

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEZİN ADI**

**PIRNAKAPAN (AŞKALE, ERZURUM) CİVARINDAKİ EVAPORİTLERİN  
MİNERALOJİK, PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeo. Müh. Didem AYDINÇAKIR**

**OCAK 2013**

**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PIRNAKAPAN (AŞKALE, ERZURUM) CİVARINDAKİ EVAPORİTLERİN  
MİNERALOJİK, PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Jeoloji Müh. Didem AYDINÇAKIR**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"JEOLOJİ YÜKSEK MÜHENDİSLİĞİ"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25/12/2012  
Tezin Savunma Tarihi : 23/01/2013**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Emel ABDİOĞLU**

**Trabzon 2013**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Didem AYDINÇAKIR tarafından hazırlanan**

**PIRNAKAPAN (AŞKALE, ERZURUM) CİVARINDAKİ EVAPORİTLERİN  
MİNERALOJİK, PETROGRAFIK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08 / 01 / 2013 gün ve 1488 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Mehmet ARSLAN**

**Üye : Doç. Dr. İbrahim ALP**

**Üye : Doç. Dr. Emel ABDİOĞLU**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Pınakapan Köyü (Aşkale, Erzurum) civarında yüzeyleme veren evaporitlerin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özellikleri incelenen bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda “ Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırlanmıştır.

TÜBİTAK 110Y023 nolu araştırma projesinin bir parçasını oluşturan bu çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimi ile yol gösteren danışman hocam saygıdeğer Doç. Dr. Emel ABDİOĞLU'na minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet ARSLAN (KTÜ, Jeoloji Mühendisliği), Yrd. Doç. Dr. İbrahim GÜNDOĞAN ve Prof. Dr. Cahit HELVACI (DEÜ, Jeoloji Mühendisliği), Yrd. Doç. Dr. Hasan KOLAYLI, Doç. Dr. Yener EYÜBOĞLU (KTÜ, Jeoloji Mühendisliği) ve Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI'ya (Gümüşhane Ü., Jeoloji Mühendisliği), paleontolojik tayinler için Yrd. Doç. Dr. Raif KANDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Örneklerimin hazırlanmasında katkıları olan kıymetli meslektaşlarım Arş. Gör. İsmail YILDIRIM (Fırat Ü., Jeoloji Mühendisliği) ve Arş. Gör. Ufuk Celal YAĞCIOĞLU'na (KTÜ, Jeoloji Mühendisliği), arazi çalışmalarım da bana eşlik eden Jeo. Müh. Mürşid ÖZTÜRK ve Hüseyin ASAN'a, her konuda bana yardımcı olan değerli dostlarım Arş. Gör. Cem YÜCEL, Arş. Gör. Özgür BİLİCİ ve Arş. Gör. Mehmet Ali GÜCER'e teşekkür ederim.

Hayatımın her anında beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve desteklerini esirgemeyen aileme, eşim Emre ve oğlum Efe'ye sevgi ve saygılarımı sunarım.

Didem AYDINÇAKIR  
Ocak 2013

## **TEZ BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) Civarındaki Evaporitlerin Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Emel ABDİOĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 25/12/2012

Didem AYDINÇAKIR  
Jeoloji Müh.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....	1
1.3. Konum, Yerleşim ve Ulaşım .....	2
1.4. Jeomorfoloji ve Bitki Örtüsü.....	2
1.5. Bölgenin Jeolojisi .....	3
1.6. Türkiye’deki Neojen Yaşlı Evaporit Yatakları .....	4
1.7. Önceki Çalışmalar .....	7
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	9
2.1. Materyal ve Yöntemler.....	9
2.1.1. Arazi Çalışmaları.....	9
2.1.1.1. Jeoloji Harita Alımı ve Ölçülü Kesitlerin Hazırlanması .....	9
2.1.1.2. Petrografi ve Kimyasal Analiz Amaçlı Örnek Alımı .....	9
2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları .....	10
2.1.2.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması ve İncelenmesi .....	10
2.1.2.2. X-Işınları Difraksiyonu (XRD) ve Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması.....	11
2.1.2.3. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) ve EDX Analizleri İçin Örnek Hazırlanması.....	11
2.1.3. Analitik Yöntemler.....	12
2.1.3.1. Kimyasal Analizler.....	12
2.1.3.2. XRD Analizleri.....	13
2.1.3.3. SEM-EDX Analizleri .....	14
2.1.4. Büro Çalışmaları.....	14

3.	BULGULAR .....	15
3.1.	Bölgenin ve İnceleme Alanının Stratigrafisi ve Mineralojisi.....	15
3.1.1.	Volkano – Sedimanter Birimler .....	15
3.1.2.	Ultramafik Kayaçlar .....	18
3.1.3.	Adilcevaz Formasyonu.....	20
3.1.3.1.	Kumtaşı – Çamurtaşı – Kireçtaşı Üyesi .....	21
3.1.3.2.	Evaporit Üyesi.....	21
3.1.3.3.	Çakıltası – Kumtaşı – Çamurtaşı Üyesi .....	22
3.1.3.4.	Kireçtaşı Üyesi .....	22
3.1.4.	Yolüstü Formasyonu .....	23
3.1.5.	Yamaç Molozu ve Birikinti Konisi .....	23
3.1.6.	Taraça ve Alüvyonlar .....	23
3.2.	Evaporitlerin Jeolojisi.....	24
3.3.	Evaporitlerin Sedimantolojisi.....	26
3.3.1.	Terminoloji.....	26
3.3.1.1.	Birincil Jips Litofasiyesi.....	26
3.3.1.2.	İkincil Jips Litofasiyesi .....	26
3.3.1.3.	Eşsedimanter Yapılar .....	28
3.3.2.	Pırnakapan Evaporitlerinin Saha Özellikleri.....	29
3.4.	Evaporitlerin Mineralojisi .....	35
3.4.1.	Optik Mikroskopi İncelemeleri .....	35
3.4.2.	Evaporitlerin X-Işınları Difraksiyon (XRD) İncelemesi.....	40
3.4.3.	Evaporitlerin SEM-EDX İncelemeleri .....	47
3.5.	Evaporitlerin Jeokimyası.....	51
3.5.1.	Giriş.....	51
3.5.2.	Ana ve İz Elementler .....	54
3.5.3.	İkili Element Değişimleri .....	57
3.5.4.	Nadir Toprak Element Jeokimyası .....	65
3.5.5.	Örümcek Diyagramları.....	67
3.5.6.	Kemostratigrafik Korelasyonlar .....	68
4.	TARTIŞMA.....	70
4.1.	Giriş.....	70
4.2.	Mineralojik Verilerin Analizi.....	70
4.3.	Türkiye’de Oluşan Evaporitlerin ve Pırnakapan Yöresindeki Evaporitlerin Jeokimyasının Karşılaştırılması .....	71

5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	75
6.	KAYNAKLAR.....	77
7.	EKLER .....	85

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans

## ÖZET

### PIRNAKAPAN (AŞKALE, ERZURUM) CİVARINDAKİ EVAPORİTLERİN MİNERALojİK, PETROGRAfİK VE JEOKİMYASAL İNCELENMESİ

Didem AYDINÇAKIR

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Emel ABDİOĞLU  
2013, 84 Sayfa, 4 Ek Sayfa

Bu çalışmada, Erzurum ili Aşkale ilçesi Pırnakapan köyü civarında Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz Formasyonu içerisinde bulunan evaporitlerin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal incelemeleri yapılarak evaporitlerin oluşumu esnasındaki paleoklimatolojik koşullar ve kaynak-köken ilişkileri irdelenmiştir. Genel olarak jips, anhidrit, killi- jipsli kireçtaşı ve killi seviyelerden oluşan evaporitler, kama, mercek ve ara katkılar şeklinde gözlenmiştir. İkincil jips litofasiyesinden oluşan evaporitik birim içerisinde laminalı, bantlı, nodüler, nodüler-bantlı, tavuk-tel ve entrolitik ikincil jips litofasiyesler gözlenmiştir. Ayrıca, anhidritlerin su alması ile gelişmiş alabastrin, porfiroblastik ve satin spar dokulu ikincil jipsler de tespit edilmiştir. Jips nodülleri, bantlı veya laminalı yapılar, mikro faylar, kayma yapıları ve ondülasyonlar gibi sin- ve post-sedimenter deformasyonlar gösterirler. Optik, taramalı elektron mikroskopisi ve X-ışınları difraktometresi incelemeleri evaporitik birim içerisinde ana mineralin jips, az miktarda anhidrit, sölestin, kalsit, dolomit, lutesit, epsomitin, illit/simektit ve simektitin jipse eşlik ettiğine işaret etmektedir.

Evaporitlerin tüm-kayaç jeokimyası eski denizel- ve denizel olmayan evaporitleri ayırmada kullanılan bir kriterdir. Farklı litofasiyeslere ait çalışılan jips ve anhidrit örnekleri kıtasal girdiyi işaret eden hafif nadir toprak elementlerde zenginleşme ( $La_N/Lu_N$ , 4.243-0.964), değişken  $Ce/Ce^*$  anomalisi (1.283-0.859), Ni, Cu, Co, Fe ve Mg içerikleri belirlenmiştir. Sr içerikleri jipslerde 806-6464 ppm, anhidritlerde 1023-1197 ppm, kiltası-marn-kireçtaşı örneklerinde ise 631-15150 ppm arasında değişiklik sunar. Bu değerler denizel kökenli Sr'a işaret eder fakat özellikle yüksek Sr içerikleri epijenetik sölestin oluşumu ile ilişkilidir. Mineralojik, petrografik ve jeokimyasal bulgular Ca-sülfat çökeliminin sığ denizel bir ortamda gerçekleştiğine işaret etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Pırnakapan, evaporit, ikincil jips litofasiyesi, jips, anhidrit, sölestin, jeokimya

Master Thesis

## SUMMARY

### MINERALOGICAL, PETROGRAPHICAL AND GEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THE PIRNAKAPAN EVAPORITES (AŞKALE, ERZURUM)

Didem AYDINÇAKIR

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geological Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Emel ABDİOĞLU  
2013, 84 Pages, 4 Pages Appendix

In this study, the mineralogy, petrography and geochemistry of the Lower Miocene evaporites from Adilcevaz Formation exposed around Pırnakapan (Aşkale) area were investigated and the paleoclimatic environments during their formation and source-origin relationships were revealed. The evaporitic units composed of gypsum, anhydrite, clayey-gypsum bearing limestone and clay-rich levels were determined as lenses and interbeds. In the evaporitic unit, secondary evaporitic lithofacies are described as laminated, banded, nodular, nodular-banded, chicken-wire and entrolithic. Additionally, alabastrine, porphyroblastic and satin spar textured secondary gypsum formed via hydration of anhydrite are identified. The gypsum nodules, banded or laminated structures show syn- and post-sedimentary deformational structures such as microfaults, slumps and undulations. Gypsum nodules up to 30 cm in diameter have composite structure with numerous small nodules. Based on the optical-, scanning electron- microscopy and X-ray diffraction studies, the main mineral is secondary gypsum accompanied by minor anhydrite, celestite, calcite, dolomite, lutecite llite/smectite and smectite.

The whole-rock and isotope geochemistry of the evaporites are used as an important criteria to distinguish ancient marine types from non-marine types. The studied gypsum and anhydrite samples from different lithofacies display enrichment in LREE ( $La_N/Lu_N$ , 4.243-0.964) and differences in Ce/Ce\* anomaly (1.283-0.859), Ni, Cu, Co, Fe and Mg contents implying continental input. The Sr contents of the samples are from 806 to 6464 ppm in gypsum, 1023-1197 ppm in anhydrite and 631-15150 ppm in claystone-mudstone-limestone suggesting importance of marine-derived Sr, but particularly high Sr contents are related to epigenetic celestite formation. Mineralogic, petrographic and geochemical evidences indicate Ca-sulphate precipitation in a shallow marine environment.

**Key Words:** Pırnakapan, evaporite, secondary gypsum lithofacies, gypsum, anhydrite, celestite, geochemistry

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1.	İnceleme alanının yer bulduru haritası .....	2
Şekil 1.2.	İnceleme alanının Türkiye'nin tektonik birlikleri içerisindeki yeri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan alınmıştır).....	4
Şekil 1.3.	Türkiye' deki Neojen havzaları ve evaporit yataklarının dağılımı.....	5
Şekil 3.1.	Pınakapan (Aşkale, Erzurum) ve yakın çevresine ait dikme kesit. ....	16
Şekil 3.2.	Volcano-sedimanter birim içerisinde bulunan Hasanbey Mahallesi civarında yüzeyleme veren kireçtaşları. ....	17
Şekil 3.3.	Volcano sedimanter birimde gelişen dolomitik kireçtaşı örneğinin ince kesit görünümü (Ç.N., Örnek No: Y4). ....	18
Şekil 3.4.	Pınakapan köyü civarındaki harzburjitlerin makroskobik görünümleri.....	19
Şekil 3.5	a) Harzburjitlerde gelişen ağsal doku ve kalıntı olivin kristalleri, b) Serpantinleşmiş harzburjit içerisinde ortopiroksenler ve kalıntı olivin fenokristalleri (Ol: Olivin, Hyp: Hipersten, Ç.N. Örnek No:Y2). ....	20
Şekil 3.6.	a, b, c) Peteklibayır Tepe civarında yüzeyleme veren kumtaşı - çamurtaşı-kireçtaşı üyesine ait kireçtaşı-kumtaşı-çamurtaşı ardalanması. ....	21
Şekil 3.7.	Beyaz Sırt mevkii'nde sırt üzerinde yüzeyleme veren Evaporit Üyesi ve Kumtaşı – Çamurtaşı – Kireçtaşı (Kmt.- Çmt.- Kçt.) Üyesi. ....	22
Şekil 3.8.	a,b) Sarımtırak renkli kumtaşı – çamurtaşı – kireçtaşı (kmt.-çmt.-kçt.) üyesinin evaporit birimi ile olan sınırı (Alçı Tepe'nin kuzeyi (a), Büyükparlar Tepe (b)). ....	24
Şekil 3.9.	Evaporitik birimlerin tektonik deformasyonları sonucu oluşan kıvrımlanmaların görünümleri a,b) devrilmiş ve paralel laminalı yataklanmalar (Lokasyon 1) c) devrik kıvrımlanmalar (Lokasyon 2) d,e) diyapirik yapılar (Büyükparlar Tepe). ....	25
Şekil 3.10.	Pınakapan köyü civarında yer alan Beyaz Sırt' ın batısındaki yarmadan alınan ölçülü kesit (Lokasyon1).....	31
Şekil 3.11.	a) Tektonik deformasyona uğrayan kıvrımlanmış laminalı doku. b) Bantlı doku. c,d) Nodüler doku (p, porfiroblast). Laminalı doku (e) gösteren evaporit içerisinde erime boşluklarında gelişen serbest büyümeli jips kristali (f). g) Serbest büyümeli jips kristali. h) Alabastrin doku içerisinde gelişen porfiroblastlar (şekilde kalem porfiroblastlardan bir tanesini göstermektedir). ....	32
Şekil 3.12.	Pınakapan köyü civarındaki Purlar Tepe'nin doğusunda işletilen açık işletme sahasından alınan kesit (Lokasyon2). ....	33
Şekil 3.13.	Pınakapan köyü civarındaki Purlar Tepe'nin doğusunda bulunan evaporitlerdeki a) gri renkli kil damarı. b,c) laminalı doku. d) süt beyaz renkli ve alabastrindokulu jipsler.....	33

Şekil 3.14. Güneyput Tepe' nin doğusunda yer alan yarmadan alınan kesit (Lokasyon 3).....	34
Şekil 3.15. Güneyput Tepe' nin doğusundaki evaporit birim içerisinde gözlemlenen a) Anhidrit nodülleri ve satin spar jips damarlarının birlikte görünümü. b) Marnlı seviyeler arasında gelişen ikincil jips damarları. c) Lifi görünümüne sahip satin spar doku. d) Tavuk-tel doku.....	34
Şekil 3.16. a,b) Pırnakapan köyü civarından alınan evaporit örneğindeki lifi jips (satin spar jips) oluşumlarının Ç.N. görüntüleri (Lokasyon 1, Ö.No: D1-18). lj, lifsi jips; aj, alabastrin jips. ....	36
Şekil 3.17. Pırnakapan köyü civarından alınan örneklerdeki a) ve b) Lifsi jipslerle gelişen diyajenetik sölestin (ce) oluşumları (Ç.N. ve T.N.). c, d) Laminallı ikincil jips dokusu gösteren ve laminalanmaya paralel gelişen anhidrit kalıntıları (Ç.N. ve T.N.). ak, anhidrit kalıntıları; lj, lifi jips; aj, alabastrin jips (a ve c, Ç.N.; b ve d, T.N., Lokasyon 1, Ö.No., D1-17 ve D1-18).....	36
Şekil 3.18. Pırnakapan köyü civarından alınan evaporit örneğindeki a) Alabastrin dokulu ikincil jipslerde gözlenen özşekilli ve yarı özşekilli porfiroblastik jipsler (pj). b) Porfiroblastlara eşlik eden lifi jips (lj) ve sölestin (ce) oluşumları. aj; alabastrin jips (Ç.N., Lokasyon 1, Ö.No., D1-32).....	37
Şekil 3.19. a, b) Pırnakapan köyü civarındaki evaporit örneğinde gözlenen özşekilli sölestin (ce, SrSO <sub>4</sub> ) oluşumlarının ve mikritik kalsit (mk) çimentolu karbonat kayası içindeki çatlakta dış çeperden içe doğru sırasıyla spar kalsit (sk), sölestin (ce) ve porfiroblastik jips (pj) kristallenmeleri ( Ç.N. (a) ve T.N.(b), Lokasyon1, Ö.No., D1-21).....	38
Şekil 3.20. a, b) Pırnakapan köyü civarındaki nodüler bantlı doku gösteren örneğin nodül kenarlarında gelişen anhidrit lataların anhidritlerin su alması sonucu alabastrin jipslerce ornatılmasıyla gelişen psödomorfik yapılar (psj). (Ç.N.(a) ve T.N.(b), Lokasyon 1, Ö.No., D1-24).....	38
Şekil 3.21. Pırnakapan köyü civarındaki evaporit örneğindeki a, b) Mikritik kalsit (mk) çimentolu kayanın içerisinde gelişen spar kalsit (sk), porfiroblastik jips (pj) kristallenmeleri ve fosil kavkı boşluklarında gelişen sölestin (ce) oluşumları (Ç.N. ve T.N.). c, d) Fosil kavkı boşluklarında gelişen sölestin (ce) oluşumları (Ç.N. ve T.N.). lj: lifsi jips (Lokasyon 2, Ö.No., D2-3).....	39
Şekil 3.22. Pırnakapan köyü civarından alınan örneklerden a, b) Bantlı doku gösteren örnekteki alabastrin jips (aj) ve lifi jipslerin (lj) kenarlarında gözlenen mikritik kalsit (mk) (Ç.N. ve T.N.). c, d) Alabastrin jipslerin (aj) oluşturduğu anhidrit nodülleri ve kilin birbirine bağladığı nodüller ile lifi jipsler (lj) (Ç.N) ( Lokasyon 3, Ö.No., D3-1 ve D3-2).....	40
Şekil 3.23. Pırnakapan köyü civarında lokasyon 1' den alınan D1-21 numaralı alabastrin doku gösteren örneğin makroskobik görünümü (üstte) ve XRD grafiği (altta). ....	42
Şekil 3.24. Pırnakapan köyü civarında lokasyon 1' den alınan E2 numaralı serbest büyümeli jips kristalinin makroskobik görünümü (üstte) ve XRD grafiği (altta).....	45

Şekil 3.25. Pırnakapan köyü civarında lokasyon 1' den alınan D1-21 numaralı nodüler doku gösteren örneğin makroskobik görünümü (üstte) ve XRD grafiği (altta). .....	46
Şekil 3.26. Pırnakapan köyü civarında lokasyon 2' den alınan D2-1 numaralı kil örneğinin XRD grafiği. ....	47
Şekil 3.27. a) Alabastrin doku içerisinde eş boyutlu, özşekilli jips kristallerinin SEM görüntüleri, b) EDX analiz sonuçları (Lokasyon 1: Pırnakapan, Örnek No: D1-15). ....	48
Şekil 3.28. a) Alabastrin dokuda gelişmiş jips porfiroblastlarının SEM görüntüleri, b) EDX analiz sonuçları (Lokasyon 1: Pırnakapan, Örnek No: D1-32). ....	48
Şekil 3.29. Laminallı doku gösteren örnekte a) deformasyonlar sebebi ile jipslerde meydana gelen kırılma ve parçalanmalar, b) illit/simektit karışık tabakalı kil minerali, tabuler morfoloji sunan jips ar dalanması, SEM görüntüsü (Lokasyon 1: Pırnakapan, Örnek No: D1-4). ....	49
Şekil 3.30. Nodüler doku gösteren örnekte a) dalgalı morfolojinin SEM görüntüsü, b) EDX analiz sonuçları (Lokasyon 1: Pırnakapan, Örnek No: D1-22). ....	49
Şekil 3.31. Satin spar doku gösteren örnekte a) özşekilli jips kristalleri, b) illit/simektit karışık tabakalı kil minerali, yapraksı-lifi morfoloji sunan jips ar dalanması, c) deformasyonlar sebebi ile jipslerde meydana gelen kırılma ve parçalanmalar ar dalanması, SEM görüntüsü d) EDX analiz sonuçları (Lokasyon 3: Pırnakapan, Örnek No: D3-1). ....	50
Şekil 3.32. Pırnakapan köyü civarındaki evaporit örneklerinin SiO <sub>2</sub> (%)'ye karşı ana oksit (%) değişim diyagramları. ....	61
Şekil 3.33. Pırnakapan köyü civarındaki evaporit örneklerinin SiO <sub>2</sub> (%)'ye karşı iz element değişim diyagramları (semboller Şekil 3.32'deki gibidir). ....	62
Şekil 3.34. Pırnakapan köyü civarındaki evaporit örneklerinin SO <sub>4</sub> (%)'e karşı ana element değişim diyagramları (semboller Şekil 3.32'deki gibidir). ....	63
Şekil 3.35. Pırnakapan köyü civarındaki evaporit örneklerinin SO <sub>4</sub> (%)'e karşı iz element değişim diyagramları (semboller Şekil 3.32'deki gibidir). ....	64
Şekil 3.36. Pırnakapan köyü civarında 1 nolu lokasyonda düşey yönde tabandan tavana doğru alınan örneklerde görülen elementsel değişimler. Örneklerin ölçülü kesitteki konumunu ve özelliklerini görmek için bkz. Şekil 3.10. ....	65
Şekil 3.37. Pırnakapan evaporitleri a) jips ve anhidrit, b) kıltaşı-kireçtaşı örneklerinin MUQ (ortalama Queensland sediman bileşimi, Kamber vd., 2005)' a normalize nadir toprak element değişim grafikleri. ....	66
Şekil 3.38. Pırnakapan evaporitleri a) jips ve anhidrit, b) kıltaşı-kireçtaşı örneklerinin MUQ'a (ortalama Queensland sediman bileşimi, Kamber vd., 2005) normalize örümcek diyagramları. ....	67
Şekil 3.39. Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) evaporitleri 1 numaralı lokasyona ait düşey yöndeki jeokimyasal değişimler. D1-22 ve D1-24 nolu örnekler anhidrit, diğer örnekler ise jips örnekleridir. ....	69

Şekil 4.1. Türkiye’deki Miyosen yaşlı denizel ve denizel olmayan evaporitlerin dağılımı (Brinkmann, 1976). .....	70
Şekil 4.2. Pırnakapan köyü civarındaki evaporitlerde makroskobik olarak gözlenen laminalı (a), bantlı (b), nodüler- bantlı (c), alabastrin (d), alabastrin porfiroblastik (e), satinspar (f), tavuk – tel (g) dokuları ve serbest büyümeli jips kristalleri (h). .....	72
Şekil 4.3. Pırnakapan evaporitlerinin ve Türkiye’deki bazı evaporitlerin Sr’ a karşı Mg, Na Ca ve Na’a karşı Mg diyagramlarında karşılaştırılması. ....	73
Ek Şekil 1. Aşkale (Erzurum) İlçesi ve Çevresinin Jeoloji Haritası	
Ek Şekil 2. Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) Köyü Çevresinin Jeoloji Haritası .....	85
Ek Şekil 3. Pırnakapan köyü çevresinden alınan evaporit örneklerinin XRD grafikleri ....	86

## TABLULAR DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 3.1. Pırnakapan köyü civarı evaporitik kayaçların ana (%) ve iz (ppm) element içerikleri (nbj: nodüler bantlı jips, lm: laminalı jips, aj: alabastrin jips, pj: porfiroblastik jips, bj: bantlı jips). .....	52
Tablo 3.2. Aşkale (Erzurum) ilçesi Pırnakapan köyü civarına ait evaporitik kayaçların nadir toprak element (ppm) içerikleri (nbj: nodüler bantlı jips, lm: laminalı jips, aj: alabastrin jips, pj: porfiroblastik jips, sj: satin spar jips, bj: bantlı jips). .....	53
Tablo 3.3. Pırnakapan evaporit örneklerinin anaoksit ve iz element korelasyon katsayı (r).....	58
Tablo 4.1. Türkiyedeki bazı evaporitlerin ana ve iz element içeriklerinin Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) evaporitleri ile karşılaştırılması.....	74

## SEMBOLLER DİZİNİ

Aj	: Alabastrin jips
Ak	: Anhidrit kalıntıları
A.K.	: Ateşte kayıp
An	: Anhidrit
Bj	: Bantlı jips dokusu
Ca	: Kalsit
Ce	: Sölestin
Ç.N.	: Çapraz Nikol
d.l.a.	: Dedeksiyon limitinin altında
E	: Epsomit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	: Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> cinsinden toplam demir
Hyp	: Hipersten
ICP	: İndüktif Eşleşmiş Plazma
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometri
IR	: İridyum
J	: Jips
L	: Lutesit
Lj	: Lifsi jips
Lm	: Laminalı jips dokusu
Mk	: Mikritik kalsit
MUQ	: Ortalama Queensland sediman bileşimi
nbg	: Nodüler bantlı jips dokusu
NTE	: Nadir Toprak Elementler (REE, Rare Earth Elements)
Ol	: Olivin
Ö.No	: Örnek Numarası
P	: Porfiroblast
Pj	: Porfiroblastik jips dokusu
Psj	: Psödomorfik yapılar
R	: Korelasyon katsayısı
SEM –EDX	: Taramalı elektron mikroskobu – Energy dispersive X-ray



- Sj : Satinspar jips dokusu  
Sk : Spar kalsit  
Sm : Simektit  
SPSS :Statistical Package for the Social Sciences  
T.N. : Tek Nikol  
XRD : X- ışınları difraksiyonu  
(Ce/Ce<sup>\*</sup>)<sub>N</sub> : Ce anomalisi,  $(Ce/Ce^*)_N = (Ce/((La_N + Pr_N)/2))$   
(Eu/Eu<sup>\*</sup>)<sub>N</sub> : Eu anomalisi,  $(Eu/Eu^*)_N = (Eu_N/((Sm_N + Gd_N)/2))$

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

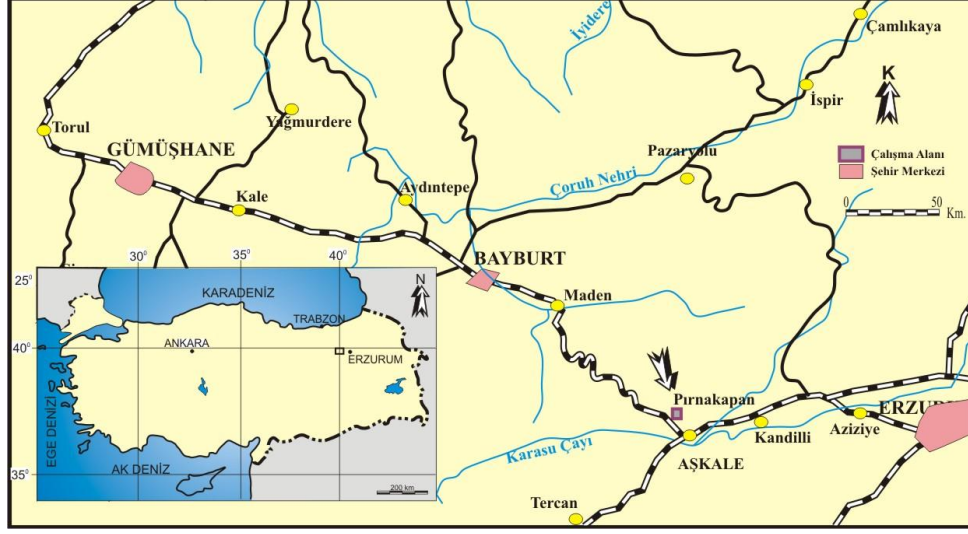
İnceleme alanı Ankara – Erzincan Sütur Zonunun güneyindeki alan içerisinde Pırnakapan Köyü (Aşkale, Erzurum) civarında bulunmaktadır. Türkiye genelinde, evaporitlerin yerleştiği Neojen yaşlı havzalarda pek çok çalışma yapılmasına rağmen, bu çalışmada incelenmesi planlanan Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) civarı evaporitleri ile ilgili çalışma oldukça sınırlıdır (Ketin, 1950; Arpat, 1965; Tarhan, 1989; Akay vd., 1989; Tarhan vd., 1992 ). Çalışma alanı ve yakın çevresine ilişkin ilk jeolojik araştırmalar 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren yapılmıştır (Abich, 1859, 1878; Tchihatcheff, 1869; Oswald, 1910, 1912; Lahn, 1939, 1940; Arni, 1939; Roothaan, 1940).

Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) evaporitik kayaçları alçıtaşı olarak açık işletme yöntemi ile bazı lokasyonlarda işletilmektedir.

### **1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

Pırnakapan Köyü (Aşkale, Erzurum) civarında yüzeyleme veren (Şekil 1.1) evaporitlerin bölgedeki dağılımları, stratigrafik ve litolojik özellikleri ortaya konulmuştur. Ana oksit, iz ve nadir toprak element analizleri yapılarak çalışılan evaporitik kayaçların oluşum ve oluşumlarında etken olan sıvıların kökenleri irdelenmiştir.

Sonuç olarak; bu çalışma kapsamında Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) civarında yüzeyleme veren evaporitlerin oluşum koşulları, oluşumlarına etkin olan sıvının özellikleri, ortamın jeokimyasal karakteristikleri, paleoklimatolojik koşullar ve kaynak – köken ilişkileri ortaya konularak diyajenetik tarihçeye ilişkin deliller saptanmaya çalışılmıştır.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

### 1.3. Konum, Yerleşim ve Ulaşım

Çalışma alanı, 1/ 25.000 ölçekli Erzurum İ45 a1 ve a2 paftalarında bulunmakta olup, Erzurum ili Aşkale ilçesi sınırları içerisinde, Pırnakapan Köyü civarında bulunmaktadır. İnceleme alanındaki yol asfalt olup, bölgenin ulaşımında önemli bir yer tutmaktadır. Yöreye ulaşım Trabzon -Gümüşhane - Bayburt - Erzurum karayoluyla sağlanmaktadır. En büyük yerleşim merkezleri Aşkale ilçesi ve bunlara bağlı Çomoğlu Mah. ve köylerden oluşmaktadır.

### 1.4. Jeomorfoloji ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanında yerleşim birimlerinin çoğunluğu dağlar arası havzalarda, farklı sistemlerde gelişmiş olan aktif fayların çek – ayır düzlüklerinde ve bu fay hatları boyunca çıkan yer altı su kaynaklarının çevresinde yoğunlaşmaktadır. İnceleme alanının en alçak kodunu Karasu Çayı (1650 m.) oluşturur. En önemli yükseltileri ise, Alçı Tepe (1782 m.), Büyükparlar Tepe (1930 m.), Aktepe (1950 m.), Güneyput Tepe (1880 m.)’dir.

Bölgenin çok yüksek oluşu nedeniyle, karasal iklim hüküm sürer. Yazları sıcak, kışları ise çok soğuk geçer. Bölgeye kış aylarında çok miktarda kar düşer.

İnceleme alanında doğal bitki örtüsü ve orman alanı yoktur. Karasu – Aşkale havzasında kısmen tarım yapılmakta, bununla birlikte hayvancılığa da önem verilmektedir. Ayrıca işletilmekte olan alçıtaşı ocaklarında yöre halkının bir kısmı işçi olarak

çalışmaktadır. Bu işletilmekte olan ocaklar, ABS Alçı ve Aşkale Çimento Fabrikası ile sınırlıdır.

### 1.5. Bölgenin Jeolojisi

İnceleme alanı Ankara – Erzincan Sütur Zonunun güneyindeki alan içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.2). Çalışma alanı ve yakın çevresinin Doğu Anadolu’da Üst Kretase-Tersiyer yaşlı birimler ile ofiyolit karmaşığında (kalkerli-radiolaritli-serpantinli kompleks) birimlerden oluştuğu farklı araştırmacılar (Chaput, 1936; Lahn, 1939; Arni, 1939; Gysin, 1940; Roothaan, 1940; Stchepinsky, 1941; Pamir ve Baykal, 1943) tarafından belirlenmiştir. Koçyiğit vd. (1985a, 1985b), çalışma alanındaki Karasu havzasının temelini Üst Miyosen- Pliyosen yaşlı birimlerden oluştuğuna ve Pliyo- Kuvaterner yaşlı tortulların sıkışma- genişleme tektoniği ile depolandığına değinirler. Tercan- Kükürtlü-Aşkale dolaylarındaki Alt Miyosen yaşlı denizel, karasal – jipsli birimler kömür içermektedir (Ketin, 1950). Hölenk- Çirişli dolaylarındaki Eosen yaşlı birimler ise Muhlis Tuzlası dolaylarında jipslerle örtülmektedir ve Aşkale-Kükürtlü dolaylarındaki jipsli ve kömürlü seviyelerin balık fosillerini içerdiği için Oligosen yaşlı oldukları belirlenmiştir (Pamir ve Baykal, 1943).

Demirtaşlı ve Pisoni tarafından Adilcevaz kireçtaşının Muş ve Van havzalı ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Tersiyer yaşlı Oltu- Narman (Kömürlü)’ın KD’sunun stratigrafisini çalışan Bozkuş (1990), bölgedeki sedimanter kayaçların Eosen sığ deniz sedimanlarından oluştuğunu ifade eder. Tercan-Aşkale’deki Oligo-Miyosen yaşlı sedimanların lagün, gölsel ve deniz kalıntısı ortamında oluştuğu belirlenmiştir (Tekin, 2002). Sancay (2005) tarafından ise Muş, Tekman, Tercan-Aşkale, Pasinler-Horasan havzalarındaki sedimanlarda Geç Miyosen boyunca göreceli derin denizel, Geç Oligosen’de gittikçe sığlaşan denizel, Erken Miyosen’de bölgesel transgresyon ve Geç Miyosen-Pliyosen döneminde ise karasal (gölsel-akarsu) çökeliminin etkin olduğuna işaret edilmiştir.

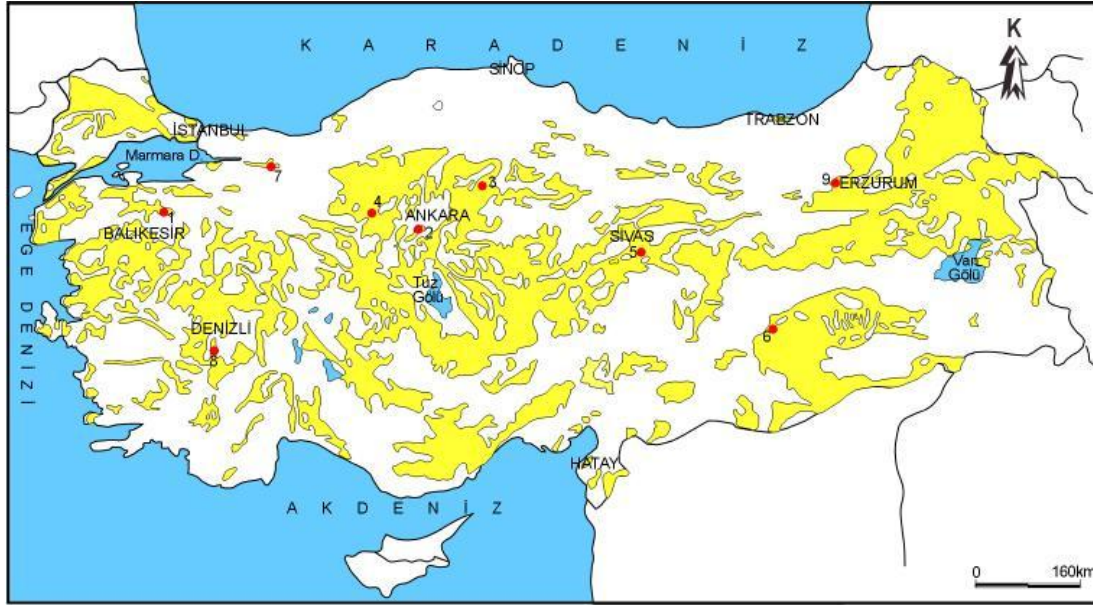


Şekil 1.2. İnceleme alanının Türkiye'nin tektonik birlikleri içerisindeki yeri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan alınmıştır).

### 1.6. Türkiye' deki Neojen Yaşlı Evaporit Yatakları

Evaporitler Türkiye' de yaygın yayılıma ve endüstriyel kullanım alanlarına sahiptirler. Özellikle Orta Anadolu' da genel olarak Neojen havzalarına bağlı, Türkiye genelinde ise; başlıca Oligo-Miyosen yaşlı havzalarla ilişkilidirler ( Şekil 1.3).

Endüstriyel hammadde olarak kullanılacak belli başlı yataklar Beypazarı, Tuzgözü, Çankırı-Çorum-Yozgat, Sivas, Güney Doğu Anadolu (Siirt/Bayken, Kurtalan, Batman/Markaz, Beşiri, Diyarbakır/Çınar, Bismil) havzaları, Kars/Kağızman, Tuzluca civarı, Erzurum çevresi, Denizli çevresi, Balıkesir/Susurluk, Kütahya/Gediz sahaları olarak bilinmektedir (Önem, 2000). Bu evaporitik kayalar denizel ve gölsel kökenli evaporitler olarak farklı araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır. Ayrıca, Sivas havzasındaki Tersiyer yaşlı evaporitler de pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir (Gökçe ve Ceyhan, 1988; Çubuk, 1994; Ceyhan, 1996; Tekin vd., 2001; Çiner vd., 2002; Tekin vd., 2002).



## AÇIKLAMALAR

1. Susurluk (Balıkesir) ((Miyosen) Gündoğan ve Helvacı, 1993; Orti vd., 1998)
2. Ankara (www.mta.gov.tr/Türkiye Maden Yatakları Haritası, 20 Ekim 2010)
3. Çankırı-Çorum (Tersiyer) Ergün, 1977; (Miyosen) Gündoğan, 2000; Gündoğan ve Helvacı, 2001)
4. Beypazarı ((Neojen) Yağmurlu ve Helvacı, 1994; (Miyosen) Gündoğan, 2000; Gündoğan ve Helvacı, 2001; (Neojen) Orti vd., 2002)
5. Sivas (Miyosen) Baysal ve Ataman, 1980; (Miyosen) Gökçe ve Ceyhan, 1988; Çubuk, 1994; (Tersiyer) Ceyhan, 1996; Tekin vd., 2001; (Miyosen) Ocakoglu, 2001; (Miyosen) Ciner vd., 2002; (Tersiyer) Tekin vd., 2002; (Oligosen) Gündoğan vd., 2005)
6. Elazığ ((Paleosen) Türkmen, 2004)
7. Sakarya ((Pliyosen) Zeybek, 2007; (Neojen) Kırtıl, 2008)
8. Honaz Dağı-Denizli ((Neojen) Pekuz, 1998; (Triyas) Gündoğan vd., 2008; www.mta.gov.tr/Türkiye Maden Yatakları Haritası, 20 Ekim 2010)
9. Aşkale-Erzurum ((Miyosen) Ketin, 1950; Arpat, 1965; Tarhan vd., 1992)

- Neojen havzaları
- Evaporit yatakları

Şekil 1.3. Türkiye’deki Neojen havzaları ve evaporit yataklarının dağılımı

Gündoğan ve Helvacı (1993), Sultançayır (Susurluk – Balıkesir) bölgesindeki Orta-Üst Miyosen yaşlı boratlı jips havzasında çalışmışlardır. Kumlu kiltası birimi içinde, kalınlığı 10-15 metre arasında değişen boratlı jips seviyeleri saptamışlar ve jipsler içinde pandemit ve havlit minerallerinin varlığını tespit etmişlerdir.

Gündoğan ve Helvacı (2001), Beypazarı ve Çankırı-Çorum Havzalarındaki Üst Miyosen evaporitlerinin sedimentolojik ve petrografik özelliklerini çalışmışlardır. Beypazarı Kırmızı Formasyonu ve Çankırı-Çorum Bozkır Formasyonu’nda zig-zag, alabastrin, porfiroblastik ve nodüler dokuları gözlemlemişlerdir. Glauberitten itibaren oluşan ikincil jipslerin jeokimyasal incelemelerinde,  $\text{Na}_2\text{O}$  değerinin %1’den daha az olduğu belirlenmiş olup, böylece glauberitten itibaren oluşan ikincil jips dokularının sodyum sülfat araştırmasında kılavuz olarak kullanılabileceğini saptamışlardır.

Tekin (2001), Doğu-Orta Anadolu (Türkiye)’daki Tersiyer yaşlı Ulaş-Sivas havzasında sölestin içeren jipsli formasyonların stratigrafisi, jeokimyası ve çökeltme ortamlarını çalışmıştır. Sölestinlerde yapılan arazi, elektron mikroskobu (SEM), cevher mikroskobisi, elektron mikroskop, sıvı kapanım, iz element (XRF) ile  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  ve

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  izotop çalışmalarının sedimanter-sinjenetik kökenli mineralleşmeyi desteklemediğini belirtmiş olup, bununla birlikte yüksek sıcaklık koşullarının etkili olduğu epijenetik ve/veya geç diyajenetik oluşum şekillerini işaret ettiğini ileri sürmüşlerdir.

Çiner vd. (2002), Sivas havzasındaki Alt-Orta-Miyosen yaşlı evaporitik ve sığ-deniz fasiyeslerini çalışmışlardır. Bölgedeki Ağlıkaya ve Eğribucak Formasyonlarını üç üyeye bölmüşlerdir. Bu çalışma ile alt üyelerin kırmızı çamurtaşı ve kumtaşı, orta üyelerin tabakalı – masif jips ve kırmızı-yeşil çamurtaşlarından, üst üyelerin ise; sığ denizel fosilleri içeren çamurtaşı ve kumlu kireçtaşıdan oluştuğunu belirtmişlerdir. Ayrıca orta üyelerde gözlenen dolomitik kireçtaşı, bitümlü şeyl, kırmızı- yeşil çamurtaşı ve jips tabakaları arasındaki ritmik ardalanmaların periyodik iklim değişiklikleri ile ilişkili olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Orti vd. (2002), Beypazarı Havzasındaki Neojen yaşlı Kırmir Formasyonun sodyum sülfat depolanmalarını çalışmışlardır. İkincil jipslerden oluşan evaporit üyesini tabakalı alt birim ve masif üst birim olarak ayırt etmişlerdir.  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$  ve  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  izotoplarını yaptırmış olup, ana tuzluluk merkezinin sodyum sülfat depolanma modellerini ve tuzluluk gelişimini tartışmaya sunmuşlardır. Kırmir Formasyonunun sülfür izotopik değerlerinin denizel olmayan tuzluluk miktarını göstermesine rağmen, oksijen izotopik değerlerinin ve stronsiyum oranlarının bu miktarı desteklemediğini belirtmişlerdir.

Türkmen (2004), Türkiye'nin doğusunda (Elazığ) yer alan Alt Paleosen yaşlı Kuşçular Formasyonu evaporitlerinin kökenini ve fasiyes özelliklerini çalışmıştır. Bu çalışma ile Kuşçular Formasyonunun bataklık depolanmalarının kumtaşı-silttaşı-çamurtaşı ara tabakalı, jipsli kumtaşı, kırmızı-yeşil jipsli çamurtaşı ve bantlı nodular ikincil jips birimlerini içerdiğini gözlemlemiştir.

Gündoğan vd. (2005), Sivas'ın güneybatısında yer alan Eosen-Oligosen yaşlı evaporitlerin diyajenezini, petrografisini ve sedimentolojisini ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında, Yeniköy üyesinde tavuk-tel ve enterolitik dokular ile nodüler, nodüler - bantlı, laminalı - bantlı jips oluşumları belirlemişlerdir. Tuzhisar Formasyonu'ndaki ikincil jipslerde aşınmış anhidrit kalıntıları ve genellikle alabastrin ve porfiroblastik dokuların varlığını ortaya koymuşlardır.

Zeybek (2007) "Porsuk Formasyonu (Pliyosen) evaporitlerinin jeokimyasal incelenmesi, Orta Sakarya Bölgesi, İç Anadolu" isimli yüksek lisans çalışmasında, Orta Sakarya Bölgesi doğusundaki evaporitlerin eser element ve izotop jeokimyası çalışmalarıyla kökenini aydınlatmış ve bölgenin paleocoğrafyasını ortaya koymuştur.

Gündoğan vd. (2008), Honaz Dağı (Denizli) bölgesindeki jips içeren karbonatları ve Triyas yaşlı jipslerin tektonik önemlerini çalışmışlardır. Stratigrafik, yapısal, mineralojik, petrografik incelemeler ve izotop analizlerini kullanarak jipslerin izotopik özelliklerinin Akdeniz kuşağının Geç Triyas jipsine çok benzediğini gözlemlemiştir.

Kırtıl (2008), “Sazak ve Biçer Köyleri (GD Mihalıççık) Civarı Neojen Yaşlı Evaporitik Birimlerin Sedimentolojisi” isimli yüksek lisans çalışmasında, Pliyosen yaş aralığındaki evaporit istifinin arazi ölçeğindeki fasiyes tanımları ile sedimentolojik özelliklerini ve petrografik doku özelliklerini belirlemiştir. Neojen yaşlı evaporitik istifin Miyosen yaşlı Sakarya Formasyonu ile Pliyosen yaşlı Porsuk Formasyonu içerisinde yer aldığını ifade etmiştir. Bu formasyonları temsilen ölçülü stratigrafik kesit (ÖSK) çalışmaları yapmıştır.

### 1.7. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanını da içine alan bölgede genel jeoloji amaçlı birçok çalışma bulunmasına rağmen, evaporitler ile ilgili ayrıntılı bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışma sahası ve yakın çevresinde yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmeye çalışılmıştır.

Ketin (1950), Aşkale – Çat (Erzurum) çevresinde Permokarbonifer ve Liyas birimlerine ve Jura, Alt Kretase yaşlı kireçtaşı bloklarını içeren Alt Kretase yaşlı bloklu seriye değinir. Tercan-Kükürtlü-Aşkale dolayında yüzeylenen Alt Miyosen yaşlı denizel, karasal-jipsli birimlerin kömür içerdiğini belirtmiştir.

Arpat (1965), Ilıca-Aşkale dolayında petrol aramasına yönelik çalışmalar esnasında yörenin 1/25 000 ölçekli jeoloji haritalarını hazırlamıştır. Aşkale dolayında Mesozoyik, Eosen, Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimlerin varlığına değinmiş ve kayaç birlikleri tanımlanmıştır. Aşkale güneyinde, çimento fabrikası için işletilen kireçtaşı ocaklarında yüzeylenen ve Miyosen yaşlı kireçtaşlarını Kemer kaya Formasyonu olarak adlanmış ve formasyonun petrol rezervuarı olma açısından önemli olabileceğini ileri sürmüştür.

Tarhan vd. (1992), Aşkale-Çat (Erzurum) dolayının jeolojisini çalışmışlardır. Bölgede ada yayı birimlerini ve bunları nap olarak üzerlemiş peridotitlerini, Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Mollakulaç dere ve Alt Miyosen yaşlı Adilceviz Formasyonlarının uyumsuzlukla örttüğünü gözlemlemiştir. Formasyonları oluşturan egemen kaya türleri göz önüne alınarak üye adlamaları yapmışlardır. Mollakulaç dere Formasyonu kaba kırıntılardan oluşur. Adilceviz Formasyonu ise; kireçtaşı, marn, tüfit, kumtaşı, kıltaşı,



kalkarenit, çakıltaşı, jips-tuz-anhidrit ve kızıl-şarabi renkli kaba kırıntılardan (yelpaze çökelleri) oluşur. Adilcevaz Formasyonu kalori değeri yüksek linyit, lav ve piroklastik ara katkılarını içerir. Tersiyer birimleri birbirleriyle düşey ve yanal geçişli olup, sığ denizel-evaporit-karasal ortamlarda çökelmişlerdir.

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Materyal ve Yöntemler**

Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) civarında yüzeyleme veren Erken Miyosen yaşlı evaporitlerden alınan örneklerin petrografik, jeokimyasal özelliklerinin belirlenip, oluşum koşullarının açıklanabilmesi için yapılan çalışmaları; arazi, laboratuvar çalışmaları, analitik yöntemler ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

#### **2.1.1. Arazi Çalışmaları**

##### **2.1.1.1. Jeoloji Harita Alımı ve Ölçülü Kesitlerin Hazırlanması**

Arazi çalışması Erzurum' un Aşkale İlçesi sınırları içerisinde, Pırnakapan köyü yakın çevresini kapsayan yaklaşık 19 km<sup>2</sup>'lik alanı içermektedir (Ek Şekil 2).

Çalışma alanının morfolojisini ve coğrafik durumunu incelemek için bölgenin 1/100000 ve 1/ 25000 ölçekli haritaları derlenmiş olup, önceden yapılan çalışmalardan elde edilen bilgilerden yararlanarak (Tarhan vd. 1992) bölgenin 1/25000 ölçekli jeolojik haritaları hazırlanmıştır (Ek Şekil 1 ve 2). Çalışma alanının temel amacını oluşturan evaporitlerden düşey yönde örnekleme yapılarak ölçülü kesitler çizilmiştir (Şekil 3.10, 3.14).

##### **2.1.1.2. Petrografi ve Kimyasal Analiz Amaçlı Örnek Alımı**

Çalışma alanındaki evaporitlerin düşey yönde değişimlerini, oluşum ortamlarını petrografik ve kimyasal özelliklerini ortaya koymak amacıyla yanal ve düşey yönde 83 adet evaporit ve kayaç örneği alınmıştır (Ek Şekil 2). Örnek alımı sırasında örneklerin mikroskopik özellikleri de ayrıntılı olarak belirlenmiştir.

## 2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

### 2.1.2.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması ve İncelenmesi

Çalışma alanından mineralojik ve petrografik incelemeler için alınan kayaç örneklerinde iki farklı yöntem kullanılarak ince kesit hazırlanmıştır.

Evaporit örneklerinden 16 adet ince kesit hazırlanmış olup, bu örneklerin ince kesitlerin yapımı standart ince kesit hazırlama yöntemlerinden farklıdır. İnce kesitler Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Hazırlama Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Killi veya kesme işlemi sırasında dağılabilecek jipsli-anhidritli örnekler öncelikle boyutlarına uygun olarak polyester kalıp içinde alınarak kesme işlemleri için hazır hale getirilmiştir. Bu işlem sırasında Dewilux sanayi tipi polyester ve sertleştirici-hızlandırıcı kullanılmıştır. Örneklere uygun olarak hazırlanan polyester karışım 1-2 gün içinde yavaş sertleşmesi sağlanarak örneklerin polyester sertleşmesi sırasında açığa çıkan ısıdan etkilenmesi engellenmiştir.

Evaporitik örnekler içinde suyla çözünürlüğü olabilecek minerallere karşın kesme ve parlatma işlemi yağla çalışan makinelerle gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi sırasıyla 320, 600, 800 ve 1000 mesh özel elmas kaplı diskler üzerinde ince makine yağı (beyaz pirinç yağı) kullanılarak elle yapılmıştır. Örneklerde detaylı petrografik çalışma için özel olarak hazırlanmış 2 mm kalınlığında 50x55 mm boyutlarında özel lamlar kullanılmıştır. Yapıştırma işlemi için çoğu ince kesit çalışmalarında kullanılan Kanada Balzamu veya araldit en az 100°C ısı gerektirdiğinden ve örneklerde olası kristal suyunu etkileyeceğinden bu çalışmada kullanılmamış, yapıştırma sırasında herhangi bir ısı gerektirmeyen UV (Ultra Viyole) ile sertleşen yapıştırıcılar (Loctite 358, Loxile 30-23 ve Loxile 30-24) kullanılmıştır. Lam üzerine yapıştırılmış örnekler yağlı sistemle çalışan elmas testere ile kesilerek elmas kaplı parlatma diskleri üzerinde 30 µm kalınlığa gelene kadar polarizan mikroskopla kontrol edilerek son inceltme işlemleri yapılmıştır. Hazırlanan örnekler alkol ve eter yardımı ile yağdan temizlendikten sonra 45x50 mm boyutlarında lam ile kapatılarak kesit işlemi tamamlanmıştır.

Çalışma alanından alınan diğer kayaç örneklerinden 8 adet ince kesit yapılmıştır. Bu ince kesitler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce kesit hazırlama laboratuvarında yapılmıştır. İnce kesiti hazırlanacak kayaç örneğinden 0.5x2x4 cm boyutundaki plakalar kesilerek, plakaların pürüzsüzlüğü giderilmiştir. 0.1x2.5x5 cm

boyutundaki cam üzerine Kanada Balzamu ile yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapıştırılan levha aşındırıcı tozlar yardımıyla 0.3 mm kalınlığına kadar inceltilecek kesit hazırlama işlemi tamamlanmıştır.

Hazırlanan tüm ince kesitler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Araştırma Mikroskopisi Laboratuvarı'nda polarizan mikroskopta incelenmiş olup, dokuları ve mineralojileri belirlenmiştir.

### **2.1.2.2. X-Işınları Difraksiyonu (XRD) ve Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması**

Kimyasal (ana, iz ve nadir toprak element) analizler için sistematik olarak alınan örneklerin petrografik incelemeleri yapıldıktan sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Örnek Hazırlama Laboratuvarı'nda örnekler analize hazırlanmıştır.

Kimyasal analizlerde kullanılmak üzere seçilmiş 300-400 gr kayaç örnekleri çeneli kırıcıdan geçirildikten sonra, çelikten halkalı öğütücüde 200 mesh tane boyutuna kadar öğütülmüş ve çeyrekleme yöntemiyle yaklaşık 50 gr toz örnek kimyasal analizler için ayrılmıştır. X-ışınları difraksiyonu çalışmalarında kullanılacak 1-2 gram miktarındaki örnek agat havanda tekrar öğütülerek, serbestleşmenin tam olmasına olanak sağlanmıştır.

### **2.1.2.3. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) ve EDX Analizleri İçin Örnek Hazırlanması**

SEM incelemeleri için seçilen örneklerin makroskopik ve mikroskopik olarak tanımlanmış olan farklı dokuları temsil etmesine özen gösterilmiştir. Özellikle laminalı örneklerde laminalanmaya dik yönde örnekler kırılmıştır. Bu numunelerden yükseklikleri 15 mm çapları ise 25 mm'yi geçmeyecek parçalar koparılmıştır. Parçaların koparılması esnasında doğal engebeli yüzeylerinin bozulmamasına özen gösterilmiştir.

### 2.1.3. Analitik Yöntemler

#### 2.1.3.1. Kimyasal Analizler

Çalışma alanından alınan evaporit örneklerinin jeokimyasal özelliklerini ortaya koymak ve oluşum koşullarını incelemek amacıyla seçilen 18 adet örnekten ana, iz ve nadir toprak element analizleri yapılmıştır. Analizler ve örnekleri analize hazırlama (asitle çözme ve filtreleme) işlemleri Actlabs (Kanada)'da yaptırılmıştır.

Evaporit örneklerinin ana, iz ve nadir toprak element analizlerinde lityum metaborat/tetraborat füzyon ICP ve ICP-MS analizleri kullanılmıştır. Analiz yöntemi sırasında erimiş olan numune seyreltilmiş ve Perkin Elmer Sciex ELAN 6000, 6100 veya 9000 ICP-MS tarafından analiz edilmiştir. Önce üçlü daha sonra ikili gruplar olarak örneklerin her grubu analiz edilmiştir. Çoğaltılan örnekler eritilir ve her 15 numune analiz edilir. Alet her 40 numuneyi yeniden kalibre eder.

Lityum metaborat-tetraborat füzyon ICP-MS yöntemi ile iz elementlerin büyük bir çoğunluğu ve nadir toprak elementler ölçülmüştür. Bu analiz yöntemi sırasında 0.5 gr numune 2 saat için bir mikroişlemci kontrollü blokta 90°C'de asit çözeltisinde eritilmiştir. Hazırlanan çözelti örnekler seyreltilmiş ve Perkin Elmer Sciex ELAN 6000, 6100 veya 9000 ICP-MS tarafından analiz edilmiştir. Her 68 numune için bir boş ve her 33 numune için bir kontrol örneği hazırlanmıştır.

Örneklerin SO<sub>4</sub> analizleri için infrared (IR) spektrometresi kullanılmıştır. 0.2 gr'lık örnek saf oksijen ortamında dirençli fırın vasıtasıyla 550°C'de ısıtılır. Yanma esnasında sülfür içeren elementler indirgenir ve sülfürü salarlar ve sülfürde oksijen ile bağlanarak SO<sub>2</sub>'yi oluşturur. Sülfür IR hücresi içerisinde sülfür dioksit olarak ölçülür. Analiz için Eltra CS-2000- Leco CNS 2000'den bir tanesi kullanılır.

COUL-CO<sub>2</sub> analizi yönteminde 0.2 gr örnek CO<sub>2</sub>'nin direkt olarak salınmasını sağlayan ELTRA CW-800 kullanılarak, saf nitrojenden oluşan 1000°C'lik bir ortam içerisinde dirençli ocak vasıtasıyla termal olarak çözülür. H<sub>2</sub>O IR hücresi içerisinde karbon dioksitin saptanmasından önce nem tuzağında kapanlanır. IR spektrumu içerisinde belirli bir dalga boyundaki IR enerjisini karbon dioksit absorbe eder. Gaz hücreden geçtiği için IR kaynağından gelen enerji absorbe edilir ve böylece IR dedektörüne gitmesi engellenir. Diğer tüm IR enerjisinin IR dedektörüne ulaşması dar bir filtre sayesinde

engellenir. Filtre nedeniyle IR enerji absorpsiyonunun tamamı CO<sub>2</sub>'ye atfedilir. CO<sub>2</sub> konsantrasyonu detektörde enerji seviyesinin indirgenmesi ile saptanır.

Cl analizi için 1 gr örnek tartılır ve polietilen tüp içerisine yerleştirilir ve bilgisayar kontrollü  $7 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ sn}^{-1}$  termal eritici vasıtası ile irradasyona uğratılır. Alüminyum ve diğer kısa süreli izotoplar için uygun kısa süreli bir yarılanma zamanında sonra örnekler sırasıyla ölçülür. Değerler yarılanma süresine göre düzeltilir ve standart kalibrasyon ile karşılaştırılır. Her bir iş paketinde iki standart ölçülür.

B elementi için 1 gr numune polietilen şişe içine alınır ve bir nükleer reaktörden üretilen nötronların ışınına yerleştirilir. Numuneler yüksek saflıkta Germanyum dedektör kullanılarak 478 keV gama ışını çoğaltmak için ölçülür. Sistemi kalibre etmek için kullanılan sertifikalı referans malzemeler ile numuneler karşılaştırılır. Dört standartın en azı her iş emriyle analiz edilir. Örnekler temin edildiğinde çoğaltılanlar analiz edilir.

Ana oksitlere ait saptama limitleri; SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cl ve CO<sub>2</sub> için %0.01; MnO ve Ti<sub>2</sub>O için % 0.001; SO<sub>4</sub> için % 0.3' dir. İz ve nadir toprak elementlerde saptama limiti, V için 5 ppm; Sr için 2 ppm; Ba için 1 ppm; B için 0.5 ppm; Ag için 0.002 ppm ve U için 0.005 ppm' dir. Cu, Nb, Pb ve Th için 0.01 ppm; Zr, Co, Ni, Zn, As ve Rb için ise 0.1 ppm'dir. La, Ce, Nd için 0.05 ppm; Pr, Gd, Dy ve Er için 0.01 ppm' dir.

Örneklerde ölçülen ateşte kayıp (A.K), su, S, CO<sub>2</sub>, organik C'dan kayıp ve genellikle Fe<sup>+2</sup> nin Fe<sup>+3</sup>a oksidasyonu ile bir ağırlık kazanımı ile temsil edilir. KCl gibi belirli fazların olması durumunda bunlara ilave olarak Cl ve K'da kaybedilmiştir. A.K. değerleri sülfattan gelen kaybı içermez ve S sadece sülfat minerallerinden gelen S ile temsil edilir. SO<sub>4</sub> değerleri de sadece sülfat minerallerinden gelmekte ve hiçbir şekilde sülfat minerallerinden gelen S'ü içermemektedir.

### 2.1.3.2. XRD Analizleri

XRD analizleri 26 örnek üzerinde yapılmış olup, toz haline getirilen örneklerden yaklaşık 1 gr kadar alınmıştır. Analizler Erciyes Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde, Bruker AXS D8 Advance difraktometrede yapılmıştır. Toz halindeki (<170 mesh) örneklerden yaklaşık 1gr kadar alınarak, XRD aletinin örnek kalıbına konulmuş ve örnek bastırılarak sabitlenmiştir. Bu şekilde hazırlanan örnekler 2-70°2θ aralığında ölçülmüştür. XRD incelemelerinde kullanılan aletsel koşullar şu

şekildedir: Anot:Cu ( $\text{CuK}_\alpha = 1.541871 \text{ \AA}$ ), Filtre: Ni, Gerilim: 35 Kv, Akım: 15 mA, Ganyometre Hızı: 2°/dak., Kağıt Hızı 2 cm/dak., Duyarlılık:  $4.10^2$ , Zaman sabiti: 1 sn, Yarıklar:  $1^\circ - 0.1 - 1^\circ$

### **2.1.3.3. SEM-EDX Analizleri**

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri ve EDX (energy dispersive X-ray) analizleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi (Ankara), Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Taramalı Elektron Mikroskopisi Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

İncelemelerde JSM-6400 Elektron Mikroskobu (JEOL), NORAN X-ışınları Mikroanaliz Sistemi ve Semafore İşlemci kullanılmıştır. İncelemesi yapılacak örnekler HUMMLE VII Sputter marka kaplama ünitesinde Au ile kaplanmıştır. SEM'de incelenecek örnekler üzerinde mikro fotoğraf çekimleri yapılmış ve gerekli görüldüğü durumlarda EDX analizleri gerçekleştirilmiştir.

### **2.1.4. Büro Çalışmaları**

Arazi ve laboratuvar çalışmalarından ele edilen veriler büro çalışmaları ile değerlendirilmiştir. Arazide topoğrafik harita üzerine çizilen jeolojik harita ve ölçülü kesitler bilgisayar ortamına aktarılarak çizim programları (Freehand Mx, Corel Draw 12) ile yeniden çizilmiştir. Petrografik, mineralojik ve kimyasal analizleri de çeşitli programlar (Grapher 5, SPSS 15) kullanılarak grafik ve tablolar oluşturulmuş ve yorumlanmıştır.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Bölgenin ve İnceleme Alanının Stratigrafisi ve Mineralojisi

İnceleme alanını da içerisine alan Aşkale (Erzurum) yöresinde daha çok Erken Miyosen yaşlı kayaçlar hâkimdir. Tarhan' a (1992) göre farklı yaş, fasiyes ve litolojiye ait birimler litostratigrafi esasları göz önüne alınarak aşağıdaki gibi ayırtlanmıştır.

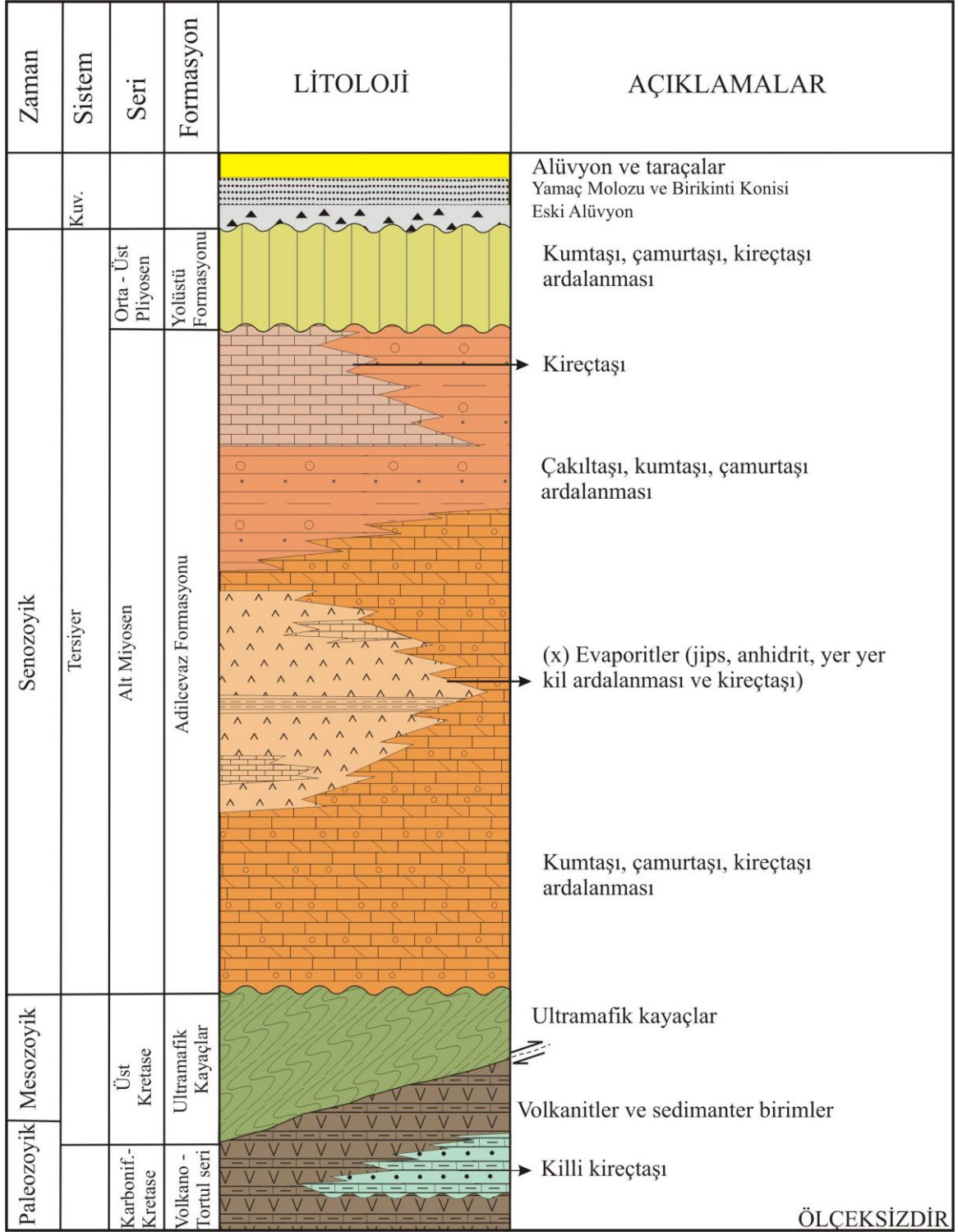
6. Alüvyonlar	}	Kuvaterner
5. Yamaç molozu ve birikinti konisi		
4. Yolüstü formasyonu		Üst Pliyosen
3. Adilcevaz formasyonu		Erken Miyosen
2. Ultramafik kayaçlar		Üst Kretase (yerleşme yaşı)
1. Volkano-sedimanter birimler		Karbonifer-Kretase

Pınakapan (Aşkale, Erzurum) ve çevresi genellikle Erken Miyosen yaşlı birimlerden oluşmaktadır. Bölgenin tabanını Karbonifer yaşlı volkano-sedimanter seri ve ultramafik kayaçlar oluşturur. Bindirme ile yerleşme yaşı Üst Kretase olan ultramafik kayaçlar üzerine çalışma alanını içerisine alan Erken Miyosen yaşlı Adilcevaz Formasyonu gelmektedir. Adilcevaz Formasyonu; kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı üyesi; evaporit üyesi; çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı üyesi ve kireçtaşı üyesi olmak üzere dört üyeye ayrılmıştır. Erken Miyosen yaşlı bu üyeler, birbirleriyle düşey ve yanal geçişli olup, sürekli bir istif oluştururlar. Kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, tüflü- killi kireçtaşından oluşan Yolüstü Formasyonu bu birimleri uyumsuz olarak üstler. Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve birikinti konisi, alüvyonlar çalışma alanındaki en genç birim olup tüm birimleri uyumsuz olarak örter (Şekil 3.1, Ek Şekil 1 ve Ek Şekil 2).

##### 3.1.1. Volkano – Sedimanter Birimler

Pınakapan (Aşkale, Erzurum) dolaylarında, genel olarak piroklastitler ve derin deniz pelajik sedimanter kayaçlarından oluşan bu birim, ultramafik kayaçlar ile tektonik dokanaklıdır. İnceleme alanında Topalçavuş, Taşçayır köyleri ve Güney, Aktaşüstü Tepeleri dolaylarında yaygın olarak yüzeyleme verirler.





ÖLÇEKSİZDİR

Şekil 3.1. Pınrakapan (Aşkale, Erzurum) ve yakın çevresine ait dikme kesit.

Tarhan (1992), bu birimlerin bölgede ve Doğu Anadolu’da yaygın olarak yüzeyleme verdiğini, farklı bölgelerde ise değişik kaya birimlerin temsil edildiğine değinmiştir. Söz konusu olan bu volkano- sedimanter birimlerin ada yayı ürünleri olduğunu öne sürmüş olup, köken, oluşum yeri ve yaygınlığını vurgulamak içinde “Anadolu Ada Yayı Volkano-Sedimanter Serisi” şeklinde adlama yapmıştır.

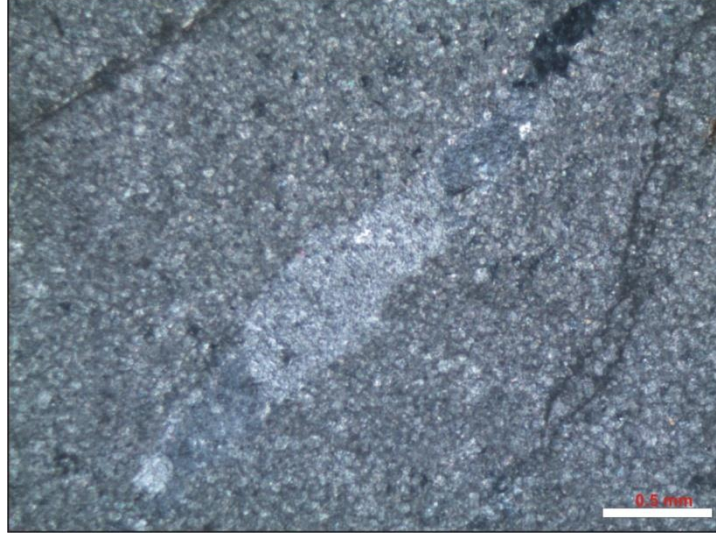
Piroklastitler ve derin deniz pelajik çökelleri, çakıltası, kumtaşı, killi kireçtaşı ve kireçtaşı ile temsil edilen (Şekil 3.2) birim içerisindeki tüm kayalar birbirleriyle düşey ve yanal geçişlidir. (Tarhan vd., 1992).



Şekil 3.2. Volkano-sedimanter birim içerisinde bulunan Hasanbey Mahallesi civarında yüzeyleme veren kireçtaşları.

Çalışma alanındaki volkano- sedimanter birimden alınan kireçtaşlarının mikroskobik incelemeleri sonucun dolomitik kireçtaşı oldukları saptanmış (Şekil 3.3) ve bu örneklerde fosile rastlanmamıştır. Volkano- sedimanter serinin derin deniz pelajik kireçtaşı, radiolarit ve mikritik kireçtaşı seviyelerinden alınan örneklerden Tarhan vd. (1992); *Protopenneroplis striata* Weyncshenk, *Conicospirillina basiliensis* Mohler, *Proropenneroplis* cf. *Truchangulata* Michel Septfoun, *Neotrocholina?*, *Ophthaliidiidae*, *Valvulinidae*, *Radiolaria* spp., *Lituolidae*, *Pseudocyclammini* sp., *Trocholina* sp., Alg, *Ekinit* faunasını tayin etmiştir. Tayin edilen bu faunaya göre, volkano – sedimanter birimlerin yaşı

olasılıkla Geç Paleosoyik-Mesozoyik (Karbonifer - Erken Senoniyen) olarak tanımlanmıştır (Tarhan vd., 1992). Volkano sedimanter kayaçlar ve bunların üzerine bindirme ile yerleşmiş ultramafik kayaçları, Erken Miyosen yaşlı Adilcevaz Formasyonu uyumsuz olarak örter.



Şekil 3.3. Volkano sedimanter birimde gelişen dolomitik kireçtaşı örneğinin ince kesit görünümü (Ç.N., Örnek No: Y4).

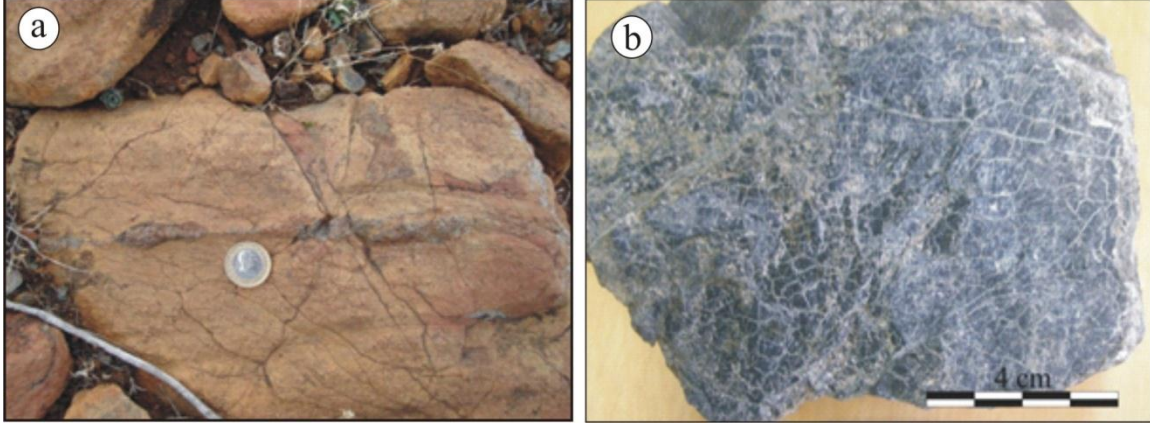
### 3.1.2. Ultramafik Kayaçlar

Bölgede, kuzey ve güney kesimlerde ultramafitlerin yaygın ve sürekli yüzeylemleri gözlenmektedir. Birim ilk kez Tarhan (1989) tarafından Hınıs metaofiyolitleri olarak tanımlanmış ve adlandırılmıştır. Pırnakapan Köyü'nden geçen Aşkale-Trabzon yol yarmasında, Bozburun ve Taşağıl Köyleri, Hasbey Mahallesi, Işıklı Dağı, Kızılcakmak Tepe dolaylarında yaygın ve sürekli yüzeylemleri görülür. Ultramafik kayalardan yalnızca peridotitlerin yaygın yüzeylemleri vardır (Tarhan vd., 1992). Arazi gözlemlerine dayalı olarak Kolaylı (1996) tarafından birimin yerleşme yaşı Üst Kretase olarak verilmiştir.

Peridotitlerin yaygın kaya birimleri harzburjitlerdir. Yer yer de piroksenit ve dünitlerden oluşmuş tabakalı ultramafik kayaçlar gözlenir. Peridotitler, tektonik deformasyonlar sonucu çok aşırı derecede kırılmış, parçalanmış, ezilmiş ve makaslanmış bir yapı gösterirler (Tarhan vd., 1992).



Harzburjitlerin kırık yüzeyleri koyu yeşilimsi gri renkli ve yüzeysel ayrışmadan dolayı kahverengidir (Şekil 3.4). Geniş yayılım gösteren harzburjitlerin çoğu (% 90'a kadar) serpantinleşmiştir (Kolaylı, 1996).



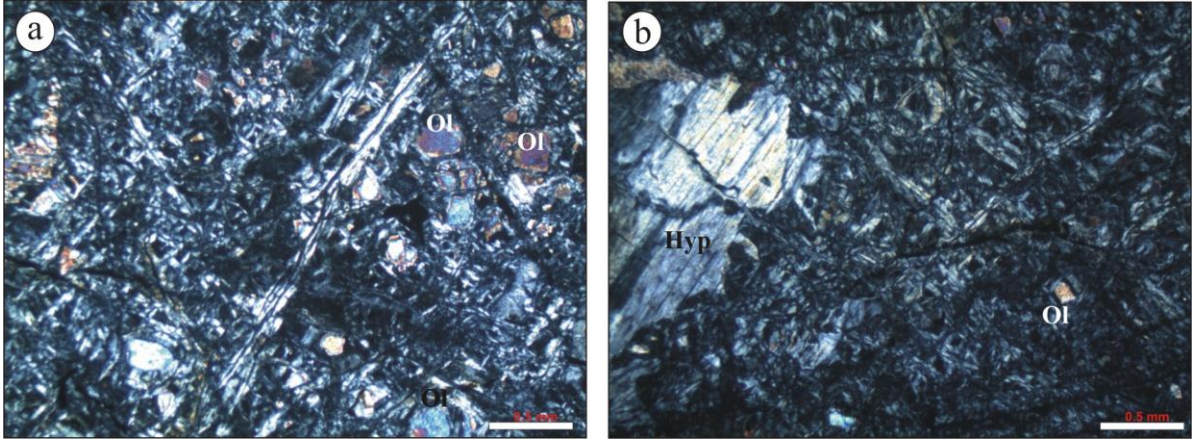
Şekil 3.4. Pırnakapan köyü civarındaki harzburjitlerin makroskobik görünüşleri.

Harzburjitlerden alınan örneklerin mikroskobik incelemesinde yaygın olarak serpantinleştikleri gözlemlenmiştir. Serpantinleşme minerallerdeki ve kayadaki çatlaklardan itibaren gelişmiş olup kayaca belirgin bir ağ dokusu kazandırmıştır (Şekil 3.5). Taneli ve bantlı doku hemen hemen tüm harzburjit örneklerinde tespit edilmiştir.

Olivin: Modal olarak % 50-90 aralığında tamamen ksenomorf kristaller şeklinde görülür (Şekil 3.5a). İçerisinde bulunan kırıklar ve kenarları boyunca kısmen veya tamamen serpantinleşmiştir. Tek nikolde renksiz ve çapraz nikolde ise, iki ve üçüncü sıra renklerde polarize olurlar.

Hipersten: Ortopiroksenler hipersten ile temsil edilmekte olup, birincil ferromagnezyen minerallerin % 10-50' sini kapsamaktadır (Şekil 3.5b). Tek nikolde renksiz, açık yeşilimsi kahve renkte gözlenmektedir. Genellikle yarı özşekillidir. Deformasyon nedeniyle  $8-9^\circ$  'ye kadar sönme açısı gösterebilirler. Bazı durumlarda deformasyondan dolayı dalgalı sönme gösterirler.

Ayrıntılı tanımlama Kolaylı (1996) tarafından yapılmış olup, bölgedeki harzburjitlerin mineralojik incelenmesinde serpantinler ojit, pijonit ve krizotil olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu minerallere eşlik eden bastit, bohlenjit, klorit, klinoklor, talk, kalsit, pikotit, kromit, manyetit ve demiroksit mineralleride arazide alınan örneklerin kesitlerinde gözlenmemesine rağmen Kolaylı (1996) tarafından tanımlanmıştır.



Şekil 3.5 a) Harzburgitlerde gelişen ağsal doku ve kalıntı olivin kristalleri, b) Serpantinleşmiş harzburgit içerisinde ortopiroksenler ve kalıntı olivin fenokristalleri (Ol: Olivin, Hyp: Hipersten, Ç.N. Örnek No:Y2).

### 3.1.3. Adilcevaz Formasyonu

Evaporitik kayaların bulunduğu detay çalışma sahasını içerisine alan bu formasyonu ilk kez Demirtaşlı vd. (1965) “Adilcevaz Kireçtaşı” olarak adlandırmışlardır. Formasyon kireçtaşlarıyla ardalanmış marn ve kırıntılardan oluşur. Tarhan (1989), Akay vd. (1989) ise bu birimi “Adilcevaz Formasyonu” olarak adlandırmışlardır. Çalışma alanı ve çevresinde yaygın ve sürekli yüzeylenimleri vardır (Ek Şekil 1 ve Ek Şekil 2). Genellikle Çomoğlu Mahallesi, Pırnakapan, Demirkıran, Gümüşseren ve Yaylımlı Köyleri dolaylarında yaygın olarak yüzeylenir.

Adilcevaz Formasyonu; kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kiltası, tüflü-killi kireçtaşı, jipsli kireçtaşı ve tuz, jips, anhidrit oluşuklarını içermektedir. Tüm bu kaya birimleri birbirleriyle ardalanır, düşey ve yanal geçişler gösterir (Tarhan vd., 1992). Formasyon tabanda çalışma alanını da içerisine alan kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı üyesi ile başlayıp evaporit üyesi ile devam eder. Bununla birlikte sırasıyla çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı üyesi ve kireçtaşı üyesi ile üstlenerek dört üyeye ayrılır.

Formasyonun kömür arakatlı birimlerinden alınan örneklerden *Archaia sp.*, *Austroillina sp.*?, *Asterigerina sp.*, *Globorotalina sp.*, *Miliolida*, *Textularidae*, *Pelesipoda*, *Alg*, *Bryozoa* mikrofosilleri tayin edilmiş olup, bu birime Erken Miyosen yaşı verilmiştir (Tarhan vd., 1992).

### 3.1.3.1. Kumtaşı – Çamurtaşı – Kireçtaşı Üyesi

İnceleme sahası içerisinde yaygın yüzeyleme veren birim özellikle Pırnakapan, Yaylımlı, Ocaklı, Demirkıran, Kuruhasan Köyleri ve dolaylarında yayılım göstermektedir. Üye birimlerini; kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, killi kireçtaşı oluşturur. Birim sahada sarımtırak rengi ile karakteristik olup tabaka kalınlıkları 10 cm – 50 cm arasında değişiklik sunar (Şekil 3.6). Tabakalar 30 ile 60° arasında ve KB' ya eğimlidir.



Şekil 3.6. a, b, c) Peteklibayır Tepe civarında yüzeyleme veren kumtaşı - çamurtaşı-kireçtaşı üyesine ait kireçtaşı-kumtaşı-çamurtaşı ardalanması.

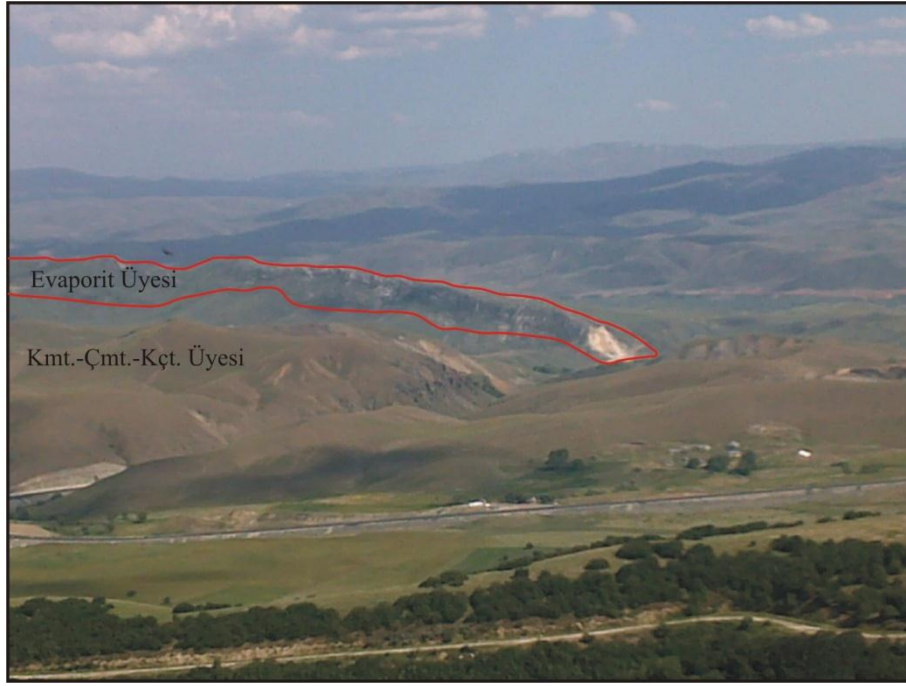
### 3.1.3.2. Evaporit Üyesi

Çalışmanın temel inceleme konusunu oluşturan evaporitik kayalar bu birim içerisinde yer alır. Alçı Tepe, Parlar Tepe, Beyaz Sırt, Aktepe, Ağlıkaya Tepe, Büyükpur Tepe, Purüstü Tepe, Gümüşseren Köyü ve dolaylarında yayılım gösterirler. Birim arazide jips, anhidrit, killi – jipsli kireçtaşı ve yer yer de killi seviyeler ile temsil edilir. Arazide



diapirik yükselim neticesinde sert ve keskin topoğrafya oluştururlar. Kama, mercek ve ara katkılar şeklinde gözlenmektedir (Şekil 3.7).

Tabaka kalınlıkları 0,5-2 m. arasında değişmekte olup, tabaka ölçüleri 10-50° KB-GB arasındadır. Tektonik deformasyonlar neticesinde yaygın olarak kıvrımlanmış ve kırıklı bir yapı arzederler.



Şekil 3.7. Beyaz Sırt mevkiinde sırt üzerinde yüzeyleme veren Evaporit Üyesi ve Kumtaşı – Çamurtaşı – Kireçtaşı (Kmt.- Çmt.- Kçt.) Üyesi.

### 3.1.3.3. Çakıltaşı – Kumtaşı – Çamurtaşı Üyesi

Üye, Güneycam, Çatveren Köyleri, Kurtluyayla Sırtı ve Berlik Tepe dolaylarında yüzeylenir. Egemen kaya birimlerini çamurtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, siltaşı oluşturur. bununla birlikte kıltaşı, tüfit, yer yer ince kireçtaşı, jips arakatkılarını içerir (Tarhan vd., 1992).

### 3.1.3.4. Kireçtaşı Üyesi

Kireçtaşı üyesi, Okmeydanı, Sarıtaş, Buzhane, Sivri ve Kabandağı Tepeleri dolaylarında ince kireçtaşı mercek, kama ve ara katkılarını şeklinde gözlenmektedir. Yer yer

kalınlığı ve yayılımı fazla olan sıg resifal kireçtaşı, tüflü – killi kireçtaşı ve kalkarenit kaya birimlerine geçiş sunar (Tarhan vd., 1992).

#### **3.1.4. Yolüstü Formasyonu**

Aşkale (Erzurum)'nin güneydoğusunda yer alır. İlk kez Tarhan (1989) tarafından Yolüstü Formasyonu olarak adlanmıştır. Formasyon kumtaşı, çamurtaşı, gölssel kireçtaşı, tüflü- killi kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır. Irrlitz (1967), bu birime fauna içeriğinden ötürü Orta-Geç Pliyosen yaşını vermiştir. Karasu havzasında yüzeyleme veren Yolüstü Formasyonu'na Tarhan vd. (1989, 1992) *Clethrionomys sp.*, *Miomys sp.* (*Linea Sinuosa M. Pliocaenicus evrim aşamasında*), *Soricidaegen et sp. indet* (*Deinsdorfia hibbaridi' ye boy ve morfoloji olarak benziyor*), *Miomys cf. stehlini*, *Miomys Pliocaenicus* fosil içeriği ve stratigrafik konuma göre Orta- Geç Pliyosen yaşını vermiştir.

#### **3.1.5. Yamaç Molozu ve Birikinti Konisi**

Yamaç molozu ve birikinti konisi Saptıran Köyü, Mezarlık Tepe, Ziyaret Sırtı ve Eşmeler Sirtında yüzeyleme vermektedir. Birikinti konileri, Adilcevaz Formasyonunun içerdiği kiltası, tüfit ve jipslerin yer altı suları ile şişmesi sonucu, yamaç eğimine bağlı olarak gelişmiş kaya akmasıdır.

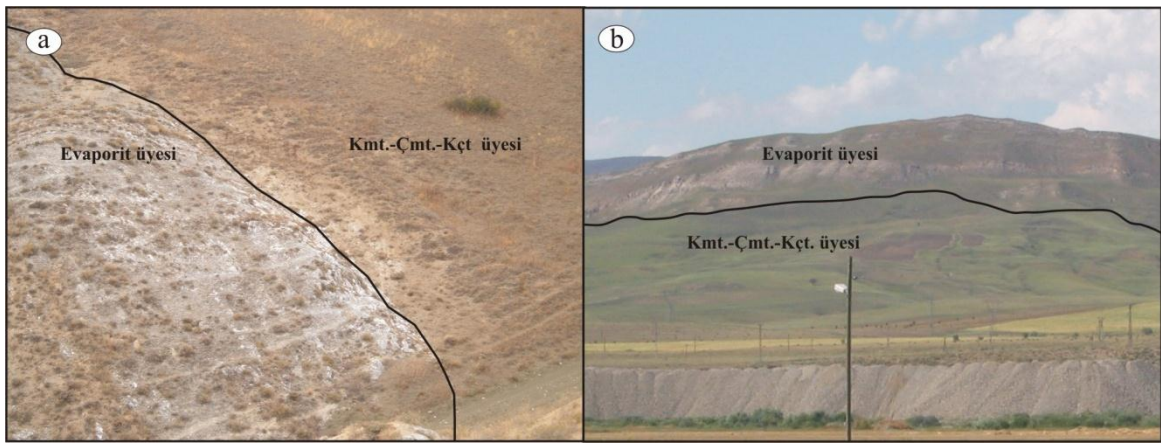
#### **3.1.6. Taraça ve Alüvyonlar**

Çalışma alanının en büyük akarsuyu Karasu Çayı'dır. Karasu çayı ve bu çaya katılan diğer tali akarsu ve derelerin yataklarında çeşitli kaya kırıntı ve parçalarını içeren, blok, çakıl, kum, kil ve çamur materyallerinden oluşmuş alüvyon dolgusu ve eski alüvyonları oluşturan çok geniş taraçalar gözlenmektedir. Çalışma alanını da içerisine alan Aşkale (Erzurum) bölgesinde yaklaşık D-B yönünde akan Karasu çayına katılan kuru ve sulu derelerin ağızlarında yaygın olarak alüvyon yelpaze çökel ve düzlüklerinin geliştiği gözlenir.



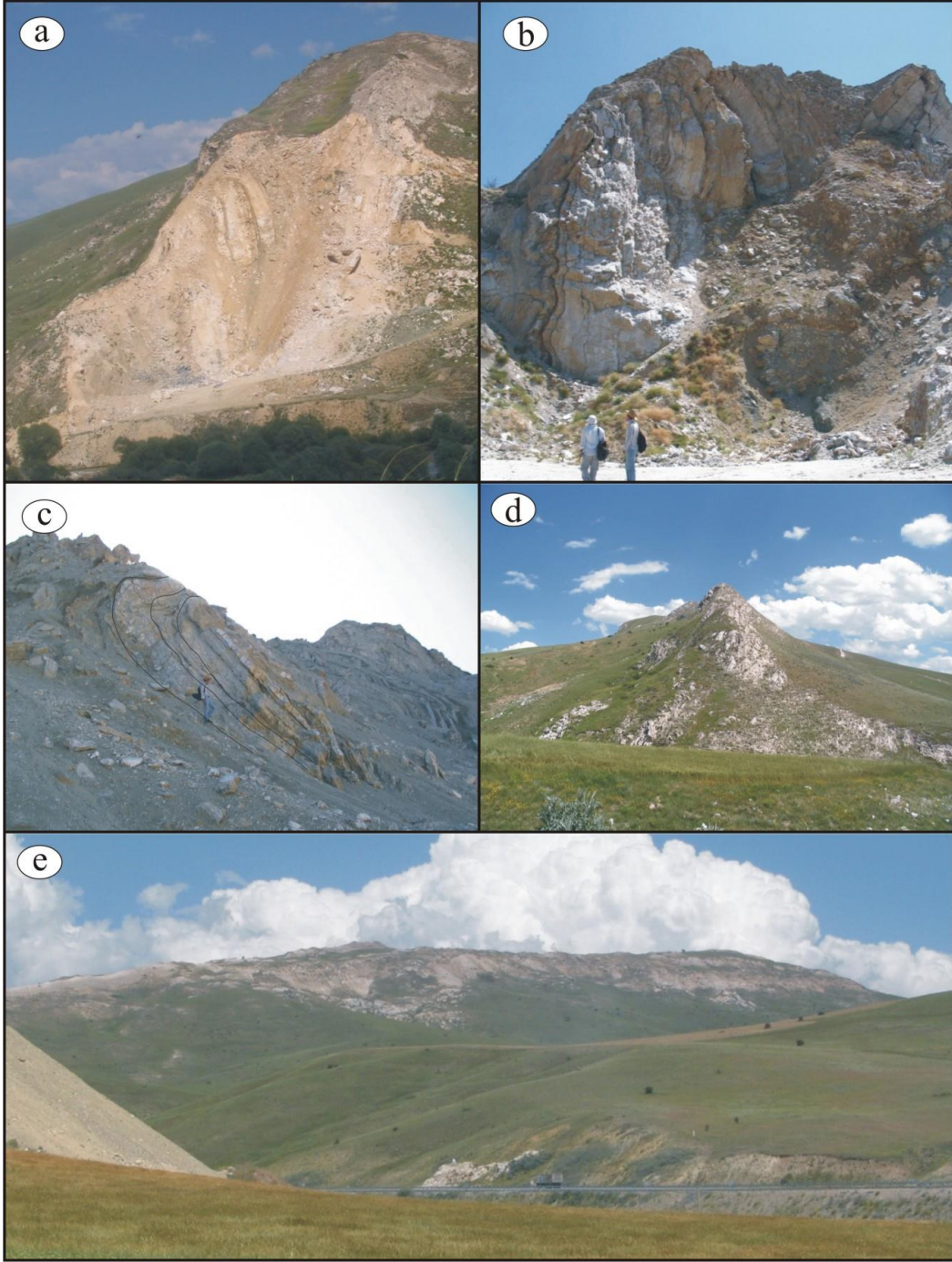
### 3.2. Evaporitlerin Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde önemli yüzeyleme veren evaporitleri Tarhan vd. (1992) Jips üyesi olarak adlandırmışlardır. Sarımtırak renkli görülen kumtaşı – çamurtaşı – kireçtaşı üyesinin yanal ve düşey geçişli olduğu evaporit birimi, jips, anhidrit, killi – jipsli kireçtaşı ve yer yer de killi seviyelerden oluşur (Şekil 3.8). Arazide kama, mercek ve ara katkılar olarak beyaz renkten açık gri renge kadar değişen görünüme sahiptir.



Şekil 3.8. a,b) Sarımtırak renkli kumtaşı – çamurtaşı – kireçtaşı (kmt.-çmt.-kçt.) üyesinin evaporit birimi ile olan sınırı (Alçı Tepe'nin kuzeyi (a), Büyükparlar Tepe (b)).

Arazide çapraz tabakalanmalar, paralel – laminalı yataklar ve deformasyon yapıları gözlemlenmiş olup, bu tektonik deformasyonlar sonucu devrilmiş laminalanmalar, kıvrımlanmalar ve diyapirik yapılar gelişmiştir (Şekil 3.9). İç yapıların deformasyonları (devrik kıvrımlar) sebebiyle evaporit biriminin kalınlığı tam olarak ölçülememiştir. Fakat arazide tespit edilebilen görünür kalınlıkları 40 m civarındadır. Yer yer kil ardaalanmaları ve kireçtaşları ile ilişkili tabakalı ve masif jips seviyeleri yüzlerce metre yatay olarak izlenebilir (Şekil 3.9.e).



Şekil 3.9. Evaporitik birimlerin tektonik deformasyonları sonucu oluşan kıvrımlanmaların görünüşleri a,b) devrilmiş ve paralel laminalı yataklanmalar (Lokasyon 1) c) devrik kıvrımlanmalar (Lokasyon 2) d,e) diyapirik yapılar (Büyükparlar Tepe).

### **3.3. Evaporitlerin Sedimentolojisi**

Erzurum Aşkale ilçesi ve çevresinde yer alan bu çalışma Erken Miyosen yaşlı evaporitleri içermektedir. Bu evaporitik seri Tarhan (1989) ve Akay vd. (1989) tarafından adlandırılan Adilceviz Formasyonu içerisinde yer almaktadır. Aşkale ve çevresinde yer alan evaporitler ikincil jips litofasiyesini içerirler.

#### **3.3.1. Terminoloji**

##### **3.3.1.1. Birincil Jips Litofasiyesi**

Genellikle selenitik jips ve jipsarenitlerini içeren jipslere birincil jips litofasiyesi terimi kullanılmaktadır. Bu litofasiyeste diyajenetik evrim boyunca mineralojik değişimler yoktur ve jipslerin birincil fiziksel ve dokusal özellikleri korunmaktadır (Gündoğan, 2000).

Birincil jips litofasiyesi içindeki çoğu yaygın evaporitik litofasiyes ve yapılar laminalı, bantlı, entrolitik, nodüler ve selenitik şeklindedir.

##### **Selenitik Jips Litofasiyesi**

Bu litofasiyes selenit kristallerinden oluşmaktadır. Selenitik jips kristalleri genellikle boşlukları dolduran sıvılarda oluşurlar. Kristaller şeffaf görünüme sahiptir. Çoğunlukla parlak yüzeyli olduğu gibi mızrak ve kırlangıç kuyruğu şeklinde ikizleri de bulunmaktadır (Warren, 2006).

##### **Jipsarenit Litofasiyesi**

Tuzlu sudan direk olarak çökelen birincil jipslere jipsarenit adı verilir (Orti ve Rosell, 1997).

##### **3.3.1.2. İkincil Jips Litofasiyesi**

Anhidritin hidratasyonu ile oluşan jipslere ilk kez Murray (1964) daha sonra da Mossop ve Sherman (1973) tarafından adlandırılmıştır. Bu çalışmada da anhidritin su

alması (hidratasyonu) ile oluşan jipslere ikincil jips adı verilmiştir. İkincil jipslerden alabastrin ve porfiroblastik dokular makroskobik ve mikroskobik olarak kolaylıkla tanımlanabilmektedir. Türkiye’ de Çankırı-Çorum havzasında Geç Miyosen yaşlı Bozkır Formasyonunun alt kısmında bulunan jipsler (Gündoğan, 2000), Sivas havzasında anhidritlerin su almasıyla oluşan jipsler (Gündoğan vd., 2005), Beypazarı havzasında Üst Miyosen yaşlı Kirmir Formasyonu içerisinde meteorik yüzey suyuyla etkileşimi sonucunda oluşan jipsler (Gündoğan, 2000; Gündoğan ve Helvacı, 2001; Orti v.d., 2002) ikincil jipsleri temsil etmektedir.

#### Alabastrin İkincil Jips

Alabastrin jipsler çıplak gözle veya lupla kolayca tanımlanabilmektedir. Süt beyaz renkli ve çok ince tanelidir. Bu dokuların en iyi örneği anhidritin hidratasyonu ile oluşan ikincil jipslerde gözlenmektedir (Gündoğan, 2000). Alabastrin jipsler, jips kristallerinin yan yana ve basınç altında dizilmesinden oluşmuştur. Alabastrin doku genellikle büyük jips depolanmaları içindeki zonlarda (aktif suya doymun akıntı zonlarında) oluşur (Kogel vd., 2006).

#### Porfiroblastik İkincil Jips

Bu dokuda porfiroblastlar kaba ve ince kristal parçalarını içermektedir. Çıplak gözle veya lupla kolaylıkla tanımlanabilir. Genellikle alabastrin doku ile birlikte bulunur. İkincil jipsin yeniden kristallenmesi ile oluşan bu porfiroblastlar bayaz ve şeffaf renkli olup, boyutları 1mm ile 2 cm arasında değişmektedir.

#### Pseudomorfik İkincil Jips

Pseudomorflar yaygın olarak ana minerallerin birincil diğer özelliklerini ve kristal yapısını korumaktadır. Böylece mineralojik alterasyona rağmen birincil süreçler ve depolanma ortamlarının yorumuna izin verir (Hardie vd., 1983). Mineral değişimleri sedimentasyon ve gömülmenin ilk evreleri boyunca bol olabilir. Bununla beraber pseudomorfların korunumu yumuşak ev sahibi sedimanların etkilediği sıkıştırılmadan dolayı muhtemel olmayan gibi görünebilir. Derin gömülme boyunca, ev sahibi sediman ve

evaporit evresinin her ikisinin taşlanması meydana geldiği zaman pseudomorfları ve orjinal litofasiyesi korumak kolaydır.

### **3.3.1.3. Eşsedimanter Yapılar**

Evaporitik serilerdeki eşsedimanter yapılar; nodüler, nodüler – bantlı, tavuk-tel, entrolitik, çapraz tabakalanma ve ripil marklardır.

#### **Nodüler Yapı**

Bu yapılar denizel sabkha ortamında oluşan anhidrit nodülleridir (Shearman, 1966). Nodüler anhidrit çeşitli sedimanter depolanma ortamlarında jipsin yer değişimi ile oluşur. Nodüler anhidrit boşlukları anhidritler arasında meydana gelebilir (Reading, 2004). Anhidrit nodülleri bulunduğu sedimanlar içerisinde gelişi güzel dağılık veya tek olarak oluşabilirler.

#### **Tavuk tel (Chicken wire) Yapı**

Tavuk tel (chicken wire) yapılar devamlı sularda çökeler. Anhidritin su kaybetmesinden dolayı büzüşme ve sıkışma sonucu olarak oluşan nodüler yapılardır. Yaygın olarak sabkha ve sualtı ortamlarında oluşabilir (Darling vd., 1982).

#### **Entrolitik Yapı**

Düzensiz ve bükülen kıvrımlı tabakalardan oluşan içerisinde devamlı büyüyen anhidrit nodülleri bulunan yapılardır. Bu kıvrımlı yapıları (Shearman, 1978) “ entrolitik yapı “olarak adlandırmıştır.

#### **Çapraz Tabakalanma**

Çapraz tabakalanma, depolanma ortamlarının kenar kısımlarında çökelen klastik jips arenitlerinin karakteristik sedimanter yapısıdır (Gündoğan, 2000).

## Rippel Marklar

Rippel marklar, jips içeren kumtaşları ve klastik jipseranitleri içinde seyrek yapılardır (Gündoğan, 2000).

### 3.3.2. Pırnakapan Evaporitlerinin Saha Özellikleri

Erzurum'un Aşkale ilçesinde yer alan bu evaporit birimi genel olarak Pırnakapan köyü civarında gözlenmektedir. Bu birim arazide jips, anhidrit, killi- jipsli kireçtaşı ve yer yerde killi seviyelerden oluşmaktadır. Üye kama, mercek ve ara katkılar şeklinde gözlenmektedir. Bölgede yer alan açık işletmelerde mevcuttur. Bu işletmelerde evaporitlerden anhidrit, marn ve jips arakatkılar çimento, boya ve alçı yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca yörede 24 C°'lık suda tuz üretiminde yapılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında havzada yer alan 3 lokasyondaki evaporitlerin ölçülü stratigrafik kesitleri yapılmıştır.

#### Kesit 1 ( Lokasyon 1 )

Bu kesit Beyaz sırtın batısında yer alan yarmadan alınmıştır. Evaporitik üyenin litolojisinde killi ve karbonatlı seviyeler bulunmaktadır (Şekil 3.10). Laminalı, bantlı, nodüler ve alabastrin dokuları ile birlikte gelişen serbest büyümeli jips kristalleri ve porfiroblastlar litofasiyes içerisinde makroskobik olarak gözlenmektedir.

Laminalı ve bantlı dokuların bazılarında cm ölçeğinde kil - karbonat matriksli ara bantlar bulunur. Beyaz renkli görünüme sahip jipsli seviye içerisinde gözlenen kil bantlarının rengi griden siyaha kadar değişmektedir. Bu laminalanma seviyeleri 0.1 ile 1 cm arasında olup, tektonik deformasyonlar sonucu kıvrımlanmalar da gözlenmektedir (Şekil 3.11.a,b). Laminalı seviyeler arasında çapları 1 ile 15 cm arasında değişen beyaz renkli masif anhidrit nodüllerinden oluşmuş nodüler dokular arazide gözlenmektedir (Şekil 3.11.c,d). Bu anhidrit nodülleri laminalı seviyelere kıvrımlanmalar vermektedir. Ayrıca bazı laminalı seviyelerde ise, erime boşluklarında büyüyen serbest büyümeli jips kristalleri mevcuttur (Şekil 3.11.e,f). Bölgede bulunan kil damarlarının arasında serbest büyümeli jips kristalleri gözlenmiştir. Bu kristaller özşekilli ve renksiz olup, boyutları 0.1cm'den 3 cm'e kadar değişmektedir (Şekil 3.11.g). Bu dokular ile birlikte süt beyaz renkli, çok ince taneli

masif alabastrin dokuları da gözlenmektedir. Bu alabastrin dokularının ince kristalleri mermere benzemektedir. Bazı kesimlerde ise alabastrin dokuları içerisinde şeffaf ve beyaz renkli görünüme sahip ve çapları 0.1 cm'den 3cm 'e kadar değişen porfiroblastlar bulunmaktadır (Şekil 3.11.h).

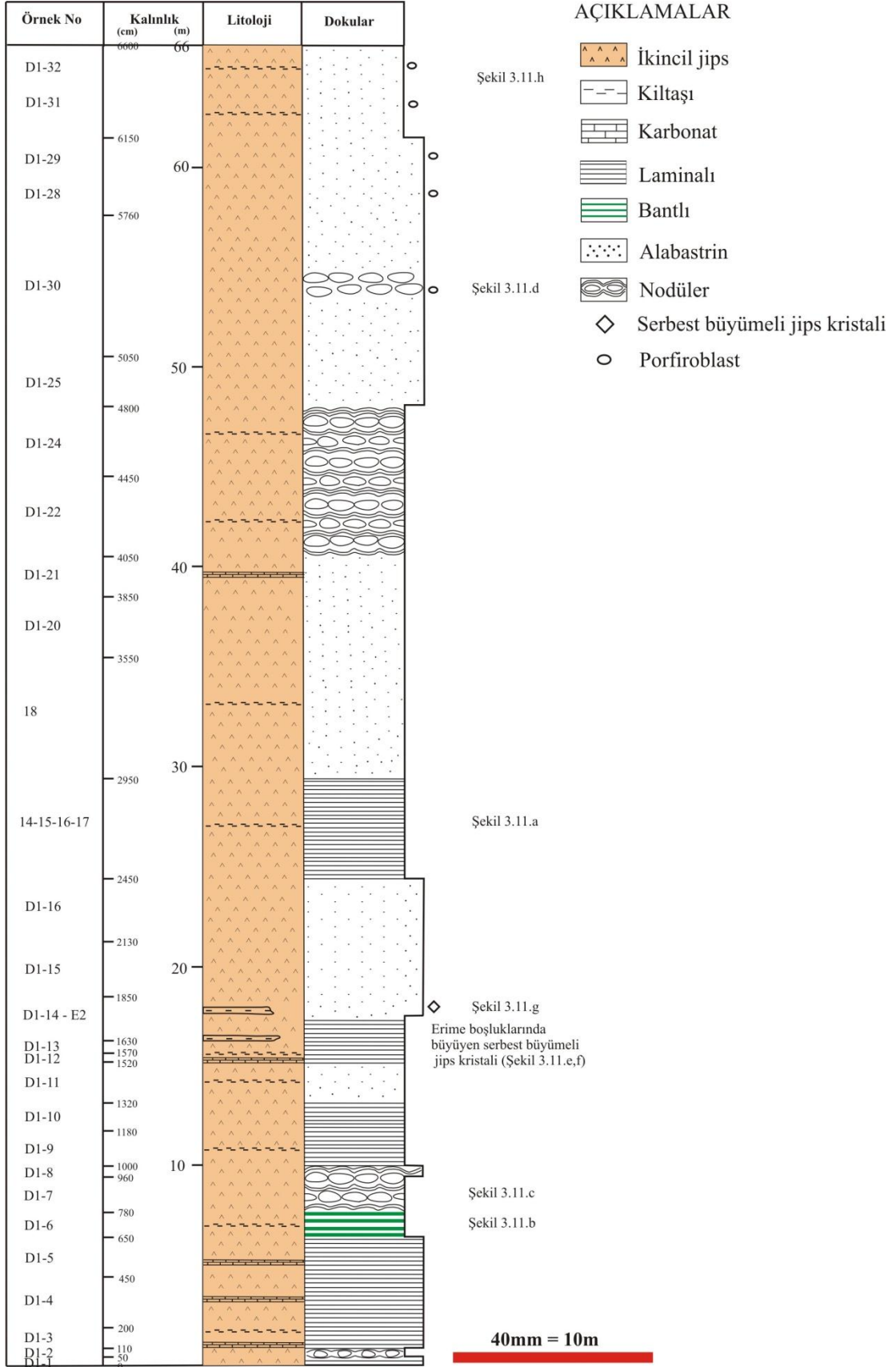
### Kesit 2 (Lokasyon 2)

Bu kesit Purlar Tepe'nin doğusunda işletilen açık işletme sahasından alınmıştır (Şekil 3.12). Bu açık işletme sahası 45 m yüksekliğinde ve 150 m enindedir. Jips oluşumları istifin bazı kesimlerinde kalınlıkları 0.10-1 m arasında değişen, yanal devamlılıkları olmayan kilce zengin ara bantlar içerir. Yer yer merceğimsi şekilli olan bu seviyelerin yanal devamlılıkları oldukça sınırlıdır ve renkleri griden siyaha kadar değişim gösterir (Şekil 3.13.a). Kil damarlarının sınırlarında genellikle jipslerin makroskopik olarak laminalı dokuları gösterdikleri tespit edilmiştir. Bu laminalı dokular içerisinde jips kristallenmeleri mevcuttur. (Şekil 3.13.b,c). Ayrıca süt beyaz renkli çok ince taneli masif alabastrin dokuları da gözlenmektedir (Şekil 3.13.d).

### Kesit 3 (Lokasyon 3)

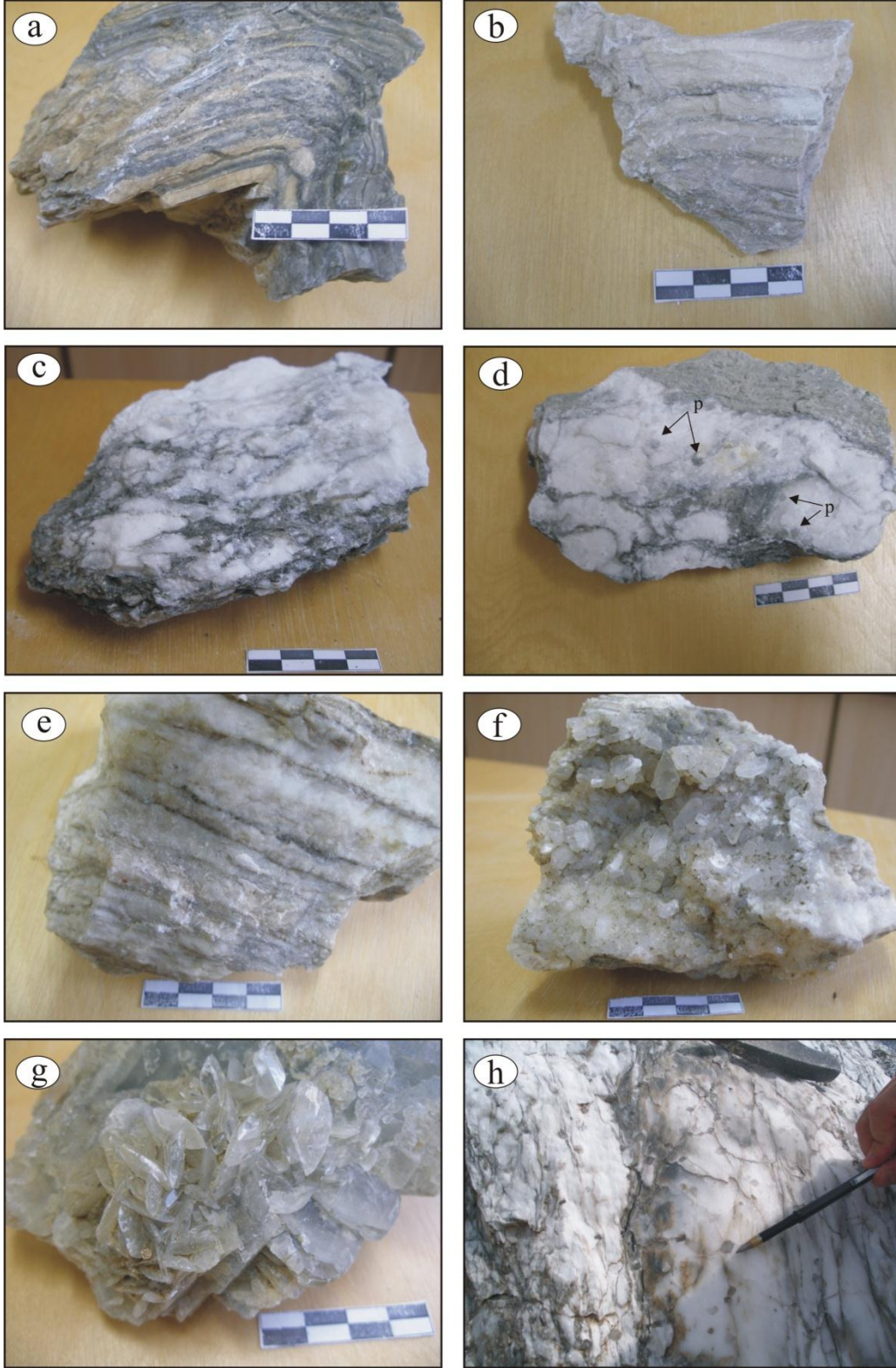
Bu kesit Güneypüt Tepe'nin doğusunda yer alan yarmadan alınmıştır. Bu evaporitik üyenin litolojisinde killi seviyeler ve karbonatlı seviyeler gözlenmiş olup, laminalı, bantlı, nodüler, tavuk tel (chicken wire) ve satin spar dokuları da makroskopik olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.14). Arazide çapları 1cm ile 5cm arasında değişen beyaz renkli masif anhidrit nodülleri ile beyaz renkli damar kalınlıkları 0,1 ile 1 cm arasında değişen satin spar dokuları kil ile birbirine bağlanmış olarak gözlenmektedir (Şekil 3.15a). Bazı kesimlerde koyu gri renkli marnlı seviyelerin arasında gelişen ikincil jips damarları da bulunur (Şekil 3.15b). Ayrıca çatlak ve kırıkları dolduran satin – spar jips damarları tespit edilmiş olup, bu satin – spar jipsler beyaz renkli, lifi görünümde olup, kristal parlaklığındadır. Damarların kalınlığı ise, 0.5 – 6 cm arasındadır (Şekil 3.15c). Bu dokular ile birlikte laminalı, bantlı ve çapları 0.5cm ile 3 cm arasında değişen tavuk tel (chicken wire) dokuları da gözlenmiştir (Şekil 3.15d).





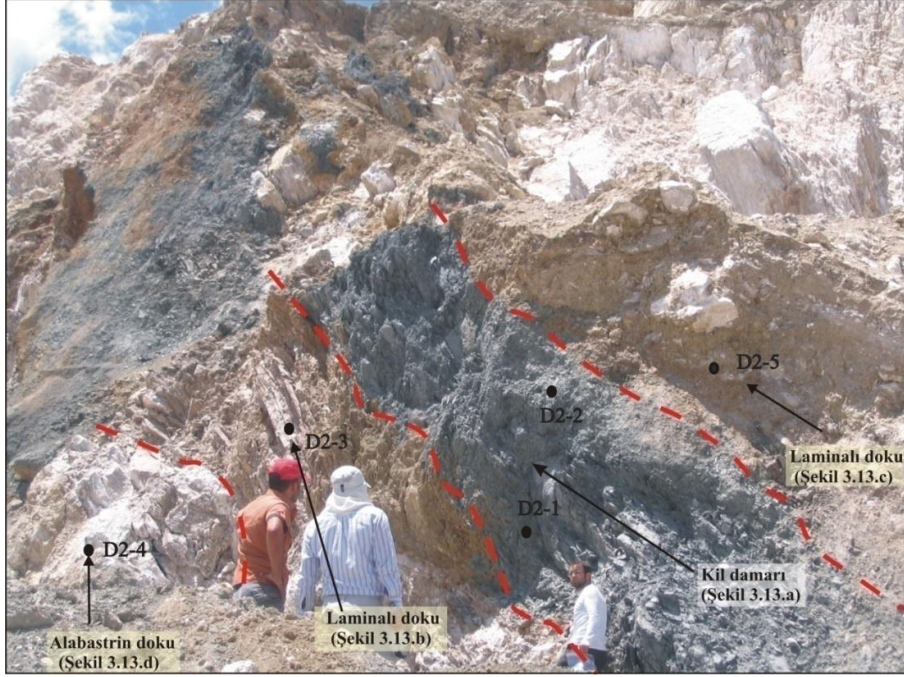
Şekil 3.10. Pınakapan köyü civarında yer alan Beyaz Sırt' ın batısındaki yarmadan alınan ölçülü kesit (Lokasyon1).



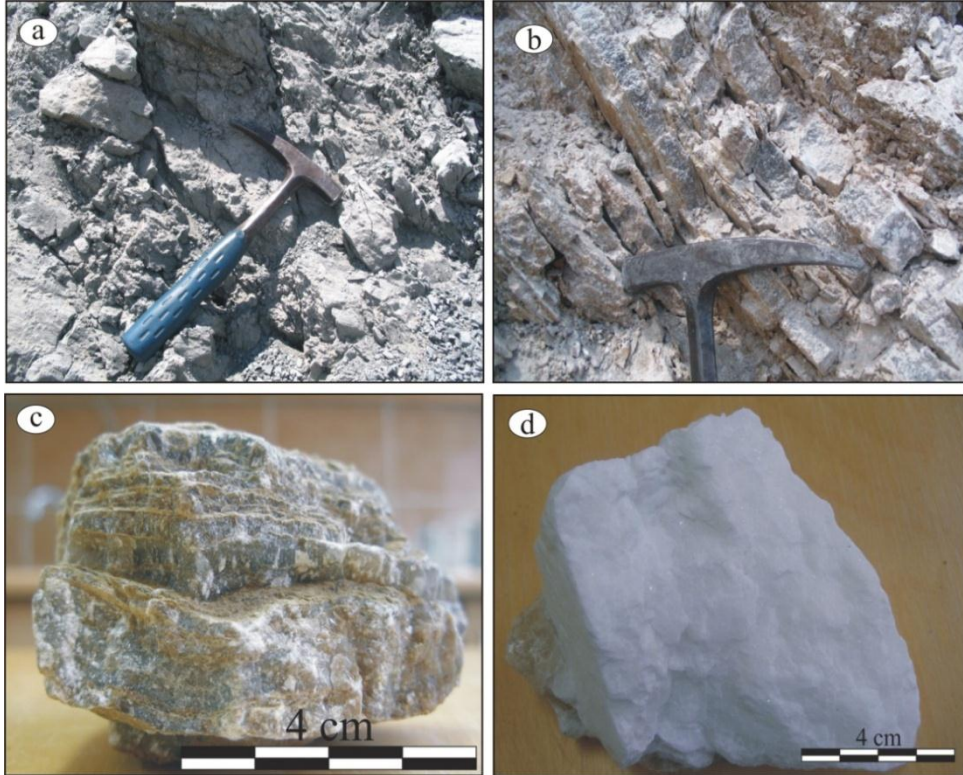


Şekil 3.11. a) Tektonik deformasyona uğrayan kıvrımlanmış laminalı doku. b) Bantlı doku. c,d) Nodüler doku (p, porfiroblast). Laminalı doku (e) gösteren evaporit içerisindeki erime boşluklarında gelişen serbest büyümeli jips kristali (f). g) Serbest büyümeli jips kristali. h) Alabastrin doku içerisinde gelişen porfiroblastlar (şekilde kalem porfiroblastlardan bir tanesini göstermektedir).

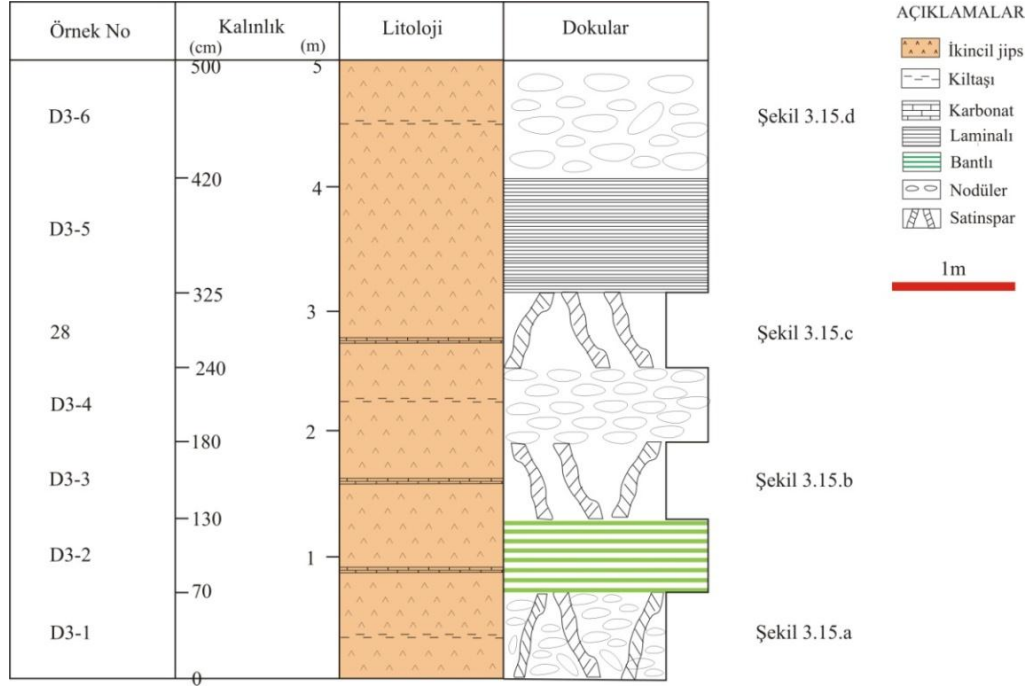




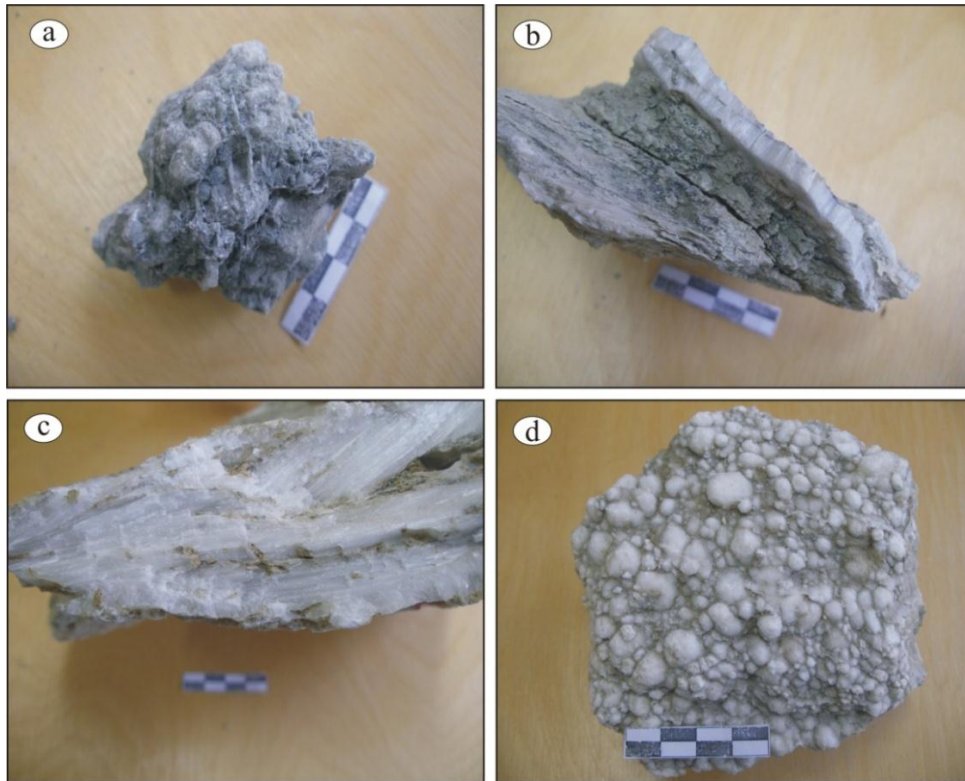
Şekil 3.12. Pırnakapan köyü civarındaki Purlar Tepe'nin doğusunda işletilen açık işletme sahasından alınan kesit (Lokasyon2).



Şekil 3.13. Pırnakapan köyü civarındaki Purlar Tepe'nin doğusunda bulunan evaporitlerdeki a) gri renkli kil damarı. b,c) laminallı doku. d) süt beyaz renkli ve alabastrindokulu jipsler.



Şekil 3.14. Güneypüt Tepe' nin doğusunda yer alan yarmadan alınan kesit (Lokasyon 3)



Şekil 3.15. Güneypüt Tepe' nin doğusundaki evaporit birim içerisinde gözlemlenen a) Anhidrit nodülleri ve satin spar jips damarlarının birlikte görünümü. b) Marnlı seviyeler arasında gelişen ikincil jips damarları. c) Lifî görünüme sahip satin spar doku. d) Tavuk-tel doku.

### 3.4. Evaporitlerin Mineralojisi

#### 3.4.1. Optik Mikroskopi İncelemeleri

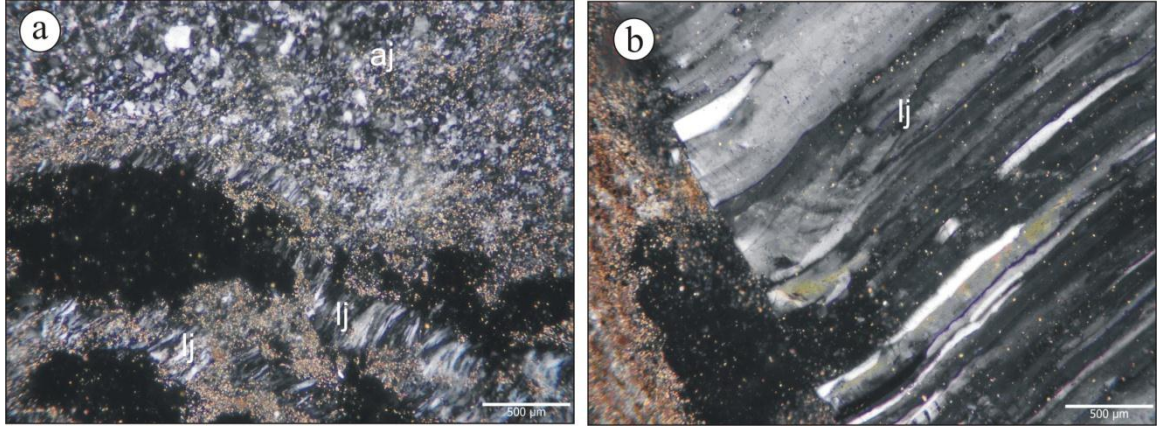
Çalışma sahası olan Pırnakapan köyü civarında 3 farklı lokasyonda istifin tamamını temsil etmek üzere farklı seviyelerden alınan örneklerden mineralojik ve petrografik tanımlamalar yapılmıştır. Özellikle makroskopik olarak farklı dokusal tanımlamaları ile dikkat çeken örnekler dikkate alınmıştır. Bölgedeki evaporitler baskın olarak jipslerden ve az miktarda anhidritlerden oluşur. Erken Miyosen yaşlı Adilcevaz formasyonu içerisindeki bu jipsler dokusal özelliklerine göre ikincil (diyajenetik) jips olarak tanımlanmıştır.

Pırnakapan' da Beyaz Sırtın batısında yer alan yarmadan (Lokasyon 1) alınan ve makroskobik olarak laminalı, alabastrin, nodüler bantlı ve bantlı doku gösteren örneklerden incekesitler hazırlanmıştır.

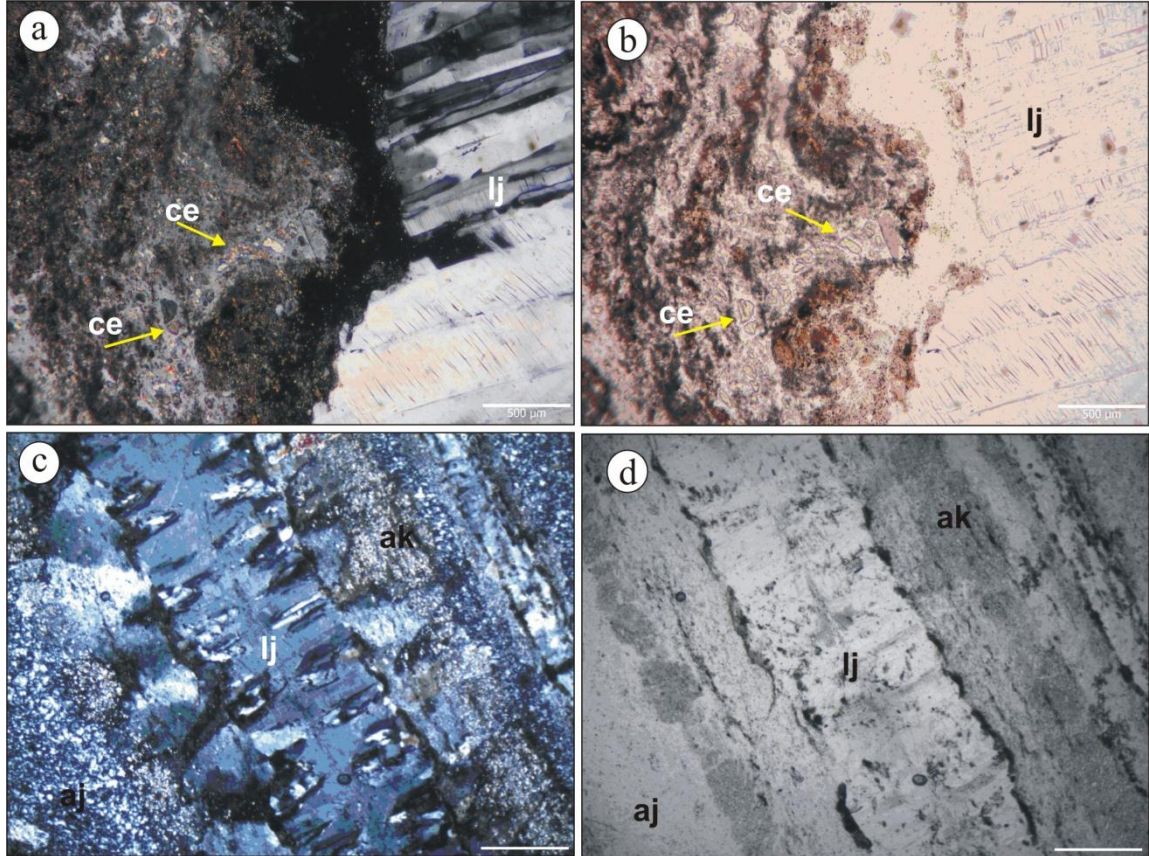
X-ışınları difraktometresi incelemelerinde genel olarak jips ve bazı örneklerde de jipse anhidritin eşlik ettiği gözlenen örneklerde; sedimantasyon sonrası tektonizmanın etkisi ile çeşitli kıvrımlanmalar kazanan bu laminalanmalı örneklerin incekesit çalışmalarında anhidritlerin su alması (hidrasyonu) sonucunda tabakalanmalar ve çatlaklar arasında lifsi jipslerin oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 3.16). Bu hidrasyon sırasında diyajenetik (epijenetik) sölestin ( $\text{SrSO}_4$ ) oluşumları da bu lifsi jipslerle birlikte gelişmiştir (Şekil 3.17 a,b). Benzer diyajenetik sölestin oluşumlarına Sivas havzasındaki Tuzhisar Formasyonunda da rastlanmaktadır (Gündoğan vd., 2005). Ayrıca laminalı-ince bantlı ikincil jipslerde laminalanmaya paralel olarak gelişen anhidrit kalıntılarının gözlenmesi ilksel litofasiyesin anhidrit bileşiminde olduğunu işaret etmektedir (Şekil 3.17c,d).

Makroskobik olarak süt beyaz renkli çok ince taneli ve eş boyutlu minerallerden oluşan, genel görünüşü çok küçük kristalli beyaz mermere benzeyen alabastrin dokulu jipsler çalışma alanında yaygın olarak gözlenmektedir (Şekil 3.13 d). Alabastrin dokulu ikincil jipsler ile birlikte makroskobik olarak beyaz, gri renklerde porfiroblastik jipslerde tespit edilmiştir (Şekil 3.11 h). Genelde bu iki doku birlikte bulunmaktadır ve bu tür ikincil jips dokuları mikroskopta kristal kenarları birbiri içine girik (dantelli-sütürlü) olarak gözlenir (Şekil 3.18). Kristal kenarları mikroskopla ayırt etmek oldukça zordur ve mikroskop tablası çevrildiğinde kristal kenarları birbirine girintili şekilde yanıp söner.



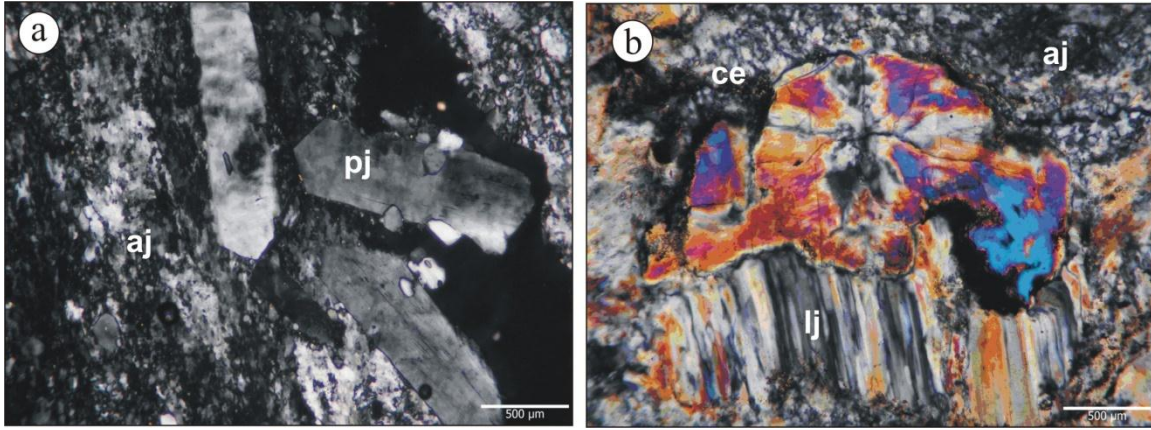


Şekil 3.16. a,b) Pırnakapan köyü civarından alınan evaporit örneğindeki lifli jips (satin spar jips) oluşumlarının Ç.N. görüntüleri (Lokasyon 1, Ö.No: D1-18). lj, lifsi jips; aj, alabastrin jips.



Şekil 3.17. Pırnakapan köyü civarından alınan örneklerdeki a) ve b) Lifsi jipslerle gelişen diyajenetik sölestin (ce) oluşumları (Ç.N. ve T.N.). c, d) Laminallı ikincil jips dokusu gösteren ve laminalanmaya paralel gelişen anhidrit kalıntıları (Ç.N. ve T.N.). ak, anhidrit kalıntıları; lj, lifli jips; aj, alabastrin jips (a ve c, Ç.N.; b ve d, T.N., Lokasyon 1, Ö.No., D1-17 ve D1-18).

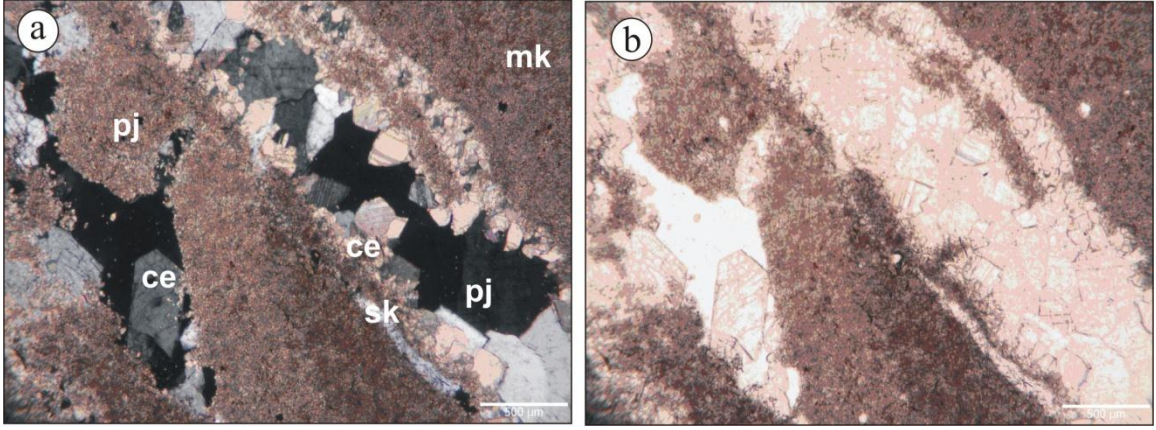
Alabastrin dokulu ikincil jipslerde meteorik yüzey alterasyonu nedeniyle porfiroblastlar genelde yarı özşekilli ve farklı boyutlarda olmasına rağmen bazen de özşekilli ve eş boyutlu porfiroblastlardan oluşmaktadır (Şekil 3.18 a). Bu porfiroblastların boyutları ikincil jipslerin yeniden kristallenmesine bağlı olarak gelişmektedir. Yer yer de bu porfiroblastlar ile birlikte anhidritlerin su alma kanallarında lifsi jips oluşumları ve özşekilsiz sölestin oluşumlarına da rastlanmaktadır (Şekil 3.18 b).



Şekil 3.18. Pınakapan köyü civarından alınan evaporit örneğindeki a) Alabastrin dokulu ikincil jipslerde gözlenen özşekilli ve yarı özşekilli porfiroblastik jipsler (pj). b) Porfiroblastlara eşlik eden lifli jips (lj) ve sölestin (ce) oluşumları. aj; alabastrin jips (Ç.N., Lokasyon 1, Ö.No., D1-32).

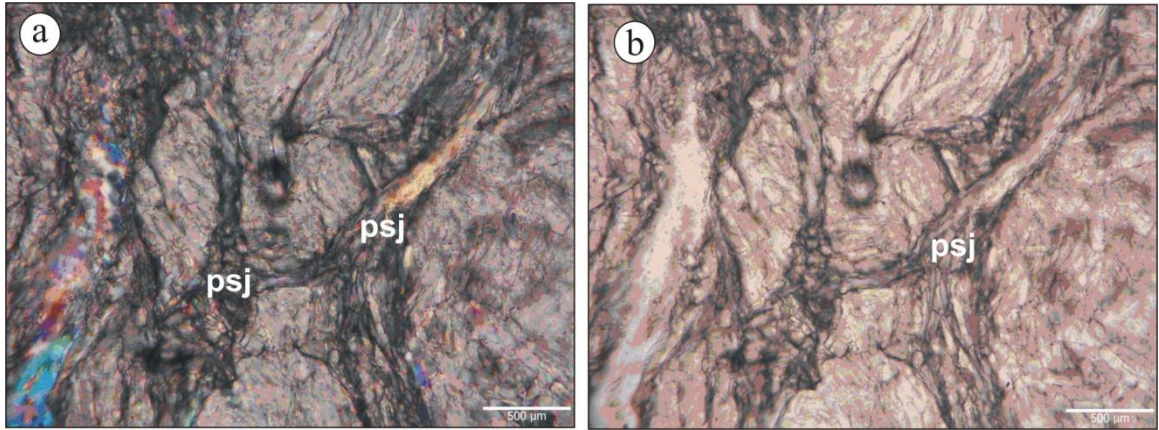
Alabastrin doku gösteren anhidritlerin su alması (hidrasyonu) sırasında mikritik karbonatlı kayaların çatlaklarında da lifsi jipslerle birlikte sölestin oluşumları gözlenmiştir. Bu örneğin XRD'sinde de jipsin yanı sıra kalsit belirlenmiştir (Şekil 3.23). Anhidritlerin su alması sonucu diyajenetik olarak gözlenen mikritik çimentolu kayanın çatlaklarında dış kısımdan içe doğru sırasıyla spar kalsit, özşekilsiz sölestin oluşumları ve porfiroblastik jips kristallenmeleri vardır. Bazen de bu çatlaklarda özşekilli sölestin mineralleri de tespit edilmiş olup, sölestinin kristallenmelerini takiben oluşan jipsler bu özşekilli kristalleri poikilitik olarak çimentolamıştır (Şekil 3.19).





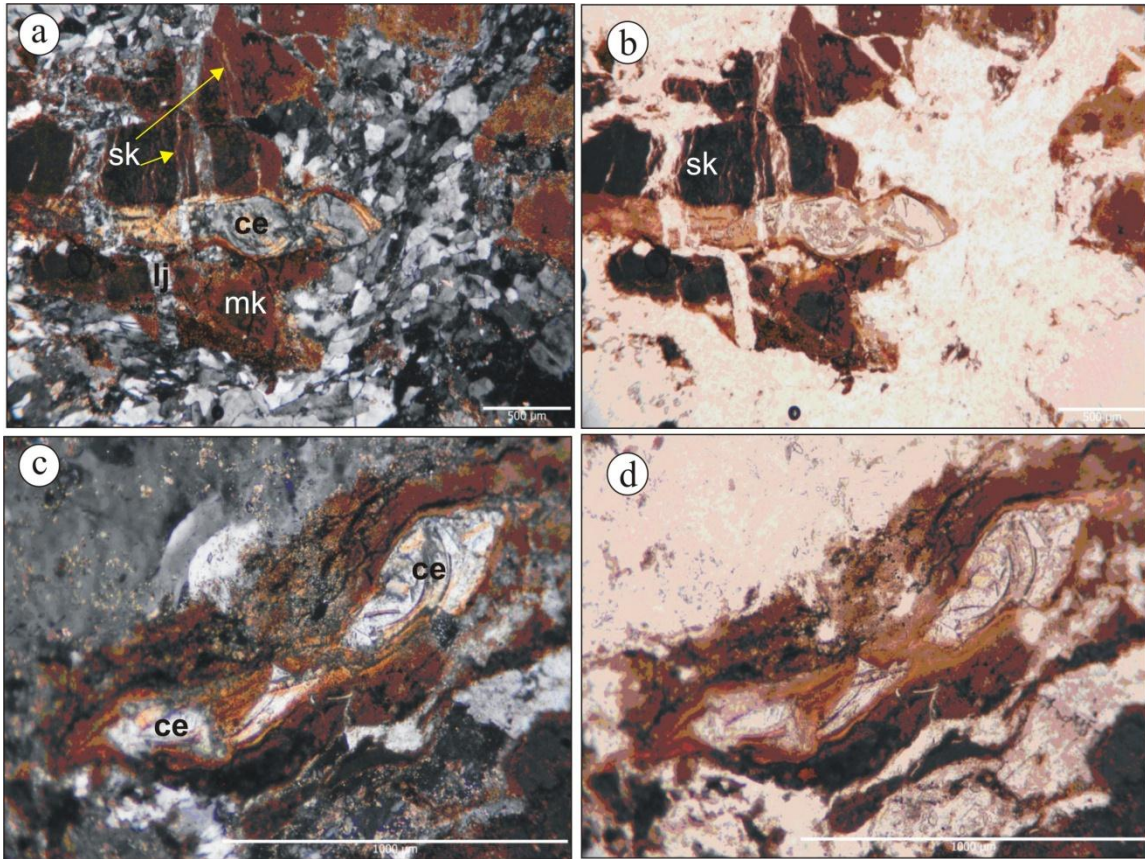
Şekil 3.19. a, b) Pırnakapan köyü civarındaki evaporit örneğinde gözlenen özşekilli sölestin (ce,  $\text{SrSO}_4$ ) oluşumlarının ve mikritik kalsit (mk) çimentolu karbonat kayası içindeki çatlakta dış çeperden içe doğru sırasıyla spar kalsit (sk), sölestin (ce) ve porfiroblastik jips (pj) kristallenmeleri ( Ç.N. (a) ve T.N.(b), Lokasyon1, Ö.No., D1-21).

Lokasyon 1' den alınan nodüler bantlı doku gösteren ve XRD' sinde de jipsin yanı sıra anhidritin eşlik ettiği bazı örneklerde (Şekil 3.25) anhidrit kalıntıları belirlenmiştir. Killi ve karbonatlı matriksi yüksek olan örneklerdeki nodüler yapıların dış kısımlarında ve kristal kenarlarında kısmen korunmuş olan anhidrit lataları psödomorf olarak gözlenmiştir. Anhidritlerin su alması (hidrasyonu) sonucu ikincil jipslerce ornatılarak psödomorfik yapılar gelişmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. a, b) Pırnakapan köyü civarındaki nodüler bantlı doku gösteren örneğin nodül kenarlarında gelişen anhidrit lataların anhidritlerin su alması sonucu alabastrin jipslerce ornatılmasıyla gelişen psödomorfik yapılar (psj). (Ç.N.(a) ve T.N.(b), Lokasyon 1, Ö.No., D1-24).

Pırnakapan köyü civarında açık işletme sahasından (Lokasyon 2) alınan makroskobik olarak laminalı doku gösteren XRD' sinde tipik olarak jipsi işaret eden (Ek Şekil 4) örneğin incekesit incelemesinde mikritik çimento içeren kayanın çatlaklarında oluşmuş spar kalsit ve porfiroblastik jips kristallenmelerine rastlanmaktadır (Şekil 3.21 a,b). Bu jips porfiroblastları genellikle yarı özşekilli ve irili ufaklı jips kristallenmelerinden oluşmaktadır. Spar kalsitler ise, mikritik kalsit içerisinde ince damar şeklindedir. Bunlarla birlikte lifsi jipsler de bazı kesimlerde gözlenmiştir. Mikrokristalli sölestin oluşumları ise yer yer fosil kavkı boşlukları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 3.21).

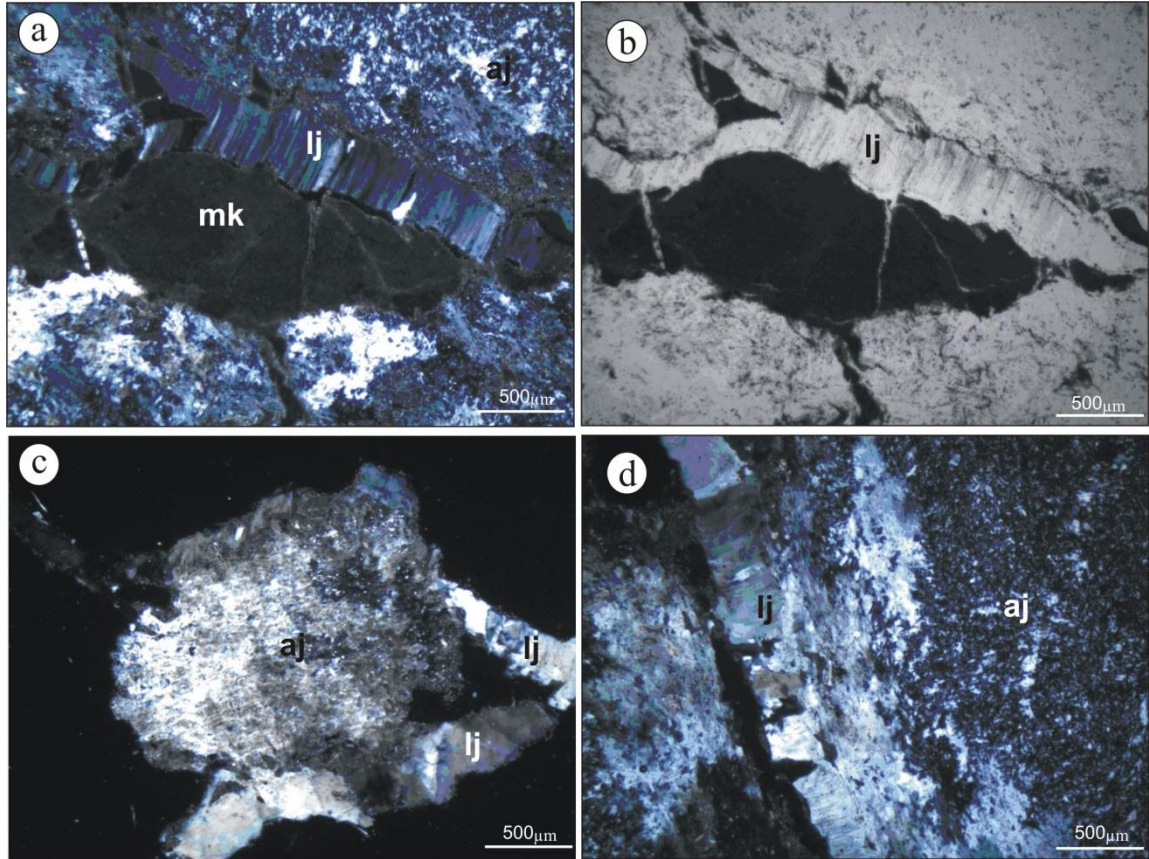


Şekil 3.21. Pırnakapan köyü civarındaki evaporit örneğindeki a, b) Mikritik kalsit (mk) çimentolu kayanın içerisinde gelişen spar kalsit (sk), porfiroblastik jips (pj) kristallenmeleri ve fosil kavkı boşluklarında gelişen sölestin (ce) oluşumları (Ç.N. ve T.N.). c, d) Fosil kavkı boşluklarında gelişen sölestin (ce) oluşumları (Ç.N. ve T.N.). lj: lifsi jips (Lokasyon 2, Ö.No., D2-3).

Pırnakapan köyü civarındaki Güneypıt Tepe' nin doğusunda yer alan yarmadan (Lokasyon 3) alınan örneklerden makroskobik olarak bantlı doku gösteren örneklerin incekesit incelemesinde damar şeklinde lifsi jipsler (satin spar) ve bunlara eşlik eden kristal



kenarları birbiri içine girintili olarak gözlenen alabastrin jipsler gözlenmiştir. Yer yer de mikritik kalsit ve çatlaklarda da gelişen spar kalsitlere rastlanmaktadır (Şekil 3.22 a,b). Çalışma alanında anhidrit nodülleri ile satin spar jips damarlarını kilin birbirine bağladığı örnekler (Şekil 3.15 a) üzerinde yapılan incelemelerde lifsi jipsler (satin spar jipsler) tespit edilmiştir. Ayrıca alabastrin jipslerin oluşturduğu anhidrit nodülleri de kesitte gözlenmektedir (Şekil 3.22 c,d).



Şekil 3.22. Pırnakapan köyü civarından alınan örneklerden a, b) Bantlı doku gösteren örnekteki alabastrin jips (aj) ve lifsi jipslerin (lj) kenarlarında gözlenen mikritik kalsit (mk) (Ç.N. ve T.N.). c, d) Alabastrin jipslerin (aj) oluşturduğu anhidrit nodülleri ve kilin birbirine bağladığı nodüller ile lifsi jipsler (lj) (Ç.N) (Lokasyon 3, Ö.No., D3-1 ve D3-2).

### 3.4.2. Evaporitlerin X-Işınları Difraksiyon (XRD) İncelemesi

Pırnakapan köyü civarındaki evaporitlerden yapılan 3 lokasyondan 28 adet XRD çekilmiş olup, bu XRD'lerle evaporitik serinin mineral parajenezi belirlenmeye çalışılmıştır. Lokasyon 1' den 21 adet, lokasyon 2' den 3 adet ve lokasyon 3' den 4 adet

XRD çekilmiştir. Elde edilen sonuçlar mineral gruplarına göre verilmiş olup, her bir mineralin X-ışınları difraktogramı sunulmuştur (Ek Şekil 3). XRD'ler JCPDS kart numaralarına göre tespit edilmiştir. Genel olarak örneklerin hepsinde jips minerali saptanmıştır. JCPDS 6 – 46 kart numarasına göre 7.56 – 3.06 – 4.27 ve 21 -816 kart numarasına göre ise, 2.87 – 4.28 – 2.68 – 7.61 jipsin piklerini göstermektedir. Bazı örneklerde jipse anhidrit, kalsit eşlik etmektedir.

### Karbonatlar

Çalışma alanında yapılan mineralojik tayinlerde karbonat mineralleri olarak dolomit ve kalsite rastlanılmıştır.

#### Kalsit

Formül :  $\text{CaCO}_3$

Kristal sistemi : Trigonal

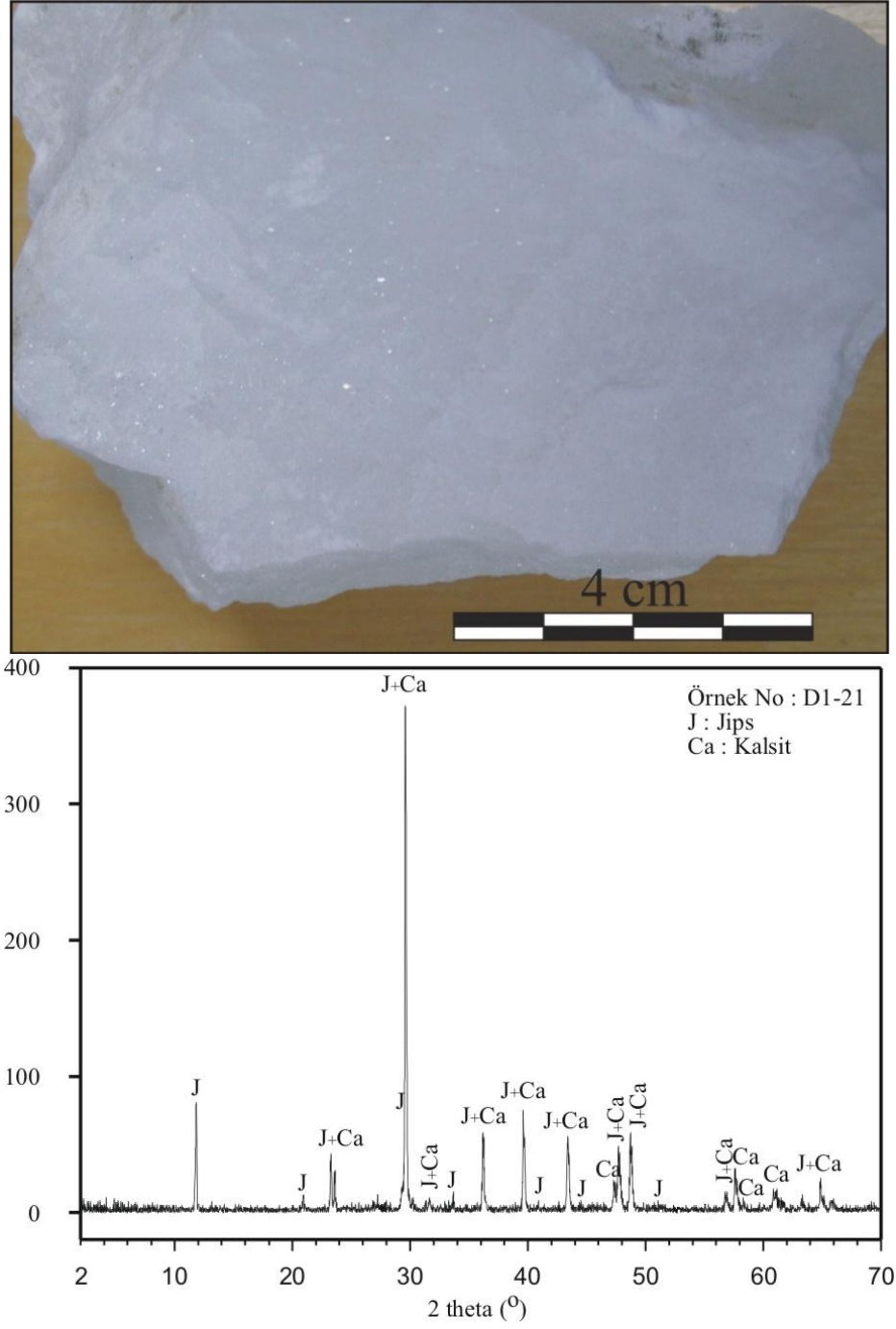
Özgül Ağırlık : 2.71

Sertlik : 3

Kalsitin üç önemli habiti vardır: 1) prizmatik, 2) rombohedral, 3) skalenohedral. İyi dilinime sahiptir ve renkleri renksizden beyaz, gri, pembeye kadar değişebilir.

Sinsedimanter kökene sahip olan kalsit minerali jipsli seviyelerde çok fazla gözlenmemesine rağmen en çok bulunan mineraldir. Yüzeğe yakın koşullarda meteorik suyun etkisi ile yüzey alterasyon zonları gelişir ve bu zonlarda jipsin veya diğer evaporit minerallerinin yerini alabilir (Gündoğan, 2000). Fakat çalışma alanında kalsit minerali bu tür oluşumlar göstermediği için gözlenen tüm kalsit mineralleri sinsedimanter kökeni ifade etmektedir.

Lokasyon 1' de bulunan jips üyesi içerisinde bulunan alabastrin porfiroblastik doku gösteren örneklerdeki porfiroblastların ikincil jips olduklarını belirtmektedir. Alabastrin doku gösteren D1-21 numaralı örneğin XRD sinde ise jips mineraline kalsit eşlik etmektedir (Şekil 3.23). Kalsit mineralinin bulunması bu örneğin karbonatlı bir kayac olduğunu belirtmektedir.



Şekil 3.23. Pırnakapan köyü civarında lokasyon 1' den alınan D1-21 numaralı alabastrin doku gösteren örneğin makroskobik görünümü (üstte) ve XRD grafiği (altta).

## Ca-sülfat mineralleri

### Jips

Formül :  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Kristal sistemi : Monoklinik

Özgül Ağırlık : 2.3-2.4

Sertlik : 2

Jips monoklinik sistemin prizmatik sınıfında kristallenir ve hem denizel hem de denizel kökenli olmayan evaporitlerde yaygın olarak görülen bir mineraldir. Genellikle prizmatik, iğnemsî, merceğimsî kristallenme habitine sahiptir.

Bölgede genel olarak tüm örneklerde farklı dokusal özellikler içerisinde en çok rastlanılan sülfat minerali olan jips minerali gözlenmiştir. Bu jips minerali alabastrin, porfiroblastik, laminalı, bantlı, nodüler, tavuk tel ve satinspar gibi farklı dokularda tespit edilmiştir.

Lokasyon 1' den alınan D1-1, D1-2, D1-4, D1-5, D1-10, 15, 17, D1-17 alt, D1-18 ve D1-33 numaralı örnekler laminalı doku göstermektedir. Bu laminalı doku gösteren örneklerin XRD'lerinde genel olarak jips gözlenmekte olup, bazı örneklerde de anhidrit ile birlikte bulunmaktadır (Ek Şekil 3). D1-7 numaralı örnek bantlı, D1-11, D1-19, D1-21, D1-27 numaralı örnekler alabastrin ve D1-23, D1-32 numaralı örnekler alabastrin porfiroblastik doku göstermektedir. Örneklerin XRD'leri tipik olarak jips piklerini göstermektedir (Ek Şekil 3).

Örneklerde en fazla gözlenen jips minerali bazı seviyelerde killi, karbonatlı seviyelerde kalsit ve dolomit ile birlikte bulunmaktadır. D1-14 ve E2 numaralı örnekler killi seviyelerin üst kısımlarında gelişen serbest büyümeli jips kristallerini temsil etmekte olup, bu örneklerin XRD leri de tipik jips minerali piklerini göstermektedir (Ek Şekil 3, Şekil 3.24). Jipsler optik mikroskopi çalışmalarında ikincil jips olarak sınıflandırılmış olup, anhidritin su alması ile oluştuğunu ifade etmektedir.

Lokasyon 2' den alınan örneklerde laminalı doku (D2-3), alabastrin doku (D2-4) mevcut olup, bu örneklerin XRD sinde tipik olarak jips gözlenmektedir (Ek Şekil 3).

Lokasyon 3' den alınan örneklerde bantlı doku (D3-2), satin spar doku (D3-3a,b) gözlenmektedir. Bu örneklerin XRD'sinde tipik jips minerali pikleri tespit edilmiştir (Ek Şekil 3).

### Anhidrit

Formül :  $\text{CaSO}_4$

Kristal sistemi : Ortorombik

Özgül Ağırlık : 2.89-2.98

Sertlik : 3-3.5

Anhidritin ana kristallenme habiti prizmatik, iğnemsî ve tabulerdir. Genelde beyaz, mavimsî ve bazen grimsî renkte gözlenmekte olup, dilinimleri mükemmeldir.

Çalışma alanındaki örneklerde jipse eşlik eden mineral olan anhidrit minerali örneğin ana minerali olacak şekilde Pırnakapan civarında genellikle lokasyon 1' deki D1-22 ve D1-24 numaralı örneklerde laminalanma ile birlikte nodüler dokuda gözlenmektedir. Bu örneklerin XRD'lerinde tipik olarak anhidrit ve bununla birlikte jips mineralide tespit edilmiştir (Ek Şekil 3, Şekil 3.25 ). Ayrıca lokasyon 3'te de D3-1 numaralı örnekte nodüler doku içerisinde jipsin yanı sıra anhidritte bulunmaktadır (Ek Şekil 3).

Anhidritin yaygın olarak bulunmamasının nedeni duraylı bir mineral olmayıp özellikle yüzey koşulları altında meteorik su ile reaksiyona girerek jipse dönüşmesinden kaynaklanmaktadır.

Anhidritten türeyen ikincil jips lithofasiyesi sabhka ortamını yansıtan nodüler ve entrolitik dokular ile karakterize edilirler (Gündoğan 2000). Aşkale havzasında genel olarak nodüler doku yaygın olup, bunun yanı sıra porfiroblastik ve alabastrin doku gösteren ikincil jipslerde yaygın olarak gözlenmektedir. Pırnakapan köyü civarında yapılan hem mikroskop hem de XRD çalışmalarında nodüler- bantlı dokular içerisinde kısmen altere olmayan anhidrit nodülleri tespit edilmiştir.

### Diğer mineraller

#### Epsomit

Formül :  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

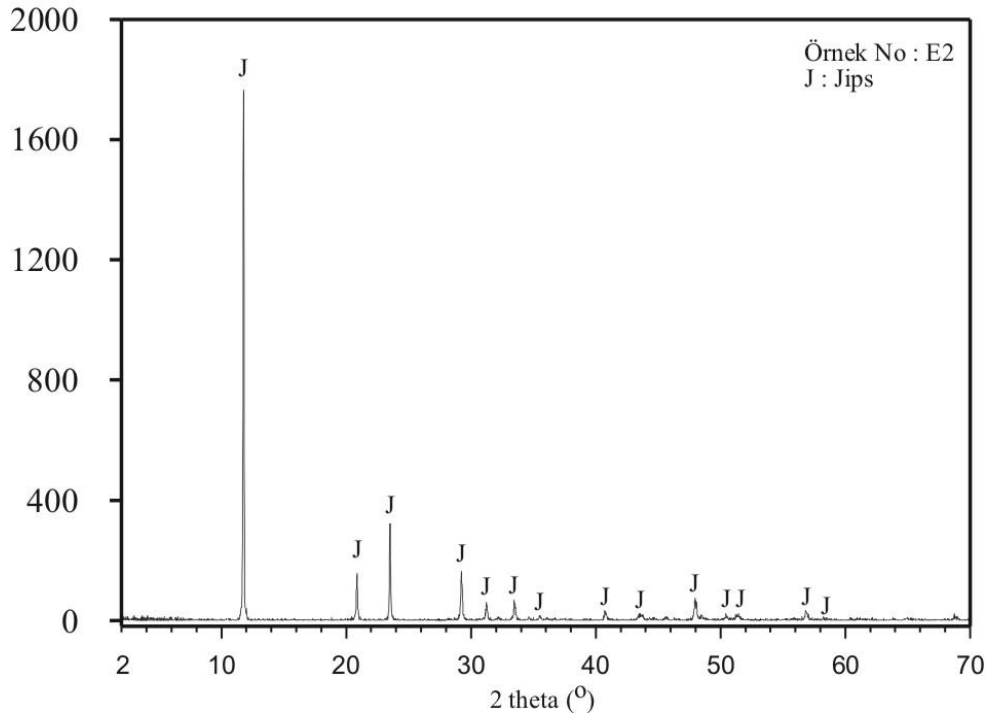
Kristal sistemi : Ortorombik

Özgül Ağırlık : 1.68

Sertlik : 2-2.5

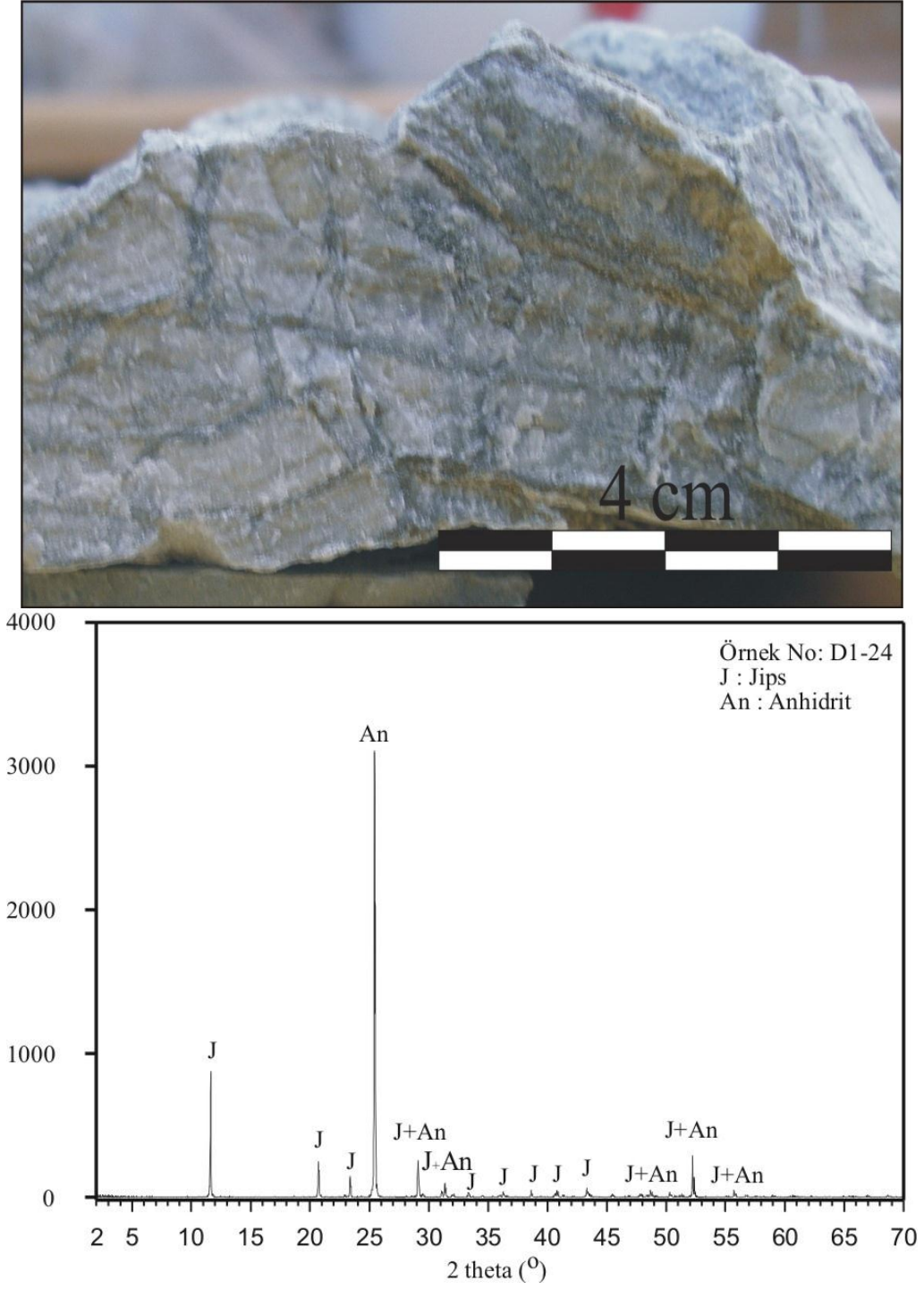
Epsomit bir Mg-sülfat minerali olup çalışılan havza içerisinde oldukça nadir bulunan bir mineraldir. Pırnakapan civarındaki lokasyon 2 den alınan D2-1 numaralı örnekte, jips, kalsit, lutesit ve simektit ile birlikte epsomit gözlenmiştir (Şekil 3.26). Bu mineraller örneğin killi bir seviye olduğunda doğrulamaktadır. Benzer epsomit tanımlamaları

Gündoğan (2000) tarafından Kırmir Formasyonu içerisinde bulunan kilttaşlarında da yapılmıştır.

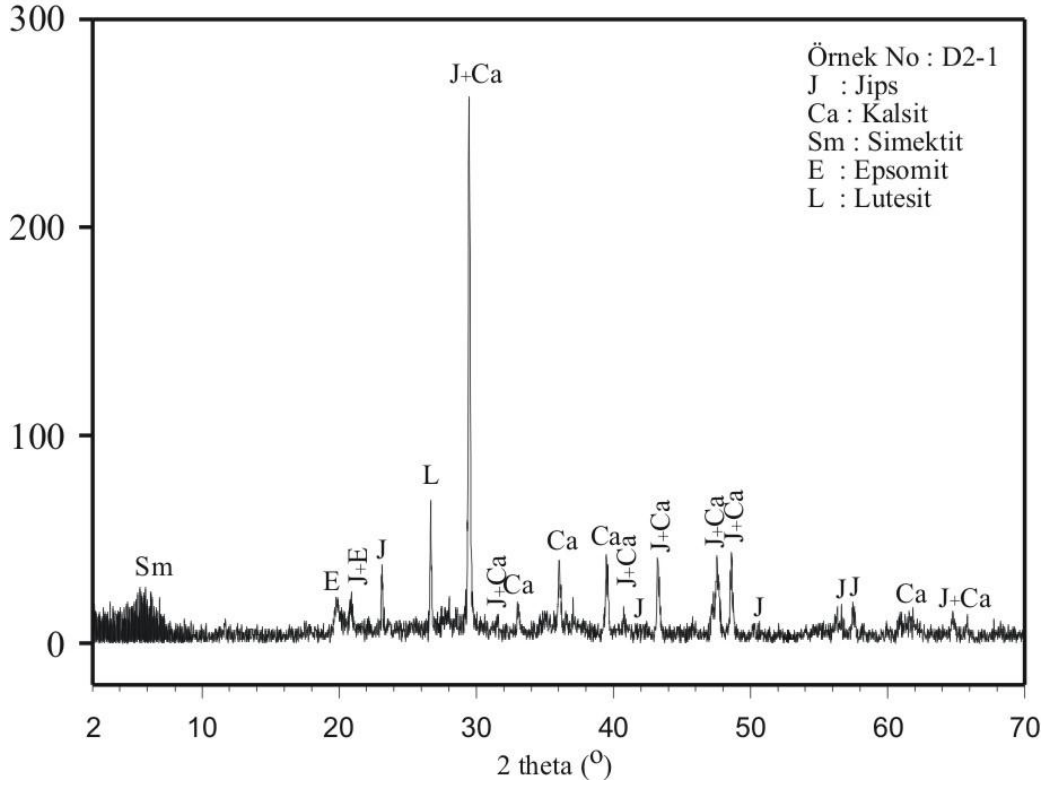


Şekil 3.24. Pırnakapan köyü civarında lokasyon 1' den alınan E2 numaralı serbest büyümeli jips kristalinin makroskobik görünümü (üstte) ve XRD grafiği (altta).





Şekil 3.25. Pırnakapan köyü civarında lokasyon 1' den alınan D1-21 numaralı nodüler doku gösteren örneğin makroskobik görünümü (üstte) ve XRD grafiği (altta).



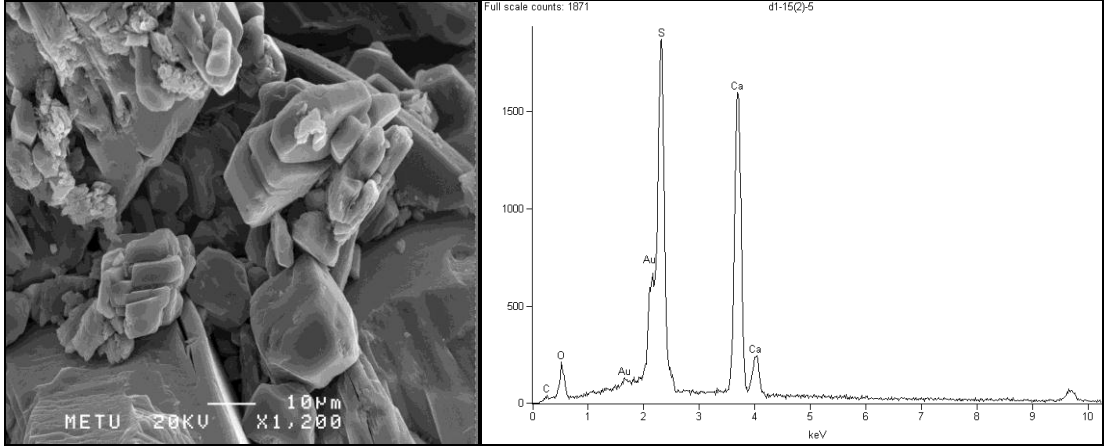
Şekil 3.26. Pırnakapan köyü civarında lokasyon 2' den alınan D2-1 numaralı kil örneğinin XRD grafiği.

### 3.4.3. Evaporitlerin SEM-EDX İncelemeleri

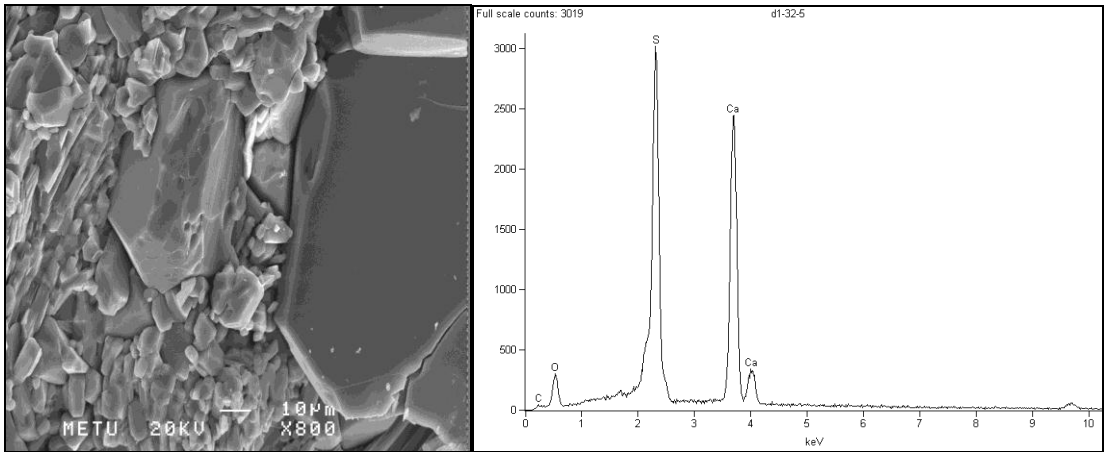
Pırnakapan köyü çevresinden alınan farklı dokusal özellikler gösteren örneklerde SEM-EDX çalışmaları yapılmıştır.

Alabastrin doku gösteren örneklerde genellikle özşekilli ve eş boyutlu jips kristalleri gözlenmiştir (Şekil 3.27). Bu jips kristallerinin bazı seviyelerinde jips porfiroblastları gözlenmiştir. Bu porfiroblastlar özşekilli ve boyutları 2 tiptir. Bazı kesimlerde tek tip jips kristallerinden bazı kesimlerde ise, farklı boyutlardaki jips kümelerinden oluşmaktadır (Şekil 3.28). Bu 2 tip boyutta oluşan jips kristalleri farklı zaman diliminde oluştuğunu ifade etmektedir.



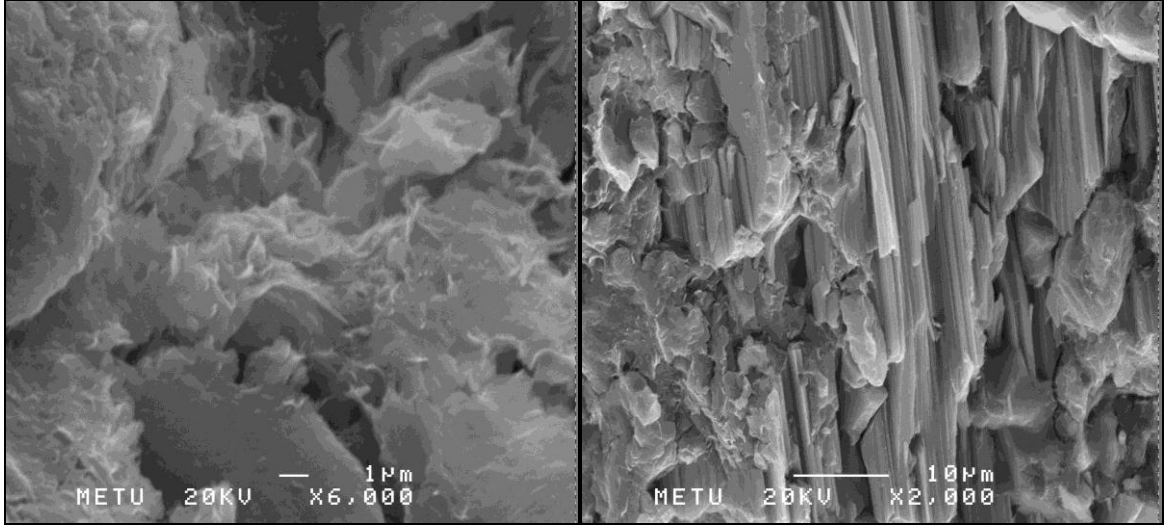


Şekil 3.27. a) Alabastrin doku içerisinde eş boyutlu, özşekilli jips kristallerinin SEM görüntüleri, b) EDX analiz sonuçları (Lokasyon 1: Pınakapan, Örnek No: D1-15).



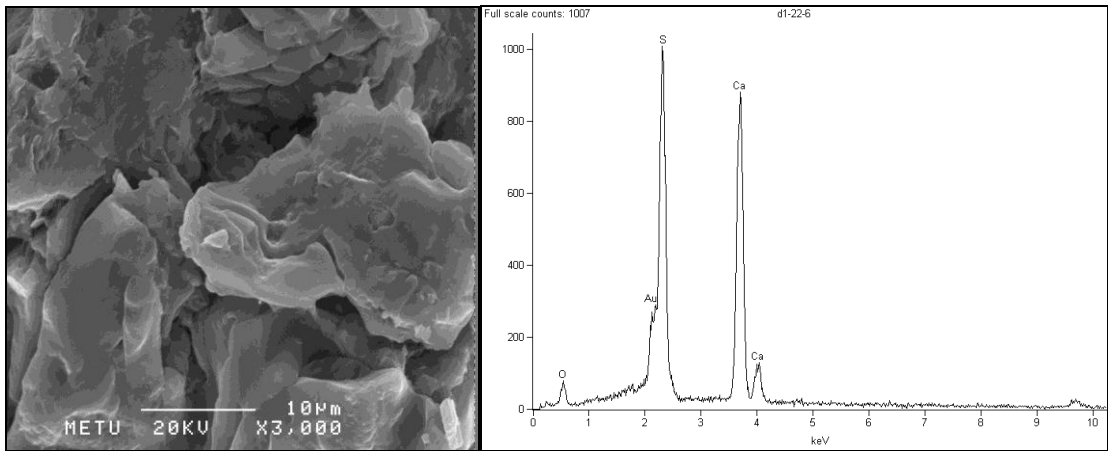
Şekil 3.28. a) Alabastrin dokuda gelişmiş jips porfiroblastlarının SEM görüntüleri, b) EDX analiz sonuçları (Lokasyon 1: Pınakapan, Örnek No: D1-32).

Laminalı doku gösteren örneklerde yapılan incelemelere göre laminaların arasında gelişen koyu renkli bantlar dalgalı morfolojiyi ve yapraklardaki lifi uzanımların varlığını işaret etmektedir. EDX çalışmalarına göre aralarındaki katmanların Ca simektitlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Örneklerin bazı kısımlarında jipsler özşekillidir ve kil seviyelerinin laminalanma gösterdiği düzleme paralel olarak gelişen jipsler genellikle tabuler morfolojiyi göstermektedir. Bu örnekler oluşum sonrası deformasyondan etkilenmiş ve yer yer bükülmeler, mikro kıvrımlanmalar, kırıklar gösterir (Şekil 3.29).



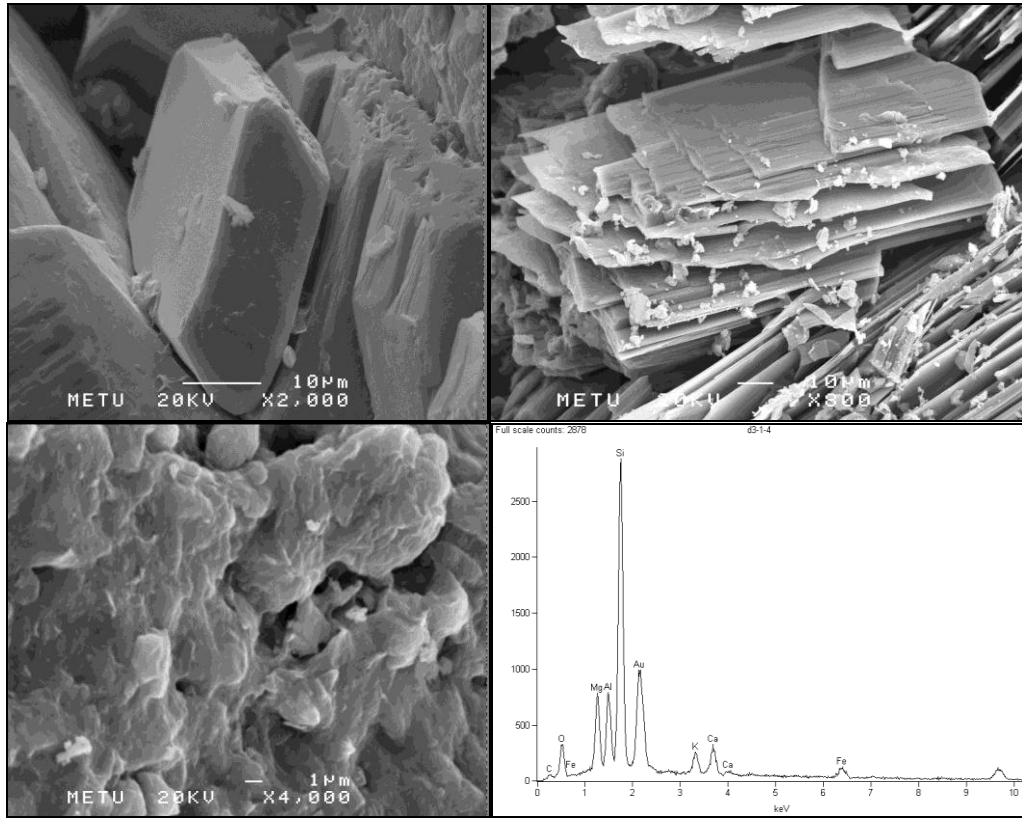
Şekil 3.29. Laminalı doku gösteren örnekte a) deformasyonlar sebebi ile jipslerde meydana gelen kırılma ve parçalanmalar, b) illit/simektit karışık tabakalı kil minerali, tabuler morfoloji sunan jips araldanması, SEM görüntüsü (Lokasyon 1: Pırnakapan, Örnek No: D1-4).

Nodüler doku gösteren örneklerde genellikle farklı boyutlardaki jips nodülleri arasında makroskobik olarak gözlenen kahverengi renkli bağlayıcı malzemenin SEM incelemeleri esnasında kil minerali olduğu belirlenmiştir. Genellikle simektit grubunda görülen özelliği işaret eden dalgalı morfoloji göstermektedir. Ayrıca yapraklar boyunca lifi görünümü ise illitik bir bileşenin varlığını gösterir. Yapraksı-lifi morfoloji gösteren kil mineralinin EDX analizi sonucunda illit / simektit karışık tabakalı kil minerali olduğunu işaret etmektedir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Nodüler doku gösteren örnekte a) dalgalı morfolojinin SEM görüntüsü, b) EDX analiz sonuçları (Lokasyon 1: Pırnakapan, Örnek No: D1-22).

Satin spar doku gösteren örneklerin arasında genellikle makroskobik olarak nodüller gözlenmektedir. Bu örneklerin SEM incelemelerinde nodüller bazı kesimlerde eş boyutlu ve öz şekillidir. EDX analiz sonuçlarına göre, satin spar damarlar ve nodüller arasında bağlayıcı olarak kil mineralinin varlığı tespit edilmiştir. Bu simektit mineralinin varlığını işaret etmektedir. Ayrıca SEM görüntülerinde de dalgalı morfoloji göstermesi simektit olduğunu gösterir. Yapraksı-lifi morfoloji gösteren kil mineralinin EDX analizi sonucunda illit/simektit karışık tabakalı kil minerali olduğunu işaret etmektedir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Satin spar doku gösteren örnekte a) özşekilli jips kristalleri, b) illit/simektit karışık tabakalı kil minerali, yapraksı-lifi morfoloji sunan jips ardalanması, c) deformasyonlar sebebi ile jipslerde meydana gelen kırılma ve parçalanmalar ardalanması, SEM görüntüsü d) EDX analiz sonuçları (Lokasyon 3: Pırnakapan, Örnek No: D3-1).

### 3.5. Evaporitlerin Jeokimyası

#### 3.5.1. Giriş

Akdeniz evaporitleri olarak tanımlanan ve Türkiye'yi de içerisine alan bölge içerisinde yer alan evaporitler farklı ortamsal koşullarda gelişmişlerdir. Sığ kıyı, sabkha, lagün, derin denizden denizel olmayan taze su ortamlarına kadar değişen ortamların jeokimyasal ve mineralojik izlerini taşıyan bu evaporitlerin paleocoğrafik ve tektonik ortamları kıta kenarı, şelf, kraton basenleri ve rift kıta yamaçları olmak üzere değişkendir. Bu kadar farklı ortamsal koşullarda gelişmiş olan evaporitlerin çoğu kez oluşum ortamlarını yansıtan jeokimyasal özellikleri net olarak bir oluşum ortamının varlığını işaret etmez. Ayrıca, oluşum sonrası etkin olan diyajenetik olaylar da evaporitik serilerinin karakteristiklerini daha da karmaşıklarlaştırır. Akdeniz evaporitleri olarak tanımlanan bölge evaporitleri genellikle Tersiyer yaşlıdır ve daha yaşlı oluşuklar oldukça nadirdir. Bu açıdan irdelendiğinde; Türkiye'de Paleosen'den Miyosen'e kadar değişen zaman aralığında gelişmiş evaporitik kayaçlar bulunmaktadır. Bu yataklardan elde edilen jeolojik, mineralojik, sedimentolojik, paleontolojik ve jeokimyasal bulgular denizel ve denizel olmayan evaporitlerin Türkiye'de varlığına işaret etmektedir (Akkuş, 1971; Ergun, 1977; Baysal ve Ataman, 1980; Ketin, 1983; Bozkaya ve Yalçın, 1992; Atabey, 1993; Yağmurlu ve Helvacı, 1994; Helvacı ve Yağmurlu, 1995; Ceyhan, 1996; Erdoğan vd., 1996; Helvacı ve Ortı; 1998; Ortı vd., 1998; Çiner vd., 2002; Palmer vd., 2004; Zeybek, 2007, Tekin vd., 2010).

Pırnakapan köyü (Aşkale, Erzurum) civarında yer alan evaporitik kayaçların jeokimyasal özelliklerini ortaya koymak ve oluşum koşullarını irdeleyebilmek amacı ile 3 lokasyondan seçilen 18 örnek üzerinde ana (%), iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) analizleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.1 ve 3.2). Örneklerin seçiminde arazi özellikleri, mineralojik bulgular ve dokusal özellikler göz önüne alınmıştır. Yapılan jeokimyasal analizler sonucunda saptama limitinin altında kalan iz elementler ve nadir toprak elementlerden Y ve Sc tablolarında yer almamaktadır. Elde edilen veriler ışığında, Pırnakapan evaporitlerinin tüm-kayaç jeokimyası özellikleri ortaya konularak, oluşum koşulları ve köken değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 3.1. Pırnakapan köyü civarı evaporitik kayaların ana (%) ve iz (ppm) element içerikleri (nbj: nodüler bantlı jips, lm: laminalı jips, aj: alabastrin jips, pj: porfiroblastik jips, bj: bantlı jips).

Örnek No Dokular	D1-1	D1-2	D1-5	D1-10	D1-11	D1-13	D1-15	D1-18	D1-25	D1-28	D1-30	D2-4	D3-1	D3-2	D1-22	D1-24	D2-2	D1-21
	nbj	lm	lm	lm	aj	lm	jj	aj	aj	aj+pj	aj+pj	aj	sj	bj	Nbj Anhidrit	Nbj	kil kıltaşı	aj kireçtaşı
SiO <sub>2</sub>	2.23	1.52	0.81	0.88	0.21	0.43	1.78	1.56	0.05	0.03	1.55	0.16	3.92	2	0.13	0.18	30.34	2.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.56	0.36	0.18	0.11	0.03	0.04	0.19	0.37	0.01	d.l.a.	0.28	0.04	0.94	0.22	0.03	0.06	8.99	0.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	0.25	0.18	0.1	0.12	0.02	0.04	0.11	0.18	0.02	0.01	0.17	0.03	0.42	0.13	0.03	0.04	4.85	0.28
MnO	0.004	0.003	0.002	0.008	0.002	0.002	0.004	0.006	0.002	0.002	0.007	0.003	0.007	0.005	0.002	0.003	0.077	0.009
MgO	0.36	0.34	0.21	2.55	0.09	0.04	1.38	1.05	0.02	0.04	0.36	0.02	1.18	1.7	0.03	0.05	2.66	0.59
CaO	30.92	30.69	31.99	29.8	31.99	32.3	30.42	30.06	32.98	32.68	32.25	32.1	30.2	30.98	41.85	40.23	21.57	48.14
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.02	0.02	0.01	d.l.a.	d.l.a.	0.02	0.02	d.l.a.	d.l.a.	0.01	d.l.a.	0.13	0.02	0.03	0.05	0.63	0.05
K <sub>2</sub> O	0.19	0.1	0.03	0.03	d.l.a.	d.l.a.	0.03	0.17	d.l.a.	d.l.a.	0.07	d.l.a.	0.16	0.04	d.l.a.	0.01	1.39	0.29
TiO <sub>2</sub>	0.029	0.019	0.009	0.006	0.002	0.002	0.009	0.019	d.l.a.	d.l.a.	0.013	0.002	0.047	0.011	0.002	0.003	0.493	0.025
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	d.l.a.	0.01	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.01	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.02	d.l.a.	0.02	0.02	0.09	0.04
A.K.	21.82	21.48	21.38	22.82	20.81	20.93	21.56	21.85	20.99	20.76	21.24	20.66	22.69	21.76	3.65	3.38	26.77	39.01
Toplam	56.39	54.72	54.73	56.33	53.15	53.78	55.50	55.30	54.07	53.52	55.95	53.02	59.71	56.87	45.77	44.03	97.86	91.43
CO <sub>2</sub>	0.37	0.25	0.22	3.64	0.09	0.18	1.52	1.04	0.07	0.14	0.79	0.38	0.59	2.36	0.06	0.28	17.9	38.6
SO <sub>4</sub>	59.4	60	60.6	56.9	61.7	60.8	58.6	59.5	61	61.8	59.3	59.8	56	56.4	75.5	73.6	2.1	6.1
B	14.5	9.4	2.4	5.5	3.4	3.7	15	20.3	1.8	4.9	3.1	d.l.a.	7.6	15.2	8.2	17.7	74.9	13.8
V	13	11	9	10	7	8	10	10	7	7	9	8	15	10	8	6	98	17
Ba	16	32	12	47	16	9	49	20	1	1	11	8	34	41	d.l.a.	d.l.a.	84	91
Sr	1312	2978	1911	4849	6464	2238	1681	1928	806	865	909	1334	1118	1710	1197	1023	631	15150
Y	0.8	0.7	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.6	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	1.2	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	11.2	1.3
Zr	4.1	3.3	0.9	0.5	1.5	d.l.a.	5.8	2.4	d.l.a.	d.l.a.	1.9	d.l.a.	8.9	2.1	0.4	0.3	75.1	4.2
Co	0.8	0.5	0.5	0.7	0.1	0.3	0.6	0.8	0.1	0.1	0.6	0.2	2.2	0.6	0.1	0.1	22.1	1.3
Ni	8.9	4.8	4.8	6.8	2.2	3	6.7	8	2.1	1.9	5	2.3	21.4	7.2	1.7	1.5	192	11.1
Cu	2.08	2.08	1.23	2.26	0.66	1.16	1.33	1.74	3.24	0.54	1.8	0.87	3.8	1.61	0.93	0.56	27.8	2.67
Zn	3.5	2.3	1.4	1.7	1	2.9	2	1.8	2.4	1.5	3	0.8	6.8	2.5	1.8	0.9	110	3.1
As	1.7	1	1.6	1.3	0.4	0.5	1.6	1.8	1.2	0.6	1.1	0.4	4.5	1.8	4.9	1.4	6	2.3
Rb	2.4	1.3	0.2	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.6	1.3	d.l.a.	d.l.a.	1	d.l.a.	4.6	1.2	0.3	0.2	45.2	3.5
Nb	0.8	0.58	0.19	0.11	d.l.a.	0.04	0.23	0.21	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.16	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	5.81	0.29
Ag	d.l.a.	0.009	d.l.a.	0.004	d.l.a.	d.l.a.	0.003	d.l.a.	0.032	0.009	0.012	0.011	0.005	0.013	0.098	0.02	d.l.a.	0.004
Pb	0.63	0.21	0.1	0.17	0.05	0.04	0.44	0.3	0.06	0.04	0.26	0.07	2.12	0.55	0.11	0.05	8.89	0.78
Th	0.22	0.17	0.06	0.06	0.04	d.l.a.	0.1	0.15	d.l.a.	d.l.a.	0.11	d.l.a.	0.88	0.17	0.06	0.08	3.69	0.3
U	0.163	0.183	0.123	0.254	0.095	0.043	0.084	0.225	d.l.a.	d.l.a.	0.101	0.094	0.16	0.128	0.045	0.058	3.74	2.57

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Uçucular. H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>, sadece sülfat minerallerince içerilen sülfat. d.l.a.: dedeksiyon limitinin altında.

Tablo 3.2. Aşkale (Erzurum) ilçesi Pırnakapan köyü civarına ait evaporitik kayaların nadir toprak element (ppm) içerikleri (nbj: nodüler bantlı jips, lm: laminalı jips, aj: alabastrin jips, pj: porfiroblastik jips, sj: satin spar jips, bj: bantlı jips).

Örnek No Dokular	D1-1	D1-2	D1-5	D1-10	D1-11	D1-13	D1-15	D1-18	D1-25	D1-28	D1-30	D2-4	D3-1	D3-2	D1-22	D1-24	D2-2	D1-21
	nbj	lm	lm	lm	aj	lm	aj	aj	aj	aj+pj	aj+pj	aj	sj	bj	nbj			aj
Jips															anhidrit	kıltaşı	kireçtaşı	
La	0.85	1.3	0.38	0.26	0.08	0.23	0.56	0.71	0.18	0.09	0.64	0.17	1.97	0.46	0.18	0.48	11.8	1.47
Ce	1.62	2.1	0.74	0.5	0.22	0.42	0.98	1.28	0.33	0.19	1.12	0.31	3.71	0.94	0.36	1.1	22.8	2.68
Pr	0.18	0.18	0.08	0.05	0.02	0.03	0.1	0.17	0.03	0.01	0.12	0.02	0.4	0.1	0.04	0.13	2.7	0.33
Nd	0.55	0.63	0.28	0.13	0.11	d.l.a.	0.28	0.58	d.l.a.	d.l.a.	0.28	d.l.a.	1.38	0.36	0.07	0.51	10.4	1.26
Sm	0.09	0.12	d.l.a.	0.02	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.06	d.l.a.	d.l.a.	0.02	d.l.a.	0.25	0.07	0.02	0.12	2.16	0.27
Eu	0.019	0.028	d.l.a.	d.l.a.	0.009	d.l.a.	d.l.a.	0.007	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.036	0.021	0.006	0.015	0.58	0.056
Gd	0.14	0.12	0.04	0.02	0.03	d.l.a.	0.03	0.06	d.l.a.	d.l.a.	0.05	d.l.a.	0.19	0.07	0.02	0.15	2.06	0.24
Tb	0.02	0.01	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.03	d.l.a.	d.l.a.	0.02	0.34	0.04
Dy	0.09	0.08	0.02	0.02	0.03	d.l.a.	0.01	0.05	d.l.a.	d.l.a.	0.02	d.l.a.	0.16	0.06	0.02	0.11	1.92	0.25
Ho	0.02	0.01	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.01	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.04	0.01	d.l.a.	0.02	0.38	0.05
Er	0.06	0.05	0.02	0.01	0.02	d.l.a.	0.01	0.04	d.l.a.	d.l.a.	0.02	d.l.a.	0.1	0.04	0.01	0.04	1.12	0.13
Tm	0.008	0.006	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.012	0.007	d.l.a.	0.007	0.17	0.022
Yb	0.04	0.03	d.l.a.	d.l.a.	0.01	d.l.a.	d.l.a.	0.02	d.l.a.	d.l.a.	0.01	d.l.a.	0.06	0.04	0.02	0.05	1.12	0.15
Lu	0.004	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	d.l.a.	0.007	0.005	d.l.a.	0.007	0.17	0.023
La <sub>N</sub> /Lu <sub>N</sub>	3.204	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.243	1.387	-	1.034	1.047	0.964
Ce <sub>N</sub> /Ce <sup>*</sup>	0.961	0.964	0.984	1.011	1.283	1.112	0.949	0.859	1.022	1.353	0.930	1.148	0.967	1.018	0.987	1.027	0.940	0.895
Eu <sub>N</sub> /Eu <sup>*</sup>	0.690	0.982	-	-	-	-	-	0.491	-	-	-	-	0.693	1.263	1.263	0.466	1.158	0.927

Ce<sub>N</sub>/Ce<sup>\*</sup> = Ce<sub>N</sub>/((La<sub>N</sub>+Pr<sub>N</sub>)/2), Eu<sub>N</sub>/Eu<sup>\*</sup> = Eu<sub>N</sub>/((Sm<sub>N</sub>+Gd<sub>N</sub>)/2), Normalize değerler Kamber vd. (2005)'den alınmıştır. d.l.a.: dedeksiyon limitinin altında.

### 3.5.2. Ana ve İz Elementler

Çalışma alanından alınan örneklerdeki ana element değişimleri (Tablo 3.1 ve 3.2) mineralojik değişimleri ile uyumlu olarak CaO değişimleri ile belirlenir. Ana element içerikleri incelendiğinde; % 21.57 – 48.14 CaO, % 0.01 – 1.39 K<sub>2</sub>O, % 0.02 -2.66 MgO ve % 0.01 – 0.63 Na<sub>2</sub>O içerikleri sinsedimanter kökenle uyumluluk arz eder (Muller 1962; Turekian 1964; Baysal ve Ataman 1980; Hardie 1984; Carlson 1987; Gökçe ve Ceyhan 1988).

Örneklerin yüksek CaO içerikleri ana sülfat mineralinin jips ve/veya anhidrit olması ile uyumludur. Çalışılan örneklerde Na-sülfat mineralleri oldukça nadir ve çok az oranda tespit edilmiştir. Na<sub>2</sub>O değerleri D1-11, D1-13, D1-25, D1-28 ve D2-4 numaralı örnekler için saptama limitinin altında olmasına rağmen, diğer örnekler için % 0.01 ile % 0.63 arasında değişmektedir.

Ana elementlerden SiO<sub>2</sub> içeriğinin D2-2 numaralı örnek dışında diğer örneklerde % 0.03 ile % 3.92 arasında, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğinin ise % 0.01 ile % 0.94 arasında olduğu gözlenmektedir. Ayrıca D1-28 numaralı örneğin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği dedeksiyon limitinin altında çıkmıştır. K<sub>2</sub>O içerikleri D1-11, D1-13, D1-22, D1-25, D1-28 ve D2-4 numaralı örneklerde dedeksiyon limitinin altında çıkmıştır. Diğer örneklerin K<sub>2</sub>O içerikleri % 0.01 – 1.39 arasındadır. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* içerikleri % 0.01- 0.42 arasında değişim gösterirken, MnO içerikleri % 0.002- 0.077 arasındadır. Tüm bu elementler örneklerde varlığı az oranda saptanan silikat minerallerinin, özellikle illit ve Mg-simektit gibi kil minerallerinin varlığı ile ilişkilidir.

Dedeksiyon limitinin altında olan D1-25 ve D1-28 numaralı örneklerin dışındaki örneklerde TiO<sub>2</sub> içerikleri % 0.002 ile % 0.493 arasında değişim göstermektedir. Tablo 3.1' de görüldüğü gibi P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içerikleri birçok örnek için dedeksiyon limitinin altında çıkmıştır. Diğer örneklerde ise, % 0.01 -0.09 arasındadır. Bütün bu örneklerin ateşte kayıp (AK) içerikleri % 3.38 – 39.01 arasında değişmektedir. Örneklerin CO<sub>2</sub> içerikleri % 0.06 ile 38.6 arasındadır. Yüksek CO<sub>2</sub> içerikleri kalsit ve dolomit gibi karbonat minerallerinin bolluğuna işaret eder.

Açık işletme sahası olan Lokasyon 2 olarak adlandırılan kısımdan alınan ve makroskobik olarak kil olarak adlandırılan (Şekil 3.13 a) D2-2 numaralı örnek için; % 30.34 SiO<sub>2</sub>, % 8.99 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 4.85 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* ve % 1.39 K<sub>2</sub>O içerikleri belirlenmiştir. Bu içeriklerin diğer örneklere göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Fe, Cr ve Ni gibi

elementlerin varlığı pirit gibi sülfid minerallerinin varlığı ile açıklanabilir. Bu durum sin- ve post-tektonik olaylar esnasında meydana gelen akışkan hareketlerinin bir sonucudur.

Örneklere ait  $SO_4$  içerikleri % 56 ile %75.5 arasında değişim göstermekte olup. örneklerden D2-2 numaralı örneğin  $SO_4$  içeriği (% 2.1) oldukça düşük çıkmıştır.

Evaporit kayaçların iz element değişimleri oldukça büyük önem taşır. Jeokimyasal analizi yapılan 18 örneğin iz element değerleri ppm cinsinden Tablo 3.1' de verilmiştir. Bu elementlerden Be, Cr, Ga, Ge, Cd, Sn, Sb, Cs, Hf, Ta, W, Tl, Bi, In ve Mo elementlerinin değerleri saptama limitinin altında olduğu için bu elementler tabloda yer almamaktadır.

Tablo 3.1'de görüldüğü gibi Lokasyon 2'den alınan D2-2 numaralı kil örneğinin iz element değerleri diğer örneklere göre birçok element için yüksek çıkmıştır. En önemli iz elementler arasından Ba'un 1 ppm ile 91 ppm arasında değiştiği gözlenmiş olup. D1- 22 ve D1-24 numaralı örneklerde dedeksiyon limitinin altındadır. D1-21 numaralı örnekte 91 ppm, D2-2 numaralı örnekte 84 ppm gibi oldukça yüksek bir değerde olması dikkat çekmektedir. Yüksek Ba içerikleri örneklerdeki karbonat içerikleri ile uyumludur. Bilindiği üzere özellikle diyajenetik karbonat örneklerinde karbonat miktarının artması ile Ba değerleri artış gösterir. Örnekteki yüksek  $CO_2$  içeriği ve mineralojik bulgular karbonat varlığını doğrulamaktadır.

İz elementlerden Ni 1.5 ppm ile 21.4 ppm arasında değişim göstermektedir. Yapılan analiz sonucunda 18 örnekten sadece 5 örnek (D1-1, D1-10, D1-15, D1-21, D3-2) 6.7 ppm- 21.4 ppm arasındadır. Bunlardan D3-2 numaralı örneğin yüksek Ni (21.4 ppm) içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Örnekler için B değerleri ise, 2.4 ppm ile 20.3 ppm arasındadır. Jips-anhidritce zengin örneklere kıyasla kısmen kireçtaşı ve daha ziyade kıltaşı-marn örneklerinin nispeten yüksek  $Fe_2O_3$ , Ni ve Cr içerikleri, sin- veya pos-tektonik olaylar esnasında meydana gelen akışkan hareketinden daha ziyade havzaya çevre kayaçlar olan ultramafitlerden kırıntılı malzeme girdisine işaret edebilir.

Sr element içerikleri denizel ve karasal evaporitleri ayırmada yaygın bir belirteçdir. Stronsiyumun değişimi tüm evaporitik ortamlarda dikkat çekicidir. Sr genellikle Ca ile yer değiştirir. Yüksek Sr değerleri genellikle denizel evaporitleri işaret eder. Çok yüksek Sr değerleri ise sölestin gibi Sr minerallerinin varlığı ile eşleştirilir. Krauskopf (1979)' a göre karasal ortamlarda gelişen evaporitlerin Sr değerlerinin en fazla 50 ppm ile 200 ppm arasındadır. Denizel ortamlarda gelişen evaporitlerin ise yaklaşık Sr değerleri 1000 ppm ile 3000 ppm arasında değişim göstermektedir ( Emelyanov and Shimhus, 1986, Hasselöv vd., 1999). Ayrıca İspanya'da Doğu Betik boğazında yapılan bir çalışmaya göre (Playa vd.,



2000) Üst Miyosen yaşlı karasal ve denizel evaporitlerdeki bantlı, nodüler ve laminalı jipslere ait Sr değerlerinin 800-1700 ppm arasında olmasının normal deniz suyuna bağlı olduğu, selenitik ve masif jipslerdeki 2400 ppm olan Sr değerlerinin de hidrotermal çözeltilere bağlı olarak değiştiğini ifade etmiştir (Zeybek, 2007). Sr değerleri çalışılan istif içerisinde laminalı jipslerden masif jipslere doğru önemli ölçüde artmaktadır ve değerleri 806 ppm' den 15150 ppm'e kadar değişiklik sunar. Ayrıca sölestin içeren seviyelerde ise en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Mineralojik bulgulara göre bu seviyelerde sölestin olmadığı düşünüldüğünde Sr bu seviyelerde jipsin kristal kafes yapısı içerisinde yer almaktadır. Bu değerler Sivas havzasında Tekin (2001) tarafından tespit edilen değerler ile uyumluluk arz eder ve denizel jipsler ile uyumludur. Deniz suyu içerisinde  $Sr^{+2}$  değerinin 8 ppm civarında olduğu hesaba katıldığında (Turekian & Kulp 1956; Usdowski 1973; Krauskopf 1979; Sonnenfeld 1984, Tekin 2001) yüksek Sr değerlerinin masif jips zonlarında ilksel zenginleşme ürünü olduğu söylenebilir. Sölestinli zonlarda ise sölestin oluşumu ile ikincil bir zenginleşme ürünü olarak tanımlanabilir.

Çalışılan örneklerin Sr içerikleri geniş aralıkta ve bazı örnekler için oldukça yüksektir. Sr içeriklerinin bu kadar yüksek oranlarda değişim göstermesi göl ortamlarında oluşan evaporitlerin Sr içeriklerine de dikkat çekmektedir (Zeybek, 2007). Örneklerden D1-2 numaralı örnekte 2978 ppm, D1-10' da 4849 ppm, D1-11' de 6464 ppm ve D1-21' de ise 15150 gibi yüksek değerlerde Sr içerikleri belirlenmiştir. Bu kadar yüksek Sr değerleri karasal evaporitlerden daha ziyade denizel evaporitlerle uyumluluk arz eder. Örneklerdeki çok yüksek Sr değerleri mineralojik tanımlamalarda da saptanmış sölestin mineralinin varlığı ile açıklanmaktadır.

Nadir toprak elementler olarak adlandırılan La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu elementlerinin analiz sonuçları Tablo 3.2' de verilmiştir. Bu elementlerden Sm, Eu, Tb, Ho, Tm, Yb ve Lu elementlerinin değerleri, birçok örnek için dedeksiyon limitinin altındadır.

Nodüler bantlı doku gösteren örneklerin  $Fe_2O_3^*$  içerikleri % 0.03 - 0.04, MnO içerikleri % 0.02 - 0.04, CaO içerikleri % 30.92 - 41.85,  $Na_2O$  içerikleri % 0.03 - 0.05, MgO içerikleri % 0.03 - 0.05 ve Sr içerikleri 1023 -1312 ppm arasında değişmektedir. Bu örneklerden D1-1 numaralı örnek % 0.25  $Fe_2O_3$ , % 0.36 MgO içeriklerine sahip olup, diğer örneklere göre daha yüksektir.

Laminalı doku gösteren örneklerin  $Fe_2O_3^*$  içerikleri % 0.04 - 0.18, MnO içerikleri % 0.002 - 0.008, CaO içerikleri % 29.8 - 32.3,  $Na_2O$  içerikleri <% 0.01 - 0.02, MgO

içerikleri % 0.04 – 0.34 ve Sr içerikleri 1911 - 4849 ppm arasında değişmektedir. Bu örneklerden D1-10 numaralı örneğin MgO içeriği diğer örneklere göre daha yüksek olup, % 2.55 olarak belirlenmiştir.

Alabastrin ve alabastrin porfiroblastik doku gösteren örneklerin  $Fe_2O_3^*$  içerikleri % 0.01 - 0.18, MnO içerikleri % 0.002 – 0.009, CaO içerikleri % 30.06 – 32.98,  $Na_2O$  içerikleri % < 0.01 – 0.05, MgO içerikleri % 0.02 – 1.38 ve Sr içerikleri 806 - 1928 ppm arasında değişmektedir. Bu örneklerden D1-21 numaralı örnek % 0.28  $Fe_2O_3^*$ , % 48.14 CaO ve 15150 ppm Sr içeriklerine sahip olup, diğer örneklere göre oldukça yüksektir. D1-11 numaralı örneğin Sr içeriği ise 6464 ppm' dir. Bu Sr içeriklerinin oldukça yüksek olması sölestinin varlığını işaret etmektedir.

Satin spar doku gösteren D3-1 numaralı örnek % 0.42  $Fe_2O_3^*$ , % 0.007 MnO, % 30.2 CaO, % 0.13  $Na_2O$ , % 1.18 MgO ve 1118 ppm Sr içeriklerine sahiptir. Bantlı doku gösteren D3-2 numaralı örnek % 0.13  $Fe_2O_3^*$ , % 0.005 MnO, % 30.98 CaO, % 0.02  $Na_2O$ , % 1,7 MgO ve 1710 ppm Sr içeriklerine sahiptir.

Lokasyon 2'den alınan D2-2 numaralı kil örneğinin  $Na_2O$  (% 0.63), MgO (% 2.66),  $Fe_2O_3^*$  (%4.8) ve MnO (%0.077) içerikleri diğer örneklere göre en yüksek değere sahipken, CaO (% 21.57) ve Sr (631 ppm) içerikleri en düşük değere sahiptir (Tablo 3.1).

### 3.5.3. İkili Element Değişimleri

Pırnakapan civarından alınan evaporitlerin elementsel değişimlerini irdelemeden önce ana, iz ve nadir toprak elementlerin birbirleri ile ilişkisi irdelenmelidir. Bununla birlikte diyagramların daha iyi yorumlanabilmesi için tüm element çiftlerine bağlı korelasyon katsayıları (r) SPSS 15 (Statistical Package for the Social Sciences) adlı istatistik programı kullanılarak hesaplanmıştır ( Tablo 3.3).

İkili element değişim diyagramları örneklerin mineralojik değişimlerinin jeokimya üzerinde etkisini görmek için oldukça kullanışlıdır. Çalışılan örneklerde en önemli iki ana oksit  $SiO_2$  ve CaO'dir. Bu iki ana oksit, silikat minerallerinin ve sülfat minerallerinin ana kimyasını oluşturdukları için diyajenetik ve kırıntılı fazların değişimlerini de işaret ederler.

Tablo 3.3. Pırnakapan evaporit örneklerinin anaoksit ve iz element korelasyon katsayı (r)

	SiO2	Al2O3	Fe2O3(T)	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	B	V	Ba	Sr	Zr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Nb	Ag	Pb	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Gd	Dy	Er		
SiO2	1.000																																		
Al2O3	0.999	1.000																																	
Fe2O3(T)	0.998	1.000	1.000																																
MnO	0.993	0.994	0.996	1.000																															
MgO	0.618	0.585	0.593	0.632	1.000																														
CaO	-0.507	-0.495	-0.498	-0.478	-0.513	1.000																													
Na2O	0.989	0.991	0.990	0.981	0.550	-0.481	1.000																												
K2O	0.984	0.987	0.984	0.981	0.522	-0.427	0.973	1.000																											
TiO2	0.998	1.000	1.000	0.994	0.580	-0.505	0.991	0.985	1.000																										
P2O5	0.938	0.940	0.939	0.951	0.802	-0.366	0.938	0.958	0.936	1.000																									
B	0.947	0.945	0.944	0.944	0.611	-0.413	0.938	0.947	0.947	0.911	1.000																								
V	0.997	0.998	0.998	0.995	0.601	-0.470	0.986	0.990	0.998	0.952	0.944	1.000																							
Ba	0.595	0.575	0.571	0.605	0.687	0.146	0.561	0.603	0.563	0.800	0.639	0.610	1.000																						
Sr	-0.116	-0.127	-0.121	-0.081	0.015	0.585	-0.157	-0.038	-0.155	0.065	-0.113	-0.072	0.551	1.000																					
Zr	0.998	0.998	0.997	0.990	0.583	-0.524	0.991	0.980	0.998	0.936	0.948	0.996	0.567	-0.175	1.000																				
Co	0.998	0.999	1.000	0.996	0.601	-0.499	0.991	0.983	0.999	0.941	0.941	0.998	0.575	-0.119	0.998	1.000																			
Ni	0.998	0.999	0.999	0.995	0.605	-0.505	0.992	0.982	0.999	0.939	0.942	0.997	0.573	-0.125	0.998	1.000	1.000																		
Cu	0.993	0.995	0.995	0.992	0.602	-0.503	0.989	0.984	0.998	0.939	0.926	0.994	0.568	-0.119	0.996	0.995	0.995	1.000																	
Zn	0.994	0.997	0.998	0.993	0.573	-0.502	0.988	0.979	0.998	0.937	0.937	0.994	0.541	-0.146	0.996	0.998	0.998	0.994	1.000																
As	0.687	0.681	0.673	0.661	0.471	-0.093	0.743	0.835	0.674	0.656	0.655	0.680	0.651	-0.102	0.681	0.678	0.681	0.676	0.661	1.000															
Rb	0.999	1.000	0.999	0.997	0.745	-0.524	0.992	0.988	0.999	0.947	0.952	0.999	0.588	-0.110	0.997	0.999	0.999	0.999	0.998	0.691	1.000														
Nb	0.989	0.991	0.991	0.983	0.569	-0.536	0.972	0.979	0.992	0.923	0.969	0.990	0.531	-0.230	0.988	0.987	0.987	0.988	0.991	0.766	0.989	1.000													
Ag	-0.431	-0.407	-0.394	-0.470	-0.390	0.396	-0.098	-0.451	-0.368	-0.161	-0.137	-0.352	-0.593	-0.238	-0.438	-0.399	-0.382	-0.240	-0.190	0.575	-0.418	0.845	1.000												
Pb	0.992	0.990	0.987	0.980	0.619	-0.493	0.994	0.974	0.989	0.931	0.928	0.987	0.598	-0.117	0.991	0.989	0.990	0.985	0.981	0.734	0.991	0.966	-0.272	1.000											
Th	-0.020	-0.025	-0.031	-0.061	-0.099	-0.085	-0.089	-0.016	-0.031	-0.470	0.022	-0.019	-0.132	-0.098	-0.057	-0.047	-0.041	-0.042	-0.047	-0.030	-0.068	-0.008	-0.239	-0.024	1.000										
U	0.836	0.840	0.835	0.852	0.484	-0.060	0.821	0.888	0.831	0.934	0.806	0.862	0.836	0.382	0.824	0.836	0.832	0.840	0.820	0.587	0.841	0.803	-0.222	0.831	-0.089	1.000									
La	0.996	0.996	0.994	0.988	0.588	-0.468	0.992	0.987	0.995	0.938	0.942	0.995	0.611	-0.085	0.994	0.993	0.993	0.990	0.988	0.697	0.997	0.984	-0.357	0.991	-0.034	0.854	1.000								
Ce	0.997	0.997	0.995	0.989	0.588	-0.467	0.994	0.987	0.996	0.941	0.944	0.995	0.606	-0.091	0.995	0.995	0.995	0.991	0.990	0.698	0.998	0.985	-0.349	0.992	-0.033	0.852	1.000	1.000							
Pr	0.997	0.998	0.996	0.991	0.589	-0.457	0.994	0.989	0.997	0.947	0.948	0.996	0.610	-0.083	0.995	0.996	0.996	0.991	0.991	0.700	0.999	0.985	-0.327	0.992	-0.033	0.858	0.999	1.000	1.000						
Nd	0.996	0.998	0.996	0.991	0.563	-0.468	0.993	0.989	0.997	0.949	0.951	0.997	0.596	-0.125	0.995	0.996	0.996	0.996	0.993	0.686	0.998	0.984	-0.414	0.990	-0.070	0.858	0.998	0.999	1.000	1.000					
Gd	0.993	0.996	0.996	0.991	0.544	-0.452	0.990	0.987	0.996	0.955	0.955	0.995	0.594	-0.124	0.992	0.995	0.994	0.993	0.994	0.669	0.997	0.990	-0.359	0.983	-0.049	0.857	0.995	0.996	0.997	0.998	1.000				
Dy	0.992	0.995	0.995	0.992	0.551	-0.437	0.989	0.988	0.995	0.961	0.954	0.996	0.612	-0.099	0.991	0.994	0.994	0.993	0.993	0.674	0.997	0.986	-0.297	0.982	-0.065	0.869	0.994	0.995	0.997	0.998	0.999	1.000			
Er	0.995	0.998	0.997	0.993	0.557	-0.460	0.990	0.990	0.997	0.956	0.952	0.998	0.597	-0.114	0.994	0.997	0.996	0.996	0.995	0.675	0.999	0.988	-0.345	0.985	-0.059	0.862	0.995	0.997	0.998	0.999	0.999	1.000			

Ana ve iz elementlerin  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı değişimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı ana oksit (Şekil 3.32) ve iz element (Şekil 3.33) değişim diyagramları çizilmiştir.

$\text{SiO}_2$ 'ye karşı çizilen ana oksit ve iz element değişim diyagramlarında belirgin pozitif ve negatif yönsemeler elde edilmiştir. Lokasyon 1' deki örneklerin değişim diyagramlarında artan  $\text{SiO}_2$  'ye karşı  $\text{MgO/CaO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Th}$  ve  $\text{V}$  artarak pozitif bir ilişki gösterirken,  $\text{Ag}$  azalarak negatif bir ilişki göstermektedir. Bunların dışında artan  $\text{SiO}_2$ ' ye karşı  $\text{Na}_2\text{O}$  içerikleri önce negatif daha sonra pozitif bir ilişki göstermektedir (Şekil 3.32, Şekil 3.33, Tablo 3.3). Lokasyon 3' deki örneklerin değişim diyagramlarında ise, artan  $\text{SiO}_2$ ' ye karşı  $\text{MnO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Th}$  ve  $\text{V}$  artarak pozitif bir ilişki gösterirken,  $\text{MgO/CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Sr}$  ve  $\text{Ag}$  negatif bir ilişki göstermektedir (Şekil 3.32, Şekil 3.33). Lokasyon 1 ve 3'deki örneklerin  $\text{Al}_2\text{O}_3$  değerlerinin artan  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı artış göstermesi örneklerdeki kil mineral artışı ile karakterize edilmektedir. Lokasyon 3 'de artan  $\text{SiO}_2$ ' ye karşı  $\text{CaO}$  değerlerindeki azalma ise evaporit örneklerinde kil oluşumlarının olabileceğini işaret etmektedir.

Lokasyon 3' den alınan D3-1 numaralı satinspar doku gösteren (Şekil 3.15a) örneğin  $\text{SiO}_2$ ' ye karşı çizilen  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Th}$ ,  $\text{Ni}$  ve  $\text{Cu}$  elementleri diyagramlarında diğer örneklere göre oldukça yüksek görülmektedir (Şekil 3.32 ve Şekil 3.33). Bu elementlerin yüksek değerlerde olması kil minerallerince diğer örneklere göre daha zengin olmasından kaynaklanmaktadır.

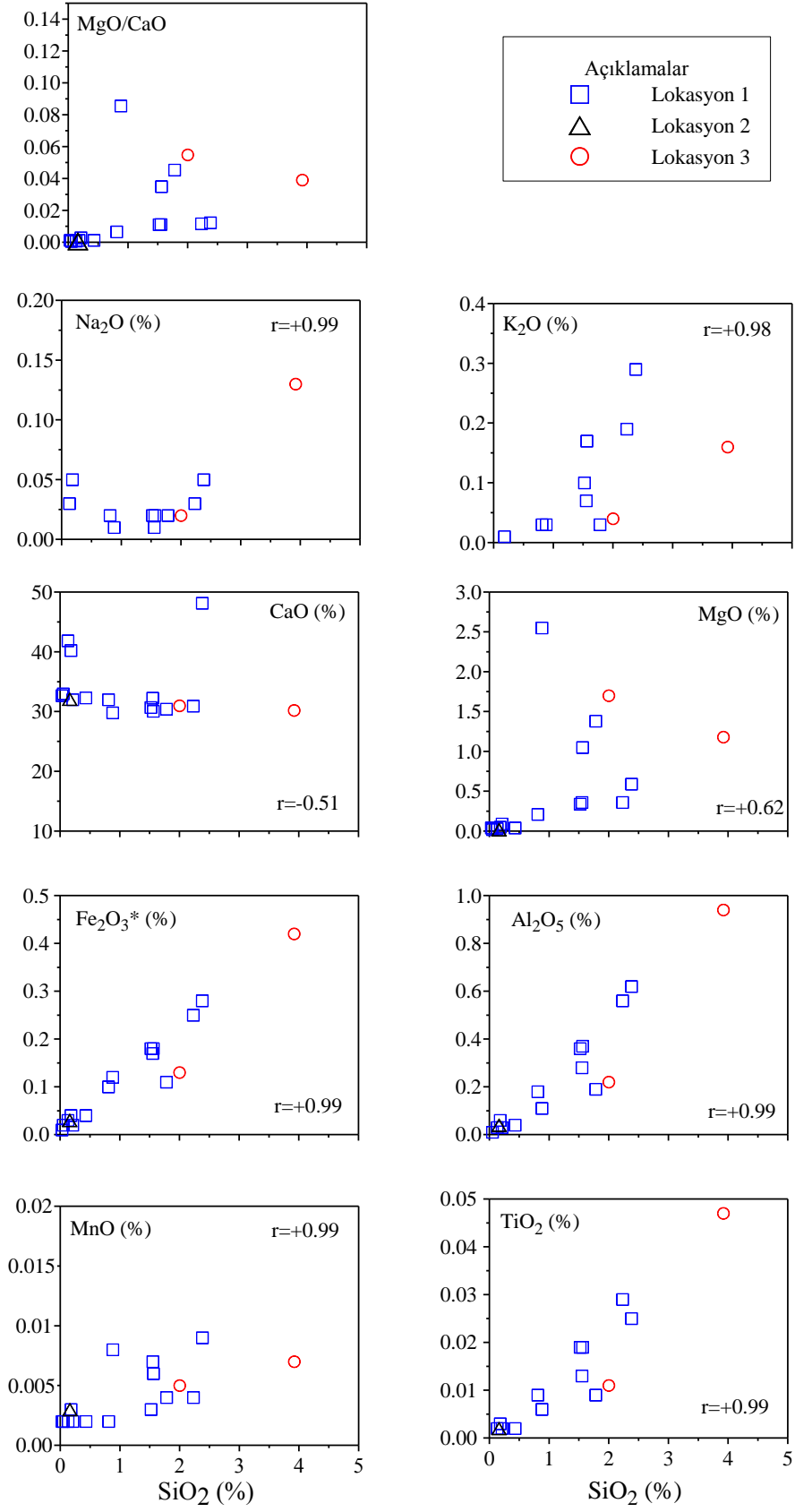
İkili element değişim diyagramları ile korelasyon katsayıları birlikte değerlendirildiğinde; pozitif  $\text{SiO}_2$ -oksit korelasyonları paleo-depolanma ortamının buharlaşmadan dolayı sıkıştığını ve kil veya kırıntıların paleo-depolanma ortamına karadan taşındığına işaret eder. Silikat mineralleri olarak saptanan genellikle kil mineralleri (illit ve Mg-simektit) ile değişken miktarlarda  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$  minerallerinin eşlik ettiği düşünülmelidir. Yan kayaç olarak ultramafitlerden oluştuğu düşünüldüğünde  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Co}$  gibi elementlerin ultramafitlerden kaynaklanan kırıntılı malzemeyi işaret ettiği düşünülmektedir. İlave olarak  $\text{SiO}_2$ - $\text{CaO}$  ve  $\text{SiO}_2$ - $\text{SO}_4$  negatif korelasyonları ise buharlaşmadan dolayı paleo-depolanma ortamı sıkışırken  $\text{Ca}$ -sülfat çökeliminin de azaldığına işaret etmektedir (Bahadori vd., 2011).  $\text{SiO}_2$  ile  $\text{Sr}$  arasında kısmen negatif ama dağınık bir ilişki görülmesi oldukça ilginçtir. Özellikle, jips ve anhidrit bakımından daha fakir örneklerin bazılarındaki yüksek  $\text{Sr}$  konsantrasyonları sölestin oluşumu ile ilişkilidir.

SiO<sub>2</sub>-Ba arasındaki pozitif korelasyon benzer şekilde paleo-depolanma ortamının buharlaşmadan ötürü sığlaşması, Ba-sülfat ve Ba-klorid kristalleşmesinin artışı ile açıklanmaktadır (Bahadori vd., 2011). Fakat incelen Aşkale Pırnakapan evaporit örneklerinde Ba konsantrasyonları tek başına bir Ba minerali oluşturabilecek kadar yüksek değildir. Dolayısı ile pozitif Ba korelasyonları sadece karasal kırıntılı malzeme getirimi ile ilişkili olmalıdır.

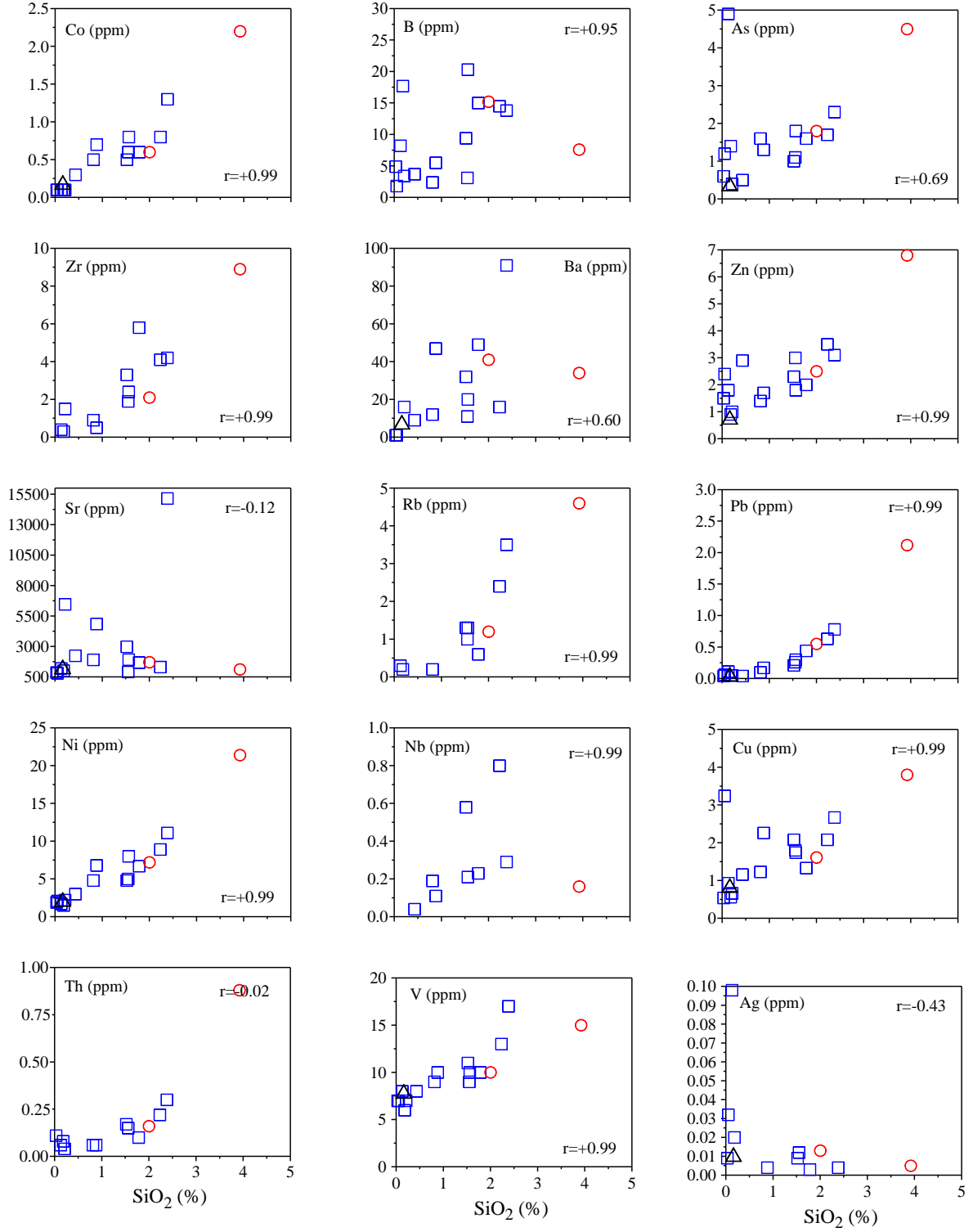
Özellikle, sülfat minerallerinin oluşumu esnasındaki değişimleri irdelemek amacı ile çizilen SO<sub>4</sub>'e karşı ana oksit ve iz element değişim diyagramları ise Şekil 3.34 ve 3.35'de verilmiştir. Buna göre SO<sub>4</sub>'e karşı CaO haricindeki tüm ana oksit ve iz elementler, negatif veya düzensiz bir ilişki göstermektedir. SO<sub>4</sub>-CaO arasındaki pozitif ilişki jips ve/veya anhidrit oluşumundan kaynaklanmaktadır. SO<sub>4</sub> hemen hemen bütün elementlerle değişken derecelerde negatif bir ilişki gösterir. Fakat Sr ile herhangi bir ilişki göstermemesi oldukça önemlidir. Zira Kushnir (1980, 1982) tarafından deniz suyundan itibaren artan buharlaşma ile Sr'un sölestin olarak eş zamanlı jips ile kristalleşebildiği bilinmektedir. Pırnakapan evaporitlerinde ise Sr'un özellikle sölestin olarak Ca-sülfat mineralleri ile birlikte çökelmediğine ve sölestin oluşturabildiği durumların ya ikincil bir zenginleşme ya da hidrotermal bir katkının olabileceğine işaret ettiği düşünülmektedir.

Çalışma alanında lokasyon 1' den ölçülü olarak alınan örneklerden sadece 14 tanesinden kimyasal analiz yapılmıştır. Kayaç örneklerindeki ana oksit elementlerinin verileri her bir kayaç için artış ve azalışlarının daha iyi gözlenebilmesi için Şekil 3.36' da verilmektedir. Lokasyondan alınan D1-21 numaralı örnek genel olarak anaoksitlerde artış gösterirken örneğin SO<sub>4</sub> değeri diğer örneklere göre azalma göstermektedir. Örneklerin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerlerindeki azalma o örneklerin kil mineral oranında azalma olduğunu işaret etmektedir. Bu durumda D1-21 numaralı örnekte kil mineral oranının en fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.36).

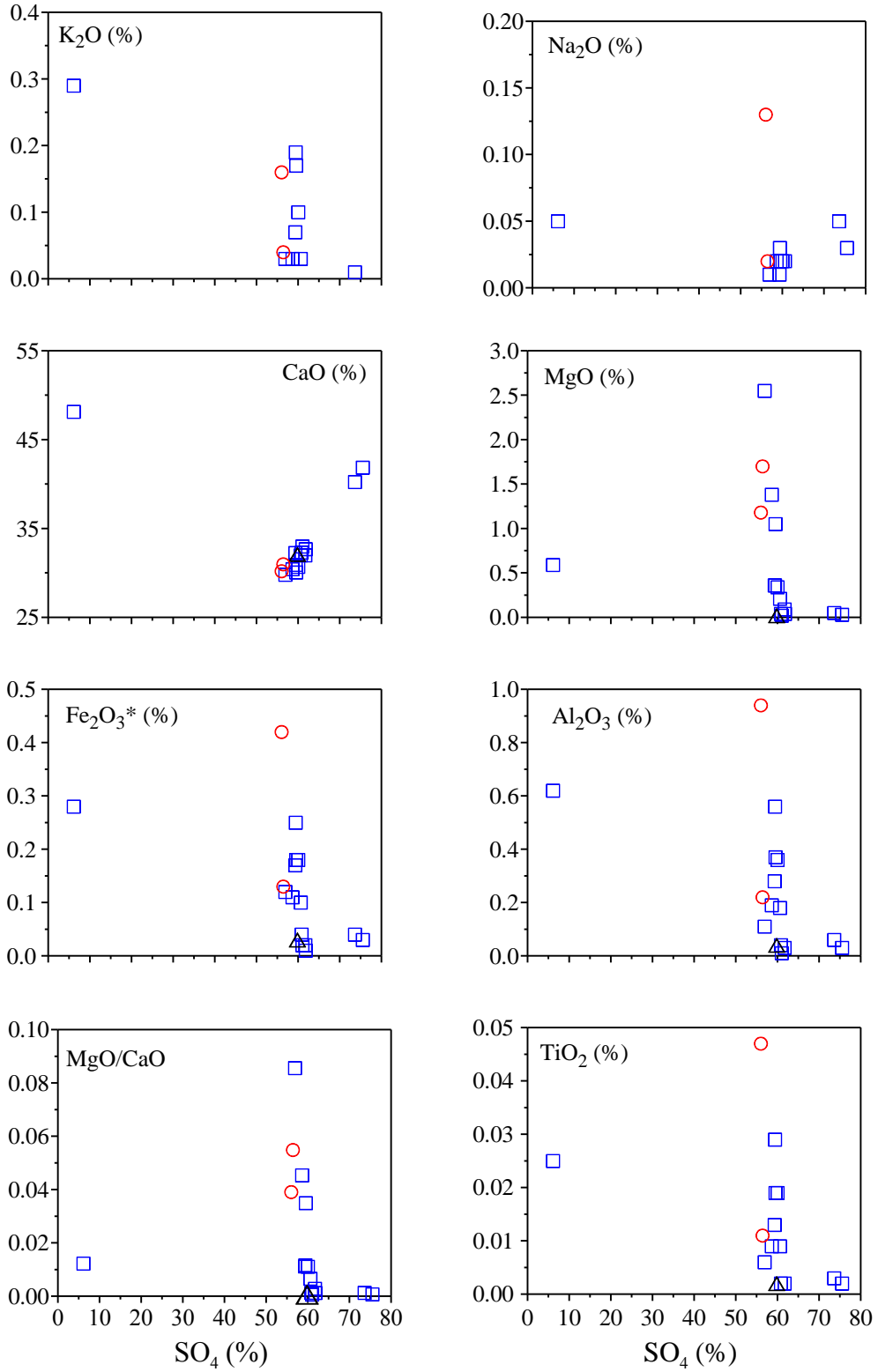
Düşey yönde görülen elementsel değişimlerdeki uyumluluk artış ve azalmadaki benzerlikler mevsimsel değişimlere bağlı olarak evaporit oluşumu ve kırıntılı malzeme gelişimine işaret etmektedir.



Şekil 3.32. Pınakapan köyü civarındaki evaporit örneklerinin SiO<sub>2</sub> (%)'ye karşı ana oksit (%) değişim diyagramları.

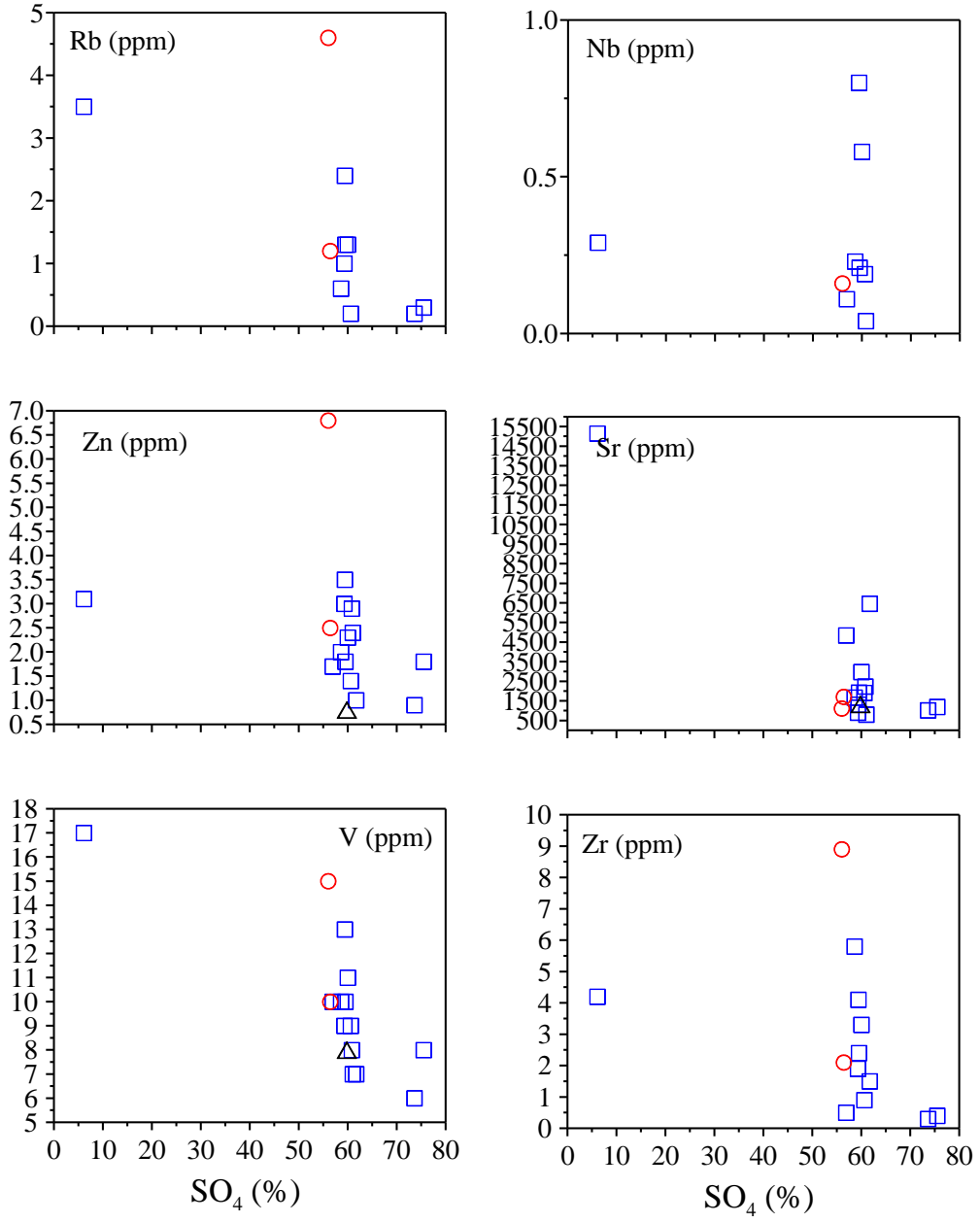


Şekil 3.33. Pınarakapan köyü civarındaki evaporit örneklerinin SiO<sub>2</sub> (%)’ye karşı iz element değişim diyagramları (semboller Şekil 3.32’deki gibidir).

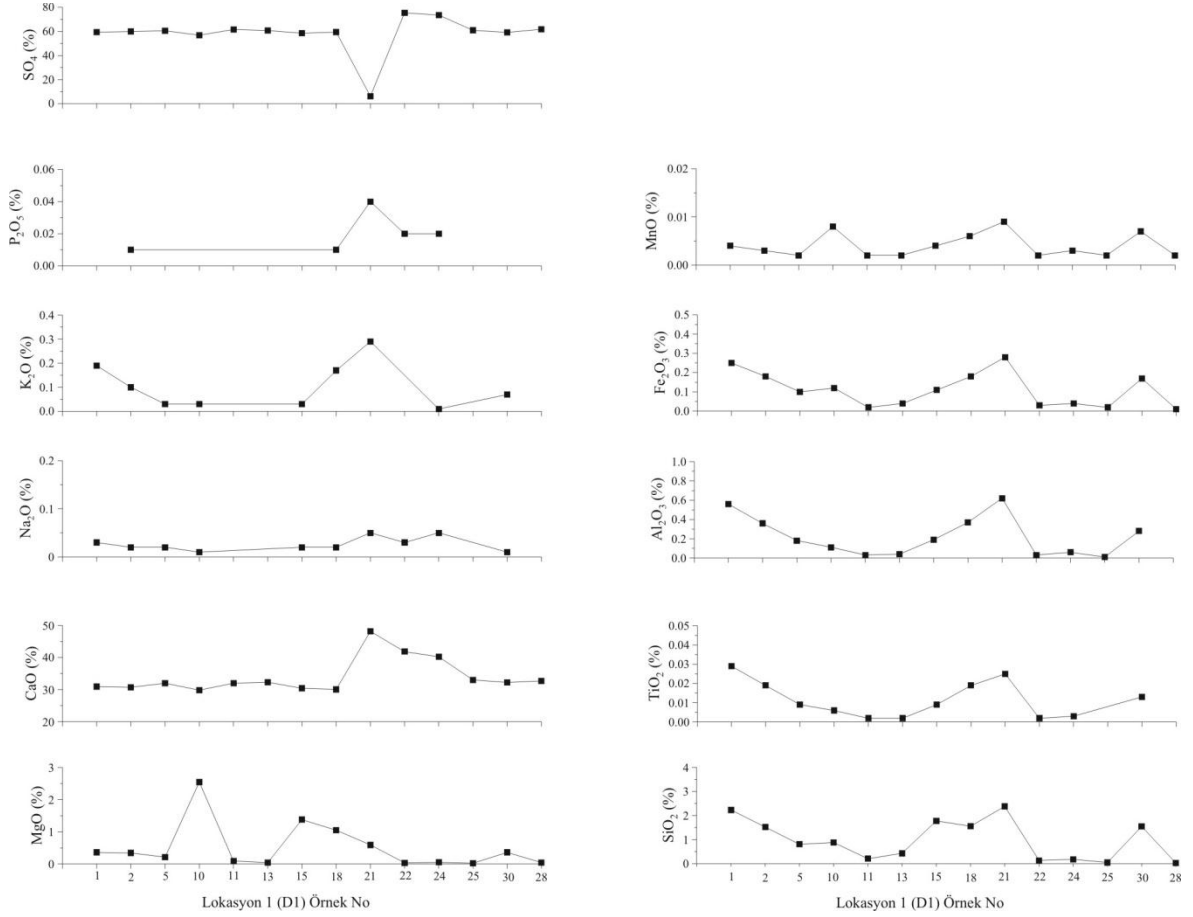


Şekil 3.34. Pınakapan köyü civarındaki evaporit örneklerinin  $SO_4$  (%)'e karşı ana element değişim diyagramları (semboller Şekil 3.32'deki gibidir).





Şekil 3.35. Pırnakapan köyü civarındaki evaporit örneklerinin SO<sub>4</sub> (%)'e karşı iz element değişim diyagramları (semboller Şekil 3.32'deki gibidir).



Şekil 3.36. Pırnakapan köyü civarında 1 nolu lokasyonda düşey yönde tabandan tavana doğru alınan örneklerde görülen elementsel değişimler. Örneklerin ölçülü kesitteki konumunu ve özelliklerini görmek için bkz. Şekil 3.10.

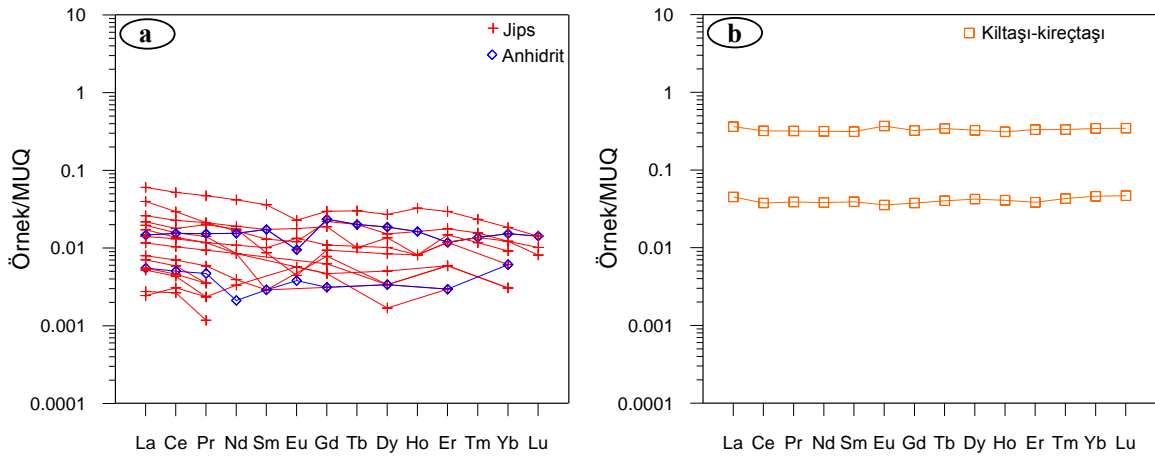
### 3.5.4. Nadir Toprak Element Jeokimyası

Pırnakapan evaporit örneklerine ait nadir toprak element (NTE) içerikleri ve  $La_N/Lu_N$ ,  $Ce_N/Ce^*$ ,  $Eu_N/Eu^*$  değerleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Buna göre, özellikle jips ve anhidrit örneklerinde toplam NTE konsantrasyonları oldukça düşüktür. Genel olarak jips ve anhidrit örneklerinde hafif NTE’ler ağır NTE’lere göre daha yüksek konsantrasyonlar göstermesine rağmen La (0.08-1.97 ppm) ve Ce (0.22-3.71 ppm) dışındaki NTE içerikleri dedeksiyon sınırının altında gözlenmiştir (Tablo 3.2). Bu düşük La ve Ce içerikleri ortama hidrotermal sıvı girdisinin olmadığına işaret etmektedir (Emelyanov ve Schimus, 1986; Ünlü ve Stendal, 1989; Zeybek, 2007).

Evaporit örneklerinin ortalama Queensland (Avustralya) sediman bileşimi MUQ’a (MUD from Queensland; Kamber vd., 2005) normalize NTE değişimleri Şekil 3.37’de görülmektedir. Buna göre, tüm lokasyonlardan alınan jips-anhidrit örnekleri benzer

değişimler göstermekte olup, kilitaşı-kireçtaşı örnekleri biraz daha fazla zenginleşmiştir. NTE değişimleri genellikle paralel bir yönseme göstermekte olup, La'dan Sm'ye doğru kısmen bir azalma göstermektedirler. Bazı örneklerde orta ve ağır NTE'ler tamamen tüketilmiştir.  $La_N/Lu_N$  oranları (Lu değerleri ölçülebilen örneklerde) jipsler için 1.387-4.243, anhidrit örneği için 1.034, kilitaşı-marn-kireçtaşı örneklerinde ise 0.964-1.047 arasındadır.

Deniz suyundaki NTE konsantrasyonu nehirlerden çok daha fazla düşüktür (bkz. Playà vd., 2007) bu nedenle evaporitlerdeki NTE konsantrasyonları karasal malzeme girdisi ile kontrol edilir. Şekil 3.37 incelendiğinde bu bilgi ile uyumlu bir şekilde kırıntılı malzeme girdisinin olduğu Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) evaporit örneklerinde (Şekil 3.37b) daha yüksek NTE içeriği söz konusudur. Kırıntılı malzeme girdisi örneklerin iz element içerikleri de dikkate alındığında (Tablo 3.1) özellikle yüksek NTE içeriğine sahip paleo-havzayı çevreleyen ultramafik kayalardan olmalıdır.



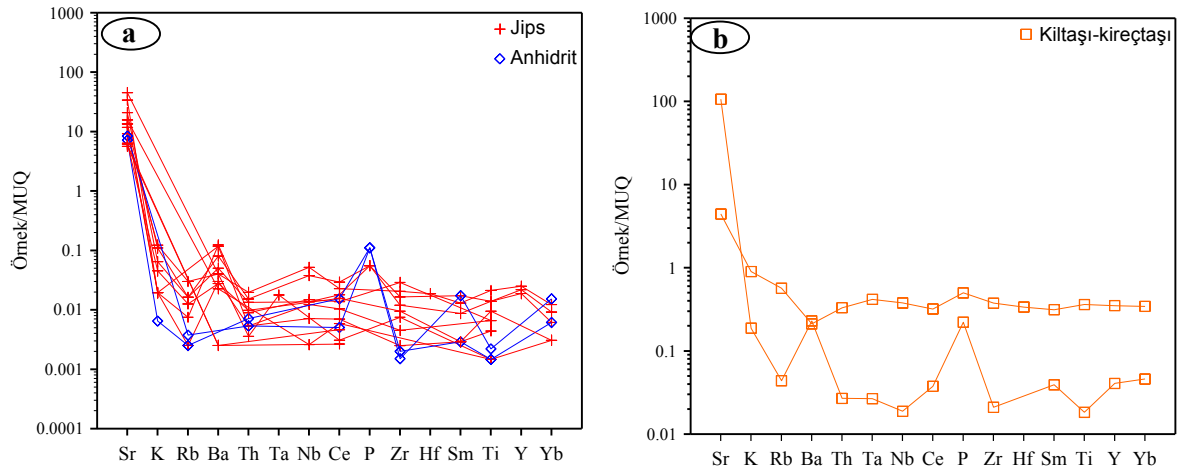
Şekil 3.37. Pırnakapan evaporitleri a)jips ve anhidrit, b) kilitaşı-kireçtaşı örneklerinin MUQ (ortalama Queensland sediman bileşimi, Kamber vd., 2005)' a normalize nadir toprak element değişim grafikleri.

Açık denizel ortamlar yüksek Y ve çok düşük Ce içerikleri ile hafif NTE'lerden ağır NTE elementlere doğru dereceli bir zenginleşme gösterirler (Playà vd., 2007). İncelenen evaporit örnekleri tipik olarak böyle bir değişim göstermediği gibi tatlı su ortamlarına ait NTE değişimleri (bkz. Playà vd., 2007) ile de uyumluluk arz etmez. Bu da Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) evaporitlerinin paleo-depolanma ortamının tipik bir açık deniz veya göl ortamı olmadığına ve karasal bir su girdisinin olduğuna işaret edebilir. Evaporitlerin  $Ce_N/Ce^*$  değerleri karasal katkı ve deniz girdisinin etkisini işaret edebilmesi

açısından önem taşır. Çalışılan evaporit örnekleri ya Ce anomalisi göstermezler veya çok az negatif ve pozitif anomali gösterirler. Pozitif anomaliler karasal katkıya işaret ederken negatif anomaliler (Tablo 3.2) denizel katkıya işaret etmektedir.

### 3.5.5. Örümcek Diyagramları

Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) evaporitlerinin MUQ'a (ortalama Queensland sediman bileşimi, Kamber vd., 2005) normalize iz element değişimleri Şekil 3.38'de görülmektedir. Buna göre tüm iz elementler MUQ'a kıyasla değişken derecede zenginleşmişlerdir. Sr, MUQ'a göre 10-100 kat arasında tüm örneklerde zenginleşme gösterirken, Ba'da kısmen zenginleşme görülmektedir. Çalışılan örneklerinin iz element değişimleri; Toulkeridis vd. (1998) tarafından verilen değerlerle karşılaştırıldığında özellikle denizel jiplere kıyasla yüksek Ba değerleri karasal katkının varlığını doğrulamaktadır.



Şekil 3.38. Pırnakapan evaporitleri a)jips ve anhidrit, b) kiltası-kireçtaşı örneklerinin MUQ'a (ortalama Queensland sediman bileşimi, Kamber vd., 2005) normalize örümcek diyagramları.

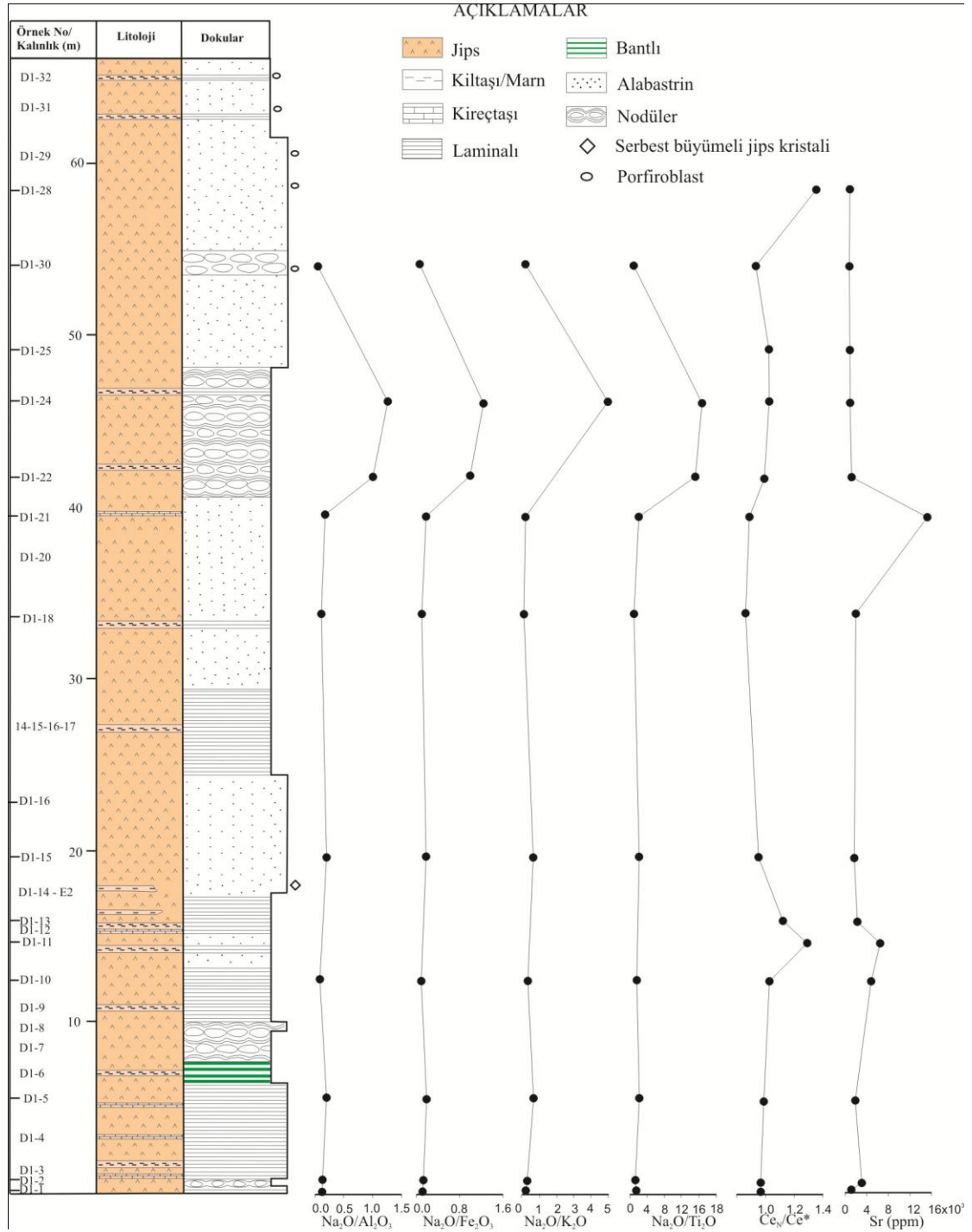
### 3.5.6. Kemostratigrafik Korelasyonlar

Jeokimyasal değişimlerin özellikle stratigrafik düzeyle ilişkilendirilmesi paleoklimatolojik yorumların yapılmasında sıklıkla kullanılır (Bahadori vd., 2011). Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) evaporitlerindeki değişimleri incelemek amacı ile 1 nolu lokasyona adet ölçülü stratigrafik kesit üzerine tüm-kayaç kimyaları işlenerek, gerek dokusal gerekse düşey yönde bir değişimin olup olmadığı irdelenmeye çalışılmıştır (Şekil 3.39). Çözünürlüğü çok yüksek  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  veya  $\text{K}^+$  iyonları ayrışmaya karşı daha duraylı olan  $\text{Ti}^{+4}$ ,  $\text{Al}^{+3}$  ve  $\text{Fe}^{+3}$  gibi iyonlara kıyasla daha farklı bir davranış sunarlar (Mason ve Moore, 1982). Çözünbilir elementler suyla taşınırken, çözünemeyen elementler sedimanlarda zenginleşmeyi tercih ederler. Dolayısıyla bu iki grubun birbirine kıyasla konsantrasyonları paleo-ortam koşullarını yansıtır (Nesbitt ve Young, 1982; Gallet vd., 1996; Roy vd., 2006, 2009). Smykatz-Kloss ve Roy (2010),  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$  ve  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  oranlarının evaporit minerallerinin paleo-iklimsel koşullarını işaret etmesi açısından kullanılmasını önermiştir. Bu oranlardan ilk üç tanesinin artan kuraklığa veya azalan su aktivitesine karşı hızla artması beklenir (Bahadori vd., 2011). En son oran ise Na ve K'un her ikisinin de çözünbilir elementler olmasına karşın K'un illit gibi fazlar tarafından kolaylıkla adsorbe edilmesinden ötürü yeni formlar oluşturur (Pandarinath vd., 1999). Böylece ortamsal koşullar değişmediği müddetçe teorik olarak  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  oranı sabit kalır (Bahadori vd., 2011).

İncelenen evaporit örneklerinin özellikle  $\text{Na}_2\text{O}$  içeriklerinin çok düşük olması ve bazı örneklerde dedeksiyon limiti altında ( $<0.001\%$ ) kalması dolayısıyla  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$  ve  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  değişimlerini tam olarak görmek mümkün olmamıştır. Ayrıca bu değişimleri,  $\text{Ce}_N/\text{Ce}^*$  oranları ve Sr içerikleri ile birlikte korele etmek daha anlamlı olmaktadır. Şekil 3.39 incelendiğinde; oldukça düşük  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$  ve  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  oranlarının olduğu ve düşey yönde genel olarak fazla bir değişimin olmadığı, buna karşın  $\text{Ce}_N/\text{Ce}^*$  oranları ve Sr içeriklerinde az da olsa değişimin olduğu gözlenmektedir. Bu durum paleo-ortamda evaporitik akışkanlara büyük oranda denizel olmayan akışkan katkısı ile açıklanabileceği gibi evaporit oluşumu esnasındaki deniz suyunun oldukça sığ olduğu, bir başka ifade ile açık bir denizden daha ziyade karaya yakın bir alan olduğuna işaret edebilir (Bahadori vd., 2011).

Şekil 3.39 incelendiğinde dokusal değişimleri yukarıda belirtilen oksit oranlarında büyük bir değişime neden olmamaktadır. Ayrıca, D1-22 ve D1-24 nolu örneklerin anhidrit

olması nedeni ile daha yüksek oranlar gösterdikleri göze çarpmaktadır. Benzer şekilde Sr içeriğindeki önemli artışlar karbonat çökelişi ve kırıntılı malzeme girişinin olduğu seviyelerde belirginleştiği ve sölestin çökelişi ile ilişkili olduğu aşikârdır.

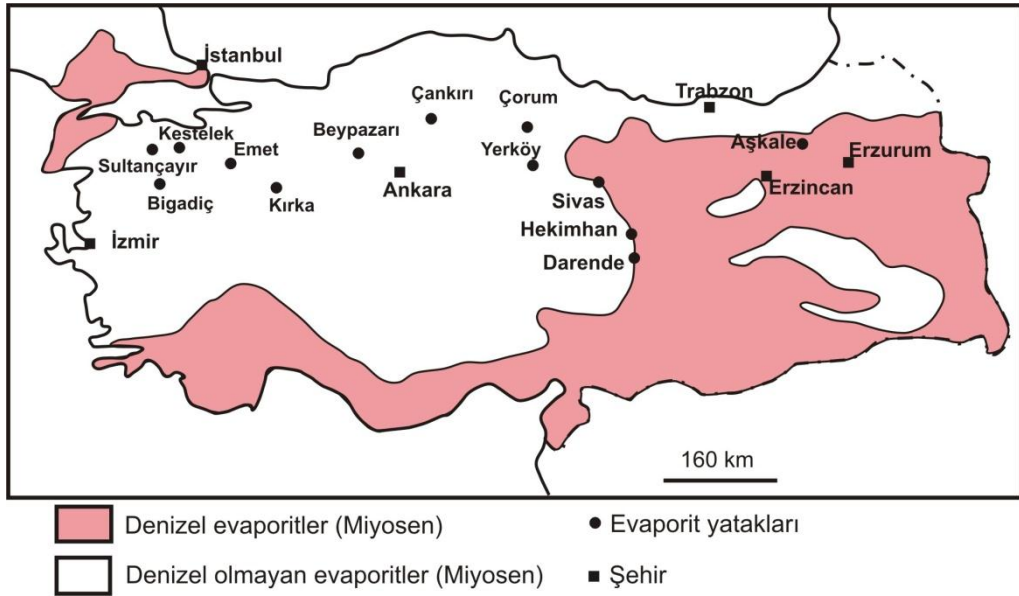


Şekil 3.39. Pınakapan (Aşkale, Erzurum) evaporitleri 1 numaralı lokasyona ait düşey yöndeki jeokimyasal değişimler. D1-22 ve D1-24 nolu örnekler anhidrit, diğer örnekler ise jips örnekleridir.

## 4. TARTIŞMA

### 4.1. Giriş

Çalışma alanını oluşturan Miyosen yaşlı evaporitlerin yer aldığı çalışma alanını içine alan bölgenin bir denizel baskın alanı olabileceği düşünülmektedir (Gedik, 1985; Inan, 1988; Yılmaz vd., 1988; Gökten, 1993). Ayrıca Özsayar, (1971, 1977). İncelenen Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) evaporitlerinin bulunduğu saha, Brinkmann (1976) tarafından tanımlanan denizel kökenli Miyosen fasiyeslerinin içerisinde yer almasına karşı bu alanının sınırına oldukça yakın bir alanda yayılım göstermektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Türkiye'deki Miyosen yaşlı denizel ve denizel olmayan evaporitlerin dağılımı (Brinkmann, 1976).

### 4.2. Mineralojik Verilerin Analizi

Pırnakapan köyü çevresinden alınan evaporit örneklerinin petrografik ve mineralojik incelemelerinde laminalı, bantlı, nodüler, nodüler – bantlı, alabastrin, alabastrin porfiroblastik, satinspar ve tavuk-tel (chicken-wire) dokuları gösterdikleri gözlenmiştir. Bu dokularla birlikte lokasyonlarda killi karbonatlı seviyeler tespit edilmiş olup, killi seviyelerde oluşan serbest büyümlü jips kristallerine rastlanmıştır (Şekil 4.2).



Örneklerin mikroskopik incelemeleri sırasında laminalı doku gösteren örneklerde tabakalanmalar ve çatlaklarda lifsi jipsler gözlenmiş olup, sölestin oluşumlarına rastlanmıştır (Şekil 3.17 a,b). Bazı örneklerde ise, bu sölestin oluşumları içinde fosil kavkılar gözlenmiştir (Şekil 3.21). Ayrıca laminalanmaya paralel olarak gelişen anhidrit latalarında belirlenmiştir (Şekil 3.17 c,d). Alabastrin dokulu örneklerde farklı boyutlarda ve şekillerde porfiroblastlarda gözlenmiştir ve bu porfiroblastların boyutlarının ikincil jipslerin yeniden kristallenmeleriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Karbonatlı kayaçların çatlaklarında da anhidritlerin su alması sonucu oluşan lifli jipsler ve sölestin oluşumları vardır (Şekil 3.19 a,b)

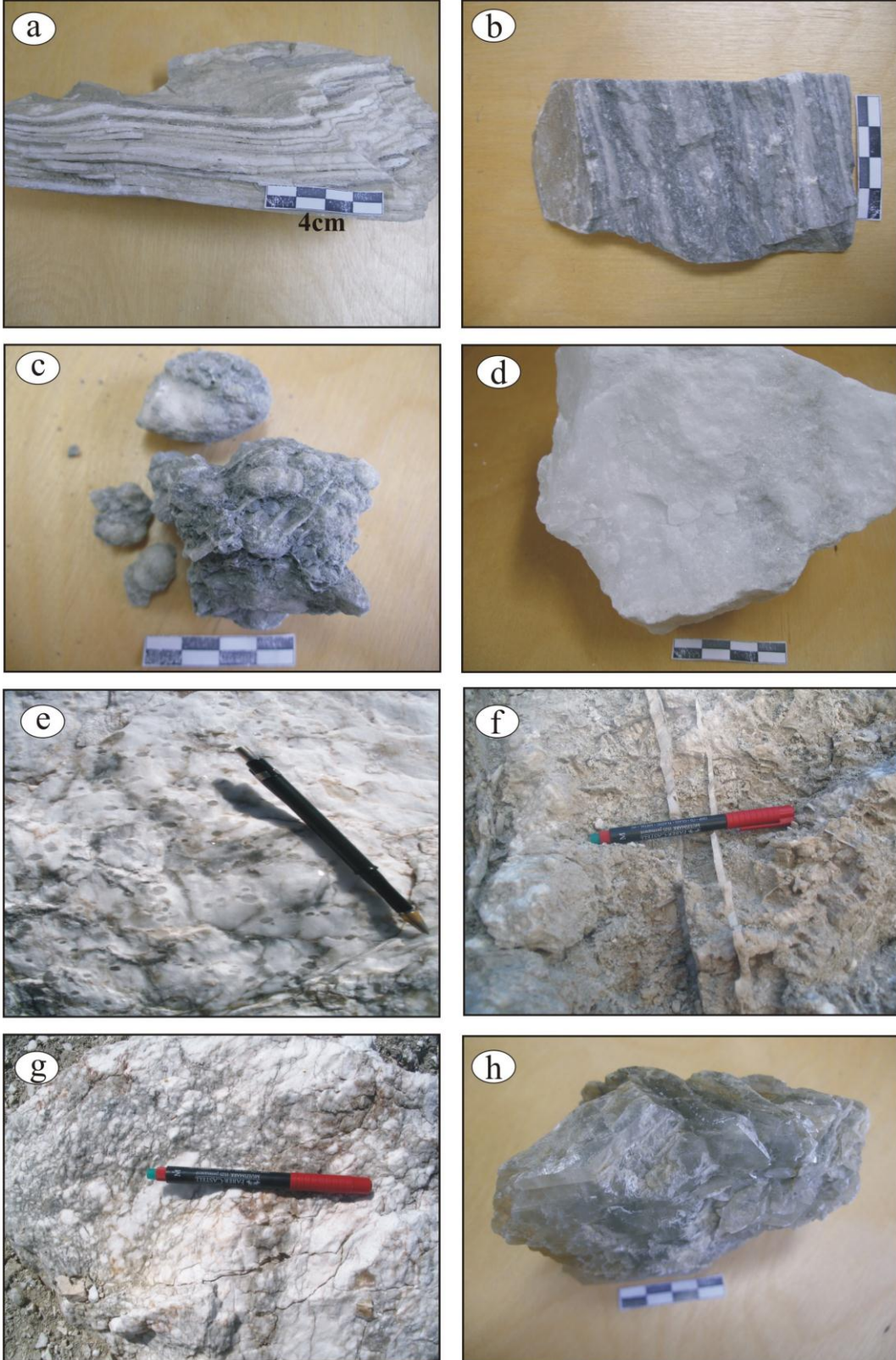
Evaporit örneklerinin makroskopik incelemelerinde genel olarak jips ve anhidritten oluştuğu gözlenmiş olup, X-ışınları incelemelerinde de bu gözlemler teyid edilmiştir. XRD incelemelerinde jips ve anhidritin yanı sıra karbonat minerali olarak yaygın kalsit tanımlanmıştır (Şekil 3.23). Kıltaşı örneklerinde ise, jips, kalsit, simektit, epsomit ve lutesit mineralleri belirlenmiştir (Şekil 3.26).

### **4.3. Türkiye’de Oluşan Evaporitlerin ve Pırnakapan Yöresindeki Evaporitlerin Jeokimyasının Karşılaştırılması**

Türkiye’de bazı bölgelerde yapılan evaporit çalışmalarının jeokimyasal analiz sonuçları ile Pırnakapan köyü civarındaki evaporitlerin jeokimyasal analiz sonuçları karşılaştırmak için Tablo 4.1’de verilmiştir.

Sivas-Ulaş havzasındaki sölestinli jipsler denizel ortamlarda oluşmuşlardır (Tekin, 2001). Beypazarı, Çankırı –Çorum havzalarındaki evaporitler ( jips, anhidrit, mirabilite, glauberit, thenardit) (Gündoğan, 2000) ve Zeybek (2007) tarafından Orta Sakarya bölgesinde çalışılan evaporitler (anhidrit ve jips) ise gölsel ortamda oluşmuşlardır.

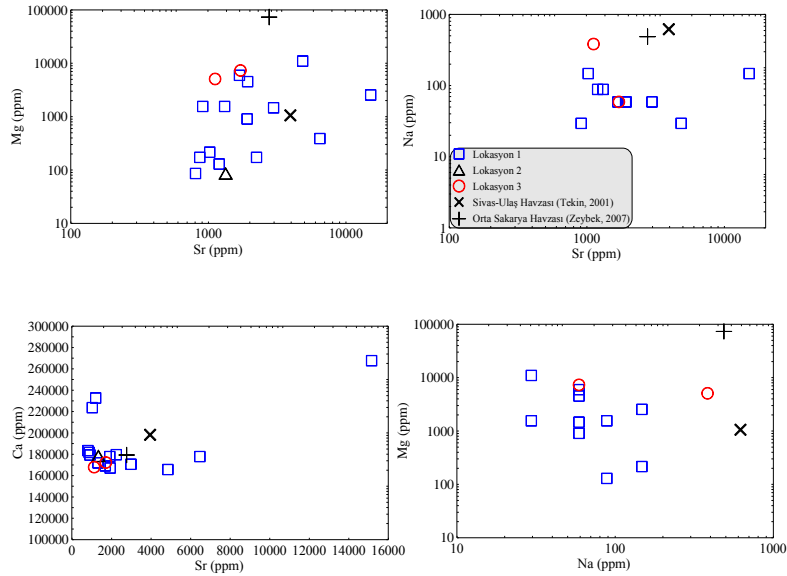
Pırnakapan köyü çevresindeki tipik anhidrit ve jips örneklerinden yapılan jeokimyasal analiz sonuçlarına göre, SiO<sub>2</sub> (% 0.03-3.92), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% 0.01-0.94), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% 0.01-0.42), MgO (% 0.02-2.55), Na<sub>2</sub>O (% 0.01-0.63) ve CaO (% 29.8-48.14) içerikleri Sivas ili Ulaş havzasındaki (Tekin, 2001) ve Beypazarı ve Çankırı-Çorum havzalarındaki (Gündoğan, 2000) çalışılan evaporitlerin ana oksit değerleri ile benzerlik göstermekte olup, Zeybek (2007) tarafından Orta Sakarya’da çalışılan evaporitlerden daha düşük değerdedir (Tablo 4.1).



Şekil 4.2. Pınakapan köyü civarındaki evaporitlerde makroskobik olarak gözlenen laminalı (a), bantlı (b), nodüler- bantlı (c), alabastrin (d), alabastrin porfiroblastik (e), satinspar (f), tavuk – tel (g) dokuları ve serbest büyümelı jips kristalleri (h).

İz elementlerden Ba, Pb ve Cu içerikleri Zeybek (2007) tarafından yapılan çalışma ile benzerlik gösterirken, Tekin (2001) tarafından yapılan çalışmadaki element içeriklerinden oldukça yüksektir. Sr içerikleri ise, Baysal ve Ataman (1980), Gökçe ve Ceyhan (1988)'in sonuçlarında daha yüksek olmasına rağmen, Tekin (2001) ve Zeybek (2007)'nin sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Pırnakapan evaporit örneklerinin Mg içerikleri Zeybek (2007) ile benzer olup, diğer çalışmalardan daha yüksektir ( Tablo 4.1).

Pırnakapan evaporit örneklerinin Sr, Mg, Na ve Ca içerikleri sırasıyla 806-15150 ppm, 86-11006 ppm, 0-147ppm ve 165684-267652 ppm arasında değişmektedir. Sr'a karşı Mg, Na ve Ca ikili element diyagramları çizilirken, Na'a karşı Mg diyagramı çizilmiştir. Lokasyon 1 ve 3' deki örneklerin Sr' karşı çizilen Mg değerleri pozitif ilişki gösterirken, Na değerleri negatif bir ilişki göstermektedir. Sr'a karşı çizilen Ca değerleri lokasyon 1 örnekleri için önce negatif daha sonra pozitif bir ilişki gösterirken, lokasyon 3 örnekleri için pozitif ilişki göstermektedir. Na'a karşı çizilen Mg değerleri Lokasyon 1 ve 3 için negatif bir ilişki göstermektedir (Şekil 4.4). Tekin (2001) ve Zeybek (2007) çalışmalarındaki evaporit örneklerinin ortalama değerleri ile Pırnakapan evaporit örneklerinin Sr'a karşı çizilen Mg değerleri ve Ca değerleri benzerlik göstermektedir. Şekil 4.3 incelendiğinde kilitaşı-kireçtaşı-marn örnekleri dikkate alınmadığında Sr'a karşı Mg, Na ve Na'a karşı Mg grafiklerinde pozitif bir yönsemenin olduğunu söylemek mümkündür. Bu veri aynı zamanda ortamda denizel bir katkının olabileceğine de işaret etmektedir.



Şekil 4.3. Pırnakapan evaporitlerinin ve Türkiye'deki bazı evaporitlerin Sr' a karşı Mg, Na Ca ve Na'a karşı Mg diyagramlarında karşılaştırılması.

Tablo 4.1. Türkiyedeki bazı evaporitlerin ana ve iz element içeriklerinin Pınakapan (Aşkale, Erzurum) evaporitleri ile karşılaştırılması.

	Zara-Refahiye Havzası	Celali-Karayün- Hafik Havzası	Sivas-Ulaş Havzası	Beypazarı Havzası	Çankırı-Çorum Havzası	Orta Sakarya Bölgesi	Pınakapan Evaporitleri
SiO <sub>2</sub>				% 0.56 - 3.89	% 1.14 - 4.97	% 0.22 - 25.72	% 0.03 - 3.92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				% 0.1 - 0.75	% 0.26 - 1.15	% 0.08 - 10.72	% 0.01 - 0.94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *				% 0.037 - 0.418	% 0.135 - 0.693	% 0.04 - 6.81	% 0.01 - 0.42
MnO				% 0.001 - 0.011	% 0.002 - 0.017	-	% 0.002 - 0.009
MgO			% 0.17 - 0.32	% 0.21 - 7.45	% 0.14 - 14.73	% 0.07 - 33.98	% 0.02 - 2.55
CaO			% 32.7 - 38.6	% 2.87 - 39.86	% 14.13 - 38.62	% 7.75 - 56.75	% 29.8 - 48.14
Na <sub>2</sub> O			% 0.11 - 0.31	% 0.004 - 42.38	% 0 - 0.17	% 0.06 - 0.27	% 0.01 - 0.13
K <sub>2</sub> O			% 0.1 - 1.2	% 0.023 - 0.184	% 0.051 - 0.315	% 0.01 - 0.87	% 0.01 - 0.29
TiO <sub>2</sub>				% 0 - 0.069	% 0 - 0.069	% 0.01 - 0.77	% 0.002 - 0.047
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>						% 0.01 - 0.87	% 0.01 - 0.02
Sr	783 ppm	2450 ppm	2526 - 5368 ppm			256.9 - 5270 ppm	806 - 15150 ppm
Ba			0.01 - 6.5 ppm			11.6 - 273.9 ppm	1 - 91 ppm
Ni						2.2 - 97.1 ppm	1.5 - 21.4 ppm
B							2.4 - 20.3 ppm
Li	2.8 ppm	3.1 ppm	1.6 - 3 ppm				
F	16.1 ppm	40 ppm	3.4 - 4.8 ppm				
Pb			0.14 - 2.5 ppm			2 - 20.07 ppm	0.04 - 2.12 ppm
Cu			0.1 - 2 ppm			1 - 43.1 ppm	0.54 - 27.8 ppm
Mg	3741 ppm	6528 ppm	3158 - 4768 ppm				86.32 - 11480.99 ppm
	Baysal ve Ataman, 1980 (Miyosen)	Gökçe ve Ceyhan, 1988 (Miyosen)	Tekin, 2001 (Miyosen) (Denizel ortam)	Gündoğan, 2000 (Neojen) (Gölsel ortam)	Zeybek, 2007 (Miyosen) (Gölsel ortam)		Bu çalışma (Miyosen)

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Pırnakapan yöresinde tabanda Karbonifer yaşlı volkano-sedimanter birimler, üzerine sırasıyla ultramafik kayalar ve evaporit üyesini kapsayan Adilcevaz formasyonu gelir. Adilcevaz formasyonu birbiriyle yanal ve düşey geçişli olan 4 üyeden oluşmaktadır. Kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı ve tüflü killi kireçtaşlarından oluşan Yolüstü formasyonu bu birimleri uyumsuz olarak örter. Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve birikinti konisi, alüvyonlar çalışma alanındaki en genç birim olarak tüm birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelir.

2. Evaporit birimlerinin; jips, anhidrit, killi-jipsli kireçtaşı ve yer yer de kıltaşı, kireçtaşı seviyelerinden oluştuğu belirlenmiş olup, makroskopik ve mikroskop çalışmaları sonucunda laminalı, bantlı, nodüler, nodüler-bantlı, tavuk-tel ve entrolitik ikincil jips litofasiyesleri ve anhidritlerin su alması ile gelişmiş alabastrin, porfiroblastik ve satin spar dokulu ikincil jipsler tespit edilmiştir.

3. Ana, iz ve nadir toprak element jeokimyası mineraloji ile uyumlu olarak sülfat minerallerinin yanı sıra az oranda saptanan silikat minerallerinden özellikle illit ve Mg-simektit gibi kil minerallerinin ve karbonat minerallerinin varlığına işaret etmektedir.

4. Evaporitik örneklerde pozitif SiO<sub>2</sub>-oksit korelasyonları ve yüksek Cr, Ni ve Ba konsantrasyonları paleo-depolanma ortamının buharlaşmadan dolayı sığlaştığını ve kil veya kırıntıların paleo-depolanma ortamına karadan, olasılıkla çevreleyen ultramafik kayalardan taşındığına işaret eder.

5. Lokasyon 1' den düşey yönde ölçülü olarak alınan örneklerin ana oksit değerlerinden Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerlerindeki azalma kil mineral oranındaki azalmayı gösterirken, düşey yöndeki elementsel değişimlerdeki uyumluluk ise mevsimsel değişimlere bağlı evaporit oluşumu ve kırıntılı malzeme oluşumuna işaret etmektedir.

6. Örneklerin MUQ' a göre normalize nadir toprak element değişimleri jips ve anhidrit örneklerinde benzer değişimler gösterirken, kil-kireçtaşı örneklerinde zenginleşme göstermektedir. Bu ultramafitlerden kaynaklanan kırıntılı malzeme girdisinin olduğunu işaret etmektedir. Örneklerdeki az negatif ve pozitif Ce anomalileri ortamın karasal veya denizel bir katkıya işaret ettiğini gösterir.

7. Örneklerdeki Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> ve Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O oranlarında bir değişim gözlenmemesine karşın Ce<sub>N</sub>/Ce oranları ve Sr içeriklerinde az da olsa değişimin olması evaporit oluşumu esnasındaki deniz suyunun oldukça sığ olduğunu işaret etmektedir.

8. Yapılan mineralojik, petrografik ve jeokimyasal analizler sonucunda Pırnakapan (Aşkale, Erzurum) civarındaki evaporitlerin paleo-depolanma ortamının sığ denizel olduğu düşünölmektedir. Paleo depolanma ortamının denizel olduğu düşünölen evaporitlerden izotop analizleri yapılarak bu görüşün desteklenmesi önerilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abich, H., 1859. Vergleichende geologische Grundzüge der kankasischen Gebirge: Mem. A. Cad. Enop., Serie G. Math. et Phys. Bd. VII (IX), St. Petersburg.
- Abich, H., 1878. Geologische Forschungen in derkaukasischen Ländern, Wien.
- Akay, E., Erkan, E. ve Ünay, E., 1989. Muş Tersiyer havzasının stratigrafisi, MTA Dergisi, 109, 59-76.
- Akkuş, M.F., 1971. Geologic and stratigraphic investigation of Darende–Balaban Basin (Malatya ESE Anatolia), MTA Mag., 76, 1– 61.
- Arni, P., 1939. Doğu Anadolu ve mücavir mıntıklarının tektonik ana hatları, M.A.T. Tayini., seri B, No. 4, Ankara.
- Arpat, E., 1965. Ilıca-Aşkale (Erzurum ili) arasındaki sahanın ve kuzeyinin genel jeolojisi-petrol olanakları: MTA Rap., 4040.
- Atabey, E., 1993. Stratigraphy of the Gürün autochthon (between Gürün and Sarız), Eastern Taurus – SW Sivas (Turkey), TJK Bült., C36, 99- 113.
- Bahadori, A., Carranza, E. J. M. ve Soleimani, B., 2011. Geochemical analysis of evaporite sedimentation in Gachsaran Formation, Zeloi oil field, southwest Iran, Journal of Geochemical Exploration, 111, 97-112.
- Baysal, O. ve Ataman, G., 1980. Sedimentology, mineralogy and geochemistry of a sulfate series (Sivas-Turkey), Sedimentary Geology, 25, 67-81.
- Bozkaya, Ö. ve Yalçın, H., 1992. Geology of the Cretaceous–Tertiary sequence of Hekimhan Basin (northwestern Malatya, Turkey), TPDJ Bül., 4, 59– 80.
- Bozkuş, C., 1990. Oltu-Narman Tersiyer Havzası Kuzeydoğusunun (Kömürlü) Stratigrafisi, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 33, 47-56.
- Brinkmann, R., 1976. Geology of Turkey. Elsevier, Amsterdam. 158pp.
- Carlson, E.H., 1987. Celestine replacemnt of evaporites in the Salina Group, Sedimentary Geology, 54, 92-112.
- Ceyhan, F., 1996. Sivas Çevresindeki Sölestin Yataklarının Jeolojisi, Oluşumu ve Kökeni, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Chaput, E., 1936. Voyoges D'Etudes Geologiques et Geomorphogeniques en Turquie: Merm Inst. Fr. D'Archeol. D'İstanbul, II.



- Çiner, A., Kosun, E. ve Deynoux, M., 2002. Fluvial, evaporitic and shallow-marine facies architecture, depositional evolution and cyclicity in the Sivas Basin (Lower to Middle Miocene), Central Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 21, 147-165.
- Çubuk, Y., 1994. Bogazören (Imranlı) ve Karayün (Hafik) Yörelerinde (Sivas doğusu) yüzeyleyen Miyosen Yaşlı birimlerin tektonostratigrafisi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Darling, B.K., ve Lock, B.E., 1982. Sabkha or Subaqueous Intrastratal Origin of Chicken wire gypsum, DeQueen Formation (Cretaceous), Arkansas, AAPG Bulletin, 66.
- Demirtaşlı, E. and Pisoni, C., 1965. The Geology of Ahlat-Adilcevaz Area (North of Lake Van), Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey, 64, 24-39.
- Demirtaşlı, E., Tütüncü, K. ve Gedik, A., 1965. Tekman havzasının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası: MTA Enerji Dairesi Arşivi, Ankara.
- Emelyanov, E.M. ve Shimhus, K.M., 1986. Geochemistry and sedimentology of the Mediterranean Sea, Paris, 176p.
- Erdogan, B., Akay, E. ve Uğur, M.S., 1996. Geology of the Yozgat region and evolution of the collisional Çankırı Basin, Int. Geol. Rev., 38, 788–806.
- Ergün, O.N., 1977. Sedimentology of Tertiary evaporites, Uğurludağ area Çankırı- Çorum Basin, Turkey: Unpubl. Ph. D. Thesis, Imperial College, London.
- Gallet, S., Jahn, B.M. ve Torii, M., 1996. Geochemical characterization of the Luochuan loesspaleosol sequence, China, and paleoclimatic implications, Chem. Geol., 133, 67–88.
- Gedik, A., 1985. Geology and Petroleum Potential of the Tekman (Erzurum) Basin (in Turkish), Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 103-104, 1-24.
- Gökçe, A. ve Ceyhan, F., 1988. Sivas güneydoğusundaki Miyosen yaşlı jipsli çökellerin stratigrafisi, yapısal özellikleri ve oluşumu. Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cumhuriyet Üniversitesi, Serie A-Earth Sciences, 15 (1), 92–111.
- Gökten, E., 1993. Geology of the Southern Boundary of the Sivas Basin East of Ulaş (Sivas-Central Anatolia), Tectonic Development Related to the Closure of the inner Tauride Ocean (in Turkish), Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 5, 35-55.
- Gündoğan, İ. ve Helvacı, C., 1993. Sultançayır (Susurluk-Balıkesir) Boratlı Jips Havzasının Jeolojisi, Mineralojisi ve Ekonomik Potansiyeli, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 36,1, 159-172.
- Gündoğan, İ., 2000. Geology, Mineralogy-Petrography and Economic Potential of the upper Miocene Evaporites in the Beypazarı and Çankırı-Çorum Basins, PhD Thesis, Dokuz Eylül University, İzmir.

- Gündoğan, İ., ve Helvacı, C., 2001. Sedimentological and Petrographical Aspects of Upper Miocene Evaporites in the Beypazarı and Çankırı-Çorum Basins (Central Anatolia Turkey), International Geology Review, 43, 818-829.
- Gündoğan, İ., Önal, M. ve Depçi, T., 2005. Sedimentology, Petrography and Diagenesis of Eocene-Oligocene Evaporites: the Tuzhisar Formation, SW Sivas Basin, Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 25,791-803.
- Gündoğan, İ., Helvacı, C. ve Sözbilir, H., 2008. Gypsiferous Carbonates at Honaz Dağı (Denizli): First Documentation of Triassic Gypsum in Western Turkey and its Tectonic Significance, Journal of Asian Earth Sciences, 32, 49-65. *Genevre*, Vol. 57/4.
- Gysin, M., 1940. Les Dolomites de Devrik Extr. Du Comprend Des Seances de la: Soc. Plys. et D'ltist. Nat. De
- Hardie, L.A., Lowenstein, T.K. ve Spencer, R.J., 1983. The Problem of Distinguishing Between Primary and Secondary Features in Evaporites. In: Sixth International Symposium on Salt (Ed. by B.C. Schreiber and H.L. Harner), The Salt Institute, Virginia, 1, 11-39.
- Hardie, L.A., 1984. Evaporite: Marine or Non-marine, American Journal of Science, 284, 193-240.
- Hasselöv, M., Lyven, D., Haraldsson, C. ve Sirnawin, W. 1999. Determination of Continuous Size and Trace Element Distribution of Field-flow Fractionation with ICP-MS, Anal. Chem., 71, 3497-3502.
- Helvacı, C. ve Orti, F., 1998. Sedimentology and Diagenesis of Miocene Colemanite-Ulexite Deposits (Western Anatolia, Turkey), Journal of Sedimentary Research, 68, 1021-1033.
- Helvacı, C. ve Yağmurlu, F., 1995. Geological Setting and Economic Potential of the Lignite and Evaporite-Bearing Neogene Basins of Western Anatolia, Turkey, Isr. J. Earth-Sci., 44, 91- 105.
- Inan, S., 1988. Tectonic Evolution of the Erzurum- Aşkale- Tortum Region (in Turkish): Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Yerbilimleri, 5, 37-48.
- Irritz, W., 1967. Erzurum- Aşkale Havzasının Linyit Etüdü: MTA Rap., 124.
- Kamber, B. S., Greig, A. ve Collerson, K. D., 2005. A New Estimate for the Composition of Weathered Young Upper Continental Crust from Alluvial Sediments, Queensland, Australia, Geochimica et Cosmochimica Acta, 69, 4, 1041-1058.
- Ketin, 1950. Erzincan-Aşkale Arasındaki Sahanın 1/100000 ölçekli 46/4 ve 47/3 Paftasının Jeolojisi: MTA Rap., 1950 (yayımlanmamış) Ankara.
- Ketin, İ., 1983. Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış, İ.T.Ü. Kütüphanesi, 1259, 536.

- Kırtıl, M., 2008. Sazak ve Biçer Köyleri (GD Mihaliççık) Civarı Neojen Yaşlı Evaporitik Birimlerin Sedimentolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kogel, J.E., Trivedi, N.C., Barker, J.M., ve Krukowski, S.T., 2006. Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses. 7 th edition. SME, pp. 1570.
- Koçyiğit, A., 1985. Muratbağı-Balabantaş (Horasan) Arasında Çobandede Fay Kuşağının Jeotektonik Özellikleri ve Horasan- Narman Depremi Yüzey Kırıkları: C. Ü. Müh. Fak. Yer Bilimleri Dergi., 2/1, 15-32.
- Koçyiğit, A., Öztürk, A., İnan, S. ve Gürsoy, H., 1985. Karasu Havzasının (Erzurum) Tektono-Morfolojisi ve Mekanik Yorumu: C. Ü. Müh. Fak. Yer Bilimleri Dergi., 2/1, 1-14.
- Kolaylı, H., 1996. Kop Dağları Erzincan-Erzurum-Bayburt Ultramafik Kayaçların Jeolojik, Petrografik ve Metallojenik İncelemesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Krauskopf, K.B., 1979. Introduction to Geochemistry, McGraw-Hill, New York, 721p.
- Kushnir, J., 1980. The Coprecipitation of Strontium, Magnesium, Sodium, Potassium, and Chloride Ions with Gypsum: An Experimental Study, Geochim. Cosmochim. Acta, 44, 1471–1482.
- Kushnir, J., 1982. The Partitioning of Seawater Cations During the Transformation of Gypsum to Anhydrite, Geochim. Cosmochim. Acta, 46, 433–446.
- Lahn, E., 1939. Kızılırmak ile Yeşilirmak Arasındaki Mıntıkaya Dair Rapor. M.T.A.Report No. 1026.
- Lahn, E., 1940. Erzurum Havalisinin Jeolojik Bünyeleri, MTA Derg., 2, 19, 233-243.
- Mason, B. ve Moore, C.B., 1982. Principles of Geochemistry, Wiley, New York, 344p.
- M.T.A., 2002. Türkiye Jeoloji Haritası, 1/500.000. Ankara, Türkiye.
- Mossop, G.D. ve Shearman, D.J., 1973. Origins of Secondary Gypsum Rock, Institute of Mining and Metallurgy Transactions (Section B), 82, 147–154.
- Muller, G., 1962. Zur Geochemie des Strontiums in Ozeanen Evaporites Unter Besondere Berücksichtigung der Sedimentaren Coelestin Lagerstätte von Hemmelte-West (Süd Oldenburg), Geologie, 11, 1-90.
- Murray, R.C., 1964. Origin and Diagenesis of Gypsum and Anhydrite, Journal of Sedimentary Petrology, 34, 512-523.
- Nesbitt, H.W. ve Young, G.M., 1982. Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites, Nature, 299, 715–717.

- Ocakoğlu, F., 2001. Repetitive Subtidal –to –Coastal Sabkha Cycles from a Lower-Middle Miocene Marine Sequence, Eastern Sivas Basin, Turkish Journal of Earth Sciences, 10, 17-34.
- Okay, A. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Serane, M. (Eds.), The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen, Geological Society, London, Special Publications, 156, 475-515.
- Orti, F., Helvacı, C., Rosell, L. ve Gündoğan, İ., 1998. Sulphate-Borate Relations in an Evaporitic Lacustrine Environment: the Sultançayır Gypsum Member (Miocene, western Anatolia), Sedimentology, 45, 697-710.
- Orti, F. ve Rosell, L., 1997. Sulfatos Evaporicos de Interes Petrologico, in Melgarejo, J.-C., ed., Atlas de Asociaciones Minerales en Lamina Delgada: Edicions Universited de Barcelona, Fundacio Folch, 211-234.
- Orti, F., Gündoğan, İ., ve Helvacı, C., 2002. Sodium Sulphate Deposit of Neogen Age: the Kirmir Formation. Beypazarı Basin, Turkey, Sedimentology Geology, 146, 305-333.
- Oswald, F., 1910. Zur Tectonishchen Entwick- Lungs Geochichte des Armenischen Hochlandes, Petermanns Mitteilungen, 1, 8, 67, 1126.
- Oswald, F., 1912. Handbuch der regionalen Geologie: Bd. V/3, Armenien.
- Önem, Y., 2000. Sanayi Madenleri, Kozan Ofset, Ankara, 386s.
- Palmer, M. R., Helvacı, C. ve Fallick, A. E., 2004. Sulphur, Sulphate, Oxygen and Strontium Isotope Composition of Cenozoic Turkish Evaporates, Chemical Geology, 209, 341-356.
- Pandarınath, K., Prasad, S. ve Gupta, S.K., 1999. A 75 ka record of Palaeoclimatic Changes Inferred from Crystallinity of Illite from Nal Sarovar, western India, J. Geol. Soc. India, 54, 515-522.
- Pamir, H.N. ve Baykal, F., 1943. Bingöl Bölgesi ile Buranın Şimel ve Cenubundaki Jeolojik Yapı: MTA Rap., 1447.
- Pekuz, Ü., 1998. Honaz (Denizli) Çevresinde Evaporit İçeren Neojen Tortullarının Stratigrafisi ve Depolanma Özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Playà, E., Cendon, D. I., Trave, A., Chivas, A. R., ve Garcia, A., 2007. Using Multiple Geochemical Proxies to Trace Origin of Gypsum (Gulf of Carpentaria, Australia, - 70ka), Geogaceta, 42, 135-138.
- Playa , E., Orti, F.ggt ve Rosell, L., 2000. Marine ton on Marine Sedimentation in the Upper Miocene Evaporites of the Eastern Betics, SE Spain: Sedimentological and geochemical Evidence, Sedimentary Geology, 133, 135-166.

- Reading, H.G., 2004. *Sedimentary Environment: Processes, Facies, and Stratigraphy*. Blackwell Science.
- Roothaan, H., 1940. *Erzurum-Erzincan Vilayetlerinde Yapılan Petrol Jeolojisi Araştırma Raporu MTA Rap.*, 1248 (yayımlanmamış), Ankara.
- Roy, P.D., Nagar, Y.C., Juyal, N., Smykatz-Kloss, W., ve Singhvi, A.K., 2009. Geochemical Signatures of Late Holocene Paleo-Hydrological Changes from Phulera and Pokharan Saline Playas near the Eastern and Western margins of the Thar Desert, India, *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, 275–286.
- Roy, P.D., Smykatz-Kloss, W. ve Sinha, R., 2006. Late Holocene Geochemical History Inferred from Sambhar and Didwana Playa Sediments, Thar Desert, India: Comparison and Synthesis, *Quatern. Int.*, 144, 84–98.
- Sancay, R.E., 2005. *Palynostratigraphic and Palynofacies Investigation of the Oligocene-Miocene Units in the Kars-Erzurum-Muş Sub-Basins (Eastern Anatolia)*, Ph. D.Thesis, Middle East Technical University, 364p.
- Shearman, D.J., 1966. Origin of Marine Evaporites by Diagenesis, *Institute of Mining and Metallurgy Transactions (Section B)*, 75, 208-215.
- Shearman, D.J., 1978. Evaporites of Coastal Sabkhas. In: Dean, W.E., Schreiber, B.C. (Eds.), *Marine Evaporites, (SEPM Short Course)*, 4, 6-42.
- Smykatz-Kloss, W. ve Roy, P.D., 2010. Evaporite Mineralogy and Major Element Geochemistry as Tools for Paleoclimatic Investigations in Arid Regions: a Synthesis, *Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana*, 62, 3, 379–390.
- Sonnenfeld, P. 1984. *Brines and Evaporites*. Academic Press, London, 631s.
- Stchepinsky, 1941. *Erzincan Mıntıkasının Jeolojisi ve Maden Zenginlikleri: MTA Seri C Monografikler No.2*, Ankara.
- Tarhan, N., 1989. *Hınıs-Varto (Erzurum-Muş) Dolayının Jeolojisi ve Petrolojisi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tarhan, N., 1992. *Hınıs- Varto- Karlıova Dolaylarının Jeolojisi: MTA Dergi.*, 113.
- Tarhan, N., Deveciler, E., Karabalık, N. N., Akdoğan, E., Çolak, T. ve Kar, H., 1992. *Aşkale-Çat (Erzurum) Dolayının Jeolojisi*, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 55s. (Yayımlanmamış).
- Tchihatchewseff, P., 1869. *Asie Mineure, 4<sup>e</sup> partie: Geologie*, 11, Paris.
- Tekin, E., 2001. Stratigraphy, Geochemistry and Depositional Environment of the Celestine-bearing Gypsiferous Formations of the Tertiary Ulaş- Sivas Basin, East- Central Anatolia (Turkey), *Turkish Journal of Earth Sciences*, 10, 35-49.

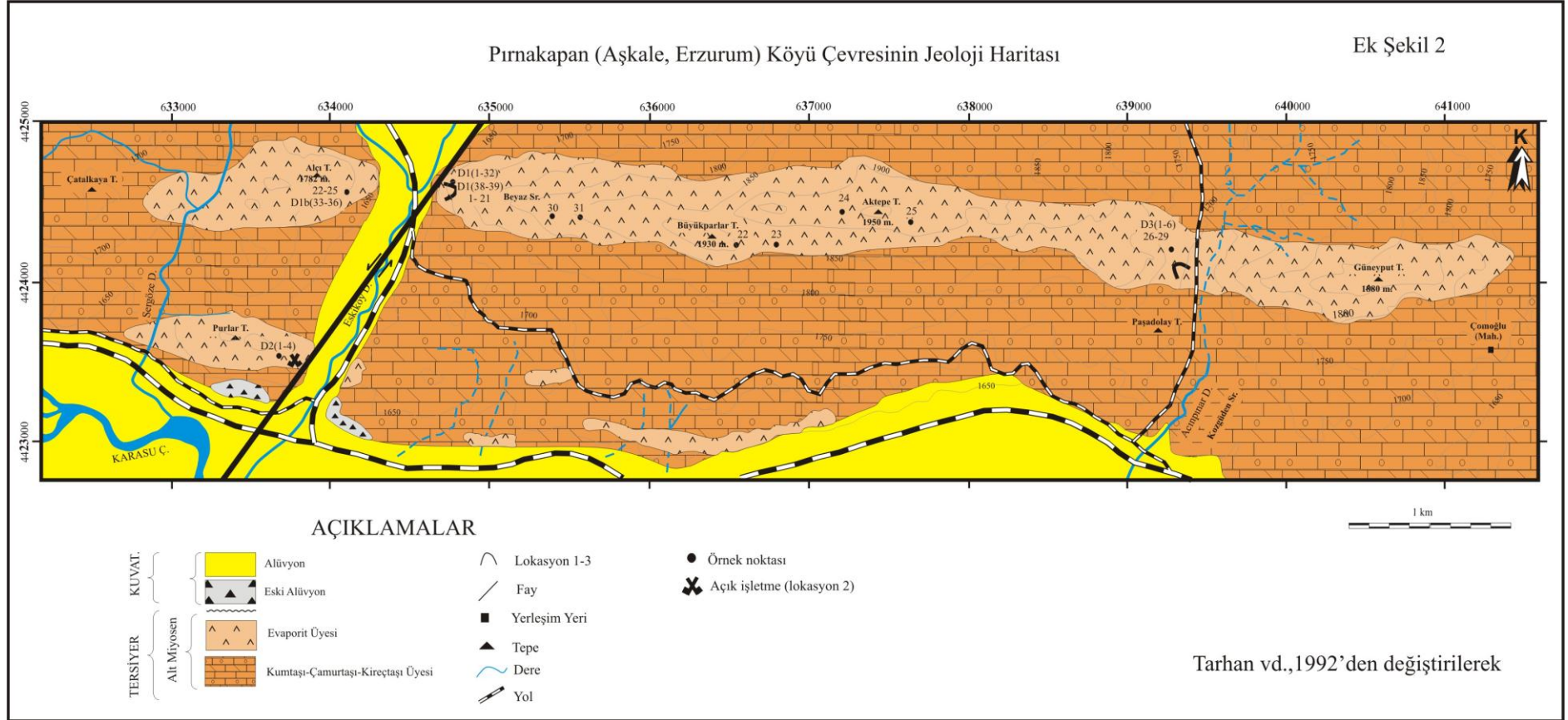
- Tekin, E., Varol, B. ve Friedman, G.M., 2001. A Preliminary Study: Celestite Bearing Gypsum in the Tertiary Sivas Basin, Central-Eastern Turkey, Carbonates and Evaporites, 16, 1, 93–101.
- Tekin, E., Varol, B., Ayan, Z. ve Satır, M., 2002. Epigenetic Origin of Celestite Deposits in Tertiary Sivas Basin: New Mineralogical and Geochemical Evidence, Neues Jahrbuch für Mineralogie-Monatshefte, 7, 289–318.
- Tekin, E., Varol, B. ve Ayyıldız, T., 2010. Sedimentology and Paleoenvironmental Evolution of Messinian Evaporates in the İskenderun-Hatay Basin Complex, Southern Turkey, Sedimentary Geology, 229(4), 282-298.
- Tekin, T., 2002. Source Rock Potential and Organic Facies Properties of the Oligo-Miocene Deposits in the Pasinler- Horasan, Tercan-Aşkale Basins (East Anatolia), Unpublished Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, 212p.
- Toulkeridis, T., Podwojewski, P. ve Clauer, N., 1998. Tracing the Source of Gypsum in New Caledonian Soils by REE Contents and S-Sr Isotopic Compositions, Chemical Geology, 145, 61-71.
- Turekian, K. K., 1964. The Marine Geochemistry of Strontium, Geochimica et Cosmochimica Acta, 28, 1479-1496.
- Turekian, K.K. ve Kulp, J.L., 1956. The Geochemistry of Strontium, Geochimica et Cosmochimica Acta, 10, 245-269.
- Türkmen, İ., 2004. Facies and Evaporite Genesis of the Kuşcular Formation (Lower Paleocene) Saline Playa Complex, Eastern Turkey, Journal Earth Sciences, 24, 91-104.
- Uzdowski, E. 1973. Das Geochemische Verhalten Des Strontiums bei der Genese und Diagenese von Ca-Karbonat-und Ca-Sulfat-Mineralen, Cont. Mineral. Petrol., 38, 855-881.
- Ünlü, T. ve Stendal, H., 1989. Jeokimya Verilerinin Çok Değişkenli Jeostatistik Analizlerle Değerlendirilmesine Bir Örnek: Divriği Bölgesi Demir Yatakları, Orta Anadolu, MTA Dergisi, 109, 127-140.
- Yağmurlu, F. ve Helvacı, C., 1994. Sedimentological Characteristics and Facies of the Evaporite Bearing Kirmir Formation (Neogene) Beypazarı Basin, Central Anatolia, Turkey, Sedimentology, 41, 5, 847-860.
- Yılmaz, A., Terlemez, Y. ve Uysal, S., 1988. Some Stratigraphic and Tectonic Characteristics of the Area around Hynys (Southeast of Erzurum), Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey, 108, 1-22.
- Warren, J.K., 2006. Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons. Springer, Berlin.

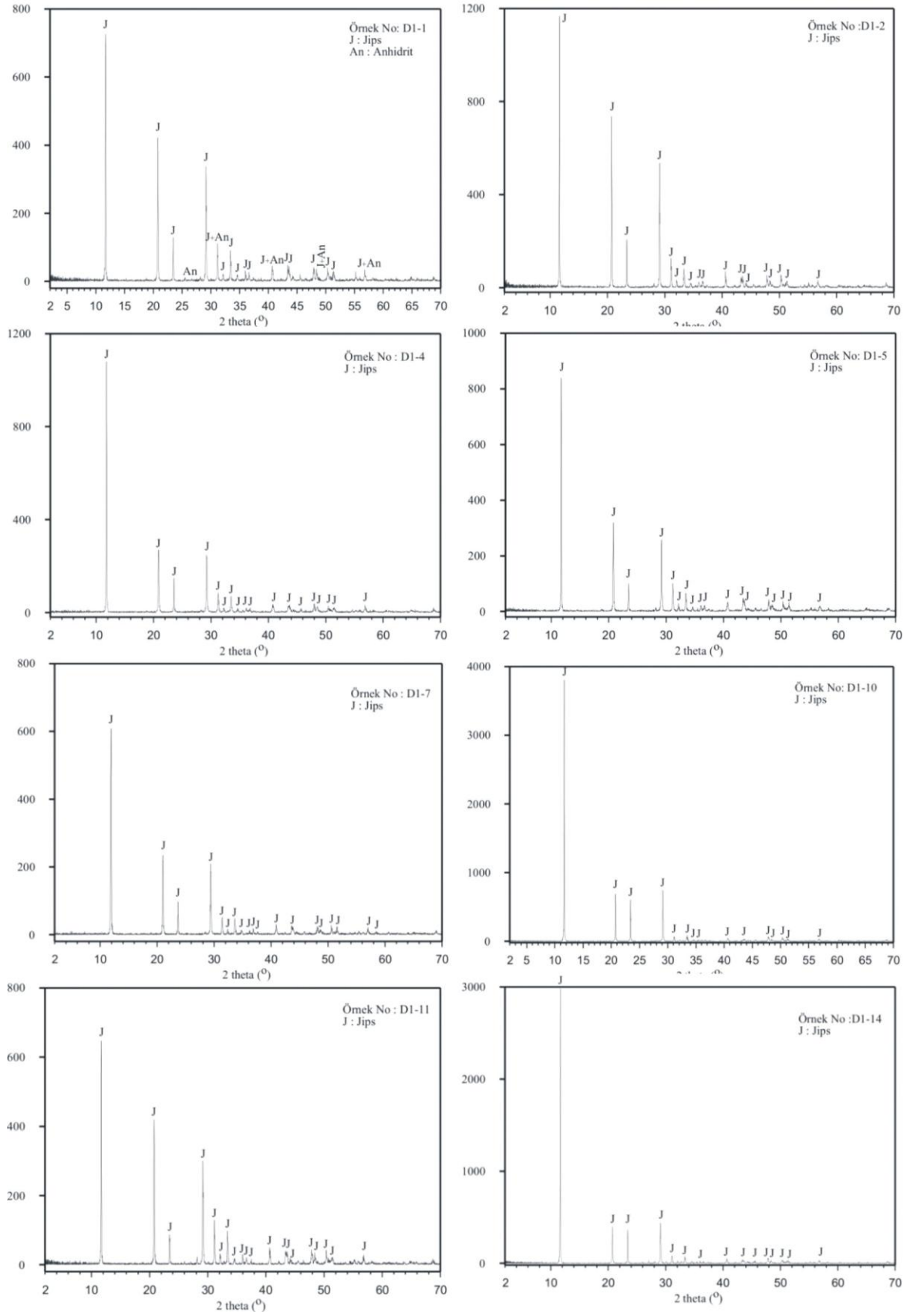
Zeybek, B., 2007. Porsuk Formasyonu (Pliyosen) Evaporitlerinin Jeokimyasal İncelenmesi, Orta Sakarya Bölgesi, İç Anadolu, Yüksek Lisans Tezi, Ank. Ü., Fen. Bil. Enst., Ankara.



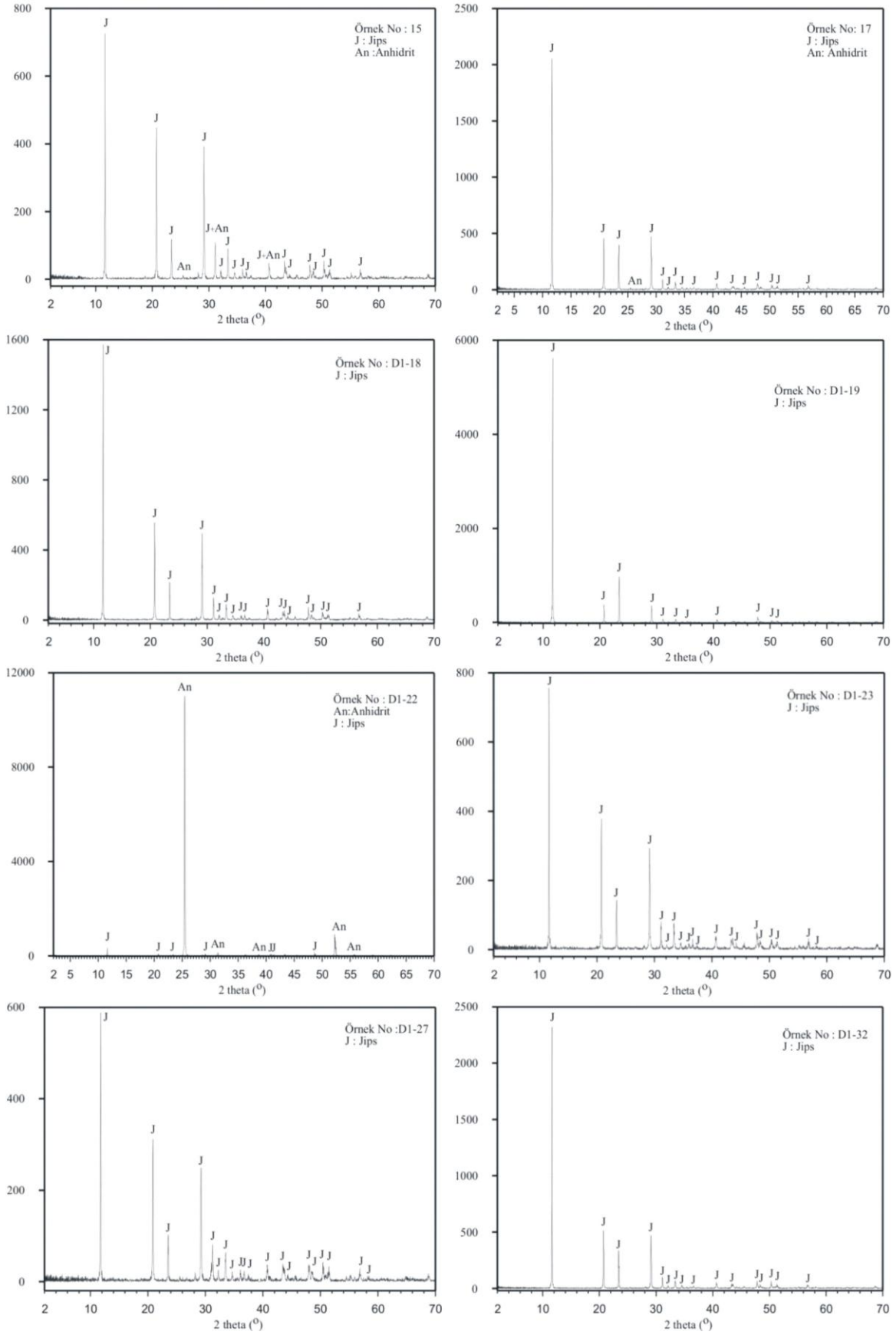
## 7. EKLER

Ek Şekil 2. Pınakapan (Aşkale, Erzurum) Köyü Çevresinin Jeoloji Haritası

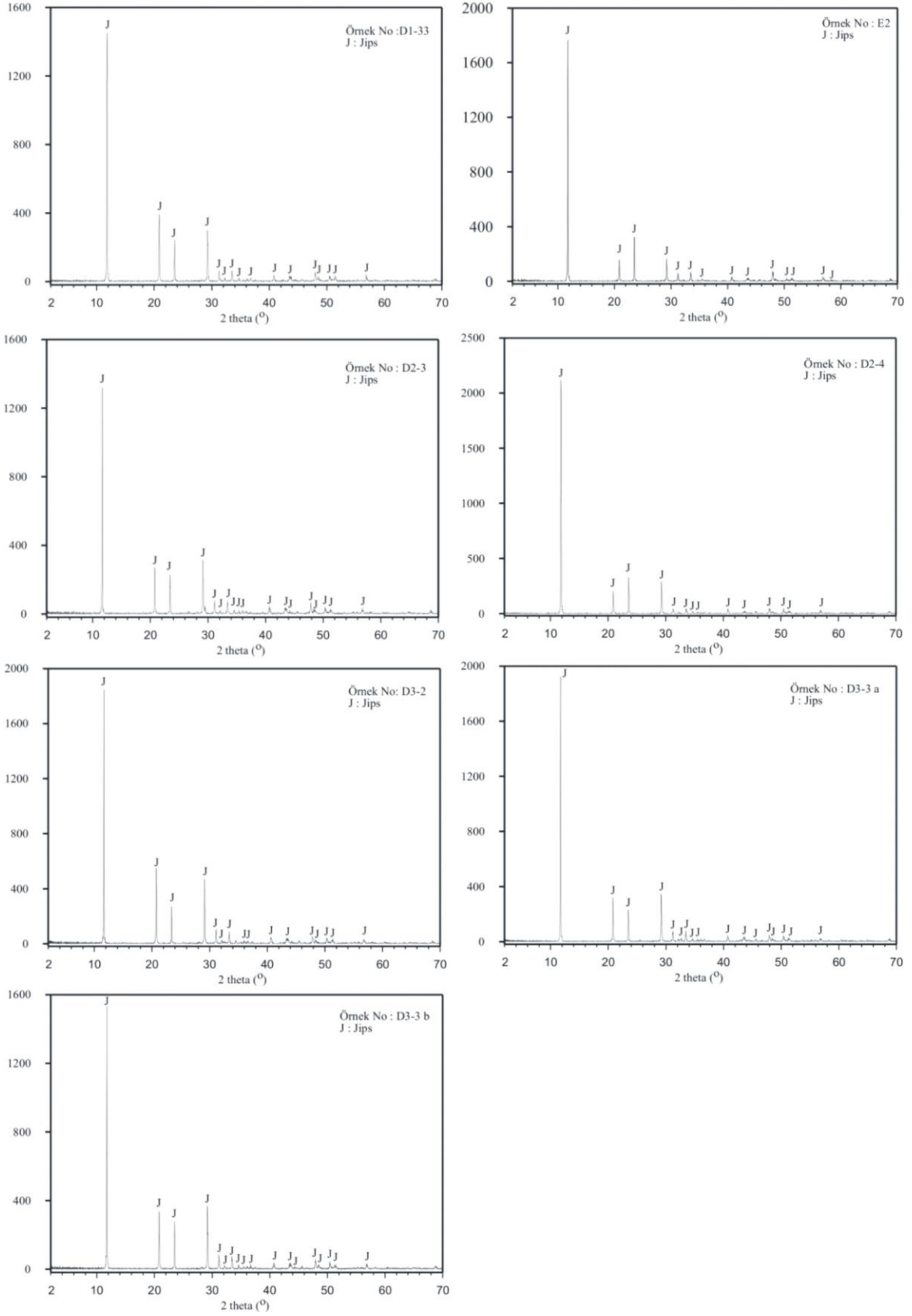




Ek Şekil 3. Pırnakapan köyü çevresinden alınan evaporit örneklerinin XRD grafikleri



Ek Şekil 3' ün devamı



Ek Şekil 3' ün devamı

## ÖZGEÇMİŞ

Didem AYDINÇAKIR, 15.12.1986 tarihinde İstanbul' da doğdu. İlk öğrenimini 1992-1997 yılları arasında Kozyatağı İlkokulu' nda, orta öğrenimini 1997-2000 yılları arasında Mustafa Mihriban Boysan İlköğretim Okulu'nda ve lise öğrenimini 2000-2003 yılları arasında Kadıköy İntaş Lisesi' nde tamamladı. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Lisans programına başladı ve 2007 yılında mezun oldu. 2008-2009 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yabancı Diller Bölümü, İngilizce Hazırlık Programını bitirdi. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Evli ve bir çocuk annesi olan Didem AYDINÇAKIR, İngilizce bilmektedir.