İğne şeklinde kristalleri koni biçiminde topluluklar oluşturur. Ayrıca ışınsal dokulu beyaz 0.5-5 cm çaplarında yumrular ve bunların rasgele konumları ile oluşan topluluklar gösterir(http://www.etiholding.gov.tr).

3.3.6. Meyerhofferit



Fotograf 3.6: Meyerhofferit minerali (http://www.mindat.org/min-2699.html)

Kimyasal Bileşimi: $Ca_2B_6O_9(OH)_4.5H_2O$.

Kristal Sistemi: Triklinik

Kimyasal Bileşimi: % 25.28 CaO, % 45.71 B_2O_3, %28.51 H_2O.

Sertlik: 2 Mohs.

Özgül Ağırlık:2.12 gr / cm3.

Dilinim: {010}Mükemmel

Renkler ve Şeffaflık: Renksiz, beyaz, saydam-yarı saydam.

Parlaklık: Camsı ve ipeksi.

Özellikleri: Asitlerde kolayca erir.

Bulunuşu: Yer yer 7 cm çapına varan mavimsi-grimsi renkli nodüller şeklinde Kristaller dikey prizmatik veya levhalar halinde ve lifsidir.

3.3.7. Tunellit



Fotograf 3.7: Tunellit minerali (http://www.mindat.org/min-4050.html)

Kimyasal Bileşimi: $SrB_6O_9(OH)_2.3H_2O$

Kristal Sistemi: Monolinik, hücre parametreleri: a=14.43, b=8.15, c= 9.90 Å ,
$\beta = 114^\circ 6'$

Kristal Biçimi: Kompakt, ince taneli yumrular ve 4cm uzunluğa ulaşan prizmatik ve levhamsı kristallerdir.

Kristal Bileşimi: % 27.04 SrO, % 54.25 B_2O_3, % 18.64 H_2O

Sertlik: 2.5 Mohs.

Özgül Ağırlık:2.46 gr / cm3

Dilinim: { 100} Mükemmel

Renk ve Şeffaflık: Beyaz, renksiz

Parlaklık: Yarı camsı dilinim yüzeylerinde inci.

Bulunuşu: Yer yer 6 cm uzunluğuna varan yassı kristaller şeklinde veya üleksit üzerinde tabakamsı muskovit pullarını andıran kristaller şeklinde gözlenmektedir. Renksiz veya beyaz nodüller şeklindedir.

3.3.8. Terujit



Fotograf 3.8: Terujit minerali (http://www.mindat.org/photo-139330.html)

Kimyasal Bileşimi: $Ca_2MgAs_2B_{12}O_{22}(OH)_{12}\cdot 12(H_2O)$

Kristal Sistemi: Monoklinik, hücre parametreleri: a=15.71, b=19,92 c=6.28 Å,

Sertlik:2.5 Mohs

Özgül Ağırlık:2.15 gr /cm3

Parlaklık: Cam

Dilinim: {001}iyi, {010} zayıf.

Renkler: Renksiz-beyaz, saydam.

Kimyasal Bileşimi: % 18.14 CaO, % 3.26 MgO, % 33.78 B_2O_3, % 26.23 H_2O

Bulunuşu: Işınsal dokulu yumrular ve bunların rastgele konumları ile oluşan topluluklar gösterir Kolemanit, üleksitle birlikte bulunur.

3.3.9. Kahnit



Fotograf 3.9: Kahnit minerali (http://www.mindat.org/min-851.html)

Kimyasal Bileşimi: $Ca_2BAsO_6.2H_2O$

Kristal Sistemi: Tetragonal ve sfenoyidal

Sertlik:3 Mohs

Özgül Ağırlık:3.15 gr /cm3

Parlaklık: Cam

Dilinim: {100}Mükemmel

Renkler: Renksiz-beyaz, saydam.

Kimyasal Bileşimi: % 37.65 CaO, % 38.26 As_2O_5, % 11.68 B_2O_3, % 12.09 H_2O

Bulunuşu: Işınsal dokulu yumrular ve bunların rastgele konumları ile oluşan topluluklar gösterir. Bazen terujit kristallerinin içinde küçük yumrular şeklinde gözlenmektedir. Kolemanit, üleksitle birlikte bulunur.

BÖLÜM 4. BORATLARIN JEOKİMYASI VE OLUŞUM ORTAMLARI

4.1. Giriş

Litosferi meydana getiren kayaçlarda bir miktar bor mevcuttur. Kayaçların jeolojik kökeni ve kimyasal bileşimlerine göre bor içerikleri de çeşitlilik göstermektedir. Granitik ve magmatik kayaçlar için 1-50 ppm, turmalinli granitler için ise 310 ppm e kadar bor içerdiği saptanmıştır. Bazik magmatik ve volkanik kayaçların bor içerikleri farklıdır. Metamorfik kayaçlar ilksel kayaçlardaki bor içeriklerini genellikle muhafaza ederler. Denizel çökel kayaçlardan killi şeyllerin bor içeriği oldukça yüksek olup 110 – 120 ppm e kadar çıkar. Konglomera, kumtaşı, kireçtaşı ve dolomitlerin bor içeriği azdır. Deniz suyunun buharlaşma ürünü olan tuzlu jipsli suların içeriği yüksektir. Deniz suyunun ortalama bor içeriği 4,6 ppm dir. Bu yüksek bir değer olarak kabul edilir. Sıcak su kaynaklarında yapılan incelemelerde bor içeriklerinin 3-30 ppm arasında olduğu görülmüştür (Dündar ve diğ. 1986).

Dünya genelinde, yüzey (effusive) ve piroklastik kayaçlardaki en yüksek bor içeriği (50-1000 gr/ton), Pasifik Okyanusu ve Alp-Himalaya tektovolkanik kuşaklarda aktif levha sınırlarında ada yayı sistemlerindeki volkanik kayalarda bulunur(Ozol, 1976). Bu kayalardaki asıl bor getirici malzeme volkanik camlardır(Berzina ve diğ., 1975). Yüzeyde magma kristalizasyonu sırasında, borun büyük bir kesimi artık ergiyikte, kısmen de uçucularda toplanır. Volkanik patlamalar sırasında eğer bor diğer uçucularla birleşirse gaz kaçağı ve göçme ile magma çemberinden ayrılır ve kınklı zonlardan yüzeye doğru gaz buharı kaynağı şeklinde erişir... Bu olasılık, Pasifik ve Alp- Himalaya volkanik kuşağındaki gazlar ve hidrotermal çözeltilerdeki yüksek bor içeriği ile desteklenir. Senozoyik havzalarda bor içeriği, genellikle alta bindirme zonları ile ilişkili olan volkanik kayaçlarda en yüksektir, Bor içeriği, rift zonlardaki havzalarda az, volkanik etkinliğin az veya olmadığı sahalarda ise en düşüktür. Ayrıca, yitim, tektoniği sahalarındaki termal sulardaki bor kapsamı (600-800 mg/1), Okyanus ortası sırtlarında veya rift zonlarındaki (yaklaşık 10 mg/1) bor içeriğine oranla son derece yüksektir(Ozol, 1976).

4.2. Jeokimya

Bor, doğada ortalama olarak karasal sularda 0.1 ppm, yerkabuğunda 3 ppm ve deniz suyunda 4.6 ppm oranlarında bulunan ender bir elementtir. Borun ekonomik olarak kabul edilebilecek konsantrasyona ulaştığı sayılı miktarda zuhur vardır. Konsantrasyonun olduğu yerlerde ise genelde yersel bir volkanik aktivite (bor kaynağı olarak), göl gibi bir su kütlesi (bor bileşiklerini çözen), evaporasyon koşulları (çökelme noktasında çözeltiyi konsantre eden) ve üstüne gelen koruyucu tortul tabaka (kolay çözülebilen bor minerallerini koruyan) yer alır(Helvacı, 2003).

Borat yataklarının çökeldiği Neojen göllerinin alkali karakterli olmasi gerekir. Çünkü bor göl suyunun pH 8,5-11 arasında olduğunda çökelmektedir (Helvacı 2003). Yalçın (1984) birim içerisinde saptadığı ostrakodlardan Heterocypris cinslerinin ortam suyu sıcaklığının 35 – 51.5 ºC arasında bulunduğu koşullarda yaşadığını belirtmektedir. Van Morkhoven (1962) ise 40 ºC de ideal olduğunu söyler.

İnceleme alanındaki bor minerallerinin jeokimyasını anlamak için Espey ve Hisarcık işletmelerinden alınan kristal haldeki dört mineral numunesi XRF cihazında analiz edilmiştir. Minerallerin kimyasal içeriği aşağıdaki tabloda verilmiştir. XRF deney sonuçlarını tablo 4.2. ile karşılaştırarak hangi mineralin baskın olduğu anlaşılmaya çalışılmıştır. Sonuçları kolemanit(%50,84B2O3+ %27,28CaO+ %21,87H2O) ile karşılaştırırsak cevherin kolemanit minerali olduğu ancak bir miktarda kirlilik içerdiği söylenebilir.

Tablo 4.1: Madenden alınan numunelerin XRF analiz sonuçları

B2O3 wt %	CaO wt %	As2O3 ppm	SiO2 wt %	Fe2O3 wt %	MgO wt %	Na2O wt %	SrO wt %	DiĞER wt %	Numune (Yer-Renk)
49.5	30.1	129	1.3	0.2	2	0.05	0.5	16	ESP.-Mor
49.6	28.9	583	1.2	0.2	1.7	0.02	0.6	18	HİS.-Kahve
49.1	28.2	175	1.6	0.2	1.8	0.03	0.6	19	ESP.-Gri
46.8	26.4	239	3.4	0.3	2	0.03	1.3	20	HİS.-Beyaz

Tablo 4.2: Bor mineralerinin kimyasal içerikleri (Pişkin, 1982)

Mineral Adı	CaO(%)	Na_2O(%)	MgO(%)	SrO(%)	B_2O_3(%)	H_2O(%)
Probertit	15.43	8.47	-	-	50.22	25.68
Üleksit	13.84	7.78	-	-	42.60	35.68
Kolemanit	27.28	-	-	-	50.84	21.87
Hidroborasit	13.66	-	9.75	-	50.44	26.15
Meyerhofferit	25.80	-	-	-	45.70	28.50
Veaçit	0.25	-	-	9.45	58.52	9.93
Tunelit	-	-	-	27.04	54.26	18.64
Kahnit	37.65	-	-	-	11.68	12.09
Terujit	18.14	-	3.26	-	33.78	26.23

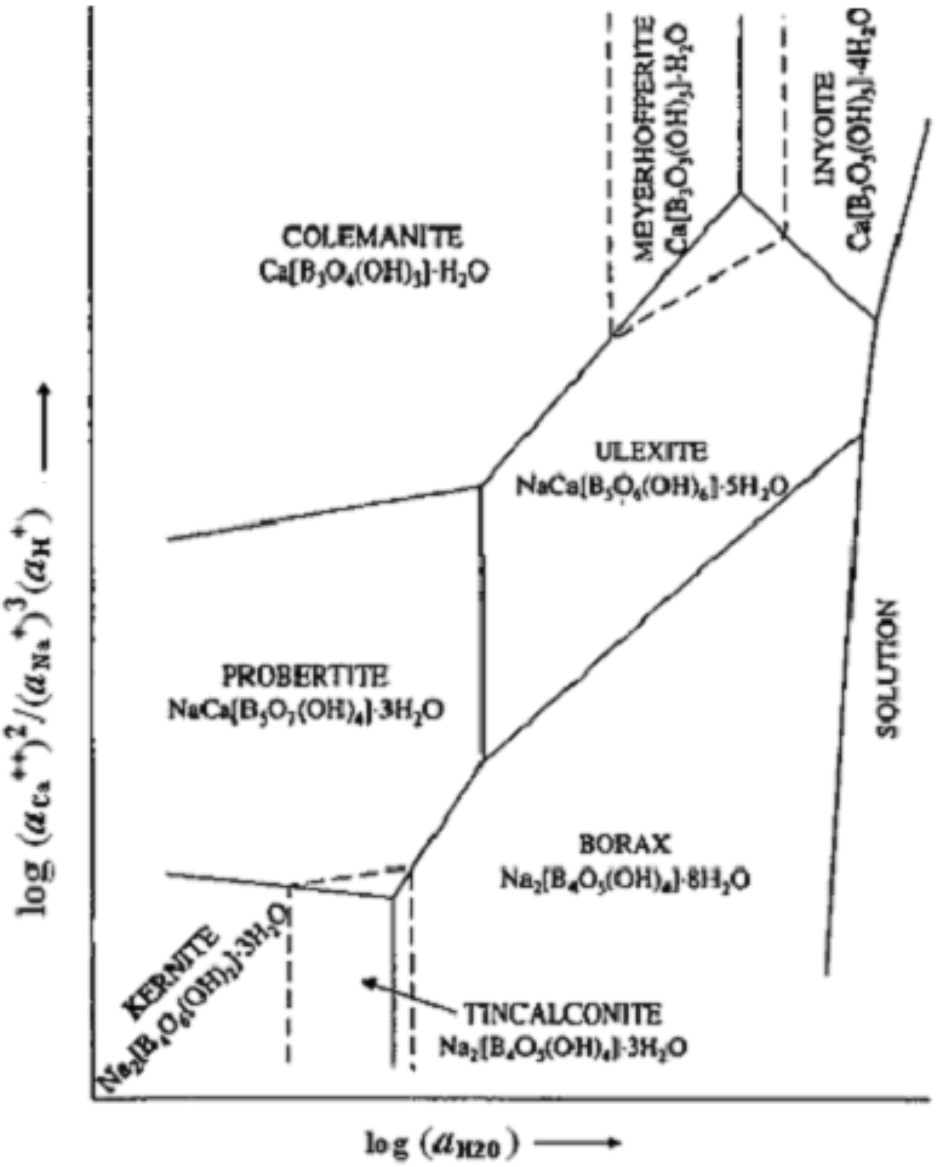
Tablo 4.3. bor minerallerinin genel termokimyasal özelliklerini göstermektedir. Bor minerallerinin ısı ile su moleküllerini kaybettiği sıcaklık aralıkları sıcaklık (T^0C) başlığı ile verilmektedir. Baştaki ilk su molekülünü kaybettiği sıcaklığı gösterirken, sondakinden sonra artık mineral susuzdur. Ancak meyerhofferitte çok az miktardaki (%0,2) su kalmıştır.

Tablo 4.3: Bor minerallerinin ısı ile su moleküllerini kaybettiği sıcaklık aralığı ve molekül formülü (Pişkin, 1982)

Mineral Adı	Oksit Formülü	Kristal Sistemi	Bulunduğu Yer	Sıcaklık (T^0C)
Probertit	$NaCaB_5O_9.5H_2O$	Monoklinik	İğdeköy	112-422
Üleksit	$Na_2O.2CaO.5B_2O_3.16H_2O$	Triklinik	Emet	105-449
Kolemanit	$2CaO.3B_2O_3.5H_2O$	Monoklinik	Emet	327-412
Hidroborasit	$CaO.MgO.3B_2O_3.6H_2O$	Monoklinik	Emet	260-800
Meyerhofferit	$2CaO.3B_2O_3.7H_2O$	Triklinik	Emet	103-221
Veaçit-A	$Sr_2\ B_{11}O_{16}(OH)_5.H_2O$	Monoklinik	Espey - Hisarcık	80-624
Tunelit	$SrO.3B_2O_3.4H_2O$	Monoklinik	Espey - Hisarcık	168-626
Kahnit	$Ca_2B(AsO_4)(OH)_4$	Tetragonal	Espey - Hisarcık	?
Terujit	$Ca_2MgAs_2B_{12}O_{22}(OH)_{12}\cdot 12(H_2O)$	Monoklinik	Emet	?

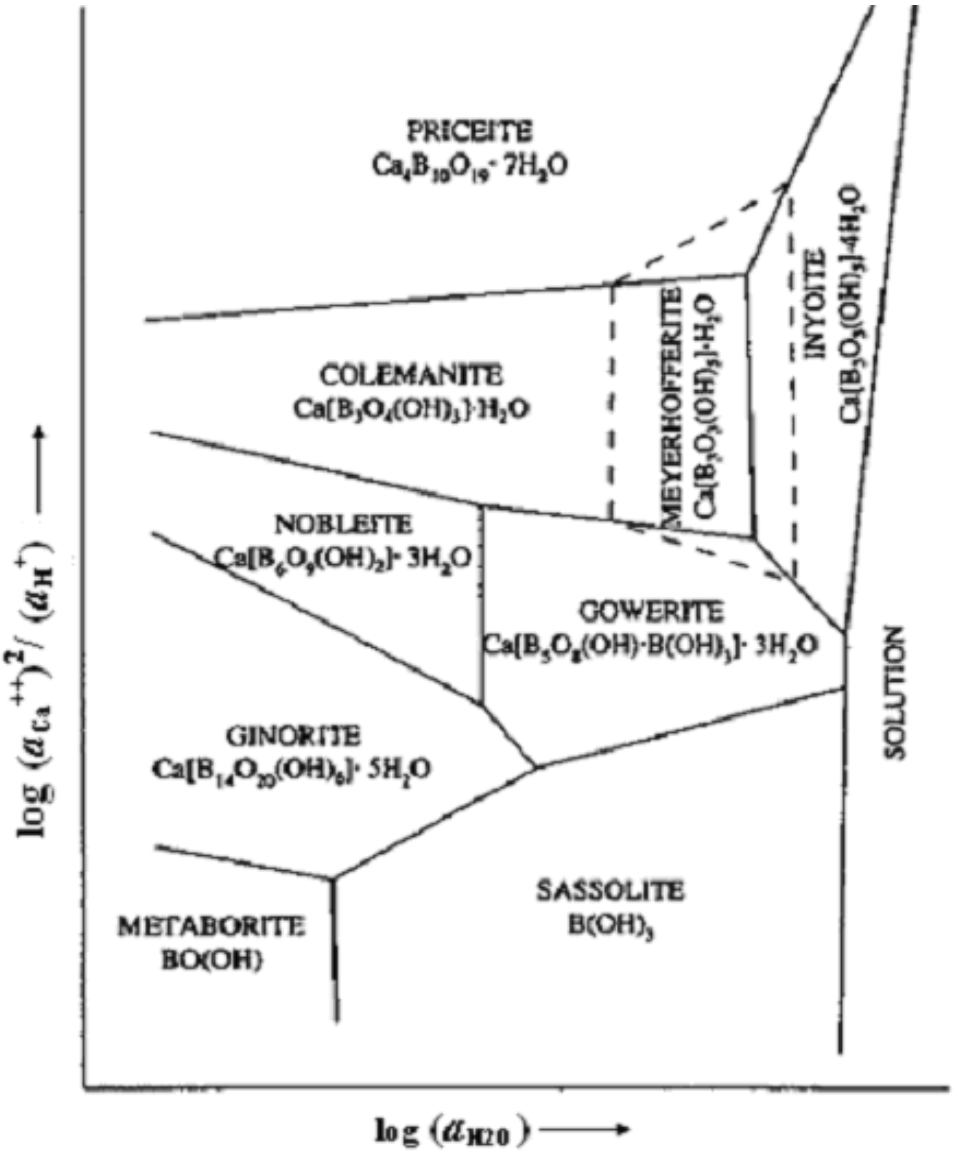
Kimyasal aktivite diyagramları çeşitli izotermal ve izobarik şartlarda hangi minerallerin oluşabileceğini bize göstermektedir. Bunu da jeolojik yaş, baskın katyon ve onun durumu (katı mı sıvı mı olduğu) etkileyebilmektedir (Christ, ve diğ., 1967).

Bu diyagramlar izotermal-izobarik kesitlerdir ve H^+, Ca^{++}, H_2O, Na^+, Mg^{++} un aktiviteleri bağımsız değişebildikleri halde bor sabittir. Aktivite-aktivite diyagramları aynı zamanda izoborik-izo(H_2O) kabul edilebilirler. Çünkü ısının artması (H_2O) nun azalmasıyla aynı anlamdadır. Benzer sonuca (H_2O) yu azaltan eriyebilir tuzların çözeltilerinin eklenmesiyle de erişilir (Özpeker, 1969).

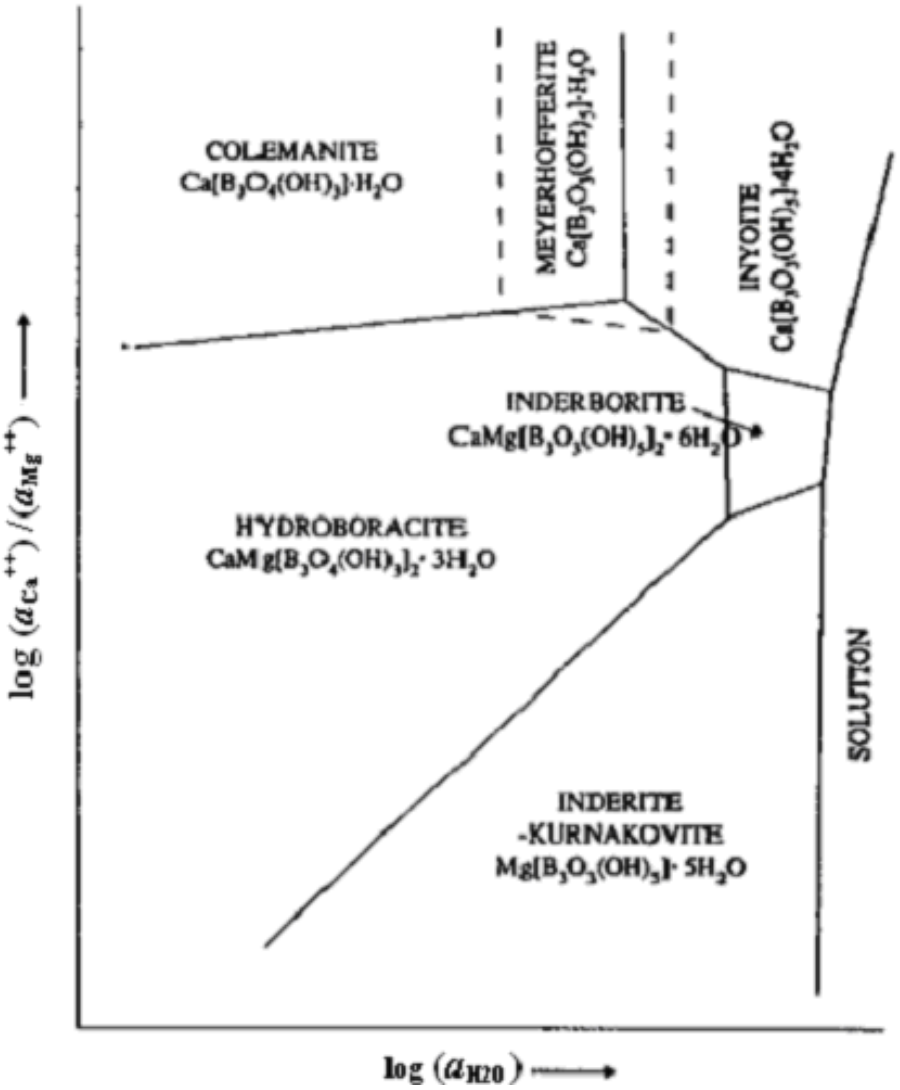


Şekil 4.1: Neojen yataklarda sodyumlu bor mineralleri baskın olduğu bölge sağ alt köşedir ancak sodyum kalsiyum ve sadece kalsiyumlu bor mineralleri de oluşmaktadır(Christ ve diğ.,1967).

Ca, Ca-Na ve Na-borat tipi yataklar gelişmesinde Na_2O / CaO oranı temeldir. Bunların Na_2O / B_2O_3 oranı ile açıklanması yeterli değildir(İnan, 1975).



Şekil 4.2: Neojen yataklarda kalsiyumlu bor minerallerinin baskın olduğu bölgeler görülmektedir (Christ ve diğ.,1967).



Şekil 4.3: Neojen yataklarda magnezyumlu bor minerallerinin baskın olduğu bölge sağ alt köşedir. Ancak magnezyum- kalsiyum ve sadece kalsiyumlu bor mineralleri de oluşmaktadır(Christ ve diğ.,1967).

4.3. Oluşum Ortamları

Bor kıta kabuğunda fazla bulunmamasına (milyonda 3-20) rağmen, uçucu ve hareketli (volatile and mobile) olduğu zaman, mağmatizmanın son evresinde, birikmeye eğilimli olabilir. Eğer bu magma ve ona eşlik eden mineralli ergiyikler karbonat kayaçlarıyla karşılaşırsa (skarn zonlarında) bilinen birkaç ticari bor madenine dönüşür. Eğer diğer kayaçlarla karşılaşırsa ticari öneme sahip yataklar oluşmaz bor mineralleri buralarda ikincil maden durumundadır. Eğer bu magma ve bor içeren ergiyikler yüzeye çıkar ve playa dediğimiz göllerle karşılaşırsa dünyadaki bor madenlerinin büyük çoğunluğunu oluşturan boratları oluşturur. Bu magma ve ergiyikler büyük yatakları oluşturmuştur çünkü bu

ergiyiklere bazaltik magma ve volkanlar eşlik etmektedir. Çünkü küçük yataklarda bazalt yok; genelde tüf de yoktur ve bor kaynağı jeotermal ergiyikler olmalıdır (Garret, 1998).

Dünyada bilinen önemli bor yatakları için birçok araştırmacı çeşitli jenetik sınıflamalar önermişlerdir (Meixner, 1953; Shabynin, 1957; Watanabe, 1964; Aristarain ve Hurlbut, 1972). En son sınıflama Aristarain ve Hurlbut, (1972) tarafından yapılmış ve yatakların üç farklı ortamla ilişkili olduklarını öne sürmüşlerdir:

1- Derinlik kayaları ile ilişkili yataklar
2- Denizel tortullar ile ilişkili yataklar
3- Volkanik etkinlikler ile ilişkili yataklar(Helvacı, 2003).

4.3.1. Derinlik kayaları ile ilişkili yataklar

Granit ve diyorit gibi asit intruzyonların kontağında dolomit, kireçtaşı ve marnların metamorfizmasi ile sekonder oluşmaktadır. Bunlar içinde borlu, Ludwigite, Szabilite, Axinite, Datolite ve Turmalin gibi silikat mineralleri oluşmaktadır.

Kontakt metamorfiklerden başka asit intrüziflerle direkt bağlantılı turmalinli pegmatitler oluşmaktadır. Bor yatağının yeterince bulunmadığı ülkelerde bu tür yataklar işletilmektedir. Çünkü bunların işletilmesi zor ve pahalıdır.

4.3.2. Denizel tortullar ile ilişkili yataklar

Denizel killerde, bu killerin taşlaşmasından oluşan şeyllerde jeokimyasal olarak bor içerikleri yüksektir. Ancak bunların ekonomik konsantrasyonlarına rastlanmamıştır.

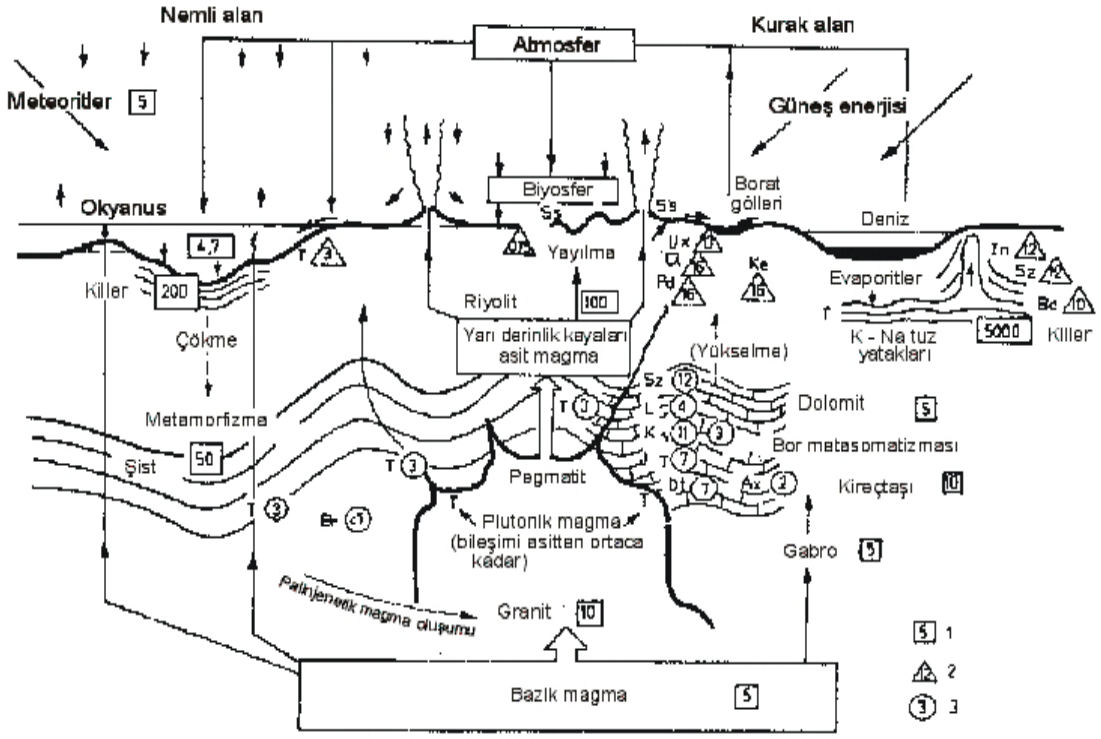
Deniz suyunun buharlaşmasından oluşan tuz, jips, yataklarından Mg, Ca ve Na borat mineralleri oluşmaktadır. Ancak tuz yataklarında bor mineralleri yan ürün olarak elde edilir. Bazı karstlaşmış evaporit yataklarında erime ve yeniden çökelme ile borat minerallerince zenginleşmeler görülmektedir.

4.3.3. Volkanik etkinlikler ile ilişkili yataklar

Çalışma alanımız bu grup altında incelenebilir. Kurak yada yarı kurak iklimin hüküm sürdüğü sığ playa göllerinde evoporasyon ve volkanizma eşlikli bir oluşum düşünülebilir. Bilinen bor yatakları çevresinde veya daha alt düzeylerde benzer stratigrafide borca zengin kayaçlar olmadığı ve çok sınırlı drenaj alanı olduğu için çevre kayaçların ayrışması sonucu mevcut, bor yataklarının oluşması söz konusu olamaz; çevredeki daha yaşlı bor yataklarının yıkanması sonucunda bugünkü yatakların oluşması mümkün değildir. Günümüze kadar süren genç volkanizmanın egemen olduğu, fakat yine aynı ölçüde yağışların bol olduğu Alaska, Japonya, İtalya gibi ülkelerde bor oluşumlarına rastlanmaz. Gerek yüzeysel sularla gerekse volkanizma sonrası olan volkanik ergiyiklerle kapalı göl havzalarına gelen borca zengin sıcak sular esas kaynaktır.

Yine yüzeysel sularla göle Na, Ca ve Mg iyonlarıda gelmektedir. Bunlar uygun koşullarda borat yataklarını oluşturmaktadır. Bu koşullarda ilk oluşanlar karbonatlardır. Bu nedenle tabanda yer alırlar. Çökelme alanının alt ve dış kısımlarında taban kireçtaşı olarak gözlenir. Buharlaşma ilerledikçe ortamda tuz derişimi artar. Gölün boyutları küçülür, boyutlar küçüldükçe sudaki bor oranı çoğalır. Bu nedenle en son çökelen Na ve K' lu tuzlar orta yerde birikir.

Eosen'de Batı Anadolu deniz seviyesinin üstünde idi. Oligosen'de birçok göller vardır. Miyosen başında meydana gelen birçok faylanmalar ve diskolasyonlar sonucu oluşan irili ufaklı göller meydana gelmiş ve volkanik faaliyetlerin şiddetli olduğu kapalı havzalar oluşmuştur(Dündar ve diğ. 1986).



Şekil 4.4: Bor elementinin devirselliği ve konsantrasyonu. Borun kayalardaki bulunuşu, Goldshimidt, Landergren ve Harder'a göredir (Watanabe, 1964'den alınmıştır). 1. Borun kayalardaki ortalama içeriği(g/t); 2. Borun ekzojenik konsantrasyonu(%); 3. Borun endojenik konsantrasyonu(%); Ss-sasolit; Ux-üleksit; Cl-kolemanit; Pd-pandermit; Ke-kernit; İn-inderit; Bc;borasit; Sz-szaibelyit; L-ludvigit; K-kotoit; J-jimboit [Mn3(BO3)2]; Dt-datolit; Ax-aksinit; Tturmalin;Br-braunit.

Borat yataklarının içeren birimlerinin hemen hepsinin killi olduğu görülür. Bir görüş, ancak killerle çevrilmiş boratların günümüze kadar korunabildiğini savunurken (Beatles 1969), bir başkası killerin ve çökelme ortamının volkaniklerle yakından ilişkili olmasının belirleyici nitelik taşıdığını savunur. Gerçekten Kırka, Bigadiç, Emet, Kestelek borat yataklarında ara katkılı killi tüf, kil katmanları oldukça yaygındır. Bu tüflerin yer yer ilksel konumlarını koruyan bozunmamış biyotitler içermesi ikinci görüşün daha kuvvetli olduğunu göstermektedir. Görüldüğü gibi killerle boratlar kökensel ilişkilidir. Ancak onların korunmasında da önemli bir yer tuttuğu gerçektir. Borlar çökelip gölün borca derişimi belli bir oranda azaldıktan sonra bor yataklarının üstünde tüm ocaklarda gözlenen kireçtaşı seviyesi çökelmektedir. Borların korunmasında bunlarda önemli bir yer tutmaktadır. Borun konsantrasyonu ve devri ise Şekil 4.4.'de gösterilmektedir.

4.4. Emet Bortuzu Yataklarının Oluşumu

Bölgede Neojen, Temel Kayaçlar üzerine diskordan olarak gelen Taşbaşı Formasyonu(taban konglomerası) ile başlamaktadır. Taban konglomerasının beslenme alanı özellikle havzanın doğu kesimidir. Konglomeralar çökeldikten sonra bölgede etkili olan tektonik hareketler sonucu Neojen taban volkanikleri havzadaki zayıf zonlardan tüf, lav, aglomera olarak çıkmıştır. Bu volkanizma sonrası çıkan sıcak sular borları getirmiştir. Emet havzasında volkanik kayaçların ve volkanik materyalin çok yaygın ve yoğun olması, tüflerin borat bantlarıyla ara tabakalı yataklanması borat minerallerinin oluşumuyla volkanizma arasında çok yakın ve sıkı bir ilişkinin varlığını ortaya koymaktadır(Dündar ve diğ. 1986). Diğer taraftan havzadaki tortulların volkanik kayalardan türemiş gereçler içermesi bu varsayımı desteklemektedir (Helvacı,1983; Helvacı ve Orti, 1998; Floyd ve diğ., 1998; Helvacı ve Alonso, 2000). Tüfler çökelirken aynı zamanda havzanın daha derin kısımlarında Yeniceköy kireçtaşları çökelmiştir. Yeniceköy kireçtaşı biriminde tüf mercek ve bantlarının bulunması bunu doğrulamaktadır.

Yeniceköy kireçtaşları çökeldikten sonra ortamda sedimantasyon devam etmiştir. Fakat gelen malzemenin karakteri değişmiştir ve daha klastik, kaba taneli malzemeler sellenmelerle gelerek kırmızı serinin (Beyköy formasyonu) kumtaşı, çakıltaşı seviyelerini oluşturmuştur (Dündar ve diğ. 1986). Kırmızı serinin tortullaşması hızlı geliştiğinden gelen malzeme tane büyüklüğüne göre dizilme imkanı bulamamış, düzensiz olarak yığılmıştır. Bu dönemde gölün sığ yerlerinde, organik malzeme yığılmış ve sonradan linyitleşecek turbalar meydana gelmiştir(Özpeker,1969).

Kırmızı serinin çökelmesinden sonra muhtemelen tek göl halinde olan Neojen gölü, sedimantasyonun artması ve çeşitli tektonik hareketler sonucu Hisarcık kireçtaşı ve boratlari içeren birim çökelirken, kuzeyde Espey gölü ve güneyde Hisarcık gölü olarak birbirinden ayrılmıştır. İki gölün birbirinden ayrı olduğu 1982 ve 1983 yılında yapılan sondajlarla tespit edilmiştir. Espey ocağının Emet'e gelmeden bittiği anlaşılmıştır. Güney'de ise göl daha büyüktür. Dereköy'den başlanmakta Hisarcık açık işletmesinin olduğu yerden kuzeye doğru çay boyunca kıvrılarak Malıçifliğine kadar uzandığı tespit edilmiştir(Dündar ve diğ. 1986).

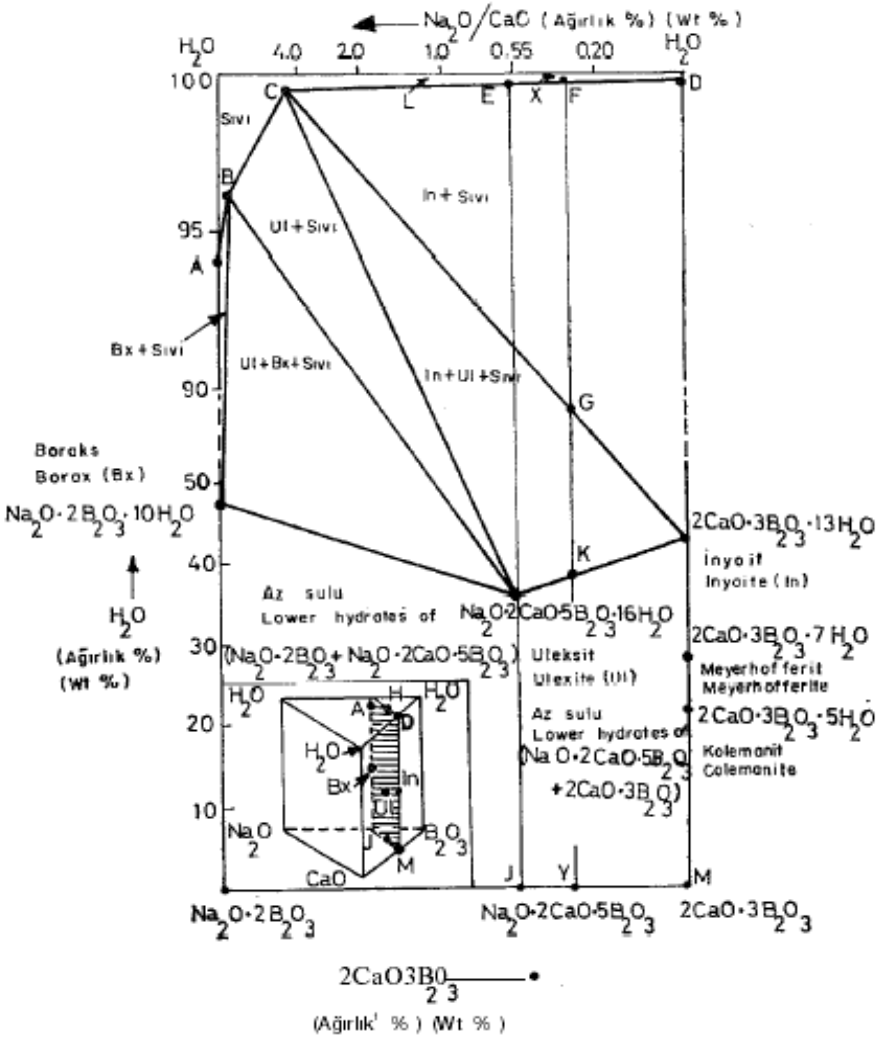
Borat yataklarında; boratların çökelimi, kalsiyum karbonat çökelimini izlediğinden ve boratların çökeleceği çözeltilerin içindeki Ca^{++} zenginliğinden dolayı ilk çökelen boratlar çoğunlukla Ca-boratlardır. Çökelmenin ve evaporasyonun ilerlemesinden dolayı Ca-boratları Ca-Na boratlar izler. Ortamın şartları uygunsa ve çözeltilerdeki Na^{+} konsantrasyonu yeterli düzeye erişmisse, Ca-Na boratlardan sonra Na-boratlar çökelir. Çökelmenin devamını ise tekrar Ca-Na boratlar ve daha sonra Ca-boratlar izler. Borat yatağındaki bu çökelim, tam bir mineral dizilimini verir (Helvacı, C., 1983). Emet Neojen'inde Ca-boratlar ve Ca-Na boratlar gözlenmektedir. Bu nedenle tam bir dizilim olmadığı anlaşılmaktadır.

Boraks bulunmayan borat yatakları ise Na_2O / CaO oranının l'i geçmediği göl sıvılarından gelişmişlerdir, örneğin Emet borat yataklarında, yatağın hemen hemen tümü Ca-boratlardan oluşmasına karşın, Na-Ca borat (üleksit)lar tabanda ve tavanda ince bir kat halinde gözlenmiştir(İnan, 1975).

Başlangıç bileşimini kesinlikle bilemediğimiz borat yataklarını veren ergiyiklerden minerallerin nasıl bir sıra izleyerek çökeleceklerini saptamak güçtür. Bu zorluklara rağmen Türkiye borat yataklarında Ca, Na-Ca ve Na Borat tipi minerallerin egemen oluşu, boratların oluşmasında, bor derişikliği yanında eriyiklerdeki Na_2O/CaO oranının önemli olduğunu göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmalardan bu oranın Ca-boratlar için %5, Na-Ca boratlar için %5-95 ve Na-boratlarm oluşması içinde eriyiğin Na_2 /CaO oranının %95'ten yüksek değere sahip olması gerektiği saptanmıştır(İnan ve diğerleri, 1973).

1 — Na-borat verecek olan doğal eriyiğin bileşiminin kesin biçimde üleksit bileşim noktasını aşması gereklidir. Bu sıvının Na_2O/CaO oranının 1'e yakın ve daha yüksek olması beklenir,
2 — Borat göllerinde çökelmeler Na_2O—CaO—B_20_3—H_2O sisteminde Ca, Na-Ca ve Na-borat sırasını izler,
3 — Ca, Ca-Na ve Na-borat tipi yataklar gelişmesinde Na_2O/CaO oranı temeldir. Bunların Na_2O/B_2O_3 oranı ile açıklanması yeterli değildir,

4 — Borat yatağında Na-boratlar (boraks) havzanın derin bölgelerinde egemen olurken kenarlarda ve sığ alanlarda Na-Ca ve Ca-boratları daha fazla önem kazanırlar(İnan, K.,1975).



Şekil 4.5: Na2O. 2B2O3— 2CaO. 3B2O3 — H2O sisteminin yaklaşık 40° C de faz diyagramı(İnan ve diğ., 1973)

Türkiye borat yataklarında egemen minerallerin çökelmelerinin daha iyi kavranması için bu diyagramdan birkaç örnek vererek açıklayalım. Borat çökelmemiş X bileşimine sahip bir göl suyunu buharlaşmaya bırakalım. Buharlaşmanın, devamında X noktasındaki(Şekil 4.5) bir eriyik D noktasına inecek ve burada ilk buharlaşma ürünü olan boratı verecektir. Bileşim Ca-borat (İnyoit) sınırı içinde olması nedeniyle ilk çökelecek mineral inyoit olacaktır. Bu noktadan itibaren sıvının bileşimi FEC üzerinden C'ye doğru kayacak, toplam bileşim ise F'den G'ye ve oradan K noktasına gidecektir. Burada C bileşimindeki sıvı fazı, katı olan inyoit ile reaksiyona girerek onu Na-Ca borat olan üleksite çevirir. Sıvı bu noktadan ileriye geçemez ve sıvı

buharlaşması bitene kadar toplam bileşim K noktasında olacaktır. Çökelme sonucunda gelişen minerallerin oranı da üleksitin inyoite oranı olacaktır. Eğer EC üzerinde herhangi bir noktadaki bir sıvıdan buharlaştırma yaparsak ilk ürün inyoit olacak ve buharlaşmanın ilerlemesi ile C noktasına varan sıvı ile inyoit reaksiyona girecektir. Bu reaksiyon tamamlana dek yani inyoitin üleksite dönüşmesi bitene kadar sıvı C noktasından ileriye geçmez. Reaksiyonun tamamlanması ile sıvı CB üzerinden B'ye doğru gidecek, önce üleksit, sonra Na-borat olan boraks çökelecektir(İnan, 1975).

Neojen tortulları gölsel çökel kayaçlarıdır. Eosen sonunda batı Anadolunun büyük kısmı deniz seviyesinin üstünde idi. Oligosende birçok lagünler mevcuttur. Miosen başında oluşan büyük faylar ve dislokasyonlar sonucu oluşan çukurlarda irili ufaklı göller meydana gelmiş ve Neojen tortulları çökelmiştir. Boratlar bu tip Neojen havzalarındaki göllerde çökelmişlerdir.

4.4.1. Kolemanit oluşumu

Kolemanitin oluşumu günümüzde hala tartışma konusudur. Özpeker (1969) yüksek su moleküllü boratların(üleksit, inyoit, inderit, boraks…) yüzeysel koşullarda kimyasal olarak çökeleceği ve tortullarla üstleri örtüldükten sonra ısı ve basınç koşullarının değişmesiyle kendi gruplarından düşük su moleküllü boratlara(kolemanit, probertit,meyerhofferit…) dönüşecekleri veya solüsyon etkisi (yer altı suyu) sözkonusu olursa diğer gruplara ait yüksek su moleküllü boratlardan türeyeceklerini yazmaktadır. Bu nedenle yataklarda önce üleksit ve inyoit çökeldiği, yeter derecede örtülüp ısı, basınç gibi şartların değişmesi ve tuzlu suların bu yataklar içerisinde dolaşımı sonucu üleksit ve inyoitin kolemanite ve probertite dönüştüğü ileri sürülebilir..

Helvacı ve Firman(1977) tarafından Emet kolemanit yatakları üzerine yapılan mineralojik ve jeokimyasal araştırmalarda, Foshag'ın (1921) Kaliforniya'daki yataklar için öne sürdüğü üleksitin başkalaşımından ibaret olan kolemanit oluşumunun Emet bölgesi için geçerli olmadığını savunmaktadır. Zira üleksit ile birlikte büyümüş veya üleksitin yerini almış kolemanit hiçbir yerde bulunmamıştır. Boratlar ile ara tabakalı killer belirgin olarak Na^+ bakımından fakirdir. Oysa üleksit ve killer arasında baz alışverişi ile oluşan kimyasal reaksiyon sonucu killerin Na^+ bakımından zengin olması gerekirdi. Diğer mineralojik ve

jeokimyasal bulgulardan hareketle sahamız için kolemanitin oluşumu şöyle açıklanabilmiştir:

1. Göller, termal kaynaklar ve yer üstü suları tarafından beslenen, sismik bakımdan aktif özellik gösteren alanlarda oluşmuşlardır.
2. B, As ve S' ün muhtemel kaynakları, akarsular tarafından borat havzalarına taşınan tersiyer volkaniklerin ayrışım ürünleridir. Volkanik küller ya doğrudan borat havzalarına depolanmış ya da termal kaynaklardan itibaren cevher oluşturan çözeltilere karışmışlardır.
3. Bu göllerde kil ve volkanik küller çökelmiş olup, karbonat nodülleri pekişmemiş sedimanlar içinde ve evaporasyon periyotlarında gelişmişlerdir. Çökeltiler içinde boratlar ile aynı zamanda az miktarda kükürt (S) ve Realgar (AsS) oluşmuştur. Realgar ise atmosferik koşullarda orpimente dönüşmüştür.
4. Ca- borat nodülleri gelişmelerini gömüldükten sonrada sürdürmüşlerdir. İnyoit eğer oluşmuş ise suyunu kaybederek. Kolemanit haline dönüşmüş ve kolemanit, realgar ve daha ender olarak da sölestin ve kahnit ile birlikte boşluklarda yeniden çökelmiştir.
5. Mg bakımından zengin killer ile kolemanit arasındaki kimyasal reaksiyon hidroborasit oluşumuna neden olmuştur.
6. Sr bakımından zengin tabaka arası çözeltiler ile Kolemanit arasındaki reaksiyon kolemanitin kısmen veaçit minerali tarafından ornatılmasına yol açmıştır.
7. Çözünen kolemanit diğer kolemanit nodülleri çevresinde yeniden çökelmiştir.
8. Bölgenin yükselmesi ve aşınması kolemanitin ayrışmasına, mostra ve fay zonlarında Kalsite dönüşmesine neden olmuştur.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1- Emet-Hisarcık Açık İşletmelerinin çevresinde yaklaşık 160km2 alanın 1/25000 ölçekli jeolojik harita alımı, yaklaşık 1/45000 ölçekle rapora eklenmiştir. On üç birim ayırt edilmiştir.

2- Emet Neojeni için üç bölgeden söz edilebilir. Bunlar Espey işletmesi ve civarı, Hisarcık işletmesi ve civarı üçüncü olarak İğdeköy -Doğanlar civarı burada işletme açılmamış ancak MTA nın yaptığı sondajlar ve onlardan elde edilen veriler vardır.

3- Ercan ve diğ. (1983) ve Yalçın ve diğ. (1985) bölgedeki bazaltik vokanizmanın pliyosende oluştuğunu belirtmektedir. Bunun yanında Garret (1998) büyük boyutta borat cevherleşmesinin oluşabilmesi için bazaltik volkanizmanın şart oduğunu belirtmektedir. Buradan cevherleşme pliyosende olmuş olmalıdır.

4- Hisarcık ve Espey madenlerinden alınan kristal halindeki cevher numunelerinin XRF analiz sonuçlarını, kolemanit ile karşılaştırırsak cevherin kolemanit minerali olduğu ancak bir miktarda kirlilik içerdiği söylenebilir.

5- MTA'nın sondajlarından anlaşıldığına göre İğdeköyde Probertit minerali Espey ve Hisarcıkta ise Kolemanit baskın mineraldir. Ancak Probertit kolemanit kadar yüksek yüzde de değildir. Yaklaşık olarak Hisarcık ve Espey de kolemanit %90 iken İğdeköyde en fazla %60-70 Probertit vardır denebilir; kalanın %25-30 u yine kolemanittir. Ayrıca Neojen dokuz farklı bor minerali içermektedir. ısaca Emet Neojeni kolemanitce zengindir.

6- Borat yataklarının çökeldiği Neojen göllerinin alkali karakterli olması gerekir. Çünkü bor göl suyunun pH 8,5-11 arasında olduğunda çökelmektedir(Helvacı 2003). Yalçın (1984) birim içerisinde saptadığı ostrakodlardan Heterocypris cinslerinin ortam suyu sıcaklığının 35 – 51.5 ºC arasında bulunduğu koşullarda yaşadığını belirtmektedir. Bu iki bilgiyi birleştirerek inceleme alanında ki bor mineralleri için oluşum koşulları tanımlanabilir.

7- Madende bol bulunan arsenik zenginleştirilebilir mi? Çünkü Türkiye de arsenik üretimi yoktur ithal edilmektedir. Ek bir tesisle buna da cevap verilebilir mi? Araştırılmalıdır.

8- Ek tesis yapılarak rafine ve uç ürünler elde edilebilmelidir. Böylece daha fazla gelir elde edilecektir. Teknoloji yatırımları şarttır. Ne kadar işlersek o kadar çok gelir elde ederiz. Örneğin, ortalama FOB Bandırma 200 dolar/ton'dan sattığımız %42 B_2O_3 tenörlü kolemanit cevherini(Türkiye bu cevherde dünyanın tek üreticisi ve ihracatçısı konumundadır) alan bir ihracatçı firma söz konusu ürünü öğüttükten sonra 600-650 $/ton fiyatla nihai kullanıcıya satmaktadır(Çınkı, 2001).

9-Bor Türkiye için çok önemlidir. Bu konuda sadece jeologlar değil herkesin bir şeyler yapması gerekmektedir. Daha çok araştırma yapılarak bu konudaki bilgi birikimi artırılmalıdır. Böylece bu doğal zenginliğimizin biran önce en ekonomik ve en fazla gelir getirecek şekilde işlenmesi ve pazarlanması ile ülke ekonomisine katkısı artırılmalıdır. Dünya rezervinin büyük çoğunluğu(yaklaşık %70) Türkiye de olmasına rağmen ülke ekonomisine yeterince katkı sağlamamaktadır.

KAYNAKLAR

Abdüsselamoğlu, M. Ş., Gediz ve Yakın Çevresinin Jeolojisi ve Yapısal Özelliği, ***Yerbilimleri***, 3, 1-2,1-6, (1977).

Akbulut, A., Aygün, A., Dündar, A., Emet Yöresi Bortuzu Sahalarının Jeolojisi ve Çökel Ortamları, ***MTA Dergisi***, 101/102, 20-46, (1984).

Akdeniz, N., Konak, N., Simav – Emet – Dursunbey – Demirci Yörelerinin Jeolojisi, MTA Derleme Raporu, No. 6547, (yayımlanmamış), (1979).

Akkuş, N.F., Kütahya – Gediz Arasındaki Sahanın Jeolojisi, ***MTA Dergisi***, 58, 21-30, (1962).

Anovitz, L. M., and Grew, E. S., An introduction. In Mineralogy, Petrology and Geochemistry of Boron. Mineral. Soc. Amer., ***Reviews in Mineralogy, Vol. 33***, Ch. 1-6, pp. 1-40-pp263-285, (1996).

Anovitz, L. M., and Hemingway, B. S. Thermodynamics of boron minerals: Summary of structural, volumetric and thermochemical data. In Mineralogy, Petrology and Geochemistry of Boron, (F. S. Grew and L. M. Anovitz, eds.), Vol. 33, Ch. 5, pp. 181-262, ***Mineral. Soc. Amer., Reviews in Mineralogy,*** (1996).

Aristarain, L. F., Hurlburt, C. S. JNR., Boron Minerals And Deposits. Part I-Uses, Distribution And Economic Minerals Of Boron. Part II-Geological Environments And Classification Of Boron Deposits: Record, 3, 165-220, (1972).

Baykal, E. D., Hidrotermal ve Mikrodalga Enerjiyle, Lityum İçeren Boratlı Fosfatlı Bileşiklerin Sentezlenmesi, Kristal Yapı ve Termokimyasal Özelliklerinin, İncelenmesi, Yüksek Lisans tezi, ***Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** (2003). (http://bor.balikesir.edu.tr Ziyaret tarihi 24/05/2009)

Benda, L., Innocentı, F., Nazzuolı, R., Radıcatı, F., Steffens, P., Stratigraphic And Radiometric Data Of The Neogen İn Northwest Turkey, Z. ***Deutsch. Geol.Ges***., 125: 183-193, (1974).

Berzina, LG., et al, Boron geochemistry in the volcanogenic-sediraentary process: 12 v. Akad. Nauk SSSR, ***Sen Geol***. No. 5, (1975).

Borsi, G., Ferrara, F. S., Innocentı, F.S., Mazzouolı, Z., Geochronology And Petrology Of Recent Volcanics Of Eastern Aegeen Sea: Z. ***Deutsch. Geol. Ges***, 123-521, Hannovre, (1972).

Christ, C. L., Truesdell, A. H., Erd, R. C., Borate Mineral Assemblages in the system Na2O-CaO-MgO- B2O3-H2O ***Geochimica et Cosmochimica Achta*** 31:313-339, (1967).

Çakır, A., Dündar, A., Bigadiç Bortuzu Havzası Etüdü, MTA Derleme Raporu, No:1970, (1982).

Çınkı M., "Ulusal Maden Varlığımız ve Bor Gerçeği", Ankara Ticaret Odası, Ankara, (2001).

Çolak, M., Helvacı, C., Maggettı, M., Saponite From The Emet Colemanite Mines, Kütahya, Turkey, ***Clays And Clay Minerals, Vol. 48***, No. 4, 409-423, (2000).

Dündar, A., Güngör, N., Gürsel, T., Özden, M., Özyeğin, E., Kütahya – Emet Bölgesi Bortuzu Yatağı Nihai Değerlendirme Raporu, (yayımlanmamış), Ankara, (1986).

Ercan, T., Batı Anadolu, Trakya ve Ege Adalarındaki Senozoyik Volkanizması, ***Jeoloji Mühendisliği Dergisi***, 19, 23-46, (1980).

Ercan, T., Günay, E., Savaşçın, M. Y., Simav ve Çevresindeki Senozoyik Yaşlı Volkanizmanın Bölgesel Yorumlanması, 87-101, (1983).

Ercan, T., Satır, M., Kreuzer, H., Günay, E, Çevikbaş, A., Ateş, M., Can, B., Batı Anadolu Senozoyik Volkanitlerine Ait Yeni Kimyasal, İzotopik ve Radyometrik Verilerin Yorumu, ***Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni***, C. 28, 121-136, (1985).

Ercan, T., Satır, M., Sevin, D., Türkecan, A., Batı Anadolu'daki Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı Volkanik Kayaçlarda Yeni Yapılan Radyometrik Yaş Ölçümlerinin Yorumu, ***MTA Dergisi***, 119, 103-112, (1996).

Floyd, P. A., Wınchester, J. A., Magma – Type And Tectonic Setting Discrimination Using Immobile Elements, ***Earth Planet Sci. Lett.***, 27, 211-218, (1975).

Floyd, P. A., Helvacı, C., Mıttwede, S. K., Geochemical Discrimination Of Volkanic Rocks, Associated With Borate Deposits: As Exploration Tool? ***Journal Of Geochemical Exploration*** 60, 185-205, (1998).

Foshag, W. F.,The origin of the colemanite deposits of California, ***Econ. Geology***, 16,199-214, (1921).

Garret, D. E., Borates Handbook of Deposits, Processing, Properties and Use, ***Academic Pres***, (1998).

Gawlik, J., Emet (Kütahya) Neojen' indeki Borat Zuhuruna Ait Rapor, ***MTA Derleme Raporu***, No. 2479, (yayımlanmamış), (1956).

Gemici, Ü., Tarcan, G., Çolak, M., Helvacı, C., Hydrogeochemical And Hydrogeological Investigations Of Thermal Water In The Emet Area (Kütahya, Turkey), (2003).

Gmelin, L., "Handbook of Inorganic Chemistry, Boron Supplement", Vol.2, Elemental Boron, Boron Carbides, p. 242, ***Springer***, (1981).

Gök, S., Çakır, A., Dündar, A., Eskişehir – Kırka Borat Yatakları ve Diğer Endüstriyel Hammadde Etüdleri Raporu, ***MTA Raporu***, No: 6768, (yayımlanmamış), (1980).

Greenwood, N.N. , Boron, Pergamon Press, Oxford, (1975), p.327 ; also as Chap. 11 in Comphrehensive Inorganic Chemistry, Vol.1 ***Pergamon Press***, Oxford, (1973).

Gün, H., Akdeniz, N., Günay, E., Gediz ve Emet Güneyi Neojen Havzalarının Jeolojisi ve Yaş Sorunları, ***Jeoloji Mühendisliği Dergisi***, 8, 1-13, (1979).

Gündoğdu, N. K., Neojen Yaşlı Bigadiç Sedimanter Baseninin Jeolojik mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, ***N.Ü***, 386, (1982).

Helvacı, C. , Geology, Mineralogy And Geochemistry Of The Borate Deposits And Associated Rocks Of The Emet Valley, Turkey: Ph.D. Thesis, ***University Of Nothingham,*** England, (1977).

Helvacı, C., Fırman, R. J., Emet Borat Yataklarının Jeolojik Konumu ve Mineralojisi, ***Jeoloji Mühendisliği Dergisi***, 2, 17-29, (1977).

Helvacı, C., Türkiye Borat Yataklarının Mineralojisi, ***Jeoloji Mühendisliği Dergisi***, 17:37-54, (1983).

Helvacı, C., Güney Amerika'daki And Dağlarının tektonik ve volkanik gelişimine bağlı borat ve diğer tuz yataklarının oluşumu. ***Jeoloji Mühendisliği Dergis***, Sayı 41, 5-22, (1992).

Helvacı, C., Ortı, F., Sedimantology And Diagenesis Of Miocene Colemanite-Ulexite Deposits (Western Anatolia, Turkey), ***Journal Of Sedimentary Research***, 68, 1021-1033, (1998).

Helvacı, C., Alonso, N.R., Borate Deposits Of Turkey And Argentine; A Summary And Geological Comparison, ***Turkish Journal Of Sciences***, Vol. 9, 1-27, (2000).

Helvacı, C., Türkiye Borat Yatakları Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası, ***BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, 5.1, (2003).

İnan, K., Sulu Bor Mineral Yataklarının Oluşum Modeli, ***TJK Bülteni***, C 18, ss 165-168, Ankara, (1975).

İnan, K., Dunham, A.C., ve Esson, X, The mineralogy, geochemistry and origin of the Kırka borate deposit. Eskişehir province,Turkey: ***Inst. Mining and Met***., 82, B114-123, (1973).

Kalafatçıoğlu, A., Balıkesir – Kütahya Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, ***TJK Bülteni,*** 9,1-2, 46-62, (1964).

Ketin, İ., Anadolu' nun Tektonik Birlikleri, ***MTA Dergisi***, 66, 20-34, (1966).

Lebküchner, R. F., Emet Neojeni Linyit Prospeksiyonu, MTA Derleme, No: 6188, (1970).

Matkovich, V.I., (ed.), "*Boron and Refractory Borides, Springer-Verlag"*, Berlin,. p. 656, (1977).

Meıxner, H., Mineralogische Beobachtungen An Colemanit, Inyoit, Meyerhofferittertschit Und Ulexitaus Neuem Turkischen Boratlagerstatten, Heidelb. Beitr. ***Miner. Petrogr. Vol.*** *3*, 445-455, Germany, (1953).

Nebert, A. D., Tavşanlı' nın Batı ve Kuzeyindeki Linyit İhtiva Eden Neojen Sahasının Mukayeseli Stratigrafisi ve Tektoniği, ***MTA Dergisi***, 54, 7-36, (1960).

Negro, A. D., Kunbasar, I., Ungarettı, L., The Crystal Structure Of Teruggite, ***Amer. Min.***, 58: 1034-1043, (1973).

Ozol, A.A., Basic features of boron, geochemistry and formation conditions for its deposits of the volcanogenic-sedimcntary type: translated from Litologiya Polczne Is-Kopaemye, No. 3, May-June, pp. 60-74, ***New York, Plenum***, pp. 320-330, (1976).

Özkul, C., Emet (Kütahya) Neojen havzası bor prospeksiyonu: Hedef saptamada jeokimyasal yöntem geliştirme, Doktora Tezi, ***Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, (2008).

Özpeker, I., Batı Anadolu Borat Yataklarının Mukayeseli Jenetik Etüdü, Doktora Tezi, ***İTÜ,*** 116, (1969).

Pişkin, S., Hidrate Bor Minerallerinin Termik Özellikleri, Doktora Tezi, ***İTÜ***, 123, (1982).

Shabynın, L. I., Distrubution And Formation Conditions For Boron Concentration In Endogenetic Borates Of Skarn Deposits***: Izvestiya Akad Nauk S.S.S.R Ser. Geol***, 63-70, (1957).

Sunder, N. S., Kırka (Eskişehir) Çevresinin Jeolojisi ve Sarıkaya Borat Yataklarının Oluşumu, ***Tübitak VII. Bilim Kongresi Tebliğleri***, 105-117, (1982).

Şener, S., Özbayoğlu, G. ve Demirci, Ş., Changes in The Structure of Ulexite on Heating, ***Thermochimica Acta,*** 362 , p. 107-112, (1997).

Tunç, M., Erşahan, H., Yapıcı, S. ve Çolak, S.,'' Dehyration Kinetics of Ulexite Fom Thermogravimetric Data'', ***Journal of Thermal Analysis,*** 48, p. 403-411, (1997).

Van Morkhoven, F. P. C. N., Post-Paleozoic Cstraooda, ***Elsevier Publ. Co.***, 204, (1962).

Watanabe, T., Geochemical Cycle And Concentration Of Boron In The Earth' s Crust: V.I. Verdenkii Inst. ***Geochim And Anal. Chem***. U.S.S.R., 2, 167-177, (1964).

Yalçın, H., "Emet Neojen Gölsel Baseninin Jeolojik ve Mineralojik – Petrografik İncelemesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, (1984).

Yalçın, H., Baysal, O., Kırka (Seyitgazi-eskişehir) Borat Yataklarının Jeolojik Konumu, Dağılımı Ve Oluşumu, ***MTA Dergisi,*** 113,93-104, (1991).

Yalçın, H., Semelin, B., Gündoğdu, N. M., Emet Gölsel Neojen Baseninin Jeolojik İncelenmesi (Hisarcık Güneyi), ***Yerbilimleri***, 12, Ankara, 39-52, (1985).

EKLER

EK – 1 Emet-Hisarcık(Kütahya) Bor Tuzu Sahası Jeoloji Haritası(Cepte).

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Posof' ta doğdu. İlkokulu Ardahan'ın Posof İlçesi'nde; orta ve lise öğrenimini Kocaeli'nin Gebze ilçesi'nde tamamladı. 1995-2003 yılları arasında Gaziantep Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bölümü'nde öğrenimini sürdürdü. 2003 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2006 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans çalışmasına başladı. Halen Maden Yatakları – Jeokimya anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

Geosan A.Ş' de 2007 Yılı'nda iş hayatına başladı. 2008 Yılı'ndan beri Sinerji Mühendislik Ltd. Şti.'inde Mühendis olarak çalışmaktadır.